

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла,
носа и речи» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ)
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

На правах рукописи

Кравцова Елена Николаевна

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ
ВЕСТИБУЛЯРНОЙ ДИСФУНКЦИЕЙ**

3.1.3 — Оториноларингология

1.5.5 — Физиология человека и животных

Научные консультанты:

профессор, доктор медицинских наук В. В. Дворянчиков,

профессор, доктор медицинских наук А. Ю. Мейгал

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. МЕХАНИЗМЫ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ НОРМАЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ И ПРИ ЕЕ ПАТОЛОГИИ	18
1.1. Внутреннее ухо: сходство, различия и взаимосвязь слухового и вестибулярного анализаторов	18
1.2. Современные представления о нейрофизиологии равновесия тела	27
1.3. Анализ современных методов дифференциальной диагностики степени нарушения функции равновесия и контроля реабилитационных мероприятий.....	32
1.4. Современные подходы к реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией	43
Глава 2. КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ И ЗДОРОВЫХ УЧАСТНИКОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	52
2.1. Клиническая характеристика пациентов и здоровых участников	52
2.2. Методы обследования	64
2.2.1. Оценка функции слуха	65
2.2.2. Стандартное отоневрологическое обследование	65
2.2.3. Метод видеонистагмографии (VNG)	68
2.2.4. Оценка функции равновесия методом компьютерной стабилометрии	72
2.2.5. Оценка влияния надевания головного убора на параметры компьютерной стабилометрии	75

2.2.6. Оценка влияния воздействия звука костной проводимости на параметры компьютерной стабилотметрии	75
2.2.7. Оценка влияния профессионального музыкального тренинга на поструральный контроль у здоровых лиц на основании данных компьютерной стабилотметрии	77
2.2.8. Анализ параметров ходьбы в различных сенсорных условиях с использованием системы маркерного видеозахвата	77
2.2.9. Модифицированный тест TUG (Timed Up and Go, «встань и иди»)	79
2.2.10. Постактивационный эффект	82
2.2.11. Исследование тяжести головокружения с помощью оценочной шкалы DHI (Dizziness Handicap Inventory)	83
2.2.12. Статистический анализ	84
Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	85
3.1. Результаты эпидемиологического исследования пациентов с жалобами на головокружение и нарушение равновесия в Республике Карелия	85
3.2. Влияние возраста, специального вокального тренинга и слуха на вестибулярную систему и равновесия по данным клинко-инструментального исследования	88
3.2.1. Клинко-инструментальное обследование здоровых лиц разного возраста с нормальной функцией слуха	88
3.2.2 Оценка влияния профессионального музыкального тренинга на поструральный контроль по данным компьютерной стабилотметрии	95
3.2.3. Клинко-инструментальное обследование здоровых лиц разного возраста с глухотой/тугоухостью высокой степени	96
3.3. Влияние звука костной проводимости (110 Гц) и тактильной стимуляции кожи головным убором на параметры компьютерной стабилотметрии, ходьбы и мышечного тонуса у здоровых лиц с нормальной функцией слуха	105

3.3.1. Влияние звука костной проводимости частотой 110 Гц на параметры компьютерной стабилотметрии у лиц контрольной группы 1	105
3.3.2. Параметры ходьбы в TUG-тесте по данным акселерометрии при акустической стимуляции звуком костной проводимости частотой 110 Гц в условиях нормальной и низкой освещенности у лиц контрольной группы 1	106
3.3.3. Влияние надевания головного убора на параметры компьютерной стабилотметрии у лиц контрольной группы 1	108
3.3.4. Влияние звука костной проводимости частотой 110 Гц на постактивационный эффект (феномен Конштамма) у здоровых лиц с нормальной функцией слуха	109
3.4. Влияние стойкой вестибулярной гипотфункции на вестибулярную систему и равновесие по данным клинотинструментального обследования	111
3.4.1. Клинотинструментальное обследование пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипотфункцией	111
3.4.2. Клинотинструментальное обследование пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипотфункцией	120
3.5. Влияние сенсорного протезирования при помощи звука костной проводимости и тактильной стимуляции кожи головы на статическое и динамическое равновесие у пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипотфункцией	129
3.5.1. Влияние звука костной проводимости (110 Гц) на параметры компьютерной стабилотметрии у пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипотфункцией	129
3.5.2 Влияние звука костной проводимости (110 Гц) на параметры акселерометрии в TUG — тесте в условиях нормальной и низкой освещенности у лиц со стойкой двусторонней вестибулярной гипотфункцией	131
3.5.3. Влияние стимуляции проприорецепторов кожи головы на постуральный контроль у пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипотфункцией	132

3.6. Общая характеристика, методика и эффективность комплексной программы вестибулярной реабилитации у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией	136
3.6.1. Совершенствование методики репозиции отолитов при вторичном отолитиазе у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией	136
3.6.2. Вестибулярная реабилитация у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией на основе VR-технологий с неполным погружением при помощи технологии Kinect и стимуляции звуком костной проводимости	141
3.6.3. Результаты комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией	150
3.7. Клинико-инструментальная характеристика и эффективность вестибулярной реабилитации с применением цифровых технологий и стимуляцией звуком костной проводимости у пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией (ОВД)	155
3.7.1. Клинико-инструментальная характеристика пациентов с ОВД	155
3.7.2. Методика вестибулярной реабилитации (ВР) на основе мобильных технологий в сочетании со стимуляцией ЗКП (110 Гц) при ОВД	163
3.7.3. Физиологические принципы и описание комплексной программы ВР у пациентов с ОВД	165
3.7.4. Результаты комбинированной вестибулярной реабилитации у пациентов с ОВД	171
ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	174
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	198
ВЫВОДЫ	199
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	201
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ	203
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	205
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	264

ПРИЛОЖЕНИЕ 2	267
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	269
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	270
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	271
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	272
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	273

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Периферические вестибулярные расстройства (ПВД), основными симптомами которых являются головокружение, потеря равновесия и как следствие, ухудшение качества жизни, являются серьезной проблемой для системы здравоохранения и общества в целом. Несмотря на прогресс в области диагностики и терапии, реабилитация пациентов с острой односторонней, а также стойкой одно- и двусторонней вестибулярной недостаточностью остается областью, требующей повышенного внимания специалистов. Это связано с двумя ключевыми факторами: ограниченной эффективностью существующих методов реабилитации и широкой распространенностью данного заболевания [439, 550, 245].

Эпидемиологические исследования свидетельствуют о высокой частоте вестибулярных нарушений. По данным различных авторов, симптомы головокружения и нарушения равновесия хотя бы раз в жизни испытывает от 15 до 35 % взрослого населения, причем у значительной части из них эти симптомы приобретают хронический характер, приводя к значительному снижению качества жизни, повышению риска падений, нарушению социальной адаптации [126, 140, 237, 335, 396, 419, 443]. Экономические расходы, связанные с вестибулярными расстройствами, включают не только прямые затраты на медицинскую помощь, но и косвенные расходы, связанные со снижением продуктивности труда у лиц с вестибулярной дисфункцией и необходимостью их социальной поддержки [126, 334].

В области вестибулологии, по данным современных публикаций, имеются нерешенные проблемы как теоретического, так и прикладного характера. Во-первых, нет единого мнения относительно биофизических и молекулярных механизмов, обеспечивающих передачу информации в рецепторах макул и крист [196, 198, 371]. Во-вторых, остается неясной функциональная взаимозависимость улитки и вестибулярного аппарата внутреннего уха, хотя это имеет фундаментальное значение для раскрытия принципов компенсаторных процессов в условиях патологии [60, 79, 244, 353, 411, 417, 441].

Функциональная сопряженность слухового и вестибулярного анализаторов, наблюдаемая на всех уровнях их взаимодействия в ЦНС, продолжает оставаться объектом интенсивного изучения [119, 180, 276]. Соответственно, постоянно расширяется объем данных, детализирующих механизмы мультиуровневого взаимодействия вестибулярной и других сенсорных систем в норме и при патологии, а также их совместного влияния на функции равновесия и постуральный контроль [24, 26, 175, 345, 375, 393].

Современные стратегии обследования пациентов с жалобами на нарушение равновесия и головокружения охватывают широкий диапазон методов: от традиционного, но надежного, отоневрологического осмотра, до высокоточных технологий оценки функции вестибулярного аппарата [14, 70, 77, 93, 338]. Особое значение приобретает интеграция сведений отоневрологического осмотра с данными инструментального обследования, например битермального калорического теста, для усовершенствования диагностического алгоритма [532]. Тем не менее, клиническая интерпретация этих тестов остаётся спорной, что диктует потребность в ее унификации [11, 67, 308, 329, 367, 418].

Анализ современных исследований в области реабилитации пациентов с ПВД позволяет утверждать, что достичь полного восстановления, в частности динамической составляющей вестибулярной функции, удастся далеко не во всех случаях. Эта проблема сохраняется даже в отсутствии прогрессирования первоначального заболевания [462, 490]. Это можно объяснить сложностью механизмов центральной компенсации, зависящих от целого ряда условий (возрастных характеристик пациента, своевременности инициирования реабилитации, этиологии повреждения), а также от того, насколько программа реабилитации была адекватной и интенсивной [550].

В последние годы особое внимание уделяется разработке и внедрению новых технологий в практику вестибулярной реабилитации (ВР). Перспективным направлением ВР является применение методов неинвазивной стимуляции, таких как шумовая гальваническая стимуляция и низкочастотная вибростимуляция, которые пока не вошли в стандартные клинические протоколы ВР, но демонстрируют обнадеживающие результаты в экспериментальных исследованиях [255, 401, 402, 405, 484, 561, 562].

Эффективность неинвазивной вестибулярной стимуляции в коррекции статического и динамического равновесия характеризуется значительной вариабельностью, особенно между разными возрастными группами, как у здоровых людей, так и у пациентов с различными формами ПВД. Эта неоднозначность

результатов требует верификации клинической ценности метода и разработки оптимальных протоколов его применения [210, 251, 359, 366, 510, 515, 561, 579]

Отдельного внимания заслуживает развитие технологий виртуальной реальности (VR) в ВР. Иммерсивные и неиммерсивные VR-системы предоставляют уникальные возможности для создания контролируемой мультисенсорной среды, позволяющей проводить высокоиндивидуализированную тренировку вестибулярной функции [127, 567].

Особую проблему представляет реабилитация пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией, которая характеризуется наиболее тяжелыми нарушениями равновесия и ограничением функциональной активности. Традиционные методы ВР часто оказываются недостаточно эффективными у этой категории пациентов, что требует разработки специализированных подходов, направленных на максимальную активацию компенсаторных механизмов и использование альтернативных сенсорных стратегий [187, 541].

При разработке инновационных стратегий ВР особое внимание привлекает исследование роли мультимодальной сенсорной стимуляции в активации механизмов нейропластичности и компенсаторного восстановления вестибулярной функции. Полученные данные подтверждают, что сочетанное использование различных модальностей воздействия (акустической, вибрационной, проприоцептивной) может повышать эффективность восстановительного лечения [350, 397, 409, 510, 540].

Важным направлением современной ВР является разработка и внедрение протоколов ранней активации пациентов с острой вестибулярной дисфункцией (ОВД). Современные клинические рекомендации подчеркивают критическую важность раннего начала реабилитационных мероприятий для улучшения функциональных исходов и снижения риска хронизации процесса [22, 23, 266, 357; 549]. В этом контексте особую актуальность приобретает разработка мобильных приложений и телемедицинских платформ, позволяющих начинать реабилитацию в максимально ранние сроки, включая период соблюдения постельного режима.

Литературные источники указывают на возрастающую роль комбинированных подходов к лечению вестибулярных расстройств, интегрирующих ВР с фармакотерапией. Мета-анализ литературы последних лет демонстрируют превосходство комбинированной терапии над изолированным применением лекарственных средств или реабилитации по отдельности [259, 267]. Однако схемы оптимального сочетания различных методов лечения требуют дальнейшего изучения и стандартизации.

Таким образом, на основании анализа литературы можно сделать вывод о необходимости движения от традиционных схем в сторону поиска новых инновационных решений, основанных на достижениях современных технологий в реабилитации пациентов с ПВД. Отсутствие четких клинических рекомендаций диктуют потребность в проведении комплексных исследований, направленных на разработку и валидацию новых эффективных протоколов вестибулярной реабилитации.

Цель исследования

Научно обосновать, разработать и оценить эффективность системы вестибулярной реабилитации для пациентов с различными формами периферической вестибулярной дисфункции, основанной на комбинированном применении методов неинвазивной вестибулярной стимуляции звуком костной проводимости и технологий виртуальной реальности и дать ей физиологическое обоснование

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Оценить влияние стойкой утраты слуха (глухота и тугоухость высокой степени) на вестибулярную функцию и постуральный баланс у лиц различных возрастных групп.
2. Оценить статическое равновесие при помощи компьютерной стабилотрии при музыкально развитом слухе на примере лиц, профессионально занимающихся вокалом.
3. Изучить влияние звука костной проводимости и тактильной стимуляции кожи головы головным убором на параметры компьютерной стабилотрии и ходьбы у здоровых лиц в сенсорных условиях разной сложности.
4. Оценить постактивационный эффект в дельтовидных мышцах при воздействии звука костной проводимости 110 Гц у здоровых лиц.
5. Провести клинико-инструментальную оценку вестибулярной функции, статического и динамического равновесия у пациентов со стойкой односторонней и двусторонней вестибулярной гиподисфункцией в сенсорных условиях разной сложности.
6. Исследовать влияние сенсорного протезирования при помощи воздействия звуком костной проводимости (110 Гц) и тактильной стимуляции кожи головы на статическое и динамическое равновесие у пациентов с двусторонней вестибулярной гиподисфункцией в сенсорных условиях разной сложности.

7. Разработать протокол вестибулярной реабилитации, интегрирующий технологию виртуальной реальности с неполным погружением с воздействием звуком костной проводимости (110 Гц) и оценить его эффективность у пациентов со стойкой односторонней и двусторонней вестибулярной гипофункцией.
8. Оценить состояние вестибулярной функции и постурального контроля у пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией.
9. Разработать протокол вестибулярной реабилитации, интегрирующий цифровые технологии и воздействие звуком костной проводимости (110 Гц) и оценить его эффективность у пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией.

Научная новизна исследования

Впервые экспериментально показано, что стимуляция звуком костной проводимости частотой 110 Гц, подаваемая через наушники, фиксируемые на козелках ушных раковин, оказывает положительное влияние на параметры статического и динамического равновесия у пациентов с двусторонней вестибулярной гипофункцией. Обосновано предположение о резонансном механизме воздействия данной частоты на вестибулярные рецепторы.

Впервые показано, что звук костной проводимости 110 Гц вызывает равномерное с двух сторон тела усиление произвольного мышечного тонуса в виде постактивационного эффекта.

Впервые продемонстрирован вклад тактильной афферентации кожи головы в постуральный контроль в виде улучшения параметров стабилотрии при надевании головного убора, плотно охватывающего голову, как у здоровых лиц, так и при стойкой вестибулярной гипофункции.

Впервые продемонстрировано, что методика вестибулярной реабилитации пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией, основанная на комбинировании неинвазивной вестибулярной стимуляции звуком костной проводимости (110 Гц) и технологии виртуальной реальности с неполным погружением, оказывает статистически значимый положительный эффект на показатели поддержания вертикальной позы.

Впервые продемонстрирована эффективность ранней реабилитации, основанной на комбинировании неинвазивной вестибулярной стимуляции звуком

костной проводимости (110 Гц) и цифровых технологий при острой вестибулярной дисфункции. На основе комплексного анализа данных отоневрологического обследования, вестибулометрии, скорости выполнения TUG теста и данных анализа влияния головокружения на повседневную жизнь (шкала DHI) впервые показано, что включение акустической стимуляции (звук костной/хрящевой проводимости) и мобильных цифровых технологий в протокол ранней вестибулярной реабилитации достоверно ускоряет процессы вестибулярной компенсации.

Показано, что условия «стояние на поролоне с закрытыми глазами» (а также ходьба в аналогичных условиях) обладает максимальной информативностью для выявления вестибулярной дисфункции.

Практическая значимость

Разработаны и внедрены в клиническую практику протоколы вестибулярной реабилитации, основанные на комбинированном применении неинвазивной стимуляции звуком костной проводимости и технологий виртуальной реальности с неполным погружением и мобильных цифровых технологий. Показана их высокая клиническая эффективность, выражающаяся в статистически значимом улучшении стабилометрических показателей на 30-40% и ускорении процессов вестибулярной компенсации у пациентов с различными формами периферической вестибулярной дисфункции.

В процессе работы созданы оригинальные цифровые продукты, защищенные свидетельствами о регистрации результатов интеллектуальной собственности (специализированное мобильное приложение, №2023614763 от 06.03.2023; программы для VR-тренингов, №2024610054 от 09.01.2024).

Разработана, апробирована и внедрена в клиническую практику доступная аппаратно-программная реализация метода акустической стимуляции на базе коммерчески доступных наушников костной проводимости и свободно-распространяемого программного обеспечения, обеспечивающая возможность генерации звука, его подачи на наушники и задания частоты и амплитуды звука. Это позволило проводить вестибулярную реабилитацию в амбулаторных условиях, в виде самостоятельных занятий пациентов, что позволило масштабировать методику без финансовых затрат.

Разработан и внедрен специализированный онлайн-калькулятор для определения весовых коэффициентов относительного вклада вестибулярной

зрительной и проприоцептивной сенсорных систем (W_{vest} , W_{vis} , W_{prop}) в позный контроль на основе данных компьютерной стабилومتрии (https://imit.petrstu.ru/stabilometry_calculator).

Внедрена методика комплексного мониторинга эффективности вестибулярной реабилитации, основанная на анализе стабилметрических и функциональных показателей, что позволяет объективно оценивать динамику восстановления и своевременно корректировать лечебные мероприятия. На основе полученных данных разработаны практические рекомендации по персонализированному выбору стратегии реабилитации с учетом типа и стадии вестибулярной дисфункции и возраста пациента.

Положения, выносимые на защиту

1. Механизмы вестибулярной компенсации при односторонней и двусторонней вестибулярной недостаточности различны, что требует дифференцированного подхода к реабилитации.
2. Применение бинауральной акустической стимуляции костной проводимости частотой 110 Гц способствует оптимизации процессов сенсорной интеграции и улучшению постурального контроля у пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией.
3. Комбинированный протокол вестибулярной реабилитации, интегрирующий технологии виртуальной реальности с мультимодальной сенсорной стимуляцией, является более эффективным по сравнению со стандартными подходами к реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией.
4. Раннее начало вестибулярной реабилитации с использованием мобильных технологий способствует ускорению процессов центральной компенсации и улучшению функциональных исходов у пациентов с острой вестибулярной дисфункцией.

Апробация работы и публикации

Основные положения работы были представлены на конференциях:

1. Конференция оториноларингологов Республики Карелия «Актуальные вопросы оториноларингологии» (Петрозаводск, 2012).

2. Конференция оториноларингологов Республики Карелия «Актуальные вопросы оториноларингологии» (Петрозаводск, 2014).
3. Конференция оториноларингологов Республики Карелия «Актуальные вопросы оториноларингологии» (Петрозаводск, 2015).
4. Конференция оториноларингологов Республики Карелия «Актуальные вопросы оториноларингологии» (Петрозаводск, 2016).
5. I Конгресс оториноларингологов Северо-Западного федерального округа (Санкт-Петербург, 2017).
6. VI Петербургский форум оториноларингологов России (Санкт-Петербург, 2017).
7. Конференция Young Biologists Science Week 2017 (Петрозаводск, 2017).
8. IV Медицинский форум «Карельская жемчужина»: «Актуальные вопросы совершенствования медицинской помощи» (Петрозаводск, 2017).
9. VII Петербургский международный форум оториноларингологов России (Санкт-Петербург, 2018).
10. Конференция оториноларингологов Республики Карелия «Актуальные вопросы оториноларингологии» (Петрозаводск, 2018).
11. XVI Московская научно-практическая конференция «Оториноларингология: традиции и современность» (Москва, 2018).
12. VIII Петербургский международный форум оториноларингологов России (Санкт-Петербург, 2019).
13. IX Петербургский международный форум оториноларингологов России (5–7 октября) (Санкт-Петербург, 2020).
14. Конференция оториноларингологов Республики Карелия «Актуальные вопросы оториноларингологии» (Петрозаводск, 2022).
15. XII Петербургский форум оториноларингологов России «130 лет российской оториноларингологии» (Санкт-Петербург, 2023).
16. XIII Петербургский форум оториноларингологов России «Современные взгляды на лечение патологий ЛОР-органов» (24–26 апреля) (Санкт-Петербург, 2024).
17. XI Всероссийская с международным участием школа-конференция по физиологии мышц и мышечной деятельности, посвященная 70-летию открытия механизма мышечного сокращения (Москва, 2024).
18. XI Медицинский форум «Актуальные вопросы совершенствования медицинской помощи. Карельская жемчужина» (Петрозаводск, 2024).

19. XIV Петербургский форум оториноларингологов России (Санкт-Петербург, 2025).
20. Конференция неврологов Республики Карелия «К 65-летию Медицинского института им. А. П. Зильбера» (Петрозаводск, 2025).
21. Конференция врачей-неврологов и оториноларингологов Республики Карелия «Расстройства равновесия и когнитивных функций во врачебной практике (Петрозаводск, 2025).
22. Республиканская научно-практическая конференция «Осенняя неврология», посвященная 85-летию Петрозаводского государственного университета и 65-летию медицинского института им. А.П. Зильбера (Петрозаводск, 2025).
23. Республиканская научно-практическая конференция «Карельская неврология», посвященная 75-летию Республиканской больницы им. В.А. Баранова (Петрозаводск, март 2026).

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликована 32 научные работы, из них 11 статей в изданиях, входящих в перечень рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, аккредитованных по специальностям: 3.1.3. — Оториноларингология и 1.5.5 — Физиология человека и животных, в том числе 10 в изданиях, относящихся к категориям К1 и К2, а также 3 публикации в изданиях, включенных в международную базу данных Scopus и WoS, относящихся к квартилям Q1 и Q3.

Оформлено 2 свидетельства о регистрации результатов интеллектуальной собственности РФ: 1) «Мобильное приложение для тренировки глазодвигательных реакций у пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией» (№2023614763, опубл. 06.03.2023); 2) «Программа реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией с использованием системы безмаркерного видеозахвата» (№2024610054, опубл. 09.01.2024). Зарегистрированы 3 базы данных: 1) «Показатели функции равновесия у здоровых и пациентов со стенозирующими заболеваниями экстракраниальных сосудов» (№ 2013620902, опубл. 08.08.2013); 2) «Калорические битермальные исследования с орошением» (№ 2019621480, опубл. 19.08.2019); 3) «Данные стабилотрии» (№2019621481, опубл. 19.08.2019).

Внедрение в практику

Научные положения и практические рекомендации, сформулированные в диссертации, используются в практической деятельности отделений: ГБУЗ РК «Республиканская больница им. В.А. Баранова»: ЛОР-отделения, неврологического отделения острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК), амбулаторного отделения Центра платных медицинских услуг; ГБУЗ РК «Республиканская больница скорой и экстренной медицинской помощи» (до 08.09.2023 ГБУЗ РК «Больница скорой медицинской помощи») в нейрохирургическом отделении на ЛОР-койках и в неврологическом отделении, а также в учебном процессе кафедр госпитальной хирургии, ЛОР-болезней, офтальмологии, стоматологии, онкологии, урологии и кафедры физиологии человека и животных, патофизиологии Медицинского института им. А.П. Зильбера ФГБОУВО «Петрозаводский государственный университет».

Легитимность исследования

Исследования были одобрены этическим комитетом по медицинской этике при Министерстве здравоохранения и социального развития Республики Карелия от 22 апреля 2025 г. № 34.

Личный вклад автора в проведенное исследование

Автор, врач-оториноларинголог высшей категории, лично провел полное клинико-инструментальное обследование всех пациентов клинических и контрольной групп. Обследование включало стандартный оториноларингологический и отоневрологический осмотр, расширенную вестибулометрию с оригинальным комплексом диагностических методик.

Автором разработана концепция и клиническая методология оригинальной системы ВР с использованием цифровых, VR-технологий и акустической стимуляции костной проводимости 110 Гц. Техническая реализация алгоритмов и программной платформы была выполнена сотрудниками Института математики и информационных технологий ПетрГУ по техническому заданию автора. Автором лично проведен весь курс ВР для пациентов основных групп с использованием разработанной методики. Автором самостоятельно выполнен аналитический обзор

литературы, разработаны дизайн и программа исследования, осуществлен сбор и первичная систематизация данных. Статистическая обработка результатов проведена с участием д.т.н. доцента Л.В. Щеголевой и д.м.н., профессора А.Ю. Мейгала. Интерпретация полученных данных, подготовка рукописи, представление данных на научных конференциях выполнены лично автором.

Соответствие паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 3.1.3. «Оториноларингология» по направлениям исследований:

1. Исследования по изучению этиологии, патогенеза и распространенности ЛОР-заболеваний (сурдология, вестибулярные расстройства).
2. Разработка и усовершенствование методов диагностики и профилактики ЛОР-заболеваний.
3. Экспериментальная и клиническая разработка методов лечения ЛОР-заболеваний и внедрение их в клиническую практику.
5. Совершенствование организации оториноларингологической и технологий помощи пациентам, пребывающим в осложненных условиях среды обитания, в том числе при освоении Арктики, Антарктики, Мирового океана и Космоса.

А также паспорту специальности 1.5.5. «Физиология человека и животных, область исследований»:

2. Молекулярная и интегративная организация физиологических функций.
4. Закономерности функционирования основных систем организма (нервной, ... сенсорной, двигательной, ...) при различных состояниях организма.
6. Системная организация физиологических функций на уровне клеток, тканей, органов и целого организма.
7. Исследование механизмов сенсорного восприятия и организации движений.
12. Разработка новых методов исследований функций животных и человека.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 273 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, четырех глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Работа иллюстрирована 28 рисунками и содержит 79 таблиц. Список литературы включает 584 источника, в том числе 124 отечественных и 460 иностранных авторов.

ГЛАВА 1. МЕХАНИЗМЫ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ НОРМАЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ ВЕСТИБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ И ПРИ ЕЕ ПАТОЛОГИИ

1.1. Внутреннее ухо: сходство, различия и взаимосвязь слухового и вестибулярного анализаторов

Равновесие является результатом постоянного и эффективного взаимодействия вестибулярной, проприоцептивной и зрительной систем, которые интегрируются и модулируются на всех уровнях ЦНС [16, 118, 528].

Вестибулярный анализатор (ВА) человека, являющийся древнейшей сенсорной системой в фило- и онтогенезе, обеспечивает перцепцию пространственного положения тела и управление движением при отсутствии и наличии зрительной афферентации. Его функциональная структура представлена механорецепторным периферическим звеном, проводящими путями, ядрами ствола мозга, отделами ретикулярной формации, подкорковыми центрами и корковым представительство. Для реализации своих функций ВА требует интегративного взаимодействия с пирамидной и экстрапирамидной системами, а также с мозжечком, несущим, совместно с корой, основную нагрузку по обработке и синтезу мультисенсорной информации [4, 7, 345, 375]. При этом первоисточником афферентных сигналов ВА является её периферический отдел.

Ориентация полукружных каналов в трех взаимно перпендикулярных плоскостях определяет направление нистагма при стимуляции одного из лабиринтов [7, 10, 11]. Известно, что кость лабиринта имеет значительно меньшую интенсивность костного обмена по сравнению с другими частями скелета человека, хотя считается, что он продолжает развиваться и после рождения ребенка еще несколько лет [226, 334, 423, 450]. Компланарность ВА обеспечивает двухтактный механизм формирования афферентных сигналов и сенсорный запас при поражении одного из них, а также позволяет его центральным отделам дифференцировать информацию при движении, когда один канал активируется, а другой тормозится [97, 156]

В настоящее время исследованию биофизических и биохимических процессов (на уровне синапсов и в самой эндолимфе) передачи информации на уровне сенсорного эпителия внутреннего уха как улитки, преддверия, так и полукружных каналов уделяется значительное внимание [196, 197, 198, 351, 353]. Согласно исследованиям Тринуса К. Ф. [118, 528], расположение макул в маточке и мешочке, а также купул в *crista ampullaris* полукружных каналов таково, что они охватывают все возможные направления движения, включая как угловые, так и линейные перемещения.

Выявлено, что в ВА эндолимфа вырабатывается вестибулярными темными клетками, которые похожи на клетки сосудистой полоски улитки [196, 198]. Высокая концентрация ионов калия в эндолимфе, куда погружен сенсорный эпителий, обеспечивает его высокий градиент для облегчения деполяризации волосковых клеток (ВК) и афферентной нервной передачи. Актиновые нити волосковых клеток — стереоцилии содержат катионные каналы на своей вершине и организованы в ряды по длине, причем самая высокая стереоцилия соединена с неподвижной киноцилией [198].

Ускорение движения эндолимфы, что является стимулом к раздражению стереоцилий, приводит либо к деполяризации ВК, либо к их гиперполяризации в зависимости от направления инерционного сопротивления [196, 351, 353]. Деполяризованная ВК выделяет глутамат в область афферентных нервных рецепторов, который обеспечивает дальнейшую нейротрансмиссию в вестибулярный ганглий. Соответственно, движение эндолимфы в противоположном направлении, к киноцилии, заставляет стереоцилии сближаться. Сближение стереоцилий, в свою очередь, приводит к закрытию катионных каналов концевыми связями. Отсутствие притока калия вызывает гиперполяризацию волосковой клетки и ингибирование выделения глутамата в афферентный нерв и, соответственно, угнетает передачу нервного импульса [198].

Волосковые клетки ВА делятся на два типа, отличающихся по локализации (одни — на вершине ампулярного гребня, другие — на его склоне) и разной реакцией на раздражающий стимул (одни реагируют на сильные раздражения, распространяющиеся по поверхности всего эпителия, а другие более чувствительны к возбуждению, но только в ограниченной области) [351, 353]. Генерирование тонического потенциала даже при отсутствии движений головы или тела в пространстве свидетельствует о наличии так называемого «вестибулярного тонуса» [16].

Аналогичные биохимические и биофизические процессы наблюдаются в улитке. В частности, механическое движение эндолимфы в лестнице улитки, вызванное воздействием звукового стимула, приводит к изменению градиента эндокохлеарного потенциала и вызывает формирование акустического импульса [142, 424].

Известно, что чувствительность волосковых клеток преддверия к линейному ускорению в маточке и мешочке определяется массой тяжелых кристаллов фосфата и карбоната кальция (отокониев), расположенных на отолитовой мембране между волосковыми клетками [88, 353]. При наличии линейного ускорения головы отолитовая мембрана, нагруженная отолитами, отстает и это приводит к возникновению потенциала действия в афферентных вестибулярных волокнах. В отличие от полукружных каналов отолитовый аппарат имеет только два сенсорных органа, отвечающих за восприятие трех осей линейного движения. Почти горизонтальное положение эллиптического мешочка обуславливает его чувствительность к линейному ускорению в горизонтальной плоскости и боковым ускорениям вдоль фронтальной оси, в то время как практически вертикальная ориентация сферического мешочка определяет его восприятие гравитационного ускорения и линейного движения вдоль переднезадней оси [51, 97]. Интересно, что ряд исследований показал, что отолитовый аппарат может функционировать как специализированный рецептор вибрационной чувствительности [24, 30, 40, 528].

Слуховой и вестибулярный анализаторы имеют сходные анатомические черты, начиная с этапа внутриутробного развития. В частности, они оба находятся в единой костной капсуле, занимающей небольшую площадь, имеют сходные характеристики как костного, так и перепончатого лабиринтов, а также общие жидкостные среды. Их афферентные нервные пути находятся в непосредственной близости друг от друга, вместе входят во внутренний слуховой проход и формируют практически единый нерв (VIII пара черепно-мозговых нервов). Такая анатомическая связь предполагает возможность взаимозависимости между улиткой, лабиринтом и преддверием внутреннего уха. При этом, каждая из частей внутреннего уха (вестибулярная и слуховая) сохраняет свою функциональную обособленность друг от друга. Таким образом, функциональная двойственность на различных уровнях взаимодействия слухового и вестибулярного анализаторов, особенно на периферическом уровне, остается актуальной темой для обсуждений и требует дальнейшего научного изучения [7, 99, 123, 136, 183, 244, 276, 353, 411, 473]

В работах Тринус К.Ф. и соавт. [118, 528] показано, что тонкие параметры звука (частота, направление, мелодия) воспринимает улитка, тогда как его

эмоциональное значение — ВА. Так, по мнению авторов, резкие громкие звуки ВА оценивает как сигнал опасности, а мелодические, например народную или классическую музыку, как приятную, не вызывающую опасность.

Дискуссионным остается вопрос о сохранности функции ВА у пациентов с нарушением слуха. В своей работе Lin B. Y и соавт. [361] у взрослых пациентов с врожденной значительной потерей слуха, используя данные битермального калорического теста (БКТ) и видеоимпульсного теста для оценки вестибулярной функции, показали, что в этой группе пациентов чаще отмечается снижение активности ВА. Работа Оуа Tanуегі и соавт. [150] также показала, что прелингвальная потеря слуха связана как с утрикулярной (более часто), так и с саккулярной дисфункцией. В то же время Nakajima Y. и соавт. [276] считают, что лица с двусторонней глухотой поддерживают постуральный баланс в целом не хуже, чем их нормально слышащие сверстники.

Широкое внедрение в медицинскую практику кохлеарной имплантации (КИ) как метода реабилитации утраченной слуховой функции и речевой способности человека привело к возникновению вопросов о влиянии этого вмешательства на вестибулярную систему, отвечающую за равновесие и пространственную ориентацию [250, 390, 574]. В то время как у некоторых пациентов наблюдаются минимальные вестибулярные нарушения, у других возникают временные или даже постоянные проблемы с равновесием после операции, даже если используется подход через круглое окно для минимизации повреждения внутриулитковых структур [331, 502, 573]. По наблюдениям Sosna M. и соавт. [250], несмотря на то, что КИ не затрагивает вестибулярные структуры напрямую, разрушительные сигналы в улитке могут передаваться через эндолимфу и быть причиной потенциальных повреждений ВА.

Поэтому предметом современных дискуссий и тщательного клинического рассмотрения является предоперационный анализ данных пациента для выявления не только явных, но и скрытых вестибулярных нарушений, которые могут быть даже противопоказанием к КИ [331, 390, 574]. Colin V. и соавт. [331] получили противоречивые результаты у пожилых людей при проведении КИ: с одной стороны, у пожилых пациентов вестибулярные расстройства отмечались до и усиливались после операции чаще, чем в более молодом возрасте, а с другой — они не обнаружили корреляции между результатами послеоперационных тестов и послеоперационным головокружением. Анализируя результаты обследования детей и взрослых пациентов после кохлеарной имплантации, Guan R. и соавт. [544] отметили, что

изменения вестибулярных функций не зависят от возраста на момент вмешательства и подхода (односторонний или последовательный двусторонний).

Одним из патологических состояний, возникающих во внутреннем ухе и затрагивающих, как правило, периферические отделы слухового и вестибулярного анализаторов, является эндолимфатический гидропс. Клиническая картина болезни Меньера, рассматриваемой как классическое проявление гидропса, характеризуется эпизодами вращательного головокружения, которые сопровождаются шумом в ушах и изменениями слуха, проявляющимися флюктуирующим снижением слуха в низкочастотном диапазоне.

Причины возникновения эндолимфатического гидропса по-прежнему остаются неясными. Существует несколько гипотез, объясняющих данное патологическое состояние. Некоторые исследователи акцентируют внимание на роли вирусной агрессии, особенно в таких инфекций, как цитомегаловирус, вирус опоясывающего герпеса, вирус простого герпеса типа I, грипп типа В и эпидемический паротит. Это подтверждается как клиническими наблюдениями, так и экспериментальными исследованиями [380, 424]. Патогенез кохлеовестибулярного синдрома, характеризующегося эндолимфатическим гидропсом, остается предметом дискуссий. Наряду с теорией, связывающей его развитие с нарушением функции гематолабиринтного барьера на фоне повышенного внутричерепного давления [169, 495], рассматриваются аутоиммунные и врожденные этиологические факторы. Ключевым патофизиологическим механизмом, обуславливающим возникновение острых симптомокомплексов, считаются рецидивирующие микроразрывы стенок эндолимфатического мешка, прежде всего мембраны Рейснера, возникающие вследствие его патологического растяжения. Это приводит к нарушению концентрации ионов калия и потере мембранного потенциала, что, в свою очередь, и вызывает изменения слуха и развитие вестибулярной дисфункции [424].

Случаются ситуации, когда возникает лимитированный по площади эндолимфатический гидропс, например только в улитке, что приводит к появлению флюктуирующей низкочастотной сенсоневральной тугоухости без вестибулярных нарушений, что авторы считают характерным для «кохлеарной формы» синдрома Меньера. Wit H. и соавт. [577] показали, что мембраны перепончатого лабиринта в улитке и мешочке наиболее чувствительны к растяжению, что объясняет более частое обнаружение эндолимфатического гидропса именно в этих областях внутреннего уха. Исследования Jerin C. и соавт. [457] выявили наличие утрикуло-эндолимфатического клапана на передненижней стенке улиткового хода.

Авторы полагают, что этот клапан поддерживает анатомическую и гуморальную независимость *pars superior* (утрикулус и полукружных каналов) от *pars lower* (улиткового хода и саккулус), а также защищает внутреннее ухо от распространения эндолимфатического гидропса на все его структуры.

В настоящее время идет поиск критериев для прогноза дальнейшего течения заболевания в контексте соотношения слуховых и вестибулярных функций во внутреннем ухе. Это особенно актуально при возникновении флуктуирующей низкочастотной сенсоневральной тугоухости без явных вестибулярных нарушений.

Современными исследованиями идентифицирован комплекс прогностически неблагоприятных факторов при тугоухости. К ним относятся манифестация заболевания с кохлеарными симптомами (шум, заложенность), наличие субклинических вестибулярных дисфункций (включая спонтанный нистагм), высокая скорость прогрессирования эндолимфатического гидропса, а также инструментально подтвержденное (посредством МРТ с контрастированием и/или электрокохлеографии) вовлечение другого уха, даже при его бессимптомном течении [142, 447, 495].

В современной оториноларингологии активно исследуется влияние низкочастотных звуковых стимулов высокой интенсивности на структуры внутреннего уха в условиях наличия дегисценций (дефектов) костной капсулы лабиринта. Первоначально изменения, составляющие основу синдрома дегисценции верхнего полукружного канала (Superior Canal Dehiscence Syndrome — SCDS), идентифицировались преимущественно в его верхнем канале [383, 492]. Однако в дальнейшем аналогичные дефекты были описаны и в латеральном [305], и в заднем [433, 434] полукружных каналах.

Для описания патогенеза данного состояния в литературе утвердился термин «синдром третьего подвижного окна». Он подразумевает, что костный дефект лабиринта приводит к изменению гидродинамического сопротивления и перераспределению потока перилимфы в ответ на низкочастотные звуки высокой интенсивности (≥ 80 дБ). Это проявляется в аномальном смещении перилимфы из области овального окна в направлении круглого окна [244, 306, 379, 415]. В результате происходит диссипация акустической энергии в области круглого окна, что снижает градиент давления на базилярную мембрану улитки [244].

Аудиометрической характеристикой данного синдрома является костно-воздушный разрыв в низкочастотном диапазоне, трактуемый как «псевдокондуктивная тугоухость». Патогномоничным признаком служит

снижение порогов костного звукопроведения ниже нулевого уровня референсных значений (в диапазоне от 0 до — 20 дБ) на частотах 250 и/или 500 Гц. По мнению ряда исследователей, такое дополнительное отверстие в кости приводит к шунтированию акустической энергии и действует как «усилитель звука костной проводимости» преимущественно для интенсивных звуков на низких частотах [307, 379]. Более того, в результате наличия отверстия в капсуле лабиринта биомеханика внутреннего уха меняется настолько, что низкочастотные акустические стимулы высокой интенсивности могут создавать волну, которая при определенных обстоятельствах стимулирует и вестибулярные рецепторы [244]. Считается, что описанная ситуация нарушает функциональную независимость кохлеарного и вестибулярного отделов, что приводит как к изменению способа восприятия звуков, так и к головокружению в ответ на громкий звук [491].

Тесный контакт полостей среднего и внутреннего уха обуславливает возможность негативного влияния острых средних отитов (с выпотом или без) на условия среды в улитке в виде появления нейросенсорного компонента на фоне кондуктивной тугоухости. Именно интимная связь слухового и вестибулярного анализаторов в периферическом отделе привела к предположению, что нарушения функции одной из частей вестибулокохлеарного нерва не возникают изолированно, хотя клинические проявления дисфункции могут быть явными, хотя чаще — скрытыми [411, 441].

Патогенез кохлеовестибулярных расстройств, ассоциированных с острым средним отитом, остается предметом дискуссий, и точные механизмы их развития окончательно не установлены. В научной литературе доминируют несколько конкурирующих концепций. Согласно одной из них, ключевым фактором является изменение давления в барабанной полости, которое нарушает гидродинамику перилимфы внутреннего уха [344]. Согласно другой гипотезе ведущую роль играет накопление токсических продуктов воспаления в экссудате с последующей их диффузией через мембрану круглого и овального окон в структуры лабиринта [114, 137, 235, 384]. С другой стороны, в качестве основного патогенетического звена рассматривается оксидативный стресс, вызванный гипоксией тканей [111, 246, 537]. Согласно этой точке зрения, повреждение клеток является следствием активации процессов перекисного окисления липидов, метаболических нарушений и срыва клеточного гомеостаза.

Доказано, что вестибулярный анализатор очень чувствителен к таким повреждающим факторам, как интоксикация, гипоксия, ацидоз, ишемия, отек.

В эксперименте на вестибулярном органе крыс Tham R. и соавт. [557] показали, что химические восстановители повышают чувствительность вестибулярного анализатора, а окислители ее снижают. Наблюдая за перфузией волосковых клеток при добавлении различных химических веществ, они отметили изменение характера трансформации механического сигнала в электрический, что влияло на афферентную импульсацию. Аналогично, Gaddey H. L. и соавт [297] пришли к выводу, что доминирование окислительных процессов при воспалении в среднем ухе может объяснять механизм повреждения статоконий.

Экспериментальное моделирование острого гнойного среднего отита у морских свинок [235] продемонстрировало выраженные ультраструктурные изменения в волосковых клетках кортиева органа улитки. К числу наблюдаемых патологических изменений относились: дезориентация и частичная дегенерация стереоцилий, увеличение количества лизосом, агрегация элементов гладкого эндоплазматического ретикулума, а также повреждение поверхностей поддерживающих клеток. Максимальная выраженность деструктивных процессов регистрировалась на седьмые сутки эксперимента. К исходу первого месяца наблюдения отмечалось восстановление ультраструктуры поддерживающих клеток, в то время как дефекты стереоцилий носили необратимый характер.

Анализ взаимосвязи между слуховыми и вестибулярными нарушениями демонстрирует сложный и неоднозначный ее характер, однако единого мнения относительно патогенетических механизмов и клинических аспектов этих взаимных влияний до сих пор не достигнуто. Так, Ю. В. Митин [80] в ходе вестибулометрического исследования пациентов с острой вирусной сенсоневральной тугоухостью, не сопровождавшейся манифестными вестибулярными расстройствами, зафиксировал латентные нарушения вестибулярной реактивности. В 77 % случаев была выявлена гипорефлексия, а в 33 % — гиперрефлексия лабиринта. При этом автором отмечена выраженная корреляция между характером вестибулярной реактивности и прогнозом слуховой функции: восстановление слуха оказалось существенно более благоприятным в группе с нормо- и гиперрефлексией по сравнению с группой, где регистрировалась гипорефлексия.

В работе Савчук Л.А. и соавт. [102] установлено, что у пациентов со значительной по степени выраженности вирусной сенсоневральной тугоухостью наблюдается субклиническое снижение или полное отсутствие вестибулярной возбудимости при проведении калорического тестирования. Rambold H. и соавт. [233] констатировали, что в 60 % случаев сенсоневральная тугоухость любого

генеза комбинируются с вестибулярными нарушениями. Chonmaitree Т. и соавт. [565] и Cohen В. Е. и соавт. [204] выявляли у больных острым вирусным средним отитом, осложненным сенсоневральной тугоухостью, явные спонтанные вестибулярные расстройства в виде головокружения, грубого позиционного нистагма и даже полного выпадения функции лабиринта. По данным Lin С. Y. и соавт. [362], раннее возникновение сенсоневральной тугоухости на фоне острого среднего отита сопровождается поражением вестибулярного анализатора.

Согласно современным данным [5, 8], афферентация от полукружных каналов и отолитовых органов осуществляется при помощи двух разных пучков вестибулярного нерва: верхний пучок собирает информацию от переднего и горизонтального полукружных каналов, а также эллиптического мешочка, а нижний пучок — от заднего полукружного канала и сферического мешочка.

Кровоснабжение внутреннего уха совпадает с направлениями этих нервных пучков, за исключением одного обстоятельства: одна из ветвей лабиринтной артерии одновременно обеспечивает кровоснабжение структур, иннервируемых нижним вестибулярным пучком, и улитки [16]. Это анатомическое соответствие является основой для потенциальной визуализации симптомов поражения только одного из отделов вестибулярного анализатора. Например, при вестибулярном нейроните нередко наблюдается поражение верхнего вестибулярного нерва, что проявляется симптомами, связанными с дисфункцией горизонтального полукружного канала. Кроме того, прогрессирование патологического процесса может привести к вовлечению эллиптического мешочка, разрушению отолитовой мембраны и выделению кристаллов кальция, что клинически проявляется как доброкачественное пароксизмальное позиционное головокружение (отолитиаз, ДППГ) [16, 108].

С другой стороны, воспалительные или дисциркуляторные изменения в зоне иннервации нижней порции вестибулярного нерва часто обуславливают сочетанное поражение структур полукружного канала и улитки, что клинически манифестируется вестибулярной дисфункцией в сочетании с сенсоневральной тугоухостью. Общеизвестным является тот факт, что периферическое поражение преддверно-улиткового нерва во многих случаях проявляется комплексом симптомов, включающим головокружение, постуральную неустойчивость и одностороннюю сенсоневральную тугоухость [180, 528, 581].

1.2. Современные представления о нейрофизиологии равновесия тела

Известно, что вестибулярные ядра одной стороны мозга формируют тесные комиссуральные связи с гомологичными ядрами противоположной стороны. Унилатеральная активация рецепторов вестибулярного аппарата инициирует рефлекторное билатеральное перераспределение тонуса в постуральной мускулатуре, что составляет нейрофизиологическую основу вестибулоспинальных реакций [24, 231, 351, 356, 540].

Мотонейроны спинного мозга получают сигналы как от пирамидной системы, так и от периферических мышечных волокон конечностей [7, 24, 99]. Эти мотонейроны функционируют как регуляторы, преобразующие различные входные сигналы в управляющий сигнал для мышц. Указанное подчеркивает следующие моменты: 1) нарушения в эффекторных аппаратах центральной нервной системы, как правило, не приводят к чистым координационным расстройствам, а выражаются скорее в виде симптомов параличей, парезов и контрактур; 2) дисфункция в афферентных системах неизбежно вызывает нарушения движений атаксического типа, что связано с расстройствами координации.

У человека волокна из вестибулярных нервов в мозжечок идут не только прямым, но и непрямым путем, прерываясь в вестибулярных ядрах. Эксперименты с экстирпацией мозжечка показали, что после этого лабиринтные рефлексy сохраняются, но в то же время, получая импульсы от проприоцептивных систем, он может оказывать тормозящее действие на вестибулярные ядра [12, 38, 47, 48].

Наряду с сигналами из периферических отделов вестибулярной системы, центральные отделы головного мозга с участием парапонтинной ретикулярной формации [289, 290, 477, 480] обрабатывают и интерпретируют афферентные сигналы от зрительного анализатора. Работа зрительного нерва и глазодвигательного аппарата позволяет стабилизировать взгляд посредством следующих механизмов: 1) вестибулоокулярного рефлекса — при высокой частоте и скорости движений головы (или тела) относительно объекта; 2) плавного слежения — при наблюдении за движущимся предметом с относительно небольшой скоростью.

Стабилизация взора, обеспечиваемая этими механизмами способствует сохранению равновесия тела человека, то есть осуществляет статическую функцию стабилизации положения тела в пространстве и координации движений при его перемещении [24, 30].

Исследователями установлено, что полукружные каналы регистрируют точную скорость движения головы, генерируя и передавая нервный импульс к ядрам глазодвигательных нервов, которые приводят в движение глазные яблоки с той же скоростью, но в противоположном направлении [175, 523]. Показано, при одностороннем поражении полукружных каналов вследствие ослабления или отсутствия этого сигнала глаза двигаются медленнее, предмет виден нечетко, изображение дрожит (осциллопия) [175, 523]. При движении головой в сторону здорового лабиринта пациент сохраняет фиксацию на предмете, а в противоположном направлении при попытке удержания взора у него возникают скачкообразные движения глаз (саккады) [180, 408]. При двустороннем поражении периферического отдела вестибулярного анализатора такие саккады при поворотах головы фиксируются с двух сторон.

Механизмы подавления вестибулоокулярного рефлекса (ВОР) и плавного слежения практически идентичны, а их нарушения обычно сочетаются [325, 365, 559]. Оба механизма направлены на сохранение адекватной фиксации глаз на движущемся предмете одновременно с поворотами головы. Установлено, что для реализации ВОР необходима сохранность зрительной системы, визуального внимания и произвольной фиксации взгляда на предмете, а нарушение этих механизмов возникает только при центральных поражениях [175, 487, 493, 558].

Роль зрительной системы в поддержании постурального баланса продолжает оставаться предметом научного исследования. Ряд авторов подчеркивает значительный вклад зрительного анализатора в организацию позы и двигательного контроля, особенно в процессы сознательной регуляции и восприятия положения тела в пространстве [446, 494, 341]. Этот вклад обусловлен обширной репрезентацией зрительной информации в коре головного мозга и наличием многочисленных связей с ассоциативными областями. В других исследованиях выявлены конкретные корреляции между нарушениями равновесия и параметрами зрительной функции, включая остроту зрения, расстояние до наблюдаемого объекта, а также наличие глазодвигательных расстройств [76; 280, 569].

По мнению Тараканова А. В. и соавт. [26], показатели функции равновесия при открытых глазах мало зависят от пола и возраста, в то время как отключение зрительного контроля приводит к существенным изменениям, особенно в старшей возрастной группе. Они делают вывод, что оценку показателей равновесия нужно проводить обязательно с учетом качества зрительного контроля как у здоровых людей, так и при различной патологии. Тесты с оптокинетической стимуляцией

позволили авторам установить роль зрения в определении гравитационной оси, так как траектория движения мишени под углом к реальной оси притяжения воспринималась зрительным анализатором как нормальная вертикаль, что, как они считают, вызывало отклонение тела в ту же сторону [77, 260].

В поддержании пространственной устойчивости человека принимает также участие и система проприорецепции, так как дает возможность регулировать положение тела в пространстве за счет сохранения центра тяжести внутри границ площади опоры посредством непрерывной активности опорно-двигательного аппарата [389]. Интересно, что термин «проприоцепция» для описания кинестетического чувства, то есть ощущения положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве предложил Шеррингтон Ч. С. еще в 1906 г. [472]. Признано [58, 77, 113, 351, 578], что условия поддержания вертикальной позы человека отличаются особой сложностью — малой площадью опорной поверхности, большим числом шарнирных соединений и высоким расположением центра тяжести, а величина опорного контура определяется размером стоп и углом между их продольными осями. По мнению Гаже П.-М и соавт. [30, 298], центр тяжести обычно находится на расстоянии от пола, составляющем 55 % от роста человека. Постуральная система созревает приблизительно к 16 годам и остается почти неизменной до 55–60 лет, далее снова следует снижение функциональных возможностей [2, 24].

Доказано, что при регуляции вертикальной позы человека в покое, кроме зрительной информации, равновесие поддерживается антигравитационной мускулатурой (мышцами-разгибателями позвоночного столба, нижних конечностей), рефлексом на растяжение мышц передней и задней поверхности голени, а также информацией о контакте стопы с опорой [24, 389]. При этом, когда человек стоит, соответствующие сигналы идут от кожи ступней, когда он лежит, — от кожи спины и т. д. По мнению Дзяк Л. А. и соавт. [40], Гаже П.-М. и соавт. [30], Брандт Т. и соавт. [15] в покое регуляция происходит на уровне вестибулярных ядер ствола головного мозга и ретикулярной формации, испытывающих непосредственные нисходящие влияния медиальных отделов (червя) мозжечка, которые и получают указанную афферентную информацию. Этими же авторами показано, что к числу соматических тонических рефлексов лабиринтного происхождения относятся рефлекс позы, направленные на мышцы шеи, конечностей, туловища и глазные мышцы.

Динамика двигательного акта, включая изменение его направления, сопряжена со смещением точки опоры и модификацией позы, что может приводить к нарушению

постуральной устойчивости и повышению риска падения. Так, высокоскоростная вестибулярная афферентация обеспечивает экстренную коррекцию равновесия при внезапной потере стабильности [24]. Проприоцептивная афферентация, характеризующаяся средней скоростью проведения сигнала, модулирует тонус мышц-сгибателей и разгибателей в процессе локомоции, в то время как зрительная афферентация выполняет предиктивную функцию, подготавливая систему постурального контроля к изменениям внешней среды.

Организация динамического и позного контроля отличается значительной сложностью, поскольку его эффективность зависит от адекватного выбора позной стратегии, осуществляемого при участии базальных ганглиев [9, 40, 105]. При этом коррекция положения тела относительно площади опоры часто инициируется на досознательном уровне, и соответствующие сигналы к мышечным группам поступают раньше, чем активируются высшие интегративные центры коры головного мозга [571].

Постуральная ориентация обеспечивает регуляцию положения туловища и мышечного тонуса по отношению к четырем ключевым референтным системам: 1) вектору гравитации, 2) характеристикам опорной поверхности, 3) визуальному окружению и 4) внутренним сенсорным ориентирам. Для оценки вклада проприоцептивной афферентации в поддержание вертикальной позы исследователи применяется методика дестабилизации опоры (использование нестабильных платформ, материалов различной жесткости, специальных подушек), что создает условия для целенаправленного ограничения постурального контроля [128, 414].

На сегодняшний день дискуссионной остается предложенная Winter D. A. и соавт. [393] теория регуляции позы — «концепция перевернутого маятника», где высказано обоснование «голеностопной» и «тазобедренной» стратегии поддержания стабильной вертикальной позы. [63, 148, 389]. Сторонники этой теории [34, 208, 388, 461] считают, что медленные движения туловища компенсируются преимущественно за счет изменения угла в голеностопном суставе («голеностопная стратегия» — *ankle strategy*). При быстром изменении направления движения тела или стоянии на узкой опоре задействуется «тазобедренная стратегия» (*hip strategy*), в которой основная роль в стабилизации отводится тазобедренному суставу. Авторы считают, что при спокойном стоянии реализуется голеностопная стратегия стабилизации позы как наиболее близкая к условию отсутствия внешних раздражителей.

В то же время исследования Ivanenko Y. и соавт. [345], Sato Y. и соавт. [375] частично опровергают эту теорию, поскольку, по их данным, среднее отклонение

общего центра давления (ОЦД) на стабилограмме в сторону от центральной оси при спокойном стоянии испытуемого не зависит от расстояния центра тяжести до поверхности опоры.

Вероятно, нейрофизиология центральных отделов вестибулярной системы устроена даже сложнее, чем описано выше. Активно изучается механизм вестибулярной компенсации — адаптивный процесс, обеспечивающий постепенное исчезновение симптомов периферического вестибулярного поражения [1, 16, 287, 288, 351]. Авторы считают, что процесс развития центральной компенсации при утрате/угнетении функции лабиринтов связан с тем, что вестибулярные ядра «берут на себя» функцию лабиринтов [319, 314, 315].

Участие вестибулярной системы в модуляции когнитивных процессов, в связи с чем ее патология может приводить к специфическим нарушениям пространственной памяти, способности к обучению и навигационного поведения подтверждается рядом работ [27, 174, 231, 322]. На моделях грызунов [24, 476] продемонстрирована критическая роль сохранной вестибулярной функции в обеспечении пространственной памяти и навигации. Ключевым условием успешной реализации этих процессов является непрерывное обновление внутренней модели окружающего пространства и позиции индивидуума в пределах всех референтных систем координат (аллоцентрической, эгоцентрической и гравичесентрической) [292].

Согласно данным Previc F.H. и соавт. [516], хроническая двусторонняя периферическая вестибулярная недостаточность вызывает устойчивые нарушения пространственной памяти, ориентации и навигации. При этом сочетание постуральной неустойчивости и когнитивного дефицита характерно для различных форм церебральной патологии, включая нейродегенеративные и сосудистые заболевания [51, 85].

Существенный вклад в поддержание постурального баланса вносят лобные доли головного мозга [2, 20; 174, 381, 486], которые обеспечивают формирование моторных программ, инициацию и поддержание двигательного акта, а также осуществляют коррекцию движения путем соотнесения запланированного и реального двигательного действия. Связи лобных долей с ретикулярной формацией, таламусом и базальными ганглиями обеспечивают постоянную готовность к действию, фоновую активность системы [174, 241, 368].

Таким образом, поддержание пространственной ориентации и постурального контроля осуществляется за счет интеграции мультисенсорной афферентации, включающей вестибулярную, проприоцептивную и зрительную сенсорные

системы. Афферентные потоки от указанных модальностей генерируются синхронно и интегрируются на различных уровнях центральной нервной системы — от стволовых структур до корковых центров. Значимость каждой из сенсорных модальностей зависит от конкретной ситуации (открытые или закрытые глаза, твердая или мягкая поверхность и т. д.) и может меняться при различной степени их сохранности, причем афферентное одной модальности раздражение должно быть обязательно подтверждено сигналом из другой модальности для окончательной проверки в корковых структурах головного мозга и генерации адекватного ответа. Такая функциональная системность позволяет отражать не отдельные свойства пространственных отношений, а их целостную совокупность, что является наиболее эффективной формой поведения организма в его взаимодействии с внешней средой. Вместе с тем, несмотря на обширные знания в области вестибулологии, отоневрологии, нейрофизиологии и большой практический опыт, остается ряд вопросов о механизмах взаимодействия отдельных частей как внутри вестибулярной системы, так и с другими сопряженными структурами.

1.3. Анализ современных методов дифференциальной диагностики степени нарушений функции равновесия и контроля реабилитационных мероприятий

Своевременная и точная топическая диагностика уровня поражения вестибулярного анализатора является ключевым фактором, определяющим успех реабилитационных мероприятий и потенциал компенсации утраченных функций. С клинической точки зрения, вестибулярная дисфункция классифицируется по уровню поражения (периферического или центрального генеза) и характеру течения (острое или хроническое) [11, 14, 22, 93, 95, 384, 553].

В компетенцию врача-оториноларинголога входит проведение дифференциальной диагностики между центральными и периферическими вестибулярными расстройствами, а также терапия и реабилитация пациентов с патологией периферического отдела. Анатомически периферический отдел вестибулярного анализатора представлен тремя полукружными каналами, преддверием лабиринта, а также верхним и нижним вестибулярными нервами с обеих сторон [8, 11, 79, 60].

Основополагающим этапом диагностики нарушений равновесия и при иной патологии, служит тщательный сбор жалоб и анамнеза заболевания. Важно отметить,

что для многих нозологических форм, сопровождающихся головокружением и статокординаторными расстройствами, характерны специфические симптомокомплексы, анализ которых позволяет определить первоочередные векторы углубленного обследования [14, 57, 60, 70, 71, 78, 84,].

При поражении периферического отдела ВА характерно «вращательное головокружение», которое пациенты описывают как иллюзию движения, т.е. ощущение движения предметов или самого тела в той или иной плоскости [16, 70, 174, 175]. При этом, что истинное вращательное головокружение обычно сопровождается нарушением равновесия, неустойчивостью походки, тошнотой и даже рвотой.

При сборе анамнеза следует уделять внимание следующим аспектам головокружения и нарушения равновесия:

- тип головокружения или вертиго (вращательное, маятникообразное, неустойчивость или шаткость, а также феномены типа «мелькания мушек перед глазами»);
- продолжительность эпизодов (от секунд до нескольких дней);
- частота возникновения приступов;
- провоцирующие факторы (повороты или наклоны головы и туловища, визуальная стимуляция, громкие звуки, психоэмоциональный стресс);
- сопутствующие симптомы, не имеющие вестибулярного происхождения (например, онемение конечностей или головная боль) [16, 24, 81, 175].

Также, пациентом с вестибулярной дисфункцией могут предъявляться жалобы на нечеткость, размытость визуальной картинки во время ходьбы и поворотах головы (осцилопсии), ощущение «мягкой поверхности» под ногами, усиление шаткости в сумеречное время суток [31, 32, 37, 57, 60, 70, 93, 167].

Так как адекватным раздражителем периферического отдела ВА является угловое, прямолинейное и гравитационное ускорение, то патофизиологически объяснимым является факт, что любое раздражение в этом отделе провоцирует появление вестибулярной симптоматики [32, 70, 174, 488]. При этом, достаточно серьезным и диагностически значимым симптомом является одновременное снижение слуховой функции, которое свидетельствует о периферическом происхождении исследуемой патологии [228, 488]. Именно данные анамнеза помогают определить, к какому специалисту (невропатологу, кардиологу или отоларингологу) должен быть направлен пациент.

При обращении пациентов с жалобами на головокружение и нарушение равновесия к оториноларингологу стандартный диагностический алгоритм включает комплексное обследование ЛОР-органов с проведением отомикроскопии и эндоскопии полости носа. Обязательным компонентом диагностического протокола является скрининговое отоневрологическое исследование, целью которого служит верификация степени вовлеченности вестибулярного анализатора в патологический процесс [19, 21, 70; 121, 398].

Согласно позиции В. Т. Пальчуна и соавторов (2015) [94], современный стандарт отоневрологического обследования в обязательном порядке предусматривает:

- измерение наклона головы и положения глаз. Выявление и характеристику патологического нистагма;
- исследование глазодвигательных функций: саккад, плавного слежения, вестибуло-окулярного рефлекса и оптокинетического нистагма;
- проведение позиционных и провокационных проб (проба с гипервентиляцией, тест встряхивания головы, пробы де Клейна);
- оценку статики и постурального контроля;
- исследование слуховой функции.

Мнения специалистов в области оториноларингологии как в России, так и за рубежом сходятся в признании высокой диагностической значимости нистагма в структуре отоневрологического исследования [6, 94, 107, 488]. При этом механизмы возникновения нистагма продолжают активно изучаться.

На сегодняшний день оценка нистагма может осуществляться как субъективным способом в ходе рутинного осмотра, так и с использованием различных диагностических инструментов, таких как очки Frenzel (увеличительные линзы с оптической силой +16...+20 диоптрий), а также электро- и видеонистагмография [25, 69]. Нистагм определяется как «непроизвольные ритмичные движения глазных яблок», «движения глаз в различных плоскостях и направлениях, не поддающиеся контролю», «тремор глазных яблок» и «непроизвольные колебания глазного яблока, инициируемые патологическим медленным движением и сопровождаемые коррективным быстрым движением». С одной стороны, нистагм может наблюдаться у здоровых индивидов (например, при врожденном, оптокинетическом, калорическом или вращательном нистагме, а также при установочном нистагме) и иметь физиологический характер. С другой стороны, в большинстве случаев нистагм является индикатором дисбаланса

в вестибулярной системе, которая в норме должна поддерживать равновесие, подобно чашам весов [6, 107]. Считается, что происхождение нистагма филогенетически связано с необходимостью удерживать изображение окружающих объектов на сетчатке при угловых движениях головы (поворотах, вращениях) для того, чтобы не утратить ориентации в пространстве, а степень нистагма сильнее при взоре в сторону быстрого компонента [3, 17]. У пациента, находящегося в вертикальной позе, при периферическом поражении вестибулярного анализатора возможен только однонаправленный горизонтальный или с ротаторным компонентом нистагм разной степени, быстрый компонент которого всегда направлен в сторону более возбужденного лабиринта (нистагм «раздражения» или «угнетения») [6, 14, 32, 60, 71, 324, 487].

Согласно «закону Александра» (“Alexander’s Law”) характерным признаком периферического нистагма является увеличение интенсивности нистагма при взгляде в сторону его быстрого компонента [141]. Напротив, наличие у пациента спонтанного разнонаправленного, в зависимости от направления взора, нистагма является важным признаком центральной вестибулярной дисфункции. Известно, что происхождение разнонаправленного спонтанного нистагма связывают с изменениями в областях, ответственных за удержание взора, и развивающимися вследствие поражения ствола мозга или мозжечка [44, 192, 324]. Также необходимо учитывать, что такие глазодвигательные реакции, как функция плавного слежения взора, саккады, конвергенция, никогда не нарушаются при периферической вестибулярной дисфункции [93].

Необходимость проведения эффективной диагностики острого вестибулярного синдрома (ОВС) в режиме «у постели больного» сохраняет свою актуальность [83, 96, 182, 348]. Для облегчения дифференциальной диагностики между наиболее частыми причинами ОВС — вестибулярным нейронитом и вертебробазилярным инсультом — были предложены стандартизированные диагностические алгоритмы, такие как STANDING и HINTS [181, 386, 340].

Алгоритм STANDING включает:

- ☐ оценку наличия и типа нистагма (спонтанный, позиционный, отсутствие нистагма);
- ☐ оценку направления нистагма,
- ☐ тест быстрого импульсного движения головы (тест Хальмаги — Кертойза),
- ☐ оценку пациента в положении стоя и при ходьбе [232]. Алгоритм HINTS включает оценку:

- теста быстрого импульсного движения головы (теста Хальмаги — Кертойза),
- нистагма,
- теста косой девиации взора при попеременном закрывании глаз [321, 349].

Регистрация корригирующих саккад при выполнении теста Хальмаги—Кертойза чаще свидетельствует о периферическом генезе вестибулярной дисфункции [229, 282, 309, 400, 532]. Напротив, положительный ответ при проведении теста косой девиации взора при попеременном закрывании глаз является маркером центральной вестибулярной дисфункции и может свидетельствовать о поражении ствола мозга и/или мозжечка [400]. Тем не менее в ряде клинических сценариев положительный тест Хальмаги-Кертойза с двух сторон наблюдается при центральной вестибулярной дисфункции и свидетельствует о повреждении центральных путей вестибулоокулярного рефлекса, например при поражении зоны входа вестибулярного нерва в ствол мозга [532].

Способность при помощи зрительной фиксации подавлять периферический нистагм, с одной стороны, стимулировала исследование механизмов данного феномена, а с другой — инициировала разработку диагностических методик [71, 155]. К ним относятся: 1) приемы устранения фиксации взора (с использованием очков Frenzel) и 2) методы автоматизированной регистрации и компьютерного анализа нистагма, такие как электронистагмография и видеоокулография [347]. В настоящее время эти подходы нашли широкое применение как в клинической практике обследования пациентов с головокружением и нарушениями равновесия, так и в научных исследованиях [73, 221, 271, 302, 394].

В практической деятельности врача при проведении отоневрологического исследования обосновано использование очков Frenzel, которые не только резко увеличивают изображение, но и подавляют фиксацию взора. При одностороннем периферическом поражении ВА одевание этих очков позволяет выявить слабо выраженный нистагм или даже усилить его амплитуду, особенно если попросить пациента совершать энергичные повороты головой в стороны в горизонтальной плоскости. [16, 18, 46, 173, 488]. В то же время нистагм центрального происхождения не изменится, а врожденный даже исчезнет.

Метод электронистагмографии основан на регистрации разности потенциалов между роговицей и сетчаткой глаза (корнеоретинальный потенциал), возникающей при движении глазного яблока. Запись глазодвигательных реакций выполняется как при открытых глазах, так и при закрытых глазах также с устранением фиксации взора [66, 68, 69, 372].

В основу видеонистагмографии положен метод видеофиксации движения зрачка глаз с последующей компьютерной обработкой полученной информации и автоматическим расчетом полученных данных. Он позволяет объективно оценить:

- ☐ функцию медленных следящих движений глаза,
- ☐ саккады,
- ☐ оптокинетический нистагм,
- ☐ спонтанный нистагм без фиксации взора/с фиксацией взора,
- ☐ позиционный нистагм,
- ☐ цервикальный нистагм в позе де Клейна,
- ☐ посткалорический нистагм.

Для исследования двигательного-координаторной сферы человека традиционно применяют следующие пробы:

- ☐ пальце-носовую,
- ☐ пальце-пальцевую,
- ☐ Барре — Фишера,
- ☐ пробы на дисдиадохокinez,
- ☐ исследование фланговой походки,
- ☐ исследование стояния в позе Ромберга простой и усложненной (с использованием поролонового коврика),
- ☐ Унтербергера
- ☐ исследование ходьбы по прямой с открытыми/закрытыми глазами.

Диагностическая эффективность вестибулоспинальных тестов, по данным литературы, уступает глагодвигательным и позиционным пробам [46, 84, 95, 132, 133, 172, 416]. Вместе с тем, существенным их преимуществом является отсутствие необходимости в специализированном дорогостоящем оборудовании, хорошая переносимость пациентами и доступность для выполнения врачами различных специальностей. В работах Довлатовой Е. А. и соавт. [46] и Насретдиновой М. Т. и соавт. [83] на основе анализа чувствительности и специфичности указанных проб у пациентов с верифицированными вестибулярными расстройствами различной этиологии, показано, что наиболее информативными при периферическом поражении ВА являются пальценосовая проба, проба Ромберга и тандемная ходьба. Это согласуется с данными других авторов [16, 172, 416].

Проба Ромберга сохраняет статус базового элемента в алгоритмах современного отоневрологического исследования [77, 86], поскольку обладает особой

диагностической ценностью при выявлении односторонних вестибулопатий [312]. Согласно данным литературы, здоровый человек способен сохранять статическую позу в течение 30 секунд и более в стандартных условиях пробы (пятки вместе, носки врозь) как с открытыми, так и с закрытыми глазами [16, 37, 205, 256, 296]. При выполнении усложненных вариантов пробы (например, тандемная поза Ромберга) в течение аналогичного временного интервала допускаются невыраженные постуральные колебания, преимущественно во фронтальной плоскости. Эти колебания чаще наблюдаются у нетренированных лиц или пациентов пожилого возраста, но не приводят к потере устойчивости [283, 345]. Установлено, что при периферическом поражении ВА возникает устойчивое отклонение туловища в сторону гипофункции лабиринта [95, 110, 172, 327]. Характерным диагностическим признаком вестибулярной гипофункции служит значительное усиление этого отклонения при исключении зрительного контроля (закрывании глаз). Исследование ходьбы по прямой с открытыми/закрытыми глазами — еще один базовый элемент отоневрологического обследования, оценку которого производят визуально либо с помощью регистрирующих устройств. Здоровый человек, пройдя 5 метров с закрытыми глазами, обычно отклоняется от срединной линии не более 10-15 см. У пациентов с поражением лабиринта наблюдается «зигзабообразная походка», с отклонением от прямой линии 50–100 см [11].

Калорическое тестирование (КТ) является инструментом, который позволяет оценить с двух сторон функциональное состояние латеральных полукружных каналов (ЛПК) [149, 211, 369, 440]. Однако известно, что КТ не позволяет проводить оценку функционального состояния вертикальных полукружных каналов и отолитового аппарата [176, 471]. Посредством КТ определяется уровень реакции вестибулярной системы с каждой стороны на предъявляемый температурный стимул [152, 387]. На сегодняшний день «золотым стандартом» в обследовании пациентов с головокружением и нарушением равновесия остаются битермальные калорические пробы (БКП), хотя единого мнения по методике выполнения и регистрации результатов пока не достигнуто [209, 308, 418, 479, 489]. Так, Shepard N. T. и соавт. [471] считают, что тепловой стимул меняет температуру среднего уха и, как следствие, плотность эндолимфы, вызывая ее конвекционные токи. Это вызывает подъем эндолимфы в ЛПК и ее ампулопетальный ток, приводящий к возбуждению лабиринта. Холодовая стимуляция, напротив, увеличивает плотность эндолимфы, что вызывает ее ампулофугальный ток в ЛПК и, следовательно, торможение лабиринта. Конвекционные токи эндолимфы

воздействуют на волосковые клетки ампулярного аппарата, изменяя их потенциал действия, инициируя вестибулоокулярный рефлекс (ВОР) и вызывая вестибулярный нистагм. Lopez С. и соавт. [367] считают, что эффективная стимуляция волосковых клеток ампулярного аппарата достигается при воздействии на человека углового ускорения с частотой от 1 до 6 Гц, а конвекционный ток эндолимфы внутри ЛПК при КТ вызывает их стимуляцию аналогично угловому ускорению с частотой 0,003 Гц. Поэтому они пришли к выводу, что при КТ оценка функционального состояния внутреннего уха проводится не в области физиологических частот лабиринта.

Согласно альтернативной гипотезе, тепловая и холодовая стимуляция оказывают влияние на мышцы среднего уха, соответственно, увеличивая или уменьшая их напряжение и таким образом меняя силу давления подножной пластинки стремени на жидкости лабиринта [160]. Изменение гидравлического давления жидкости лабиринта в свою очередь вызывает возбуждение волосковых клеток и приводит к появлению нистагма. Автор делает заключение, что КТ является проверкой температурной чувствительности мышц среднего уха и этим объясняет возможность получения аномальных калорических ответов при неповрежденной вестибулярной системе.

Фактором, влияющим на результаты КТ, могут быть и анатомические особенности строения височной кости. Так, небольшой размер сосцевидного отростка и его высокая пневматизация значительно увеличивают теплообмен в среднем ухе [190], а вариабельность строения височных костей с двух сторон у одного отологически здорового субъекта может объяснить лабиринтную асимметрию (ЛА) (более 25 %), полученную при проведении битермального калорического тестирования (БКТ) [130]. Свои выводы авторы сделали на основании обследования отологически и неврологически здоровых лиц с асимметричным ответом, полученным при проведении БКТ посредством водной стимуляции температурой 44 и 30 °С и анализа данных компьютерной томографии височных костей с 3D-моделированием этих же испытуемых. Вопрос о температуре и качестве применяемого при выполнении БКТ-агента (вода или воздух) остается дискуссионным Jongkees L. И коллеги [347] при проведении БКТ использовали водную стимуляцию с температурой стимула 30 и 44 °С, что позволило им установить нормативные показатели латентного ответа для отологически и неврологически здоровых индивидов в пределах 20 % различия в нистагмографическом ответе между обеими сторонами. Согласно данным других литературных источников, референтные значения ЛА отологически

и неврологически здоровых лиц разных возрастных групп находятся в пределах от 20 до 33 % [284, 285, 291, 342, 471]. Исследователи, предпочитающие воздушную калоризацию [342, 369, 479], к недостаткам водной калоризации относят:

- невозможность выполнения КТ с водным орошением у пациентов с перфорацией барабанной перепонки;
- водная калоризация симулирует у пациента более выраженные вегетативные реакции;
- требуется специальное техническое оснащение для подключения воды.

При проведении объективной оценки вестибулярной функции другие исследователи [134, 284, 285] предпочитают выполнение воздушной калоризации, хотя протоколы ее проведения различны. Например, Bell S.L. и соавт. [135]; Falls C. и соавт. [281], Liang Y. F. и соавт. [200] предлагают воздушную ирригацию со скоростью потока воздуха 0,8 л/мин при температуре 50 и 24°C в течение 60 секунд. Jałocha-Kaszka A. A. и соавт. [466] использовали 1) температуру воздуха 45,5 и 27,5 °C в течение 100 секунд с потоком воздуха 13 л/мин или 2) температуру воздуха и 42°C в течение 80 секунд с потоком воздуха от 7 до 8 л/мин. Авторы пришли к выводу, что оптимальные параметры воздушной калоризации могут варьировать.

Интерпретация результатов БКТ проводится посредством сравнения показателей средней скорости медленной фазы (СМФ) калорического нистагма для всех четырех ирригаций. В основе оценки результатов БКТ лежит принцип, что у неврологически и отологически здорового человека лабиринты реагируют на калорическую стимуляцию симметрично и количественно измеряемая реакция вестибулярных лабиринтов соответствует пределам известного нормативного диапазона [43, 471]. Показателем патологии служит наличие асимметрии в реакциях, полученных в результате калорической стимуляции с двух сторон. Снижение процентного уровня калорической реактивности, с одной стороны, по отношению к другой более 25 % называется лабиринтной асимметрией (ЛА) и свидетельствует о наличии односторонней периферической вестибулярной гипофункции [209].

Вариабельность ответов в исследованиях, посвященных КТ, указывает на необходимость дальнейших исследований для определения оптимальных температур и других параметров. Различия в протоколах и полученных результатах могут быть связаны как с индивидуальными особенностями пациентов, так и с методическими различиями между исследованиями. Это создает необходимость в стандартизации процедур, что позволит улучшить воспроизводимость и сопоставимость результатов. Дополнительные исследования могут помочь более

точно определить оптимальные условия для воздушной калоризации, что, в свою очередь, повысит эффективность оценки вестибулярной функции и поможет разработать более точные диагностические и терапевтические критерии.

Компьютерная стабилметрия (КС) представляет собой неинвазивный, объективный и высокоинформативный метод оценки функции равновесия, позволяющий применять тест Ромберга. Метод КС позволяет количественно анализировать функционирование системы постурального контроля на основе параметров взаимодействия пациента с опорной поверхностью. Исследование оценивает широкий спектр физиологических показателей, включая скорость и точность постуральных реакций, длительность статической нагрузки, а также траекторию колебаний общего центра давления (ОЦД) в условиях покоя и при выполнении диагностических тестов. Диагностическим важным компонентом является проведение исследований при искусственном выборочном ограничении естественной сигнализации от сенсорных систем (зрительной, проприоцептивной), что позволяет проводить качественный и количественный анализ полученных данных [77, 86, 145].

КС нашла широкое применение в физиологии не только для изучения функции равновесия у здоровых лиц, но и для изучения факторов, влияющих на устойчивость человека в норме и патологии [28, 65, 82, 115, 117, 154, 219, 483]. Чувствительность КС подтверждается регистрацией изменений постуральной стабильности при открытии и закрытии глаз даже в условиях отсутствия визуального контроля (абсолютной темноте), что свидетельствует о вкладе иных, незрительных механизмов в постуральный контроль [36].

Определение координационных способностей методом КС у здоровых молодых людей, прошедших курс физической подготовки, показало [75], что у юношей и девушек одного возраста имеются различия в показателях возможности улучшения баланса и равновесия. Было отмечено, что тренировка проприоцептивного управления мышцами бедра и туловища у юношей происходит быстрее и в большей степени, чем у девушек.

В работах Тараканова А. В. и соавт. [26] показано, что оценка параметров КС без учета влияния зрительного контроля, возраста и пола может привести к ошибочным утверждениям при сравнении пациентов с группой здоровых лиц. Nougier V. и соавт. [215], Gavin P. Lawrence и соавт. [498] оценивали влияние периферического и центрального зрения на функцию равновесия методом КС. По их мнению, центральное (колбочковое, дневное) зрение оказывает большее влияние

на контроль движений во фронтальной плоскости (в условиях недостаточности соматосенсорной информации), а периферическое (палочковое, темновое) — на контроль колебаний в сагиттальной плоскости.

Для создания визуального конфликта Скворцов Д. В. и соавт. [106] применяли оптокинетическую стимуляцию (ОКС) и пришли к выводу, что для избегания искажений полученных результатов важно выполнение стандартных условий пробы, а именно:

- прямое положение головы обследуемого,
- положение центра монитора с ОКС на уровне глаз испытуемого и
- соблюдение заданного расстояния между глазами и монитором.

С этой же целью на голову пациента, стоящего на стабилметрической платформе с открытыми глазами, надевали специальный купол, оставляющий свободным только нижнюю часть периферического зрения [482]. С целью исключения влияния периферического зрения на параметры КС можно использовать очки виртуальной реальности [42, 278].

При изучении влияния отолитового аппарата на функцию статического равновесия человека в положении «стоя, ноги на ширине плеч» (американская стойка) методом КС показано, что в этом положении влияние отолитового аппарата на смещение туловища во фронтальной плоскости минимально, а в сагиттальной плоскости значительно [74].

Известно, что в состоянии «глаза закрыты/стойка на твердой поверхности» (тест Ромберга) в поддержании равновесия принимают участие вестибулярная и проприоцептивная сенсорные системы, а влияние зрительного анализатора исключено. Для частичного снижения проприорецептивного чувства на стабилметрическую платформу кладут коврик из мягкой пенистой резины или полимера с аналогичными свойствами, что снижает импульсацию от механорецепторов давления на подошвенной поверхности стоп и суставных рецепторов, но не влияет на работу рецепторов мышц, что имеет существенное значение для коррекции колебаний тела [191]. В состоянии «глаза закрыты/на поролоновом коврике» можно оценить функцию равновесия с исключением влияния зрительного анализатора и частичным ограничением влияния проприоцептивного анализатора.

В последние годы большое внимание уделяется валидности и обоснованности трактовок результатов КС с учетом:

- стандартизации технических требований к стабилметрическим платформам,
- метрологического контроля,

- выбора информативных методик,
- унификации методов расчета показателей КС [35, 64].

Применение КС в клинической практике врача-оториноларинголога обозначено в Приказе Минтруда России от 04.08.2017 № 612н «Об утверждении профессионального стандарта «Врач-оториноларинголог» (коды А/01.8 и А/03.8).

В ряде исследований при помощи КС проанализирована вероятность развития вестибулярных нарушений у взрослых и детей с острым средним отитом на доклиническом уровне [100, 222, 277, 481]. Так, Ben-David J. и соавт. [275] показали, что у детей, имеющих острый средний отит с выпотом, параметры КС значительно отличаются от параметров КС здоровых детей, однако в других работах это не подтверждалось [536].

Разрабатываются способы топической диагностики уровня вестибулярных нарушений при помощи КС на основе анализа амплитудно-частотного спектра стабилотраммы [61]. Показано, что при периферическом поражении вестибулярного аппарата уровень спектра частот стабилотраммы смещается в область низких частот (от 0,1 до 0,5 Гц), при центральных поражениях, напротив, отмечается преобладание высокочастотных осцилляций (от 0,3 до 2,0 Гц). Кручинин П. А. и соавторы [62,63] обосновали возможность оценки энергетических затрат на поддержание человеком вертикальной позы при помощи КС и математической модели «перевернутого маятника». Авторами проанализированы корреляции между размахом колебаний по фронтالي и сагиттали, средней скорости перемещения центра давления и ее проекции на фронтальную и сагиттальную оси, индексом энергозатрат и показателями, традиционно используемыми в стабилотрии. Это позволило выявить корреляционную связь между параметрами механической работы и КС.

Таким образом, современный уровень объективности регистрации данных позволяет в настоящее время осуществить проведение комплексного исследования функции вестибулярного аппарата и равновесия человека.

1.4. Современные подходы к реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией

Лечение пациентов с ПВД, предъявляющих жалобы на головокружение и нарушение равновесия, является сложной задачей [19, 54, 124, 194, 227, 478]. Важным компонентом терапии этой группы пациентов является ВР [22,109, 158, 161]. Эффективность ВР подтверждена многочисленными исследованиями [257, 320,

374, 430, 508, 575, 576]. ВР включена в международные рекомендации и протоколы комплексного лечения пациентов с ПВД [22; 550; 529; 101]. Физиологической основой ВР являются механизмы функциональной перестройки центральной нервной системы, получившие название центральной компенсации (ЦК), которые возникают в ответ на повреждение вестибулярной системы [103, 529]. Восстановление статической вестибулярной функции при ВР происходит достаточно быстро (5–7 дней), для динамической требуется больше времени (месяцы), при этом полное восстановление динамической составляющей не всегда происходит в полном объеме [264, 469, 490, 537].

Впервые ВР была предложена английскими врачами Cawthorne Т. и Cooksey F. S. В 1940-е гг. [218]. К выводу об эффективности ВР авторы пришли по результатам наблюдения за ранеными с травмами головы, страдающими нарушением равновесия и неустойчивостью. Более быстрый процесс восстановления наблюдается у более активных (подвижных) пациентов [218]. Опыт работы с этой группой раненых и лег в основу разработки основных принципов ВР, сохраняющих свою актуальность и в настоящее время [529, 265]. Позднее в эксперименте на животных с односторонним периферическим повреждением ВА было показано, что ограничение двигательной активности в первые 1-3 недели замедляет период реабилитации [580]. В дальнейшем было установлено, что седативные препараты замедляют, а стимулирующие ЦНС — ускоряют ВР [52, 279, 470].

Процесс ВР требует сложной мультисенсорной интеграции [91, 220, 247, 511], поэтому у пациентов с когнитивными нарушениями, тревожно-депрессивными состояниями, а также в пожилом возрасте увеличиваются сроки достижения компенсации [252, 268, 436], однако есть данные, не подтверждающие это [252, 343].

Проведение ВР показано пациентам с ПВД, когда компенсации/восстановления нарушенных функций не происходит или она неполная, а само заболевание не прогрессирует. Ее включают в комплексную терапию:

- вестибулярного нейронита [266, 456, 553];
- двусторонней вестибулярной гипофункции (ДВГ) [101];
- доброкачественного позиционного головокружения (ДППГ) [177];
- стойкой гипофункцией вследствие перенесенного лабиринтита, хирургического лечения вестибулярной шванномы [199, 224, 529].

У пациентов с болезнью Меньера считается возможным применение приемов ВР в межприступный период [509; 506], хотя есть работы, в которых ее эффективность при этой патологии является недоказанной [507].

Противопоказаниями к выполнению ВР является:

- наличие перилимфатической фистулы лабиринта;
- прогрессирующее заболевание периферической вестибулярной системы [41, 52].

Механизм вестибулярной адаптации (ВАД) реализуется за счет центральной компенсации дисбаланса афферентной импульсации, генерируемой периферическими вестибулярными структурами [582, 583]. Целью ее является коррекция стабилизации взора при нарушениях вестибулоокулярного рефлекса (ВОР) во время движений головы, что требует активного участия пациента [89, 189, 206, 310, 377]. ВАД реализуется за счет методик, основанных на упражнениях с фиксацией взгляда на объекте во время движения головы в горизонтальной или вертикальной плоскости, или при визуальном слежении за объектом.

Считается, что при условии, когда у пациента имеет место стойкий длительный вестибулярный дефицит и длительно сохраняются жалобы на «размытость изображения» при поворотах головы / движении, показано применение комплекса методик, направленных на формирование замещения ВОР (формирование заместительных саккад) [462]. У лиц с односторонним повреждением ВА часто самопроизвольно формируются патологические компенсаторные стратегии на замещение ВОР [242]. Пациенты либо закрывают глаза, при повороте головы в сторону поражения, либо часто моргают, либо медленно поворачивают голову вместе с туловищем в больную сторону. Задача ВР заключается, в том числе, и в преодолении этих стратегий. Указывается на компенсаторный механизм замещения ВОР, реализуемый за счет шейно-глазного рефлекса, и отмечается, что активация шейно-глазничного рефлекса происходит только при движениях головы с частотой ниже 0,5 Гц [464, 564].

Также, описан интересный адаптивный механизм центрального предварительного программирования, потенцирующий раннее начало движений глаз до начала движения головы и не имеющий вестибулярного происхождения [463]. Проявлением данного механизма является тот факт, что глаза начинают смещаться раньше головы, т. е. в период ожидания предсказуемого смещения головы.

Оптокинетическая стимуляция (ОКС) также применяется для ВАД и стимуляции ВОР [370, 413, 422]. Основная задача ОКС — воссоздание сенсорного конфликта, испытываемого пациентом, что обеспечивается подачей непрерывной низкочастотной ($<0,3$ Гц) визуальной стимуляцией. Кроме того, применение стимула с такой частотой приводит и к большей активизации отолитовой системы,

и к развитию явлений укачивания [448]. Считается, что у некоторых пациентов при ОКС подавляется активность зрительной коры. Предполагается, что перестройка зрительной коры позволяет игнорировать смещение изображения, вызванное нарушенным ВОР [531].

Известно, что при односторонней вестибулярной дисфункции (ОВД) в острой стадии пациенты более зависимы от соматосенсорной информации, поступающей от нижних конечностей, что заключается в неверной ее интерпретации. Такие пациенты испытывают трудности в сложных с точки зрения получения проприоцептивной информации условиях (ходьба по слишком мягкой или неровной поверхности, поездка на эскалаторе).

При хроническом течении вестибулярной гипофункции усиливается зависимость от визуальных стимулов [316, 421]. В этом случае пациенты воспринимают движение окружающих предметов как свое собственное. Такие зрительные стимулы дестабилизируют собственное постуральное представление пациента и вызывают корректирующее движение, приводя к нестабильности и являясь причиной падений [39, 551]. У лиц с визуальной зависимостью в обстановке с избыточной зрительной стимуляцией (в супермаркете, у пешеходного перехода) развиваются вестибулосенсорные, вестибулосоматические, а иногда и вестибуловегетативные реакции. Поощрение таких пациентов к фиксации взора на неподвижном объекте, ограничению движения головы во время ходьбы приведет только к усилению зрительной зависимости. Нередко у них формируется патологическая компенсаторная стратегия, т. е. они становятся зрительно или соматосенсорно зависимыми.

Коррекция постуральных нарушений у пациентов с вестибулярной недостаточностью включает метод сенсорного замещения. Данный методический подход, направленный на улучшение контроля баланса, заключается в усиленном использовании визуальной и соматосенсорной афферентации для компенсации дефицита вестибулярной функции [314]. Тренировка проводится в условиях применения ОКС при сохранении/усилении проприоцептивной афферентации — пациент находится на неподвижной твердой поверхности / специальном проприоцептивном коврике. Габитуация (привыкание) заключается в многократном повторении упражнений, вызывающих головокружение, с целью уменьшения реакции на это движение [314]. Уменьшение симптомов головокружения на фоне выполнения приемов габитуации объясняют развитием ЦК [407]. Задача врача состоит в том, чтобы выявить типичные движения, которые вызывают наиболее

интенсивные головокружения и предоставить пациентам как домашнее задание [496]. Вместе с тем считается, что габитуация не показана пациентам с ДВГ [314].

Таким образом, методологическую основу ВР составляют принципы вестибулярной адаптации, сенсорного замещения и габитуации. Однако достижение вестибулярной компенсации зависит и от этиологии расстройства, коморбидного фона, возраста пациента и адекватности фармакотерапии как основного, так и сопутствующих заболеваний.

В последнее десятилетие отмечается «взрывной» рост числа новых технологий, внедряемых в процесс реабилитации пациентов, в том числе и с ПВД [87, 112, 253, 374, 454, 500, 508, 519, 575, 576]. Метод КС используется не только для оценки статического и динамического баланса, но и для ВР. Физиологическую основу метода составляет принцип биологической обратной связи (БОС). В динамике тренировки на силовой платформе пациент наблюдает за своими движениями по перемещению общего центра давления, что с течением времени усиливает контроль и улучшает баланс [29, 236, 431].

Применение технологии вибротактильной и электротактильной обратной связи полезно для ВР пациентов с ПВД. Данные технологии создают тактильные ощущения у человека при отклонениях тела от центральной оси. Это позволяет пациентам чувствовать и корректировать свою осанку в реальном времени [364, 530,]. Уже разработан вибротактильный пояс, работающий на основе принципа БОС, и показана его эффективность при ВР у 39 пациентов с ДВГ [202, 562]. Аналогично, метод электротактильной стимуляции языка (прибор BrainPort Balance) считается эффективным для восстановления нарушения равновесия у пациентов с периферической и центральной вестибулярной дисфункцией [261]. Однако следует отметить, что прибор BrainPort Balance не может быть использован для постоянного ношения. Кроме того, эти приборы, по своей сути являющиеся «искусственным вестибулярным лабиринтом», не нашли широкого применения в связи с их стоимостью и некомфортностью для повседневного использования.

Исследуется возможность вестибулярной имплантации, что позволило бы восстановить ВОР, улучшить равновесие [270, 545]. Это может быть особенно важно для пациентов с ДВГ, не поддающейся традиционным методам ВР [520, 521].

В последние годы отмечается все больший интерес к внедрению технологий виртуальной реальности (VR) в реабилитацию пациентов с ПВД [126; 127, 131, 146, 166, 254, 330, 454, 458]. Использование VR способствует активации тех же отделов мозга, что и в реальности, что обосновывает ее эффективность [452], что

подтверждается и другими авторами, которые пришли к выводу, что для человеческого мозга не существует разницы, выполняется действие в реальном мире или VR [171, 328, 392].

Способы реализации VR включают использование шлемов и мониторов. Шлемы VR обеспечивают более полное погружение и имитацию ВОР, однако могут вызывать кибернедомогание, симптомы которого со временем ослабевают из-за привыкания [170, 223, 315, 354].

Технологии, дополненной VR, модифицируют существующую реальность, проецируя графику и звук [546]. Имеются данные о положительных результатах применения технологий дополненной VR для ВР у пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией [127, 212, 566, 567], в том числе с болезнью Меньера [524].

Коммерческие игровые системы, такие как Nintendo Wii, нашли применение в реабилитации за счет своей доступности, совместимости с традиционными методами ВР и игровой составляющей, что повышает приверженность пациентов к лечению [56, 178, 567, 568, 554].

В 2022 году 40 специалистов, занимающихся ВР пациентов с ПВД, оценили эффективность коммерческих видеоигр для проведения ВР с использованием технологий VR в домашних условиях. В App Store был выполнен поиск по фразе «гонки в виртуальной реальности». Результаты были проверены на наличие бесплатных гоночных игр с видом от первого лица, совместимых с устройствами Android и iOS. Лучшими для ВР в домашних условиях были признаны игры в группе упражнений на равновесие в программном обеспечении Wii Fit устройства Nintendo Wii. В эту группу вошли игры Soccer Heading, Slalom Ski, Penguin Slide, Tight Rope Walk, Snowboard Slalom, Ski Jumping, Table Tilt и Balance Bubble [552].

Длительность ВР в виртуальной реальности у пациентов с ПВД должна длиться не менее 150 секунд совокупного воздействия для достижения положительного результата [166], причем ни продолжительность конкретного сеанса, ни общее количество сеансов не влияют на конечный результат. Тем не менее отсутствие ясных рекомендаций и стандартов для применения VR в реабилитации пациентов с ПВД указывает на необходимость дальнейших исследований в этой области. Внедрение VR-технологий в реабилитацию может значительно улучшить функциональные показатели и удовлетворение пациентов от процесса ВР, однако требуется больше данных для оптимизации их использования.

Гальваническая вестибулярная стимуляция (ГВС) становится все более популярной в реабилитации пациентов с ПВД [188, 239, 301, 376, 395, 403, 405, 406,

484] Этот метод основан на электрической стимуляции с использованием биполярных контактных электродов, наложенных на сосцевидные отростки [263]. Интенсивность стимула определяется индивидуально (от 0,5 мА до 1,5 мА и выше). Например, для ГВС применялся ток синусоидной формы с частотой 1 Гц и амплитудой от 0 до 1,9 мА [579].

Оптимальная амплитуда ГВС, способствующие максимальной стабилизации постурального баланса, варьируют от 100 до 1200 мкА [402]. На сегодняшний день не выработаны единые рекомендации по поводу оптимальных параметров ГВС [301, 318, 313; 332; 295, 465, 515]. Интересные исследования посвящены комбинации ГВС с «белым» шумом (шумовая гальваническая стимуляция, шГВС). Эта методика может повышать вестибулярные сенсорные пороги и улучшать постуральную устойчивость как у здоровых, так и у пациентов с дисфункцией, особенно в условиях ограниченного зрительного восприятия [248, 515; 579]. В литературе представлены различные мнения по поводу оптимальных параметров ширины полосы используемого белого шума [515]. Так, Stefani S.P. и соавт. [332] считают оптимальной ширину полосы белого шума, при которой достигается наилучший постуральный контроль от 0 до 30 Гц. Вероятно, полоса частот 0-30 Гц является естественной частотой вестибулярной системы, и предполагается, что на этой частоте происходит стимуляция волосковых клеток [239, 333, 533, 534]. Однако часть пациентов с ДВГ улучшили показатели постурального контроля и при стимуляции полосой частот шума 1–2 Гц [333]. В ряде работ для повышения возбудимости коры головного мозга применялись и более широкие диапазоны полосы частот (0–640 Гц) [337, 442, 468]. На сегодняшний день не выработаны единые рекомендации по поводу оптимальных параметров ГВС [301, 318, 332, 515]. При помощи метода функционального МРТ показано, что ГВС активирует вестибулярные афференты и способствует нейропластическим изменениям в центральных проводящих путях [336, 366]. Однако вопросы относительно оптимальных параметров и длительности ГВС, а также сроков сохранения ее эффективности все еще открыты.

Надо отметить, что ГВС представляет собой перспективный неинвазивный метод для ВР пациентов с остаточной активностью вестибулярных рецепторов. Однако ГВС требует применения нефизиологичного стимула, специальной аппаратуры и имеет ряд ограничений при использовании и поэтому противопоказана пациентам с электростимуляторами, имплантированными устройствами и повышенной чувствительностью кожи.

Звук и вибрация — физиологические стимулы для человека, которые не имеют ограничений по применению и представляются «идеальными» раздражителями для ВА, поэтому изучение их влияния на вестибулярную функцию актуально и закономерно. Известно, что вестибулярная система, и особенно отолитовый аппарат человека, чувствительны к звуку и вибрации. С одной стороны, имеются доказательства того, что чрезмерный шум (звук) может, в конечном итоге, вызывать вестибулярную недостаточность [371]. С другой стороны, вестибулярная система проявляет чувствительность как к звуку, подаваемому через воздух (дифференциально селективен к сакулюсу), так и к низкочастотной вибрации (дифференциально селективен к утрикулюсу) [207, 525, 526]. Интересно, что для достижения схожих откликов вестибулярной системы при стимуляции посредством звука воздушной проводимости и посредством трансмастоидальной вибрации потребовались разные частотные характеристики стимула. В первом случае лучший отклик вестибулярной системы достигнут при подаче звука частотой от 400 до 800 Гц, во втором — при подаче стимула с частотой 100 Гц. Исследователи пришли к выводу, что ответ вестибулярной системы на низкочастотную вибрационную стимуляцию (НВС) (100 Гц) объясняется избирательной чувствительностью утрикулюса к этому диапазону частот. Этот удивительный эффект объясняют феноменом «стохастического резонанса», т. е. увеличением возбудимости вестибулярных рецепторов при действии фонового шума [373, 484, 485, 538].

Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о повышении активности вестибулоспинальных реакций под влиянием неинвазивной вибрационной стимуляции (НВС) у здоровых лиц. Так, исследовано влияние трансмастоидальной НВС на постуральный контроль и параметры ходьбы у молодых здоровых испытуемых и лиц старшей возрастной группы [359, 570, 572]. Интересно, что при обследовании молодых здоровых лиц авторы не отметили влияния НВС на постуральный контроль при стоянии с открытыми и закрытыми глазами. Однако манипулирование вестибулярным сенсорным входом посредством НВС увеличивало изменчивость постуральных колебаний во время ходьбы, как у здоровых молодых, так и возрастных испытуемых, особенно в сложных сенсорных условиях (депривация зрения, соматосенсорный конфликт).

Показали, что ГВС и НВС одинаково улучшают параметры ходьбы и постуральный контроль у здоровых лиц [210]. При этом НВС обладает лучшей переносимостью и меньшим количеством побочных эффектов для обеспечения приемлемой ВР, чем ГВС и может быть рекомендован для ВР пациентов

с периферической вестибулярной дисфункцией [262]. При сравнении эффективности одно и двусторонней НВС у здоровых лиц сообщается о большем влиянии двусторонней НВС на походку и осанку [210].

Таким образом, обзор доступной литературы показал, что влияние вибрации и звука на вестибулярную функцию здоровых лиц и пациентов с ПВД представляет интерес и требует дальнейшего изучения.

ГЛАВА 2. КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ И ЗДОРОВЫХ УЧАСТНИКОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Клиническая характеристика пациентов и здоровых участников

Всего обследовано 1397 пациентов, которые обратились с жалобами на головокружение и нарушение равновесия с сентября 2009 года по октябрь 2024 года. Амбулаторное лечение проходило 1258 человек (90,1%), стационарное — 139 человек (9,9%). Обследованные пациенты с вестибулярной дисфункцией находились на стационарной лечении с последующей ВР (при необходимости) в ГБУЗ РК «Республиканская больница им. В.А. Баранова» (главный врач Карапетян Т.Д.) в ЛОР-отделении и неврологическом отделении острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК), обращались на амбулаторный прием в центр платных медицинских услуг ГБУЗ РК «Республиканская больница им. В.А. Баранова». 43 пациента проходили стационарное лечение и последующую ВР в нейрохирургическом отделении на ЛОР-койках и в неврологическом отделении ГБУЗ РК «Республиканская больница скорой и экстренной медицинской помощи» (до 08.09.2023 ГБУЗ РК «Больница скорой медицинской помощи» главный врач Алонцева Н.Н.). Специализированное вестибулометрическое обследование пациентов проводилось в лаборатории новых методов физиологических исследований Научно-образовательного центра высоких биомедицинских технологий Петрозаводского государственного университета (ректор проф. Воронин В. А.).

В данном исследовании основное внимание уделялось пациентам с периферической вестибулярной дисфункцией, нуждающимся в проведении мероприятий по ВР. На основании поставленных задач в исследование включены 145 пациентов с доказанной периферической вестибулярной дисфункцией, нуждающиеся в проведении ВР, которые составили три клинические группы:

- **Клиническая группа 1 (Кл1)** — 56 пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией
- **Клиническая группа 2 (Кл2)** — 32 пациента со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией

- **Клиническая группа 3 (Кл3)** — 93 пациента с острой, впервые возникшей, односторонней периферической вестибулярной дисфункцией

Критерии невключения в настоящее исследование:

1. Нестабильная вестибулярная функция (синдром Минора, фистула лабиринта).
2. Доброкачественное пароксизмальное позиционное головокружение (ДППГ) в случаях: а) ДППГ как единственный этиологический фактор вестибулярной дисфункции, в) сочетание ДППГ с центральной вестибулярной дисфункцией.
3. Центральные вестибулопатии (поражение стволовых, мозжечковых или корковых вестибулярных структур).
4. Сопутствующие патологии, потенциально влияющие на результаты исследования: 1) неврологические заболевания (за исключением вестибулярных расстройств), 2) ортопедическая патология с нарушением постурального контроля, 3) не корригируемые зрительные нарушения (острота зрения $<0,1$ с коррекцией), 4) тяжелая соматическая патология в стадии декомпенсации (ХСН III-IV ФК, ХОБЛ III-IV ст., печеночная/почечная недостаточность ≥ 2 ст.).

Контрольные группы испытуемых, включенных в исследование:

- **Контрольная группа 1 (Кн1, n=100)** — группа сформирована для определения референтных интервалов методик, не имеющих стандартизированных нормативов (группа контроля нормативных показателей)
- **Контрольная группа 2 (Кн2, n=19)** — группа лиц с высоким уровнем вокальной подготовки. Включены здоровые лица молодого возраста с высоким уровнем музыкального слуха и специальными вокальными навыками — студенты вокального отделения Петрозаводской государственной консерватории имени А. К. Глазунова (ректор — А. А. Кубышкин). Данная группа сформирована для оценки влияния специализированного вокального тренинга на функцию равновесия и выявления потенциальных возможностей её коррекции посредством музыкальных занятий.
- **Контрольная группа 3 (Кн3, n=36)** — группа лиц с нарушением функции слуха. Включены соматически здоровые лица разного возраста с глухотой и тугоухостью высокой степени, не являвшиеся кандидатами на кохлеарную имплантацию либо отказавшиеся от нее. Группа сформирована для изучения влияния длительной утраты слуха на постуральный баланс и вестибулярную функцию.

В контрольную группу 1 включены соматически здоровые лица разного возраста без нарушений слуха и вестибулярных расстройств (47 мужчин, 53 женщины; средний возраст $40,1 \pm 17,9$ лет) с нормальной функцией слуха. Более половины группы (57%) составили лица молодого возраста (21-44 года). Доля лиц среднего возраста (45-59 лет) достигла 25%. Наименьшей оказалась доля пациентов пожилого (60-74 года) и старческого (75-90 лет) возраста — 16% и 2% соответственно, что в сумме составило 18%. Такое распределение обусловлено объективными трудностями формирования когорты здоровых добровольцев старших возрастных групп, соответствующих строгим критериям включения (отсутствие коморбидной патологии и возраст-ассоциированных нарушений) (табл.1).

Таблица 1 — Характеристика лиц контрольной группы 1 (здоровые лица разного возраста, n=100, 47 м., 53 ж., средний возраст $42,1 \pm 18,2$ года)

Возраст	Всего n=100 (100%)	Женщины n=53 (53%)	Мужчины n=47(47%)
Молодой возраст (21-44 года)	57 (57%)	27	30
Средний возраст (45-59 лет)	25(25%)	14	11
Пожилой возраст (60 — 74 года)	16 (16%)	10	6
Старые (75-90)	2 (2%)	2	0

Состояние слуховой и зрительной функции у лиц этой группы соответствовало возрастной норме. Не было выявлено нарушений мышечно-суставной чувствительности, заболеваний опорно-двигательного аппарата и соматической патологии, влияющих на результаты исследований. Для верификации соответствия норме и определения параметров референтных интервалов специальных методов исследований, которые будут применены к пациентам обследуемых групп, лицам этой группы выполнено:

- Стандартное отоневрологическое исследование
- Видеонистагмография (VNG) (VO 425, «Interacoustics», Дания)
- Битермальный калорический тест (БКТ)
- Компьютерная стабилметрия (ST150, ООО «Мера», Москва, РФ), в комплексе с пробой Ромберга и стопной реакцией, акустической стимуляцией звуком костной проводимости 110 Гц и тестом с надеванием головного убора.
- Анализ ходьбы и трансформации позы в TUG-тесте при помощи акселерометрии (измерения ускорений), в комплексе с акустической стимуляцией звуком костной проводимости 110 Гц

- Анализ ходьбы методом маркерного видеозахвата (Статокин, ООО «Биософт», Москва, РФ) в различных сенсорных условиях
- Интерференционная электромиография (иЭМГ, Нейро-МВП-8, ООО «Нейрософт», Иваново, РФ) во время феномена Конштампа в комплексе с акустической стимуляцией звуком костной проводимости 110 Гц

Контрольная группа 2 (n=19, 5 м, 16 ж., средний возраст $27,6 \pm 5,1$ года). Лицам контрольной группы 2 проведено следующее обследование:

- Стандартное отоневрологическое исследование
- Видеонистагмография (VNG) (VO 425, «Interacoustics», Дания)
- Битермальный калорический тест (БКТ)
- Компьютерная стабилметрия (ST150, ООО «Мера», Москва, РФ), в комплексе с пробой Ромберга

3 контрольная группа (n=36, 22 м, 14 ж., средний возраст $42,1 \pm 18,2$ года). Эту группу составили соматически здоровые лица разного возраста с глухотой и тугоухостью высокой степени (табл. 2).

Таблица 2 — Характеристика лиц контрольной группы 3 (n=36; 14 м., 22 ж; $42,1 \pm 18,2$ года)

Возраст	Всего n=36 (100%)	Женщины n=22 (61,1%)	Мужчины n=14 (38,9%)
Молодой возраст (18-44 года)	18 (50%)	10	8
Средний возраст (45-59 лет)	11(30,6%)	7	4
Пожилой возраст (60-74 года)	6(16,7%)	4	2
Старые (75-90 лет)	1 (2,8%)	1	

Степень снижения слуха по международной аудиологической шкале классифицирована как IV (IV степень — тяжелая тугоухость/глухота). Глухонмота диагностирована при врожденной или рано приобретенной глухоте с отсутствием развития речевой функции. Давность потери слуховой функции у лиц контрольной группы 3 составляла от 20 до 76 лет, что коррелировало с возрастом пациентов.

Из исследования исключены следующие пациенты:

1) имеющие в анамнезе операцию по кохлерной имплантации, так как измененные в процессе выполнения операции анатомические соотношения в пределах височной кости влияли на результаты БКТ;

2) пациенты с приобретенной в течение последних 10 лет глухотой или высокой степенью снижения слуха, так как предметом настоящего исследования является состояние системы равновесия у лиц с длительным анамнезом снижения слуха и глухоты;

3) пациенты с сопутствующими неврологическими, ортопедическими заболеваниями, некорректируемыми изменения зрения, тяжелой соматической патологией, которые могли оказать влияние на результаты исследования.

Все 36 лиц группы КнЗ имели глухоту или высокую степень снижения слуха врожденного характера или приобретенную в раннем детстве (долингвальный период и ранний постлингвальный период) (табл. 3).

Таблица 3 — Распределение лиц группы КнЗ разного возраста в зависимости от степени тугоухости/глухоты и состояния речевой функции (n=36, 14 м., 22 ж; $42,1 \pm 18,2$ года)

Параметр	18-44 года n=18 (100%)	После 45 лет n=18 (100%)	Всего n=36 (100%)
IV степени снижения слуха	5 (27,8%)	1(5,6%)	6(16,7%)
Глухота	13 (72,2%)	17(94,4%)	30(83,3%)
Речевые навыки	5(27,8%)	1(5,6%)	6 (16,7%)

Отсутствие у лиц КнЗ поздних (постлингвальных) случаев подтверждает однородность группы по признаку давности возникновения патологии. Сохранная речь у 6 пациентов с тугоухостью, пользующихся высокомошным слуховым аппаратом, предполагает: 1) наличие частичной остаточной слуховой функции, достаточной для элементарного восприятия речи, 2) эффективную слуховую реабилитацию.

Лицам группы КнЗ выполнены следующие исследования:

- ☐ Стандартное отоневрологическое исследование
- ☐ Видеонистагмография (VNG) (VO 425, «Interacoustics», Дания)
- ☐ Битермальный калорический тест (БКТ)
- ☐ Компьютерная стабилметрия (ST150, ООО «Мера», Москва, РФ), в комплексе с пробой Ромберга и стопной реакцией
- ☐ Анализ ходьбы методом маркерного видеозахвата (Статокин, ООО «Биософт», Москва, РФ) в различных сенсорных условиях
- ☐ Опросник DHI

В обеих группах Кн1 и Кн3 (табл. 4) преобладали лица молодого возраста. Статистически значимых различий в распределении по признаку возраста между возрастными подгруппами не выявлено ($p > 0,05$ для всех категорий).

Таблица 4 — Возрастной состав лиц контрольных групп сравнения (Кн1, n=100) и 3 (Кн3, n=36)

Возраст	Кн1 (n=100)	Кн3 (n=36)
Молодой (18-44 года)	57%	50,0%
Средний (45-59 лет)	25%	30,6%
Пожилой (60-74 года)	16%	16,7%
Старческий (75-90 лет)	2%	2,8%

Распределение по полу в сопоставимых возрастных категориях также не имеет статистически значимых различий ($p > 0,05$). В старших возрастных подгруппах 1 и 3 контрольных групп имеет место схожее увеличение доли женщин. В группе старых пациентов отмечено полное совпадение по гендерному признаку (табл. 5).

Таблица 5 — Распределение лиц контрольных групп 1 (Кн1, n=100) и 3 (Кн3, n=36) по полу

Возраст	Кн1 (n=100) (жен/муж)	Кн3 (n=36) (жен/муж)
Молодой (18-44 года)	47,4%/52,6%	55,6%/44,4%
Средний (45-59 лет)	56,0%/44,0%	66,7%/33,3%
Пожилой (60-74 года)	62,5%/37,5%	66,7%/33,3%
Старческий (75-90 лет)	100%/0%	100%/0%

Ниже представлена характеристика трех клинических групп с доказанной ПВД и нуждающиеся в последующей ВР.

В клиническую группу 1 (n=56, 19 м, 37 ж., средний возраст $51,5 \pm 13,1$ лет) вошли пациенты с стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией (ОВГ) различной этиологии, у которых длительность заболевания (односторонней периферической вестибулярной гипофункции) составляла более 3-х месяцев. Критерии включения пациентов в группу Кл1 представляли: 1) наличие клинических симптомов хронического вестибулярного синдрома: жалобы на шаткость, неустойчивость, усиливающуюся в темное время суток или на не ровной поверхности, субъективное ощущение «качки», головокружения при движении

головой, осцилопии 2) патологические результаты БКТ: отсутствующие или сниженные калорические ответы, с одной стороны, более чем на 25% по сравнению с интактной; 3) исключение альтернативных диагнозов.

Длительность заболевания пациентов группы Кл1 составила от 7 месяцев до 4-х лет. Женщины преобладали во всех возрастных подгруппах, особенно в пожилом и старом возрасте (табл. 6). Наибольшее количество пациентов (46,4%) приходилось на средний возраст. В группе старых пациентов (75-90 лет) были представлены только женщины. Доля мужчин снижалась с возрастом: от 44,4% в группе молодых до 0% в группе старых участников.

Таблица 6 — Характеристика клинической группы 1 (Кл1, n=56) по полу и возрасту (средний возраст $51,5 \pm 13,1$ лет)

Возраст	Всего n=56 (100%)	Женщины n=37(66,2%)	Мужчины n=19 (33,9%)
Молодой (18-44 года)	9 (16,1%)	5	4
Средний (45-59 лет)	26 (46,4%)	15	11
Пожилой (60-74 года)	18 (32,1%)	14	4
Старческий (75-90 лет)	3 (5,4%)	3	

Ведущей причиной развившейся стойкой ОВГ у пациентов группы Кл1 являлся ранее перенесенный вестибулярный нейронит (62,5%). Второй по частоте причинной ОВГ являлся ранее перенесенный острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза (23,21%). Из 35 человек, перенесших ранее вестибулярный нейронит 14 (40%) имели в анамнезе эпизод острого вестибулярного головокружения без изменения функции слуха и проходили терапию в центральных районных больницах (ЦРБ) с диагнозами вертебробазилярная недостаточность (n=11), дисциркуляторная энцефалопатия (n=3). Окончательный диагноз этим пациентам был выставлен после проведенного вестибулометрического обследования. Одна пациентка ранее перенесла синдром Рамсей — Ханта (получала лечение в ЦРБ) и обратилась с жалобами на сохраняющуюся шаткость и эпизоды головокружений. 13 пациентов имели в анамнезе перенесенный острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза. На ВР данные пациенты были приглашены в связи с сохраняющимися жалобами на шаткость, затруднение ходьбы в сложных условиях, эпизоды головокружений (табл. 7). Кроме того, на ВР были приглашены 3 пациента с поздней стадией болезни Меньера, которым ранее

выполнялось интратимпанальное введение гентамицина, после которого они не получали ВР. Пациентки не отмечали повторных эпизодов вращательных головокружений. Однако предъявляли жалобы на умеренную шаткость при ходьбе, пространственный дисбаланс.

Таблица 7 — Распределение пациентов клинической группы 1(Кл1, n=56) по нозологическим формам, давности заболевания (диапазон, лет) и характеру предшествующей восстановительной терапии (средний возраст $51,5 \pm 13,1$ лет)

Диагноз	Количество n=56 (100%)	Давность заболевания (месяцы)	Проведение ранее ВР да/нет
Ранее перенесенный вестибулярный нейронит	35 (62,5%)	4—14	2/34
Ранее перенесенный кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза	13 (23,21%)	5—19	0/13
Ранее перенесенный лабиринтит* (см. комментарии)	4 (7,14%)	3—16	0/4
Болезнь Меньера, поздняя стадия	3 (5,36%)	9—26	1/2
Ранее перенесенный синдром Рамсея-Ханта	1 (1,79%)	6	0/1

Примечание: *в анамнезе — операция на среднем ухе.

Четыре пациента имели в анамнезе операцию на среднем ухе (в таблице представлены в графе последствия перенесенного лабиринтита). Из них у одной пациентки ОВГ развилась после стапедопластики, выполненной по поводу отосклероза. Два пациента оперированы по поводу гнойного отогенного менингита, развившегося как осложнение хронического среднего отита с холестеатомой. У одного пациента ОВГ развилась на фоне гнойного лабиринтита, развившегося как осложнение острого среднего отита. Также видно (табл. 6), что ВР у пациентов с ОВД практически не применялась, особенно при сосудистых нарушениях (0 из 13) и лабиринтите (0 из 4). Даже при длительной давности заболевания (19 месяцев и более) ВР в реальной клинической практике назначается редко.

Пациентам со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией (Кл1) проводились следующие исследования:

- ☐ Стандартное отоневрологическое исследование
- ☐ Видеонистагмография (VNG) (VO 425, «Interacoustics», Дания)
- ☐ Битермальный калорический тест (БКТ)

- Компьютерная стабилметрия (ST150, ООО «Мера», Москва, РФ), в комплексе с пробой Ромберга и стопной реакцией
- Анализ ходьбы методом маркерного видеозахвата (Статокин, ООО «Биософт», Москва, РФ) в различных сенсорных условиях

В группу Кл2 (n=32; 6 м, 26 ж., средний возраст $63,6 \pm 13,3$ года) вошли пациенты с стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией (ДВГ) различной этиологии, у которых длительность заболевания (двусторонней периферической вестибулярной гипофункции) составляла более 3-х месяцев. Критерии включения пациентов в группу Кл2 представляли: 1) наличие клинических симптомов: жалобы на шаткость, неустойчивость, усиливающуюся в темное время суток или на неровной поверхности, усиливающиеся при движении головой, осцилопии; 2) патологические результаты БКТ: показатели суммарной скорости медленной фазы (СМФ) нистагма $< 6^\circ/\text{с}$ с двух сторон; 3) исключение альтернативных диагнозов. Длительность заболевания пациентов 2КлГ составила от 6 месяцев до 5-х лет. Большинство пациентов КлГ 2 (68,75%) это лица пожилого и старого возраста, причем 81,25% пациентов КлГ 2 составляют женщины (табл. 8).

Таблица 8 — Характеристика клинической группы 2 (n=32) с двусторонней вестибулярной гипофункцией (ДВГ) по полу и возрасту (средний возраст $63,6 \pm 13,3$ года)

Возраст, годы	Всего n=32 (100%)	Женщины n=26 (81,3%)	Мужчины n=6 (18,6%)
Молодой возраст (18-44)	3(9,4%)	1	2
Средний возраст (45-59)	7(21,9%)	6	1
Пожилой возраст (60-74)	14(43,8%)	11	3
Старые (75-90)	8(25,0%)	8	0

Этиология ДВГ у 53,1% пациентов Кл2 осталась неустановленной, что позволило классифицировать заболевание как идиопатическое. В 34,4% случаев ДВГ, вероятно, была обусловлена применением медикаментозных препаратов: у 6 пациентов — после курса антибактериальной терапии (из них у 3 — на фоне лечения новой коронавирусной инфекции), у 1 — после длительного наркоза с интубацией во время оперативного вмешательства, у 4 — после курса полихимиотерапии по поводу онкологического заболевания (табл. 9).

Таблица 9 — Этиология двусторонней вестибулярной гипofункции (ДВГ) у пациентов группы Кл2 (n=32, 6м, 26 ж., средний возраст $63,6 \pm 13,3$ лет)

Диагноз	Всего n=32 (100%)		Женщины Всего (%)	Мужчины всего (%)	Средний возраст
Двусторонняя болезнь Меньера. Поздняя стадия	1	3,13	1 (100%)		79
Применение ототоксических препаратов	11	34,4	8(72,7%)	3(27,3%)	$61,5 \pm 12,5$
Перенесенный менингококковый менингит	2	6,3	1 (50%)	1(50%)	$39,5 \pm 2,12$
Аутоиммунное заболевание (гранулематоз Вегенера)	1	3,1		1(100%)	41
Идиопатическая	17	53,1	15(88,2%)	2(11,8%)	$68,9 \pm 9,1$

Пациентам со стойкой двусторонней вестибулярной гипofункцией (Кл2) проводились следующие исследования:

- Стандартное отоневрологическое исследование
- Видеонистагмография (VNG) (VO 425, «Interacoustics», Дания)
- Битермальный калорический тест (БКТ)
- Компьютерная стабилметрия (ST150, ООО «Мера», Москва, РФ), в комплексе с пробой Ромберга и стопной реакцией, акустической стимуляцией звуком костной проводимости 110 Гц и тестом с надеванием головного убора.
- Анализ ходьбы и трансформации позы в TUG-тесте при помощи акселерометрии (измерения ускорений), в комплексе с акустической стимуляцией звуком костной проводимости 110 Гц

Клиническая группа 3(Кл3, n=93; 38 м, 55 ж., средний возраст $53,1 \pm 11,9$ лет) была сформирована с целью изучения эффективности ранней активизации вестибулярной компенсации, профилактики развития хронического патологического процесса и формирования стойкой ОВГ. В нее вошли лица с впервые возникшим острым эпизодом периферической вестибулярной дисфункции (ОВД) и длительностью заболевания ≤ 3 -х месяцев. Критериями включения в группу Кл3 были: 1) наличие типичного клинического синдрома — эпизод вращательного головокружения с вегетативной симптоматикой; 2) данных отоневрологического исследования — наличие спонтанного горизонтального/горизонтально-ротаторного нистагма, положительный тест Halmagi-Curthoys, отсутствие неврологической симптоматики; 3) патологические результаты БКТ — отсутствующие или сниженные калорические ответы, с одной стороны, более чем на 25% по сравнению с интактной; 4) исключение острого нарушения мозгового кровообращения с участием невролога и выполнением МРТ головного мозга.

В КЛГЗ преобладали лица молодого и среднего возраста (70,97%). Доля женщин в группе КЛЗ была несколько больше (59,14%), чем мужчин (40,86%) (табл. 10).

Таблица 10 — Распределение пациентов клинической группы 3 (КЛЗ), n=93 с острой односторонней вестибулярной дисфункцией (ОВД) по полу и возрасту (средний возраст $53,1 \pm 11,9$ лет)

Возраст, годы	Всего n = 93(100%)	Женщины n= 55(59,1%)	Мужчины n = 38(40,9%)
Молодой (18-44)	27(29,0%)	15	12
Средний (45-59)	39(41,9%)	22	17
Пожилой (60-74)	24(25,8%)	16	8
Старческий (75-90)	3(3,2%)	2	1

В подавляющем большинстве случаев (n=71) в группе КЛЗ причиной ОВД являлся вестибулярный нейронит (табл. 11). Из них у 11 пациентов обнаружена анамнестическая связь с герпесвирусной инфекцией (HSV-1). Заболевание манифестировало после перенесенной вирусной инфекции верхних дыхательных путей. У 36 пациентов в анамнезе отмечались рецидивы лабиального герпеса (*Herpes labialis*), что может свидетельствовать о персистенции HSV-1 в ганглионарных структурах. В 14 случаях прослеживалась временная связь с перенесенной COVID-19 инфекцией. В одном наблюдении симптомы развились в поствакцинальном периоде после введения векторной вакцины «Спутник V». Острый кохлео-вестибулярный синдром сосудистого генеза стал причиной ОВД у 14 пациентов КЛГЗ (n=14). Патогенетической основой явилась ишемия лабиринта, обусловленная нарушением его кровоснабжения вследствие окклюзии или гипоперфузии в бассейне лабиринтной артерии (ветвь АICA). Несмотря на средний возраст ($52,3 \pm 8,61$ года) в этой группе у 11 пациентов (78,57%) имелась сопутствующая коморбидная патология, способствующая микроциркуляторным нарушениям: 1) артериальная гипертензия (как фактор риска васкулопатии и спазма сосудов), 2) сахарный диабет 2 типа (диабетическая микроангиопатия), 3) атеросклероз (с формированием гемодинамически значимых стенозов магистральных артерий). У пяти пациентов ОВД была обусловлена синдромом (*Herpes zoster oticus*). Причиной развития синдрома Рамсея Ханта является реактивации вируса *Varicella zoster* (VZV) в коленчатом ганглии лицевого нерва, что приводит к характерной клинической триаде: везикулезные высыпания в области ушной раковины, периферический парез лицевого нерва и кохлео-

вестибулярные нарушения. Острый гнойный лабиринтит, как осложнение острого среднего гнойного отита стал причиной ОВД у двух пациентов.

Таблица 11 — Этиология острой ОВД у пациентов группы Кл3 (n=93; 38 м, 55ж., ср. возраст 47,3±10,6 лет)

Диагноз	Всего n=93(100%)	Женщины n=55 (59,5%)	Мужчины n=38 (40,9%)	Средний возраст
Вестибулярный нейронит	71 (76,3%)	41	29	45,5± 10,7
Острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза	14 (15,1%)	6	8	52,3± 8,6
Синдром Рамсея-Ханта	5 (5,4%)	5	0	60,5±11,3
Острый лабиринтит	3 (3,2%)	2	1	44,3± 6,1

Всем пациентам с острой односторонней периферической вестибулярной дисфункцией (группа Кл3) проведен следующий объем обследования:

- ☐ Общеклиническое обследование
- ☐ МРТ/СКТ головного мозга
- ☐ Исследование функции слуха: акуметрия, тональная пороговая аудиометрия, тимпанометрия, импедансометрия.
- ☐ Стандартное отоневрологическое обследование
- ☐ Калорические тесты (с водной или воздушной стимуляцией), в режиме монотермального теста 18 человек, БКТ с воздушной калоризацией (n = 68).
- ☐ Анализ ходьбы и трансформации позы в TUG-тесте до и после ВР
- ☐ Тестирование с помощью шкалы оценки головокружения (Dizziness Handicap Inventory- DHI) до и после проведения ВР.

Диагностика ОВД пациентам группы Кл 3 проводилась при помощи стандартного отоневрологического обследования, выполнялись прикроватные тесты (тест Хальмаги- Керайтоза, исследование спонтанного нистагма, определение рефиксации взора при попеременном закрывании глаз). Пациенты осматривались неврологом приемного покоя, проводилась дифференциальная диагностика с острым нарушением мозгового кровообращения в вертебробазилярном бассейне, выполнялось МРТ головного мозга. VNG и калорическое тестирование в режиме БКТ выполнялось пациентам после возможности вертикализации, регресса выраженной вегетативной симптоматики и интенсивного головокружения. Пациентам, которые воздержались от транспортировки в вестибулярную лабораторию, для подтверждения острой вестибулярной дисфункции БКТ

выполнялось посредством водной калоризации с оценкой посткалорического нистагма с при помощи очков типа Frenzel. Часть пациентов (11 человек) в процессе выполнения БКТ отказались от продолжения выполнения КТ в связи с выраженностью развившихся вестибуловегетативных и вестибулосенсорных реакций и КТ было ограничено выполнением монотермального теста (t 44 С°). В связи с тем, что при выполнении КТ у пациентов с острой вестибулярной дисфункцией применялась различная стимуляция и режим тестирования статистический анализ данных БКТ с воздушной калоризацией представлен для 68 пациентов КлЗ, которые были отобраны на ВР.

Стабилографическое исследование у пациентов с ОВД не проводилось в связи с нецелесообразностью и высоким риском травматизма ввиду невозможности вертикализации и стойки на стабилографической платформе без поддержки в острый и ранний подострый период вестибулярной дисфункции.

Пациентам, которые в последующем проходили ВР ($n=68$) выполнялось исследование скорости ходьбы в TUG — тесте (Timed Up and Go) с регистрацией времени (сек) секундомером. Исследование проводилось дважды: 1) после вертикализации пациента (3-7 сутки) и 2) на 10-14 сутки госпитализации, перед выпиской из стационара.

2.2. Методы обследования

Обследование лиц контрольных и клинических групп проводилось с целью оценки функции равновесия, вестибулярной и слуховой функции. При сборе жалоб у пациентов клинических групп особое внимание уделяли уточнению переживаемых ощущений, которые пациенты называли «головокоружение», продолжительности и частоте его эпизодов, провоцирующим факторам и тригерам приступа, зависимости состояния от изменения положения тела и вегетативным проявлениям. Уточняли, есть ли жалобы на снижение слуха, ушной шум, ощущение «полноты», «заложенности» в ухе, повышенную чувствительность к громким звукам.

При сборе анамнеза для исключения сопутствующей соматической патологии, центральной вестибулярной дисфункции фокусировались на признаках невестибулярного происхождения (онемение лица, рук, ног, головные боли, слабость мышц конечностей, дизартрию, дисфагию, указания на эпизоды падения, кратковременной потери сознания). Местный статус оценивали традиционно при ото-, рино-, фаринго-, ларингоскопии. Все пациенты клинических групп осмотрены

неврологом, терапевтом, офтальмологом, по показаниям выполнялось МРТ головного мозга, СКТ височных костей.

2.2.1. Оценка функции слуха

Оценка функции слуха проводилась посредством выполнения акуметрии, камертонального исследования, тональной пороговой аудиометрии, тимпанометрии и надпороговых тестов.

Аудиометрия выполнялась при помощи клинического аудиометра «Interacoustics AC 40» (Дания) в режиме частот от. для воздушной проводимости 125—20000 Гц, для костной проводимости 250—8000 Гц. О наличии феномена ускоренного нарастания громкости судили по результатам определения дифференциального порога восприятия силы звука (Люшера тест) и SISI тест. Максимальная интенсивность звука по воздушной проводимости 130 дБ, по костной проводимости 80 дБ.

Тимпанометрия выполнялась посредством импедансного аудиометра с возможностью выполнения тимпанометрии «Аудио-СМАРТ» (Нейрософт, Иваново, Россия).

2.2.2. Стандартное отоневрологическое обследование

В рамках отоневрологического исследования проводилась оценка 12 пар черепно-мозговых нервов. Обонятельная функция определялась качественно при использовании традиционных пахучих средств. Оценка функциональности II пары нервов проводилась врачом-окулистом. Для исследования III, IV и VI пар анализировались движения глазных яблок, ширина зрачков и их реакция на свет. Функция V пары нервов оценивалась по следующим параметрам: 1) кожная чувствительность в области лица и шеи; 2) тонус жевательных мышц; 3) подвижность нижней челюсти; 4) наличие болезненных ощущений в триггерных точках тройничного нерва. Анализ VII пары нервов включал оценку симметрии лица, слезопродукции, вкусовой чувствительности передних двух третей языка, а также наличие гиперacusии. Для исследования IX и X пары нервов производилась оценка: 1) тонуса и подвижности мягкого неба; 2) отклонения язычка; 3) глоточного рефлекса; 4) вкусовой чувствительности задней трети языка; 5) наличия дисфагии; 6) поперхивания; 7) полноты фонации; 8) подвижности гортани. Для XI пары нервов оценивали тонус мышц и объем движений плечевого пояса. Исследование XII пары нервов подразумевало: 1) оценку подвижности языка; 2) наличие дизартрии; 3) отклонение языка.

Составление вестибулярного паспорта осуществлялось по следующей схеме (Лиленко С.В. с дополнениями) [108] (табл. 12).

Таблица 12 — Вестибулярный паспорт

Правая сторона	Субъективные ощущения	Левая сторона
	Нарушение произвольных саккад	
	Искажение зрительного прослеживания	
	Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	
	Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	
	Цервикальный нистагм в позе де Клейна	
	Прессорный нистагм*	
	Позиционный нистагм*	
	Тест встряхивания головы (head shaking test) *	
	Коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous	
	Дисдиадохокinez	
	Прوماхивание в указательной пробе	
	Проба Водака-Фишера	
	Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/ на поролоновом мате	
	Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты)	
	Поворот в тесте Unterberger	

Примечание: * тесты выполнялись выборочно по показаниям

Проверка глазодвигательных реакций проводилась следующим образом.

Тест визуального прослеживания (функция медленного слежения взора): в течение 20 секунд пациенту предлагалось отслеживать перемещение наконечника ручки в пределах его визуального поля, при этом голова оставалась фиксированной. Движения глаз осуществлялись сначала в горизонтальной, а затем в вертикальной плоскости.

Проверка саккад (быстрых глазодвигательных реакций) осуществлялась в сидячем положении. В соответствии с инструкцией он направлял взгляд на неподвижно установленные маркеры, расположенные на равном расстоянии друг от друга на расстоянии 50 сантиметров от его глаз, и поочередно перемещал взгляд в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В ходе проведения теста рефиксации взора после поочередного закрывания глаз пациенту предлагалось фиксировать взгляд на переносице врача. Врач при

этом выполнял попеременное закрытие правого и левого глаза. Проводилась оценка наличия отклонения взора и его угол.

Исследование спонтанного нистагма проводилось в условиях затемненного помещения с открытыми глазами испытуемых, находящихся в сидячем положении. Чтобы предотвратить фиксацию взора, использовались очки типа Frenzel, оборудованные встроенной подсветкой и увеличительными линзами с оптической силой +20 диоптрий, что исключало возможность четкой фокусировки взгляда пациентов. Это обстоятельство позволяло исследователю произвести точную визуальную оценку движений глаз испытуемых. Пациенты последовательно фиксировали взгляд на кончике ручки, расположенной на расстоянии 50 см, при этом смотря в различных направлениях: прямо, вправо, влево, вверх и вниз. Оценивались параметры спонтанного нистагма, такие как направление, частота и амплитуда колебаний глаз. Полученные данные сравнивались между наблюдениями, проведенными в очках Frenzel, и в условиях отсутствия этих очков.

Проба Де Кляйна заключалась в последовательном повороте головы пациента вправо и влево с умеренным запрокидыванием в течение 20–30 секунд, после чего оценивали наличие спонтанного нистагма.

В тесте Xalmagyi-Curthous врач фиксировал голову пациента двумя руками и инструктировал его сфокусировать зрительное внимание на переносице врача. Затем врач осуществлял резкие, асимметричные повороты головы пациента по очереди вправо и влево, ограничиваясь 15–20 градусами, и фиксировал наличие или отсутствие коррекционных саккад.

Диагностика прессорного нистагма выполнялась традиционно. Пациента просили фиксировать взгляд на левом ухе врача. Врач надавливал на козелок правого уха пациента (в сомнительных случаях применяли баллон Политцера). При наличии фистулы полукружных каналов выявлялся нистагм в плоскости, соответствующей пораженному каналу.

Тест встряхивания головы (head shaking test) проводили при наклоне головы пациента под углом 30°. Врач перемещал голову пациента из стороны в сторону с амплитудой 30° и частотой 2 Гц в течение 20 секунд. Возникший нистагм указывал на нарушение равновесия между вестибулярными лабиринтами.

Процедура выполнения позиционных тестов *Dix-Hallpike*, *McClure-Pagnini* (*Supine roll test*), их интерпретация были стандартными.

Проба Ромберга выполнялась пациентом в нескольких позициях: стоя прямо с приведёнными стопами, сначала с открытыми глазами, а затем с закрытыми, на

твёрдой поверхности и на поролоновом коврике; повторялась с поворотами головы вправо и влево. Методика выполнения проб Водака-Фишера, указательных и на дисдиадохокinez была стандартной.

Исследование походки осуществлялось при ходьбе прямо с открытыми и закрытыми глазами на расстояние 5 метров. Также исследовалась фланговая походка (по 3 приставных шага вправо и влево с закрытыми глазами).

Маршевая проба, также известная как тест Фукуда и тест Унтербергера, выполнялась в помещении, имеющем разметку на полу для осуществления тестирования в стандартной интерпретации (рис. 1).

Стандартное отоневрологическое обследование выполнялась лицам контрольных групп 1,2,3 и пациентам клинических групп 1,2,3. Позиционные тесты, тест встряхивания головы, пресорная проба проводились выборочно при наличии показаний.



Рисунок 1 — Оценка статокINETической устойчивости пациентки 56 лет, со стойкой правосторонней вестибулярной гиподисфункцией вследствие перенесенного вестибулярного нейронита справа.

Слева (панель А) представлено выполнение пробы Ромберга, в центре (Б) — сенситизированная проба Ромберга (пациентка находится в положении стоя с закрытыми глазами на поролоновой поверхности, справа (В) — выполнение теста Унтербергера (шаговая проба с закрытыми глазами)

2.2.3. Метод видеонистагмографии (VNG)

Для исследования вестибулярного аппарата использовалась методика видеонистагмографии (VNG), основанная на технологии видеозахвата зрачка, с применением аппарата VN415 (Intracustics A/S, Middelfart, Дания). При выполнении

VNG регистрация глазодвигательных реакций производилась с использованием специальной маски, оснащенной двумя встроенными видеокамерами IEEE 1394 FireWire с разрешением 640×480 пикселей. Маска со светонепроницаемой крышкой накладывалась на лицо пациента, что позволяло исключить влияние фиксации взгляда на результаты исследования глазодвигательных реакций. Участникам исследования при помощи VNG проводились оценка следующих глазодвигательных реакции: 1) спонтанного нистагма без фиксации взора, 2) позиционного нистагма, 3) цервикального нистагма в позе де Клейна, 4) пост калорического нистагма. При выявлении у пациента спонтанного нистагма оценивалась функция подавления спонтанного нистагма методом фиксации взора. Для достижения данной цели в светонепроницаемой маске подавался световой стимул. Данная функция является встроенной в используемом софте. Оценка интенсивности нистагма проводится по показателю скорости медленной фазы нистагма (СМФ), измеряемому в градусах в секунду (°/с) (рис. 2).

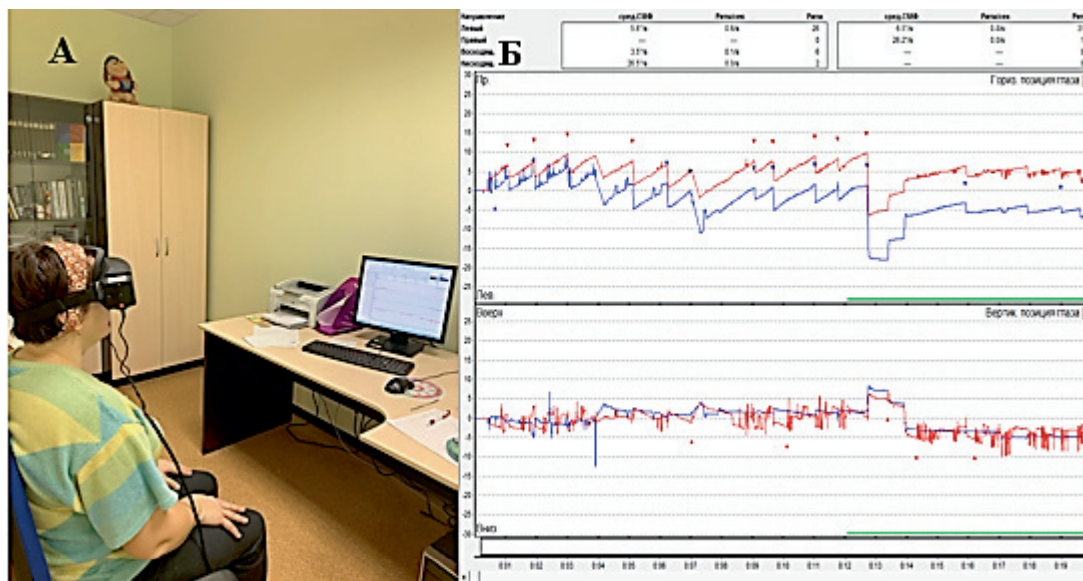


Рисунок 2 — Видеонистагмографическое исследование (VNG) пациентки И., 56 лет с левосторонней стойкой вестибулярной гипофункцией.

Панель (А) иллюстрирует выполнение видеонистагмографии. На лицо пациентки надета светозащитная маска. На панель (Б) показан экран монитора, на котором графически представлена видеозапись движения глаз. Выраженные пикообразные отклонения кривой вниз от изолинии («галочки») соответствуют быстрой фазе спонтанного нистагма, направленного в здоровую (левую) сторону.

VNG проводилась лицам групп Кн1, 2 и 3; пациентам групп Кл1 и 2; выборочно пациентам группы Кл3.

Во время VNG проводился «Битермальный калорический тест» (БКТ) с помощью прибора фирмы HEINEMANN — Heinemann Medizintechnik GmbH (Германия, Kaltenkirchen). Перед проведением БКТ всем исследуемым выполнялась запись спонтанных нистагменных реакций (SNy). Методика выполнения калоризации ушных лабиринтов была следующая. Пациент ложился спиной на кушетку с приподнятым на 30 градусов головным концом. Во время исследования проводилось орошение теплым (44°C) и холодным (30°C) воздухом с двух сторон в течение 100 секунд. Орошение ушей выполнялось посредством подачи воздуха через специальный гибкий сменный наконечник, длиной 2,5 см, который одевался на конусовидный пластиковый стационарный наконечник. Наконечник при выполнении орошения подводился непосредственно к барабанной перепонке. Порядок выполнения БКТ следующий: тепловая проба на правом ухе, тепловая проба на левом ухе, холодовая проба на левом ухе, холодовая проба на правом ухе. Проведение БКТ с вышезаявленными параметрами не вызывало дискомфорта у пациентов. Напротив, изменение температурных стимулов в сторону повышения (тепло), понижения (холод), чаще вызывало вегетативные реакции, чувство жжения в наружном слуховом проходе. В связи с этим исследование было продолжено с ранее заявленными и предустановленными в программе прибора температурными параметрами. Результаты БКТ оценивались посредством подсчета показателя скорости медленной фазы (СМФ) нистагма для каждого исследования (орошения) отдельно в период времени с максимальным уровнем нистагменных реакций (фаза кульминации).

По результатам БКТ проводился подсчет следующих показателей:

1. Показатель лабиринтной асимметрии (ЛА) или одностороннего ослабления. Показатель расчетного сравнения силы нистагменных ударов, спровоцированных орошением левого и правого лабиринтов. Рассчитывается по формуле $ЛА \times 100$

$$ЛА = \frac{\text{ср СМФ(ПТ+ПХ)} - \text{ср СМФ(ЛТ+ЛХ)}}{\text{ср СМФ(ПТ+ПХ+ЛТ+ЛХ)}} \times 100 \quad (1)$$

Показатель ЛА выражается в %. Диапазон нормативных значений ЛА находится в пределах 25%

2. Показатель дирекционного преобладания (ДП) или одностороннего превалирования. ДП — расчетное значение, которое сравнивает силу право и лево направленных нистагменных ударов посредством сравнения калорических орошений вызывающих правонаправленный нистагм (теплого справа и холодного слева) с калорическими орошениями, вызывающими левонаправленный нистагм (теплого слева и холодного справа). Рассчитывается по формуле

$$ДП = \frac{ср\ СМФ(ПТ+ЛХ) - ср\ СМФ(ЛТ-ПХ)}{ср\ СМФ(ПТ+ПХ+ЛТ+ЛХ)} \times 100 \quad (2)$$

где срСМФ средняя скорость медленной фазы посткалорического нистагма во время фазы кульминации, ПТ срСМФ при тепловой стимуляции правого уха, ПХ срСМФ при холодовой стимуляции правого уха, ЛТ срСМФ при тепловой стимуляции левого уха, ЛХ срСМФ при холодовой стимуляции левого уха.

Понятие «норма» в контексте вестибулометрических тестов не может быть универсализировано, так как оно зависит от специфических условий, в которых проводятся соответствующие исследования. Нормативные значения могут варьироваться даже при незначительных изменениях в этих условиях. Для установления стандартов вестибулометрических тестов было проведено обследование отологически и неврологически здоровых лиц, в которое вошли добровольцы в возрасте от 20 до 83 лет, обоего пола. Эта группа послужила первой контрольной выборкой для дальнейшего анализа (рис. 3).

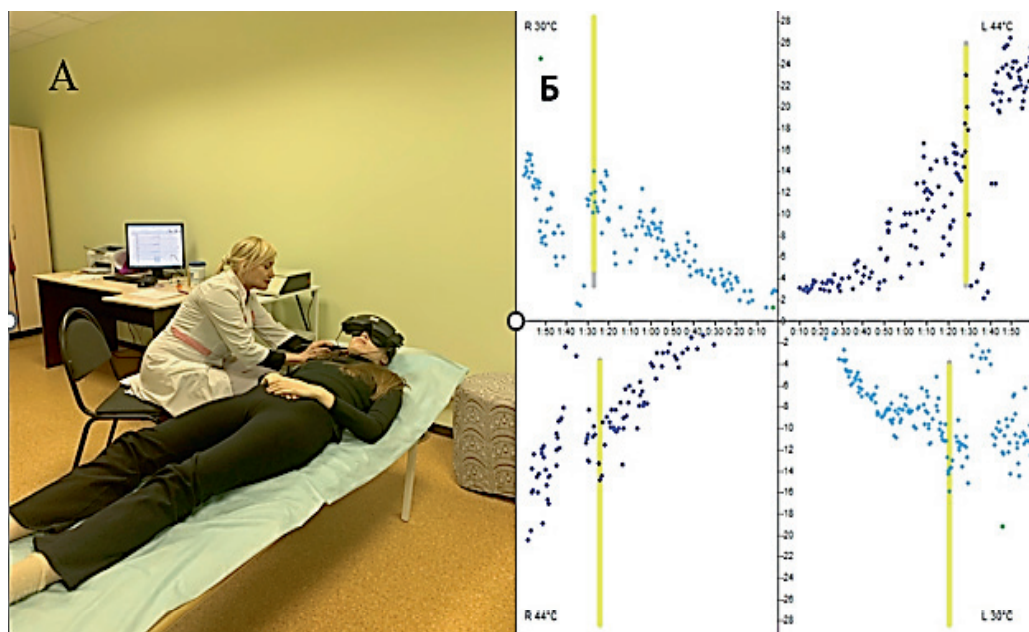


Рисунок 3 — Оценка вестибулярной функции методом битермальной калорической стимуляции.

Панель (А) иллюстрирует проведение пробы испытуемой К. (26 лет) с использованием светозащитной маски. На панели (Б) представлена регистрируемая траектория движений глазных яблок в ответ на калорическую стимуляцию. Темно-синим цветом выделен посткалорический нистагм на тепловой стимул (44°C), светло-голубым — на холодовой (30°C). Момент активации светового стимула обозначен вертикальной желтой линией. У здорового добровольца (Б) визуализируется физиологический паттерн ответа в виде расходящейся «бабочки», характеризующийся отведением взгляда в сторону теплового раздражителя и от холодного

БКТ выполнен лицам групп Кн1, 2 и 3, пациентам групп Кл1 и 2, выборочно пациентам клинической группы Кл3. При отсутствии возможности доставки пациентов с острой вестибулярной дисфункцией ввиду тяжести состояния в вестибулярную лабораторию ПетрГУ БКТ выполнялся с использованием водного стимула. Применялось вливание 100 мл воды температурой 44°и 30°С с двух сторон в течение 10 сек. Методика и последовательность тестов была такая же, как и при выполнении БКТ с воздушной стимуляцией (описана выше). Оценка калорического нистагма проводилась визуально с использованием очков типа Frenzel. Нистагменные ответы оценивали по длительности латентного периода (в сек) и калорического нистагма (в сек). Расчет коэффициентов ЛА и ДП проводился по длительности калорического нистагменного ответа.

2.2.4. Оценка функции равновесия методом компьютерной стабилотрии

Для оценки функции статического равновесия использовался метод *компьютерной стабилотрии* с применением аппарата ST-150 (Мера, Москва, Россия). Исследования проводились в четырех различных условиях, отличающихся качеством опоры и наличием визуальной информации.

В первом условии участник исследования находился в европейской стойке (пятки вместе, носки врозь) с открытыми глазами на твердой поверхности динамической платформы стабилотрии, что обозначалось как «глаза открыты», «твердая поверхность» (ОТ). Во втором условии участник теста стоял с закрытыми глазами на твердой поверхности («глаза закрыты», «твердая поверхность» — ЗТ). Третье условие представляло собой состояние с открытыми глазами на слое поролона толщиной 20 см (жесткость поролона ST2245), что обозначалось как «глаза открыты», «поролон» (ОП) (рис. 4). В четвертом условии участник исследования находился с закрытыми глазами на поролоне («глаза закрыты», «поролон» — ЗП) (рис. 5).

Условия ОТ и ЗТ были оценены с помощью «Теста Ромберга» (с закрыванием глаз), состояние ОП оценивалось при помощи «Стопной реакции» (замена твердой поверхности на мягкую), а состояние ЗП рассматривалось как отдельное измерение (рис. 5). Очевидно, что условие ЗП являлось наиболее сложным из-за комбинации депривации зрения и сниженной проприоцептивной обратной связи.

Оценка постурального контроля проводилась по следующим параметрам: длина траектории общего центра давления (ОЦД) (мм) и наименьшей площади доверительного эллипса, в который попадало 95% точек ОЦД (мм²). Во время

проведения тестов в комнате соблюдался режим тишины, отключались мобильные телефоны, а платформа размещалась на бетонной подушке на цокольном этаже, что позволяло минимизировать собственные вибрации здания.

Оценка функции статического равновесия в четырех сенсорных условиях методом стабилотрии проводилась лицам контрольных групп Кн1 и 3, пациентам групп Кл 1 и 2. Также анализ функции статического равновесия в четырех сенсорных условиях методом стабилотрии применен в исследованиях с дополнительной сенсорной стимуляцией.



Рисунок 4 — Экспериментальное поролоновое основание для стабилотрической оценки статического равновесия.

На панели (А) и (Б) представлен общий вид и текстура специально разработанного поролонового коврика. Данное покрытие применялось для создания дестабилизирующей поверхности при исследовании постурального контроля в четырех различных сенсорных условиях (с открытыми/ закрытыми глазами на твердой и мягкой опоре)

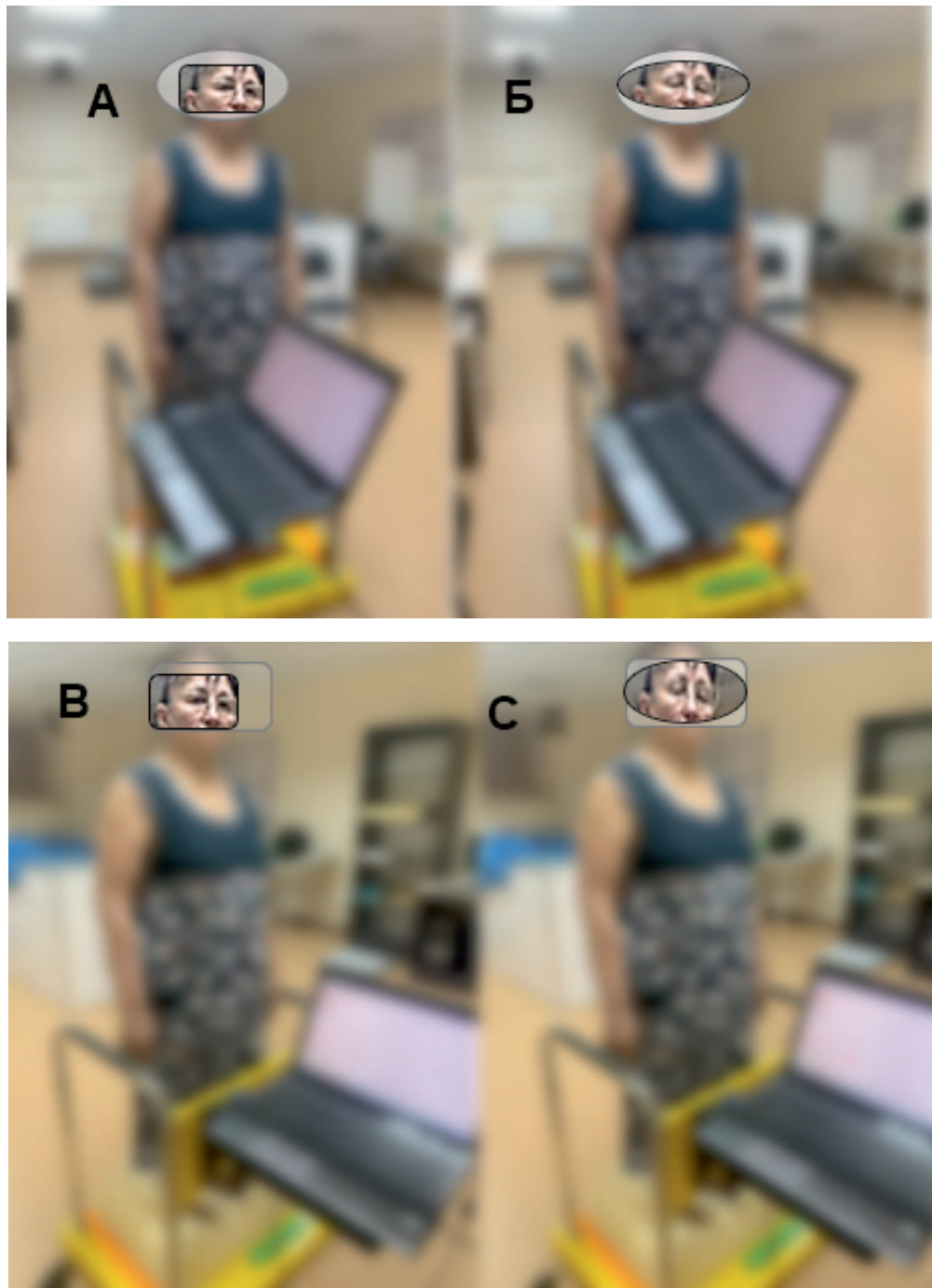


Рисунок 5 — Исследование поструральной устойчивости методом компьютерной стабилومتрии в четырех разных сенсорных условиях здорового участника 59 лет. На панелях А-Д представлены последовательные этапы тестирования статического равновесия в различных сенсорных конфигурациях: (А) — твердая опора, зрительный контроль открыт (условие ОТ), (Б) — твердая опора, зрительный контроль закрыт (условие ЗТ), (С) — эластичная (поролоновая) опора, зрительный контроль открыт (условие ОП), (Д) — эластичная опора, зрительный контроль закрыт (условие ЗП)

2.2.5. Оценка влияния надевания головного убора на параметры компьютерной стабилотметрии

Оценивалось влияние надевания головного убора (зимней меховой шапки (~200 г)) на параметры компьютерной стабилотметрии в четырех сенсорных условиях (рис.6).



Рисунок 6 — Компьютерная стабилотметрия в головном уборе, плотно охватывающем голову у здорового участника 27 лет

В исследовании участвовали лица группы Кн1 (n=23) и пациенты группы Кл2 (n=9). Всем участникам исследования (n=32) выполнялась компьютерная стабилотметрия в двух состояниях: 1) без головного убора; 2) с головным убором в четырех сенсорных условиях (ОТ, ЗТ, ОП, ЗП). Для исключения эффекта «усталости»/ «тренировки» последовательность состояний, в которых выполнялись тесты выбиралась рандомно, перерыв между тестами составлял 5-7 минут.

2.2.6. Оценка влияния воздействия звука костной проводимости (110 Гц) на параметры компьютерной стабилотметрии

Оценивалось влияние воздействия звука костной проводимости (ЗКП, 110 Гц) с наложением вибратора на козелок ушной раковины с двух сторон на параметры компьютерной стабилотметрии (КС) в четырех сенсорных условиях. В исследовании участвовали лица группы Кн1 (n=34) и пациенты группы Кл2 (n=24). Все лица (n=58) обследованы в двух состояниях: 1) «без звука»; 2) «со звуком» в четырех

описанных выше сенсорных условиях (ОТ, ЗТ, ОП, ЗП). Для исключения эффекта усталости, тренировки и адаптации к звуку, кумулятивного эффекта очередность состояний, в которых выполнялись тесты выбиралась рандомно, перерыв между тестами составлял 10 минут. Испытуемые адаптировались (5-7 мин) к самостоятельно подобранной интенсивности звука перед состоянием «со звуком»

Для обеспечения акустического воздействия использованы коммерческие беспроводные вибрационные костные наушники с частотным диапазоном 20-20000 Гц типа hoco. © (DM43, Hoco technology development (SHENZHEN) co., Ltd., КНР) и AEVYVKV (Z8, КНР), размещенные на козелках ушных раковин с обеих сторон (рис. 7). Данный метод обеспечивает хрящевую проводимость звука (cartilage conduction), при которой механические колебания передаются через хрящ ушной раковины на кости черепа и далее к рецепторному аппарату внутреннего уха, одновременно обеспечивая тактильную стимуляцию кожи козелка [185].

Применялся синусоидальный тон 110 Гц интенсивностью 45-65 дБ, устанавливаемой индивидуально на ~30% выше порога слухового восприятия. Параметры стимула подобраны эмпирически на основе субъективных отчетов и клинического наблюдения (ощущение вибрации в области козелка). Звуковой стимул генерировался мобильным приложением с операционной системой Android 14 (Google, США) и передавался на наушники по Bluetooth®. Интенсивность звука верифицировалась приложением-шумомером Decibel Meter Pro (App Store, v 2.0.4). Для оптимизации акустического контакта микрофоны фиксировались эластичной повязкой (рис. 7).

Исследование включало состояния «без стимула» и «со стимулом» с 10-минутным интервалом для минимизации адаптации/кумуляции. Перед тестом «со стимулом» пациенты самостоятельно включали звук, устанавливали комфортную интенсивность и адаптировались 5-7 минут.

Аналогичным способом осуществлялось воздействие звуком костной проводимости в TUG тесте (Timed Up and Go) — тесте на трансформацию позы, повороты и ходьбу с регистрацией параметров на мобильный телефон.

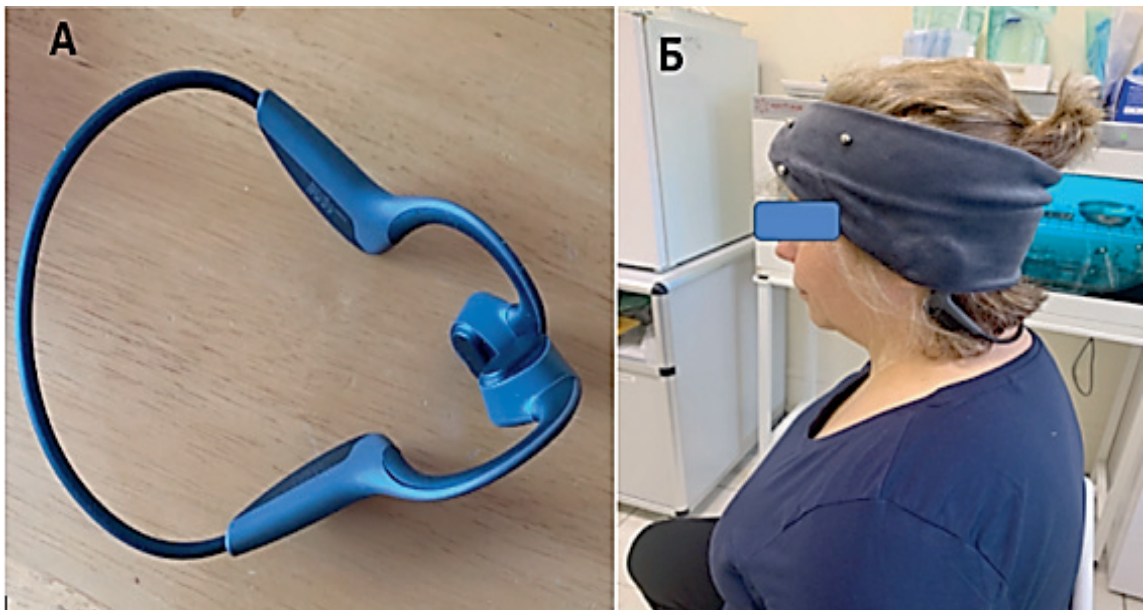


Рисунок 7 — Проведение акустической стимуляции частой 110 Гц у пациентки 42 лет с левосторонней стойкой вестибулярной гипофункцией

Панель (А) иллюстрирует общий вид наушников(телефонов) модели AEVYVKV (Z8, КНР). Панель (Б) иллюстрирует вариант способа дополнительной фиксации телефонов (наушников) костной проводимости. Для обеспечения стабильного акустического контакта костные наушники у части исследуемых лиц дополнительно фиксировались эластичной повязкой в области козелка ушной раковины.

2.2.7. Оценка влияния профессионального музыкального тренинга на постуральный контроль у здоровых лиц на основании данных компьютерной стабилومتрии

В исследовании участвовали лица группы групп Кн1 (n=18) и Кн2 (n=19, лица с высоким уровнем вокальной подготовки, обучающиеся в консерватории). Постуральная устойчивость оценивалась методом компьютерной стабилومتрии (стабилоплатформа ST-150, «Мера», Россия) с использованием теста — «проба Ромберга» в европейской стойке. Анализировались следующие параметры статокинезиограммы: длина траектории общего центра давления (ОЦД) (мм); площадь доверительного эллипса ОЦД (мм²).

2.2.8. Анализ параметров ходьбы в различных сенсорных условиях с использованием системы маркерного видеозахвата

В исследовании участвовали лица контрольных групп 1 (n=17), 3 (n=11) и пациенты клинической группы 1 (n=15). Исследование проводилось с использованием аппаратно-программного комплекса (АПК) «Видеоанализ-Биософт 3D» («Биософт»,

Москва, Россия) для трехмерного анализа локомоций на основе маркерного видеозахвата. Система включала две высокоскоростные видеокамеры, блок синхронизации и кабели передачи видеосигнала. Ключевое преимущество комплекса — отсутствие на испытуемом устройств, ограничивающих движения и искажающих двигательный стереотип. Светоотражающие маркеры фиксировались на голове (в точке, соответствующей месту установки ножки камертона при пробе Вебера) и сегментах нижних конечностей. Для эксперимента использовался изготовленный поролоновый мат размером 4,0×3,5 м, толщиной 200 мм и жесткостью ST 224 (рис. 8).

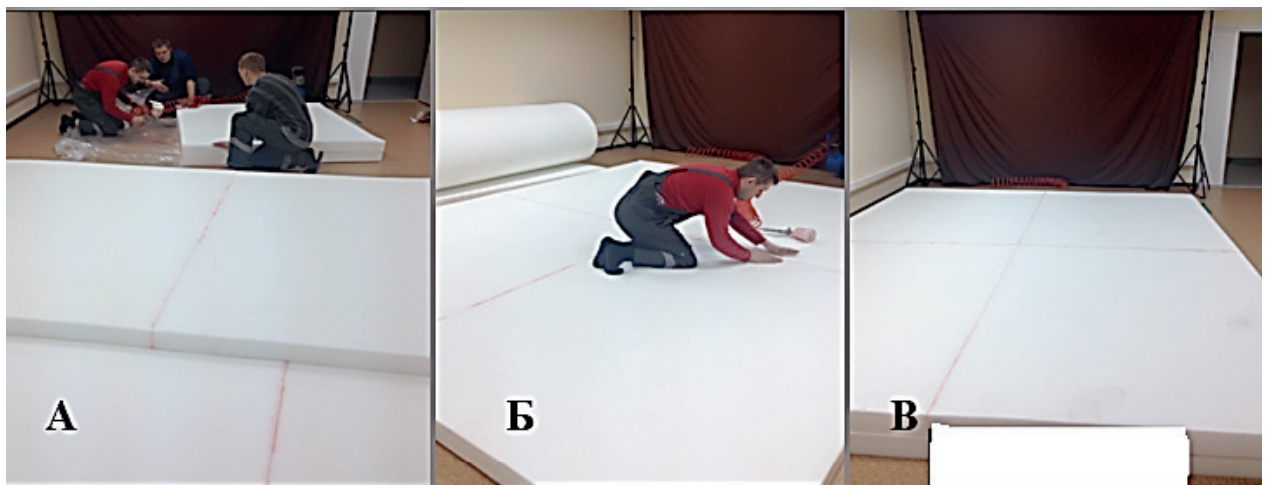


Рисунок 8 — Подготовка к проведению исследования параметров ходьбы в различных сенсорных условиях методом маркерного видеозахвата. Панели А-В иллюстрируют этапы подготовки специального поролонового мата к проведению исследования параметров ходьбы в различных сенсорных условиях с помощью метода маркерного видеозахвата движения

Пациентов просили пройти привычным шагом расстояние 4 метра: 1) с открытыми глазами по твердой поверхности (ОТ) и после этого 2) с закрытыми глазами по твердой поверхности (ЗТ); 3) с открытыми глазами по поролоновому мату (ОП); 4) с закрытыми глазами по поролоновому мату (ЗП).

При просмотре видеофайла проводилась визуальная оценка индивидуальных особенностей походки. Кинематический анализ параметров ходьбы выполнялся на основе данных видеооцифровки. Оценивалась длина шагового цикла (мм) во всех четырех сенсорных условиях (рис. 9. А). Длина шагового цикла — расстояние между последовательными точками первого контакта одной и той же стопы с опорной поверхностью («двойной шаг»). В процессе обработки данных на графиках выделялись маркерами границы измеряемых отрезков длины цикла шага (моменты касания ноги с поверхностью) (рис. 9, Б).

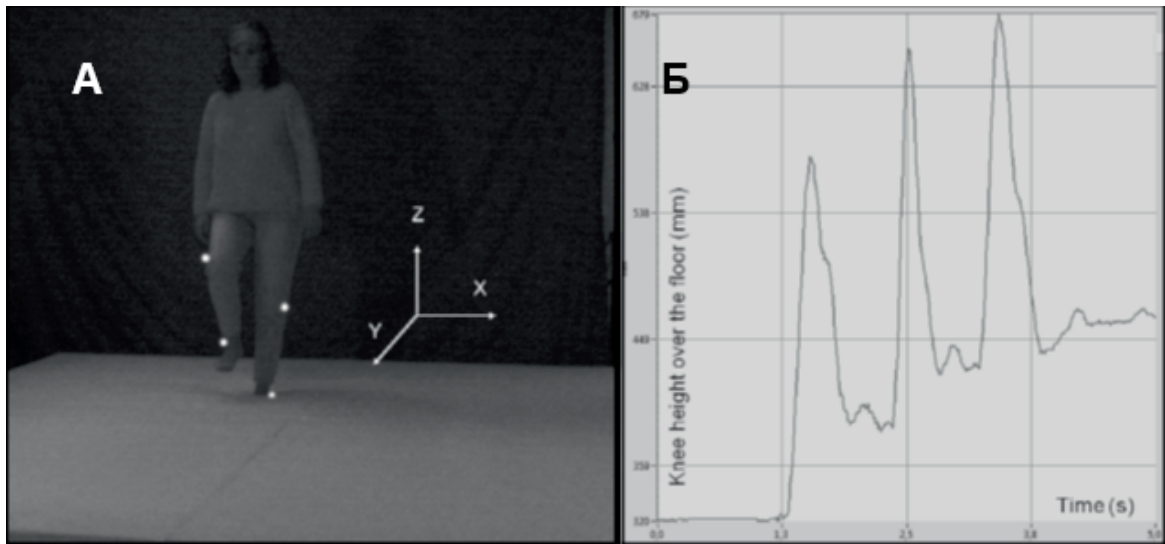


Рисунок 9 — Вид маркерного видеозахвата нижних конечностей человека и графическое изображение шагового цикла.

Панель (А) иллюстрирует здорового добровольца 22 лет, с световозвращающими сферами при ходьбе с закрытыми глазами по податливой поверхности (поролон); панель (Б) иллюстрирует графическое изображение трех шаговых циклов у того же участника. Ось Y отражает высоту подъема колена над поверхностью пола.

Программное обеспечение комплекса позволяло строить усредненные профили по нескольким попыткам и рассчитывать стандартные отклонения кинематических характеристик. Вideoзапись движения и обработка видеосигнала проводились при содействии инженера отдела новых методов физиологических исследований Института высоких биомедицинских технологий ПетрГУ Прохорова К.С.

2.2.9. Модифицированный тест TUG (Timed Up and Go, «встань и иди»)

TUG-тест — это тест на ходьбу, трансформацию позы и повороты [432]. Исследование выполнялось в помещении, свободном от препятствий. Перед началом исследования пациент сидит на жестком стуле, спина прижата к спинке стула, руки на подлокотниках, стопы полностью на полу. По команде «старт» вставал, проходил 13 метров, разворачивался, возвращался к стулу и садился. Секундомер останавливался, когда пациент полностью садится на стул. TUG-тест проводился в классическом варианте (3 м) пациентам группы КлЗ (с ОВД), в последующем получавшим ВР (n=68): 1) на 3-7 сутки госпитализации, после вертикализации и 2) повторно через 7-10 дней перед выпиской из стационара.

Также TUG-тест применен во время стимуляции звуком костной проводимости (110 Гц) козелка ушной раковины с двух сторон в условиях нормальной и низкой освещенности. В исследовании участвовали лица контрольной группы 1 (n=26)

и пациенты кинической группы 2 ($n=28$). Каждый участник исследования выполнил тест TUG на дистанции 13 метров при четырех различных сенсорных условиях:

1. Контрольное состояние (К). Стандартное искусственное освещение (нормальная освещенность), отсутствие аудиостимуляции.
2. Состояние зрительной депривации (ЗД). Пониженная искусственная освещенность (депривация светового потока), отсутствие аудиостимуляции. Снижение освещенности достигалось уменьшением искусственного света до минимального уровня, обеспечивающего безопасную визуальную навигацию и предотвращение травматизма.
3. Состояние аудиостимуляции (АС). Стандартное искусственное освещение (нормальная освещенность), с применением аудиостимуляции посредством костной проводимости.
4. Комбинированное состояние (ЗД+АС). Пониженная искусственная освещенность (депривация светового потока) с одновременным применением аудиостимуляции костной проводимости.

Тестирование осуществлялось в свободном от препятствий лабораторном коридоре. На голову пациента одевалась строительная каска, плотно охватывающая голову.

Для оценки TUG-теста применен метод акселерометрии при помощи IMU (inertial measuring unit) смартфона (Xiaomi Mi4, Xiaomi Tech, Пекин, КНР; размеры 68,5×139,2×8,9 мм, вес 149 г). Запись сигналов осуществлялась с помощью установленного на смартфон программного обеспечения [300]. Смартфон плотно крепился к каске посредством магнита (рис. 10).

После модификации условий освещенности (переход между К/АС и ЗД/ЗД+АС) предусматривался 5-минутный период темновой адаптации зрительной системы. Между выполнением теста в условиях ЗД и АС вводился дополнительный 10-минутный интервал, в течение которого участники адаптировались к аудиостимуляции посредством ходьбы. Методика воздействия звуком костной проводимости описана выше.

Акселерометрический профиль TUG-теста со всеми этапами представлен на рисунке 11. На рисунке видно, что человек сначала сидит, потом встает, делает шаги, разворачивается в движении, затем снова делает шаги в обратном направлении и садится.

Для характеристики этих этапов была разработана оценка нескольких групп акселерометрических параметров, которые были связаны со временем выполнения

(D-параметры, duration), оценкой шагания (S-параметры, stepping) и мощностью ступания на поверхность (P-параметры, power).



Рисунок 10 — Подготовка к проведению модифицированного TUG теста с регистрацией параметров аксилотрии на мобильный телефон. Панель А иллюстрирует способ фиксации мобильного телефона, панель Б иллюстрирует внешний вид пациента перед проведением исследования.

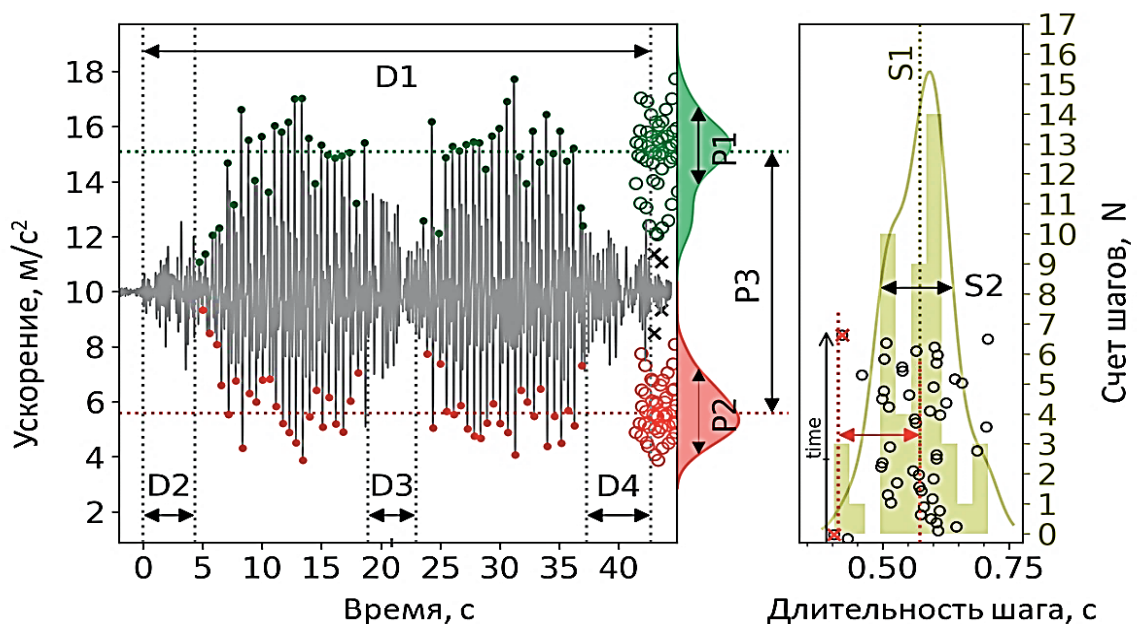


Рисунок 11 — Характерная акселерограмма 13-метрового TUG-теста. Левая панель: Параметры времени этапов (D1-D4) и мощности наступания на поверхность (P1-P3) по данным акселерометра. Правая панель: динамика длительности шага с отметками среднегозначения (S1) и вариабельности (S2) на протяжении теста.

Время выполнения (Duration, D):

D1: Полное время теста (с): от вставания до полного приседания

D2 Запуск ходьбы (с): от старта движения головы при вставании до 3-го шага

D3 Время разворота (с): от остановки ходьбы вперед до начала ходьбы назад

D4: Время посадки (с): от предпоследнего шага до полного сидения

Характеристики шагания (Stepping, S):

S1: Среднее время шага (с)

S2: Изменчивость времени шага (с): (стандартное отклонение)

S3: Средняя частота шагов (шаг/мин)

S4: Изменчивость частоты шагов (шаг/мин): (стандартное отклонение)

S5: Показатель аномально длинных шагов: (среднее. 2 максимальных шагов / SD остальных)

Ускорения и мощность (Power, P):

P1: Максимальное ускорение при постановке стопы (м/с^2)

P2 Максимальное ускорение при переносе ноги (м/с^2)

P3: Средний разброс ускорений (м/с^2): Средняя. разница (P1-P2) при ходьбе вперед (индикатор мощности)

2.2.10. Постактивационный эффект

В исследовании участвовали лица контрольной группы 1 ($n=15$). Постактивационный эффект (ПАЭ, феномен Конштамма) был исследован в условиях «без звука» и «со звуком». Постактивационный эффект (ПАЭ, непроизвольный тонический автоматизм, феномен Конштамма) вызывали в дельтовидных мышцах, билатерально. Для этого участник исследования в течение 60 секунд надавливал тыльной стороной обеих кистей выпрямленных рук на вертикальные стойки металлической рамки, которые находились с обеих сторон. Фактически нужно было отводить руки в стороны против неподвижного препятствия. Сила составляла примерно 60% от максимального произвольного сокращения. Угол в плечевых суставах составлял 30-35°. Уровень максимального произвольного сокращения определяли заранее по максимальной амплитуде интерференционной электромиограммы (иЭМГ). Во время предварительного произвольного сокращения дельтовидных мышц один из исследователей следил за амплитудой иЭМГ на экране и при отклонении предупреждал участника, чтобы тот корректировал усилие. Все испытуемые смогли поддерживать стабильную и примерно одинаковую активность с обеих сторон. Через 60 секунд по команде они расслабляли дельтовидные мышцы,

и руки свободно опускались вдоль тела. Металлические стойки откатывали назад, чтобы они не мешали произвольному отведению рук во время ПАЭ.

Наличие ПАЭ проверяли с помощью поверхностной электромиографии. Использовали предувлажненные самоклеящиеся хлорсеребряные электроды М-00-S (Ambu®, Blue Sensors-M, Дания). Два электрода фиксировали над средним пучком правой и левой дельтовидных мышц на коже, предварительно обработанной спиртом, вдоль мышечных волокон. Заземляющий электрод укрепляли над левом локтевым суставом. Сигнал интерференционной электромиограммы (иЭМГ) регистрировали при помощи электромиографа «Нейро-МВП-8» (Нейрософт, Россия). Полоса пропускания частот составила 5-1000 Гц, частота оцифровки АЦП — 20 кГц.

Для анализа отбирали фрагменты иЭМГ длиной 4 с в конце произвольного напряжения и в начале периода ПАЭ. Среднюю частоту спектра (Гц) и суммарную амплитуду (мкВ/с) иЭМГ вычисляли в программном обеспечении самого электромиографа. Латентность ПАЭ (интервал между окончанием произвольного сокращения и началом ПАЭ) и его длительность измеряли с помощью маркера на экране вручную. Также рассчитывали отношение данных показателей ПАЭ к показателям произвольной активности (в процентах).

ПАЭ изучали в состояниях «без звука» и «со звуком». В состоянии «со звуком» ЗКП (110 Гц) подавали посредством наушников (телефонов) костной проводимости, размещенных на козелках ушных раковин с двух сторон во время произвольного напряжения и на протяжении всего постактивационного эффекта. Порядок состояний («со звуком» /«без звука») был случайным для каждого участника, исследования проводили в разные дни, чтобы избежать привыкания или утомления. Положение электродов отмечали на коже для повторного исследования. Длительность, латентность и параметры иЭМГ сравнивали между состояниями «без звука» и «со звуком» отдельно для правой и левой дельтовидных мышц.

2.2.11. Исследование тяжести головокружения с помощью оценочной шкалы DHI (Dizziness Handicap Inventory)

Для количественной оценки эффективности вестибулярной реабилитации и объективизации симптоматики головокружения у пациентов группы КЛЗ и для исследования состояния вестибулярной системы у лиц группы КНЗ, была применена стандартизированная шкала оценки тяжести головокружения (Dizziness Handicap Inventory, DHI) (Jacobson & Newman, 1990) [346]. DHI является валидированным опросником, широко применяемым в клинических исследованиях для

количественной оценки степени инвалидизации, обусловленной головокружением [346]. Шкала состоит из 25 пунктов, каждый из которых предполагает выбор одного из трех вариантов ответа: «Да» (4 балла), «Иногда» (2 балла), «Нет» (0 баллов). Интерпретация результатов DHI:

1. Суммарный балл: Общий балл по DHI варьируется от 0 (отсутствие инвалидизирующего головокружения) до 100 (максимально выраженная инвалидизация вследствие головокружения).
2. Степень тяжести:
 - ☐ 0—30 баллов: легкая степень инвалидизации.
 - ☐ 31—60 баллов: умеренная степень инвалидизации.
 - ☐ более 60 баллов: выраженная степень инвалидизации.

Субшкалы: DHI включает три субшкалы, оценивающие различные аспекты влияния головокружения:

1. Функциональная субшкала (Functional Subscale): оценивает степень ограничения повседневной активности.
2. Эмоциональная субшкала (Emotional Subscale): оценивает степень негативного влияния на психоэмоциональное состояние.
3. Физическая субшкала (Physical Subscale): оценивает выраженность физических симптомов, провоцируемых движениями головы или тела.

2.2.12. Статистический анализ

Статистическая обработка проведена при помощи статистических пакетов IBM SPSS Statistics 21.0 (IBM Company, Чикаго, США). Предварительно выборки были проверены на нормальность распределения при помощи теста Шапиро-Уилкса. Поскольку в большинстве выборок распределение не было нормальным, были использованы непараметрические методы анализа. Тест Уилкоксона был применен для сравнения состояний «без звука» и «со звуком», «с головным убором» и «без головного убора», «до курса реабилитации» и «после курса реабилитации». Тест Крускал-Уоллеса был применен для сравнения групп «молодых», «лиц среднего» и «лиц пожилого возраста», и группами «ДВГ», «ОВГ» и «здоровые лица пожилого возраста». Тест Манна-Уитни применен для сравнения в паре «лица с глухотой» и «без глухоты», тест Фридмана с поправкой Кейлса-Ньюмана для сравнения выборок в четырех разных сенсорных условиях (ОТ, ЗТ, ОП, ЗП).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Результаты эпидемиологического исследования пациентов с жалобами на головокружение и нарушение равновесия в Республике Карелия

В период с сентября 2009 года по октябрь 2024 года проведено эпидемиологическое обследование 1397 пациентов — жителей Республики Карелия (923 ж., — 66,1%, 474 м. — 33,9%, средний возраст пациентов составил $52,3 \pm 15,6$ года), обратившихся за медицинской помощью с жалобами на головокружение и нарушение равновесия к врачу отоневрологу.

Среди обследованных пациентов была проанализирована структура вестибулярной дисфункции в соответствии с установленными клиническими диагнозами. Распределение случаев по нозологическим формам представлено в таблице 13. Видно, что у 48,5 % пациентов, обратившихся с жалобами на головокружение и/или нарушения равновесия, были заболевания, приводящие к развитию вестибулярной дисфункции центрального генеза (вестибулярная мигрень, персистирующее постурально–перцептивное головокружение, вестибулярная пароксизмия, дисциркуляторная энцефалопатия, мультисенсорная недостаточность, аномалия Арнольда–Киари, аномалия Киммерли). Отмечено, что центральная вестибулярная дисфункция достоверно чаще ($p < 0,001$) зарегистрирована среди лиц женского пола.

Пациенты с центральной вестибулярной дисфункцией консультированы неврологом, психотерапевтом. Дальнейшее дообследование и постановка окончательного диагноза проходила с участием данных специалистов. У 204 пациентов (29,3%) вестибулярная дисфункция имела признаки смешанной дисфункции. В 38% случаев у пациентов с центральной вестибулярной дисфункцией имели место явления отолитиаза. У данной группы пациентов лечебные и реабилитационные мероприятия проводились совместно с оториноларингологом.

Таблица 13 — Распределение пациентов с вестибулярной дисфункцией по критерию клинического диагноза: количество человек $n=1397$ (100 %) от общего числа; 474 м., 923 ж., средний возраст $52,3 \pm 15,6$ года

Диагноз	n	%	Женщины%	Мужчины %	Средний возраст
Вестибулярный нейронит	98	7,0	57(58,3%)	41(41,7%)	$44,8 \pm 11,3$
Острый лабиринтит	13	0,9	8 (61,5%)	5(38,5%)	$50,6 \pm 9,4$
Болезнь Меньера	56	4,0	42(74,6%)	14(25,4%) *	$48,9 \pm 12,2$
Хронический ограниченный лабиринтит (фистула лабиринта), как осложнение хронического среднего отита	14	1,0	8(57,1%)	6(42,9%)	$51,6 \pm 12,6$
Синдром Минора	3	0,2	2(66,7%)	1(33,3%)	$38,3 \pm 3,0$
Аутоиммунное заболевание внутреннего уха	3	0,2	3 (100%)	0	$49,0 \pm 2,7$
Периферический кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза	39	2,8	16 (40,5%)	23 (59,5%)	$46,8 \pm 9,1$
синдромом Рамсея Ханта	6	0,4	4 (66,6%)	2(33,3%)	$61,2 \pm 8,7$
Перелом височной кости, сопровождающийся развитием вестибулярного синдрома	3	0,2	1(33,3%)	2(66,7%)	$41,7 \pm 4,5$
Двусторонняя вестибулярная гипопункция	32	2,3	26(81,3%)	6(18,8%) *	$63,6 \pm 13,3$
Отолитиаз (не ассоциированный с другими типами вестибулярной дисфункции)	453	32,4	328(72,3%)	125 (27,7%) *	$61,2 \pm 1,0$
Центральная вестибулярная дисфункция	677	48,5	428(63,2%)	249(36,8%) *	$51,2 \pm 4,4$

Примечание: * $p < 0,001$ при сравнении частоты встречаемости у мужчин и женщин

Отолитиаз (ДППГ) было наиболее частой причиной развития периферической вестибулярной дисфункции как у женщин (72,3%), так и у мужчин (27,7%), но у женщин встречалось достоверно чаще ($p < 0,001$). Вестибулярный нейронит был второй по частоте причиной развития периферической вестибулярной дисфункции (7% случаев), причем разница между частотой встречаемости у женщин (58,3%) и мужчин (41,7%) была незначительной. Полученные данные коррелируют с работой Smith T. B и соавт. (2023), в которой отмечено отсутствие различий в частоте заболеваемости вестибулярным нейронитом в зависимости от пола [549]. Диагноз болезнь Меньера поставлен 56 пациентам (4,6% случаев), причем чаще (74,6 %) заболевание встречалось у женщин ($p < 0,001$). У 9 пациентов с болезнью Меньера была ассоциирована с вестибулярной мигренью (16,1%), что отличается от данных, полученных Neff B.A. и соавт. [151], согласно которым 25% имели два диагноза:

болезнь Меньера и вестибулярную мигрень. Недавние исследования подчеркивают трудности в проведении дифференциальной диагностики между болезнью Меньера и вестибулярной мигренью, обусловленные сходством клинических проявлений и сопоставимыми патогенетическими механизмами [293, 546]. У 9 (16,1%) пациентов с болезнью Меньера был диагностирован отолитиаз как ассоциированное заболевание. В научной литературе сообщается, что распространенность отолитиаза среди пациентов с болезнью Меньера колеблется от 0,5% до 45% [162, 163, 326, 355, 378]. Согласно данным российских исследователей [90], частота ассоциации болезни Меньера с отолитиазом составляет 14,4%, что несколько ниже полученных в нашем исследовании значений.

Периферический кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза, выявленный у 2,8% пациентов, чаще наблюдался у мужчин (58,3%) по сравнению с женщинами (41,7%), что согласуется с данными, представленными Xing W. и соавт. [274]. Пациенты с острым кохлеовестибулярным синдромом были направлены на консультацию к неврологу, а также прошли МРТ головного мозга для исключения центральной этиологии синдрома [50, 55, 68, 352].

В настоящем исследовании выявлено всего 32 пациента с ДВГ, что соответствует частоте 6,11 случая на 100 000 населения с учетом расчетов по данным населения Республики Карелия на 2024 год. Среди лиц с ДВГ также преобладали женщины ($p < 0,001$). Распространённость ДВГ в Республике Карелия, по результатам нашего исследования, значительно ниже, чем в других опубликованных исследованиях — 28 случаев на 100 000 населения [444]. Согласно некоторым исследованиям, ДВГ может встречаться значительно чаще, например от 53 до 95 миллионов взрослого населения в странах Европы и Северной Америки имеют ДВГ [445]. Такое различие может быть объяснено недостаточной диагностикой ДВГ, что связано с низким уровнем осведомленности врачей о данной патологии. Кроме того, у пациентов пожилого возраста часто имеется коморбидная патология, которая может «маскировать» проявления ДВГ, что затрудняет правильную диагностику [50].

В целом, вестибулярная дисфункция среди жителей Республики Карелия чаще отмечена у людей среднего (37,0%) и пожилого (29,0%) возраста (табл. 14). Также обращает внимание, что вестибулярная дисфункция более распространена среди женщин (66,1%) по сравнению с мужчинами (33,9%), что соответствует данным эпидемиологических исследований [230, 2746 419].

Таблица 14 — Распределение пациентов по критерию возраста и пола:
количество человек n =1397 (100%) от общего числа

Возрастная группа	Абс. число (n)	% от общего числа	Женщины (n/%)	Мужчины (n/%)
Молодой возраст (18-44 года)	392	28,1	287 (73,2%)	105 (26,8%)
Средний возраст (45-59 лет)	517	37,0	324 (62,7%)	193 (37,3%)
Пожилой возраст (60-74 года)	405	29,0	251 (62,0%)	154 (38,0%)
Старческий возраст (75-90 лет)	83	5,9	61 (73,5%)	22 (26,5%)
Всего	1397	100,0	923 (66,17%)	474 (33,9%)

Резюме. Несмотря на наличие в Республике Карелия совокупности выраженных климатогеографических факторов (сезонность освещенности и температуры, высокая влажность, геомагнитная неустойчивость), которые теоретически способны сформировать особый эпидемиологический профиль, проведенное исследование не установило их существенного влияния на нозологическую структуру вестибулярных расстройств. Структура патологий и клинико-демографический портрет пациентов (преобладание женщин среднего и пожилого возраста) соответствуют общемировым данным, что указывает на универсальность ключевых патогенетических механизмов и свидетельствует о гомогенности клинико-демографических характеристик данной патологии вне зависимости от географического региона [52, 90, 126, 274, 335].

3.2. Влияние возраста, специального вокального тренинга и слуха на вестибулярную систему и равновесие по данным клинико-инструментального обследования

3.2.1. Клинико-инструментальное обследование здоровых лиц разного возраста с нормальной функцией слуха

Стандартное отоневрологическое обследование. При проведении отоневрологического обследования участников группы Кн1 (n=100; 47 м., 53 ж., средний возраст $40,1 \pm 17,9$ лет), только у одного лица молодого возраста выявлено нарушение обоняния по периферическому типу 1 степени на фоне аллергического ринита. Других патологических симптомов не выявлено.

У лиц пожилого и старческого возраста нарушение обоняния по периферическому типу 1–2 степени на фоне хронического ринита выявлено у трех человек. У части пациентов пожилого и старческого возраста, несмотря на отсутствие жалоб на головокружение и нарушения равновесия, при отоневрологическом обследовании были выявлены определенные отоневрологические симптомы (табл. 15). У этих пациентов в анамнезе зарегистрирована гипертоническая болезнь II степени с низким риском, а также, вероятно, хроническое нарушение мозгового кровообращения, хотя рекомендации со стороны терапевта и невролога не отмечены.

Таблица 15 — Распределение лиц контрольной группы 1 пожилого и старческого возраста (n=18) по типам выявленных симптомов в результате отоневрологического обследования

Отоневрологический симптом	(%)
Нарушение произвольных саккад	1 (5,6%)
Искажение зрительного прослеживания	1 (5,6%)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	3(3,7%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	0
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0
Позиционный нистагм	0
Коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous	0
Дисдиадохокинез	2 (11,1%)
Промахивание в указательной пробе	0
Проба Водака-Фишера	0
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/на поролоновом мате)	0/1(0/5,6%)
Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты) (нарушение)	0/0
Поворот в тесте Unterberger	0

Исследование вестибулярного аппарата с применением методики видеонистагмографии (VNG). При исследовании здоровых лиц Кн1 при помощи VNG спонтанные глазодвигательные реакции не были зарегистрированы ни у одного из участников. Межгрупповой анализ выявил статистически значимые различия ($p < 0,05$) между молодыми (20 — 44 года) и пожилыми и старыми (>60 лет) лицами по всем исследуемым параметрам, включая показатели калорической стимуляции (R 30°C, L 44°C) и их суммарные значения (R 30+44°C, L 30+44°C). (табл. 16).

Таблица 16 — Сравнительный анализ средних значений и референтных диапазонов пиковых значений скорости медленной фазы нистагма (СМФ) в БКТ у лиц контрольной группы 1 (n=100, 47 м., 53 ж., средний возраст 40,1±17,9 лет)

Условия	Молодые n=57; 30 м, 27 ж., 27,1±5,6 лет	Средний возраст n=25; 11 м, 14 ж., 51,2±4,8 лет	Пожилые и старые n=18; 6 м, 12 ж., 69,4±5,5 лет
R 30°C	8,9±3,2 4,3 — 22,6	7,4±2,8 3,8-12,6	6,1±2,1** 3,3-9,9
R 44°C	12,7±4,1 5,1- 29,7	11,2±3,9 6,9-18,4	9,8±3,3* 4,3-16,9
L 30°C	9,8±4,5 4,7-25,1	8,6±3,1 4,4-13,5	6,0±2,7** 2,7-11,7
L 44°C	14,3±6,7 4,5-45,2	12,9±5,2 7,2-21,6	10,1±4,4* 4,4-19,0
R 30 + R 44	21,6±7,3 12,4-52,3	18,6±6,5 11,3-31,9	15,3±5,6** 7,6-26,8
L 30 + L 44	24,1±8,9 10,9-65,1	21,5±7,8 13,7-39,8	17,9±6,1** 9,7-30,2

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ — отличие от молодого возраста. Вторая строка в каждом столбце — диапазон нормальных значений

Исследуемые показатели СМФ нистагма (при стимуляции R 30°C, R 44°C, L 30°C, L 44°C и их суммы) показали снижение средних значений в зависимости от возраста (табл.16). Например:

- Для R 30°C отмечено уменьшение СМФ с 8,9°/с в группе молодых до 6,1°/с у пожилых и старых лиц (~31,5%);
- Для L 44°C снижение СМФ составило 29,4% (с 14,3°/с до 10,1°/с);
- Суммарный показатель СМФ для правой стороны (R 30+44°C) уменьшился на 28,7% (с 21,6 до 15,4°/с).

Референтные диапазоны скорости медленной фазы (СМФ) нистагма также показали возрастзависимое сужение. Так, для R 30°C интервал сократился с 4,3-22,6°/с (молодые) до 3,3-9,9°/с (молодые и старые) (рис. 12).

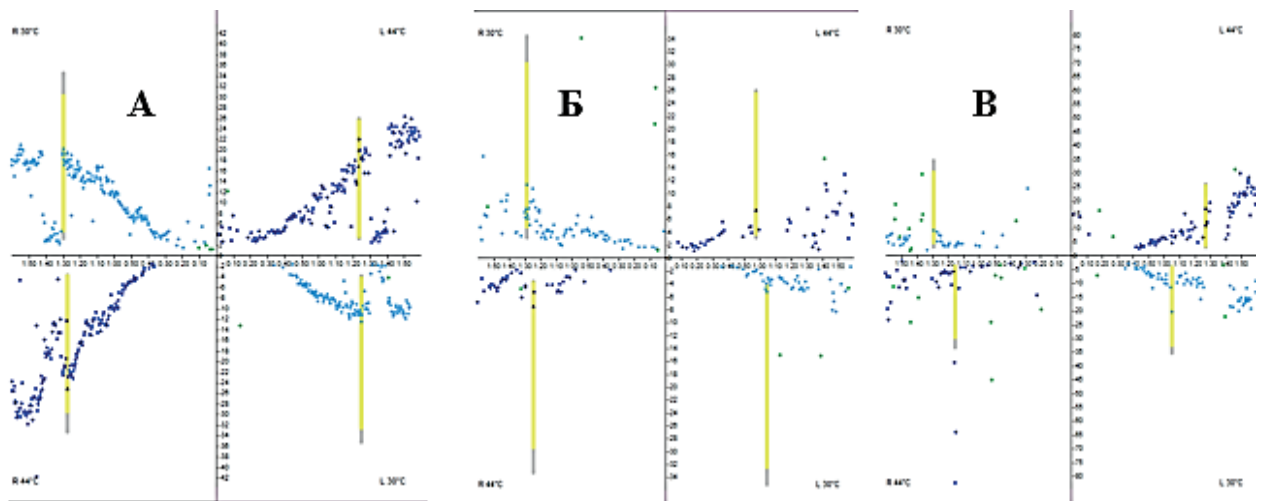


Рисунок 12 — Оценка вестибулярной функции при помощи битермального калорического теста

Панель (А) иллюстрирует результаты тестирования лица 27 лет, суммарная СМФ нистагма справа 26 °/с, слева 22°/с. Панель (Б) — лицо 62 лет, суммарная СМФ нистагма справа 15 °/с, слева 17°/с. Панель (В) — лицо 74 лет, суммарная СМФ нистагма справа 9 °/с, слева 11°/с. Темно-синим цветом выделен посткалорический нистагм на тепловой (44 °С), светло-голубым — на холодной стимул (30 °С). Момент активации светового стимула обозначен вертикальной желтой линией.

Оценка функции равновесия методом компьютерной стабилометрии у лиц контрольной группы 1. Возраст оказал влияние на параметры стабилотраммы у здоровых лиц группы КнГ1. Так, у пожилых/старых лиц во всех сенсорных условиях длина траектории ОЦД была больше ($p < 0,05$) по сравнению с лицами молодого возраста (табл. 17).

Таблица 17 — Длина траектории ОЦД (мм) у лиц разного возраста в различных сенсорных условиях ($n=68$; 24 м., 44 ж., средний возраст $45,4 \pm 18,1$ лет)

Сенсорные условия стояния			
ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Молодой возраст ($n=33$; 12м., 21 ж., $29,9 \pm 4,6$ лет)			
231 (181; 240)	325 (258; 389)	382 (283; 471)	907 (725; 1327)
Средний возраст ($n=19$; 7 м., 12 ж., $52,7 \pm 6,4$ лет)			
236 (218; 250)	320 (269; 433)	458 (352; 477)	970 (837; 1067) *
Пожилый возраст+старые (>60 лет), $n=16$; 5 м., 11 ж., $66,3 \pm 15,1$ лет			
331 (272; 398) *	466 (398; 665) *	559 (451; 734) *	1258 (1079; 1633) *

Примечание: * — $p < 0,05$ при сравнении с молодым возрастом (ANOVA)

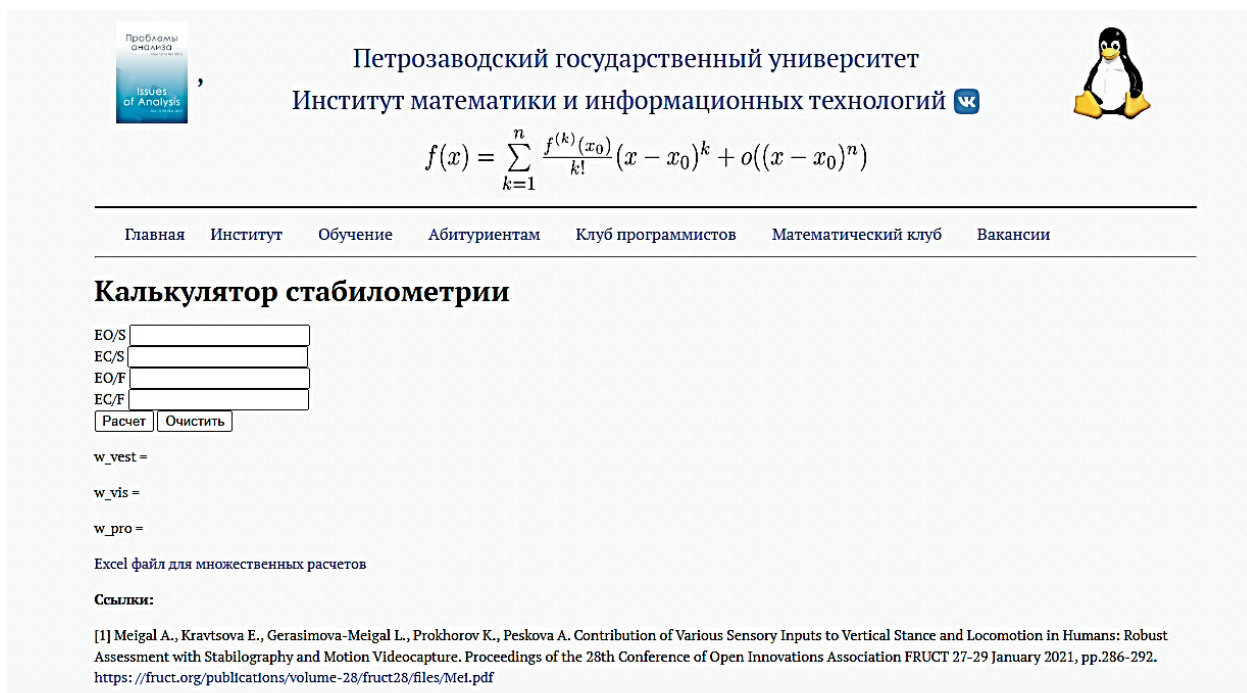
Расчет вклада сенсорных систем в функцию поддержания равновесия на основании данных стабилومتрии. Для расчета весового вклада основных сенсорных систем (вестибулярной, зрительной и проприоцептивной) командой соавторов под руководством профессора Мейгал А.Ю. была разработана и использована формула на основе длины траектории (или площади доверительного эллипса) ОЦД. Предполагалось, что совокупный сенсорный вклад в поддержание равновесия равен 1,0 ($W_{vest} + W_{vis} + W_{pro} = 1,0$), где W_{vest} обозначает вклад вестибулярной системы, W_{vis} — зрения, а W_{pro} — проприоцептивной системы [427].

Исходно принималось, что в состоянии «ЗП» (глаза закрыты, стоя на мягкой поверхности — поролоне), которое можно считать наиболее сложным для выполнения, зрительная и проприоцептивная сенсорные системы «отключены» (условно, так как реально была отключена только опорная афферентация). В связи с этим вклад вестибулярной системы можно оценить как 100% ($W_{vest} = 1,0$). Напротив, в состоянии «ОТ» (глаза открыты, на твердой поверхности) все три сенсорные системы вносят свой вклад ($W_{vest} + W_{vis} + W_{pro} = 1,0$), в состоянии «ОП» (глаза открыты, на поролоне) функционируют только зрительная и вестибулярная системы ($W_{vest} + W_{vis} = 1,0$), а в состоянии «ЗТ» (глаза закрыты, на твердой поверхности) — только вестибулярная и проприоцептивная системы ($W_{vest} + W_{pro} = 1,0$). Таким образом, последовательно исключая из общей формулы ($W_{vest} + W_{vis} + W_{pro} = 1,0$) каждый компонент, можно вычислить весовой вклад каждого из них. Алгоритм для выполнения этих расчетов представлен в таблице 18.

Таблица 18 — Вклад разных сенсорных систем в поддержание равновесия при различных сенсорных состояниях

Условие	W_{vest}	W_{vis}	W_{pro}	Формула для вычисления W^*
ОТ	+	+	+	$W_{vest} + W_{vis} + W_{pro} = 1$
ЗТ	+	0	+	$W_{vest} + W_{pro} = 1$
ОП	+	+	0	$W_{vest} + W_{vis} = 1$
ЗП	+	0	0	$W_{vest} = 1$

Для удобства практического применения разработан и внедрен совместно с доцентом института прикладной математики и информационных технологий д.т.н. Щеголевой Л.В. online калькулятор стабилومتрии, доступный по ссылке https://imit.petrstu.ru/stabilometry_calculator (рис. 13).



ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт математики и информационных технологий

$$f(x) = \sum_{k=1}^n \frac{f^{(k)}(x_0)}{k!} (x - x_0)^k + o((x - x_0)^n)$$

Главная Институт Обучение Абитуриентам Клуб программистов Математический клуб Вакансии

Калькулятор стабилотрии

EO/S
EC/S
EO/F
EC/F

w_vest =
w_vis =
w_pro =

Excel файл для множественных расчетов

Ссылки:

[1] Meigal A., Kravtsova E., Gerasimova-Meigal L., Prokhorov K., Peskova A. Contribution of Various Sensory Inputs to Vertical Stance and Locomotion in Humans: Robust Assessment with Stabilography and Motion Videocapture. Proceedings of the 28th Conference of Open Innovations Association FRUCT 27-29 January 2021, pp.286-292.
<https://fruct.org/publications/volume-28/fruct28/files/Me1.pdf>

Рисунок 13 — Иллюстрация страницы сайта Петрозаводского Государственного университета с размещенным online калькулятором стабилотрии для быстрого расчета вклада сенсорных систем в поддержание равновесия в вертикальной позе. Примечание: ОТ глаза открыты стоя на твердой поверхности, ЗТ глаза закрыты стоя на твердой поверхности, ОП глаза открыты стоя на поролоне, ЗП глаза закрыты, стоя на поролоне.

Определение нормативных показателей относительного вклада сенсорных систем в процесс поддержание равновесия в вертикальной позе на основании данных компьютерной стабилотрии выполнено 68 испытуемым разного возраста группы Кн1. По результатам исследования весовой вклад трех сенсорных систем в общую функцию равновесия оказался практически независимым от возраста, поскольку различие их вклада между исследованными возрастными группами не достигло величины статистической значимости ($p > 0,05$), хотя и имелась тенденция к уменьшению зрительного вклада с возрастом ($W_{vis} = 0,31-0,23$). Во всех группах наибольший вклад вносила проприоцептивная сенсорная система ($W_{pro} = 0,46-0,51$) (табл.19). Вклад вестибулярной системы оставался относительно стабильным во всех возрастных категориях ($W_{vest} = 0,24-0,29$), что может свидетельствовать о сохранении роли вестибулярного аппарата у человека при физиологическом старении (табл.19).

Таблица 19 — Весовой вклад сенсорных систем в процесс поддержания равновесия в вертикальной позе у лиц контрольной группы 1 (n=68; 24 м., 44 ж., средний возраст $45,4 \pm 18,1$ лет)

Возраст	Wvis	Wpro	Wvest
Молодой (n=33) 12м., 21ж., $29,9 \pm 4,6$ лет	$0,31 \pm 0,13$	$0,46 \pm 0,17$	$0,24 \pm 0,09$
Средний (n=19) 7м., 12ж., $52,7 \pm 6,4$ лет	$0,26 \pm 0,13$	$0,47 \pm 0,17$	$0,27 \pm 0,11$
Пожилой + старый (1) (n=16) 5м., 11 ж., $66,3 \pm 15,1$ лет	$0,24 \pm 0,13$	$0,50 \pm 0,17$	$0,26 \pm 0,07$

Примечание: Wvest — вклад вестибулярной системы, Wvis — вклад зрительной системы, Wpro — вклад проприоцептивной системы, данные представлены как среднее и стандартное отклонение. ($p > 0,05$). Между группами 1-3 и 2-3 нет статистически значимых различий

Исследование параметров ходьбы в различных сенсорных условиях с использованием системы маркерного видеозахвата в различных сенсорных условиях у лиц 1 контрольной группы. В исследовании принимали участие молодые здоровые добровольцы без нарушения слуха (n=17; 8 м., 9 ж., средний возраст $28,4 \pm 7,6$ лет). Оценивалось влияние различных сенсорных условия на длину шага (ДШ, мм.). Исследование ходьбы при помощи метода маркерного видеозахвата движения показало, что длина шага (ДШ) не изменялась ($p > 0,05$) у молодых здоровых лиц без нарушения слуха при переходе от простых к более сложным сенсорных условиям исполнения (табл. 20).

Таблица 20. Длина шага (мм) у здоровых молодых лиц без нарушения слуха в различных сенсорных условиях (n=17; 8м., 7 ж.; $28,4 \pm 7,6$ лет)

Сенсорные условия ходьбы			
ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
1074 (1038; 1139)	1053 (986; 1105)	1054 (958; 1125)	1015 (915; 1079)

Примечание: ОТ — глаза открыты ходьба по твердой поверхности, ЗТ — глаза закрыты ходьба по твердой поверхности, ОП — глаза открыты, ходьба по поролону, ЗП — глаза закрыты, ходьба по поролону.

3.2.2. Оценка влияния профессионального музыкального тренинга на постуральный контроль по данным компьютерной стабилومتрии

Стандартное отоневрологическое обследование, исследование вестибулярного аппарата с применением методики видеонистагмографии (VNG). При проведении отоневрологического обследования добровольцев группы Кн2 патологических симптомов не выявлено. При VNG исследовании лиц контрольной группы 2 спонтанные глазодвигательные реакции не были зарегистрированы ни у одного испытуемого. Сравнительный анализ средних значений и референтных диапазонов пиковых значений скорости медленной фазы нистагма (СМФ) в БКТ не выявил статистически значимые различия между лицами контрольной групп 2 и 1.

В исследование включены лица контрольной группы 2 (Кн2) — молодые вокалисты (n=19; 3 м., 16 ж., Вок) и контрольной группы 1 (Кн1) — молодые невокалисты (n=18; 4 м., 14 ж., МнВ). Антропометрические характеристики лиц контрольных групп 1 и 2 практически не различаются (табл. 21).

Таблица 21 — Антропометрические характеристики лиц контрольных групп 1 и 2, включенные в исследование (n=37, 7м., 30 ж.)

Группа	Возраст (лет)	Рост (см)	Вес (кг)	ИМТ
Вок (n=19)	27,6 ± 5,1	172,5 ± 8,3	65,1 ± 11,7	21,9 ± 3,9
МнВ (n=18)	25,3 ± 4,8	168,7 ± 9,1	69,3 ± 20,1	21,9 ± 3,8

Примечание: ИМТ — индекс массы тела; молодые вокалисты (Вок); молодые не вокалисты (МнВ)

Постуральная устойчивость оценивалась методом компьютерной стабилографии (стабилоплатформа ST-150, «Мера», Россия) с использованием пробы Ромберга (европейская стойка). Анализировались длина траектории ОЦД (мм) и площадь доверительного эллипса ОЦД (мм²). Статистически значимые различия (p<0,001) выявлены для площади доверительного эллипса ОЦД: у вокалистов она меньше как при зрительном контроле, так и при его отключении (табл. 22). Для длины траектории ОЦД различия не достигают уровня значимости, однако прослеживается тенденция к её уменьшению в группе вокалистов (p<0,1).

Полученные данные могут отражать положительное влияние профессионального вокального и музыкального тренинга на систему равновесия, что, вероятно, связано с развитием сенсомоторной координации, контролем дыхания и устойчивостью позы в процессе вокальной тренировки.

Таблица 22 — Параметры компьютерной стабилотрии молодых здоровых лиц без нарушения слуха (n=18; м 4., 14 ж.; $25,3 \pm 4,8$ лет) и молодых вокалистов (n=19, 5 м., 16 ж., $27,6 \pm 5,1$ лет)

Группы	Условия стояния	
	Глаза открыты	Глаза закрыты
Длина траектории ОЦД (мм)		
Лица без нарушения слуха (МнВ)	186,8 (134; 246,6)	271,2 (210; 387)
Вокалисты (Вок)	147 (114; 191)	236 (184; 331)
Площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)		
Лица без нарушения слуха (МнВ)	77,7 (28; 138)	132,6 (115; 173,6)
Вокалисты (Вок)	38 (24; 68) *	83 (44; 98) **

Примечание: *** — $p < 0,001$ при сравнении молодых лиц без нарушения слуха и вокалистов (тест Манн-Уитни).

3.2.3. Клинико-инструментальное обследование здоровых лиц разного возраста с глухотой/тугоухостью высокой степени

Стандартное отоневрологическое обследование группы КнЗ (n=36; 14 м., 22 ж., средний возраст $42,1 \pm 18,2$ года). Результаты отоневрологического обследования показали, что среди лиц с глухотой и высокой степенью снижения слуха наблюдается нерегулярность в проявлении отоневрологических симптомов, при этом процент лиц с такими симптомами возрастает в старшей возрастной категории (табл. 26). Отмечено, что только 4 человека пожилого возраста сообщили о наличии жалоб на неустойчивость. Еще 4 человека старшей возрастной группы предъявляли жалобы на «головокружения», периодическую шаткость при ходьбе (по данным тестирования с помощью шкалы оценки головокружения (Dizziness Handicap Inventory — DHI), причем у троих из них при проведении отоневрологического обследования выявлен отолитиаз (ДППГ). Из трех пациентов с отолитиазом у 1 выявлен каналолитиаз правого ЗПК, у 2 — купулолитиаз правого(1), левого(1) горизонтальных полукружных каналов (ГПК). Пациентам проводились репозиционные маневры, после выполнения которых отмечен регресс симптоматики.

При отоневрологическом обследовании лиц группы КнЗ (лица с глухотой без явной вестибулярной патологии) выявлены выраженные возраст-ассоциированные различия. В подгруппе молодого и среднего возраста (n=29) отоневрологическая симптоматика практически отсутствовала: регистрировались лишь единичные случаи нарушения произвольных саккад (3,5%), рефиксации взора (10,3%)

и коррекционных саккад в тесте Xalmagyi — Curthous (6,7%). Спонтанный нистагм в очках Frenzel отмечен у одного лица (3,5%), нарушение ходьбы с закрытыми глазами — у 10,3%.

В подгруппе пожилого и старческого возраста (n=7) частота вестибулярных и глазодвигательных нарушений была существенно выше. Отличия получены для следующих показателей:

- позиционный нистагм: выявлен у 42,9% лиц пожилого возраста (против 0% в молодой группе);
- коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous: также у 42,9% (против 6,7%);
- нарушение ходьбы с закрытыми глазами: 42,9% (против 10,3%).

Обращает на себя внимание высокая частота выявления патологической рефиксации взора после поочередного закрывания глаз в пожилой подгруппе (42,9% против 10,3% у молодых), что может свидетельствовать о скрытой вестибулярной асимметрии. Также у пожилых лиц отмечались искажение зрительного прослеживания (14,3%) и избыточный поворот в тесте Унтербергера (4,8%), отсутствовавшие у молодых (табл. 23).

Таблица 23 — Характер выявленных отоневрологических симптомов в контрольной группе 3.

Отоневрологический симптом	Мл n=29 (%)	Ст n=7 (%)
Нарушение произвольных саккад	1 (3,5)	1 (14,3%)
Искажение зрительного прослеживания	0 (0%)	1 (14,3%)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	3 (10,3%)	3 (42,9%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	0/1 (0/3,5%)	0/0 (0/0%)
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0 (0%)	0 (0%)
Позиционный нистагм	0 (0%)	3 (42,9%)
Коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous	2 (6,7%)	3 (42,9%)
Дисдиадохокinez	0 (0%)	0 (0%)
Промаживание в указательной пробе	0 (0%)	0 (0%)
Проба Водака-Фишера	0 (0%)	0 (0%)
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/ на поролоновом мате)	0/1 (0/3,5%)	0/1 (0/4,8)
Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты) (нарушение)	0/3 (0/10,3%)	0/3 (0/42,9%)
Поворот в тесте Unterberger $\geq 45^\circ$	0 (0%)	1 (4,8%)

Примечание: младшая группа — молодой плюс средний возраст (Мл n=29), старшая группа — пожилой плюс старческий возраст (Ст, n=7).

Для сравнения: в контрольной группе 1 (практически здоровые лица пожилого и старческого возраста без нарушений слуха, $n=18$) отоневрологическая симптоматика была представлена преимущественно дисдиадохокинезом (11,1%), тогда как позиционный нистагм и коррекционные саккады не регистрировались. Это подчеркивает специфичность выявленных изменений именно для лиц с глухотой, у которых на фоне возрастных изменений компенсаторные механизмы сенсорного взаимодействия оказываются недостаточными, что проявляется вестибулярной дисфункцией при проведении провокационных проб.

Исследование вестибулярного аппарата с применением методики видеонистагмографии (VNG). При VNG исследовании у четырёх лиц контрольной группы 3 (Кн3) был зарегистрирован спонтанный горизонтальный нистагм, подавляющийся фиксацией взора. У двух человек нистагм VNG исследовании отмечен после выполнения теста встряхивания головы. По результатам БКТ между подгруппами разного возраста не получено статистически значимых отличий ($p > 0,05$) ни по одному параметру (рис. 14).



Рисунок 14 — Оценка вестибулярной функции при помощи битермального калорического теста

Панель(А) иллюстрирует результаты тестирования лица 31 года с глухотой, суммарная СМФ нистагма менее 6°/с с двух сторон. Панель (Б) лицо 28 л с двусторонней хронической сенсоневральной тугоухостью IV степени, унилатеральный недостаток справа 28% , СМФ справа 18°/с, слева 31 /с . Панель (В) — лицо 62 лет с глухотой, приобретенной в раннем детском возрасте, СМФ справа 14, слева 16°/с.

Однако все-таки референтные диапазоны пиковых значений СМФ нистагма сужаются в подгруппах старшего возраста, что указывает на снижение вариабельности СМФ нистагма с возрастом у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени (табл. 24).

Таблица 24 — Сравнительный анализ средних значений и референтных диапазонов пиковых значений скорости медленной фазы (СМФ) нистагма в БКТ у лиц контрольной группы 3, n=36; м 14, ж 22., средний возраст $42,1 \pm 18,2$ года

Возраст Параметр	Молодые n=18; 8м.,10 ж., $26,1 \pm 5,6$	Средний возраст n=11; 4 м.,7 ж., $50,9 \pm 4,5$	Пожилые+ старые n=7; 2 м.,5 ж., $69,5 \pm 5,5$
R 30°C	$8,5 \pm 3,2$ (2,2-14,8)	$7,2 \pm 2,8$ (1,6-12,8)	$6,1 \pm 2,1$ (1,2-10,3)
R 44°C	$10,2$ (2,4-18,0)	$9,8 \pm 3,5$ (2,8-16,8)	$8,3 \pm 3,0$ (1,9-14,3)
L 30°C	$7,8 \pm 2,9$ (2,1-13,5)	$6,5 \pm 2,3$ (1,9-11,1)	$5,4 \pm 1,9$ (1,4-9,2)
L 44°C	$12,4 \pm 5,1$ (2,4-22,4)	$11,1 \pm 4,7$ (1,7-20,5)	$9,5 \pm 3,8$ (2,0-17,1)
R 30 + R 44	$18,7 \pm 6,5$ (6,0-31,4)	$17,0 \pm 5,9$ (5,2-28,8)	$14,4 \pm 4,5$ (4,1-23,4)
L 30 + L 44	$20,2 \pm 7,8$ (4,9-35,5)	$17,6 \pm 6,2$ (5,2-30,0)	$14,9 \pm 5,1$ (3,4-25,1)

Примечание: между группами разного возраста не получено статистически значимых отличий ($p > 0,05$) ни по одному параметру.

Сравнение данных БКТ лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени и их сверстников с не измененной функцией слуха показало, что возрастзависимое снижение пиковой СМФ нистагма имеет место в обеих контрольных группах, что соответствует возрастным изменениям вестибулярной системы. Однако у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени отмечены более низкие средние значения СМФ во всех возрастных категориях, что подтверждает, что возрастная вестибулярная гипофункция у лиц группы КнЗ выражена сильнее. Также видно, что референтные диапазоны показателей СМФ у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени шире, что указывает на большую вариабельность данных. Отмеченная широкая вариабельность СМФ отражает разнородность задействованных компенсаторных механизмов среди лиц с глухотой /тугоухостью высокой степени. Тем не менее, представленные различия между двумя контрольными группами не достигают статистической значимости ($p > 0,05$) (табл. 25).

Таблица 25 — Сравнительный анализ средних значений и референтных диапазонов пиковых значений скорости медленной фазы (СМФ) нистагма в БКТ у лиц I и 3 контрольных групп; Кн1n= 100, 47м.,53 ж., средний возраст $40,1 \pm 17,9$ лет; Кн3 n=36, 14 м., 22 ж, средний возраст $42,1 \pm 18,2$ лет

Параметр	Молодые Кн1n=57;30м,27ж,27,1±5,6 Кн3 n=18;8м.,10ж.,26,1±5,6		Средний возраст Кн1n=25,11м,14ж.,51,2±4,8 Кн3 n=11;4м.,7ж.,50,9±4,5		Пожилые плюс старые Кн1n=18,6м,12ж.,69,4±5,5 Кн3n=7;2м,5ж.,69,5±5,5	
	Кн1	Кн3	Кн1	Кн3	Кн1	Кн3
R 30°C	8,9± 2,5 4,0–13,8	7,1 ± 3,1 1,0–13,2	7,3 ± 2,1 3,1–11,5	6,5 ± 2,8 1,0–12,0	6,1±2,13, 3–9,9	6,1±2,1 1,2–10,3
R 44°C	11,3± 3,8 3,8–18,8	10,8 ± 4,2 2,5–19,1	10,1 ± 3,5 3,2–17,0	9,4 ± 3,9 1,7–17,1	9,8±3,3 4,3–16,9	8,3±3,0 1,9–14,3
L 30°C	7,5± 2,3 2,9–12,1	6,9 ± 2,9 1,2–12,6	6,8 ± 2,0 2,8–10,8	6,1 ± 2,5 1,2–11,0	6,0±2,72, 7–11,7	5,4±1,9 1,4–9,2
L 44°C	13,2± 4,9 3,5–22,9	12,6± 5,4 1,9–23,3	11,8 ± 4,3 3,3–20,3	11,2 ± 4,8 1,7–20,7	10,1±4,4 4,4–19,0	9,5±3,8 2,0–17,1
R30+ R 44	20,2± 6,1 8,1–32,3	17,9 ± 6,8 4,5–31,3	17,4 ± 5,5 6,1–31,1	15,9 ± 6,2 3,6–28,2	15,3±5,6 7,6–26,8	14,4±4,5 4,1–23,4
L30 + L 44	20,7± 7,0 6,8–34,6	19,5± 7,9 3,8–35,2	18,6 ± 6,3 6,1–31,1	17,3 ± 7,1 3,2–31,4	17,9±6,1 9,7–30,2	14,9±5,1 3,4–25,1

Примечание: различия между двумя показателями у лиц Кн1 и Кн3 не достигают статистической значимости ($p > 0,05$).

Оценка функции равновесия методом компьютерной стабилотрии.

Оценка результатов компьютерной стабилотрии (КС) показала, что у лиц с глухотой/тяжёлой степенью тугоухости максимальные значения длины траектории ОЦД (мм) зарегистрированы в пожилом возрасте во всех сенсорных условиях, достигая максимума в условиях ОП (открытые глаза, стоя на поролоне, 642 мм) и ЗП (открытые глаза, стоя на поролоне, 1879 мм). При сравнении показателей КС у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени с данными их сверстников без нарушения функции слуха показано, что наличие глухоты/тугоухости оказало влияние на длину траектории ОЦД только в старшей возрастной группе и только в сложных сенсорных условиях ($p < 0,001$). В базовых условиях (ОТ) лица молодого возраста с глухотой/тугоухостью высокой степени отметили большую стабильность ($p < 0,01$), чем их сверстники с нормальной функцией слуха (табл. 26). Вероятно, этот эффект связан с развитием ранней сенсорной компенсации за счет усиления зрительного контроля у этой группы лиц.

Таблица 26 — Длина траектории ОЦД (мм) у лиц разного возраста в различных сенсорных условиях и различным состоянием функции слуха (Кн1 n=68, средний возраст 44,8±17,6 лет; Кн3 n=36, средний возраст 42,1±18,2 года)

Состояние	Сенсорные условия стояния			
	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Молодой возраст, n=33; 12м., 21 ж., 29,9±4,6 лет				
Без нарушения слуха	231 (181; 240)	325 (258;389)	382 (283;471)	907 (725;1327)
Молодой возраст n=18; 8м.,10 ж., 26,1±5,6 лет				
С глухотой/тугоухостью	201 (146; 221)	303 (166; 371)	364 (278; 404)	906 (810; 1203)
p	0,01	0,253	0,279	0,754
Средний возраст, n=19; 7 м.,12 ж., 52,7±6,4 лет				
Без нарушения слуха	236 (218; 250)	320 (269; 433)	458 (352; 477)	970 (837; 1067)*
Средний возраст, n=11; 4 м.,7 ж., 50,9±4,5 лет				
С глухотой/ тугоухостью	240 (219; 273)	318 (302; 350)	482 (379; 698)	1423 (1182; 1999)
p	0,566	0,928	0,413	0,001
Пожилой возраст+ старые (>60 лет), n=16; 5 м.,11 ж., 66,3±15,1 лет				
Без нарушения слуха	331 (272; 398) *	466 (398; 665) *	559 (451; 734)*	1258 (1079; 1633) *
Пожилой возраст+ старые (>60 лет), n=7; 2 м.,5 ж., 69,5±5,5 лет				
С глухотой/тугоухостью	250 (226; 336)	365 (245; 294)	642 (401; 881)	1879 (1074; 2150)
p	0,104	0,137	0,894	0,349

Примечание: * — $p < 0,05$ при сравнении с молодым возрастом (ANOVA), p — различие состояний «без глухоты» и «с глухотой» (критерий Манна-Уитни).

Анализ весового вклада сенсорных систем лиц контрольной группы 3 показал, что между подгруппами лиц молодого, среднего и пожилого возраста нет достоверно значимых различий по вкладу всех трех сенсорных систем ($p > 0,05$) (табл. 27).

Таблица 27 — Весовой вклад сенсорных систем в процесс поддержания равновесия в вертикальной позе у лиц контрольной группы 3 (Кн3, n=36; 14 м, 22 ж., средний возраст 42,1 ± 18,2).

Возраст	Wvis	Wpro	Wvest
Молодой n=18; 8м.,10 ж., 26,1±5,6 лет	0,30±0,20	0,51±0,19	0,19±0,06
Средний n=11; 4 м.,7 ж., 50,9±4,5 лет	0,25±0,10	0,55±0,10	0,20±0,05
Пожилой + старческий >60 лет n=7*; 2 м.,5 ж., 69,5±5,5 лет	0,25 ±0,18	0,61±0,17	0,14 ±0,03

Примечание: * Включая 1 пациента старческого возраста; Wvest — вклад вестибулярной системы, Wvis вклад зрительной системы, Wpro — вклад проприоцептивной системы, данные представлены как среднее и стандартное отклонение.

Таким образом, проприоцептивная система является ведущей в поддержании равновесия ($W_{pro}=0,51-0,61$) во всех возрастных категориях и особенно в пожилом возрасте ($W_{pro}=0,61$) у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени (рис. 16). Вклад зрительной системы был относительно стабилен ($0,25-0,30$) без возрастной динамики. Вестибулярная система (W_{vest}), несмотря на отсутствие статистически значимого различия ($p>0,05$), демонстрирует возрастную динамику внутри группы: молодые/среднего возраста — $W_{vest}=0,19-0,20$; пожилые — $W_{vest}=0,14\pm 0,03$ (рис. 15). Возможно, это указывает на прогрессирующее угнетение вестибулярной функции с возрастом у данной категории лиц, вероятно, вследствие комбинированного влияния глухоты/тугоухости высокой степени и возрастных изменений.

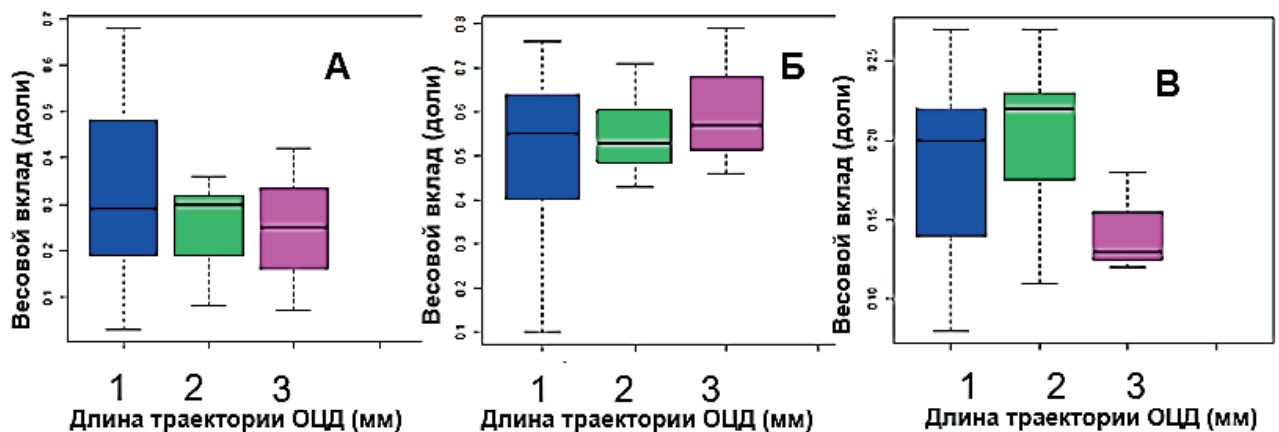


Рисунок 15 — Графическое представление весового вклада сенсорных систем лиц группы КнЗ в зависимости от возраста

Панель А иллюстрирует весовой вклад зрительной системы (W_{vis}); панель Б иллюстрирует весовой вклад проприоцептивной системы (W_{pro}); панель В иллюстрирует весовой вклад вестибулярной системы (W_{vest}). 1 — лица молодого возраста, 2 — лица среднего возраста, 3 — лица пожилого возраста

Проведенный анализ помогает определить основной тренд компенсации постуральной устойчивости в контрольной группе 3: у лиц молодого/среднего возраста — относительно сохраненный межсенсорный баланс ($W_{pro}\sim 0,51-0,55$; $W_{vest}\sim 0,19-0,20$; $W_{vis}\sim 0,25-0,30$). У пожилых лиц формируется проприоцептивно-зависимая стратегия компенсации ($W_{pro}\uparrow$ до $0,61$) на фоне значимого снижения вестибулярного вклада ($W_{vest}\downarrow$ до $0,14$). Зрение остается важным, но не доминирующим компонентом поддержания равновесия.

Сравнительный анализ весового вклада сенсорных систем у лиц контрольных групп 1 и 3 демонстрирует ($p<0,05$) увеличение вклада проприоцептивной системы во всех возрастных группах у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени

(максимально +20% у пожилых) и снижение вестибулярного вклада во всех возрастных группах КнЗ (максимально –46% у пожилых). Динамика визуального вклада была разнонаправлена и не достигала статистической значимости: уменьшение у лиц среднего возраста и увеличение у пожилых (табл. 28).

Таблица 28 — Весовой вклад сенсорных систем у лиц разного возраста с различным состоянием функции слуха (Кн1, n=68, средний возраст 44,8±17,6 лет; КнЗ, n=36, средний возраст 42,1±18,2 года)

Возраст годы	Wvis		Wpro		Wvest	
	Кн1	КнЗ	Кн1	КнЗ	Кн1	КнЗ
Молодой возраст	0,31±0,13	0,30±0,20	0,46±0,17	0,51±0,19*↑	0,24±0,09	0,19±0,06*↓
Средний возраст	0,26±0,13	0,25±0,10*↓	0,47±0,17	0,55±0,10*↑	0,27±0,11	0,20±0,05*↓
Пожилый возраст плюс старые	0,23±0,13	0,25±0,18*↑	0,51±0,17	0,61±0,17*↑	0,26±0,07	0,14±0,03*↓

Примечание: ↑/↓ — направленность изменений относительно сверстников с не измененной функцией слуха; статистически значимые межгрупповые различия ($p < 0,05$) *

Анализ параметров ходьбы с использованием системы маркерного видеозахвата в различных сенсорных условиях лиц контрольной группы 3 (КнЗ, n=11; 4 м., 7 ж., средний возраст 31,2±5,8 лет) и молодые людей без нарушения слуха (Кн1, n=17; 8 м., 7 ж.; 28,4 ± 7,6 лет) Оценивалось влияние различных сенсорных условий на параметры длины шага (мм) у лиц с глухотой /высокой степенью снижения слуха, сравнивали с параметрами, полученными в аналогичном исследовании у ровесников без нарушения функции слуха. Показано, что у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени длина шага (ДШ) была статистически значимо меньше примерно на 200 мм (табл. 29).

Таблица 29 — Длина шага (мм) у здоровых молодых без глухоты и тугоухости и с ней в различных сенсорных условиях (n=28)

Сенсорные условия ходьбы			
ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Молодые люди без нарушения слуха (n=17; 8 м., 7 ж.; 28,4 ± 7,6 лет)			
1074 (1038; 1139)	1053 (986; 1105)	1054 (958; 1125)	1015 (915; 1079)
Молодые люди с глухотой/тугоухостью (n=11; 4 м., 7 ж.; 31,2 ± 5,8 лет)			
834 (804; 844)***	863 (817; 950)***	982 (933; 1023)*	807 (736; 932)***

Примечание: ОТ — глаза открыты ходьба по твердой поверхности, ЗТ — глаза закрыты ходьба по твердой поверхности, ОП — глаза открыты, ходьба по поролону, ЗП — глаза закрыты, ходьба по поролону. * — $p < 0,05$, *** — $p < 0,001$ между группами (критерий Манна-Уитни).

Вероятно наличие значительного снижения слуха коррелирует с уменьшением длины шага, что можно объяснить стратегией осторожности для повышения стабильности при ходьбе.

Анализ данных тестирования по шкале Dizziness Handicap Inventory (DHI) лиц контрольной группы 3 (Кн3), n=36; 14 м, 22 ж., средний возраст $42,1 \pm 18,2$. Анализ данных тестирования по шкале DHI демонстрирует наличие четкой тенденции к увеличению среднего балла с возрастом у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени. Разница между молодыми и пожилыми возрастными подгруппами составляет почти 19 баллов. У молодых лиц средний балл (7,47) находится в зоне незначительных/легких нарушений. Головокружение/дисбаланс минимально влияют на их жизнь. В средней возрастной группе средний балл (12,82) все еще в зоне легких нарушений, но заметно выше, чем у молодых. У лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени пожилого возраста средний балл находится на границе легких и умеренных нарушений ($26,29 < 30$, но очень близко). Это указывает на существенное влияние головокружения/нарушений равновесия на повседневную активность в этой группе (табл. 30).

Таблица 30 — Количество баллов по DHI у испытуемых контрольной группы 3 разного возраста, n=36

Возраст (лет)	Всего 36 (100%)	Баллы по DHI
Молодой, n=18; 8м., 10 ж., $26,1 \pm 5,6$	50%	$7,5 \pm 9,1$
Средний, n=11; 4 м., 7 ж., $50,9 \pm 4,5$	30,56%	$12,8 \pm 10,1$
Пожилый + старческий, n=7; 2 м., 5 ж., $69,5 \pm 5,5$	19,44%	$26,3 \pm 12,5$

Разброс баллов DHI внутри групп увеличивается с возрастом ($9,1 \rightarrow 10,1 \rightarrow 12,5$), особенно среди пожилых, что указывает на неоднородность переживаемых ограничений в старшей возрастной группе.

На основании комплексного обследования лиц Кн 3 в сравнении с лицами Кн1 показано, что при глухоте/высокой степени тугоухости наблюдается возрастзависимая вестибулярная дисфункция, обусловленная кумулятивным эффектом угнетения функции слуха и старения. Это проявляется прогрессирующим нарастанием субъективных (DHI) и объективных (отоневрологических, стабилметрических) нарушений. Показатели реактивности вестибулярного лабиринта, по данным БКТ продемонстрировали гетерогенность среди лиц контрольной группы 3. Группа лиц 60+ лет с глухотой/тугоухостью высокой

степени представляет наибольший риск тяжелой вестибулярной дисфункции и постуральной неустойчивости

3.3. Влияния звука костной проводимости (110 Гц) и тактильной стимуляции кожи головы головным убором на параметры компьютерной стабилотметрии, ходьбы и мышечного тонуса у здоровых лиц с нормальной функцией слуха

3.3.1. Влияние звука костной проводимости частотой 110 Гц на параметры компьютерной стабилотметрии у лиц контрольной группы 1

В исследовании приняли участие молодые здоровые добровольцы без нарушения слуха ($n=34$; 11м., 23 ж, средний возраст $22,5 \pm 2,1$ лет). Их антропометрические характеристики представлены в таблице 31.

Таблица 31 — Антропометрические характеристики лиц контрольной группы 1 (Кн1), включенных исследование влияния звука костной проводимости.

Возраст (лет)	Рост (см)	Вес (кг)	ИМТ
$22,5 \pm 2,1$	$169,8 \pm 8,3$	$70,3 \pm 21,3$	$24,1 \pm 5,5$

Оценивалось влияние акустической стимуляции звуком костной проводимости (ЗКП) частотой 110 Гц на параметры стабилотметрии в четырех сенсорных условиях: 1) глаза открыты, твердая поверхность (ОТ); 2) глаза закрыты, твердая поверхность (ЗТ); 3) глаза открыты, поролон; 4) Глаза закрыты, поролон (ЗП). Стимуляция ЗКП частотой 110 Гц интенсивностью 40-60 дБ не вызывала у испытуемых субъективного чувства дискомфорта. Звук обычно оценивали как приятный, не вызывающий чувство раздражения.

Стимуляция ЗКП частотой 110 Гц приводила к статистически значимому уменьшению длины траектории ОЦД, не меняя существенно площадь доверительного эллипса ОЦД, причем этот эффект в наибольшей степени проявлялся в более сложных сенсорных условиях вертикальной позы (ЗТ, ОП, ЗП) (табл. 32).

Таблица 32 — Параметры ОЦД у здоровых лиц без нарушения слуха в различных сенсорных условиях стояния при воздействии звуком костной проводимости частотой 110 Гц (n=34, 11 м., 23 ж., возраст $22,5 \pm 2,1$ лет)

Состояние	Условия вертикальной позы			
	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД (мм)				
Без ЗКП	199 (173;242)	293 (224;373)	362 (301;431)	861 (734;1029)
С ЗКП	192 (174;248)	266 (224;326)	337 (293;378)	753 (602;918)
p	0,707	0,047	0,004	0,001
Площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)				
Без ЗКП	121 (75;184)	136 (95;216)	156 (125;239)	609 (474;822)
С ЗКП	101 (69;165)	135 (102;201)	175 (126;253)	509 (39;626)
p	0,681	0,701	0,865	0,062

Примечание: p при сравнении состояний «без ЗКП» и «с ЗКП» (критерий Уилкоксона). ЗКП — звук костной проводимости частотой 110 Гц. ОЦД — общий центр давления.

3.3.2. Параметры ходьбы в TUG-тесте по данным акселерометрии при акустической стимуляции звуком костной проводимости у лиц контрольной группы 1

В исследовании принимали участие молодые здоровые добровольцы без нарушения слуха (n=26; 10 м., 16 ж., средний возраст $23,9 \pm 6,3$ лет). Параметры, рассчитанные на основе акселерометрии, в TUG-тесте у лиц без нарушения слуха под действием ЗКП частотой 110 Гц не изменились ($p > 0,05$) ни при обычной, ни при слабой освещенности на твердой поверхности, несмотря на тенденцию к улучшению некоторых параметров (табл. 33). Однако для параметров S2 и S4 наблюдалась тенденция к изменению под действием ЗКП, не достигшая, однако, величины статистической значимости. ($p < 0,1$).

Выявлено статистически значимое влияние уровня освещенности ($p < 0,05$) на временные параметры мобильности: время выполнения теста достоверно снижалось (приблизительно на 30%) в условиях нормального освещения по сравнению со сниженным. Сравнительный анализ всех четырех экспериментальных условий выявил достоверные различия ($p < 0,05$) между состоянием «сниженная освещенность без звука» и «нормальная освещенность со звуком».

Таблица 33 — Параметры ходьбы по данным акселерометрии у лиц 1 контрольной группы при воздействии звука костной проводимости и фактора освещенности (n=26, 10 м., 16 ж., средний возраст $23,9 \pm 6,3$ лет)

Параметры походки	Хорошая освещенность		Слабая освещенность		Звук, р	Свет, р
	Без звука (1)	Со звуком (2)	Без звука (3)	Со звуком (4)		
D1	21,7 (19,6-25,4)	21,4 (18,9-23,4)	29,9 (27,3-29,9)	28,8 (26,6-32,7)	0,315	0,005*
D2	2,3 (2,1-2,5)	2,4 (2,1-2,5)	2,4 (2,2-2,5)	2,3 (2,2-2,5)	0,768	0,680
D3	1,8 (1,6-2,2)	1,9 (1,6-1,9)	1,9 (1,8-2,2)	2,0 (1,8-2,2)	0,557	0,369
D4	2,6 (2,0-2,9)	2,4 (2,1-3,0)	3,4 (2,5-4,1)	3,2 (2,3-4,4)	0,945	0,110
S1	0,02 (0,01-0,02)	0,01 (0,01-0,02)	0,04 (0,03-0,05)	0,04 (0,02-0,05)	0,883	0,001*
S2	0,02 (0,01-0,02)	0,01 (0,01-0,02)	0,04 (0,03-0,05)*	0,04 (0,02-0,05)	0,072	0,001*
S3	111,7 (106,0-118,4)	113,1(109,6-118,3)	104,1 (99,8-110,9)	104,1 (99,1-110,4)	0,740	0,002*
S4	3,2 (2,6-4,4)	2,8 (2,4-3,9)	7,4 (5,9-9,9) *	6,27 (4,6-9,9)	0,053	0,001*
S5	2,9 (2,6-3,9)	3,2 (2,7-3,9)	4,0 (2,9-5,4)	3,8 (3,1-5,2)	0,793	0,122
P1	1,0 (0,9-1,2)	0,9 (0,8-1,2)	1,2 (0,9-1,6)	1,0 (0,9-1,5)	0,873	0,002*
P2	0,5(0,4-0,7)	0,5 (0,4-0,7)	0,6 (0,4-0,7)	0,5 (0,4-0,7)	0,641	0,559
P3	9,4(7,7-10,7)	9,9 (7,8-10,9)	6,9 (5,4-8,3)	7,4 (5,3-8,4)	0,192	0,001

Примечание* — отличие по отношению ко всем другим состояниям ($p < 0,05$). D1: Полное время теста (с): от вставания до полного приседания, D2 Запуск ходьбы (с): от старта движения головы при вставании до 3-го шага; D3 Время разворота (с): от остановки ходьбы вперед до начала ходьбы назад; D4: Время посадки (с): от предпоследнего шага до полного сидения; Характеристики шага (Stepping, S): S1: Среднее время шага (с), S2: Изменчивость времени шага (с): (стандартное отклонение), S3: Средняя частота шагов (шаг/мин), S4: Изменчивость частоты шагов (шаг/мин): (стандартное отклонение), S5: Показатель аномально длинных шагов: (среднее. 2 максимальных шагов / SD остальных), Ускорения и мощность (Power, P): P1: Максимальное ускорение при постановке стопы (м/с^2), P2 Максимальное ускорение при переносе ноги (м/с^2), P3: Средний разброс ускорений (м/с^2): Средняя. разница (P1-P2) при ходьбе вперед (индикатор мощности).

Пример акселерограммы одного из участников приведен на рисунке 16.

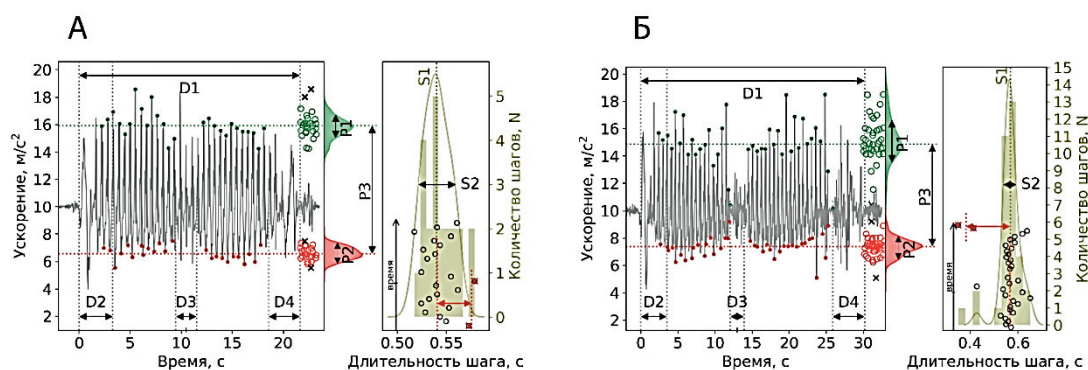


Рисунок 16. Акселерометрическая запись TUG-теста у лица молодого возраста.

Рисунок демонстрирует изменение кинематики ходьбы при снижении освещенности (Б) по сравнению с нормальной освещенностью (А) в отсутствие аудиостимуляции костной проводимости.

Регистрируется статистически значимое увеличение общего времени выполнения теста (с 25 до 35 с), а также снижение амплитуды акселерограммы как в фазе линейной локомоции, так и в фазе разворота

3.3.3. Влияние надевания головного убора на параметры компьютерной стабилотрии у лиц контрольной группы 1

В исследовании принимали участие молодые здоровые добровольцы без нарушения слуха ($n=23$; 8 м., 15 ж., средний возраст $23,3 \pm 3,1$ лет). Антропометрические характеристики группы представлены в таблице 34.

Таблица 34 — Антропометрические характеристики лиц контрольной группы 1 (Кн1), включенных исследование

Возраст (лет)	Рост (см)	Вес (кг)	ИМТ
$23,3 \pm 3,1$	$170,8 \pm 9,3$	$68,3 \pm 12,5$	$23,4 \pm 3,8$

В исследовании оценивалось влияние надевания головного убора (зимней меховой шапки (вес ~200 г), плотно охватывающей голову, на параметры стабилотрии в четырех сенсорных условиях: 1) глаза открыты, твёрдая поверхность (ОТ); 2) глаза закрыты, твёрдая поверхность (ЗТ); 3) глаза открыты, поролон 20 см (ОП); 4) Глаза закрыты, поролон (ЗП). В каждом сенсорных условиях оценивали: 1) длину траектории ОЦД (мм); 2) площадь доверительно эллипса ОЦД (мм²). Температура кожи головы, по данным лазерной доплер-флоуметрии (Лазма-ПФ, ООО Лазма, Москва, РФ), в течение исследования не изменялась. Установлено, что надевание головного убора, плотно обхватывающего голову, уменьшило длину траектории ОЦД в сложных сенсорных условиях (ЗП), но не изменяло площадь доверительного эллипса ОЦД (табл. 35).

Таблица 35 — Параметры компьютерной стабилотрии в различных сенсорных условиях вертикальной позы в состоянии «без шапки» и «в шапке» у здоровых лиц без нарушения слуха ($n=23$, 8 м., 15 ж., средний возраст $23,3 \pm 3,1$)

Состояние	Условия вертикальной позы			
	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД (мм)				
Без шапки	233 (187; 248)	352 (254; 424)	402 (327; 492)	889 (715; 1165)
С шапкой	232 (194; 318)	374 (275; 452)	385 (329; 438)	842 (667; 1057)
p	0,055	0,615	0,149	0,016
Площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)				
Без шапки	107 (70; 204)	219 (112; 356)	211 (118; 267)	657 (471; 1108)
С шапкой	132 (112; 206)	199 (118; 404)	207 (176; 316)	768 (537; 889)
p	0,073	0,447	0,128	0,843

Примечание: p (критерий Уилкоксона), ОЦД — общий центр давления

Влияние надевания головного убора, плотно обхватывающего голову на параметры компьютерной стабилотрии можно объяснить усилением эгоцентрической системы координат человека и продольной проприоцептивной оси (вертикали) тела через тактильно-проприоцептивную стимуляцию рецепторов кожи головы.

3.3.4. Влияния звука костной проводимости частотой 110 Гц на постактивационный эффект (феномен Конштамма) у здоровых лиц с нормальной функцией слуха

ПАЭ был исследован в условиях «без звука» и «со звуком» $n=15$; 3 м., 12 ж., средний возраст $40,2 \pm 14,6$ года. В условиях «без звука» ПАЭ вызывался у 13 из 15 участников (86,6%) в виде однократного непроизвольного сокращения дельтовидных мышц (отведения рук в сторону). При действии ЗКП ПАЭ проявился у всех участников (100%). При действии ЗКП длительность ПАЭ увеличилась на 25%, тогда как латентность (время до начала ПАЭ) не изменилось (табл. 36, рис. 17).

Таблица 36 — Характеристика паттерна ПАЭ в состояниях «без звука» и «со звуком» (медиана, 25-75%) у лиц контрольной группы 1 (Кн1), $n=15$; 3 м., 12 ж., средний возраст $40,2 \pm 14,6$ года

Параметр ПАЭ	Условия	
	«Без звука»	«Со звуком»
Распространенность (%)	86,7 (13/15)	100,0 (15/15)
«Осцилляционный» паттерн (%)	0 (0/13)	13,3 (2/15)
Латентность (с), правая рука	2,2 (1,5-4)	1,9 (1,5-3,2)
Длительность (с), правая рука	27,9 (24,1-88,5)	36,9 (34,5-116,5)**

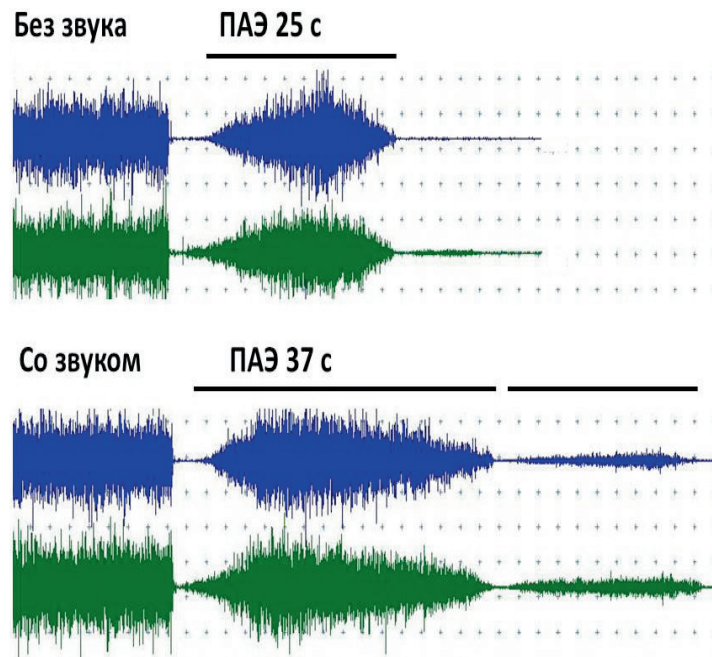


Рисунок 17 — Характерный вариант изменения паттерна ПАЭ дельтовидных мышц у лица контрольной группы 1 в условиях «без звука» и «со звуком».

Первая и третья записи — правая двуглавая мышца, вторая и четвертая записи — левая двуглавая мышца. Калибровка времени 4 с, амплитуды ЭМГ 500 мкВ.

ПАЭ — постактивационный эффект.

Таким образом, комплексное обследование здоровых лиц выявило несколько характерных особенностей. Во-первых, обнаружено возраст-зависимое снижение активности вестибулярных лабиринтов, подтвержденное снижением пиковой СМФ нистагма при БКТ. Показано, что ведущим фактором, влияющим на постуральный контроль и ходьбу, является возраст. При этом относительный вклад основных сенсорных систем (проприоцептивной, зрительной, вестибулярной) в поддержание равновесия при стоянии статистически значимо не меняется. Во-вторых, внешняя неинвазивная стимуляция вестибулярного аппарата при помощи звуком костной проводимости привела к статистически значимому улучшению статической устойчивости в условиях сенсорных условиях вертикальной позы разной сложности, но не вызывает изменения динамической устойчивости в условиях нормальной и сниженной освещённости. Во-третьих, тактильная стимуляция рецепторов кожи головы при помощи надевания головного убора весом ~200 г, плотно охватывающего голову, улучшала стабильность позы в сложных условиях вертикальной стойки, вероятно, за счет формирования дополнительной соматосенсорной афферентации. В-четвертых, звук костной проводимости (110 Гц) приводил к усилению непроизвольного мышечного тонуса, что было видно по статистически значимому увеличению длительности постактивационного эффекта на 25%.

3.4. Влияние стойкой вестибулярной гипofункции на вестибулярную систему и равновесие по данным клинико-инструментального обследования

3.4.1. Клинико-инструментальное обследование пациентов стойкой односторонней вестибулярной гипofункцией (ОВГ)

Стандартное отоневрологическое обследование лиц клинической группы I (Кл1, n=56; 19 м., 37 ж., средний возраст $51,5 \pm 13,1$ лет). Результаты обследования показали, что жалобы на неустойчивость, шаткость при ходьбе, (пространственный дисбаланс, неуверенность при ходьбе в условиях сложной поверхности, плохой освещенности), чувство «дурноты» при ходьбе предъявляли все пациенты этой группы (табл. 37) И именно сохраняющаяся шаткость стала причиной повторного обращения их к отоневрологу.

Таблица 37 — Характер жалоб пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипofункцией (ОВГ) в зависимости от причинного диагноза (n=56 100%; 19 м., 37 ж., средний возраст $51,5 \pm 13,1$ лет)

Причинная патология	Жалобы					
	Головокружение Вращательное и чувство дурноты (%)	Тошнота (%)	Рвота (%)	Осцилопсии (%)	Шаткость	Изменение слуха (%)
ВН (n=35, % от 35)	24 (68,6%)	0	0	12 (34,3%)	35 (100%)	0
РХ (n=1, %)	1 (100%)	0	0	1 (100%)	1 (100%)	1 (100%)
БМ (n=3, %)	1 (33,3%)	0	0	0 (0%)	3 (100%)	3 (100%)
ОЛ (n=4, %)	2 (50/0%)	0	0	1 (25%)	4 (100%)	4 (100%)
КВС (n=13, %)	6 (46,2%)	0	0	3 (23,1%)	13 (100%)	13 (100%)

Примечание: наблюдаемые различия жалоб клинически значимы и патогенетически объяснимы, но не достигли статистической значимости ($p > 0,05$); ВН — вестибулярный нейронит, РХ — синдром Рамсея-Ханта, БМ — болезнь Меньера, поздняя стадия, ОЛ — острый лабиринтит, КВС — острый кохлеовестибулярный синдром

Тридцать четыре пациента с ОВГ (60,7%) испытывали ощущение, которое называли «головокружением», причем 9 из них (16,1%) при подробном опросе описывали его как чувство «дурноты», «мути», «пространственного дисбаланса» усиливающееся при поворотах головы. Вращательное головокружение преобладало

в группах: 1) ВН (51,4% от всех пациентов ВН, или 18/24 от пациентов ВН с «головокружением»); 2) РХ (100%); 3) ОЛ (50%); 4) КВС (30,8%) и отсутствовало полностью (0%) при БМ поздней стадии (табл. 38).

Таблица 38 — Тип головокружения у пациентов клинической группы 1 (Кл1) в зависимости от причинного диагноза (n=56; 19 м., 37 ж., средний возраст 51,5±13,1 лет)

Тип головокружения	Причинная патология				
	ВН (n=35, % от 35)	РХ (n=1, %)	БМ (n=3, % от 3)	ОЛ (n=4, % от 4)	КВС (n=13, % от 13)
Вращательное	18 (51,4%)	1(100%)	0 (0%)	2(50%)	4 (30,8%)
Чувство дурноты, пространственного дисбаланса	6 (17,7%)	0 (0%)	1 (33,3%)	0 (0%)	2(15,4%)
Всего	24 (68,57%)	1 (100%)	1(33,3%)	2(50/0%)	6(46,2%)

Примечание: наблюдаемые различия типов головокружения клинически значимы и патогенетически объяснимы, но не достигли статистической значимости ($p>0,05$); ВН — вестибулярный нейронит, РХ — синдром Рамсея-Ханта, БМ — болезнь Меньера в поздней стадии, КВС — кохлеовестибулярный синдром

Чувство «дурноты», «мути» у пациентов клинической группы 1 встречалось значительно реже: 1) БМ в поздней стадии (33,3% от всех пациентов с БМ); 2) ВН (17,7%); 3) КВС (15,4%), отсутствовало при РХ и ОЛ. Все пациенты группы Кл1 отмечали изменение характера и интенсивности головокружения со временем, указывая, что головокружение «не такое, как было в начале заболевания». Необходимо отметить важное клиническое наблюдение — предъявление жалоб на чувство «дурноты», «пространственного дисбаланса» пациентами с периферической вестибулярной дисфункцией. Так, например, у пациентов с ВН чувство «дурноты», «пространственного дисбаланса» отмечено в 17,7% (6/35 пациентов с ВН вообще, или 6/24 с головокружением), у пациентов с БМ (поздняя стадия) в 33,3% (1/3 пациентов, причем это был единственный тип «головокружения» в группе), КВС — 15,4% (2/13 пациентов). Очевидно, что эти ощущения у пациентов группы клиническая 1 обусловлены не острым повреждением вестибулярного лабиринта/ нерва, а персистирующей асимметрией афферентации и процессом (не)компенсации в ЦНС. Наибольшая частота ощущений «дурноты», «пространственного дисбаланса» ожидаемо отмечается в поздних стадиях дегенеративных периферических

заболеваний (БМ), но он также значимо представлена при не компенсированном ВН и КВС. Вероятно появление/доминирование вышеописанных ощущений у пациентов с периферическим поражением вестибулярной системы может быть индикатором перехода заболевания в хроническую стадию с неполной центральной компенсацией. Жалобы на осцилопсию, «отставание визуальной среды при повороте головы» не были основными жалобами. Их предъявляли только 17 пациентов (30,4%) после активного расспроса: (при ВН (34,3%) и синдроме Рамсея-Ханта (100%), отсутствуют при болезни Меньера, что отражает разную степень развития центральной компенсации или специфику поражения. (ВН, РХ). Изменения функции слуха вследствие перенесенного заболевания, не отметили только пациенты, имеющие в анамнезе вестибулярный нейронит (изолированное повреждение вестибулярного нерва). Напротив, изменение слуха присутствовало у 100% пациентов во всех группах с вовлечением улитки или комбинированным поражением: РХ (поражение VII/VIII нервов + улитка), БМ (эндолимфатический гидропс), ОЛ (воспаление лабиринта), КВС (сочетанное кохлео-вестибулярное поражение). Наблюдаемые различия (табл. 36) (особенно по слуху и осцилопсиям) клинически значимы и патогенетически объяснимы, но не достигли статистической значимости ($p > 0,05$).

Тошнота и рвота не наблюдались у пациентов с ОБГ (0%), что согласуется с хроническим характером состояния заболевания. Однако при этом пациенты описывали свои ощущения как чувство «не свежей головы», «дурноты» «постоянной мути» или «ватной головы». Результаты отоневрологического обследования лиц клинической группы 1 продемонстрировали наличие патологических симптомов. Так, например, спонтанный нистагм, выявляемый при устранении фиксации взора (в очках Frenzel) в группе пациентов пожилого и старшего возраста, выявлялся чаще, чем в группе пациентов молодого и среднего возраста (65,8% и 80,9%), что может косвенно свидетельствовать о снижении скорости развития центральных компенсаторных механизмов у лиц старшего возраста. Однако у лиц разного возраста с не регистрируемым в очках Frenzel спонтанным нистагмом, нистагм все же был зарегистрирован в тесте встряхивания головы (head shaking test). Самым «постоянным» симптомом во всех возрастных категориях был положительный тест Xalmagyi — Curthous (выявлен в 100% случаев).

Положительный тест встряхивания головы (Head-Shaking Test) также зафиксирован у 100% обследованных пациентов в обеих возрастных подгруппах, что подтверждает асимметрию вестибулярного тонуса у лиц Кл1. Тест Ромберга в условиях «на поролоновом коврике» не смогли выполнить 60% пациентов

молодого и среднего возраста и 80,95% пациентов пожилого и старого возраста. Между тем тест Unterberger оказался положительным лишь у 22,86 % пациентов молодого и среднего и 19,1% пожилого и старого возраста. Также и тест Фишера-Водака выявил гармоничное отклонение рук в 17,4 % у лиц молодого и среднего возраста и в 19,1 % у пациентов пожилого и старого возраста (табл.36). Статистически значимые различия ($p < 0,05$) между возрастными подгруппами получены по таким отоневрологическим симптомам, как нарушение произвольных саккад и нарушение ходьбы прямо с открытыми глазами. Не достигли статистической значимости, но были близки к ней различия по симптому «падения» в позе Ромберга на поролоне и рефиксации взора после поочередного закрывания глаз. У лиц пожилого возраста отмечено резкое ухудшение ходьбы с открытыми глазами даже при доступной зрительной афферентации ($p < 0,05$).

В обеих возрастных группах выявлена тенденция к ухудшению устойчивости на поролоне (80,9% / 60%) подтверждает общую нестабильность системы равновесия. Обращает внимание стабильность периферических отоневрологических маркеров: отсутствие значимых различий в частоте спонтанного (в очках Frenzel) и позиционного нистагма, а также 100% положительный тест Halmagyi-Curthoys во всех возрастах (табл. 39).

Таблица 39 — Результаты вестибулометрии лиц клинической группы 1 (Кл1) (молодого и среднего возраста (Мл.), $n=35$; пожилого и старческого возраста (Ст.), $n=21$) по типам выявленных симптомов в результате отоневрологического обследования, проценты (%) от числа возрастной категории.

Отоневрологический симптом	Мл $n=35$ (%)	Ст $n=21$ (%)
Нарушение произвольных саккад	0 (0%)	4 (19,1%) *
Искажение зрительного прослеживания	0 (0%)	1(4,8%)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	2(5,7%)	4 (19,1%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	14/24 (40,0/68,6%)	13/17 (61,9/81,0%)
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0 (0%)	0 (0%)
Позиционный нистагм	11 (31,4%)	7(33,3%)
Тест встряхивания головы (head shaking test)	35 (100%)	21 (100%)
Коррекционные саккады в тесте Halmagyi — Curthous	35 (100%)	21(100%)
Дисдиадохкинез	1(2,9%)	2(9,5%)
Промаживание в указательной пробе	0 (0%)	0 (0%)
Проба Водака-Фишера	6 (17,1%)	4(19,1%)

Продолжение таблицы 39

Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/ на поролоновом мате	7/21 (12,5/60%)	4/17 (19,1/80,9%)
Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты) Нарушение походки	13/35 (37,1/100%)	19/21 (90,5/100%)*
Поворот в тесте Unterberger $\geq 45^\circ$	8 (22,9%)	4 (19,1%)

Примечание: *- ($p < 0,05$) между лицами молодого + среднего возраста (Мл) и пожилого + старого возраста (Ст) по критерию хи-квадрат Пирсона и точному критерию Фишера

Полученные нами данные отоневрологического обследования демонстрируют, что у пациентов с ОВГ пожилого возраста в отличие от пациентов более молодого возраста на первый план выходят не только последствия периферической вестибулярной дисфункции, но и возрастное снижение центральной компенсации, проявляющееся : 1) появлением дизметрических саккад, 2) выраженными нарушениями походки и баланса даже в простых условиях, 3) тенденцией к большей неустойчивости в сложных сенсорных условиях. У 18 (32,14%) пациентов группы Кл1 при обследовании были выявлены признаки отолитиаза (ДППГ). Каналолитиаз заднего полукружного канала (ЗПК) был отмечен у 8 пациентов (5 с правым и 3 с левым ЗПК), причем в 80-100% имел ипсилатеральную локализацию по отношению к стороне вестибулярной дисфункции. Купулолитиаз ГПК — у 4 пациентов (1 с левым и 3 с правым ГПК), в 50% случаев с ипсилатеральной к стороне вестибулярной дисфункции локализацией. Мультиканальное поражение при отолитиазе отмечено у четырех пациентов, из которых у двух — двухсторонний каналолитиаз ЗПК (в 50% ипсилатеральный). Купулолитиаз ГПК в сочетании с каналолитиазом ЗПК зарегистрирован у трех пациентов, в 75% случаев на ипсилатеральной стороне относительно стороны первичной вестибулярной дисфункции. Контралатеральная локализация каналолитиаза горизонтального полукружного канала (правого) отмечен у одного пациента. Обращает внимание, что у пациентов с ОВГ локализация отолитиаза чаще (85%) отмечена в купуле (купулолитиаз), чем в гладком колене (каналолитиаз) горизонтального полукружного канала (табл. 40).

Таблица 40 — Распределение пациентов клинической группы 1 с отолитиазом, вторичным по отношению к стойкой вестибулярной гипофункции (ОВГ), в зависимости от локализации поражения (n=18)

Локализация отолитиаза	Количество пациентов, n (%)	Ипс., n
Каналолитиаз правый ЗПК	5 (27,8%)	4
Каналолитиаз левый ЗПК	3 (16,7%)	3
Каналолитиаз правый ГПК	1 (5,6%)	0
Каналолитиаз левый ГПК	0	0
Купулолитиаз правый ГПК	3 (16,7%)	2
Купулолитиаз левый ГПК	1 (5,6%)	
Мультиканальное поражение (каналолитиаз левого ЗПК+ каналолитиаз ГПК)	1 (5,6%)	0
Мультиканальное поражение (каналолитиаз правого ЗПК+ купулолитиаз правого ГПК)	2 (11,1%)	2
Мультиканальное поражение (каналолитиаз правого ЗПК + каналолитиаз левого ЗПК)	2 (11,1%)	1

Примечание: указано количество пациентов и процент от общего числа больных с отолитиазом). Ипс — ипсилатеральная локализация отолитиаза по отношению к стороне периферической вестибулярной дисфункции; ГПК — горизонтальный полукружный канал, ЗПК-задний полукружный канал.

Исследование вестибулярного аппарата с применением методики видеонистагмографии (VNG) у лиц клинической группы 1 (Кл1). Результаты VNG исследования показали, что у пациентов клинической группы 1 (n=56; 19 м., 37 ж., средний возраст $51,5 \pm 13,1$ лет) спонтанный горизонтальный нистагм выявляется чаще в группе Ст (90,5%) по сравнению с Мл. (68,6%). Различия между возрастными подгруппами по этому параметру не достигают уровня статистической значимости ($p \approx 0,056$), но демонстрирует тенденцию к большей частоте SpNH в здоровую сторону у пациентов старшей возрастной группы. SpNH направленный в сторону противоположную здоровой встречается только в группе Мл. (8,6%) а в группе Ст. отсутствует (0%), различие статистически не значимо ($p > 0,05$). Нистагм в тесте встряхивания головы выявлен у 100% пациентов обеих возрастных групп. Данные БКТ демонстрируют снижение функции вестибулярного лабиринта на пораженной стороне в 100 % случаев обеих возрастных подгруппах (СМФ $< 6^\circ/\text{с}$) (табл. 41).

Таблица 41 — Данные видеонистагмографии (VNG) пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипofункцией (Кл1) (молодого + среднего возраста (Мл), n=35; пожилого + старческого возраста (Ст), n=21), проценты (%) от числа возрастной категории

Данные VNG	Мл n =35 (100%)	Ст n=21 (100%)
SpNH в здоровую сторону	24(68,6%)	19(90,5%)
SpNH в сторону, противоположную здоровой	3(8,6%)	0(0%)
Нистагм в тесте встряхивания головы (head shaking test)	35 (в здоровую сторону) (100%)	21 в здоровую сторону (100%)
БКТ	СМФ <6°/с на поражённой стороне 35 (100%) ЛА >25%	СМФ <6°/с на поражённой стороне 21 (100%) ЛА >25%

Примечание: SpNH — спонтанный горизонтальный нистагм, подавляется фиксацией взора; БКТ — битермальный калорический тест; ЛА — лабиринтная асимметрия.

Оценка постурального контроля методом компьютерной стабилотметрии (КС) у лиц клинической группы 1 (Кл1). Данные компьютерной стабилотметрии демонстрируют закономерное ухудшение постуральной стабильности у пациентов с односторонней стойкой вестибулярной гипofункцией (n=32; 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет) при усложнении сенсорных условий (табл. 42). Максимальные значения параметров КС зафиксированы в условии ЗП, где отсутствует зрительная коррекция и нарушена достоверность проприоцептивной информации, что оставляет вестибулярную систему единственным, но неэффективным источником контроля равновесия.

Таблица 42 — Параметры ОЦД при компьютерной стабилотметрии в различных сенсорных условиях вертикальной позы у пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипofункцией (Кл1) n=32, 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет)

Группы	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД (мм)				
ОВГ	378 (356; 541)	671(536; 891)*	975 (621; 1169)**	1506 (1187; 2119)*
Площадь эллипса ОЦД (мм ²)				
ОВГ	363 (199; 505)	468 (301; 1575)*	875 (492; 1358)*	2751(794; 4562)*

Примечание: p < 0,05; ** p < 0,01 по отношению к ОТ (тест Фридмана). ОТ — «глаза открыты, твердая поверхность», ЗТ — «глаза закрыты, твердая поверхность», ОП — «глаза открыты, поролон», ЗП — «глаза закрыты, поролон»

Анализ вклада сенсорных систем на основе данных КС у пациентов группы Кл1 демонстрирует снижение вестибулярного вклада в общую постуральную устойчивость и значительное увеличение вклада проприоцептивной системы (табл. 43).

Таблица 43 — Весовой вклад сенсорных систем (W) у пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией, проходящих в последующем ВР в различных сенсорных условиях вертикальной позы на основе данных компьютерной стабилотрии (Кл1)

Параметры	Весовой вклад сенсорных систем		
	Wvest	Wvis	Wpro
Длина траектории ОЦД (мм)	0,35±0,23	0,24±0,14	0,41±0,19
Площадь доверительного эллипса (мм ²)	0,15±0,12	0,25±0,26	0,60±0,27

Примечание: Wvest — вклад вестибулярной системы, Wvis — вклад зрительной системы, Wpro — вклад проприоцептивной системы. Те же участники, что и в табл. 42.

Анализ параметров ходьбы с использованием системы маркерного видеозахвата в различных сенсорных условиях у пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией (Кл1). Оценивалось влияние различных сенсорных условий методом маркерного видеозахвата на длину шага (ДШ) (n=15; 5 м, 10 ж., средний возраст 34,6±7,2 лет). Представлено сравнение параметра ДШ у здоровых лиц и пациентов с односторонней вестибулярной гипофункцией (ОВГ) в разных сенсорных условиях (табл. 44). Во всех сенсорных условиях (ОТ, ЗТ, ОП, ЗП) пациенты с ОВГ демонстрируют статистически значимо меньшую длину шага по сравнению со здоровыми лицами (p<0,001). У здоровых лиц показатель ДШ остается относительно стабильным при переходе от твердой поверхности к поролону и при отсутствии зрения, снижаясь незначительно. У пациентов с ОВГ наблюдается отчетливое уменьшение длины шага, достигающее минимальных значений в наиболее сложном условии (ЗП — закрытые глаза, ходьба по поролону).

Таблица 44 — Длина шага (мм) у здоровых лиц и пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией в различных сенсорных условиях

Сенсорные условия ходьбы			
ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Здоровые лица (n=17, 8м., 9 ж., средний возраст $28,4 \pm 7,6$ лет)			
1074 (1038; 1139)	1053 (986; 1105)	1054 (958; 1125)	1015 (915; 1079)
Пациенты с ОВГ (n=15; 5 м, 10 ж., средний возраст $34,6 \pm 7,2$ лет)			
837 (765; 958) ***	779 (761; 899) ***	813 (774; 885) ***	722 (577; 738) ***

Примечание: ОТ — глаза открыты ходьба по твердой поверхности, ЗТ — глаза закрыты ходьба по твердой поверхности, ОП — глаза открыты, ходьба по поролону, ЗП — глаза закрыты, ходьба по поролону. *** — $p < 0,001$ между группами (критерий Манна-Уитни).

Вероятно укорочение ДШ у пациентов с ОВГ является компенсаторным механизмом, направленным на повышение устойчивости при дефиците вестибулярной афферентации, особенно в сложных сенсорных условиях.

Таким образом, отоневрологическое обследование продемонстрировало 100% выявляемость теста Halmagyi-Curthoys во всех возрастных группах, что подтверждает его значимость, как ключевого маркера односторонней периферической вестибулярной гипофункции (ОВГ). Head-Shaking тест выявил скрытый нистагм при отсутствии спонтанного нистагма в очках Frenzel также в 100% случаев, что свидетельствует о сохраняющейся персистирующей асимметрии вестибулярной афферентации и недостаточной центральной компенсации у лиц с ОВГ. Коэффициент лабиринтной асимметрии (ЛА) $>25\%$ в БКТ и СМФ нистагма $<6^\circ/\text{с}$ подтверждают тяжесть периферического дефицита у пациентов с ОВГ, независимую от возраста. Стабильность выявляемых патологических вестибулярных симптомов во всех возрастных группах у пациентов с ОВГ (спонтанный/позиционный нистагм, тест Halmagyi-Curthoys) свидетельствует о доминировании первичного вестибулярного дефицита в определении тяжести вестибулярной дисфункции у этой группы пациентов.

Выявленное среди пациентов с отолитиазом преобладание купулолитиаза над каналолитиазом в горизонтальном канале связано с длительным анамнезом отолитиаза у лиц с ОВГ. Данные КС демонстрируют прогрессивное ухудшение стабильности у пациентов клинической группы 1 при последовательном ухудшении сенсорных условий и важную роль проприоцепции от стоп в поддержании равновесия. Зрительная система оказывает существенную, но не полную поддержку

в постуральном контроле. Нарушение походки у лиц с ОВГ характеризуется более короткой ДШ во всех сенсорных условиях в сравнении с их здоровыми сверстниками.

Очевидно, что эффективность ВР у пациентов с ОВГ напрямую зависит от тяжести исходного вестибулярного дефицита и возраста пациента. Протоколы ВР у пациентов с ОВГ также должны включать упражнения для увеличения длины шага и стабильности в сложных сенсорных условиях. У пожилых пациентов с ОВГ необходим индивидуальный подход при разработке программы ВР с учетом сопутствующей неврологической патологии.

3.4.2. Клинико-инструментальное обследование пациентов стойкой двусторонней вестибулярной гипопункцией (ДВГ)

Стандартное отоневрологическое обследование лиц клинической группы 2 (Кл2). Результаты отоневрологического обследования лиц Кл2 (n=32; 6 м., 26 ж., средний возраст лет $63,6 \pm 13,3$) показало, что основными жалобами, с которыми пациенты обратились к отоневрологу были шаткость, неустойчивость, чувство «пространственного дисбаланса», «мягкого, качающегося пола» (3 человека). Пациенты испытывали эти ощущения во время ходьбы, движения. Усиление отмечали в условиях плохой освещенности (26 человек), сложного рельефа местности. Так, например, одна пациентка жаловалась, что абсолютно не может перемещаться по тропинкам на своем дачном участке. Все пациенты отмечали ухудшение зрения во время движения, разворотах/поворотах на местности. «Не четкость, «размытость» визуального изображения при поворотах головы. Все пациенты третьей клинической группы ограничивали свою двигательную активность. Девятнадцать пациентов выходили на прогулки только в сопровождении родственников.

Жалобы на «головокружение» в разной степени выраженности предъявляли большинство пациентов (96,9%). Описывали как чувство «дурноты», «мути», «слабости». Жаловались на ощущение «не свежей головы», «ватной головы», «пустой головы». 9 пациентов (28,1%) описывали также вращательные головокружения, длящиеся секунды, возникающее чаще в положении лежа, но также сидя и стоя. Эти головокружения провоцировались изменением положения головы, туловища, наклоном/запрокидыванием головы.

Большинство пациентов (93,8%) сообщали о наличии осцилопии, а также о «размытости визуальной среды при повороте головы» и ощущении «дурноты» при выполнении таких движений. Несмотря на то, что осцилопия не являлась основной жалобой среди пациентов с двусторонней вестибулярной гипопункцией

(ДВГ), ее выраженность была отмечена у них чаще, чем у пациентов с односторонней вестибулярной гипофункцией (ОВГ). В дополнение к вышеперечисленным симптомам, пациенты с ДВГ также сообщали (65%) о постоянной усталости, ощущении «разбитости», трудностях с концентрацией и плохом качестве сна. Изменения функции слуха в виде сенсоневральной тугоухости 1-2 степени отмечено у большинства пациентов (81,3%) (табл. 45).

Таблица 45 — Характер жалоб пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией (ДВГ) в зависимости от причинного диагноза, n=32; 6 м., 26 ж., средний возраст лет $63,6 \pm 13,3$

Причинная патология	Жалобы					
	Головокружение вращение/ дисбаланс	Тошнота	Рвота	Осци- лопии	Шат- кость	Изменение слуха
Идиопатическая n=17 (53,1%)	16/4 (94,1%/23,5%)	0 (0%)	0 (0%)	15 (88,2%)	17 (100%)	12 (70,6%)
Применение ототоксических препаратов n=11(34,4%)	11/3 (100 %/27,3%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (90,9%)	11 (100%)	11 (100%)
Перенесенный менингококковый менингит n=2 (6,3%)	1/0 (50/0%)	0(0%)	0 (0%)	2 (100%)	2 (100%)	1 (50%)
Аутоиммунное заболевание (гранулематоз Вегенера) n=1 (3,1%)	1/1 (100/100%)	0 (0%)	1 (100%)	1 (100%)	1 (100%)	1 (100%)
Двусторонняя бо- лезнь Меньера. Поздняя стадия n=1 (3,1%)	1/1 (100/100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1(100%)	1 (100%)
ДВГ n=32 (всего 100%)	31/9 (96,9/28,1%)	0 (0%)	0 (0%)	30(93,8%)	32(100%)	26(81,3%)

Примечание: Гол вр/невр — головокружение вращательное/невращательное

Не отмечено статистической значимой разницы по характеру жалоб между пациентами с ДВГ различной этиологии ($p>0,05$). Жалобы на снижение слуха отмечены в 100% случаев в ототоксической группе/70,6 % в идиопатической, но различия также не достигли статистической разницы. Очевидно, что этиология не является фактором, определяющим характер жалоб пациентов с ДВГ.

При отоневрологическом обследовании пациентов клинической группы 2 разного возраста показано (табл. 43), что различия между возрастными подгруппами хоть и не достигли статистической значимости ($p > 0,05$), но имели тенденцию к различию и были клинически важными: 1) спонтанный нистагм в очках Frenzel (Мл. 40% / Ст. 54,5%) позиционный нистагм (Мл. 20% / Ст. 40,9%); 3) дисдиадохокинез (Мл. 0% / Ст. 13,6%, $p = 0,54$). Едиными отоневрологическими симптомами для всех возрастов оказались: 1) коррекционные саккады (тест Halmagyi-Curthoys) в 100%; 2) шаткость при ходьбе с закрытыми глазами в 100%; 3) падение на поролоне (Ромберг) 100% (табл. 46).

Таблица 46 — Результаты вестибулометрии лиц клинической группы 2 (Кл2) (молодого + среднего возраста (Мл.), $n=10$; пожилого + старческого возраста ((Ст.), $n=22$) по типам выявленных симптомов в результате отоневрологического обследования, проценты (%) от числа возрастной категории

Отоневрологический симптом	Мл. $n=10$ (%)	Ст. $n=22$ (%)
Нарушение произвольных саккад	0 (0%)	3 (13,6%)
Искажение зрительного прослеживания	0 (0%)	2 (9,1%)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	1 (10%)	5 (22,7%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	1/4 (10/40%)	2/12 (9,1/54,5%)
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0 (0%)	0 (0%)
Прессорный нистагм	0 (0%)	0 (0%)
Позиционный нистагм	2 (20%)	9 (40,9%)
Тест встряхивания головы (head shaking test)	4 (40%)	8 (36,4%)
Коррекционные саккады в тесте Халмаги — Куртуса	10(100%)	22 (100%)
Дисдиадохокинез	0 (0%)	3 (13,6%)
Промахивание в указательной пробе	0 (0%)	2 (9,1%)
Проба Водака-Фишера	1(10%)	2 (9,1%)
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/на поролоновом мате)	8/10(80/100%)	20/22 (90,9/100%)
Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты) (шаткость)	7/10 (70/100%)	19/22 (86,4/100%)
Поворот в тесте Unterberger $\geq 45^\circ$	3 (30%)	2 (9,1%)

Анализ данных отоневрологического обследования лиц клинических групп 1 и 2 показал, что тест встряхивания головы (head shaking test) оказался универсальным для всех возрастов: 1) в группе Кл1 — 100% положительный результат ($p < 0,001$) как следствие межлабиринтной асимметрии; 2) в группе Кл2 — положительный

результат в 36-40% случаев, как следствие симметричного угнетения вестибулярной функции. При выполнении пробы Ромберга на твердой поверхности у лиц группы КЛ2 отмечена повышенная частота падений, являющаяся маркером тяжелого постурального дефицита (80-90,9% / 19-20% в КЛ1, $p < 0,001$). При выполнении пробы Ромберга на поролоне у лиц группы КЛ2 падение отмечено в 100% случаев во всех возрастных категориях ($p < 0,05$). Спонтанный нистагм, выявляемый при устранении фиксации взора с использованием очков Frenzel, наблюдается с большей частотой у пациентов пожилого и старшего возраста с ОБГ (Мл 68,6/80,9% Ст). При этом его частота была выше, чем у ровесников с ДВГ, где этот показатель составил 54,5%. Нарушения следящих движений глаз, зарегистрированные у пожилых и старых пациентов с клинической группы 2 (нарушения произвольных саккад — 13,6%, искажение зрительного прослеживания — 9,1%, рефиксация взора после поочередного закрытия глаз — 22,7%), а также у пациентов молодого и среднего возраста (фиксирование взора после поочередного закрытия глаз — 10%) свидетельствуют о наличии центральных нарушений, ассоциированных с ДВГ. Дополнительно, признаки дисдиадохокinesis, обнаруженные у трех и промахивание в указательной пробе у двух пациентов старшей возрастной категории клинической группы 2 также подтверждают наличие центральных нарушений (табл. 47).

Таблица 47 — Результаты вестибулометрии лиц клинической группы 1 (КЛ1) (молодого + среднего возраста (Мл.), пожилого + старческого возраста (Ст).), и клинической группы 2 (КЛ2) (молодого + среднего возраста (Мл.), пожилого и старческого возраста (Ст) по типам выявленных симптомов в результате отоневрологического обследования, проценты (%) от числа возрастной категории

Отоневрологический симптом	Младший возраст (Мл.)		Старший возраст (Ст.)	
	КЛ1, n=35 (%)	КЛ2, n=10 (%)	КЛ1, n=21 (%)	КЛ2, n=22 (%)
Нарушение произвольных саккад	0 (0%)	0 (0%)	4 (19,1%)	3 (13,6%)
Искажение зрительного прослеживания	0 (0%)	0 (0%)	1 (4,8%)	2 (9,1%)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	2 (5,7%)	1 (10%)	4 (19,1%)	5 (22,7%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	14/24 (40,0/68,6%)	1/4 (10/40%)	13/17 (61,9/80,9%)	2/12 (9,1/54,5%)
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0(0%)

Продолжение таблицы 47

Прессорный нистагм	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Позиционный нистагм	11 (31,4%)	2 (20%)	7 (33,3%)	9 (40,9%)
Тест встряхивания головы (head shaking test)	35 (100%)	4 (40%)	21 (100%)	8 (36,4%)**
Коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous	35 (100%)	10 (100%)	21 (100%)	22 (100%)
Дисдиадохокинез	1(2,9%)	0 (0%)	2 (9,52%)	3 (13,6%)
Промаживание в указательной пробе	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (9,1%)
Проба Водака-Фишера	6 (17,1%)	1 (10%)	4 (19,05%)	2 (9,1%)
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/на поро- лоновом мате	7/21 (12,5/60%)	8/10 (80/100%)	4/17 (19,15/80,9%)	20/22 (90,9/100%)**/*
Ходьба прямо (глаза открыты/ закрыты) (шаткость)	13/35 (37,1/100%)	7/10 (70/100%)	19/21 (90,48/100%)	19/22 (86,4/100%)
Поворот в тесте Unterberger $\geq 45^\circ$	8 (22,86%)	3 (30%)	4 (19,05%)	2 (9,1%)

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,001$ отличие между лицами клинических групп 1 и 2 одного возраста по критерию хи-квадрат Пирсона и точному критерию Фишера

У 9 пациентов клинической группы 2 (28,1%) был диагностирован отолитиаз (ДППГ), вторичный по отношению к ДВГ, что несколько меньше, чем у лиц клинической группы 1 (Кл1 32,1%/2 Кл2 28,1%) (табл. 48).

Таблица 48 — Распределение пациентов клинической группы 1 (Кл1) и клинической группы 2 (Кл2) с отолитиазом, вторичным по отношению к стойкой вестибулярной гипofункции, в зависимости от локализации поражения (указано количество пациентов и процент от общего числа больных с отолитиазом)

Локализация поражения	Кл 1, n=18 (100%)	Кл2, n= 9(100%)
Каналолитиаз правый ЗПК	5 (27,8%)	2 (22,3%)
Каналолитиаз левый ЗПК	3 (16,7%)	0 (0%)
Каналолитиаз правый ГПК	1 (5,6%)	0 (0%)
Каналолитиаз левый ГПК	0 (0%)	0 (0%)
Купулолитиаз правый ГПК	3 (16,7%)	3 (33,3%)
Купулолитиаз левый ГПК	1 (5,6%)	2 (22,3%)
Мультиканальное поражение	4 (22,2%)	2 (22,3)
Всего ДППГ	18 (32,1%) от n =56	9 (28,1%) от n=32

Примечание: ЗПК — задний полукружный канал; ГПК- горизонтальный полукружный канал.

В группе Кл 2 выявлено преобладание пациентов с купулолитиазом ГПК (Кл2 55,5%/Кл1 22,3%), что возможно связано с нарушением центральных компенсаторных механизмов при ДВГ, более длительным анамнезом заболевания и с более старым возрастом пациентов, ассоциированным с дегенеративными изменениями вестибулярного аппарата, включая метаболические нарушения кальциевого обмена и дезинтеграцию отоконий.

Заключение: ДВГ приводит к тяжелым нарушениям равновесия во всех возрастных группах и у пожилых пациентов сочетается с выраженными статическими дисфункциями и признаками поражения ЦНС. При планировании ВР необходимо учитывать возраст пациента и сопутствующую неврологическую патологию. Отолитиаз, ассоциированный с ДВГ оказывает негативное влияние на качество жизни пациентов с вестибулярной гипофункцией, ухудшает постуральный контроль и требует целенаправленного лечения.

Исследование вестибулярного аппарата с применением методики видеонистагмографии (VNG) у лиц клинической группы 2 (Кл2). Результаты анализа данных VNG пациентов у лиц групп Кл1 и Кл 2 (n=32; 6 м., 26 ж., средний возраст лет $63,6 \pm 13,3$) показали, что спонтанный горизонтальный нистагм (SpNH) является ведущим маркером не компенсированной односторонней вестибулярной гипофункции (Кл1), особенно выраженным в группе лиц пожилых/старческого возраста (90,5% / 22,7% в группе Кл 2). Нистагм в тесте встряхивания головы (head shaking test) отмечен по направлению к здоровой стороне у лиц группы Кл1, встречается у 100% пациентов группы Кл1 и 50% группы Кл2, независимо от возраста.

Данные БКТ у лиц группы Кл1 в 100% случаев демонстрируют выраженную калорическую гипофункцию на пораженной стороне (СМФ нистагма $< 6^\circ/\text{с}$) и ЛА $> 25\%$, что соответствует критериям односторонней вестибулярной гипофункции. У лиц группы Кл 2 по данным БКТ в 100% случаев выявлена двусторонняя калорическая гипорефлексия лабиринтов (СМФ нистагма $< 6^\circ/\text{с}$ с обеих сторон), что соответствует диагностическим критериям двусторонней вестибулярной гипофункции (табл. 49, рис. 20).

Таблица 49 — Анализ данных видеонистагмографии (VNG) у пациентов 1 Кл1 (молодого + среднего возраста (Мл); пожилого + старческого возраста (Ст) и 2 КлГ молодого + среднего возраста (Мл); пожилого + старческого возраста (Ст) проценты (%) от числа возрастной категории

Данные VNG	Младший возраст (Мл.)		Старший возраст (Ст.)	
	Кл1, n=35 (%)	Кл 2, n=10 (%)	1КлГn=21(%)	2КлГn=22 (%)
SpNH (в здоровую сторону для Кл1)	24(68,6%)	3 (30%)	19 (90,5%)	5 (22,7%)
SpNH в сторону противоположную здоровой (для Кл1)	3(8,6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Нистагм в тесте встряхивания головы (head shaking test)	35 (в здоровую сторону) (100%)	5 (50%)	21 в здоровую сторону (100%)	11 (50%)
БКТ	СМФ < 6°/с на поражённой стороне 35 (100%) ЛА >25%	СМФ < 6°/с с двух сторон	СМФ < 6°/с на поражённой стороне 21 (100%) ЛА >25%	СМФ <6°/с с двух сторон

Примечание: SpNH — спонтанный горизонтальный нистагм, подавляется фиксацией взора; БКТ — битермальный калорический тест; ЛА — лабиринтная асимметрия

Данные БКТ (СМФ нистагма, коэффициент ЛА) являются ключевыми диагностическим критериями для диагностики одно и двусторонней стойкой вестибулярной гипофункции.

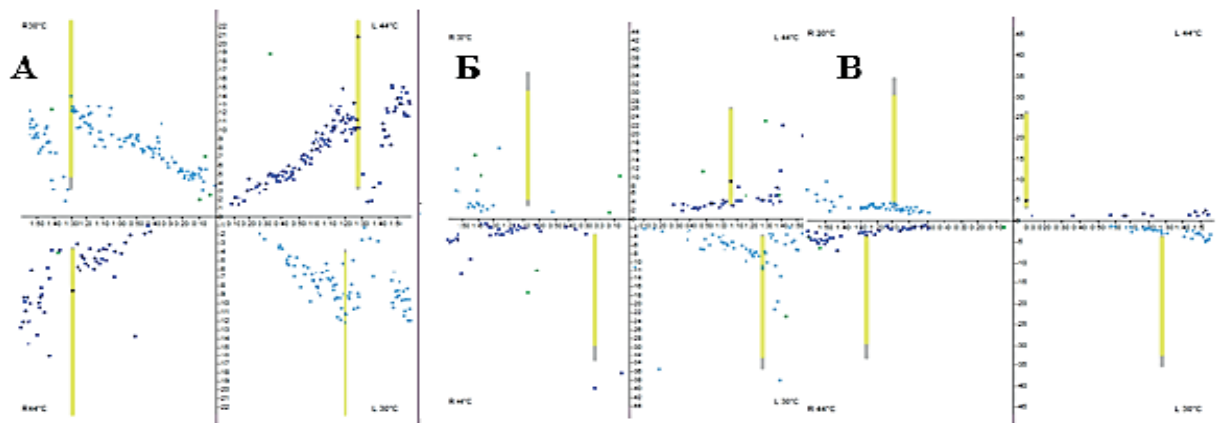


Рисунок 18 — Оценка вестибулярной функции при помощи битермального калорического теста

Панель(А) иллюстрирует результаты тестирования здорового испытуемого 38 лет, суммарная СМФ нистагма справа 29 °/с, слева 31°/с. Панель (Б) — пациент 46 лет со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией слева, унилатеральный недостаток справа более 25%, СМФ справа 5°/с, слева 12 °/с. Панель (В) — пациент 68 лет с идиопатической стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией, суммарная СМФ нистагма менее 6°/с двух сторон

Таким образом, комбинация данных VNG (SpNH, нистагм в тесте встряхивания головы) и БКТ позволяет надежно дифференцировать пациентов с односторонней и двусторонней стойкой вестибулярной гипофункцией. Наличие SpNH в здоровую сторону и нистагм в тесте встряхивания головы в здоровую сторону с высокой частотой является маркером одностороннего поражения, в то время как отсутствие SpNH или низкая частота встречаемости на фоне двусторонней калорической гипорефлексии/арефлексии характерны для двустороннего поражения.

Оценка постурального контроля методом компьютерной стабилометрии (КС) у лиц клинической группы 2 (Кл2). У лиц с ДВГ (n=25, 3м., 22 ж., средний возраст $67,5 \pm 12,9$ лет) величина значений параметров КС значительно возрастают по мере усложнения условий (от ОТ к ЗП), что свидетельствует о резком ухудшении устойчивости ($p < 0,05$). Различия групп ОВГ и ДВГ по стабилометрическим параметрам в разных сенсорных условиях не обнаружено (табл. 50).

Таблица 50 — Параметры ОЦД при компьютерной стабилометрии в различных сенсорных условиях вертикальной позы у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией: ОВГ (n=32, 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет) и ДВГ (n=25, 3м., 22 ж., средний возраст $67,5 \pm 12,9$ лет)

Группы	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД (мм)				
ОВГ	378 (356; 541)	671(536; 891)*	975 (621; 1169)**	1506 (1187; 2119)*
ДВГ	453 (360; 535)	744 (570; 894)*	871 (639; 1021)*	1490 (1090; 2110)*
Р	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5
Площадь эллипса ОЦД (мм ²)				
ОВГ	363 (199; 505)	468 (301; 1575)*	875 (492; 1358)*	2751(794; 4562)*
ДВГ	387 (200; 625)	534 (284; 913)*	836 (417; 1106)*	1712 (696; 3974)
р	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5

Примечание: $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ по отношению к ОТ (тест Фридмана). ОТ — «глаза открыты, твердая поверхность», ЗТ — «глаза закрыты, твердая поверхность», ОП — «глаза открыты, поролон», ЗП — «глаза закрыты, поролон»

Анализ весового вклада сенсорных систем в постуральный контроль на основании данных КС продемонстрировал наличие различных стратегий постуральной компенсации в двух группах: при ОВГ отмечается относительная

сохранность вестибулярного компонента, а при ДВГ происходит перераспределение сенсорного вклада с увеличением зависимости от зрительной и проприоцептивной афферентации (табл. 51).

Таблица 51. Весовой вклад сенсорных систем (W) на основании данных КС у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией: ОВГ (n=32, 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет) и ДВГ (n=25, 3 м., 22 ж., средний возраст $67,5 \pm 12,9$ лет) 2КлГ, проходящих в последующем ВР

Клиническая группа	Весовой вклад сенсорных систем (W)		
	W _{vest}	W _{vis}	W _{pro}
Длина траектории ОЦД (мм)			
Кл1	0,4±0,2	0,2±0,1	0,4±0,2
Кл2	0,3±0,2	0,3±0,2*	0,4±0,2
Площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)			
Кл1	0,2±0,1	0,3±0,3	0,6±0,3
Кл2	0,2±0,2	0,3±0,3	0,6±0,3

Примечание * ($p < 0,05$) при сравнении состояний до и после курсов вестибулярной реабилитации; W_{vest} — вклад вестибулярной системы, W_{vis} — вклад зрительной системы, W_{pro} — вклад проприоцептивной системы.

Таким образом, при ОВГ частичное сохранение вестибулярной функции позволяет использовать традиционные пути постурального контроля. При ДВГ формируются альтернативные компенсаторные стратегии: усиление зрительного контроля, оптимизация проприоцептивной интеграции, развитие экстравестибулярных механизмов. На основании полученных данных сформированы рекомендации по ВР. Для группы пациентов с ОВГ особое внимание при проведении ВР должно быть направлено на восстановление/усиление утраченной односторонней вестибулярной функции, устранение асимметрии между вестибулярными ядрами, усиление межъядерного взаимодействия. С этой целью показана тренировка ВОР, выполнение упражнений на габитуацию, а также тренировку в условиях контролируемого сенсорного конфликта с целью постепенного уменьшения зрительной зависимости.

Для группы пациентов с ДВГ основное внимание в ВР должно быть направлено на развитие альтернативных стратегий постурального контроля: усиленная проприоцептивная тренировка, когнитивно-моторные упражнения, формирование

новых паттернов постурального контроля, обучение эффективному сканированию зрительного пространства.

Заключение по результатам комплексного обследования лиц со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией (Кл2). Диагноз ДВГ предполагается на основании отоневрологического обследования и подтверждается данными битермального калорического теста. Пожилые пациенты демонстрируют более тяжелые статические нарушения, которые обусловлены также сопутствующей патологией ЦНС, вторичным по отношению к ДВГ отолитиазом (в 55,5% купулолитиаз ГПК). Пациенты с ДВГ имеют выраженную зависимость от зрительной и проприоцептивной афферентации. Потеря любой из них резко ухудшает равновесие, а потеря обоих делает поддержание равновесия крайне трудным. Низкая эффективность изолированной вестибулярной афферентации требует ее интеграции с другими афферентациями для поддержания устойчивости.

Результаты обследования пациентов с ДВГ определяют приоритетные векторы ВР: 1) тренировки глазодвигательных реакций с не стабильным положением головы при одновременной зрительной фиксации; 2) упражнения на неустойчивых поверхностях, с постепенным усложнением; 3) тренировки зрительно-проприоцептивной интеграции; 4) динамические нагрузки с комбинированной двигательной активностью.

3.5. Влияние сенсорного протезирования при помощи звука костной проводимости и тактильной стимуляции кожи головы на статическое и динамическое равновесие у пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией

3.5.1. Влияние звука костной проводимости (110 Гц) на параметры компьютерной стабилотрии у пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией

У 24 пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией (ДВГ, 3м., 21 ж., средний возраст $63,4 \pm 10,2$ лет) проведена оценка влияния ЗКП частотой 110 Гц, интенсивностью 40-60 дБ, длительностью ≈ 12 — 14 минут (7 минут до теста + во время выполнения теста) на параметры КС в четырех сенсорных условиях разной сложности. Применяемая акустическая стимуляция характеризовалась отсутствием субъективно регистрируемого дискомфорта у участников испытания.

Участники описывали стимул как приятный и не индуцирующий раздражение. Антропометрические данные пациентов в таблице 52.

Таблица 52 — Антропометрические характеристики лиц с ДВГ включенных исследование (n=24)

Возраст (лет)	Рост (см)	Вес (кг)	ИМТ
63,4±10,2	164,1±10,8	73,8±11,7	27,3±3,4

Установлено, что при действии ЗКП частотой 110 Гц и интенсивностью 40-60 дБ у лиц с ДВГ наблюдалось статистически значимое улучшение показателей компьютерной стабилотрии, наиболее выраженное в сложных сенсорных условиях (табл. 53).

Таблица 53 — Параметры стабилотрии у лиц с ДВГ в различных сенсорных условиях вертикальной позы при воздействии звуком костной проводимости (n=24)

Условие	Сенсорные условия вертикальной позы			
	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД (мм)				
Без ЗКП	385 (353,542)	710 (546,874)	956 (566,1128)	1481 (958,2101)
ЗКП	340 (302,484)	583 (395,850)	777 (486,918)	974 (598,1902)
p	0,001	0,001	0,001	0,001
Площадь доверительного эллипса (мм ²)				
Без ЗКП	238 (163,501)	314 (260,1954)	730 (347,1111)	1493 (688,4199)
ЗКП	265 (162,579)	458 (299,1208)	663 (466,851)	1558 (421,2352)
p	0,478	0,086	0,137	0,034

Примечание p при сравнении состояний «без ЗКП» и «ЗКП» (критерий Уилкоксона)

Наибольшая эффективность действия ЗКП проявлялась в условиях, моделирующих сложные условия реальной окружающей среды (неустойчивая поверхность, сниженная освещенность), когда пациенты с ДВГ наиболее уязвимы к падениям. Таким образом, стимуляция при помощи ЗКП (110 Гц, 40-60 дБ) является эффективным неинвазивным методом коррекции постуральной неустойчивости у пациентов со стойкой ДВГ.

3.5.2. Влияние звука костной проводимости (110 Гц) на параметры акселерометрии в TUG-тесте в условиях нормальной и низкой освещенности у лиц со стойкой двусторонней вестибулярной гипопункцией

Обследовано 28 пациентов с ДВГ (5м., 23ж., средний возраст 63,1±13,0 лет). Была дана оценка параметров ходьбы по данным акселерометрии в TUG-тесте при воздействии ЗКП с частотой 110 Гц и интенсивностью 40-60 ДБ в разных условиях освещенности. Длительность звуковой стимуляции составила ≈20 минут (10 минут адаптации к звуку до исследования + 5 минут перерыв между исследованиями для адаптации низкому уровню освещенности + 2 исследования с акустической стимуляцией). Во время TUG-теста у лиц с ДВГ при воздействии ЗКП по данным акселерометрии наблюдалось сокращение общего времени выполнения (D1) и снижение количества необычно длинных и коротких шагов (S5) (табл. 54).

Таблица 54. — Параметры походки по данным акселерометрии у пациентов с ДВГ при воздействии звука костной проводимости и фактора освещенности (n=28)

Параметр	Хорошая освещенность (110 Лк)		Слабая освещенность (3 Лк)		р звук	р свет
	Без звука (1)	Со звуком (2)	Без звука (3)	Со звуком (4)		
D1	21,7 (19,6-25,4)	21,4 (18,9-23,4)	29,9 (27,3-6,6)*	26,6 (23,4 — 32,7)	0,037	0,397
D2	2,3 (2,1-2,6)	2,4 (2,1-2,5)	2,4 (2,2-2,5)	2,3 (2,2-2,5)	0,162	0,817
D3	1,8 (1,6-2,2)	1,9 (1,6-2,1)	1,9 (1,8-2,2)	2,0 (1,8-2,2)	0,092	0,804
D4	2,6 (2,0-2,9)	2,4(2,1-3,0)	3,4 (2,5-4,1)	3,2 (2,3-4,4)	0,144	0,213
S1	0,5 (0,5-0,6)	0,5 (0,5-0,6)	0,6 (0,5-0,6)	0,6 (0,5-0,6)	0,647	0,867
S2	0,02 (0,01-0,02)	0,01 (0,01-0,02)	0,04 (0,03-0,05)	0,04 (0,02-0,05)	0,227	0,881
S3	111,7 (106,0-118,4)	113,1 (109,6-118,3)	104,1 (99,8-110,9)	104,1 (99,1-110,4)	0,483	0,92
S4	3,2 (2,6-4,4)	2,8 (2,4-3,9)	7,4 (5,9-9,9)	4,6 (2,4-6,3)	0,143	0,461
S5	2,9 (2,6-3,9)	3,2 (2,7-3,9)	4,0 (2,9-5,4)*	3,8 (3,1-5,2)	0,001	0,277
P1	1,0 (0,9-1,2)	0,9 (0,8-1,2)	1,2 (0,9-1,6)	1,0 (0,9-1,5)	0,380	0,880
P2	0,5 (0,4-0,7)	0,5 (0,4-0,9)	0,6 (0,4-0,7)	0,5 (0,4-0,7)	0,450	0,705
P3	9,4 (7,7-0,7)	9,93 (7,8-0,9)	6,9 (5,4-8,3)	7,4 (5,3-8,4)	0,435	0,554

Примечание: * — отличие по отношению ко всем другим состояниям ($p < 0,05$; тест Фридмана) Обозначения параметров в табл. 9. В двух правых колонках значения p для факторов «звук» и «освещенность» (факторный анализ). D1: Полное время теста (с): от вставания до полного приседания, D2 Запуск ходьбы (с): от старта движения головы при вставании до 3-го шага; D3 Время разворота (с): от остановки ходьбы вперед до начала ходьбы назад; D4: Время посадки (с): от предпоследнего шага до полного сидения; Характеристики шага (Stepping, S): S1: Среднее время шага (с), S2: Изменчивость времени шага (с): (стандартное отклонение), S3: Средняя частота

шагов (шаг/мин), S4: Изменчивость частоты шагов (шаг/мин): (стандартное отклонение), S5: Показатель аномально длинных шагов: (среднее. 2 максимальных шагов / SD остальных), Ускорения и мощность (Power, P): P1: Максимальное ускорение при постановке стопы (м/с^2), P2 Максимальное ускорение при переносе ноги (м/с^2), P3: Средний разброс ускорений (м/с^2): Средняя. разница (P1-P2) при ходьбе вперед (индикатор мощности).

В субъективных отчетах практически все участники исследования указали на хорошую переносимость звуковой стимуляции и субъективное ощущение улучшения стабильности во время ходьбы. На рисунке 19 представлена репрезентативная акселерограмма и элементы анализа, демонстрирующие оптимизацию паттерна ходьбы под влиянием ЗКП у пациента с наличием стойкой ДВГ.

Таким образом, продемонстрировано, что действие ЗКП (110 Гц) оптимизирует временные параметры двигательной задачи в виде TUG-теста (встать со стула — пройти вперед — развернуться — пройти назад — сесть на стул), сокращая общее время выполнения и улучшая регулярность длины шага у пациентов с ДВГ.

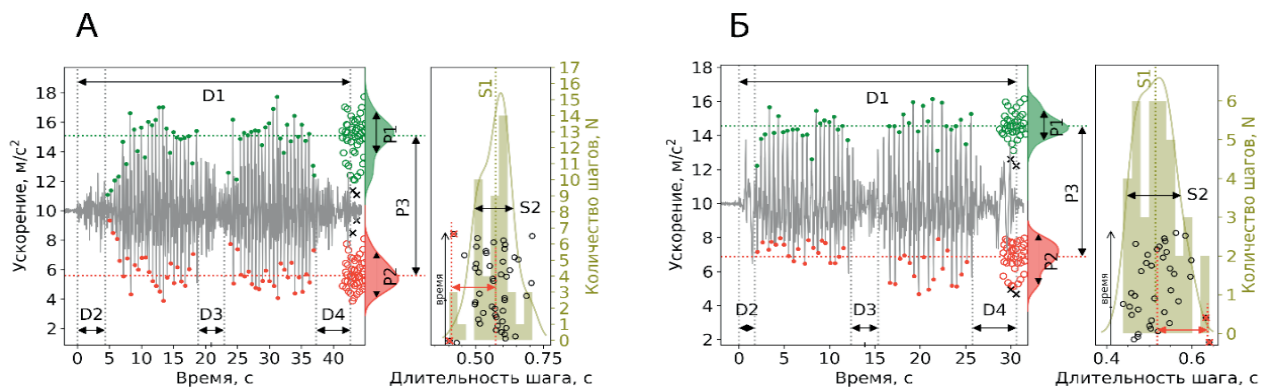


Рисунок 19 — Акселерометрические профили TUG-теста пациента с двусторонней вестибулярной гипопункцией

Панель (А) — без ЗКП и панель (Б) — во время применения ЗКП при нормальной освещенности демонстрируют достоверное сокращение общего времени выполнения теста (с 45 с до 30 с).

3.5.3. Влияние стимуляции проприорецепторов кожи головы на постуральный контроль у пациентов со стойкой двусторонней вестибулярной гипопункцией

Данное исследование было инициировано тем, что к нам обратился мужчина 66 лет с жалобами на постуральную неустойчивость, усиливающуюся в темное время суток, «размытость» визуальной картинки при движении головой. Пациент сообщил, что может выходить на улицу и водить машину *только в своей любимой кепке*.

Вышеописанные жалобы развились в течение двух лет, после перенесенной COVID-19 инфекции и курса антибактериальной терапии (название препарата неизвестно). Также была диагностирована прогрессирующая в течение последних трех лет двусторонняя нейросенсорная тугоухость. В анамнезе у пациента была гипертензия II стадии (риск I) (целевое АД 120/80 мм рт. ст.). Другую хроническую соматическую, неврологическую, ортопедическую патологию и аллергию отрицал. Ранее работал пилотом –инструктором. Обследование выявило отоневрологические признаки двусторонней стойкой вестибулярной гипофункции (ДВГ): наличие коррекционных саккад в тесте Xalmagyi — Curthous с двух сторон, шаткость при ходьбе с закрытыми глазами по твердой поверхности, падение в позе Ромберга с закрытыми глазами и на поролоне, не возможность выполнить тест Unterberger. Двусторонняя вестибулярная гипофункция была подтверждена данными БКТ (СМФ с двух сторон меньше 6°/с) (рис.20 В). Мы дважды в течение года провели стабилметрическое исследование в двух состояниях: 1) без кепки (рис. 20, А) и 2) в кепке (рис. 20, Б).

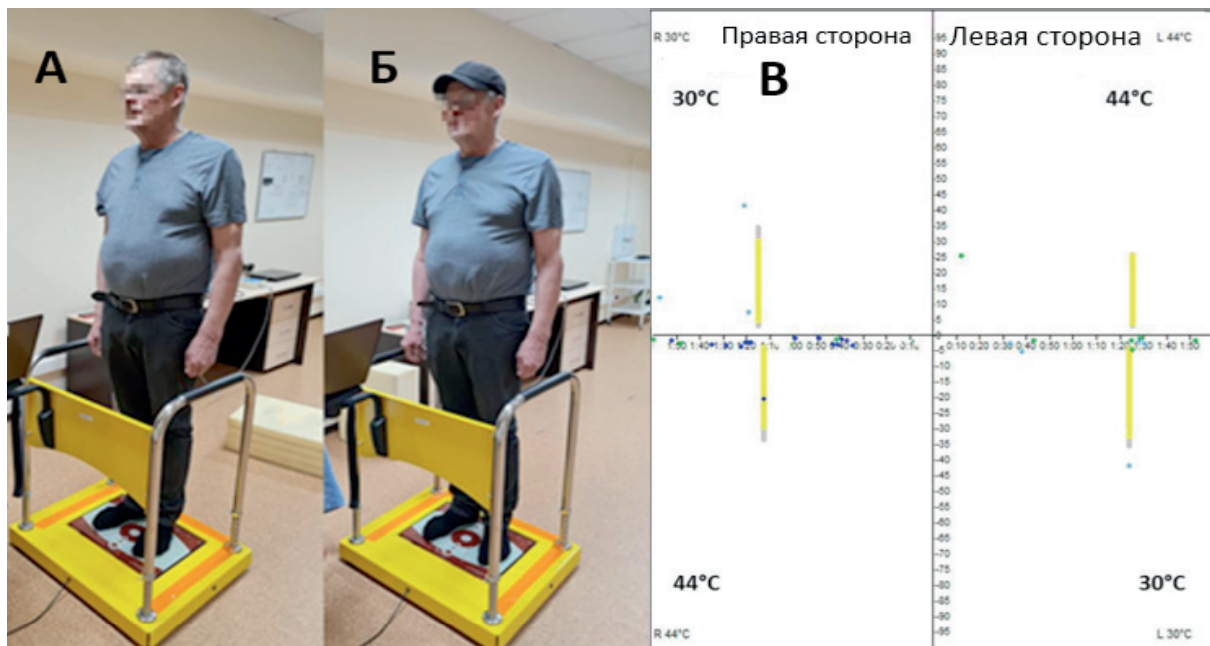


Рисунок 20 — Выполнение инструментального обследования пациенту м., 66 лет. Примечание: Панель А иллюстрирует проведение КС в состоянии «глаза закрыты на твердой поверхности» (ЗТ) условиях «без кепки» (А); в условиях «в кепке, плотно охватывающей голову» (Б); панель В иллюстрирует результаты оценки вестибулярной функции при помощи БКТ, СМФ нистагма менее 6°/с двух сторон.

Анализ данных КС выявил статистически значимое улучшение параметров пострурального контроля (длины траектории и площади эллипса) в условиях сенсорной депривации (ЗТ, ЗП) в состоянии «в кепке» (табл. 55).

Таблица 55 — Параметры ОЦД при КС в различных сенсорных условиях вертикальной позы у пациентов пациента М., 66 лет с ДВГ (две серии исследования с интервалом 6 месяцев)

Состояние	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Первое исследование, длина траектории ОЦД (мм)				
Без кепки	531	1955	898	3042
В кепке	516	1220	659	2939
Второе исследование, длина траектории ОЦД (мм)				
Без кепки	361	1,069	1186	2819
В кепке	394	861	921	1991
Первое исследование, площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)				
Без кепки	460	3890	1358	8001
В кепке	460	1549	562	5441
Второе исследование, площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)				
Без кепки	633	2302	1117	7584
В кепке	232	1368	661	5291

Ключевой особенностью случая стала субъективная и объективная зависимость поструральной устойчивости от ношения плотно прилегающей кепки с козырьком. Этот неожиданный феномен позволил выдвинуть гипотезу о том, что тактильно-кинестетическая стимуляция области головы плотно прилегающим головным убором может оказывать неспецифическое компенсаторное влияние на поструральный контроль у пациентов с ДВГ, возможно, за счет усиления проприоцептивного афферентного потока и повышения уровня активации ЦНС.

Для проверки данной гипотезы и определения универсальности наблюдаемого эффекта было инициировано настоящее исследование с привлечением группы пациентов со стойкой ДВГ (n=9; 2 м., 7 ж., средний возраст 63,4±10,2 лет) (табл. 56). В качестве стандартизированного стимула, аналогичного по массе и характеру прилегания к голове, была выбрана меховая шапка весом 200 г, плотно облегающей окружность головы.

Таблица 56 — Антропометрические характеристики лиц с ДВГ (2 Кл), n=9; 2 м., 7 ж., средний возраст $63,4 \pm 10,2$ лет

Группа	Возраст (лет)	Рост (см)	Вес (кг)	ИМТ
ДВГ(Кл2)	$63,4 \pm 10,2$	$166,7 \pm 13,7$	$80,2 \pm 20,3$	$28,7 \pm 5,6$

Показано, что надевание шапки весом 200 г, плотно облегающей окружность головы, оказало статистически значимое влияние на стабилметрические параметры у пациентов с ДВГ в наиболее сложных сенсорных условиях стояния (табл. 57).

Таблица 57 — Параметры стабилметрии у лиц с ДВГ в различных сенсорных условиях вертикальной стойки «без шапки» и «в шапке» у лиц с ДВГ (n=9)

Условия теста	Сенсорные условия стояния			
	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД, мм				
Без шапки	442 (321; 589)	875 (481; 1779)	1009 (700; 1529)	2018 (1189; 3442)
В шапке	419 (335; 568)	872 (419; 1360)	842 (596; 1210)*	1987 (1049; 2600)
p	0,635	0,086	0,028	0,066
Площадь доверительного эллипса ОЦД, мм ²				
Без шапки	347 (184; 546)	971 (234; 3148)	1095 (468; 1289)	2607 (1124; 7792)
В шапке	232 (174; 412)	830 (331; 1824)	661 (344; 1495)	1349 (960; 5366)*
p	0,401	0,110	0,139	0,038

Примечание p при сравнении состояний «без ЗКП» и «ЗКП» (критерий Уилкоксона)

Мы предполагаем, что физиологический механизм эффекта надевания шапки может заключаться в усилении соматосенсорной (тактильной) афферентации от кожи головы. Для пациентов с ДВГ, с уменьшенной вестибулярной афферентацией, сигналы от тактильных рецепторов кожи головы могли стать дополнительным источником информации для усиленного проявления «продольной пространственной вертикали» в «эгоцентрической системе координат», основанной на проприоцепции, что особенно важно в условиях дефицита вестибулярной информации у лиц с ДВГ [449]. Результаты исследования демонстрируют потенциал не инвазивных стимулов (таких, как ношение головного убора) для улучшения постурального контроля у пациентов с ДВГ. Наибольший терапевтический эффект можно ожидать в сложных

и нестабильных условиях, соответствующих реальным бытовым ситуациям, например ходьба в темноте и в сложной географической местности.

Установленное положительное влияние сенсорного протезирования на функцию равновесия, а именно: 1) проприоцептивной стимуляции кожи головы на параметры стабилотрии; 2) аудиостимуляции костной проводимости на параметры стабилотрии и аксилотрии в функциональном TUG тесте в сочетании с подтвержденной хорошей переносимостью и физиологичностью применяемых стимулов (соответствующих естественной сенсорной афферентации) послужило обоснованием для интеграции данных методик в разработанный алгоритм комплексной ВР.

3.6. Общая характеристика, методика и эффективность комплексной программы вестибулярной реабилитации у пациентов со стойкой вестибулярной гипотрункцией

Данный раздел посвящен исследованию эффективности разработанных нами оригинальных методик вестибулярной реабилитации (ВР), интегрирующих принципы неинвазивной стимуляции вестибулярного аппарата и методы, основанные на виртуальной реальности у пациентов со стойкой вестибулярной гипотрункцией.

Программы ВР для групп с хронической вестибулярной гипотрункцией (Кл1, Кл2) включали сеансы VR-тренировок комбинированные с бинауральной стимуляцией ЗКП (частота 110 Гц), проведенные в лаборатории и во время дозированной ходьбы в качестве домашнего задания. Оценка эффективности ВР (до и после курса ВР) была проведена при помощи метода КС. Технологически программа ВР обеспечивалась системой VR на базе Kinect с биологической обратной связью, коммерчески доступными наушниками костной проводимости звука и стандартизированными протоколами акустической стимуляции. Также, до проведения основного курса ВР, у пациентов, у которых был выявлен вторичный отолитиаз, выполнялись репозиционные маневры.

3.6.1. Совершенствование методики репозиции отолитов при вторичном отолитиазе у пациентов со стойкой вестибулярной гипотрункцией

Несмотря на широкое эмпирическое применение вспомогательной вибрации сосцевидного отростка в терапии отолитиаза (ДППГ), параметры данного

воздействия остаются недостаточно стандартизированными в международных клинических рекомендациях. Отсутствие регламентации касается как характеристик вибрационного стимула (частоты, амплитуды, длительности, периодичности), так и типа применяемых медицинских устройств, что на практике приводит к использованию физиотерапевтических, косметологических или бытовых приборов с подходящими физическими параметрами.

В рамках настоящего исследования для вибротерапии были применены два сертифицированных медицинских прибора: 1) «Вибротестер-МБН» ВТ-02-1 (Москва, Россия); 2) медицинский косметологический аппарат Xiaomi WellSkins WX-MJ100 (КНР). Приборы были отобраны на основании их физических характеристик (см. ниже):

1. «Вибротестер-МБН» ВТ-02-1(Москва, Россия). Медицинский прибор, предназначенный для исследования вибрационной чувствительности человека. Частотный диапазон вибрационных стимулов 8,16, 32, 63, 125, 250, 500 Гц. Диапазон интенсивности от 21 до 30 ДБ. Для реализации, поставленной задачи прибор настраивался в ручном режиме. Выполнялась установка частоты вибрационного воздействия от 63 до 125 Гц с изменяемой интенсивностью от 21 до 30 ДБ. Головка вибратора устанавливалась на заушную область пациента в области проекции лабиринта.
2. Медицинский прибор Xiaomi WellSkins WX-MJ100 (Гуандун Weiting Technology Co., Ltd, Фошань КНР), частота вибрации 96,25 Гц. (см. приложение — протокол исследования вибрации), мощностью 3 Вт. Зарядка устройства осуществляется через USB порт. Критериями выбора прибора послужили стабильность генерации сигнала, эргономичная форма рабочей части, адаптированная для заушной области, и мобильность устройства.

Среди пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией (ОВГ+ДВГ), всего n=88) частота вторичного отолитиаза составила 30,7% (27/88 случаев). У данной категории больных отмечалась высокая частота рефрактерных форм купулолитиаза ГПК, требующих многократных (до 5 сеансов) повторных манипуляций с назначением межсеансовых упражнений по методике Бранта-Дарофа.

С 2017 года выполнение репозиционных маневров при вторичном отолитиазе осуществлялось с вспомогательной вибростимуляцией области сосцевидного отростка ипсилатерального пораженному лабиринту с целью фрагментации отолитовых конгломератов. Вибрационное воздействие осуществлялось двумя

способами: 1) перед выполнением репозиционного маневра, 2) во время выполнения репозиционного маневра.

Пациентам с купулолитиазом ГПК перед выполнением конверсионного маневра Гуфони (Апиани) производилось воздействие вибрацией на область сосцевидного отростка в течение 20 мин. При неэффективности выполненного маневра воздействие вибрацией проводилось повторно, но не более двух раз. У части пациентов данной группы ($n=3$) отмечался полный регресс позиционного нистагма и сопутствующей симптоматики уже после этапа предварительной вибрации, что делало проведение последующих позиционных маневров ненужным. Данный клинический эффект позволяет предположить, что у этих пациентов имело место прикрепление отолитового дебриса к утрикулярной поверхности купулы, и вибрационное воздействие привело к его эффективной мобилизации и спонтанной репозиции. У остальных пациентов, у которых нистагм сохранялся, репозиционные маневры (например, маневр Гуфони) проводились по стандартному протоколу, но без одновременной вибрации. При неэффективности этого маневра, повторное выполнение проводилось с дополненной вспомогательной вибрацией методики. При каналолитиазе ГПК (также после перевода купулолитиаза в каналолитиаз) выполнялся прием Лемперта. При выполнении приема Лемперта воздействие вибрации осуществлялось в те периоды маневра, когда голова пациента поворачивалась: 1) на 90° , 2) на 180° в течение 30 секунд. Механизм действия вспомогательной вибрации в данном случае предположительно направлен на преодоление адгезии частиц в просвете канала и облегчение их перемещения под действием гравитации.

У пациентов с каналолитиазом ЗПК, при неэффективности проведения стандартного маневра Эпли (без вибрационного воздействия) повторные маневры проводились с одновременным воздействием вибрации. Вибрация выполнялась в те периоды выполнения маневра, когда 1) голова пациента была повернута на 45° в сторону пораженного уха и свисала с кушетки и 2) когда голова пациента была повернута в противоположную пораженному уху сторону. Вибрация осуществлялась в течение 30 секунд. При выполнении приема Семонта вибрационное воздействие выполнялось в период маневра, когда пациент находился на боку со стороны больного уха, с головой, повернутой на 45° в сторону здорового уха в течение 30 секунд.

Для оценки эффективности выполнения репозиционных маневров с вспомогательной вибростимуляцией при вторичном отлитиазе пациенты со стойкой

вестибулярной гипofункцией с вторичным отолитиазом (ОВГ+ДВГ, n=27) разделены на 2 подгруппы по временному признаку: 1) группа контроля (2009-2017 гг., n=6) — стандартные репозиционные маневры без вспомогательной вибростимуляции; 2) основная группа (2017-2025, n=21) — маневры со вспомогательной вибростимуляцией. Применение вспомогательной вибростимуляции (подгруппа «основная группа, с вспомогательной вибрацией») снизило медианное количество лечебных визитов с 4 до 2. Наибольший эффект достигнут при купулолитиазе горизонтальных каналов (медиана визитов снизилась с 4–5 до 2) и при мультиканальном поражении (с 5 до 3). В группе каналолитиаза ЗПК различия менее выражены, что соответствует разным механизмам действия вибрации (мобилизация адгезированных отолитов/облегчение гравитационного перемещения) (табл.58).

Таблица 58 — Локализация отолитиаза (ОВГ+ДВГ) с распределением по подгруппам (а, в) и параметром эффективности терапии, n=27 (100%)

Локализация поражения	Всего n=27	Подгруппа без вибрации 2009-2017 гг	Подгруппа с вибрацией 2017-2025 гг.	Количество лечебных визитов (а) Медиана [диапазон]	Количество лечебных визитов (в) Медиана [диапазон]
Каналолитиаз правый ЗПК	7 (25,9%)	2	5	1,5 [1-2]	1 [1-2]
Каналолитиаз левый ЗПК	3 (11,1%)	1	2	2 [2]	1,5 [1-2]
Каналолитиаз правый ГПК	1 (3,7%)	1		2 [2]	
Каналолитиаз левый ГПК	0 (0,0%)				
Купулолитиаз правый ГПК	6 (22,2%)	2	4	4 [3-5]	2 [2-3]
Купулолитиаз левый ГПК	3 (11,1%)	1 (Кл2)	2	5 [5]	2 [2-2]
Мультиканальное поражение	6 (22,2%)	1	5	5 [5]	3 [3-4]
Всего пациентов с ДППГ	27 (100%)	6 (22,2%)	21 (77,8%)	4 [1-5]	2 [1-4]

Примечание: ЗПК — задний полукружный канал; ГПК- горизонтальный полукружный канал. Подгруппа, а — выполнение стандартных репозиционных маневров; подгруппа в — стандартные репозиционные маневры + дополнительная вспомогательная вибрация на ипсилатеральный сосцевидный отросток.

Применение вибростимуляции частотой ≈ 100 Гц позволило достичь клинически значимого сокращения числа лечебных сеансов, необходимых для репозиции отолитов. Наибольшая эффективность методики наблюдалась при рефрактерных формах отолитиаза, характеризующихся образованием крупных конгломератов отоконий и их адгезией к купуле.

Пациентам со стойкой вестибулярной гипофункцией (ОВГ, ДВГ) и верифицированным вторичным отолитиазом, которые проходили в дальнейшем ВР на этапе предреабилитационной подготовки также проводились репозиционные маневры с применением вспомогательной вибростимуляции. Успешная репозиция отолитового детрита способствовала значимому регрессу симптоматики (позиционное головокружение, постуральная неустойчивость), что являлось необходимым условием для перехода к основному этапу вестибулярной реабилитации.

В рамках исследования проводилась сравнительная апробация двух источников вибрации: 1) сертифицированного медицинского прибора «Вибротестер-МБН» ВТ-02-1 (ООО «МБН», Москва) и 2) коммерческого массажного устройства Xiaomi WellSkins, изначально предназначенного для косметологического применения. Эмпирическая оценка клинической эффективности, хотя и не подкрепленная на данном этапе плановым статистическим анализом, позволила зафиксировать выраженную тенденцию. Применение устройства Xiaomi WellSkins характеризовалось более высокой частотой успешной репозиции после первого маневра и в целом требовало выполнения меньшего числа процедур для достижения устойчивого положительного эффекта по сравнению с альтернативным устройством. Помимо указанных параметров эффективности, решающее значение для выбора инструмента имели его прагматические качества. Аппарат Xiaomi WellSkins продемонстрировал несомненные преимущества в виде компактности, мобильности и простоты использования, что критически важно для его использования в рутинной клинической практике. На основании совокупности полученных качественных данных — включая оценку непосредственных результатов репозиции, частоту необходимых повторных маневров и субъективное удобство для врача — было принято решение о прекращении использования прибора «Вибротестер-МБН» ввиду его относительной громоздкости и об использовании в дальнейшем ходе исследования устройства Xiaomi WellSkins в качестве основного метода вспомогательной вибрационной стимуляции.

3.6.2. Вестибулярная реабилитация у пациентов со стойкой вестибулярной гиподисфункцией на основе VR-технологий с неполным погружением при помощи технологии Kinect и стимуляции звуком костной проводимости

Нами разработана программа на основе системы безмаркерного видеозахвата движений Kinect, которая позволяет проводить тренировки пациентов с ПВД используя принцип биологической обратной связи в интерактивном режиме. В основу программы заложены физиологические принципы ВР для стимуляции центральной компенсации вестибулярной дисфункции за счет механизмов адаптации вестибуло-окулярного рефлекса (ВОР), сенсорного замещения и габитуации. Программа предоставляет возможности ВР посредством: 1) мультисенсорной стимуляции (зрительной, проприоцептивной, вестибулярной), 2) модификации сформированных патологических постуральных стратегий через изменение вклада сенсорных систем, 3) тренировки ВОР и ВСР во время выполнения пациентами упражнений в условиях динамической нагрузки.

Преимущества выполнения ВР с помощью разработанной программы:

1. Комплекс упражнений разработан для ВР пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией специально для системы «Kinect».
2. Разработаны адаптированные для системы «Kinect» программы для конкретных типов периферической вестибулярной дисфункции, а именно: 1) для пациентов с острой/подострой односторонней вестибулярной дисфункцией, 2) стойкой односторонней вестибулярной гиподисфункцией, 3) стойкой двусторонней вестибулярной гиподисфункцией.
3. Настоящая программа позволяет менять сенсорные условия в процессе проведения ВР в зависимости от типа имеющейся периферической вестибулярной дисфункции, патологической стратегии компенсации, индивидуальных особенностей пациента.
4. Отсутствие эффекта полного погружения в VR уменьшает вероятность травмы во время выполнения упражнений и поэтому предоставляет возможность выполнения упражнений ВР пациентом самостоятельно в домашних условиях.

Использование настоящей программы противопоказано пациентам: 1) с некорригируемым нарушением зрительной функции (слабовидящие и слепые, пациенты с выраженным косоглазием); 2) с эпилепсией; 3) с выраженными нарушениями опорно-двигательного аппарата 4) с не стабильной вестибулярной дисфункцией, 5) с наличием в анамнезе прогрессирующей патологии центральной нервной системы

Условия проведения вестибулярной реабилитации (ВР) пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией в лаборатории новых методов физиологических исследований НОЦ высоких биомедицинских технологий Петрозаводского государственного университета.

В данной лаборатории выбрано помещение площадью 30 м² с учетом требований к проведению ВР с применением интерактивных технологий, а именно: 1) наличие контролируемого освещения, 2) антискользящего покрытия пола для обеспечения безопасности, 3) стабильного температурного режима и влажности воздуха, 4) исключение влияния внешних зрительных и слуховых раздражителей. Представляемый реабилитационный комплекс включает:

- Персональный компьютер с операционной системой Windows 10
- Специальное программное обеспечение для проведения ВР
- Контроллер Kinect для безмаркерного видеозахвата движений
- Монитор с диагональю 1 метр (≈ 40 дюймов), установленный на высоте 1 м от уровня пола

Контроллер Kinect размещен над экраном монитора в оптимальном положении для: 1) выполнения точного захвата движений пациента, 2) минимизации слепых зон при регистрации движения пациента, 3) обеспечения стабильного угла обзора для трекинга (рис. 21).

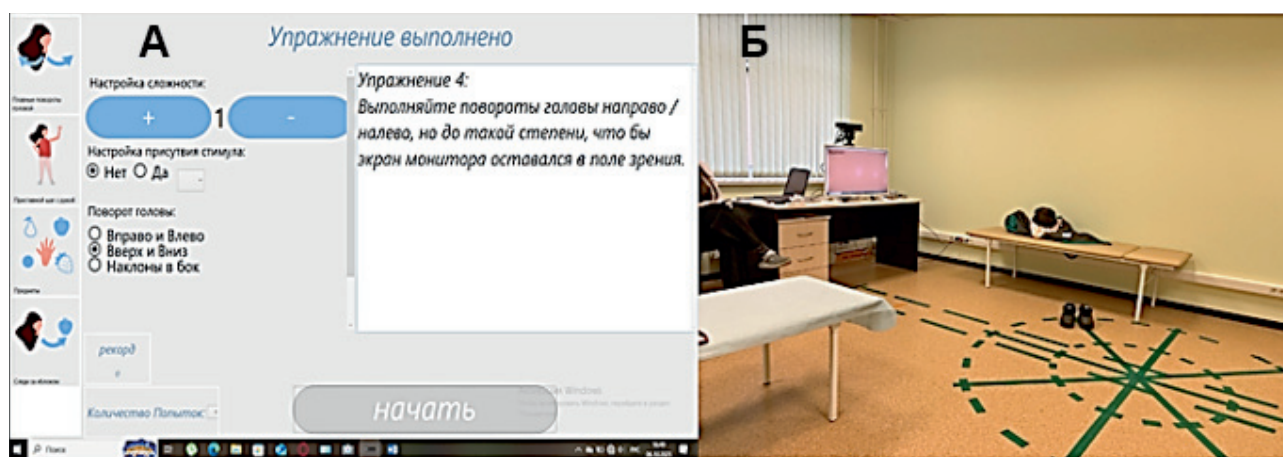


Рисунок 21 — Вид экрана монитора с разработанной программой при выполнении упражнений по программе ВР (страница настройки для выполнения упражнения) (А). Внешний вид пространства для проведения ВР, монитор для демонстрации упражнений программы ВР, контроллер Kinect (Б).

Пациент располагается на расстоянии 2 метра от экрана монитора для обеспечения: 1) оптимального восприятия визуальных стимулов, 2) достаточного

пространства для выполнения упражнений, 3) корректной работы системы Kinect по видеозахвату движений. Время выполнения каждого упражнения составило от 10 сек до 4 минут.

1. Методика упражнения на статическую фиксацию взгляда с визуальным захватом движущегося объекта:

Пациент стоит/сидит (в зависимости от выраженности явлений ВПД) и фиксирует взор на экране монитора, сохраняя неподвижное положение головы. Рука пациента вытянута вперед и находится на уровне глаз. В поле зрения пациента последовательно появляются визуальные стимулы (объекты) по горизонтальной и вертикальной осям с изменяемой скоростью. Задача пациента состоит в том, чтобы совершить точное движение вытянутой рукой для виртуального захвата объекта (рис. 22).

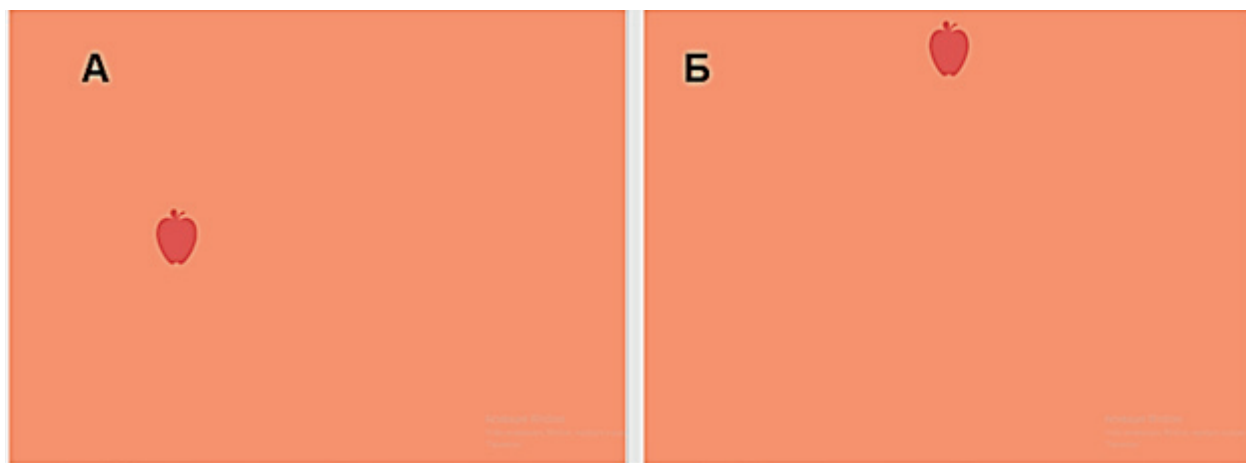


Рисунок 22 — Вид экрана монитора Kinect с разработанной программой при выполнении упражнения 1 (А, Б) в рамках ВР. Перемещающиеся в горизонтальной плоскости (А), в вертикальной плоскости (Б) предметы (красные яблоки)

Физиологическое обоснование методики: Выполнение упражнения способствует: 1) активизации ВОР вследствие необходимости удержания стабильного изображения на сетчатке глаза пациента при движении объекта; 2) тренировке зрительно-моторной координации, как следствие этого улучшает пространственную навигацию пациента; 3) адаптации вестибулярной системы к возрастающей нагрузке вследствие явлений габитуации за счет постепенного увеличения скорости движения визуального стимула. Клиническое применение: Рекомендовано пациентам с острой односторонней вестибулярной дисфункцией (ОВД) с целью улучшения стабилизации взгляда.

2. Методика упражнения на стабилизацию взора при поворотах головы в горизонтальной плоскости с захватом визуального объекта:

Пациент стоит/сидит (в зависимости от выраженности явлений ВПД), фиксирует взор на экране монитора. Рука пациента вытянута вперед и находится на уровне глаз. Далее пациент совершает плавные повороты головы в горизонтальной плоскости, удерживая в поле зрения движущийся визуальный стимул. При изменении положения визуального объекта пациент совершает его захват рукой (рис. 23). Скорость движения визуального стимула на экране монитора и амплитуда поворотов головы пациента во время выполнения упражнения прогрессивно увеличиваются.

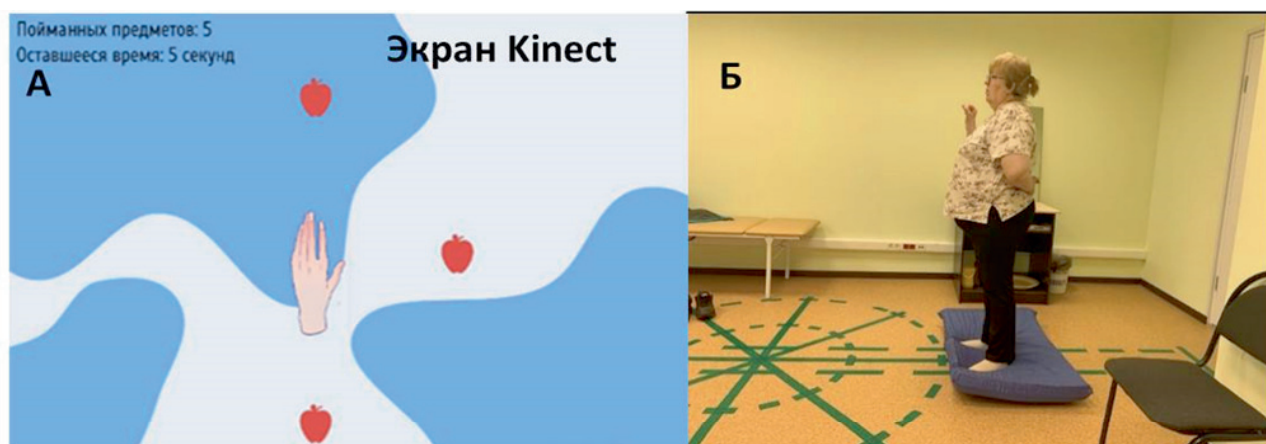


Рисунок 23. Вид экрана монитора с разработанной программой при выполнении упражнений в рамках ВР.

Собирание виртуальных объектов правой рукой, перемещающихся в горизонтальном и вертикальном направлении (красные яблоки) (А). Пациентка П. (58 лет) с двусторонней стойкой вестибулярной гипофункцией идиопатического генеза выполняет упражнения с использованием технологии VR с не полным погружением Kinect и стимуляцией звуком костной проводимости (Б).

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения: 1) стимулирует компенсацию ВОР за счет совместных движений головы и глаз; 2) улучшает координацию саккадических и плавных следящих движений глаз; 3) усиливает остаточную афферентную импульсацию от горизонтального полукружного канала и способствует восстановлению симметричности вестибулярных ответов. *Клиническое применение:* Рекомендовано пациентам с односторонней вестибулярной гипофункцией (острой, подострой, хронической).

3. Методика упражнения на стабилизацию взора при поворотах головы в вертикальной плоскости с захватом визуального объекта

Методика выполнения упражнения аналогична выполнению упражнения 2, но с движениями головы в вертикальной плоскости (сгибание/разгибание шеи в пределах

15-20°. *Физиологическое обоснование:* Выполнение упражнения:1) активизирует утрикулярный компонент отолитового вклада;2) тренирует вестибулоспинальные реакции за счет контроля вертикального баланса. Клиническое применение: Рекомендовано пациентам с ДВГ. *Противопоказания:* Упражнение противопоказано пациентам с отолитиазом с вовлечением заднего полукружного канала.

4-5. Методика упражнений на комбинированные движения головы с захватом визуального объекта:

Пациент стоит/сидит (в зависимости от выраженности явлений вестибулярной дисфункции, фиксирует взор на экране монитора. Рука пациента вытянута вперед и находится на уровне глаз. Вариант перемещения головы пациента и визуального стимула в горизонтальной плоскости. Пациент совершает повороты головы на 30° в горизонтальной плоскости с захватом визуального стимула, перемещающегося также рандомно по горизонтальной оси. Вариант перемещения головы пациента и визуального стимула в вертикальной плоскости. Методика выполнения упражнения аналогична упражнению 4, но с движениями головы в вертикальной плоскости (сгибание/разгибание в пределах 15-20°) с захватом визуального стимула (рис. 24).

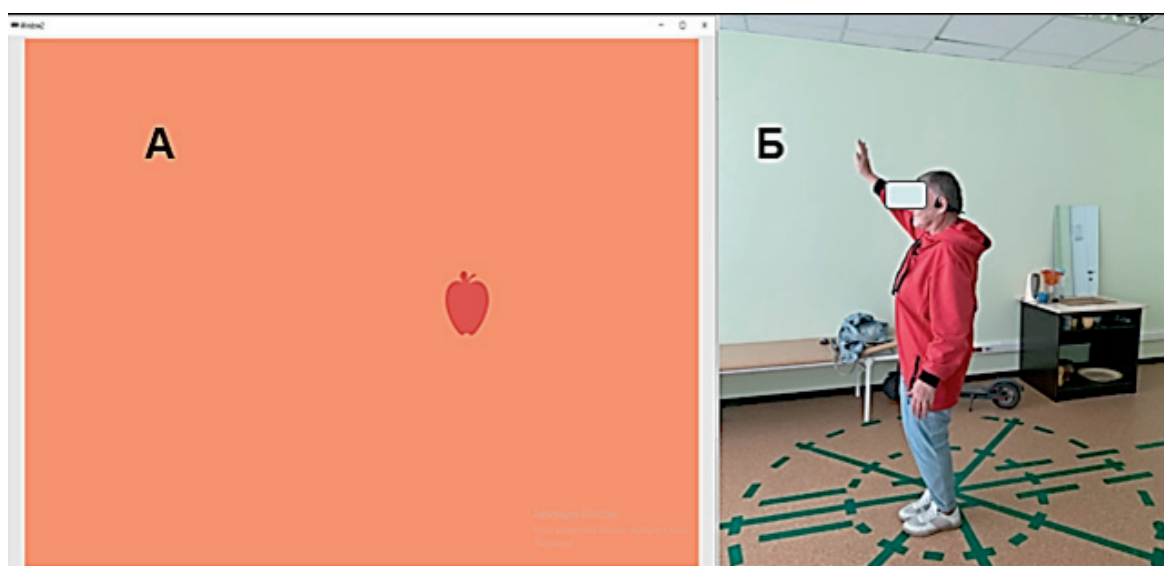


Рисунок 24. Панель (А) иллюстрирует вид экрана монитора с разработанной программой при выполнении упражнений 4-5 по программе VR.

Панель (Б) иллюстрирует выполнение упражнений 4-5 в комбинации с стимуляцией ЗКП (110 Гц) пациенткой И., 62 лет, с стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией ятрогенного генеза, развившееся после длительного интубационного наркоза.

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения:1) усиливает утрикулярный компонент отолитового вклада в стабилизацию зрения;2) улучшает сенсорную интеграцию за счет одновременной зрительной и соматосенсорной

стимуляции. *Клиническое применение:* Рекомендовано пациентам с ДВГ, ОВГ. *Противопоказания:* Упражнение 5 противопоказано пациентам с ДППГ с вовлечением заднего полукружного канала.

6-7. Методика упражнений с наклонами головы к плечам и визуальной стимуляцией с захватом визуального объекта и оптокинетической стимуляцией

Пациент стоит/сидит (в зависимости от выраженности явлений ВПД), фиксирует взор на экране монитора. Рука пациента вытянута вперед и находится на уровне глаз. Далее выполняет медленные наклоны головы к плечам (упражнение 6), медленное сгибание/разгибание шеи в пределах 15–20° (упражнение 7) с одновременным захватом появляющихся по горизонтальной/вертикальной оси визуальных объектов (рис. 25).

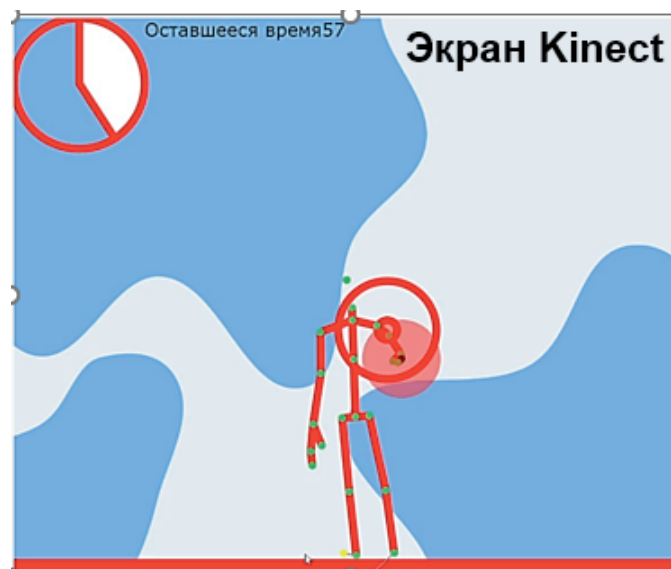


Рисунок 25 — Иллюстрация вида экрана монитора с разработанной программой при выполнении упражнений 6-7 по программе ВР (демонстрация БОС).

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения: 1) приводит к сочетанной стимуляции вестибулярной (отолитовой), зрительное и проприоцептивной афферентации; 2) создает условия для тренировки ВОР в условиях сенсорного конфликта; 3) способствует развитию замещающей ВОР саккадами стратегии компенсации при стойком его нарушении. *Клиническое применение:* Рекомендовано пациентам с ДВГ, ОВГ. *Противопоказания:* Упражнение 7 противопоказано пациентам с отолитиазом с вовлечением заднего полукружного канала.

8-9. Методика упражнений с оптокинетической стимуляцией и цветовым триггером

Пациент стоит/сидит (в зависимости от выраженности явлений ВПД), фиксирует взор на экране монитора. Рука пациента вытянута вперед и находится на уровне глаз. Пациент следит за движущимися по горизонтальной траектории (упражнение 8)/вертикальной (упражнение 9) визуальными объектами, совершая повороты головы в горизонтальной плоскости (упражнение 8)/сгибание/разгибание шеи в пределах $15-20^\circ$ (упражнение 9). Захват визуального объекта выполняется только при изменении цвета объекта, непрерывно перемещающегося по горизонтальной/вертикальной траектории (рис. 26).

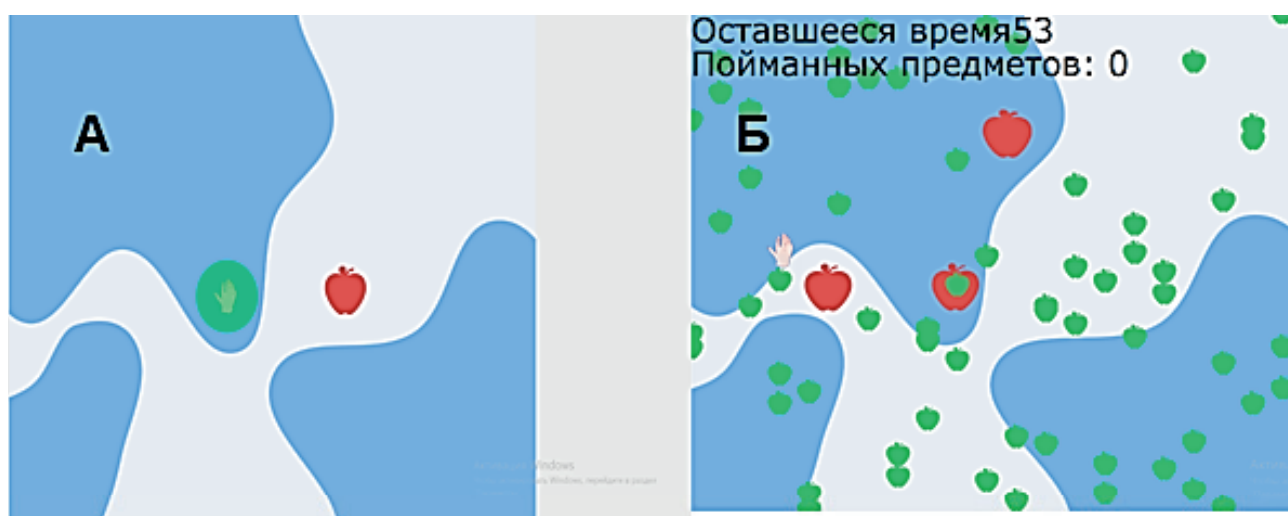


Рисунок 26 — Панель (А) иллюстрирует вид экрана монитора с разработанной программой при выполнении упражнений 8-9 (упражнение с цветовым триггером) по программе ВР; Панель (Б) иллюстрирует применение дополнительной визуальной стимуляции при выполнении упражнения

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения: 1) тренирует избирательное внимание и реакцию на внезапные изменения визуальной среды; 2) стимулирует ВОР посредством оптокинетической стимуляции. *Клиническое применение:* Рекомендовано пациентам с ОБГ.

10. Динамические упражнения (фланговая походка, стояние на неустойчивой поверхности)

Выполнение упражнения проводится на поролоновом/проприоцептивном коврике для уменьшения/усиления проприоцептивной нагрузки. Пациент выполняет упражнения (1-9) с захватом визуального объекта и 1) совершает

приставные шаги (по одному шагу в обе стороны), 2) производит раскачивание туловища вперед /назад в голеностопных суставах при положении ног в узкой стойке (стопы расположены рядом), не сгибая ноги в коленных и тазобедренных суставах. *Физиологическое обоснование:* Выполнение упражнения: 1) активизирует вестибулоспинальные пути и корковые механизмы постурального контроля; 2) способствует «перекалибровке» сенсорных систем в процесс поддержания равновесия; 3) формированию физиологической стратегии шага у пациентов с хронической неустойчивостью. *Клиническое применение:* Рекомендовано пациентам с ДВГ, ОВГ. Это упражнение предотвращает формирования визуальной зависимости, «перекалибровка» вклада сенсорных систем за счет механизмов сенсорного замещения, развитие мультисенсорной интеграции.

Предложенная программа упражнений ВР обеспечивает дифференциальный подход к ВР за счет; 1) дозированной вестибулярной стимуляции, 2) тренировки сенсорной интеграции в условиях зрительно- вестибулярного конфликта, 3) постепенного усложнения задач. Программа соответствует принципам нейропластичности и может быть адаптирована под индивидуальные особенности пациента.

Программные особенности: 1) четыре скоростных режима движения стимулов; 2) дополнительные визуальные (атмосферные эффекты, переменная оптокинетическая стимуляция) и акустические стимулы.

Физиологическая основа программы ВР: профилактика визуальной зависимости, сенсорная перекалибровка, развитие мультисенсорной интеграции.

Принципы программы ВР: 1) дозированная вестибулярная стимуляция, 2) тренировка сенсорной интеграции в условиях зрительно- вестибулярного конфликта, 3) постепенное усложнения задач.

Программа ВР может быть адаптирована к индивидуальным особенностям пациента.

Критерии подбора упражнений для пациентов для пациентов со стойкой одно и двусторонней вестибулярной гипофункцией.

Для пациентов с ОВГ акцент при подборе комплекса ВР делается на асимметричную стимуляцию вестибулярной афферентации для компенсации гипофункции на пораженной стороне. Предпочтительны упражнения с поворотами головы в горизонтальной плоскости для активации горизонтального полукружного канала. Показано постепенное включение оптокинетической стимуляции для активации ВОР, тренировки плавного слежения взора.

Для пациентов с ДВГ акцент при подборе комплекса ВР делается на развитие сенсорного замещения в зависимости от типа сформированной патологической стратегии компенсации. Рекомендуются упражнения с медленными наклонами головы с целью стимуляции остаточной вестибулярной функции (оолитового компонента) и активизации сенсорной перестройки. Показаны тренировки в условиях дефицита визуальной информации (туман, опотокинетические помехи) для стимуляции сенсорного замещения. Дифференцированная длительность курсов ВР (4 недели для пациентов с ОВГ, 6 недель для пациентов с ДВГ) отражает патогенетические различия в скорости компенсации. Обязательное ношение головного убора, плотно охватывающего голову во время прогулок дополняет проприоцептивную афферентацию импульсацией от рецепторов кожи головы и способствует выстраиванию собственной внутренней эгоцентрической вертикали. Поэтапное увеличение времени сеансов (5→20 минут) минимизирует риски развития сенсорного конфликта (табл. 58).

Таблица 58 — Схема проведения курса ВР у пациентов со стойкой вестибулярной гиподункцией одно- (ОВГ) и двусторонней (ДВГ)

Клинический профиль	Длительность курса	Длительность сеанса
ОВГ	4 недели	Постепенное увеличение: 5→20 мин/сеанс
ДВГ	6 недель	Постепенное увеличение: 5→20 мин/сеанс

- Алгоритм работы пользователя с разработанным программным приложением на основе системы «Kinect» представлен в приложении №2
- Во время выполнения упражнений по ВР пациенты с ОВГ и ДВГ получали стимуляцию ЗКП. Пациенты приглашались на занятия по ВР 1 раз в день. Характеристика подаваемого стимула — частота 110 Гц, интенсивность 40-60 ДБ. Режим подачи стимула-бинауральный, через наушники костной проводимости, наложенные на козелки ушных раковин. Амбулаторный режим ВР включал следующие обязательные компоненты:
- Дозированная ходьба с частотой 2 сеанса/день с минимальной продолжительностью 15 мин/сеанс и постепенным увеличением до 60 мин/сеанс в условиях аудиостимуляции в течение всего сеанса + ношением головного убора, плотно охватывающего голову.

- Домашнее задание: когнитивно-моторные упражнения (чтение, бытовая активность) с аудиостимуляцией костной проводимости частотой 2 раза/день с минимальной продолжительностью 5 мин/сеанс и постепенным увеличением до 20 мин/сеанс вне основных курсов ВР.

Данный протокол ВР интегрирует дозированную акустическую стимуляцию в повседневную активность пациентов с вестибулярной гипофункцией (рис. 27).



Рисунок 27 — Иллюстрация настройки программы для акустической стимуляции в мобильном устройстве пациентке М., 83 лет с идиопатической стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией

3.6.3. Результаты комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией

В данном разделе представлены результаты комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов с стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией (ОВГ) , $n=32$; 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет. Оценка эффективности протокола проводилась на основе анализа параметров компьютерной стабилотрии в четырех сенсорных условиях до и после курса ВР. После курса ВР отмечено заметное статистически значимое улучшение постурального контроля

в виде уменьшения длины траектории ОЦД во всех условиях тестирования и площади эллипса ОЦД (табл. 59).

Таблица 59 — Параметры компьютерной стабилотрии до и после курса комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов с ОВГ в различных сенсорных условиях вертикальной позы (n=32; 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет)

Параметр	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД (мм)				
До ВР	378 (356; 541)	671(536; 891)	975 (621; 1169)	1506 (1187; 2119)
После ВР	299 (253; 234)	428 (389; 521)	729 (488; 902)	1206 (800; 1386)
<i>p</i>	0,001	0,001	0,001	0,001
Площадь доверительного эллипса ОЦД (мм ²)				
До ВР	363 (199; 505)	468 (301; 1575)	875 (492; 1358)	2751(794; 4562)
После ВР	232 (120; 376)	412 (253; 1049)	606 (413; 760)	1116 (517; 1573)
<i>p</i>	0,001	0,006	0,008	0,001

Примечание: *p* для сравнения состояний «до ВР» и «после ВР» (тест Уилкоксона); условия: ОТ — «глаза открыты, твердая поверхность», ЗТ — «глаза закрыты, твердая поверхность», ОП — «глаза открыты, поролон», ЗП — «глаза закрыты, поролон».

Снижение показателей параметров ОЦД в сложных сенсорных условиях (ЗТ, ОП, ЗП) подтверждает улучшение постурального и может свидетельствовать о формировании адаптации пациентов с ОВГ к максимально сложным сенсорным условиям.

Была проведена количественная оценка весового вклада сенсорных систем (W) (n=32; 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет) на основе данных параметров КС до и после курса ВР. В состоянии после ВР получено статистически значимое увеличение вклада *W*_{vest} для площади доверительного эллипса ОЦД (мм²) и снижение для длины траектории ОЦД (мм), которое, однако, не достигло величины статистической значимости. Полученные результаты могут свидетельствовать о повышении роли вестибулярной информации после ВР для стабилизации амплитуды колебаний (площадь доверительного эллипса, но не для параметра общей длины движения (длина траектории ОЦД, мм). Для *W*_{vis} не отмечено статистически значимых отличий по параметрам КС, но имелась тенденция к его снижению (табл. 60). Отмечено увеличение *W*_{pro} (*p*<0,05), что может

свидетельствовать о повышении эффективности использования проприоцепции для общего контроля позы (табл. 60).

Таблица 60 — Весовой вклад сенсорных систем до и после комбинированной ВР в различных сенсорных условиях вертикальной позы у пациентов с ОБГ (n=32; 11 м., 21 ж., средний возраст $49,7 \pm 14,6$ лет)

Состояние	Весовой вклад сенсорных систем (W)		
	Wvest	Wvis	Wpro
Длина траектории ОЦД, мм			
До ВР	$0,4 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,2$
После ВР	$0,3 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,1^*$
Площадь доверительного эллипса ОЦД, мм ²			
До ВР	$0,2 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,3$
После ВР	$0,2 \pm 0,1^*$	$0,3 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,2^*$

Примечание: * $p < 0,05$ при сравнении состояний до и после курсов вестибулярной реабилитации; Wvest — вклад вестибулярной системы, Wvis — вклад зрительной системы, Wpro — вклад проприоцептивной системы. ВР — вестибулярная реабилитация.

Закключение. Проведенный анализ данных КС в состояниях до и после комбинированной ВР у пациентов с ОБГ демонстрирует статистически значимое улучшение постуральной устойчивости, оптимизацию проприоцептивного контроля позы, что может свидетельствовать о эффективности комбинированной ВР на основе системы виртуальной реальности с не полным погружением в сочетании с акустической стимуляцией костной проводимости (110 Гц).

Оценка эффективности протокола комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов с стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией (ДВГ) (n=25; 3м., 22 ж., средний возраст $67,5 \pm 12,9$ лет) проводилась также на основе анализа параметров компьютерной стабилометрии в четырех сенсорных условиях до и после курса ВР. После курса ВР отмечено заметное статистически значимое улучшение постуральной устойчивости в виде уменьшения длины траектории ОЦД во всех условиях тестирования и площади эллипса ОЦД, во всех состояниях, кроме ОП (табл. 61).

Таблица 61 — Параметры стабилотметрии до и после курса комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов с ДВГ в различных сенсорных условиях вертикальной позы, $n=25$; 3м., 22 ж., средний возраст $67,5 \pm 12,9$ лет

Параметр	ОТ	ЗТ	ОП	ЗП
Длина траектории ОЦД, мм				
До ВР	453 (360; 535)	744 (570;894)	871 (639;1021)	1490 (1090;2110)
После ВР	312 (752; 384)	498 (400;648)	729 (519;909)	1003 (819;1370)
<i>p</i>	0,001	0,001	0,001	0,001
Площадь доверительного эллипса ОЦД, мм ²				
До ВР	387 (200;625)	534 (284;913)	836 (417;1106)	1712 (696;3974)
После ВР	229 (162;408)	415 (302;617)	726 (486;965)	1351 (875;1989)
<i>p</i>	0,01	0,016	0,150	0,016

Примечание: *p* для сравнения состояний «до ВР» и «после ВР» (тест Уилкоксона); условия: ОТ — «глаза открыты, твердая поверхность», ЗТ — «глаза закрыты, твердая поверхность», ОП — «глаза открыты, поролон», ЗП — «глаза закрыты, поролон».

В состоянии после ВР отмечено статистически значимое уменьшение вклада W_{vis} ($p < 0,05$) для длины траектории ОЦД (мм) и статистически незначимое ($p > 0,05$), для площади доверительного эллипса ОЦД (мм²), что свидетельствует о снижении визуальной зависимости при поддержании баланса у пациентов с ДВГ. Увеличение W_{pro} ($p < 0,05$) отмечено для длины траектории ОЦД (мм), что указывает на «перекалибровку» сенсорных систем и демонстрирует адаптивное усиление проприоцептивной стратегии. Вклад W_{vest} не изменился по параметру длины траектории ОЦД, но увеличился для площади доверительного эллипса ОЦД на 15 %, что может свидетельствовать об улучшении интеграции остаточных вестибулярных сигналов (табл. 62).

Таблица 62 — Весовой вклад сенсорных систем до и после комбинированной ВР в различных сенсорных условиях вертикальной позы у пациентов с ДВГ, $n=25$; 3м., 22 ж., средний возраст $67,5 \pm 12,9$ лет

Состояние	Весовой вклад сенсорных систем (W)		
	W_{vest}	W_{vis}	W_{pro}
Длина траектории ОЦД, мм			
До ВР	$0,3 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,2$
После ВР	$0,4 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,1^*$	$0,4 \pm 0,2^*$

Продолжение таблицы 62

Площадь доверительного эллипса ОЦД, мм ²			
До ВР	0,2±0,2	0,3±0,3	0,5±0,3
После ВР	0,2±0,1	0,2±0,2	0,5±0,2

Примечание: * $p < 0,05$ при сравнении состояний до и после курсов вестибулярной реабилитации; Wvest — вклад вестибулярной системы, Wvis — вклад зрительной системы, Wpro — вклад проприоцептивной системы.

Закключение. Проведенный курс ВР обеспечил статистически достоверное повышение постуральной устойчивости у пациентов с ДВГ, причем наибольшая динамика отмечена в сложных сенсорных условиях. Основным эффектом ВР стала адаптивная реорганизация сенсорного вклада (сенсорное замещение). При этом весовой вклад проприоцепции (Wpro) для длины траектории ОЦД увеличился на 19% ($p < 0,05$), а зрительной системы (Wvis) уменьшался на 26%. Вестибулярная функция не показала значимого улучшения, что исключает ее полное восстановление. В обеих клинических группах (ОВГ, ДВГ) отмечено схожее улучшение параметров КС в состоянии после ВР, но за счет различных механизмов: восстановления вестибулярной функции при одностороннем поражении (ОВГ) / формирование проприоцептивно-ориентированной компенсации при билатеральном дефиците (ДВГ).

Таким образом, на основании полученных результатов можно считать, что стимуляция при помощи ЗКП (110 Гц) в сочетании с ВР на основе технологий VR с неполным погружением наиболее эффективна для восстановления вестибулярной афферентации при сохранном периферическом резерве. При тяжелой ДВГ активация вестибулярной афферентации вероятно возникает только во время воздействия акустического стимула и этот эффект ограничен по времени. Пролонгированная стимуляция ЗКП (110 Гц) в сочетании с ВР у пациентов с ДВГ возможно активирует нейропластическую перестройку, способствующую сенсорному замещению утраченной вестибулярной чувствительности и восстановлению постурального баланса, являясь, по сути, триггером этих перестроек. Однако «фоновая» активность вестибулярного лабиринта после ВР не меняется. Акустическая стимуляция вестибулярного аппарата при помощи ЗКП может быть эффективна для повседневной поддержки пациентов с ДВГ, например, при выходе на улицу и, соответственно, рекомендована к применению.

Возможные механизмы влияния ВР на основе ЗКП и VR представлены в табл. 63.

Таблица 68 — Кратковременный/продолжительный эффект акустической стимуляции костной проводимости у пациентов с вестибулярной гипопункцией

Характеристики	Кратковременное воздействие ЗКП	Продолжительное воздействие ЗКП комбинированное с ВР
Возможный физиологический механизм	Прямая стимуляция вестибулярной афферентации	Активация вестибулярных ядер при стимуляции остаточной вестибулярной функции, приводящая к сенситизации мультисенсорных корковых областей и активации нейропластичности
Длительность эффекта	Только во время стимуляции (транзиторная нейромодуляция)	Кумулятивный эффект через 4-6 недель (нейропластичность), и, как следствие, перераспределение вклада сенсорных систем
Объективные маркеры	Улучшение параметров TUG теста и стабилотрии во время воздействия стимула	Нормализация Wpro, но без роста Wvest

3.7. Клинико-инструментальная характеристика и эффективность ранней вестибулярной реабилитации с применением цифровых технологий и стимуляцией звуком костной проводимости у пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией (ОВД)

3.7.1. Клинико-инструментальная характеристика пациентов с ОВД

В работе проанализированы данные 93 пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией (ОВД), включая 38 мужчин и 55 женщин. Средний возраст пациентов составил $47,3 \pm 10,6$ года. В возрастной структуре выделены две группы: молодого и среднего возраста (Мл, $n=66$) и пожилого и старческого возраста (Ст, $n=27$). Среди этиологических факторов ОВД преобладал вестибулярный нейронит (ВН, 76,3 %); реже встречались острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза (ОКВС, 15,1 %), синдром Рамсея–Ханта (РХ, 5,4 %) и острый лабиринтит (ОЛ, 3,2 %). Отоневрологическое обследование, включающее сбор жалоб и анамнеза показало, что ведущей жалобой (100%) в этой группе было головокружение вращательного характера, сопровождающееся вегетативными нарушениями. Лишь двое пациентов (2,2%) описывали свои ощущения как выраженное чувство «дурноты». Для подгрупп ОВД (с диагнозом ВН и ОКВС) было обнаружено различие по встречаемости вращательного головокружения (100 %

и 85,7%) ощущения «дурноты» (0 и 14,3%, соответственно). Следует отметить, что отсутствие вращательного головокружения (ощущаемое как чувство «дурноты») при периферическом вестибулярном поражении не типично для пациентов с подтвержденной периферической вестибулярной дисфункцией. Так как центральный генез вестибулярной дисфункции был исключен при помощи МРТ головного мозга и на основе консультации невролога, но подтвержден периферический генез, объяснить характер испытываемых ощущений у этих двух пациентов можно психовегетативной реакцией, которая на фоне острого вестибулярного синдрома могла трансформировать восприятие симптома головокружения (табл. 69).

Таблица 69 — Характер головокружения у пациентов с ОВД (КлЗ) в зависимости от причинного диагноза (n=93; 38 м, 55 ж., средний возраст $47,3 \pm 10,6$ лет)

Тип головокружения	Диагноз			
	ВН (n=71, %)	РХ (n=5, %)	ОЛ (n=3, %)	ОКВС (n=14, %)
Вращательное	71 (100%)	5 (100%)	3(100%)	12 (85,7%)
Ощущение дурноты	0 (0%)	0(0%)	0(0%)	2 (14,3%)
Всего	71 100%)	5 (100%)	3(100%)	14(100%)

Примечание: ОКВС — острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза, ОЛ — острый лабиринтит, РХ — синдром Рамсея-Ханта

Также все пациенты (100%) группы ОВД отмечали нарушения равновесия и шаткость при ходьбе. Жалобы на осцилопсию были предъявлены только 29,0% пациентов после активного опроса, что не являлось основной жалобой данной группы. Имелось различие между подгруппами с диагнозами ВН и ОКВС по симптомам «рвота» (93,2% и 64,3%), осцилопсия (36,5% и 0%), «изменение слуха» (0% и 100%). Очевидно, что нарушение слуха являлось ключевым дифференциальным признаком: отсутствует у пациентов с ВН и наличие его у всех пациентов с ОКВС в данной выборке. На основании анализа и жалоб пациентов группы ОВД установлено, что для ВН основными признаками является «вращательное головокружение и тошнота и/или рвота» (93-100%) без нарушения слуха. Осцилопсия встречалась в 36% случаев. Ключевым отличием от пациентов с другой причинной патологией являлось отсутствие кохлеарных симптомов.

Для сосудистого ОКВС было характерно сочетание вестибулярных (86%) и слуховых нарушений (100%). Отмечена низкая частота рвоты (64%) и осцилопсий

(0%). При ОВД инфекционного генеза (острый лабиринтит — ОЛ, синдром Рамсея-Ханта — РХ) частота слуховых нарушений отмечена рвоты и системного головокружения — в 100% случаев. Выраженная осцилопсия (в 100% случаев) была патогномонична для РХ (табл. 70).

Таблица 70 — Характер жалоб пациентов группы Кл 3 в зависимости от причинного диагноза (n=93, 100 %; 38 м, 55ж., ср. возраст $47,3 \pm 10,6$ лет)

Диагноз	Характер жалоб					
	Голово- кружение (%)	Тошнота (%)	Рвота (%)	Осцилопсия (%)	Шаткость (%)	Изменение слуха (%)
ВН (n=74)	74 (100%)	74 (100%)	69 (93,2 %)	27 (36,5%)	74 (100%)	0 (0%)
ОКВС (n=14)	14 (100%)	14 (100%)	9 (64,3%)*	0 (0%)	13 (92,9%)	14 (100%)*
ОЛ (n=3)	3 (100%)	3 (100%)	3 (100%)	1 (33,3%)	3 (100%)	3 (100%)
РХ (n=5)	5 (100%)	5 (100%)	5 (100%)	5 (100%)	5 (100%)	5 (100%)

Примечание: * ($p < 0,05$) — отличие между ВН и ОКВС по критерию хи-квадрат Пирсона; ВН — вестибулярный нейронит, ОКВС — острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза, ОЛ — острый лабиринтит, РХ — синдром Рамсея-Ханта

Отоневрологическое обследование пациентов группы ОВД выявило следующие различия между возрастными подгруппами (Мл/Ст): среди пациентов пожилого и старческого возраста чаще наблюдались нарушения произвольных саккад (22,2% и 0%) и искажения зрительного прослеживания (14,8% и 0%). Полученные данные свидетельствуют о сниженных компенсаторных возможностях ЦНС или наличии сопутствующей церебральной патологии (микроангиопатии, нейродегенерации) у лиц старшей возрастной группы, затрудняющих центральную перестройку вестибулярных процессов. Напротив, патологическая проба Водака-Фишера, отражающая нарушение вестибулоспинальных рефлексов на уровне ствола мозга, достоверно преобладала в группе лиц молодого и среднего возраста (95,5% и 77,8%) (табл. 71). Полученные данные указывают на более выраженную остроту периферического поражения или особенности нейрональной реакции у молодых пациентов. Способность к выполнению поворота $\geq 45^\circ$ в пробе Унтербергера, требующая интеграции вестибулярной и проприоцептивной афферентации, также была отмечена только у пациентов младшей возрастной группы (4,5% и 0%). Спонтанный нистагм (подтвержденный в очках Frenzel), коррекционные саккады в тесте Halmagyi-Curthoys и нарушение устойчивости

в позе Ромберга на поролоне с закрытыми глазами наблюдались у 100% пациентов в обеих группах, подтверждая их значение как ключевых маркеров острой периферической вестибулярной дисфункции независимо от возраста. Симптомы, потенциально указывающие на вовлечение ствола мозга или мозжечка (рефиксация взора после поочередного закрывания глаз, дисдиадохокинез, промахивание в пальценосовой пробе), не показали различий между группами, хотя имели тенденцию к большей частоте у пожилых лиц (табл. 71).

Таблица 71 — Результаты отоневрологического обследования пациентов группы ОВД пациентов молодого и среднего возраста и группы пожилого и старческого возраста

Отоневрологический симптом	Мл	Ст
Нарушение произвольных саккад	0 (0%)	6 (22,2%)*
Искажение зрительного прослеживания	0 (0%)	4 (14,8%)*
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	3 (4,6%)	3 (11,1%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	64/66 (97,1/100%)	27/27 (100/100%)
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0 (0%)	0 (0%)
Позиционный нистагм	17 (25,8%)	9 (33,3%)
Коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous	66 (100%)	27(100%)
Дисдиадохокинез	0 (0%)	1 (3,7%)
Промахивание в указательной пробе	0 (0%)	1 (3,0%)
Проба Водака-Фишера	63 (95,5%)	21 (77,8%) *
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/на поролоновом мате)	59/66 (89,4/100%)	27/27 (100/100%)
Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты) (нарушение)	54/55 (81,8/83,3%)	27/27 (100/100%)
Поворот в тесте Unterberg $\geq 45^\circ$ (смогли выполнить тест)	3 (4,5%)	0 (0%)

Примечание: * ($p < 0,05$) отличие между Мл и Ст по критерию хи-квадрат Пирсона и точному критерию Фишера; Мл — молодой и средний возраст ($n=66$); Ст — пожилой и старческий возраст ($n=27$), проценты (%) от числа возрастной категории ($n=93$; 38 м, 55ж., средний возраст $47,3 \pm 10,6$ лет)

Сравнительный анализ отоневрологической симптоматики у лиц с хронической ОВГ (группы Кл1 и Кл3) выявил отличия в младшей (Мл) подгруппе по симптому «спонтанный нистагм» в очках Frenzel, «проба Фишера-Водака», «падение в позе Ромберга» на поролоновом мате, поворот в тесте Unterberger $\geq 45^\circ$. В старшей (Ст) возрастной подгруппе Ст достоверные отличия ($p \leq 0,05$) получены

по параметрам спонтанный нистагм в очках Frenzel проба Фишера-Водака падение в позе Ромберга на поролоновом мате поворот в тесте Unterberger $\geq 45^\circ$ (табл. 52).

Надъядерные симптомы (нарушение произвольных саккад, прослеживание), мозжечковые признаки (дисдиадохокинез, промахивание в пальценосовой пробе) и позиционный нистагм не продемонстрировали существенного межгруппового различия. Тем не менее, у лиц пожилого возраста группы ОВГ, в отличие от молодых лиц с ОВГ, сохранялся спонтанный нистагм (81% и 0%), что может являться свидетельством возрастного снижения компенсаторного потенциала ЦНС. Не выявлено различия позиционного нистагма в возрастных подгруппах (табл. 72).

Таблица 72 — Результаты отоневрологического обследования пациентов с ОВД и ОВГ молодого и среднего возраста и пожилого и старческого возраста

Отоневрологический симптом	Младший возраст (Мл.)		Старший возраст (Ст)	
	Кл 1, n=35 (%)	Кл 3, n=66 (%)	Кл 1, n=21 (%)	Кл 3, n=27 (%)
Нарушение произвольных саккад	0 (0%)	0 (0%)	4 (19,1%)	6 (22,2%)
Искажение зрительного прослеживания	0 (0%)	0 (0%)	1(4,8%)	4 (14,8%)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	2 (5,7%)	3 (4,6%)	4 (19,1%)	3 (11,1%)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	14/24 (40,0/68,6%)	64/66 (97,1/100%)*	13/17 (61,9/81,0%)	27/27 (100/100%)*
Цервикальный нистагм в позе де Клейна	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Позиционный нистагм	11 (31,4%)	17 (25,8%)	7 (33,3%)	9 (33,3%)
Коррекционные саккады в тесте Халмаги — Куртуса	35 (100%)	66 (100%)	21 (100%)	27 (100%)
Дисдиадохокинез	1 (2,9%)	0 (0%)	2(9,5%)	1 (3,0%)
Промахивание в указательной пробе	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (3,0%)
Проба Водака-Фишера	6 (17,1%)	63 (95,5%) *	4(19,1%)	21 (77,8%)
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/на поролоновом мате)	7/21 (12,5/60%)	59/66 (89,4/100%) *	4/17 (19,05/81,0%)	27/27 (100/100%)*
Ходьба прямо (глаза открыты/закрыты) (нарушение)	13/35 (37,1/100%)	63/66 (95,5/100%)	19/21 (90,5/100%)	27/27 (100/100%)
Поворот в тесте Unterberg $\geq 45^\circ$)	8 (22,9%)	3 (4,5%)	4 (19,1%)	0 (0%)

Примечание: * ($p<0,05$) — отличие между Мл и Ст по критерию хи-квадрат Пирсона и точному критерию Фишера; Мл — молодой и средний возраст ($n=66$), Ст — пожилой и старческий возраст ($n=27$) группы и ОВД и группы ОВГ ($n=35$ и $n=21$, соответственно), проценты (%) от числа возрастной категории

Выполнение позиционных тестов выявило, что поражение заднего полукружного канала (ЗПК) (каналолитиаз, n=8 правый ЗПК, n=6 левый ЗПК), мультиканальное поражение (ЗПК и ГПК каналолитиаз, n=1) в настоящем исследовании имели ипсилатеральную локализацию (100%) к стороне острого первичного вестибулярного поражения среди пациентов группы ОВД. Отолитиаз ГПК имел контралатеральную локализацию к стороне острой периферической вестибулярной дисфункции в 3 случаях (100%). Изолированный купулолитиаз только ГПК не был зарегистрирован.

Сравнительный анализ распределения локализации поражения при отолитиазе у пациентов с ОВД и ОВГ показал, что купулолитиаз ГПК, связанный с адгезией отолитов к купуле ГПК, отмечен исключительно при ОВГ (0 и 22,2%). Вероятно, это связано с тем, что формирование фиксированных отолитовых конгломератов требует более длительного времени. Мультиканальные формы чаще встречаются при стойкой вестибулярной гипофункции (22,2% и 3,8%), что коррелирует с длительностью основного заболевания (>3 месяцев). Каналолитиаз ЗПК явился доминирующей формой в обеих клинических группах (Кл1/Кл3 44/54%) (табл. 73). Это отражает с одной стороны анатомическую предрасположенность заднего полукружного канала к отолитовому смещению, с другой стороны — высокую частоту не вовлеченности нижнего вестибулярного нерва, иннервирующего задний полукружный канал, при вестибулярных нейронитах.

Таблица 73 — Распределение пациентов с односторонней вестибулярной гипофункцией стойкой (Кл1), n=18 (%) и острой (Кл3), n= 26 (%) с явлениями доброкачественного пароксизмального головокружения (ДППГ, отолитиаза) в зависимости от локализации поражения.

Локализация поражения	ОВГ (n=18, 100%)	ОВД (n=26, 100%)
Каналолитиаз правый ЗПК	5(27,8%)	8(30,8%)
Каналолитиаз левый ЗПК	3(16,7%)	6 (23,1%)
Каналолитиаз правый ГПК	1(5,6%)	2(7,7%)/
Каналолитиаз левый ГПК	0	1(3,8%)
Купулолитиаз правый ГПК	3(16,7%)	0(0%)
Купулолитиаз левый ГПК	1(5,6%)	0(0%)
Мультиканальное поражение	4 (22,2%)	1(3,8%)
Всего ДППГ	18(32,1%) от n=56	26 (28,0%) от n=93

Примечание: ЗПК — задний полукружный канал, ГПК — горизонтальный полукружный канал

Исследование вестибулярного аппарата с применением методики видеонистагмографии (VNG) у лиц клинической группы 3 (лица с ОВД) (n=68; м. 21, ж. 47, средний возраст $49,6 \pm 9,1$ лет). Результаты VNG-исследования подтвердили наличие SpNH в здоровую сторону, подавляющегося фиксацией взора, являющегося ведущим маркером острой односторонней периферической гипофункции, у всех обследованных пациентов группы Кл3 (лица с ОВД) всех возрастных категорий (100%). Результаты БКТ продемонстрировали значительную вариабельность абсолютных значений СМФ нистагма на пораженной стороне в диапазоне от 0 до $8,7^\circ/\text{с}$ у лиц с ОВД, что свидетельствует о гетерогенности степени угнетения периферической вестибулярной функции. В качестве основного диагностического критерия вестибулярной асимметрии применялся относительный показатель — показатель лабиринтной асимметрии (ЛА), превышающий пороговое значение 25% на пораженной стороне.

В таблице 74 представлен сравнительный анализ лиц с ОВД и ОВГ для того, чтобы показать, что для пациентов группы Кл1 (стойкая ОВГ) по данным БКТ характерно более глубокое угнетение пораженного лабиринта ($\text{СМФ} \leq 6^\circ/\text{с}$), чем у пациентов с ОВД ($\text{СМФ} \leq 8,7^\circ/\text{с}$) (табл.74). Это указывает на то, что у пациентов с ОВД еще есть функциональный резерв лабиринта. Если не провести раннюю ВР, то возможна утрата этого резерва и формирование ОВГ.

Таблица 74 — Сравнительный анализ данных видеонистагмографии (VNG) у пациентов с односторонней вестибулярной гипофункцией острой (Кл3) (n=68; м. 21, ж. 47, средний возраст $49,6 \pm 9,1$) и стойкой го (Кл1) (n=56 ; 19 м., 37 ж., средний возраст $51,5 \pm 13,1$), проценты (%) от общего числа.

Параметры VNG	ОВД (n=68, 100%)	ОВГ (n=56, 100%)
SpNH в здоровую сторону	68 (100%)	43 (76,8%)
SpNH в сторону противоположную здоровой	0 (0%)	3 (5,4%)
БКТ	СМФ $\leq 8,7^\circ/\text{с}$ на поражённой стороне; 68 (100%) ЛА >25%	СМФ $< 6^\circ/\text{с}$ на поражённой стороне; 56 (100%) ЛА >25%

Очевидно, что проведение компьютерной стабилотрии в остром (первые 24-72 часа) и раннем подостром периоде (4-7 сутки) при ОВД противопоказано ввиду выраженного вестибулярного атактического синдрома, исключающего возможность безопасной вертикализации пациента и существенно повышающего

риск ятрогенного травматизма. На данном этапе диагностический алгоритм ограничивается стандартным отоневрологическим обследованием, VNG — исследованием с БКТ, исследованием скорости ходьбы в TUG тесте и валидизированной шкалой оценки головокружения (Dizziness Handicap Inventory, DHI), что обеспечивает комплексную оценку функционального статуса без угрозы безопасности пациента.

Исследование скорости ходьбы в тесте TUG-тесте («встань и иди», тесте на трансформацию позы, повороты и ходьбу, $n=68$; м. 21, ж. 47, $49,6 \pm 9,1$ лет). Исследование выполняли в двух временных точках — 1) сразу после вертикализации пациентов (2-4 сутки после поступления в стационар) и 2) на 10-14-е сутки госпитализации при выписке. Первое проведение TUG теста в ранние сроки проводилось в условиях палаты с целью оценки эффективности ранней ВР. Анализ данных скорости ходьбы в TUG-тесте демонстрирует наличие статистически значимых различий между возрастными подгруппами молодого / пожилого / пожилого возраста ($p < 0,05$) (табл. 75). Видно, что в возрасте > 60 лет скорость ходьбы в TUG-тесте на 35% меньше, чем в меньшем возрасте.

Таблица 75 — Скорость ходьбы в TUG — тесте у пациентов ОВД группы разного возраста.

Возраст (лет)	Всего ($n=68$, 100%)	Скорость ходьбы (сек)
Молодой возраст $40,8 \pm 4,2$	26 (38,2%)	$49,5 \pm 12,4$
Средний возраст $51,6 \pm 3,7$	35 (51,5%)	$51,3 \pm 13,2$
Пожилой возраст + старые $69,7 \pm 5,1$	7 (10,3%)	$68,3 \pm 5,0^*$

Примечание: * $p < 0,05$ отличие от молодого возраста

Анализ данных тестирования по шкале Dizziness Handicap Inventory (DHI) лиц с ОВД ($n=68$; м. 21, ж. 47, средний возраст $49,6 \pm 9,1$ лет). Анкетирование пациентов по шкале DHI выполняли в двух временных точках: 1) первично — при поступлении в стационар после купирования острого вестибулярного синдрома при достижении возможности самостоятельного заполнения анкеты; 2) вторично — на 10/14 сутки госпитализации при выписке пациента.

Анализ данных тестирования по шкале DHI демонстрирует наличие статистически значимых различий между возрастными подгруппами молодого / пожилого / пожилого возраста ($p < 0,05$). Пациенты в возрасте ≥ 60 лет демонстрируют

достоверно бóльшую субъективную функциональную дезадаптацию по DHI по сравнению с молодыми ($p<0,05$) и средневозрастными ($p<0,05$) группами.

Таблица 76 — Количество баллов по DHI у лиц с ОВД группы разного возраста, ($n=68$).

Возраст (лет)	Всего 68 (100%)	Баллы по DHI
Молодой возраст ($40,8\pm4,2$)	26 (38,2%)	$48,3\pm13,0$
Средний возраст ($51,6\pm3,7$)	35 (51,5%)	$47,7\pm19,8$
Пожилой + старческий возраст ($69,7\pm5,1$)	7 (10,3%)	$56,4\pm4,2$ *

Примечание: * $p<0,05$ отличие от молодого возраста

Заключение по комплексному обследованию пациентов с ОВД. Группа пациентов с ОВД является гетерогенной по характеру причинного диагноза. Для группы пациентов с острым кохлеовестибулярным синдромом сосудистого генеза, острым лабиринтитом, синдромом Рамсея-Ханта патогномоничны нарушения функции слуха, которые полностью исключены при вестибулярном нейроните. Основными отоневрологическими маркерами острой вестибулярной гипофункции являются наличие спонтанного периферического нистагма в здоровую сторону, коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous со стороны поражения, нарушение устойчивости в позе Ромберга, сложности при выполнении пробы Unterberger ($\geq 45^\circ$). Каналолитиаз ЗПК ипсилатеральной локализации является наиболее частым вариантом отолитиаза, ассоциированным с острой односторонней вестибулярной гипофункцией.

У пациентов с ОВД определяются возраст-ассоциированные нарушения — пациенты старше 60 лет демонстрируют увеличение времени выполнения TUG-теста, по сравнению с более молодыми пациентами, более высокую субъективную функциональную дезадаптацию по DHI. Разделение пациентов с острой односторонней вестибулярной гипофункцией по этиологии, возрасту и фазе течения ОВГ определяет прогноз и персонализирует лечение. Возраст старше 60 требуют раннего начала и активного проведения ВР для профилактики в стойкую ОВГ.

3.7.2. Методика вестибулярной реабилитации (ВР) на основе мобильных технологий в сочетании со стимуляцией ЗКП (110 Гц) при ОВД

Учитывая показанную выше эффективность ВР, интегрирующей бинауральную стимуляцию ЗКП (110 Гц) с ВР на основе технологий VR у пациентов со стойкой вестибулярной гипофункцией (ОВГ, ДВГ), методика была апробирована

в клинической группе пациентов с острой дисфункцией (ОВД). Поскольку ранняя вестибулярная реабилитация (ВР) с использованием технологий виртуальной реальности (VR) неполного погружения на базе системы «Kinect» невозможна до момента вертикализации пациента, нами было разработано специализированное приложение для операционной системы Android (см. Приложение). Данное приложение, основанное на цифровых технологиях, предназначено для тренировки глазодвигательных реакций и позволяет начинать реабилитацию уже с первых суток заболевания, когда пациент ещё находится в постели.

Характеристика пациентов с ОВД, проходивших вестибулярную реабилитацию. Из 68 пациентов с ОВД, проходивших вестибулярную реабилитацию (ВР, м. 21, ж. 47, $49,6 \pm 9,1$ лет) вторичный отолитиаз ЗПК был выявлен у 6 человек (8,82%): у 4 — с поражением правого ЗПК, у 2 — левого. Всем пациентам с вторичным отолитиазом на 1-5-е сутки после госпитализации выполнены репозиционные маневры, дополненные вспомогательной вибрацией (100 Гц) на область сосцевидного отростка. Для успешного купирования отолитиаза потребовалось 1-2 сеанса репозиционных маневров.

С целью оценки эффективности различных методик ВР для предотвращения развития стойкой ОВГ у пациентов с острой ОВД были сформированы две подгруппы — А и Б.

Подгруппа А: («контрольная», $n=38$) — пациенты, проходившие ВР по «традиционной» методике в период с 2017 по 2021 год. Методика включала разъяснительную беседу о принципах и технике выполнения вестибулярных упражнений с последующей выдачей печатных памяток-буклетов для самостоятельных занятий.

Подгруппа Б («экспериментальная», $n=30$) — пациенты, проходившие ВР по инновационной методике в период с 2022 по 2025 год. Эта методика предполагала использование разработанного нами специализированного мобильного приложения, основанного на цифровых технологиях (для операционной системы Android), ориентированного на тренировку глазодвигательных функций, в сочетании с стимуляцией ЗКП частотой 110 Гц, ранее показавшей свою эффективность при ДВГ и ОВГ.

Пациенты подгрупп А и Б были сопоставимы по возрасту, отоневрологическому статусу и этиологии заболевания и получали стандартную медикаментозную терапию в зависимости от этиологии основного заболевания (табл. 77, 78).

Таблица 77 — Распределение по полу лиц с ОВД, проходивших ВР.

Параметр	Группа А n=38 (100%)	Группа В n=30 (100%)
Мужчины	12 (31,6%)	9 (30,00%)
Женщины	26 (68,4%)	21 (70,00%)
Средний возраст (лет)	49,5 ± 9,5	48,5 ± 8,7

Таблица 78 — Распределение по возрасту лиц с ОВД, проходивших ВР.

Возрастная категория	Группа А, n=38 (100%)	Группа В, n=30 (100%)
Молодой возраст (18—44 года)	14 (36,8%)	12 (40,0%)
Средний возраст (45—59 лет)	20 (52,6%)	16 (53,3%)
Пожилой возраст (60—74 года) и старые	4 (10,5%)	2 (6,7%)

В обеих подгруппах соблюдались общие протоколы ведения острых вестибулярных синдромов. Медикаментозная терапия в острый период (1-3 сутки, но не более 3 дней) включала назначение вестибулярных супрессантов, противорвотных средств (по показаниям). С 3-х суток проводилась терапия препаратами бетажестина в дозе 24 мг 2 раза в день. Часть пациентов, не имеющие противопоказаний получали терапию глюкокортикостероидами (дексометазон в/в, начиная с 12 мг в сутки 3 дня, с постепенным снижением дозы на 2 мг каждые 3 дня).

Также пациенты получали дополнительно другую медикаментозную терапию в зависимости от этиологии ОВД и сопутствующей патологии. Вертикализация пациентов проводилась не позднее 3-х суток. Временная точка начала ВР (после купирования острой вегетативной симптоматики и способности самостоятельно в постели выполнять упражнения, но не позднее 3-х суток) была одина для обеих подгрупп.

3.7.3. Физиологические принципы и описание комплексной программы ВР пациентов с ОВД

Разработанная программа рассчитана на применение у лиц с ОВД, которые первоначально не могут активно перемещаться, а затем, по мере восстановления, могут становиться на ноги и перемещаться. Эта программа базируется на следующих физиологических принципах ВР: 1) вестибулярной адаптации (ВА), 2) сенсорного замещения (СЗ) и 3) габитуации [Whitney et al. 2016]. В некоторых клинических ситуациях у пациентов с ОВД возможно частичное или полное восстановление вестибулярной афферентации. При таких клинических сценариях тренировка

стабилизации взора выполняется за счет методик стимуляции вестибулоокулярных связей, активации медиального продольного пучка. С этой целью показан выполнение повторяющихся упражнений, 1) сочетающих повороты головы с фиксацией взора и 2) оптокинетическую стимуляцию с направлением движения визуального стимула в сторону поражения с не подвижной головой/в сочетании с поворотами головы.

В иных случаях (например острый гнойный лабиринтит) клиническая ситуация не предполагала восстановление активности вестибулярного лабиринта. Тогда программу ВР было необходимо дополнить упражнениями, направленными на тренировку компенсаторных саккад. Включение в комплекс ВР упражнений на СЗ (на поролоновом/проприоцептивном коврике) возможно в ситуации, когда не предвидится восстановление активности вестибулярного лабиринта. Тогда после вертикализации пациента дополнительно включались упражнения с использованием специального приложения на мобильном устройстве, выполняемые в условиях измененной афферентации от стоп пациента (условия для развития СЗ).

Включение в программу ВР стимуляции ЗКП (110 Гц) с 4-7-х суток способствует стимуляции остаточной вестибулярной функции за счет явлений статохастического и вибрационного резонанса, развитию вестибулосоматического и вестибуло-проприоцептивного взаимодействия. Повторное выполнение упражнений разработанной программы вносит эффект габитуации (привыкания) к асимметричной вестибулярной афферентации.

Использование программы ВР пациентов с ОВД позволило дозировать сенсорную конфликтную стимуляцию, создавая программируемый дисбаланс между: 1) вестибулярной (движения головы, акустическая стимуляция звуком костной проводимости), 2) зрительной (фиксация на визуальной цели, оптокинетическая стимуляция), 3) проприоцептивной афферентацией (положение руки с мобильным устройством, использование поролонового/проприоцептивного коврика), ускоряя развитие явлений центральной компенсации. Добавление динамического компонента в программу ВР (ходьба с поворотами с акустической стимуляцией ЗКП) способствует выработке физиологической стратегии шага у пациентов с ОВД.

Детализированная программа комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) пациентов с ОВД (подгруппа Б) с использованием специального приложения к мобильному телефону и стимуляцией звуком костной проводимости (110 Гц) с физиологическим обоснованием каждого упражнения.

Перед началом выполнения упражнений по программе ВР активировалось программное обеспечение, осуществляющее регистрацию параметров зрачковой реакции пациента с последующей калибровкой системы (рис. 27, А).

Упражнение 1а: горизонтальные движения головой с фиксацией взгляда.

Методика выполнения: Пациент удерживает мобильное устройство в вытянутой руке (с возможной поддержкой), фиксирует взгляд на встроенной камере устройства и медленно поворачивает голову вправо-влево в горизонтальной плоскости, сохраняя фиксацию на камере (рис. 29, Б, В). Амплитуда движения головы находится в пределах визуализации камеры ($\approx 30\text{--}45^\circ$). Начальная длительность упражнения — 30 сек, затем она постепенно увеличивается до 2 мин. Скорость движений увеличивается постепенно до появления легкого дискомфорта, что свидетельствует о тренировочном эффекте.

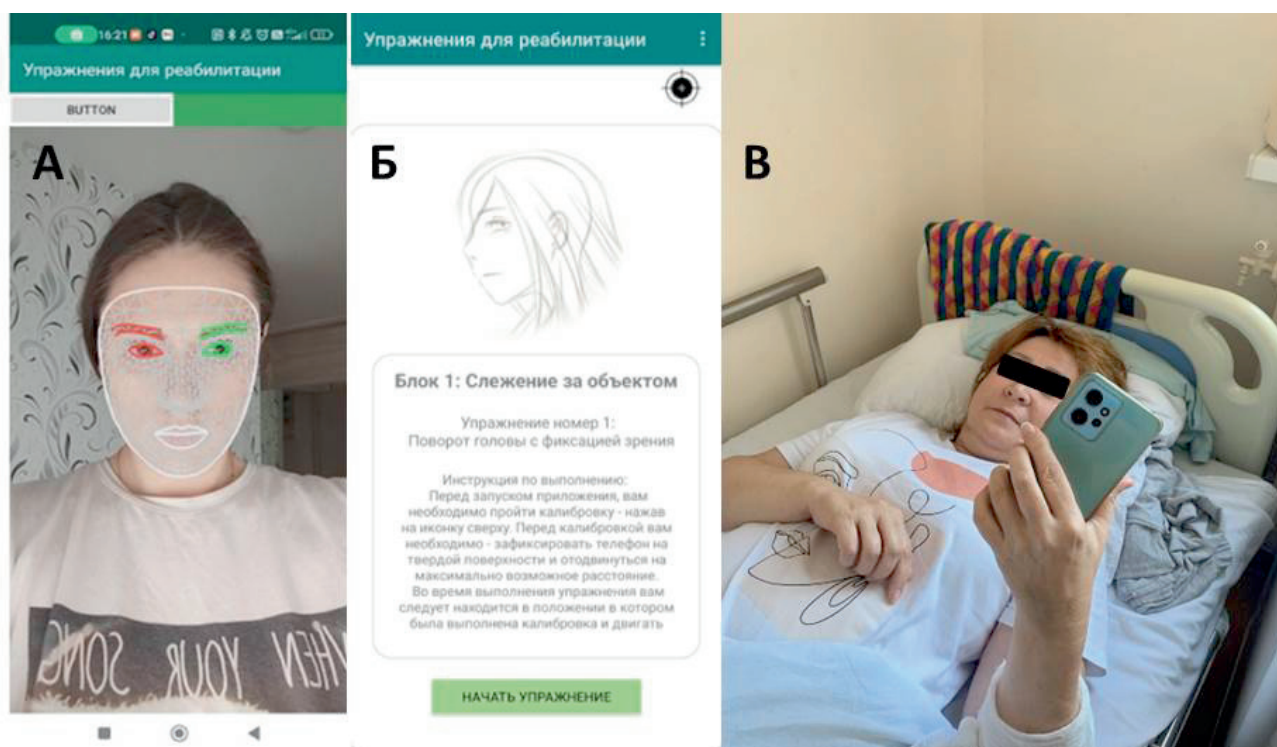


Рисунок 27 — Вид экрана смартфона при калибровке (захват зрачков) (А), внешний вид интерфейса приложения мобильного телефона для проведения вестибулярной реабилитации (Б), выполнение упражнения (пациентка 56 лет, вестибулярный нейронит справа) (В)

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения вызывает: 1) стимуляцию ГПК пораженного лабиринта для активации ВОР, 2) тренировку медленных следящих движений глаз, компенсирующих недостаточность ВОР,

3) уменьшение асимметрии тонической активности вестибулярных ядер за счет серии повторяющихся движений.

Клиническая значимость: Выполнение упражнения способствует:

1) коррекции патологического нистагма, 2) улучшению стабилизации зрения

Упражнение 1б: вертикальные движения головы при фиксированном устройстве

Методика выполнения: Пациент фиксирует взгляд на камере устройства, медленно перемещая голову вверх-вниз по вертикали, сохраняя фокус на камере. Амплитуда движения головы находится в пределах визуализации камеры ($\approx 15-20^\circ$). Начальная длительность упражнения — 30 сек, постепенно увеличивается до 2 мин. Скорость движений увеличивается постепенно до появления легкого дискомфорта

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения вызывает: 1) активацию отолитового (утрикулярного) вклада, 2) тренировку вертикального ВОР.

Клиническая значимость: Выполнение упражнения улучшает стабилизацию зрения. *Противопоказание для выполнения упражнения 1 б:* отолитиаз ЗПК.

Упражнение 2: комбинированные противоположно-направленные повороты головы и руки с мобильным устройством

Методика выполнения: Пациент поворачивает голову вправо-влево, одновременно отводя руку с мобильным телефоном в противоположную сторону и фиксируя взгляд на камере. Амплитуда движения головы и руки с мобильным устройством находится в пределах визуализации камеры. Начальная длительность упражнения — 30 сек, постепенно увеличивается до 2 мин. Скорость движений увеличивается постепенно до появления легкого дискомфорта.

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения приводит к формированию стратегии «голова-глаза», критичной для динамической стабилизации зрения.

Клиническая значимость: Выполнение упражнения способствует восстановлению естественных паттернов движений при поворотах головы.

Упражнение 3: ходьба со стимуляцией ЗКП (110 Гц)

Методика выполнения: Стимуляция звуком костной проводимости (ЗКП) частотой 110 Гц интенсивностью 40-60 дБ осуществлялась двусторонне с помощью наушников костной проводимости, размещаемых на козелках ушных раковин. Упражнение выполнялось во время ходьбы с поворотами. Его начинали на 3-4-е сутки после вертикализации пациента. Исходная продолжительность упражнения составляла 5-15 минут два раза в день, в дальнейшем длительность ежедневно увеличивали на 5-10 минут (рис. 28).



Рисунок 28. Упражнение 3.

Панель (А) иллюстрирует этап вестибулярной реабилитации (ВР) с ходьбой и стимуляцией звуком костной проводимости (ЗКП) частотой 110 Гц у пациентки С., 68 лет, с острым кохлеовестибулярным синдромом сосудистого генеза; панель (Б) — этап вертикализации и проведения мероприятий ВР с использованием стимуляции ЗКП (110 Гц) у пациентки О., 72 лет, с синдромом Рамсея-Ханта на 7-е сутки госпитализации.

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения приводит к усилению: 1) вестибулярной афферентации за счет явлений статохастического резонанса и 2) вестибулосоматической интеграции.

Клиническая значимость: Выполнение упражнения способствует восстановлению параметров ходьбы.

Упражнение 4: выполнение упражнений 1—2 сидя, стоя, стоя на проприоцептивном коврике (по показаниям)

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения приводит к усилению зрительно-соматической, зрительно-проприоцептивной интеграции.

Клиническая значимость: Выполнение упражнения способствует восстановлению статических постуральных стратегий.

Упражнение 5: оптокинетическая стимуляция

Методика выполнения: Пациент фиксирует взгляд на экране мобильного устройства, на котором включена программа оптокинетической стимуляции с движением визуального стимула в сторону пораженного лабиринта. Выполнение упражнения возможно сидя, стоя на ровной поверхности/ проприоцептивном коврике. Начальная длительность выполнения упражнения 30 сек., постепенно увеличивается до 2-3 мин. Скорость движения оптокинетического стимула увеличивается постепенно до появления легкого дискомфорта.

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения вызывает создание патологического смещения на сетчатке глаза, необходимое для тренировки ВОР.

Клиническая значимость: Выполнение упражнения способствует улучшению стабилизации взора, восстановлению ВОР.

Упражнение 6: тренировка компенсаторных саккад (по показаниям)

Методика выполнения: Пациент фиксирует взгляд на камере мобильного устройства, затем закрывает глаза. Отводит руку с устройством в сторону, представляя положение визуальной цели и следя за ее перемещением «взглядом» при закрытых глазах. Открывает глаза и корректирует взгляд. Длительность: время выполнения постепенно увеличивается до 3 минут. Скорость движений увеличивается постепенно до появления легкого дискомфорта.

Физиологическое обоснование: Выполнение упражнения способствует: 1) формированию «предсказывающих саккад» — ключевого механизма компенсации при хронической вестибулярной гипофункции, 2) усилению коркового контроля за глазодвигательными реакциями (через теменно-мозжечковые пути).

Клиническая значимость: Выполнение упражнения снижает «размытости» изображения при движениях головы.

Этапы проведения комбинированной вестибулярной реабилитации (ВР) у пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией (КлЗ, В) в зависимости от периодов заболевания.

Острый период (1-3 сутки). Рекомендовано выполнение упражнений 1а, 1б в постели. Частота выполнения упражнений 2 раза/день, длительность 30-60 сек.

Подострый период (4-14 сутки). Рекомендовано продолжить выполнение упражнений 1а, 1б сидя, стоя. Добавить упражнение 2. Частота выполнения упражнений — 2 раза/день. Также рекомендовано увеличение длительности упражнений до 2 минут и добавление вариабельной скорости движений визуального стимула; с 4-х суток — выполнение упражнений 1-4; с 10 суток (по показаниям) — выполнение упражнений 5-6.

3.7.4. Результаты комбинированной вестибулярной реабилитации у пациентов с ОВД

Критериями оценки эффективности ВР в подгруппах А и Б считались:

1. Улучшение показателей отоневрологического обследования
2. Снижение количества баллов по шкале DHI
3. Уменьшение времени выполнения TUG- теста
4. Повышение точности фиксации взора (по данным специального приложения к мобильному телефону, контроль возможен только в подгруппе Б для оценки прогресса в ВР)

Результаты комплексной ВР у пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией по данным отоневрологического обследования. Отличия между подгруппами, получающими ВР по традиционной (А) и «экспериментальной» (Б) методике с преимуществом для подгруппы Б получены по следующим отоневрологическим симптомам: падение в позе Ромберга на твердой поверхности, ходьба прямо с закрытыми глазами ($p < 0,05$), ходьба прямо с открытыми глазами ($p < 0,001$) (табл. 78).

Таблица 78 — Сравнительный анализ результатов отоневрологического обследования пациентов с ОВД (n=68) до и после ВР с применением «традиционной» (А, n=38) и «экспериментальной» (Б, n=30) методике

Отоневрологический симптом	Состояние			
	До ВР		После ВР	
	Подгруппа А (n=38, %)	Подгруппа Б (n=30 %)	Подгруппа А (n=38, %)	Подгруппа Б (n=30 %)
Нарушение произвольных саккад	2 (5,3 %)	1 (3,3 %)	2 (5,3%)	1 (3,3%)
Искажение зрительного прослеживания	2 (5,5 %)	1 (3,3 %)	2 (5,3 %)	1 (3,3 %)
Рефиксация взора после поочередного закрывания глаз	3 (7,9 %)	2 (6,7 %)	3 (7,9 %)	1 (3,3 %)
Спонтанный нистагм (на свету/с очками Frenzel)	38 (100%)	30 (100%)	33/38 (86,8/100%)	20/30 (66,7/100%)
Позиционный нистагм	10 (26,3 %)	6 (20 %)	0	0
Коррекционные саккады в тесте Xalmagyi — Curthous	38 (100%)	29 (96,7 %)	35 (92,1%)	24 (80 %)
Дисдиадохокинез	0	1(3,3 %)	0	1 (3,3 %)
Промаживание в указательной пробе	1 (2,6 %)	0	1 (2,6 %)	0
Проба Водака-Фишера	37 (97,4 %)	28 (93,3%)	26 (68,4%)	17 (56,7%)
Падение в позе Romberg (на твердой поверхности/на поролоновом мате	34/38 (89,5/100%)	30/30 (100/100%)	26/31 (68,4 /81,6 %)	12*/24 (40 /80%)
Ходьба прямо, глаза открыты/закрыты (нарушение)	38/ 38(100%)	30 /30 (100%)	32/38 (84,2/100 %)	8***/24* (26,7/80 %)
Поворот в тесте Unterberg $\geq 45^\circ$ (смогли выполнить тест)	0	0	11 (28,9 %)	11 (36,7 %)

Примечание: * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$ при сравнении двух методик ВР по критерию хи-квадрат Пирсона

Результаты комплексной ВР у пациентов с ОВД по данным тестирования DHI и времени выполнения TUG-теста. После ВР обе технологии привели к статистически значимому улучшению состояния, однако ВР по «экспериментальной» методике показало лучший результат, т. к. число баллов по DHI и время TUG-теста были статистически значимо меньше по сравнению с традиционной технологией ВР (табл. 79).

Таблица 79 — Количество баллов по шкале DHI и время выполнения TUG-теста пациентами с ОВД (n=68) до и после ВР с применением «традиционной» (А, n=38) и «экспериментальной» (Б, n=30) методике

Состояние	Состояние	
	Традиционная ВР (А)	ВР на основе цифровой технологии и ЗКП (Б)
Баллы DHI		
До ВР	50(44-59)	49(45-58)
После ВР	31(24-38)	24(18-28)**
p	0,001	0,001
Время TUG-теста (с)		
До ВР	52(44,2-62,7)	49,5(46-58,2)
После ВР	35(31-43)	21(16-28)***
p	0,001	0,001

Примечание: ** p < 0,01, *** p < 0,001 при сравнении двух методик ВР

Заключение. Оба метода ВР показали эффективность в группе пациентов с ОВД, но экспериментальный метод (Б) превосходит традиционный метод (А) по степени улучшения качества жизни (DHI) и функциональной мобильности (TUG). Преимущество экспериментального метода, вероятно, связано с более эффективной стимуляцией центральных механизмов вестибулярной компенсации и мультисенсорной интеграции (зрение, проприоцепция, вестибулярная афферентация). В целом, можно сделать заключение что экспериментальная методика ВР является предпочтительней для пациентов с ОВД, демонстрируя комплексное улучшение качества жизни, мобильности и вестибулярной компенсации.

Общее заключение по результатам ВР у пациентов со стойкой (ОВГ и ДВГ) и острой (ОВД) вестибулярной гипофункцией. ВР продемонстрировала высокую эффективность во всех трех группах, но с разными оптимальными подходами. Инновационные комбинации (вибрация при отолитиаз; VR и стимуляция ЗКП при стойкой ОВГ и ДВГ; ранняя мобильная ВР и стимуляция ЗКП при ОВД) статистически значимо превосходит стандартные методы, за счет сенсорного перераспределения (группы ОВГ и ДВН) или ускоренной и более полной функциональной компенсации (группа ОВД). Ключевыми факторами успешной реабилитации являются 1) воздействие на центральные компенсаторные механизмы и 2) раннее начало ВР.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вопросы вестибулярной реабилитации пациентов с остро возникшей односторонней периферической вестибулярной гипофункцией и хронической односторонней периферической вестибулярной недостаточностью, которые традиционно находятся в сфере ведения оториноларингологии, сохраняют высокую актуальность ввиду пока ещё недостаточной эффективности [439, 459, 550]. Анализ научной литературы позволил определить ряд дискуссионных аспектов, касающихся биофизических и молекулярных механизмов передачи информации в рецепторных клетках макулы и крист вестибулярного лабиринта [196, 198], степени функциональной взаимозависимости или, напротив, независимости кохлеарного и вестибулярного отделов внутреннего уха в условиях патологии [244, 353, 371, 441, 329].

Большое внимание в настоящее время уделяется эволюционным аспектам взаимодействия слуховой и вестибулярной сенсорных систем [143, 180, 371], не только на рецепторном, но и на проводниковом и центральном (корковом) уровнях, где осуществляется интеграция афферентных сигналов [180, 186, 244, 276, 417, 441, 329, 543]. Такой подход позволяет перейти от представления о содружественном поражении всего лабиринта к возможности поражения его отдельных частей. В научной литературе постоянно расширяется объем данных, детализирующих механизмы мультиуровневого взаимодействия вестибулярной и других сенсорных систем в норме и при патологии, а также их совместное влияние на функции равновесия и формирование постурального контроля [24, 175, 26, 393, 345, 375, 273].

Современные диагностические подходы, от базового отоневрологического осмотра до высокотехнологичных инструментальных методов оценки вестибулярной функции и функции равновесия в целом, показал наличие спорных моментов в интерпретации результатов [93, 70, 329; 418, 308; 159]. В обзоре литературы подробно рассмотрено как данные традиционного осмотра (например, результаты теста Хальмаги — Кертойза) определяют показания к применению более сложных исследований, таких как битермальный калорический тест (БКТ) или видео-импульсный тест [532]. Освещены спорные моменты выполнения БКТ

и других диагностических тестов и интерпретации полученных результатов [367, 418, 329, 308]. Анализ литературы, посвященной представленным на сегодняшний день методикам реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией (ПВД), показал, что полное восстановление особенно динамической составляющей вестибулярной функции далеко не всегда происходит в полном объеме, даже если причинное заболевание не прогрессирует [462, 265].

В настоящей работе была проведена оценка перспективности применения относительно новых неинвазивных методик вестибулярной стимуляции, еще не включенных в стандартные клинические протоколы ВР, таких как шумовая гальваническая стимуляция и низкочастотная вибростимуляция [562, 405; 484]. Освещены вопросы влияния не инвазивных методов вестибулярной стимуляции на показатели статического и динамического баланса у здоровых лиц, глухих людей и у пациентов с различными видами ПВД [515, 579]. Анализ полученных данных выявил неоднородность и неоднозначность результатов, особенно в возрастном аспекте, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований для определения клинической значимости указанных технологий. [248, 251, 385].

Новые данные о взаимодействии различных отделов вестибулярной системы, роли каждого из них для восстановления утраченных функций и современные возможности в техническом обеспечении ВР указывают на противоречивость традиционных методических установок и побуждают к поиску новых современных подходов вестибулярной реабилитации. Недостаточная стандартизация подходов к применению VR технологий в реабилитации пациентов с ПВД и отсутствие ясных рекомендаций диктуют потребность в дальнейшем изучении этого вопроса.

Настоящая диссертационная работа, направленная на решение этой проблемы, базируется на обследовании 1397 пациентов с жалобами на головокружение и нарушение статодинамической функции, наблюдавшихся в медицинских учреждениях г. Петрозаводск в период с сентября 2009 г. по октябрь 2024 г. Амбулаторное лечение проходил 1215 человек (87,0%), стационарное — 139 человек (9,9%). На основании поставленных задач в исследование включены 145 пациентов с доказанной ПВД, нуждающиеся в проведении ВР, которые составили три клинические группы:

- 1) клиническая группа 1 — 56 пациентов со стойкой односторонней вестибулярной гипофункцией (ОВГ);
- 2) клиническая группа 2 — 32 пациента со стойкой двусторонней вестибулярной гипофункцией (ДВГ);

3) клиническая группа 3—93 пациента с острой, впервые возникшей, односторонней периферической вестибулярной дисфункцией (ОВД).

В качестве контрольных были обследованы 3 категории участников: 1) контрольная группа 1 (100 здоровых лиц разного возраста); 2) контрольная группа 2 (19 здоровых лиц с высоким уровнем вокальной подготовки); 3) контрольная группа 3 (36 соматически здоровых лиц разного возраста с глухотой и высокой степенью тугоухости).

Установлено, что ведущей причиной развившейся хронической односторонней вестибулярной гипофункции (ОВГ) являлся ранее перенесенный вестибулярный нейронит (62,5%), второй по частоте причинной патологией являлся кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза (23,21%). Выявлено, что в острый период заболевания у этих пациентов ВР практически не применялась, особенно при сосудистых нарушениях (0 из 13) и лабиринтите (0 из 4). Даже при длительной давности заболевания (19 месяцев и более) ВР в реальной клинической практике назначается редко.

Отмечено, что этиология двусторонней хронической вестибулярной гипофункции (ДВГ) характеризуется гетерогенностью и часто ее точное происхождение установить не удастся. Согласно полученным данным, более чем в половине случаев (53,13%) ДВГ классифицирована как идиопатическая, в 34,38% развилась, вероятно, вследствие применения медикаментозных препаратов, в единичных случаях — после курса антибактериальной терапии, после длительного интубационного наркоза или после курса полихимиотерапии у пациентов с онкологическими заболеваниями. Наши результаты несколько превышают значения, полученные другими авторами [31], где идиопатическая форма ДВГ была зарегистрирована у 1/3 пациентов.

Проведенный анализ показал, что спектр этиопатогенетических факторов, приводящих к развитию острой вестибулярной дисфункции (ОВД), в целом совпадает с таковым у пациентов со стойкой односторонней гипофункцией, однако с заметными различиями в их процентном распределении. Так, в настоящей работе доминирующей причиной ОВД явился вестибулярный нейронит (75,27%), за которым следовал кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза (15,05%). Значительно реже встречался острый лабиринтит и синдром Рамсея-Ханта.

Полученные данные частично расходятся с результатами других работ. Так, в работе Karabulut M. и соавт. [195] в качестве ведущей этиологической причины ОВГ указана болезнь Меньера, в то время как в настоящей работе она не вошла

в число наиболее частых диагнозов. По данным этого автора ОВГ неустановленной этиологии (идиопатическая) была на втором, а инфекционной (вестибулярный нейронит и лабиринтит) на третьем месте по встречаемости [195].

Одним из возможных объяснений столь высокой доли пациентов с исходом вестибулярного нейронита в стойкую гипофункцию в нашем исследовании может являться недостаточный охват или низкая приверженность комплексной ВР. Нередко реабилитационные мероприятия носят формальный характер и ограничиваются предоставлением памяток с упражнениями без должного контроля и коррекции со стороны специалиста, что, по-видимому, снижает эффективность процессов центральной компенсации и способствует хронизации дисфункции. Данное предположение косвенно подтверждается исследованием Kerber К.А. и соавт. [156], где некомпенсированный вестибулярный нейронит также занимал лидирующую позицию в структуре причин ОВГ, опережая болезнь Меньера и сосудистые нарушения. Это указывает на универсальность проблемы недостаточной ВР как ключевого фактора, препятствующего полноценному восстановлению вестибулярной функции после острого вестибулярного нейронита.

В рамках настоящей работы был применен комплексный диагностический подход, интегрирующий как классические [93, 70, 168, 488], так и инновационные методы оценки периферической вестибулярной дисфункции: 1) стандартное отоневрологическое исследование, 2) видеонистагмографию (VNG), 3) БКТ, 4) компьютерную стабилometriю (включая тест сенсорной организации и специальные тесты с акустической стимуляцией 110 Гц, тест с навиванием головного убора), 5) анализ параметров движения в применялся в традиционном TUG-тесте и 6) и модифицированном (длинном) TUG-тесте с регистрацией параметров аксилерометрии, 7) анализ параметров ходьбы методом маркерного видеозахвата в различных сенсорных условиях, 8) опросник DHI.

Некоторые традиционные методики были модифицированы и дополнены для целей настоящей работы. Так, оценка функции статического равновесия методом компьютерной стабилometriи проводилась в четырех сенсорных условиях (с закрыванием глаз и использованием поролонового коврика). Для количественного анализа весового вклада сенсорных систем на основе результатов стабилometriи была применена разработанная нами оригинальная алгоритмическая формула [216]. Алгоритм находится в открытом доступе (ссылка: https://imit.petrstu.ru/stabilometry_calculator). В рамках стабилметрического исследования также оценивалось влияние двух дополнительных факторов на постуральную

устойчивость:1) надевания головного убора (изучалась роль тактильной стимуляции рецепторов кожи головы), 2 стимуляции ЗКП частотой 110 Гц. Исследование влияния стимулов разной модальности (ЗКП, проприоцептивной) на постуральный контроль проводилось у здоровых лиц и пациентов с ДВГ.

Для оценки динамического равновесия применена методика анализа параметров движения с помощью метода маркерного видеозахвата. Тестирование выполнялось в четырех сенсорных условиях при ходьбе по специализированному поролоновому мату. Данная технология была адаптирована для задач вестибулометрии, что позволило провести высокоточный кинематический анализ и объективно количественно оценить ходьбу в сенсорных условиях различной сложности и выявить компенсаторные постуральные стратегии. Для более точной оценки параметров динамического равновесия мы дополнили TUG-тест акселерометрическим анализом [329, 300]. При помощи данной методики оценивалось влияние ЗКП 110 Гц и освещенности на параметры TUG теста у здоровых лиц и пациентов с ДВГ. На основании полученных данных разработаны комплексные программы ВР на основе VR и цифровых мобильных технологий для клинических групп, дана оценка результатам ВР.

Отоневрологическое исследование лиц с глухотой и высокой степенью тугоухости без явных проявлений вестибулярной дисфункции выявило возраст-зависимую динамику нарушений. Так, у лиц молодого/среднего возраста с глухотой/тугоухостью высокой степени регистрировались единичные отоневрологические симптомы (рефиксация взора — 10,3%, коррекционные саккады — 6,7%). У лиц пожилого/старческого возраста наблюдался статистически значимый рост частоты и тяжести симптомов: рефиксация взора, позиционный нистагм и нарушение ходьбы с закрытыми глазами, которые встречались у >40% пациентов. Появились и новые нарушения (искажение прослеживания, падение в Ромберге на поролоновом коврике, поворот Унтербергера >45°). Это свидетельствует о кумулятивном негативном влиянии глухоты\тугоухости высокой степени и старения на вестибулярную функцию (периферическую и центральную) и связанные с ней статокинетические рефлексy, что значительно повышает риск вестибулярной дисфункции и неустойчивости в старшей возрастной группе и не противоречит мнению других авторов [131, 330, 139, 360].

Здоровым участникам исследования (n=100) выполнен БКТ для определения диапазона нормативных значений у лиц разного возраста. Необходимость данного исследования была обусловлена тем, что абсолютные значения скорости медленной

фазы (СМФ) нистагма в БКТ вариабельны и зависят от методологических особенностей проведения теста (тип стимула, аппаратура, алгоритм анализа нистагма, условия лаборатории).

О влиянии методики выполнения БКТ на результаты ранее писали многие авторы [157, 342, 499, 284, 213]. Полученные в нашей лаборатории данные продемонстрировали статистически значимое ($p < 0,01$) возрастное снижение всех параметров: пиковая СМФ нистагма уменьшалась при переходе от группы лиц молодых к лицам старческого возраста. Наибольшее снижение отмечено для правого холодного стимула (R 30°C) — на 43% (с 8,9 до 5,1°/с), для левого теплого (L 44°C) — на 36% (с 14,3 до 9,1°/с). Суммарные показатели (R 30+44°C, L 30+44°C) снижались на 38-37%. Референтные диапазоны СМФ сужались с возрастом, что, вероятно, отражает уменьшение функционального резерва. Такой результат свидетельствуют о возраст-зависимом снижении реактивности вестибулярных лабиринтов, что не противоречит данным, полученным другими авторами [284, 225, 504, 467].

Результаты БКТ у лиц с глухотой и высокой степенью тугоухости показали широкие референтные диапазоны СМФ посткалорического нистагма и отсутствие его значимой возрастной динамики. Полученные данные косвенно свидетельствуют о гетерогенности вестибулярной реактивности, ввиду того что основным фактором, определяющим показатели СМФ у данной категории лиц выступает уровень индивидуальной вестибулярной активности лабиринта. На вариабельность значений СМФ нистагма в БКТ и относительную сопоставимость с данными остаточного слуха у лиц с глухотой и высокой степенью потери слуха ранее указывали и другие авторы [250].

Исследование функции равновесия методом компьютерной стабилотрии у здоровых лиц продемонстрировало прогрессирующее снижение постурального баланса в возрасте более 60 лет, что проявляется в значительном увеличении длины траектории ОЦД во всех сенсорных условиях. Однако, согласно результатам настоящей работы, относительный весовой вклад сенсорных систем в постуральный контроль с возрастом изменяется мало, хотя имелась незначимая тенденция к снижению зрительного вклада и увеличению проприоцептивного у пожилых лиц. У лиц старческого возраста компенсаторные возможности проприоцептивной системы снижаются, что в сочетании с общим снижением устойчивости повышает риск спонтанных падений. На основании этих результатов был сделан вывод, что возрастное ухудшение баланса у здоровых лиц обусловлено не изменением

«весового вклада» сенсорных входов, а снижением эффективности обработки сенсорной информации. Этот результат согласуется с современными представлениями о роли сенсорных систем в функциях, связанных с поддержанием вертикального положения и равновесия. В частности, известно, что проприоцептивная система имеет наибольший вклад в равновесие во всех возрастах, однако у лиц пожилого и старческого возраста зрение начинает играть большую роль, что согласуется с мнением других авторов [426, 286].

Помимо фактора возраста, значимое влияние на качество постурального контроля может оказывать и специализированный двигательный опыт (в частности, особый паттерн дыхания). Так, анализ параметров постурального контроля у молодых лиц, профессионально занимающихся вокалом, в сравнении с контрольной группой сверстников, не имеющих профессионального музыкального и вокального опыта, выявил влияние специализированного вокального и музыкального тренинга на функцию равновесия. В состояниях с открытыми и закрытыми глазами на твердой поверхности у вокалистов отмечалось статистически значимое снижение площади доверительного эллипса ОЦД по сравнению с их сверстниками, не занимающимися вокалом. При сравнении данных нашего исследования с имеющимися литературными данными выявлены интересные соответствия и расхождения. Так, Nusseck M. и соавт. [410] обнаружил у музыкантов специфические паттерны осанки, сформированные под влиянием игровой позы на асимметричных музыкальных инструментах. В исследовании Peultier-Celli I. и соавт. [425] лирические певцы демонстрировали лучший постуральный контроль в специальных условиях, связанных с вокализацией, хотя в базовых тестах различий с контрольной группой не выявлено. С другой стороны, согласно работе Greene A. W. и соавт. [129] музыканты показали некоторые отличия в вестибулярных тестах, но не в постуральном контроле.

Полученные нами результаты позволяют предположить, что профессиональная вокальная подготовка, требующая развития специфических навыков контроля дыхания, мышечного тонуса и координации, а возможно и тренировки слухового аппарата, может способствовать оптимизации постурального контроля и создавать функциональный резерв для поддержания равновесия в сложных условиях даже в молодом возрасте.

Примечательным представляется тот факт, что в группе молодых лиц с глухотой и высокой степенью тугоухости методом стабилотрии были

зафиксированы более высокие показатели постуральной стабильности по параметру длины траектории ОЦД по сравнению со здоровыми лицами с нормальной функцией слуха соответствующей возрастной группы в самых простых сенсорных условиях (с открытыми глазами на твердой поверхности). Однако выявленное преимущество полностью нивелировалось в сложных сенсорных условиях (при закрытии глаз или на неустойчивой поверхности), а также с увеличением возраста. Данное явление может быть объяснено возрастным снижением резервов центральной компенсации, которое на фоне исходного дефицита сенсорной афферентации (слуховой и, часто, вестибулярной) приводит к более выраженному нарушению постурального контроля. В противоположность этим данным, Zarei H. и соавт. [153] в своем мета-анализе, выявил более значительное нарушение постуральной функции у лиц с нарушениями слуха в сравнении со здоровой популяцией (без разделения по возрастным группам). Вместе с тем, эти авторы подтверждают, что в старших возрастных группах у пациентов с глухотой/тугоухостью нарушения равновесия имеют более выраженный характер. Сравнение вклада сенсорных систем здоровых и лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени подтвердило, что ключевыми особенностями постуральной стратегии у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени являются: 1) гиперкомпенсация проприоцепции (увеличение W_{pro} на 8-21% во всех возрастах); 2) снижение вестибулярного вклада (снижение W_{vest} на 17-46%, причем максимально в группе пациентов пожилого возраста — на 46,2%). Полученные данные о высокой зависимости лиц с глухотой/высокой степенью тугоухости от проприоцептивной афферентации полностью согласуются с выводами работы Zarei H. и соавт. [501]. Carpenter M. G. и соавт. в критическом обзоре, посвященном взаимосвязи потери слуха и нарушения равновесия пришел к выводу, что имеющиеся на сегодняшний день данные неоднозначны и необходимо дальнейшее исследование данной проблемы [184].

Исследование ходьбы у здоровых лиц с использованием технологии маркерного видеозахвата движения показало, что усложнение сенсорных условий (закрывание глаз, податливая поверхность) приводит к более осторожной ходьбе. Так, при ходьбе по поролоновой поверхности с закрытыми глазами у здоровых лиц с нормальной функцией слуха наблюдалась тенденция к укорочению длины шага, хотя и статистически незначимая. В доступной литературе мы не нашли публикаций, посвященных изучению ходьбы у здоровых лиц по податливой поверхности. Однако полученные нами данные не противоречат работе Hirjaková Z. и соавт. [437], указывающей на возрастающую роль зрительного контроля в поддержании

динамического равновесия при старении. Более детальный анализ параметров ходьбы с применением акселерометрии в модифицированном TUG-тесте показал, что снижение уровня освещенности достоверно ухудшает параметры мобильности у молодых здоровых лиц.

Анализ длины шага у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени показал существенное отличие от длины шага здоровых лиц с нормальной функцией слуха. Во всех сенсорных условиях (ОТ, ЗТ, ОП, ЗП) у лиц с глухотой/тугоухостью высокой степени длина шага была значительно короче, чем у здоровых лиц с нормальной функцией слуха ($p < 0,05$). Вероятно наличие значительного снижения слуха коррелирует с уменьшением ДШ, что можно объяснить адаптивной стратегией осторожности для повышения стабильности при ходьбе. Полученные результаты не противоречат данным Zarei H. и соавт. [153], согласно которым люди с тугоухостью высокой степени имели достоверно более медленную скорость походки, чем здоровые лица.

Сравнительная оценка результатов обследования контрольных групп выявила достоверную корреляцию между глухотой/высокой степенью тугоухости и развитием возраст-ассоциированного ухудшения постурального контроля. Данный феномен, вероятнее всего, патогенетически обусловлен кумулятивным воздействием утраты/значительного снижения функции слуха и инволюционных возрастных процессов, что подтверждается: 1) прогрессивным нарастанием субъективной симптоматики (шкала DHI), объективных нарушений (отоневрологический статус, параметры компьютерной стабилотрии); 2) гетерогенностью вестибулярной реактивности при калорическом тестировании; 3) дисрегуляцией сенсорной интеграции с угнетением вестибулярного компонента системы поддержания равновесия контроля и формированием компенсаторных, но функционально несостоятельных паттернов ходьбы.

Важно отметить, что возрастная подгруппа лиц старше 60 лет с глухотой/тугоухостью высокой степени представляет группу максимального риска развития тяжелой вестибулярной недостаточности и постуральной дестабилизации. Патогенетические механизмы и потенциал компенсации у лиц старшей возрастной группы находят неожиданную, но весьма показательную параллель в физиологии космических полетов. Состояние микрогравитации, характеризующееся устранением гравитационной составляющей вестибулярной афферентации, является подходящей моделью вестибулярной гипофункции. В данном контексте крайне показателен клинический пример успешной постуральной реадаптации

у 77-летнего астронавта после возвращения на Землю из краткосрочного орбитального полета, который был представлен Paloski W. N. и соавт. [435]. Несмотря на выраженные начальные нарушения баланса в день приземления, сопоставимые с таковыми у более молодых коллег, пожилой астронавт продемонстрировал необычно большую скорость и полноту восстановления постурального контроля. Данное наблюдение свидетельствует о том, что инволюционные изменения не являются фатальным препятствием для сенсомоторной адаптации даже в условиях глубокой сенсорной дезинтеграции. Этот факт имеет прямое практическое значение для рассматриваемой группы пациентов. Он указывает на критическую важность целенаправленной и регулярной ВР как основного инструмента стимуляции нейропластичности и формирования эффективных компенсаторных стратегий. Подобно тому, как астронавты проходят строгий протокол физической подготовки до и после полета, для пожилых пациентов с угнетением слуховой/вестибулярной функции активное и постоянное выполнение вестибулярных упражнений может стать ключевым фактором, нивелирующим влияние возрастного снижения компенсаторных резервов и предотвращающим тяжелую постуральную неустойчивость.

Установлено, что надевание головного убора (весом 200 г), плотно обхватывающего голову, уменьшило длину траектории ОЦД при компьютерной стабилOMETрии только в сложных сенсорных условиях (при закрывании глаз и/или стоя на податливой основе). Этот эффект можно объяснить усилением эгоцентрической системы координат при помощи стимуляции тактильных рецепторов кожи головы шапкой. Это могло усилить т.н. «продольную» ось тела («проприоцептивную вертикаль») [310, 358].

В этой связи вызывает интерес представленная Berning M. и соавт. [449] интерактивная носимая система ProximityHat, в которой используется пневматическое давление на голову (в форме шапки) для передачи пространственной информации об окружающих объектах в режиме реального времени, с завязанными глазами. Результаты показали, что пользователи ProximityHat могут использовать непрерывные значения давления в шляпе для навигации по коридорам и для поиска дверей.

Несмотря на разный контекст этих двух исследований с шапкой, они независимо друг от друга подтверждают высокий потенциал кожи головы как интерфейса для тактильной стимуляции. Это открывает путь для применения простого и доступного решения (плотно обхватывающий голову головной убор)

в клинической практике ВР. В то время как ProximityNat представляет собой более сложное, но и более мощное решение для навигации. Полученные нами данные о «эффекте головного убора» подтверждают роль стимуляции проприорецепторов кожи головы в поддержание постурального баланса и согласуется с работами, демонстрирующими влияние соматосенсорной афферентации, с шеи/ головы на постуральный контроль [438].

В нашей работе продемонстрировано, что стимуляция ЗКП частотой 110 Гц приводит к статистически значимому улучшению постурального контроля у здоровых лиц, а именно к уменьшению длины траектории ОЦД, не меняя существенно площадь доверительного эллипса ОЦД. Этот эффект вероятно связан с уменьшением корректирующих движений для поддержания позы при неизменной общей амплитуде колебаний тела и не противоречит данным мета-анализа Minino R. и соавт. [510]. Интересным моментом в нашем исследовании является то, что эффект стимуляции ЗКП (110 Гц) у здоровых лиц показал специфичность к сложности условий (влияние звука проявляется только при ухудшении сенсорной афферентации).

У молодых здоровых лиц влияния стимуляции ЗКП частотой 110 Гц на параметры походки в TUG-тесте в условиях как при нормальной, так и слабой освещенности на твердой поверхности не показал статистически значимого влияния, несмотря на отдельные тенденции к улучшению некоторых показателей стабильности, тогда как Li W. и соавт. [359], изучая влияние битемпоральной вибрации на параметры ходьбы по наклонной плоскости с различными углами у здоровых лиц отметил, что вибростимуляция изменяет параметры ходьбы, увеличивая длину шага. Это различие может быть объяснено различием физической природы стимуляции (звук и вибрация).

Результаты влияния ЗКП и тактильной стимуляции кожи головы позволяют предположить, что стимуляция различной модальности (проприорецепторов кожи головы, стимуляция звуком) могут оптимизировать сенсорную интеграцию или предоставлять дополнительную неспецифическую афферентацию, облегчающую поддержание баланса при недостатке зрительной и/или проприоцептивной информации. Это позволяет считать, что примененные способы стимуляции (ЗКП и тактильная стимуляция кожи головы) представляют собой способ сенсорного протезирования в условиях гипофункции вестибулярной системы.

Результаты отоневрологического обследования лиц со стойкой ОВГ продемонстрировали высокую частоту корригирующих саккад в тесте Halmagyi-

Curthoys, что подтверждает их роль как ключевого диагностического критерия периферической вестибулярной гипofункции во всех возрастных группах. Многочисленные исследования [311; 522, 563, 420, 451; 240] подтверждают, что тест Halmagyi-Curthoys является высокочувствительным объективным маркером односторонней периферической вестибулярной гипofункции. Положительные данные в тесте «встряхивания головы» (Head-Shaking test), даже в отсутствие спонтанного нистагама подтвердили наличие вестибулярной асимметрии. Отсутствие спонтанного нистагама в сторону пораженного лабиринта, появление дизметрических саккад, выраженных нарушений походки и баланса даже в простых условиях, и тенденция к большей неустойчивости в сложных сенсорных условиях у пожилых лиц вероятно свидетельствовали о возраст-зависимом истощении компенсаторных резервов.

Результаты проведенного отоневрологического обследования демонстрируют, что у пациентов пожилого возраста с ОВГ в отличие от более молодых людей, на первый план выходят не только последствия ПВД, но и возраст-зависимые проявления центральной вестибулярной дисфункции и несостоятельности механизмов центральной компенсации: дизметрические саккады, выраженные нарушениями походки и баланса даже в простых сенсорных условиях, неустойчивость в сложных сенсорных условиях.

Признаки отолитиаза (ДППГ) верифицированы у 18 пациентов с ОВГ (32,14%). Данный показатель статистически значимо превышает частоту вторичного отолитиаза (21%), зарегистрированного в исследовании Karabulut M. и соавт. [195]. Примечательно, что в 85% случаев патологический процесс у пациентов с ОВГ локализовался в купуле горизонтального полукружного канала (купулолитиаз), что контрастирует с преобладанием каналолитиаза при первичном отолитиазе (ДППГ). Преобладание пациентов с купулолитиазом в группе ОВГ патогенетически связано с развитием хронической вестибулярной дисфункции и связанными патоморфологическими изменениями вестибулярного лабиринта [497, 179, 263].

Компьютерная стабилметрия показала, что при усложнении сенсорных условий в группе ОВГ наблюдается ухудшение постуральной стабильности. Максимальное увеличение длины траектории ОЦД зарегистрировано в условиях с закрытыми глазами на поролоновом основании (ЗП): увеличение в 4-6 раз по сравнению с условиями с открытыми глазами на твердом основании (ОТ) ($p < 0,05$). Аналогично, наблюдалось увеличение площади доверительного эллипса ОЦД в 4-8 раз ($p < 0,05$). В группе ОВГ наблюдалось необычно малый вклад вестибулярной

афферентации ($W_{vest}=0,15$), большой вклад проприоцепции ($W_{pro}=0,60$) и относительно небольшой вклад зрения ($W_{vis}=0,25$). Эти данные указывают на небольшую эффективность компенсации вестибулярного дефицита у лиц с ОВГ при помощи проприорецептивного сенсорного входа (на фоне исключения зрения при закрывании глаз), что согласуется с концепцией модуляции вклада разных сенсорных систем (перекалибровка) [428]. Анализ параметров ходьбы методом видеозахвата движения у лиц с ОВГ молодого возраста продемонстрировал достоверное ($p<0,05$) уменьшение длины шага во всех сенсорных условиях по сравнению со здоровыми сверстниками. Этот результат (укорочение шага) можно объяснить включением компенсаторной стратегии (более осторожной ходьбы) при снижении вестибулярной афферентации.

В целом, эти результаты показывают, что при ОВГ развивается сенсорная реорганизация с критической зависимостью от проприоцепции, требующей персонализированной программы ВР.

У пациентов с ДВГ, по сравнению с ОВГ, наблюдался более однородный клинический профиль: 1) в 100% случаев предъявлялись жалобы на шаткость, неустойчивость, усиливающуюся в темноте и на неровных поверхностях; 2) в 96,9% — на невращательное головокружение в виде дурноты, «ватной головы»; 3) в 93,8% — на осцилопсии; 4) в 65% — хроническую усталость, когнитивные нарушения. У 28,1 % пациентов с ДВГ были жалобы на головокружение, связанное с переменой положения головы/туловища. Отоневрологическое обследование лиц с ДВГ выявило следующие универсальные признаки: 1) положительный тест Halmagyi-Curthoys; 2) падение в позе Ромберга на основании из слоя поролона; 3) шаткость при ходьбе с закрытыми глазами.

Прослеживалась и возрастная динамика отоневрологических симптомов. Так, у пациентов старше 60 лет отмечено увеличение частоты спонтанного нистагма (54,5% у старых / 40% молодых лиц), дисдиадохокинеза (13,6% / 0%). Появление симптомов, являющихся отражением поражения ЦНС у лиц старшего возраста данной группы, объясняется накоплением сопутствующей неврологической патологии (например, сосудистой энцефалопатии).

При сравнении групп с ДВГ и ОВГ по отоневрологическим симптомам можно выделить следующие ключевые отличия: 1) head-shaking тест при ДВГ положителен лишь в 36-40% случаев, но в 100% при ОВГ; 2) частота падений в позе Ромберга на твердой поверхности — 80-90,9 % при ДВГ и 19-20% при ОВГ; 3) доминирование купулолитиаза ГПК при вторичном отолитиазе 55,5% при ДВГ и 22,3 % при ОВГ.

Преобладание фиксированных форм отолитиаза у лиц с хронической вестибулярной гипофункцией можно объяснить метаболическими и биохимическими изменениями эндолимфы, способствующим адгезии отокониев к ампулярной куполе [22, 144, 399, 460, 217, 201, 203, 299].

Анализ параметров компьютерной стабилотрии у лиц с ДВГ выявил выраженное нарушение постурального контроля при закрывании глаз, что проявлялось статистически значимым ($p < 0,05$) увеличением длины траектории и площади доверительного эллипса ОЦД по сравнению с состоянием с открытыми глазами на твердой поверхности. Анализ вклада сенсорных систем на основе компьютерной стабилотрии у пациентов с ДВГ подтвердил модель Horak F. V. и соавт. [323], согласно которой проприоцепция становится «системой-костылем». Высокий вклад проприоцептивной афферентации ($W_{про}=0,58$) отражает потерю способности быстрого переключения между сенсорными стратегиями [428]. Низкий вклад вестибулярной афферентации ($W_{вест}=0,20$ для площади доверительного эллипса и $0,34$ для длины траектории ОЦД) подтверждает тяжелую вестибулярную недостаточность у пациентов с ДВГ и определяет необходимость стратегии ВР через «перекалибровку» сенсорных систем.

Исследования сенсорной интеграции в условиях микрогравитации (условия космического полета), моделирующие дефицит вестибулярной афферентации, аналогичной состоянию ДВГ демонстрируют ее ключевые адаптивные механизмы. Так, работа Gurfinkel V.S. и соавт. [269] свидетельствует о сохранной функциональной целостности эгоцентрической системы координат, ответственной за внутреннее представление о положении тела в пространстве, несмотря на резкое снижение вклада гравитационно-зависимой вестибулярной афферентации. Исследование Harris L. R. и соавт. [503] выявило, что ограничение зрительной афферентации в условиях космического полета индуцирует нейропластическую перестройку, проявляющуюся снижением зависимости субъективного восприятия положения тела от зрительных стимулов. Этот феномен интерпретируется как адаптивное «перевзвешивание» сенсорных вкладов в пользу сохраненных проприоцептивных сигналов (перекалибровка сенсорных систем).

Обследование пациентов с ОВД выявило наличие четких этиологически ориентированных клинических профилей, что согласуется с данными современных исследований: 1) вращательное головокружение с тошнотой, рвотой (93-100% случаев) и отсутствие кохлеарных симптомов при вестибулярном нейроните подтверждает изолированное повреждение вестибулярного нерва [547, 138, 92]; 2)

сочетание вестибулярного головокружения (86%) и слуховых нарушений (100%) при остром сосудистом кохлеовестибулярном синдроме, что свидетельствует о комбинированном поражении внутреннего уха вследствие ишемии лабиринтной артерии [262, 193, 535].

При отоневрологическом обследовании пациентов с ОВД выявлено доминирование патологических признаков периферической вестибулярной дисфункции: 1) спонтанного нистагма (100%); 2) позитивного теста Фишера-Водака (87%); 3) падение в позе Ромберга (92%), возраст-независимого позиционного нистагма (25-33%). Обращает на себя внимание локализация вторичного отолитиаза (в 100% случаев ипсилатерально ЗПК при вестибулярном нейроните), что не противоречит данным Türk B. и соавт. [165]; и этиологическая гетерогенность (мультиканальные поражения, тогда как при ОВГ поражение только ГПК), что согласуется с данными других авторов [164].

При ОВД выявлено влияние фактора возраста на функциональные нарушения; отмечено — 1) увеличение времени на выполнение задания на 41% у пациентов старше 60 лет во время TUG-теста, $p < 0,01$) и 2) (увеличение дезадаптации до $56,41 \pm 4,23$ баллов, $p < 0,05$ по сравнению с молодыми лицами) по данным DHI-теста. Таким образом, пожилой возраст является предиктором формирования у лиц с ОВД стойкой ОВГ. Также, возраст снижает эффективность ВР, что согласуется с данными Hall C.D. и соавт. [550]. Очевидно, ОВД требует этиологически ориентированной диагностики и возраст-адаптированной реабилитации [374].

В настоящем исследовании показано, что дополнение стандартных репозиционных маневров (Гуфони, реверсный Гуфони, Лемперта) локальной вибрацией (≈ 100 Гц) на ипсилатеральный сосцевидный отросток повышает успешность репозиции отолитов при сложных формах вторичного отолитиаза (купулолитиаз ГПУ, мультиканальное поражение). Методика лечения вторичного отолитиаза (ДППГ), использованная в данном исследовании, позволяет добиться клинического разрешения ДППГ, подтвержденного отсутствием позиционного нистагма и головокружения, за меньшее количество визитов по сравнению со стандартными маневрами без вибрации, уменьшая нагрузку на пациента и систему здравоохранения. Ряд зарубежных исследователей также указывает, что применение вибрации при выполнении репозиционных маневров позволяет быстрее добиться терапевтического эффекта. Однако по данным Macías J.D. и соавт. [560], Kim H. A. и соавт. [262] терапевтическая эффективность вибрации и традиционных репозиционных маневров по непосредственным и краткосрочным результатам не различаются.

Известно, что вестибулярный аппарат чувствителен к низкочастотному звуку [525]. При этом, утрикулус и полукружные каналы стимулируются только звуком костной проводимости [272]. Такая избирательная чувствительность позволяет дать физиологическое обоснование применению низкочастотной вибрации при сложных формах отолитиаза. Предположительно механизм действия вибрации при отолитиазе связан с усилением инерционных сил, действующих на отолитовую мембрану способствуя: 1) отрыву адгезированных отоконий от купулы при купулолитиазе и 2) дальнейшей дислокации свободноплавающих отоконий из просвета пораженных каналов в предверие вестибулярного лабиринта. Этот механизм согласуется с данными о механике миграции отолитового детрита и его адгезии к ампулярной или утрикулярной части купулы [475]. Curthoys I.S. и соавт. [517] в опытах на морских свинках показали, что костная вибрация модулирует вестибулоокулярный рефлекс и усиливает потенциал волосковых клеток отолитового аппарата.

В современной отоневрологической практике вибрационная стимуляция области сосцевидного отростка получила распространение либо в качестве компонента репозиционных маневров при отолитиазе (ДППГ), либо в виде самостоятельного терапевтического метода. Однако в настоящее время отсутствуют регламентированные протоколы, определяющие как параметры вибрационного воздействия (амплитуда, частота, длительность), так и четкие клинические показания к его применению. Отсутствие стандартизации распространяется и на используемое оборудование, что приводит к применению в клинической практике различных устройств — от специализированных физиотерапевтических аппаратов до адаптированных бытовых и косметологических приборов. В рамках настоящего исследования в качестве источника вибрации был использован сертифицированный косметологический массажный аппарат, отобранный на основании анализа его физических параметров (частота, амплитуда, ускорение; см. Приложение 1) и эргономических качеств.

Методика выполнения репозиционных маневров с вспомогательной вибрацией продемонстрировала клиническую эффективность в терапии вторичного ДППГ (купулолитиаза ГПК), ассоциированного со стойкой ОВГ и ДВГ. В данных группах пациентов низкая эффективность стандартных маневров обусловлена процессами ремоделирования вестибулярного лабиринта, метаболическими нарушениями и явлениями адгезии отолитов. В то же время, при каналолитиазе ЗПК использование вибрации не привело к значимым изменениям «немедленной» эффективности

и кратности проведения маневров по сравнению с контрольной группой, где применялась стандартная методика.

Успешная репозиция при отолитиазе является важным этапом перед основным этапом ВР. При правильном применении (контроле интенсивности вибрации, учете противопоказаний) метод демонстрирует хорошую безопасность. Возможные побочные эффекты (преходящее головокружение, тошнота) сопоставимы со стандартными маневрами. Мы считаем, что вибрация с частотой ≈ 100 Гц в сочетании с репозиционными маневрами как метод первого выбора, может быть рекомендована при лечении рефрактерных форм вторичного отолитиаза, особенно купулолитиаза ГПК, мультиканального отолитиаза (ДППГ), рецидивирующего отолитиаза (ДППГ) у пациентов с фоновой вестибулярной гипофункцией.

Можно утверждать, что интеграция вибрации с частотой около 100 Гц в репозиционные маневры является физиологически обоснованным, безопасным и эффективным методом повышения успешности лечения сложных форм вторичного отолитиаза (ДППГ), сокращает сроки реабилитации и улучшает прогноз ВР у пациентов с фоновой вестибулярной гипофункцией.

На сегодняшний день не существует эффективных медикаментозных методов восстановления стойко утраченной вестибулярной функции. Методом с доказанной эффективностью, положительно влияющим на качество жизни и постуральную устойчивость пациентов, остается ВР [550, 245, 505]. В настоящее время активно разрабатываются и внедряются новые методы сенсорного замещения (сенсорного протезирования) – инвазивные: 1) вестибулярные имплантаты [250, 390, 514, 520, 521, 545], 2) биомиметические волосковые клетки [147] и неинвазивные: 1) шумовая гальваническая вестибулярная стимуляция [484], 2) вибрационная стимуляция [255, 561], 3) устройства биологической обратной связи [518]. Как показал анализ специальной литературы, большинство исследований посвящены исследованию влияния гальванической или вибротактильной стимуляции на функцию равновесия у здоровых лиц и пациентов с вестибулярной гипофункцией [249, 570, 188, 579, 484, 402, 366, 210, 561]. Хотя эти методики и демонстрируют хорошую результативность в поддержании постурального баланса [570, 572, 395], в реальной клинической практике они не всегда доступны, так как требуют либо госпитализации или амбулаторного посещения лечебного учреждения пациентом при наличии соответствующего оборудования, либо приобретения коммерчески не всегда доступных специальных устройств.

Влиянию акустической стимуляции на функцию равновесия посвящено немного исследований. Большинство из них изучало влияние акустики в свободном звуковом поле на постуральную устойчивость и параметры ходьбы у здоровых лиц и пациентов с вестибулярной гипофункцией и показало, что звуковое воздействие может выступать в качестве когнитивной нагрузки, что ухудшает постуральный контроль у людей с вестибулярной дисфункцией [339, 453]. Minino R. и соавт. [510] в систематическом обзоре пришел к заключению о положительном влиянии слуховой и вибрационной стимуляции на функцию равновесия у здоровых лиц. Zarei H. и соавт. [501] показал, что слуховая система может быть фактором, определяющим статический постуральный контроль, наряду с другими сенсорными системами. Lubetzky A.V. и соавт. [294, 453] показали, что добавление контекстно-точечных стационарных звуковых стимулов (шум метро) ведет к уменьшению колебаний тела в статичной визуальной среде и усилению в динамической визуальной среде у лиц с ОВГ, но не изменяет колебания тела у здоровых лиц. Таким образом, звуковые сигналы могут быть релевантной основой терапевтического подхода для улучшения статического постурального контроля.

Использование стимуляции при помощи ЗКП частотой 110 Гц как повседневного инструмента поддержки и компонента ВР, особенно при ДВГ, является новым подходом в ВР. Важным практическим моментом выступает то, что результативность стимуляции ЗКП мало зависит от уровня освещенности (согласно данным настоящего исследования), что предоставляет неоспоримое преимущество в реальной обстановке.

Существенным практическим аспектом метода ЗКП является то, что в нем используется коммерчески доступное оборудование (наушники костной проводимости) и свободно распространяемое программное обеспечение (тон-генератор), что повышает её доступность пациентам и потенциал для широкого внедрения в клиническую и амбулаторную практику.

Полученные в настоящем исследовании данные свидетельствуют о положительном влиянии бинауральной акустической стимуляции ЗКП частотой 110 Гц и интенсивностью 40-60 дБ на параметры постурального контроля и локомоции у пациентов с ДВГ. Так, у лиц с ДВГ при стимуляции ЗКП было зафиксировано статистически значимое улучшение параметров компьютерной стабилотрии наиболее выраженное в сложных сенсорных условиях. Также, во время TUG-теста по данным акселерометрии наблюдалось сокращение общего времени выполнения теста и снижение количества необычно длинных и коротких

шагов. Полученные результаты согласуются с концепцией «сенсорного протезирования», в рамках которой невестибулярные афферентные сигналы способны модулировать нейрональную активность вестибулярных ядер и, как следствие, оптимизировать функцию равновесия [409; 350; 540, 258, 214]. Таким образом, в настоящем исследовании получены объективные доказательства эффективности методики бинауральной стимуляции ЗКП (110 Гц) в качестве инструмента для улучшения постуральной устойчивости и паттерна ходьбы.

В контексте поиска неинвазивных методов коррекции постурального контроля у пациентов с стойкой вестибулярной гипофункцией и на основе наших данных, полученных при обследовании здоровых лиц, представляет интерес модуляция соматосенсорной афферентации через стимуляцию рецепторов головы при помощи головного убора (шапки весом 200 г), плотно облегающего окружность головы. Установлено, что надевание шапки оказало статистически значимое влияние на стабилметрические параметры у пациентов с ДВГ в наиболее сложных сенсорных условиях стояния. Полученные данные позволяют предположить, что механизм наблюдаемого эффекта заключается в усилении соматосенсорной афферентации (тактильной и проприоцептивной) от кожи волосистой части головы. Для пациентов с ДВГ, лишенных надежного вестибулярного сигнала, эта дополнительная афферентация становится компенсаторным ресурсом для построения эгоцентрической пространственной вертикали, особенно в условиях одновременного дефицита зрительной и проприоцептивной информации (в условиях податливой опоры).

В рамках разработки современных высокотехнологичных методов ВР, направленных на тренировку сенсорного «перевзвешивания» и вестибуло-окулярного контроля, была создана специализированная система виртуальной реальности (VR) на базе платформы Kinect, функционирующая в режиме неполного погружения. Основными терапевтическими задачами этой системы являлось: 1) уменьшение головокружения, 2) улучшение параметров постурального контроля и 3) оптимизация стабилизации взора. Программный алгоритм данной системы был основан на фундаментальных физиологических принципах ВР, направленных на стимуляцию процессов центральной компенсации через механизмы вестибуло-окулярной адаптации, сенсорного замещения и габитуации. Разработанная программа обеспечивает проведение: 1) мультисенсорной интеграции (зрительной, проприоцептивной, вестибулярной афферентации); 2) модификации патологических постуральных стратегий за счет управляемого изменения вклада сенсорных

систем; тренировку вестибуло-окулярного и вестибуло-спинальных рефлексов в условиях динамической нагрузки. Реализация принципа биологической обратной связи (БОС) в интерактивном режиме позволила индивидуализировать программу ВР, отслеживать точность выполнения упражнений в реальном времени и интегрировать дополнительные визуальные и акустические стимулы. В ходе выполнения заданий все пациенты получали бинауральную стимуляцию ЗКП (110 Гц). Комбинированный протокол ВР также включал модуль домашних занятий по предоставленным рекомендациям и пролонгированную стимуляцию ЗКП (110 Гц) в сочетании с ходьбой.

У пациентов с ОБГ после курса ВР на основе комбинирования VR и ЗКП отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) улучшение постурального контроля: снижение длины траектории во всех условиях тестирования и уменьшение площади доверительного эллипса ОЦД во всех условиях стояния, кроме условий «с открытыми глазами на твердой поверхности» (самые несложные условия). Анализ сенсорного вклада показал статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение использования вестибулярной афферентации (W_{vest}) с 0,15 до 0,24 и проприоцепции (W_{pro}) с $0,41 \pm 0,19$ до $0,49 \pm 0,14$, а также снижение зависимости от зрительной системы, что свидетельствует об эффективной адаптации к вестибулярной гипофункции.

У пациентов с ДВГ также отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) улучшение постуральной устойчивости по параметрам длины траектории ОЦД во всех условиях стояния, однако механизм компенсации отличался от группы ОБГ. Вместо увеличения вклада вестибулярного входа произошла перекалибровка сенсорных систем со статистически значимым ($p < 0,05$) усилением роли W_{pro} по длине траектории ОЦД с 0,36 до 0,43 (-19%) и тенденцией к снижению зависимости от зрения (W_{vis}) с 0,31 до 0,24), что указывает на различные стратегии адаптации при ОБГ и ДВГ после проведения реабилитации.

Таким образом, ВР на основе VR и ЗКП обеспечивает сопоставимое относительное улучшение функции равновесия у пациентов с ОБГ и ДВГ, но за счет разных механизмов: 1) восстановления вестибулярной функции при ОБГ; 2) формирование проприоцептивно-ориентированной компенсации при ДВГ. Полученные нами данные соотносятся с гипотезой о ведущей роли процессов адаптивной нейропластичности и сенсорного замещения при необратимой вестибулярной потере [540].

На основании полученных результатов можно предположить, что акустическая стимуляция ЗКП в сочетании с ВР на основе технологий VR с неполным погружением наиболее эффективна для восстановления вестибулярной афферентации при сохранном периферическом резерве. При тяжелой ДВГ реактивация вестибулярной афферентации возникает только во время воздействия акустического стимула и этот эффект ограничен временем самой стимуляции.

Данные многочисленных обзоров [566; 179; 254; 212] и оригинальных исследований [251, 252, 178] подтверждают эффективность высокотехнологичных методов ВР, включая применение виртуальной реальности (VR), в улучшении функционального состояния вестибулярной функции, что объективно отражается в снижении баллов по опроснику Dizziness Handicap Inventory (DHI). Так, Hazzaa N. M. и соавт. [254], продемонстрировал, что программы реабилитации на основе VR достоверно улучшают как субъективные показатели (DHI, шкала симптомов головокружения, визуальная аналоговая шкала), так и объективные параметры постурального контроля по данным стабилometрии. Систематический обзор Xie M. и соавт. [567], основанный на анализе 382 публикаций, также подтверждает преимущества VR-реабилитации. Однако авторы подчеркивают, что доказательная база пока еще ограничена методологической гетерогенностью исследований, вариативностью дизайна и критериев оценки клинических результатов, что указывает на необходимость более стандартизированных и масштабных исследований. В обзоре Liu X. и соавт. [212] проведено прямое сравнение иммерсивной и неиммерсивной VR. Результаты показали статистически значимое превосходство иммерсивных технологий в уменьшении симптомов головокружения. Дальнейший анализ выявил оптимальные параметры вмешательства: продолжительность программы ≤ 7 недель, ≥ 5 раз в неделю, длительность одного сеанса < 30 минут.

Таким образом, результаты нашего исследования, подкреплённые данными литературных источников, демонстрируют, что применение технологий VR с оптимизированными протоколами представляет собой перспективное и клинически обоснованное направление современной ВР, демонстрирующее стойкий положительный эффект в восстановлении пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией.

Крайне важно начинать ВР в первые сутки, когда пациенты с ОВД еще находятся на постельном режиме и не способны самостоятельно стоять. Именно поэтому протокол ВР для такой категории больных должен базироваться на

цифровых технологиях (например, мобильных приложениях), направленных на тренировку глазодвигательных функций в сочетании с вестибулярной стимуляцией ЗКП, которая уже доказала свою эффективность. Для этого было разработано и внедрено в клиническую практику приложение для операционной системы Android, которое было апробировано в рамках ВР пациентов с ОВД. В основу программы была заложена тренировка глазодвигательных реакций, направленная на восстановление вестибуло-окулярного рефлекса (ВОР) и/или формирование компенсаторных стратегий фиксации взора при его неполном восстановлении.

Физиологической основой методики является индукция ретинального феномена, а именно патологического смещения изображения на сетчатке, возникающего при движении головы и нарушении стабилизации взора. Систематическое выполнение упражнений в рамках разработанного нами приложения моделирует аналогичные смещения изображения, создавая условия для пластической перестройки центральных отделов вестибулярной системы и стимуляции и восстановления ВОР. Тренировочный режим имел прогрессирующий характер: начальная продолжительность сеанса составляла от 30-60 секунд два раза в день, с ежедневным приростом длительности сеанса до двух минут для постепенного повышения функциональной нагрузки. Начиная с 3-4-7-х суток от начала заболевания, в стандартный протокол ВР реабилитации для пациентов с ОВД был интегрирован модуль бинауральной стимуляции ЗКП (частота 110 Гц, интенсивность 40-60 дБ), с учетом данных об эффективности этой методики при ВР у пациентов со стойкой вестибулярной гипofункцией.

После вертикализации пациентов с ОВД (т.е. появления способности стоять), стимуляция ЗКП применялась во время дозированной ходьбы с элементами навигации и разворотах. Тренировочный режим ходьбы с стимуляцией ЗКП также имел прогрессирующий характер: начальная продолжительность сеанса составляла 5-15 минут с частотой два раза в день, с ежедневным приростом длительности на 10 минут для постепенного повышения функциональной нагрузки. Физиологически эффективность данной методики, вероятнее всего, основана на известном феномене «стахостического шумового резонанса», при котором субсенсорный акустический сигнал потенцирует активность сохранных волосковых клеток, что повышало и возбудимость нервных центров [207]. Это способствовало активации остаточной вестибулярной афферентации и запуску процессов нейропластичности, направленные на восстановление и оптимизацию вестибуло-соматических и вестибуло-проприоцептивных взаимодействий.

С целью сравнительной оценки эффективности различных методик ВР в предотвращении хронизации ОВГ пациенты с острой односторонней вестибулярной дисфункцией были разделены на две подгруппы. Подгруппа А (контрольная) — это пациенты, проходившие ВР по традиционной методике в 2017–2021 гг., которая включала разъяснительную беседу и печатные памятки для самостоятельных занятий. Подгруппа Б включала пациентов, проходивших ВР в 2022–2024 гг. по методике с использованием специализированного мобильного приложения в сочетании с акустической стимуляцией ЗКП (110 Гц), после вертикализации.

Подгруппы А и Б были сопоставимы по полу, возрасту (средний возраст $49,5 \pm 8,8$ и $47,2 \pm 9,9$ лет), отоневрологическому статусу, субъективной оценке по шкале DHI, данным TUG-теста и этиологической структуре. Пациенты обеих подгрупп получали стандартизированную медикаментозную терапию согласно протоколам ведения острой вестибулярной дисфункции, что обеспечивает корректность последующего сравнительного анализа эффективности реабилитационных вмешательств. После ВР обе технологии привели к статистически значимому улучшению состояния, однако ВР на основе цифровой технологии показало лучший результат, т.к. число баллов по DHI и время TUG-теста были статистически значимо меньше по сравнению с традиционной технологией ВР. Результаты исследования позволили сделать вывод об эффективности протокола ВР, интегрирующего цифровую технологию, раннее начало ВР в сочетании со стимуляцией ЗКП частотой 110 Гц. Успех экспериментального протокола ВР подтверждает гипотезу о том, что интенсивная мультисенсорная афферентация (зрение, проприоцепция, усиленная ЗКП) в остром периоде ускоряет перестройку центральных связей. Этим можно объяснить лучшие показатели (DHI, TUG теста) у группы, проходившей ВР по экспериментальной методике.

Современные клинические рекомендации подчеркивают критическую важность ранней активации пациентов, включая раннюю вертикализацию, для улучшения функциональных исходов при острой вестибулярной гиподисфункции и снижения риска хронизации процесса [548, 266, 549]. Разработанный нами протокол вестибулярной реабилитации для пациентов с ОВД является практической реализацией данных теоретических принципов.

Эффективность подхода, сочетающего ВР с фармакотерапией, подтверждается в обзоре Chen J. и соавт. [259], в котором показано, что комбинация ВР с препаратами для купирования головокружения приводит к достоверно большему снижению

баллов по опроснику DHI и шкале вестибулярных нарушений в повседневной жизни (VADL), а также к повышению общего уровня функциональности и баллов по Бергской шкале оценки равновесия (BBS) по сравнению с изолированной медикаментозной терапией. Кроме того, комбинирование ВР и терапии способствовало более выраженной нормализации параметров вестибулярных вызванных миогенных потенциалов у пациентов с вестибулярным нейронитом. Результаты обзора Huang Н.Н. и соавт. [267] демонстрируют устойчивый положительный эффект комбинации ВР с терапией системными глюкокортикостероидами у пациентов с вестибулярным нейронитом. Было показано, что у пациентов, получавших такое комбинированное лечение, отмечалось значимое улучшение показателей DHI, а также нормализация вестибулярных вызванных миогенных потенциалов на 1, 3 и 12 месяцах наблюдения по сравнению с группой, получавшей только стероидную терапию.

В целом, на основании данных нашего исследования, подтвержденного анализом литературных источников, можно сделать заключение, что комбинированный подход, интегрирующий раннюю активацию, целенаправленную комбинированную ВР и рациональную фармакотерапию, представляет собой наиболее эффективную стратегию ведения пациентов с острой вестибулярной дисфункцией. Представленные в настоящей работе результаты не только демонстрируют эффективность инновационного подхода к ВР, интегрирующего мультимодальную сенсорную стимуляцию (стимуляция ЗКП, проприоцептивная) с современными технологиями (VR, цифровые технологии), но и находят подтверждение и физиологическое обоснование в литературных источниках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование было направлено на разработку, клиническую апробацию и физиологическое обоснование вестибулярной реабилитации на основе концепций сенсорного протезирования при помощи звука костной проводимости, виртуальной реальности и цифровых мобильных технологий. В результате исследования были созданы и валидированы специфические для различных групп с периферической вестибулярной дисфункцией протоколы, адаптированные к типу (ОВГ или ДВГ), стадии (острая или стойкая) вестибулярной дисфункции. Показана высокая эффективность протоколов вестибулярной реабилитации, интегрирующих 1) стимуляцию звуком костной проводимости частотой 110 Гц, 2) неиммерсионную виртуальную реальность (на платформе технологии Kinect); и 3) цифровые мобильные технологии. Применение данных протоколов привело к статистически значимому улучшению постурального контроля у обследованных пациентов. В группе лиц со стойкой вестибулярной гиподисфункцией это было инструментально подтверждено улучшением показателей компьютерной стабилотрии (длины траектории и площади доверительного эллипса ОЦД) на 30–40%, а в группе пациентов с острой односторонней вестибулярной дисфункцией — позитивной динамикой теста функциональной мобильности (TUG) и значимым снижением количества баллов по шкале DHI

Физиологическими механизмами обнаруженной эффективности названных технологий могут служить: 1) феномен вибрационного резонанса (как частного случая стохастического резонанса) между звуком костной проводимости частотой 110 Гц и собственной частотой вестибулярных рецепторов, 2) усиление процессов адаптации, габитуации, сенсорного замещения и мультисенсорной интеграции посредством биологической обратной связи, 3) потенцирование «эгоцентрической» вертикали и «продольной» оси тела, а также 4) усиление билатеральной проекции ретикулоспинального тракта на осевую мускулатуру.

Таким образом, работа формирует новую физиологически обоснованную, экономную технологическую платформу для ВР, обеспечивающую персонализированный подход, улучшение постурального контроля и предотвращение хронизации вестибулярной дисфункции.

ВЫВОДЫ

1. У лиц с глухотой и тугоухостью в молодом и пожилом возрасте во всех сенсорных условиях параметры стабилometрии не отличались от здоровых лиц того же возраста, и только в среднем возрасте лиц длина траектории ОЦД увеличивалась ($p < 0,05$) при стоянии в самых сложных условиях (с закрытыми глазами, на мягкой поверхности). Таким образом, стойкая утрата слуха не оказывает значительного влияния на функцию статического равновесия.
2. У лиц с глухотой и тугоухостью в молодом возрасте наблюдалось уменьшение длины шага по сравнению с лицами без глухоты того же возраста. Усложнение сенсорных условий не приводило к изменению длины шага ($p < 0,05$). Укорочение длины шага при глухоте и тугоухости можно объяснить адаптивной стратегией осторожности для повышения стабильности положения тела при ходьбе.
3. Для лиц, профессионально занимающихся вокалом, было характерно уменьшение площади доверительного эллипса ОЦД по сравнению с невокалистами того же возраста ($p < 0,05$), однако длина траектории ОЦД не изменялась ($p > 0,05$).
4. При тактильной стимуляции кожи головы (состояние «в головном уборе») длина траектории ОЦД у здоровых молодых лиц уменьшилась в условиях с открытыми и закрытыми глазами на мягкой поверхности ($p < 0,05$), то есть в сложных условиях стояния.
5. В группе молодых здоровых лиц звук костной проводимости приводил к уменьшению длины траектории ОЦД в сложных сенсорных условиях ($p < 0,05$), причем степень улучшения возрастала по мере усложнения условий. Это свидетельствует об улучшении функции равновесия в вертикальной позе при стимуляции звуком костной проводимости. Звук костной проводимости не повлиял на параметры ходьбы во время TUG-теста в условиях нормальной, ни сниженной освещенности.
6. Звук костной проводимости, подаваемый через наушники, вызывал увеличение времени постактивационного эффекта в дельтовидных мышцах здорового человека на 25% ($p < 0,05$).

7. В группе лиц с ОВГ наблюдалось постепенное ухудшение постуральной стабильности при усложнении условий исполнения теста, причем значения всех параметров ОЦД при ОВГ были выше по сравнению с лицами без ОВГ ($p < 0,05$). Длина шага у лиц с ДВГ не отличалась от группы лиц без ОВГ ни в одном из сенсорных условий ходьбы.
8. При стойкой вестибулярной гипофункции (ОВГ и ДВГ) постуральная устойчивости уменьшалась по мере усложнение сенсорных условий, но различия между параметрами стабилотрии у лиц с ОВГ и ДВГ не наблюдалось несмотря на различный характер вестибулярного угнетения — асимметричного при ОВГ и симметричного при ДВГ. Длина шага при ОВГ была меньше по сравнению со здоровыми лицами во всех сенсорных условиях ($p < 0,001$).
9. При тактильной стимуляции кожи головы (состояние «в головном уборе») длина траектории и площадь доверительного эллипса ОЦД у лиц с ДВГ уменьшилась в условиях с открытыми и закрытыми глазами на мягкой поверхности ($p < 0,05$), то есть в сложных условиях стояния.
10. При воздействии звука костной проводимости частотой 110 Гц при ДВГ происходило статистически значимое уменьшение длины траектории и площади эллипса ОЦД, наиболее выраженное в самых сложных условиях вертикальной позы. Также, при действии звука костной проводимости наблюдалось сокращение общего времени выполнения TUG-теста на 20% ($p < 0,05$) и уменьшение количества необычно коротких и длинных шагов ($p < 0,01$). Таким образом, применение звука костной проводимости приводило к улучшению статического равновесия и уменьшению вариабельности шагов.
11. У пациентов с ОВГ и ДВГ разработанный протокол вестибулярной реабилитации, интегрирующий не иммерсивную виртуальную реальность (Kinect) и звук костной проводимости 110 Гц, приводит к статистически значимому улучшению статического равновесия ($p < 0,05$).
12. Раннее начало применения вестибулярной реабилитации с использованием специализированного мобильного приложения в сочетании со звуком костной проводимости 110 Гц у пациентов с ОВД показало большую эффективность по сравнению с традиционной методикой вестибулярной реабилитации ($p < 0,05$) поскольку после разработанного курса отмечено статистически значимое ($p < 0,05$) уменьшение времени прохождения TUG-теста и клинометрических данных на основе опросника DHI.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Внедрить дифференцированный и специфический к группе подход к ВР в связи с доказанными принципиальными различиями в стратегиях компенсации при ОВГ и ДВГ, а также большим влиянием возраста и стадии заболевания. При ОВД сфокусировать внимание на ранней активации и стимуляции центральной компенсации. В первые дни начинать ВР с использованием мобильных технологий и звука костной проводимости частотой 110 Гц после вертикализации. При ОВГ сделать мишенью терапии коррекцию сенсорного перераспределения. Применять комбинированные протоколы ВР (VR+мультисенсорная стимуляция) для увеличения весового вклада вестибулярной афферентации и оптимизировать использование проприоцептивной афферентации. При ДВГ сделать основной целью развитие компенсаторных механизмов. Применять звука костной проводимости частотой 110 Гц как самостоятельный элемент ВР для поддержания баланса и элемент ВР для тренировки сенсорной интеграции.
2. Использовать протокол пре-реабилитационной вибростимуляции (≈ 100 Гц) при рефрактерных и вторичных формах ДППГ, особенно при купулолитиазе. Методика значительно сокращает количество лечебных сеансов и повышает эффективность репозиционных маневров. Рекомендовать для применения доступное портативное устройство (типа Xiaomi WellSkins), что обеспечивает экономическую эффективность и воспроизводимость метода в любом ЛПУ. Особенно рекомендовать метод пациентам с сочетанной вестибулярной патологией и вторичным отолитиазом.
3. Внедрить в практику комбинированные протоколы ВР с не иммерсионной VR и мультисенсорной стимуляцией в качестве нового стандарта эффективности. Использовать разработанные VR — программы на базе Kinect для дозированной тренировки. Использовать адаптированные беспроводные наушники костной проводимости со специализированным ПО/приложением. Применять как во время сеансов ВР, так и в виде самостоятельных тренировок.

дома. Использовать методику с головным убором для улучшения постуральной устойчивости пациентам с ДВГ.

4. Использовать объективный алгоритм оценки сенсорного вклада и монитора эффективности ВР. Использовать разработанный онлайн-калькулятор весовых коэффициентов (W_{vest} , W_{vis} , W_{prop}) для определения стратегии и индивидуального плана ВР.
5. Обеспечить широкую доступность и преемственность ВР за счет технологий домашнего применения.
6. Рекомендовать пациентам со стойкими нарушениями самостоятельные ежедневные занятия по протоколам акустической (110Гц) и проприоцептивной стимуляции.
7. Для пациентов в острой/подострой фазе назначить «домашнее задание в виде базовых упражнений с контролем через мобильное приложение для обеспечения ранней активации и непрерывности процесса ВР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ПВД — периферическая вестибулярная дисфункция
- ВР — вестибулярная реабилитация
- ВК — волосковая клетка
- БКТ — битермальный калорический тест
- СМФ — скорость медленной фазы
- ЗКП — звук костной проводимости
- ОЦД — общий центр давления
- БОС — биологическая обратная связь
- ВОР — вестибуло-окулярный рефлекс
- VR — виртуальная реальность
- ОВГ — односторонняя стойкая вестибулярная гипофункция
- ОВД — односторонняя острая вестибулярная гипофункция
- ДВГ — двусторонняя стойкая вестибулярная гипофункция
- ДШ — длина шага
- ВН — вестибулярный нейронит
- ОКВС — острый кохлеовестибулярный синдром сосудистого генеза
- ОЛ — острый лабиринтит
- РХ — синдром Рамсея-Ханта (РХ)
- БМ — болезнь Меньера
- ЛПК — латеральный полукружный канал
- ЗПК — задний полукружный канал
- VNG — видеонистагмография
- ЛА — лабиринтная асимметрия
- ДП — дирекционное преобладание
- SpNH — спонтанный однонаправленный горизонтальный нистагм
- HST — тест встряхивания головы
- ВА — вестибулярный анализатор
- КС — компьютерная стабилометрия
- ВАД — вестибулярная адаптация

- ГВС — гальваническая вестибулярная стимуляция
- ГВСш — Шальваническая шумовая вестибулярная стимуляция
- СЗ — сенсорное замещение
- ЦК — центральная компенсация
- ЦНС — центральная нервная система
- ОКС — оптокинетическая стимуляция
- ГВС — гальваническая вестибулярная стимуляция
- шГВС — шумовая гальваническая вестибулярная стимуляция
- НВС — не инвазивная вибрационная стимуляция
- Wvest — весовой вклад вестибулярной системы
- Wprop — весовой вклад проприоцептивной системы
- Wvis — весовой вклад зрительной системы
- ДППГ — доброкачественное пароксизмальное позиционное головокружение
- DHI — The Dizziness Handicap Inventory шкала оценки головокружений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Русскоязычные источники

1. Автономная нервная система и ее дисбаланс в нейрореанимации / К. А. Попугаев, А. Ю. Лубнин, М. В. Забелин, А. С. Самойлов. — DOI 10.18821/0201-7563-2016-61-2-137-142 // Анестезиология и реаниматология. — 2016. — Т. 61, № 2. — С. 137—142.
2. *Антоненко Л. М.* Неврологические аспекты диагностики и реабилитации пациентов с головокружением и неустойчивостью : специальность : 14. 01.11 «Нервные болезни» : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Л. М. Антоненко. — Москва, 2018. — 297 с.
3. *Апаев А. В.* Нистагм: распространённость, классификация, патогенез (обзор литературы) / А. В. Апаев. — DOI <https://doi.org/10.17816/rpoj70982> // Российская педиатрическая офтальмология. — 2021. — Т. 16, № 2. — С. 53—60.
4. *Бабияк В. И.* Базовые функции вестибулярной системы и экстремальные виды спорта / В. И. Бабияк, А. Н. Пащинин, В. Н. Тулкин // Российская оториноларингология. — 2010. — № 3 (46). — С. 17—29.
5. *Бабияк В. И.* Вестибулярная функциональная система / В. И. Бабияк, Ю. К. Янов. — Санкт-Петербург : Гиппократ, 2007. — 432 с.
6. *Бабияк В. И.* Клиническая вестибулология: руководство для врачей / В. И. Бабияк, В. Г. Базаров, А. А. Ланцов. — Санкт-Петербург : Гиппократ, 1996. — 336 с.
7. *Бабияк В. И.* Нейрооториноларингология : руководство для врачей / В. И. Бабияк, В. Р. Гофман, Я. А. Накатис. — Санкт-Петербург : Гиппократ, 2002. — 728 с.
8. *Бабияк В. И.* Оториноларингология : руководство : в 2 т. / В. И. Бабияк, М. И. Говорун, Я. А. Накатис. — Санкт-Петербург : Питер, 2014. — 2 т. — ISBN 978-5-496-00918-8.
9. *Бабияк В. И.* Сосудистые заболевания слухового и вестибулярного анализаторов / В. И. Бабияк, Л. А. Глазников. — Санкт-Петербург : Гиппократ, 2000. — 311 с.

10. *Базаров В. Г.* Вестибулометрия в прогнозе пораженного органа слуха при применении антибиотиков-аминогликозидов / В. Г. Базаров, Н. С. Мищанчук // Журнал ушных, носовых и горловых болезней. — 1978. — № 6. — С. 21—27.
11. *Базаров В. Г.* Клиническая вестибулометрия / В. Г. Базаров. — Киев : Здоров'я, 1988. — 196 с.
12. *Бархатова В. П.* Нейротрансмиттерная организация и функциональное значение мозжечка / В. П. Бархатова // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. — 2010. — Т. 4, № 2. — С. 42—49.
13. Биологическая обратная связь по опорной реакции: методология и терапевтические аспекты / О. В. Кубряк, С. С. Гроховский, Е. В. Исакова, С. В. Котов. — Москва: Маска, 2015. — с.128
14. *Благовещенская Н. С.* Отоневрологические симптомы и синдромы / Н. С. Благовещенская. — Москва: Медицина, 1990. — 432 с.
15. *Брандт Т.* Головокружение : пер. с англ. / Т. Брандт, М. Дитерих, М. Штрупп. — Москва : Практика, 2009. — 200 с.
16. *Бронштейн А.* Головокружение / А. Бронштейн, Т. Лемперт. — Москва : ГЭОТАР-медиа, 2020. — 209 с.
17. *Вавилова А. А.* О некоторых ярких страницах в истории вестибулологии XX века (исторический обзор, дискуссионные вопросы) Часть IV. Нистагм и история его изучения. От визуальной оценки до электро- и видеонистагмографии / А. А. Вавилова — DOI 10.18692/1810-4800-2023-6-102-113 // Российская оториноларингология. — 2023. — Т. 22, № 6 (127). — С. 102—113.
18. *Вавилова А. А.* Об амбулаторной диагностике вестибулярных нарушений / А. А. Вавилова // Российская оториноларингология. — 2006. — Т. 5. — С. 70—74.
19. Ведение пациента с жалобами на головокружение на первичном приеме / А. В. Амелин, С. В. Лиленко, М. В. Замерград [и др.]. — DOI 10.32364/2587-6821-2023-7-10-8 // РМЖ. Медицинское обозрение. — 2023. — Т. 7, № 10. — С. 658—665.
20. *Вельтиев Д. Ю.* Головокружение при расстройствах тревожно-депрессивного спектра / Д. Ю. Вельтищев, О. Ф. Серавина // Психиатрия и психофармакотерапия им. П. Б. Ганнушкина. — 2010. — Т. 15, № 6. — С. 28—32.
21. *Веселаго О. В.* Алгоритм диагностики головокружения / О. В. Веселаго // Нервные болезни. — 2009. — № 3. — С. 37—38.

22. Вестибулярная реабилитация в комплексной терапии вестибулярного головокружения (согласованное мнение экспертов) / Г. Е. Иванова, Н. Л. Кунельская, В. А. Парфенов [и др.]. — DOI 10.14412/2074-2711-2024-1-114-121 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2024. — Т. 16, № 1. — С. 114—121.
23. Вестибулярная реабилитация при периферической вестибулярной гипофункции: междисциплинарный консенсус / Н. Л. Кунельская, Г. Е. Иванова, Е. В. Байбакова [и др.] — DOI 10.17116/otorino20248901152 // Вестник оториноларингологии. — 2024. — Т. 89, № 1. — С. 52— 63.
24. Вестибулярные расстройства : учебное пособие / Т. В. Мироненко, В. В. Борисенко, Г. В. Картунова [и др.]. — Одесса, 2015. — 123 с.
25. Видеонистагмография в диагностике глазодвигательных нарушений / А. И. Беякова-Бодина, Е. В. Бриль, О. С. Зимнякова [и др.] // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. — 2017. — Т. 11, № 4. — С. 52—64.
26. Влияние зрительного контроля на стабилметрические показатели в зависимости от возраста и пола / А. В. Тараканов, С. А. Чеботов, А. А. Тараканов, В. Ю. Скокова. — DOI 10.22328/2413-5747-2019-5-3-32-40 // Морская медицина. — 2019. — Т. 5, № 3. — С. 32—40. — EDN LUILYK.
27. Влияние нарушений слуха и равновесия на когнитивную функцию у лиц пожилого и старческого возраста / В. Е. Кузовков, С. Б. Сугарова, Р. К. Кантемирова [и др.]. — DOI 10.34922/AE.2022.35.1.010 // Успехи геронтологии. — 2022. — Т. 35, № 1. — С. 93—101.
28. Возможности оценки постуральной функции в норме и патологии: фокус на возрастные аспекты / С. Б. Мальцев, Д. С. Медведев, В. О. Полякова [и др.]. — DOI 10.34922/AE.2023.36.6.001 // Успехи геронтологии. — 2023. — Т. 36, № 6. — С. 787—795.
29. Волкова Е. С. Эффективность использования балансировочной платформы BOSU в реабилитации пациентов с вестибулярными нарушениями / Е. С. Волкова // Актуальные вопросы науки и образования: сборник научных трудов I Междунар науч.-практ. конф., Ульяновск, 14 апреля 2022 года. — Ульяновск: Ульянов. гос. пед. ун-т имени И. Н. Ульянова, 2022. — С. 168—172. — EDN QRIQMG.

30. *Гаже П.-М.* Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека : пер. с фр. / П.-М. Гаже, Б. Вебер. — Санкт-Петербург : Изд. дом СПбМАПО, 2008. — 316 с.
31. Гидропс лабиринта и его диагностика / Н. Л. Кунельская, А.И. Крюков, Е. В. Байбакова [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.17116/otorino20208505183> // Вестник оториноларингологии. — 2020. — Т. 85, № 5. — С. 83—87.
32. Головокружение (периферическое) : клинические рекомендации / под ред. С. В. Лиленко, О. В. Зайцева, И. М. Кириченко [и др.]. — Москва ; Санкт-Петербург, 2014.
33. Головокружение (периферическое): клинические рекомендации / Национальная медицинская ассоциация оториноларингологов. — 2016. — 29 с. — URL: <http://glav-otolar.ru/assets/images/docs/clinical-recomendations/KR%20307%20golovokruzhenie.pdf> (дата обращения: 15.01.2026). — Текст: электронный.
34. *Грибанов А. В.* Физиологические механизмы регуляции постурального баланса человека (обзор) / А. В. Грибанов, А. К. Шерстенникова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. — 2013. — № 4. — С. 20—29.
35. *Гроховский С. С.* Метрологическое обеспечение стабилметрических исследований / С. С. Гроховский, О. В. Кубряк // Медицинская техника. — 2014. — № 4 (286). — С. 22—24.
36. *Гурфинкель В. С.* Регуляция позы человека / В. С. Гурфинкель, Я. М. Коц, М. Л. Шик. — Москва: Наука, 1965. — 256 с.
37. *Гусева А. Л.* Хроническое головокружение: подходы к диагностике и лечению / А. Л. Гусева, В. Т. Пальчун. — DOI 10.17116/jnevro2020120121131 // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 2020. — Т. 120, № 12. — С. 131—137.
38. *Данилов А. В.* Структурно-функциональные особенности мозжечка крыс при действии алкоголя и физической нагрузки : специальность 03.00.13 «Физиология» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Данилов Александр Викторович ; Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы. — Уфа, 2009. — 173 с.
39. Двусторонняя вестибулопатия у пациентов пожилого возраста М. В. Шаповалова, М. В. Замеград, А. Л. Гусева, Е. В. Байбакова DOI 10.17116/jnevro202012010216 // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 2020. — Т. 120, № 4. — С. 16—21.

40. Дзяк Л. А. Нейропластичность и вестибулярная дисфункция / Л. А. Дзяк, Е. С. Цуркаленко // Международный неврологический журнал. — 2006. — № 6 (10). — С. 38—40.
41. Диагностика и лечения нарушений равновесия при заболеваниях нервной системы: клинические рекомендации / [составители: М. В. Замерград и др.] ; под общей редакцией М. В. Замерграда. — 3-е изд. — Москва : МЕДпресс-информ, 2021. — 112 с. — ISBN 978-5-00030-963-6
42. Диагностика и тестирование двигательной патологии инструментальными средствами / Д. В. Скворцов, Г. Е. Иванова, Б. А. Поляев, Л. В. Стаховская // Вестник восстановительной медицины. — 2013. — № 5. — С.74—78.
43. Диссоциация калорического и видеоимпульсного тестов у пациентов с болезнью Меньера / Н. Л. Кунельская, Е. А. Манаенкова, З. О. Заоева [и др.]. — DOI 10.17116/otorino20228705139// Вестник оториноларингологии. — 2022. — Т. 87, № 5. — С. 39—42.
44. Дифференциальный диагноз инсульта и вестибулярного нейронита в неотложной неврологии / А. А. Монак, А. А. Кулеш, В. А. Парфенов, П. А. Астанин. — DOI <https://doi.org/10.54101/ACEN.2022.3.3> // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. — 2022. — Т. 16, № 3. — С. 25—33.
45. Доброкачественное пароксизмальное позиционное головокружение: диагностика, лечение, реабилитация. Современные представления о роли бетагистина в комплексном лечении пациентов с доброкачественным пароксизмальным позиционным головокружением / В. А. Парфенов, М. В. Замерград, О. В. Зайцева [и др.]. — DOI 10.14412/2074-2711-2024-5-120-130 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2024. — Т. 16, № 5. — С. 120—130.
46. Довлатова Е. А. Скрининговое обследование пациентов с вестибулярными нарушениями / Е. А. Довлатова, А. Л. Гусева // Российская оториноларингология. — 2015. — № 3 (76). — С. 43— 47.
47. Егорова М. В. Особенности взаимодействия вестибулярных и проприоцептивных афферентных систем на уровне стволово-мозжечковых структур / М. В. Егорова // Нейронаука для медицины и психологии : XII Международный междисциплинарный конгресс (Судак, Крым, Россия, 1—11 июня 2016 г.) : труды конгресса / под редакцией Е. В. Лосевой, А. В. Крючковой, Н. А. Логиновой. — Москва : МАКС Пресс, 2016. — С. 145—146.

48. *Жанузаков Д. З.* Состояние мозжечка в норме и патологии (клинико-экспериментальные данные) / Д. З. Жанузаков // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. — 2020. — Т. 15, № 4. — С. 116—122. — DOI 10.25881/BPNMSC.2020.41.38.021.
49. *Жизневский Д. В.* Двусторонняя периферическая вестибулопатия / Д. В. Жизневский, М. В. Замерград, А. А. Азимова — DOI 10.17116/jnevro202312304124 // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 2023. — Т. 123, № 4. — С. 24—30.
50. *Жизневский Д. В.* Современные представления о сосудистом головокружении / Д. В. Жизневский, М. В. Замерград, С.П. Грачев. — DOI 10.14412/2074-2711-2023-4-4-11 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2023. — Т. 15, № 4. — С. 4—11.
51. *Замерград М. В.* Возрастные аспекты диагностики и лечения головокружения : специальность : 14. 01.11 «Нервные болезни» : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / М. В. Замерград. — Москва, 2015. — 243 с.
52. *Замерград М. В.* Пять принципов вестибулярной реабилитации / М. В. Замерград // Эффективная фармакотерапия. — 2017. — № 1. — С. 4—9.
53. *Замерград М. В.* Реабилитация при заболеваниях нервной системы / М. В. Замерград // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2013. — Т. 1. — С. 18—22.
54. *Илларионова Е. М.* Вестибулярная реабилитация больных с головокружением в неврологической практике / Е. М. Илларионова // Смоленский медицинский альманах. — 2021. — № 1. — С. 130—132. — EDN YEKUGX.
55. Инфаркт лабиринта как причина острого кохлеовестибулярного синдрома / А. А. Монак, Н. А. Кайлева, А. А. Кулеш [и др.]. — DOI 10.14412/2074-2711-2023-1-71-76 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2023. — Т. 15, № 1. — С. 71—76.
56. Использование контроллера Microsost Kinect в разработке реабилитационных игр / А. Р. Бакиров, В. В. Кугуракова, Н. Р. Манахов, Н. Э. Селезнёва // Электронные библиотеки. — 2016. — Т. 19, № 6. — С. 521—537.
57. Исследование вестибулярной функции у пациентов с вестибулярным нейронитом / Н. Л. Кунельская, Е. В. Байбакова, Е. А. Манаенкова [и др.]. — DOI 10.17116/otorino2024890214 // Вестник оториноларингологии. — 2024. — Т. 89, № 2. — С. 4—9.

58. Исследование связи между подошвенным давлением и тонусом икроножной мышцы. Разработка и апробация нового экспериментального стенда / А. О. Гуляева, А. С. Фалькович, С. И. Киреев [и др.]. — DOI 10.15593/RZhBiomeh/2023.4.10. — EDN ANMEXX // Российский журнал биомеханики. — 2023. — Т. 27, № 4. — С. 127—137.
59. Ким Х. А. Последние достижения в понимании аудиовестибулярной потери сосудистой причины / Х. А. Ким, Х. Ли. — DOI 10.5853/jos.2016.00857 // Инсульт. — 2017. — № 19 (1). — С. 61—6.
60. Киселев А. С. Основы отоневрологии: учебное пособие / А. С. Киселев. — Санкт-Петербург : ВМедА, 1999. — 160 с.
61. Кононова Н. А. Функциональная компьютерная стабилметрия в дифференциальной диагностике периферических и центральных вестибулярных расстройств : специальность 14.00.04 «Болезни уха, горла и носа» : диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Н. А. Кононова. — Москва, 2006. — 144 с.
62. Кручинин П. А. Сравнительный анализ алгоритмов оценки движения центра масс по результатам стабилметрических измерений / П. А. Кручинин, М. А. Подоприхин, И. Д. Бекеров. — DOI 10.31857/S0006302921050197 // Биофизика. — 2021. — Т. 66, № 5. — С. 997—1004. — EDN BUXPLQ.
63. Кручинин П. А. Энергетические оценки в стабилметрии / П. А. Кручинин, Н. В. Холмогорова. — Текст: электронный. — DOI 10.15593/RZhBiomeh/2022.1.05 // Российский журнал биомеханики. — 2022. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskie-otsenki-v-stabilometrii> (дата обращения: 10.12.2025). — EDN WFNNRP.
64. Кубряк О. В. Исследование опорных реакций человека (постурография, стабилметрия) и биологическая обратная связь в программе STPL: методическое пособие / О. В. Кубряк, С. С. Гроховский, А. В. Доброродный. — Москва : Мера-ТСП, 2018. — 121 с. — ISBN 978-5-6040686-0-1. — EDN VKWWKY.
65. Кудря О. Н. Особенности вестибулярной устойчивости женщин зрелого возраста с разным типом вегетативной регуляции / О. Н. Кудря, Т. А. Панченкова // Физическое воспитание и спортивная тренировка. — 2024. — № 1(47). — С. 121—127. — EDN IBXIYS.
66. Левашов М. М. Компьютерная электронистагмография в диагностике лабиринтогенного головокружения / М. М. Левашов, И. М. Бахилина,

- С. В. Лиленко // Современные методы диагностики, лечения и реабилитации больных с патологией внутреннего уха: тез. докл. науч.-практ. конф. — Москва, 1997. — С. 61.
67. *Левашов М. М.* Нистагмометрия в диагностике вестибулярных нарушений / М. М. Левашов. — Ленинград: Медицина, 1984. — 224 с.
 68. *Лиленко С. В.* Диагностика и терапия острых кохлеовестибулярных расстройств сосудистого генеза / С. В. Лиленко // Российская оториноларингология. — 2008. — № 6. — С. 184—188. — EDN MGSXMX.
 69. *Лиленко С. В.* Нистагмометрия в оценке эффективности терапии лабиринтных расстройств / С. В. Лиленко // Эффективная фармакотерапия. Пульмонология и оториноларингология. — 2011. — Т. 3. — С. 10—14.
 70. *Лиленко С. В.* Острая периферическая вестибулярная дисфункция : диагностическая и лечебная тактика / С. В. Лиленко, И. А. Аникин, Н. Н. Хамгущеева. — DOI 10.21518/2079-701X-2020-6-114-121. // Медицинский совет. — 2020. — № 6. — С. 114—121 — EDN GFOQBN.
 71. *Лиленко С. В.* Расстройства равновесия. Часть I. Этиопатогенез и диагностика / С. В. Лиленко, Ю. К. Янов, В. П. Ситников. — Санкт-Петербург: Агентство медицинской информации «РИА-МИА», 2005. — 128 с.
 72. *Лиленко С. В.* Тест сенсорной организации в оценке односторонней периферической вестибулярной дисфункции / С. В. Лиленко, Ю. К. Янов, А. С. Лиленко // Российская оториноларингология. — 2014. — № 3 (70). — С. 66—72. — EDN SJCDOD.
 73. *Лихачев С. А.* Современные технологии диагностики вестибулярной дисфункции в неврологической практике / С. А. Лихачев, О. А. Аленикова // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. — 2011. — Т. 5, № 2. — С. 34—39.
 74. *Любкевич А. А.* Диффузионный анализ стабилметрических измерений и особенности работы вестибулярного аппарата / А. А. Любкевич, П. А. Кручинин. — DOI 10.15593/RZhBiomech/2023.2.04 // Российский журнал биомеханики. — 2023. — № 2. — С. 47—54.
 75. *Маличенко А. А.* Изучение показателей стабилметрии у студентов медицинского университета / А. А. Маличенко. — Текст: электронный // Известия ТулГУ. Физическая культура. Спорт. — 2021. — № 9. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-pokazateley-stabilometrii-u-studentov-meditinskogo-universiteta> (дата обращения: 20.11.2025).

76. *Мальков М. Н.* Постуральный контроль положения тела студентов с миопией под влиянием игры «Твистер» / М. Н. Мальков, И. Э. Юденко, А. С. Снигирев // *Адаптивная физическая культура*. — 2024. — Т. 98, № 2. — С. 22—24. — EDN PJSISK.
77. *Мезенчук А. И.* Проба Ромберга: от ходьбы в темноте до тестов на стабилотоплатформе/ А. И. Мезенчук, О. В. Кубряк. — DOI 10.18786/2072-0505-2022-50-040 // *Альманах клинической медицины*. — 2022. — Т. 50, № 5. — С. 335—347. — EDN SNFOOS.
78. Метод регистрации вестибулярных миогенных вызванных потенциалов в диагностике заболеваний внутреннего уха / Н. Л. Кунельская, Е. А. Манаенкова, М. А. Чугунова, З. О. Заева. — DOI 10.17116/otorino20228803144 // *Вестник оториноларингологии*. — 2023. — Т. 88, № 3. — С. 44—49. — EDN OLCPTY.
79. *Миньковский А. Х.* Клиническая лабиринтология : монография / А. Х. Миньковский. — Москва : Медицина, 1974. — 224 с.
80. *Митин Ю. В.* Хроническое воспаление среднего уха / Ю. В. Митин // *Оториноларингология : учебник* / под ред. Д. И. Заболотного, Ю. В. Митина, В. Д. Драгомирецкого. — Киев : Здоров'я, 1999. — С. 145—150.
81. Нарушения равновесия при хронической ишемии головного мозга: сравнительная эффективность различных методов коррекции / Л. А. Гераскина, А. А. Галаева, Р. Д. Шейхова [и др.]. — DOI 10.24412/2226-0757-2022-12928 // *Нервные болезни*. — 2022. — № 4. — С. 3—11.
82. *Насретдинова М. Т.* Изменения стабилотметрических показателей у пациентов с системным головокружением / М. Т. Насретдинова // *Оториноларингология. Восточная Европа*. — 2019. — Т. 9, № 2. — С. 135—139. — EDN ZDHMMT.
83. *Насретдинова М. Т.* Оценка диагностических вестибулярных тестов у пациентов с кохлеовестибулярными нарушениями / М. Т. Насретдинова, Н. А. Нормурадов // *Science and Education. Scientific Journal*. — 2023. — August. — Vol. 4, Issue 8. — С. 72—78.
84. *Насретдинова М. Т.* Оценка классических диагностических вестибулярных тестов у пациентов с кохлеовестибулярными нарушениями / М. Т. Насретдинова, Х. Э. Карабаев // *Оториноларингология. Восточная Европа*. — 2017. — № 3. — С. 323—329.
85. *Неверовский Д. В.* Дифференциальный диагноз дисциркуляторной энцефалопатии в амбулаторной практике / Д. В. Неверовский, С. Ф. Случевская,

- В. А. Парфенов. — DOI 10.14412/2074-2711-2013-2411 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2013. — Т. 5, № 2. — С. 38—42.
86. Неврология: Национальное руководство. Краткое издание / под ред. Е. И. Гусев, А. Н. Коновалов, А. Б. Гехт. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. — 688 с.
 87. Опыт включения аппаратных тренировок постурального контроля в комплексные программы реабилитации пациентов пожилого возраста / Л. Д. Литвина, Е. С. Конева, Е. Н. Жуманова [и др.]. — DOI 10.51871/2304-0343_2023_2_69 // Курортная медицина. — 2023. — № 2. — С. 69—79. — EDN RXHBOB.
 88. Органы слуха и равновесия — анатомия, физиология, методы исследования / под ред. В. Т. Пальчуна : учебное пособие. Москва, 2016. — 119 с.
 89. Особенности восстановления вестибулоокулярного рефлекса при различной степени его поражения у пациентов с вестибулярным нейронитом / В. Т. Пальчун, А. Л. Гусева, Е. В. Байбакова, А. А. Макоева. — DOI 10.17116/otorino20198406133 // Вестник оториноларингологии. — 2019. — Т. 84, № 6. — С. 33—37.
 90. Особенности клинического течения болезни Меньера, ассоциированной с доброкачественным пароксизмальным позиционным головокружением / В. Т. Пальчун, А. Л. Гусева, М. А. Чугунова, Ю. В. Левина. — DOI 10.17116/otorino201883132-35 // Вестник оториноларингологии. — 2018. — Т. 83, № 1. — С. 32—35.
 91. Особенности психосоматического статуса больных с кохлеовестибулярными нарушениями. Методы коррекции / В. Т. Пальчун, Н. Л. Кунельская, А. А. Красюк, Ю. В. Левина // Вестник оториноларингологии. — 2005. — Т. 6. — С. 21—24.
 92. Острый вестибулярный синдром: от диагностики до реабилитации / А. В. Амелин, А. Л. Гусева, М. А. Домашенко [и др.] — DOI 10.17116/jnevro202612603221 // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. Спецвыпуски. — 2026. — Т. 126, № 3 (вып. 2). — С. 21—27.
 93. Отоневрологическое обследование пациента с головокружением / В. Т. Пальчун, А. Л. Гусева, С. Д. Чистов, Ю. В. Левина // Вестник оториноларингологии. — 2015. — Т. 80, № 5. — С. 60—66.
 94. Пальчун В. Т. Вестибулярная реабилитация: обоснование, показания, применение / В. Т. Пальчун, А. Л. Гусева, С. Д. Чистов. — Текст: электронный // Consilium

- Medicum. — 2015. — № 9. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vestibulyarnaya-reabilitatsiya-obosnovanie-pokazaniya-primenenie> (дата обращения: 24.09.2024).
95. *Пальчун В. Т.* Современные методы диагностики вестибулярных расстройств / В. Т. Пальчун // *Лечебное дело*. — 2006. — № 1. — С. 53—59.
 96. *Парфенов В. А.* Головокружение: диагностика и лечение, распространенные диагностические ошибки / В. А. Парфенов, М. В. Замерград, О. А. Мельников. — Москва, 2019. — 208 с.
 97. *Парфенов В. А.* Головокружение: диагностика, лечение, распространенные диагностические ошибки : учебное пособие / В. А. Парфенов, М. В. Замерград, О. А. Мельников. — Москва : МИА, 2011. — 190 с.
 98. Периферические вестибулярные расстройства в амбулаторной практике / М. В. Замерград, В. А. Парфенов, С. В. Морозова [и др.]. — DOI 10.17116/otorino201782130-33 // *Вестник оториноларингологии*. — 2017. — Т. 82, № 1. — С. 30—33.
 99. *Покровский В. М.* Физиология человека : в 2 т. / В. М. Покровский, Г. Ф. Коротько ; под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. — Москва : Медицина, 2003. — 656 с.
 100. *Почуева Т. В.* Использование компьютерной постурографии в прогнозировании течения острой односторонней сенсоневральной тугоухости / Т. В. Почуева, О. А. Компаниец // *Журнал ушных, носовых и горловых болезней*. — 2002. — № 3. — С. 46—47.
 101. Реабилитация пациентов с двусторонней вестибулопатией: тенденции и перспективы развития / Н. Л. Кунельская, Е. В. Байбакова, З. О. Зоева [и др.]. — DOI 10.17116/otorino20248902159 // *Вестник оториноларингологии*. — 2024. — Т. 89, № 2. — С. 59—65.
 102. *Савчук Л. А.* Эффективность лечения больных с острыми сенсоневральными нарушениями слуха с учетом функционального состояния вестибулярного анализатора / Л. А. Савчук, В. Г. Базаров, И. А. Белякова // *Журнал ушных, носовых и горловых болезней*. — 2002. — № 3. — С. 68—69.
 103. *Самарцев И. Н.* Фундаментальные основы компенсации статодинамических нарушений при вестибулярных расстройствах с позиции концепции нейропластичности / И. Н. Самарцев, С. А. Живолупов, О. В. Горбатенкова // *Известия Российской военно-медицинской академии*. — 2022. — Т. 41, № S4. — С. 65—72. — EDN STUOAF.

104. Семь принципов лечения вестибулярного головокружения и результаты исследования / М. В. Замерград, В. А. Парфенов, Э. И. Мацнев [и др.] — DOI 10.17116/jnevro2017117121106-110 // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. — 2017. — Т. 117, № 12. — С. 106—110.
105. *Скворцов Д. В.* Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия / Д. В. Скворцов. — Москва : Научно-медицинская фирма «МБН», 2007. — 617 с.
106. *Скворцов Д. В.* Стабилметрическое исследование / Д. В. Скворцов. — Москва : Маска, 2010. — 176 с. — ISBN 978-5-91146-505-6.
107. *Скют И. А.* Нистагм / И. А. Скют, С. Г. Цемахов. — Минск : Высшая школа, 1990. — 240 с.
108. Скрининг-тестирование и компьютеризированная вестибулометрия при вестибулярном нейроните / С. В. Лиленко, С. Б. Сугарова, А. С. Лиленко, И. В. Костевич. — DOI 10.21518/ms2022-007 // Медицинский совет. — 2023. — Т. 17, № 6. — С. 104—111.
109. Современные аспекты вестибулярной реабилитации / В. А. Воронов, Д. Ю. Демиденко, Ю. А. Плохих [и др.]. — DOI 10.18692/1810-4800-2020-1-15-18 // Российская оториноларингология. — 2020. — Т. 19, № 1 (104). — С.15—18.
110. Современные методы исследования вестибулярной функции: методические рекомендации / А. И. Крюков [и др.]. — Москва, 2013. — 23 с.
111. Современные подходы и перспективные направления в лечении острой сенсоневральной тугоухости акутравматического генеза / М. С. Кузнецов, М. В. Морозова, В. В. Дворянчиков [и др.]. — DOI 10.17116/otorino20208505188 // Вестник оториноларингологии. — 2020. — Т. 85, № 5. — С. 88—92.
112. Современные средства статокINETического совершенствования и вестибулярной реабилитации / Ф. А. Сыроежкин, Л. Г. Буйнов, В. В. Дворянчиков, А. А. Благинин // Военно-медицинский журнал. — 2016. — Т. 337, № 4. — С. 36—42.
113. *Соколова Н. И.* Влияние индивидуальных особенностей на показатели вертикализации позы у мужчин / Н. И. Соколова // Региональный вестник. — 2019. — № 19 (34). — С. 14—15. — EDN XLZHID.
114. *Солдатов И. Б.* Вестибулярная дисфункция / И. Б. Солдатов, Г. П. Сущева, Н. С. Храппо. — Москва, 1980. — 288 с.
115. Стабилметрические параметры вертикальной устойчивости здоровых добровольцев при искусственном кратковременном изменении прикуса /

- И. В. Погабало, О. В. Кубряк, С. С. Гроховский, И. С. Копецкий // Стоматология. — 2014. — Т. 93, № 5. — С. 65—68.
116. *Тараканов А. В.* Влияние зрительного контроля на стабилметрические показатели в зависимости от возраста и пола / А. В. Тараканов, С. А. Чеботов, А. А. Тараканов, В. Ю. Скокова. — DOI 10.22328/2413-5747-2019-5-3-32-40 // Морская медицина. — 2019. — Т. 5, № 3. — С. 32—40.
 117. *Ткаченко П. В.* Соотношение моторных и сенсорных функций человека / П. В. Ткаченко, И. И. Бобынцев. — Курск : Изд-во КГМУ, 2016. — 264 с.
 118. *Тринус К. Ф.* Концепция вестибулярного анализатора. Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2011;3(2):66—72.
 119. Физиология сенсорных систем. Ч. 2. Зрительная система. Слуховая система. Вестибулярная система. Система соматической чувствительности/ под ред. Г. В. Гершуни; АН СССР, Отд. физиологии. — Ленинград : Наука, Ленинград. отд-е, 1972. — 529 с. — (Руководство по физиологии).
 120. Физиология человека : в 2 т. / под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. — Москва : Медицина, 2003. — 656 с.
 121. *Хасанов У. С.* Ранняя диагностика головокружения при патологии уха / У. С. Хасанов, Д. К. Абидова // Авиценна. — 2020. — № 56. — С. 62—64.
 122. Этиология и клинические проявления двусторонней вестибулопатии / Н. Л. Кунельская, Е. В. Байбакова, А. Л. Гусева [и др.]. — DOI <https://doi.org/10.17116/otorino20208503132> // Вестник оториноларингологии. — 2020. — Т. 85, № 3. — С. 32—35.
 123. *Янов Ю. К.* Вестибулярная функция и физиологические механизмы вестибулярных реакций / Ю. К. Янов, К. В. Герасимов. — Санкт-Петербург, 1997. — 104 с.
 124. *Янов Ю. К.* Особенности сбора жалоб и анамнеза у пациентов с головокружением / Ю. К. Янов, С. В. Лиленко // Оториноларингология: Национальное руководство. Краткое издание. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова : СПб НИИ уха, горла, носа и речи : Изд-я группа «ГЭОТАР-Медиа», 2024. — С. 145—160. — EDN ZKIFWP.

Иностранные источники

125. [Diagnosis and outcome analysis of diseases characterized by recurrent low-frequency sensorineural deafness] / K. Wu, K. Wu, D. Wang [et al.]. — DOI 10.13201/j.issn.1001-1781.2020.02.003 // Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. — 2020. — Vol. 34, № 2. — P. 106—112. (Chinese)
126. [Etiological characteristics analysis of 3 137 outpatients with vertigo or dizziness in ENT department] / X. L. Zhang, M. J. Zhang, D. L. Liu [et al.]. — DOI 10.13201/j.issn.1001-1781.2018.10.008 // Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. — 2018. — Vol. 32, № 10. — P. 758—761. — PMID 29873213. (Chinese)
127. 3D Virtual Reality Rehabilitation Therapy for Patients with Vertigo Due to Peripheral Vestibular Dysfunction / B. Swaminathan, V. U. Shanmugam, R. Shanmugam [et al.]. — DOI 10.1007/s12070-023-03678-5 // Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery. — 2023. — Vol. 75, № 3. — P. 2222—2226. — PMID 37636637. — PMCID PMC10447306.
128. A best practice fall prevention exercise program to improve balance, strength/power, and psychosocial health in older adults: study protocol for a randomized controlled trial / Y. J. Gschwind, R. W. Kressig, A. Lacroix [et al.]. — DOI 10.1186/1471-2318-13-105 // BMC Geriatrics. — 2013. — Vol. 13. — P. 105.
129. A Comparison of Vestibular Function in Young Adult Musicians and Nonmusician Peers / A. W. Greene [et al.]. — DOI 10.1044/2024_AJA-24-00203 // American journal of audiology. — 2025. — Vol. 34 (2). — P. 1—9.
130. A Pilot Study to Investigate the Relationship Between Interaural Differences in Temporal Bone Anatomy and Normal Variations in Caloric Asymmetry / D. Carpenter, D. Kaylie, E. Piker, D. Frank-Ito. — DOI 10.1044/2017_AJA-16-0048 // Am. J. Audiol. — 2018. — Vol. 27, № 1. — P. 110—120.
131. A quantitative analysis of postural control in elderly patients with vestibular disorders using visual stimulation by virtual reality / J. M. Gazzola, H. H. Caovilla, F. Doná [et al.]. — DOI 10.1016/j.bjorl.2019.03.001 // Braz. J. Otorhinolaryngol. — 2020. — Vol. 86, № 5. — P. 593—601.
132. A Quantitative Study of the Head Pitching Test for Lateral Canal BPPV / Califano L. [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000004256 // Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society and European Academy of Otology and Neurotology. — 2024. — Vol. 45 (8). — e607-e613.

133. A review of the geometrical basis and the principles underlying the use and interpretation of the video head impulse test (vHIT) in clinical vestibular testing / I. S. Curthoys, L. A. McGarvie, H. G. MacDougall [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2023.1147253 // Front Neurol. — 2023. — Vol. 14. — e1147253.
134. A study of the effect of hot and cold gas perfusion sequence on caloric test results / C. Wen, Q. Deng, Q. Liu [et al.]. — DOI 10.13201/j.issn.2096-7993.2021.03.004 // Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. — 2021. — Vol. 35, № 3. — P. 209—211.
135. A study of the relationship between the video head impulse test and air calorics / S. L. Bell, F. Barker, H. Heselton. — DOI 10.1007/s00405-014-3397-4 // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. — 2015. — Vol. 272, № 5. — P. 1287—94. Epub 2014 Nov 23.
136. Accelerated Cognitive Decline Associated With Hearing Loss and Bilateral Vestibulopathy: Insights From a Prospective Cross-Sectional Study Using the Repeatable Battery for the Assessment of Neuropsychological Status Adjusted for the Hearing Impaired in the DFNA9 Population / H. Gommeren, J. Bosmans, J. Moyaert [et al.]. — DOI 10.1097/AUD.0000000000001315 // Ear Hear. — 2023. — Vol. 44, № 4. — P. 697—709.
137. Acute otitis media — a structured approach / J. P. Thomas, R. Berner, T. Zahnert, S. Dazert. — DOI 10.3238/arztebl.2014.0151 // Deutsches Ärzteblatt international. — 2014. — Vol. 111, № 9. — P. 151—160.
138. Acute unilateral vestibulopathy/vestibular neuritis: Diagnostic criteria / M. Strupp [et al.]. — DOI 10.3233/VES-220201 // Journal of vestibular research: equilibrium & orientation. — 2022. — Vol. 32, № 5. — P. 389—406.
139. Age affects the relationships between kinematics and postural stability during gait / A. Macie [et al.]. — DOI 10.1016/j.gaitpost.2023.03.004 // Gait & posture. — 2023. — Vol. 102. — P. 86—92.
140. *Agrawal Y.* Health-related quality of life and economic burden of vestibular loss in older adults / Y. Agrawal, K. G. Pineault, Y. R. Semenov. — DOI 10.1002/lio2.129. — PMID 29492463 // Laryngoscope Investigative Otolaryngology. — 2017. — Vol. 3, № 1. — P. 8—15. — PMCID PMC5824117.
141. Alexander's Law revisited / B. Jeffcoat, A. Shelukhin, A. Fong [et al.]. — DOI 10.1152/jn.00055.2008 // J. Neurophysiol. — 2008. — Vol. 100, № 1. — P. 154—159.
142. *Alsina B.* Editorial: Inner ear biology: Development, physiopathology, repair and recovery / B. Alsina, S. Heller, I. Varela-Nieto. — DOI 10.3389/fcell.2022.1049463 // Frontiers in Cell and Developmental Biology. — 2022. — Vol. 10. — Article 1049463.

143. An investigation into possible interactions in the vestibular system and the cochlea during electrical stimulation / D. Lanthaler, A. Griessner, V. Steixner [et al.]. — DOI 10.3389/fnins.2025.1612253 // *Frontiers in Neuroscience*. — 2025. — Vol. 19. — Art. 1612253. — PMID 40463591. — PMCID PMC12130027.
144. Apogeotropic variant of horizontal semicircular canal benign paroxysmal positional vertigo: Where are the particles? / B. F. Ramos [et al.]. — DOI 10.4081/audiore.2019.228 // *Audiology research*. — 2019. — Vol. 9, № 2. — P. 228.
145. Applying the minimal detectable change of a static and dynamic balance test using a portable stabilometric platform to individually assess patients with balance disorders / J. de la Torre, J. Marin, M. Polo, J. J. Marín. — DOI <https://doi.org/10.3390/healthcare8040402> // *Healthcare*. — 2020. — Vol. 8, № 4. — P. 402.
146. Appropriate Image Selection With Virtual Reality in Vestibular Rehabilitation: Cross-sectional Study / K. Ersin, E. Gürlek, H. Güler [et al.]. — DOI 10.2196/40806 // *JMIR Serious Games*. — 2023. — Vol. 11. — e40806. — PMID 37052976. — PMCID PMC10162482.
147. Artificial Hair Cell Sensor Based on Nanofiber-Reinforced Thin Metal Films / S. A. Moshizi, C. J. Pastras, S. Peng [et al.]. — DOI 10.3390/biomimetics9010018 // *Biomimetics*. — 2024. — Vol. 9. — P. 18.
148. *Aruin A. S.* Anticipatory postural adjustments associated with lateral and rotational perturbations during standing / A. S. Aruin, T. Ota, M. L. Latash. — DOI 10.1016/s1050-6411(00)00034-1 // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. — 2001. — Vol. 11, № 1. — P. 39—51. — PMID 11166607.
149. Assessment of semicircular canal function in benign paroxysmal positional vertigo using the video head impulse test and caloric test / K. Kabaya [et al.]. — DOI 10.1002/lio2.1020 // *Laryngoscope investigative otolaryngology*. — 2023. — Vol. 8 (2). — P. 525—531.
150. Assessment of vestibular function in adults with prelingual hearing loss using c/ovemp tests / O. Tanyeri, M. Volkan Akdoğan, E. Hızal, A. Fuat Büyüklü. — DOI 10.5152/iao.2019.7280 // *Journal of International Advanced Otolaryngology*. — 2020. — Vol. 16, № 1. — P. 24—27.
151. Auditory and vestibular symptoms and chronic subjective dizziness in patients with Ménière's disease, vestibular migraine, and Ménière's disease with concomitant vestibular migraine / B. A. Neff, J. P. Staab, S. D. Eggers [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e31825d644a> // *Otology & Neurotology*. — 2012. — Vol. 33, № 7. — P. 1235—1244.

152. Autonomic laterality in caloric vestibular stimulation / M. Aghababaei Ziarati, M. H. Taziki, S. M. Hosseini. — DOI 10.4330/wjc. v12.i4.144 // World J. Cardiol. — 2020. — Vol. 12, № 4. — P. 144—154.
153. Balance Control in Individuals with Hearing Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis / H. Zarei [et al.]. — DOI 10.1159/000531428 // Audiology & neurotology. — 2024. — Vol. 29, № 1. — P. 30—48.
154. Balance testing in multiple sclerosis — improving neurological assessment with static posturography? / H. Inojosa, D. Schriefer, A. Klödtz. — DOI 10.3389/fneur.2020.00135 // Frontiers in Neurology. — 2020. — Vol. 11. — P. 135.
155. *Baloh R. W.* Approach to the evaluation of the dizzy patient / R. W. Baloh — DOI 10.1016/S0194-59989570299-7 // Otolaryngology Head and Neck Surgery. — 1995. — Vol. 112, № 1. — P. 3—7.
156. *Baloh R. W.* Clinical Neurophysiology of the Vestibular System / R. W. Baloh, K. Kerber. — Oxford University Press, 2011. — P. 353—366.
157. *Banchi C. A.* Effects of stimulus duration on air caloric slow phase velocity / C. A. Banchi, R. C. Beattie // Journal of the American Academy of Audiology. — 1991. — Vol. 2 (4). — P. 246—52.
158. Barriers and Facilitators of Vestibular Rehabilitation: Patients and Physiotherapists' Perspectives / L. Kalderon, A. Kaplan, A. Wolfvitz [et al.]. — DOI 10.1097/NPT.0000000000000470 // J. Neurol. Phys. Ther. — 2024. — Vol. 48, № 3. — P. 140—150.
159. *Behr E.* Clinical Pathways in Vestibular Care: Referral Trends Between Vestibular Rehabilitation and Objective Vestibular Testing / E. Behr, M. L. Massa, J. A. Honaker. — DOI 10.1044/2025_AJA-25-00037 // American Journal of Audiology. — 2025. — Vol. 34, № 3. — P. 687—694. — PMID 40749081.
160. *Bell A.* What békány's caloric test might have overlooked: the primary factor may be the middle ear muscles / A. Bell. — DOI 10.17430/1003537 // Journal of Hearing Science. — 2019. — Vol. 9, № 4. — P. 9—22.
161. Benefits of vestibular rehabilitation on patient-reported outcomes in older adults with vestibular disorders: a randomized clinical trial / M. C. Aratani, N. A. Ricci, H. H. Caovilla, F. F. Ganança. — DOI 10.1016/j.bjpt.2019.12.003 // Braz. J. Phys. Ther. — 2020. — Vol. 24, № 6. — P. 550—559.
162. Benign paroxysmal positional vertigo associated with Meniere's disease / M. Zhu, W. Zhao, X. Wang [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.3233/VES-180638> // Journal of Vestibular Research. — 2018. — Vol. 28, № 3—4. — P. 359—364.

163. Benign paroxysmal positional vertigo associated with Meniere's disease: epidemiological, pathophysiologic, clinical, and therapeutic aspects / D. G. Balatsouras, P. Ganelis, A. Aspris [et al.]. — DOI 10.1177/000348941212101011 // The Annals of otology, rhinology, and laryngology. — 2012. — Vol. 121, № 10. — P. 682—8.
164. Benign paroxysmal positional vertigo secondary to vestibular neuritis / D. G. Balatsouras, G. Koukoutsis, P. Ganelis [et al.]. — DOI 10.1007/s00405-013-2484-2 // European archives of oto-rhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS). — 2014. — Vol. 271, № 5. — P. 919—24.
165. Benign Paroxysmal Positional Vertigo: Comparison of Idiopathic BPPV and BPPV Secondary to Vestibular Neuritis / B. Türk, M. Akpınar, K. S. Kaya [et al.]. — DOI 10.1177/0145561319871234 // Ear. Nose Throat. J. — 2021. — Vol. 100, № 7. — P. 532— 535.
166. *Bergeron M.* Use of Virtual Reality Tools for Vestibular Disorders Rehabilitation: A Comprehensive Analysis / M. Bergeron, C. Lortie, M. Guitton. — DOI 10.1155/2015/916735 // Advances in Medicine. — 2015. — Vol. 2015. — Art. 916735.
167. Bilateral vestibulopathy: beyond imbalance and oscillopsia / F. M. P. Lucieer, R. van Hecke, L. van Stiphout [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-020-10243-5 // J. Neurol. — 2020. — Vol. 267 (Suppl 1). — P. 241—255.
168. Bilateral vestibulopathy: diagnostic criteria consensus document of the classification committee of the Barany Society / M. Strupp, J. S. Kim, T. Murofushi [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.3233/VES-170619> // J. Vestib. Res. — 2017. — Vol. 27, № 04. — P.177—189.
169. Blood-labyrinth barrier permeability in Menière disease and idiopathic sudden sensorineural hearing loss: findings on delayed postcontrast 3D-FLAIR MRI / M. Pakdaman, G. Ishiyama, A. Ishiyama [et al.]. — DOI 10.3174/ajnr.A4822 // American Journal of Neuroradiology. — 2016. — Vol. 37. — P. 1903—1908.
170. *Bonato F.* Combined pitch and roll and cybersickness in a virtual environment / F. Bonato, A. Bubka, S. Palmisano. — DOI 10.3357/ase.2394.2009 // Aviation, Space, and Environmental Medicine. — 2009. — Vol. 80, № 11. — P. 941—945.
171. Brain activity during a lower limb functional task in a real and virtual environment: A comparative study / T. B. F. Pacheco, I. A. Oliveira Rego, T. F. Campos, F. A. D. C. Cavalcanti. — DOI 10.3233/NRE-161426 // NeuroRehabilitation. — 2017. — Vol. 40, № 3. — P. 391—400.

172. *Brand T.* Vertigo. Its multisensory syndroms / T. Brand. — London: Springer, 2010. — 504 p.
173. *Brandt T. M.* Five keys for diagnosing most vertigo, dizziness, and balance syndromes: an expert opinion / T. Brandt, M. Strupp, M. Dieterich — DOI 10.1007/s00415-013-7190-x // *J. Neurol.* — 2014. — Vol. 261. — P. 229—231.
174. *Brandt T.* The dizzy patient: don't forget disorders of the central vestibular system / T. Brandt, M. Dieterich. — DOI 10.1038/nrneurol.2017.58 // *Nature Reviews Neurology.* — 2017. — Vol. 13. — P. 352—362.
175. *Bronstein A. M.* A brief review of the clinical anatomy of the vestibular-ocular connections — how much do we know? / A. M. Bronstein, M. Patel, Q. Arshad. — DOI 10.1038/eye.2014.262 // *Eye.* — 2015. — Vol. 29, № 2. — P. 163—170.
176. *Burnette E.* Reevaluating Order Effects in the Binaural Bithermal Caloric Test / E. Burnette, E. G. Piker, D. Frank-Ito. — DOI 10.1044/2017_AJA-17-0028 // *Am. J. Audiol.* — 2018. — Vol. 27, № 1. — P. 104—109.
177. *Cabrera Kang C. M.* Vestibular rehabilitation: rationale and indications / C. M. Cabrera Kang, R. J. Tusa. — DOI 10.1055/s-0033-1354593 // *Semin Neurol.* — 2013. — Vol. 33, № 3. — P. 276—85.
178. Can virtual reality replace conventional vestibular rehabilitation tools in multisensory balance exercises for vestibular disorders? A non-inferiority study / G. le Perf [et al.]. — DOI 10.1186/s12984-025-01623-x // *Journal of neuroengineering and rehabilitation.* — 2025. — Vol. 22, № 1 — P. 86.
179. Can Virtual Reality-Assisted Therapy Offer Additional Benefits to Patients with Vestibular Disorders Compared with Conventional Vestibular Physical Therapy? A Meta-analysis / H. Y. Chu, N. Song, Z. R. Zhou [et al.]. — DOI 10.1016/j.apmr.2022.08.972 // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* — 2023. — Vol. 104, № 3. — P. 490—501.
180. Capturing acute vertigo: a vestibular event monitor / A. S. Young, C. Lechner, A. P. Bradshaw [et al.]. — DOI 10.1212/WNL.0000000000007644 // *Neurology.* — 2019. — Vol. 92, № 24. — P. e2743—e2753.
181. Capturing nystagmus in the emergency room: posterior circulation stroke versus acute vestibular neuritis / B. Nham, G. Akdal, A. S. Young [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-022-11202-y // *J. Neurol.* — 2023. — Vol. 270, № 2. — P. 632—641.
182. Capturing vertigo in the emergency room: three tools to double the rate of diagnosis / B. Nham, N. Reid, K. Bein [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-021-10627-1 // *J. Neurol.* — 2022. — Vol. 269, № 1. — P. 294—306.

183. *Carey J.* Evolutionary changes in the cochlea and labyrinth: solving the problem of sound transmission to the balance organs of the inner ear / J. Carey, N. Amin. — DOI 10.1002/ar.a.20306 // The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology. — 2006. — Vol. 288A. — P. 482—490.
184. *Carpenter M. G.* The Effects of Hearing Loss on Balance: A Critical Review / M. G. Carpenter, J. L. Campos. — DOI 10.1097/AUD.0000000000000929 // Ear & Hearing. — 2020. — Vol. 41 (Supplement 1). P. 107S—119S.
185. Cartilage Conduction Hearing and Its Clinical Application / T. Nishimura, H. Hosoi, R. Shimokura [et al.]. — DOI 10.3390/audiolres11020023 // Audiology Research. — 2021. — 11, № 2. — P. 254—262.
186. *Casale J.* Physiology, Vestibular System / J. Casale, T. Browne, I. V. Murray, G. Gupta. — Florida : StatPearls Publishing, Treasure Island , 2023. — PMID: 30422573.
187. Causative factors, epidemiology, and follow-up of bilateral vestibulopathy / V. C. Zingler, E. Weintz, K. Jahn [et al.]. — DOI 10.1111/j.1749-6632.2009.03765.x // Annals of the New York Academy of Sciences. — 2009. — Vol. 1164. — P. 505—508. — PMID 19645958.
188. Central adaptation to repeated galvanic vestibular stimulation: implications for pre-flight astronaut training / Dilda V. [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0112131 // PloS one. — 2014. — Vol. 9 (11). — e112131.
189. Cervico-ocular reflex in normal subjects and patients with unilateral vestibular hypofunction / M. C. Schubert, V. Das, R. J. Tusa, S. J. Herdman. — DOI 10.1097/00129492-200401000-00013 // Otol Neurotol. — 2004. — Vol. 25, № 1. — P. 65—71.
190. Changes in caloric responses after temporal bone surgery with posterior tympanotomy / K. Kondoh, T. Kitahara, T. Morihana [et al.]. — DOI 10.1016/j.anl.2008.11.004 // Auris Nasus Larynx. — 2009. — Vol. 36, № 5. — P. 521—4.
191. *Chiang J.-H.* The influence of foam surfaces on biomechanical variables contributing to postural control / J.-H. Chiang, G. Wu. — DOI 10.1016/S0966-6362(96)01091-0 // Gait & Posture. — 1997. — Vol. 5, № 3. — P. 239—245.
192. *Choi J. Y.* Nystagmus and central vestibular disorders / J. Y. Choi, J. S. Kim — DOI 10.1097/WCO.0000000000000416 // Curr. Opin. Neurol. — 2017. — Vol. 30, № 1. — P. 98—106..
193. *Choi, K. D.* Vascular vertigo: updates / K. D. Choi, J. S. Kim. — DOI 10.1007/s00415-018-9040-3// Journal of Neurology. — 2019. — Vol. 266, No. 8. — P. 1835—1843.

194. Chronic symptoms in patients with unilateral vestibular hypofunction: systematic review and meta-analysis / M. Karabulut, L. van Laer, A. Hallemans [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2023.1177314 // Front Neurol. — 2023. — Vol. 14. — e1177314.
195. Chronic Unilateral Vestibular Hypofunction: Insights into Etiologies, Clinical Subtypes, Diagnostics and Quality of Life / M. Karabulut, W. Viechtbauer, L. van Laer [et al.]. — DOI 10.3390/jcm13185381 // J. Clin. Med. — 2024. — Vol. 13, № 18. — P. 5381.
196. *Ciuman R. R.* Auditory and vestibular hair cell stereocilia: relationship between functionality and inner ear disease / R. R. Ciuman. — DOI 10.1017/S0022215111001459 // The Journal of Laryngology & Otology. — 2011. — Vol. 125, № 10. — P. 991—1003.
197. *Ciuman R. R.* Inner ear symptoms and disease: pathophysiological understanding and therapeutic options / R. R. Ciuman. — DOI 10.12659/MSM.889815 // Medical Science Monitor. — 2013. — Vol. 19. — P. 1195—1210.
198. *Ciuman R. R.* Stria vascularis and vestibular dark cells: characterisation of main structures responsible for inner-ear homeostasis, and their pathophysiological relations / R. R. Ciuman. — DOI 10.1017/S0022215108002624 // The Journal of Laryngology & Otology. — 2009. — Vol. 123, № 2. — P. 151—162.
199. *Clendaniel R. A.* The effects of habituation and gaze stability exercises in the treatment of unilateral vestibular hypofunction: a preliminary results / R. A. Clendaniel. — DOI 10.1097/NPT.0b013e3181deca01 // J. Neurol. Phys. Ther. — 2010. — Vol. 34, № 2. — P. 111—6.
200. Clinical comparative study of caloric test with water or air in healthy individuals and diagnosing study on air caloric test / Y. F. Liang, S. Q. Zhang, X. L. Zeng [et al.]. — DOI 10.13201/j.issn.1001-1781.2018.15.002 // Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. — 2018. — Vol. 32, № 15. — P. 1130—1133.
201. Clinical features of secondary BPPV: A nation-wide multicenter study / S. Na, E.-J. Jeon, M.-B. Kim [et al.]. — DOI 10.1177/09574271251319775 // Journal of Vestibular Research. — 2025. — Vol. 35, № 4. — P. 193—204.
202. Clinical observational gait analysis to evaluate improvement of balance during gait with vibrotactile biofeedback / M. Janssen, R. Pas, J. Aarts [et al.]. — DOI 10.1002/pri.504 // Physiother Res Int. — 2012. — Vol. 17, № 1. — P. 4—11.
203. Co-Existing Vestibular Hypofunction Impairs Postural Control, but Not Frailty and Well-Being, in Older Adults with Benign Paroxysmal Positional Vertigo / S. Pauwels [et al.] — DOI 10.3390/jcm14082666 // Journal of clinical medicine. — 2025. — Vol. 14, № 8. — e2666..

204. *Cohen B. E.* Viral causes of hearing loss: a review for hearing health professionals / B. E. Cohen, A. Durstenfeld, P. C. Roehm. — DOI 10.1177/2331216514541361 // Trends in Hearing. — 2014. — Vol. 18.
205. *Cohen H. S.* Differences in Responses on the Modified Clinical Test of Sensory Interaction and Balance on Medium Firm and Medium Density Foam in Healthy Controls and Patients with Vestibular Disorders / H. S. Cohen, Hю Sangi-Haghpeykar. — DOI 10.1159/000507180 // Biomed. Hub. — 2020. — Vol. 5, № 1. — P. 1548—1555.
206. *Cole K. R.* Reporting of exercise dose and dosage and outcome measures for gaze stabilisation in the literature: a scoping review / K. R. Cole, K. Goodman, L. Volland — DOI 10.1136/bmjopen-2021-049560 // BMJ Open. — 2022. — Vol. 12, № 2. — e049560..
207. *Collins J. J.* Stochastic resonance without tuning / J. J. Collins, C. C. Chow, T. T. Imhoff. DOI 10.1038/376236a0 // Nature. — 1995. — Vol. 376, № 6537. — P. 236—238.
208. Common Muscle Synergies for Control of Center of Mass and Force in Nonstepping and Stepping Postural Behaviors Perturbations / S. A. Chvatal, G. Torres-Oviedo, A. S. Safavynia, L. H. Ting. — DOI 10.1152/jn.00549.2010 // J. of Neurophysiology. — 2011. — Vol. 106. — P. 999—1015.
209. Comparative utility of vestibular function tests in patients with peripheral and central vestibular dysfunction. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.joto.2023.10.002> / C. B. Fattahi, Ch. Zaro, J. J. Chung [et al.] // Journal of Otology. — 2024. — Vol. 19, Issue 1. — P. 5—9.
210. Comparison between effects of galvanic and vibration-based vestibular stimulation on postural control and gait performance in healthy participants: A systematic review of cross-sectional studies / H. Xie, M. Liang, Y. Mo [et al.]. — DOI 10.1007/s10439-023-03425-5 // Ann. Biomed. Eng. — 2024. — Vol. 52. — P. 757—793.
211. Comparison of clinical characteristics and vestibular function test results in patients with vestibular migraine and Menière's disease / Y. Wu, X. Ling, N. Song [et al.]. — DOI 10.1016/j.bjorl.2023.05.001 // Braz. J. Otorhinolaryngol. — 2023. — Vol. 89, № 4. — P. 101274.
212. Comparison of the effectiveness of immersive and non-immersive virtual reality in the treatment of vertigo in patients with peripheral vestibular dysfunction: a systematic review and meta-analysis / X. Liu, S. Yang, Y. Wang [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2025.1638868 // Frontiers in neurology. — 2025. — Vol. 16. — e1638868.

213. Comprehensive Normative Data for Objective Vestibular Tests / S. Narayana Swamy [et al.]. — DOI 10.7759/cureus.40080 // Cureus. — 2023. — Vol. 15, № 6. — e40080.
214. Concurrent vestibular activation and postural training recalibrate somatosensory, vestibular and gaze stabilization processes / K. O. Appiah-Kubi, A. Galgon, R. Tierney [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0292200 // PLoS One. — 2024. — Vol. 19 (7). — e0292200.
215. Contribution of central and peripheral vision to the regulation of stance / V. Nougier, C. Bard, M. Fleury [et al.]. — DOI 10.1006/jecp.1997.2427 // Gait Posture. — 1997. — Vol. 5, № 1. — P. 34—41.
216. Contribution of various sensory inputs to vertical stance and locomotion in humans: Robust assessment with stabilography and motion videocapture. Proceedings of the 28th Conference of Open Innovations Association FRUCT / A. Meigal, E. Kravtsova, L. Gerasimova-Meigal [et al.]. — DOI 10.23919/FRUCT50888.2021.9347603 // FRUCT Oy. — Russia, 2021. — P. 286—292.
217. Co-occurrence of otologic disorders and benign paroxysmal positional vertigo: Systematic review and meta-analysis / M. Karabulut [et al.]. — DOI 10.21053/ceo.2025-00030 // Clinical and experimental otorhinolaryngology. — 2025. — 9 Jun.
218. *Cooksey F. S.* Rehabilitation in vestibular injuries / T. Cawthorne, F. S. Cooksey. — DOI 10.1177/003591574603900523 // Proc. R. Soc. Med. — 1946. — Vol. 39. — P. 273—8.
219. COVID-19 and Postural Control-A Stabilographic Study Using Rambling-Trembling Decomposition Method / M. Żychowska, K. Jaworecka, E. Mazur [et al.]. — DOI 10.3390/medicina58020305 // Medicina (Kaunas). — 2022. — Vol. 58, № 2. — P. 305.
220. Cross-Modal Plasticity during Self-Motion Perception / R. Lin, F. Zeng, Q. Wang, A. Chen. — DOI 10.3390/brainsci13111504. // Brain Sci. — 2023. — Vol. 13, № 11. — P. 1504
221. Cross-Sectional Analysis of Videonystagmography (VNG) Findings in Balance Disorders / A. Moideen, A. Konkimalla, A. K. Tyagi [et al.]. — DOI 10.7759/cureus.34795 // Cureus. — 2023. — Vol. 15, № 2. — e34795. — PMID 36777971. — PMCID PMC9910122.
222. Current evidence of peripheral vestibular symptoms secondary to otitis media / R. da Costa Monsanto, A. L. P. Kasemodel, A. Tomaz [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.1080/07853890.2018.1470665> // Annals of Medicine. — 2018. — Vol. 50, № 5. — P. 391—401.

223. Cybersickness Evaluation in Immersive Virtual Environments: A Systematic Review with Implications for Neurological Rehabilitation / M. Fernández-Cañas, R. M. Ortiz-Gutiérrez, P. Martín-Casas [et al.]. — DOI 10.3390/jcm15010046 // Journal of Clinical Medicine. — 2025. — Vol. 15, № 1. — Art. 46. — PMID 41517296. — PMCID PMC12787253.
224. *David E. A.* Patient-Reported Disability After Computerized Posturographic Vestibular Retraining for Stable Unilateral Vestibular Deficit / E. A. David, N. Shahnaz. — DOI 10.1001/jamaoto.2022.0167 // JAMA Otolaryngol. Head. Neck. Surg. — 2022. — Vol. 148, № 5. — P. 426—433.
225. Decline in semicircular canal and otolith function with age. Otolology & neurotology: official publication of the American Otological Society / Yu. Agrawal [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0b013e3182545061 // American Neurotology Society and European Academy of Otolology and Neurotology. — 2012. — Vol. 33 (5). — P. 832—9.
226. Detection of unexpected events during spatial navigation in humans: bottom-up attentional system and neural mechanisms / G. Iaria, C. J. Fox, J. K. Chen [et al.]. — DOI 10.1111/j.1460-9568.2008.06060. x // Eur. J. Neurosci. — 2008. — Vol. 27, № 4. — P. 1017—25.
227. Development and validation of the dizziness fear-avoidance behaviours and beliefs inventory for patients with vestibular disorders. / R. La Touche, R. Castillejos-Carrasco-Muñoz, M. C. Tapia-Toca [et al.]. — DOI 10.7717/peerj.15940 // PeerJ. — 2023. — Aug 29. — Vol. 11. — e15940.
228. Development of Auditory and Vestibular Systems / R. Romand, I.Varela-Nieto (eds). — 4th edn. — Academic Press, 2014. — 562 p.
229. Diagnosing vestibular hypofunction: an update / D. Starkov [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-020-10139-4 // Journal of neurology. — 2021. — Vol. 268, № 1. — P. 377—385.
230. Diagnosis of Vertigo and Dizziness Syndromes in a Neurological Outpatient Clinic / Q. Pan, Li K., He C. [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.1159/00048963> // European Neurology. — 2018. — Vol. 79, № 5—6. — P. 287—2949.
231. *Dieterich M.* The bilateral central vestibular system: its pathways, functions, and disorders / M. Dieterich, T. Brandt. — DOI 10.1111/nyas.12585 // Annals of the New York Academy of Sciences. — 2015. — Vol. 1343. — P. 10—26.
232. Differential diagnosis of vertigo in the emergency department: a prospective validation study of the STANDING algorithm / S. Vanni, R. Pecci, J. A. Edlow [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2017.00590 // Front. Neurol. — 2017. — Vol. 8. — P. 590.

233. Differential vestibular dysfunction in sudden unilateral hearing loss / H. Rambold, J. Boenki, G. Stritzke [et al.]. — DOI 10.1212/01.WNL.0000148599.18397.D2 // *Neurology*. — 2005. — Vol. 64, №1. — P. 148—151.
234. Direction-changing positional nystagmus in acute otitis media complicated by serous labyrinthitis: new insights into positional nystagmus / J. W. Choi, K. Han, H. Nahm [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000002104 // *Otology & Neurotology*. — 2019. — Vol. 40, № 4. — P. e393—e398.
235. Diseases of the ear / A. P. Nesterova, E. A. Klimov, M. Zharkova [et al.]. — DOI 10.1016/B978-0-12-817086-1.00007-5 // *Disease Pathways*. — 2020. — P. 297—325.
236. Disentangling stability and flexibility degrees in Parkinson's disease using a computational postural control model / Z. Rahmati, A. C. Schouten, S. Behzadipour [et al.]. — DOI 10.1186/s12984-019-0574-0 // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. — 2019. — Vol. 16, № 1. — Art. 104. — PMID 31412926. — PMCID PMC6694532.
237. Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001-2004 / Y. Agrawal, J. P. Carey, C. C. Della Santina [et al.]. — DOI 10.1001/archinternmed.2009.66 // *Archives of Internal Medicine*. — 2009. — Vol. 169, № 10. — P. 938—944. — PMID 19468085.
238. Dissociated Results between Caloric and Video Head Impulse Tests in Dizziness: Prevalence, Pattern, Lesion Location, and Etiology / J. Y. Lee, E. Kwon, H. J. Kim [et al.]. — DOI 10.3988/jcn.2020.16.2.277 // *J. Clin. Neurol.* — 2020. — Vol. 16, № 2. — P. 277—284.
239. *Długaiczek J.* Galvanic vestibular stimulation: from basic concepts to clinical applications / J. Długaiczek, K. D. Gensberger, H. Straka. — DOI 10.1152/jn.00035.2019 // *J. Neurophysiol.* — 2019. — Vol. 121, № 6. — P. 2237—2255.
240. Do measures of gain asymmetry and catch-up saccades improve video head impulse test agreement with caloric results? / I. Z. Melville, K. Yamsuan, H. Wu [et al.]. — DOI 10.1016/j.cnp.2024.07.001 // *Clin. Neurophysiol. Pract.* — 2024. — Vol. 9. — P. 217—226.
241. *Dumont J. R.* The neural correlates of navigation beyond the hippocampus / J. R. Dumont, J. S. Taube. — DOI 10.1016/j.jenvp.2025.102857 // *Progress in Brain Research*. — 2015. — Vol. 219. — P. 83—102.
242. Dynamic visual acuity testing for screening patients with vestibular impairments / B. T. Peters, A. P. Mulavara, H. S. Cohen [et al.]. — DOI 10.3233/VES-2012-0440 // *J. Vestib. Res.* — 2012. — Vol. 22, № 2. — P. 145—151.

243. Editorial: Impacts of VEMP and VHIT on the diagnosis of vestibular diseases / A. A. Tarnutzer, T. Seo, C. Fujimoto [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2023.1244367 // *Front. Neurol.* — 2023 — Vol. 14. — e1244367.
244. Editorial: third window syndrome / P. A. Wackym, Y. Agrawal, T. Ikezono, C. D. Balaban. — DOI 10.3389/fneur.2021.704095 // *Frontiers in Neurology.* — 2021. — Vol. 12. — Article 704095.
245. *Edwards C. Vestibular Rehabilitation* / C. Edwards, E. Franklin / Europe PMC. — 2023. — 01 May.
246. Effect of hyperbaric oxygen therapy and corticosteroid therapy in military personnel with acute acoustic trauma / A. B. Bayoumy, E. L. van der Veen, P. A. M. van Ooij [et al.]. — DOI 10.1136/jramc-2018-001117 // *BMJ Military Health.* — 2020. — Vol. 166, № 4. — P. 243—248.
247. Effect of mild cognitive impairment on balance / B. M. Shin, S.J. Han, J. H. Jung [et al.]. — DOI 10.1016/j.jns.2011.02.031 // *J. Neurol. Sci.* — 2011. — Vol. 305, № 1—2. — P. 121—125.
248. Effect of noisy galvanic vestibular stimulation in community-dwelling elderly people: a randomised controlled trial / Y. Inukai, M. Masaki, N. Otsuru [et al.]. — DOI 10.1186/s12984-018-0407-6 // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.* — 2018. — Vol. 15, № 1. — Art. 63. — PMID 29970144. — PMCID PMC6029379.
249. Effect of proprioceptor stimulation on postural stability in patients with peripheral or central vestibular lesion / I. Pyykkö [et al.]. — DOI 10.3109/00016489109137351 // *Acta otolaryngologica.* — 1991. — Vol. 111, № 1. — P. 27—35.
250. Effect on vestibular function of cochlear implantation by partial deafness treatment — electro acoustic stimulation (PDT-EAS) / M. Sosna, G. Tacikowska, K. Pietrasik [et al.]. — DOI 10.1007/s00405-019-05425-5 // *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology.* — 2019. — Vol. 276, № 7. — P. 1951—1959.
251. Effectiveness of conventional versus virtual reality-based balance exercises in vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular loss: results of a randomized controlled trial / D. Meldrum, S. Herdman, R. Vance [et al.]. — DOI 10.1016/j.apmr.2015.02.032 // *Arc. Phys. Med. Rehabil.* — 2015. — Vol. 96, № 7. — P. 1319—1328.
252. Effectiveness of conventional versus virtual reality-based vestibular rehabilitation exercises in elderly patients with dizziness: a randomized controlled study with 6-month follow-up / T. Kanyılmaz, O. Topuz, F. N. Ardiç [et al.]. — DOI 10.1016/j.bjorl.2021.08.010 // *Braz. J. Otorhinolaryngol.* — 2022. — Vol. 88, Suppl 3. — P. S41—S49.

253. Effectiveness of Telerehabilitation in Dizziness: A Systematic Review with Meta-Analysis / D. Grillo, M. Zitti, B. Cieřlik [et al.]. — DOI 10.3390/s24103028 // *Sensors* (Basel). — 2024. — Vol. 24, № 10. — P. 3028.
254. Effectiveness of virtual reality-based programs as vestibular rehabilitative therapy in peripheral vestibular dysfunction: a meta-analysis / N.M. Hazzaa, A. F. Manzour, E. Yahia, E. Mohamed Galal. — DOI 10.1007/s00405-023-07911-3 // *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* — 2023. — Vol. 280, № 7. — P. 3075—3086.
255. Effectiveness of whole-body vibration or biofeedback postural training as an add-on to vestibular exercises rehabilitation therapy in chronic unilateral vestibular weakness: A randomized controlled study / F. N. Ardiç [et al.]. — DOI 10.3233/VES-190753 // *Journal of vestibular research: equilibrium & orientation.* — 2021. — Vol. 31 (3). — P. 181—190.
256. Effects of Changes of Foot Position on Romberg's Quotient of Postural Sway and Leg Muscles Electromyographic Activities in Standing / S. Morioka, M. Okita, Y. Takata [et al.]. — DOI 10.1298/jjpta.3.17 // *J. Jpn. Phys. Ther. Assoc.* — 2000. — Vol. 3, № 1. — P. 17—20.
257. Effects of Early Vestibular Rehabilitation in Patients With Acute Vestibular Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis / T. Kamo [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000004006 // *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society and European Academy of Otology and Neurotology.* — 2023. — Vol. 44 (9). — P. e641—e647.
258. Effects of long-term vestibular rehabilitation therapy with vibrotactile sensory augmentation for people with unilateral vestibular disorders — A randomized preliminary study / T. Bao, B. N. Klatt, W. J. Carender [et al.]. — DOI 10.3233/VES-190683. — PMID 31609716 // *Journal of Vestibular Research.* — 2019. — Vol. 29, № 6. — P. 323—334. — PMCID PMC9249282.
259. Effects of vestibular rehabilitation training combined with anti-vertigo drugs on vertigo and balance function in patients with vestibular neuronitis: a systematic review and meta-analysis / Chen Jia [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2023.1278307 // *Frontiers in neurology.* — 2023. — Vol. 14. — e1278307. — 9 Nov.
260. Effects of visual motion consistent or inconsistent with gravity on postural sway / P. Balestrucci, E. Daprati, F. Lacquaniti, V. Maffei. — DOI 10.1007/s00221-017-4942-3 // *Experimental Brain Research.* — 2017. — Vol. 235, № 7. — P. 1999—2010.

261. Efficacy of electrotactile vestibular substitution in patients with peripheral and central vestibular loss / Y. P. Danilov, M. E. Tyler, K. L. Skinner [et al.]. — DOI 10.3233/VES-2007-172-307 // J. Vestib. Res. — 2007. — Vol. 17, № 2—3. — P. 119—30.
262. Efficacy of mastoid oscillation and the Gufoni maneuver for treating apogeotropic horizontal benign positional vertigo: a randomized controlled study / H. Ah Kim [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-017-8422-2 // Journal of neurology. — 2017. — Vol. 264 (5). — P. 848—855.
263. Efficacy of nGVS to improve postural stability in people with bilateral vestibulopathy: A systematic review and meta-analysis / R. McLaren, P. F. Smith, R. L. Taylor [et al.]. — DOI 10.3389/fnins.2022.1010239 // Front. Neurosci. — 2022. — Vol. 16. — e1010239.
264. Efficacy of supervised vestibular rehabilitation on functional mobility in patients with chronic vestibular hypofunction / R. Tanaka, T. Kamo, H. Ogihara [et al.]. — DOI 10.1589/jpts.34.584 // J. Phys. Ther. Sci. — 2022. — Vol. 34, № 8. — P. 584—589.
265. Efficacy of vestibular rehabilitation and its facilitating and hindering factors from real-world clinical data / M. K. Kim, S. Y. Yun, S. Lee [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2024.1329418 // Frontiers in Neurology. — 2024. — Vol. 15. — Art. 1329418. — PMID 38487329. — PMCID PMC10938910.
266. Efficacy of Vestibular Rehabilitation Following Acute Vestibular Neuritis: A Randomized Controlled Trial / G. Tokle, S. Mørkved, G. Bråthen [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000002443 // Otol Neurotol. — 2020. — Vol. 41, № 1. — P. 78—85.
267. Efficacy of Vestibular Rehabilitation in Vestibular Neuritis: A Systematic Review and Meta-analysis / H. H. Huang [et al.]. — DOI 10.1097/PHM.0000000000002301 // American journal of physical medicine & rehabilitation. — 2024. — Vol. 103 (1). — P. 38—46.
268. Efficacy of vestibular rehabilitation on chronic unilateral vestibular dysfunction / O. Topuz, B. Topuz, F. N. Ardic [et al.]. — DOI 10.1191/0269215504cr704oa // Clin. Rehabil. — 2004. — Vol. 18. — P. 76—83.
269. Egocentric references and human spatial orientation in microgravity. I. Perception of complex tactile stimuli / V. S. Gurfinkel [et al.]. — DOI 10.1007/BF00229791 // Experimental brain research. — 1993. — Vol. 95, № 2. — P. 339—342.
270. Electrical stimulation of the vestibular nerve: evaluating effects and potential starting points for optimization in vestibular implants / M. Ten Hoor, R. van de Berg,

- A. Pérez Fornos, J. J. A. Stultiens. — DOI 10.1097/MOO.0000000000001001 // Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg. — 2024. — Vol. 32, № 5. — P. 313—321.
271. Electronystagmography versus videonystagmography in diagnosis of vertigo / P. Pietkiewicz, R. Pepaś, W. J. Sułkowski [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.2478/s13382-012-0002-1> // IJOMEH. — 2012. — Vol. 25. — P. 59—65.
272. *Emami S. F.* Central Representation of Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials / S. F. Emami. — DOI 10.1007/s12070-023-03829-8 // Indian J. Otolaryngol. Head Neck. — 2023. — Vol. 75, № 3. — P. 2722—2728.
273. Enhancement of capability for motor imagery using vestibular imbalance stimulation during brain computer interface / K. Zhang, G. Xu, C. Du [et al.]. — DOI 10.1088/1741-2552/ac2a6f // J. Neural. Eng. — 2021. — Vol. 18, № 5.
274. Etiologic distribution of dizziness/vertigo in a neurological outpatient clinic according to the criteria of the international classification of vestibular disorders: a single-center study / Y. Xing, R. Wang, L. Wang [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.1007/s00415-023-12166-3> // Journal of Neurology. — 2024. — Vol. 271, № 5. — P. 2446—2457.
275. Evaluation of Tullio Phenomenon by Computerized Dynamic Posturography / J. Ben-David, C. B. Teszler, H. Duchman, L. Podoshin // International Tinnitus Journal. — 1997. — Vol. 3, № 2. — P. 105—112.
276. Evaluation of Vestibular and Dynamic Acuity in Adults with congenital deafness / Y. Nakajima, K. Kaga, H. Takekoshi [et al.]. — DOI 10.2466/15.06.25.PMS.115.5.503-511 — Текст : электронный // Percept Mot Skills. — 2012. — Vol. 115, № 2. — P. 501—503. — URL: <https://journals.sagepub.com/doi/metrics/10.2466/15.06.25.PMS.115.5.503-511> (дата обращения: 08.12.25).
277. Evaluation of vestibular function in patients with chronic suppurative otitis media / B. E. Mostafa, A. G. Shafik, A. M. N. El Makhzangy [et al.]. — DOI 10.1159/000357475 // ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec. — 2013. — Vol. 75. — P. 357—360.
278. Eye-tracking on virtual reality: a survey / J. Moreno-Arjonilla, A. López-Ruiz, J. R. Jiménez-Pérez [et al.] — DOI <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00903-y> // Virtual Reality. — 2024. — Vol. 28, № 38..
279. Factors affecting the outcome of vestibular rehabilitation in patients with peripheral vestibular disorders / H. Ogihara, T. Kamo, R. Tanaka [et al.]. — DOI 10.1016/j.anl.2022.03.004 // Auris Nasus Larynx. — 2022. — Vol. 49, № 6. — P. 950—955.

280. Factors associated with the occurrence of a fall in subjects with primary open-angle glaucoma / S. Adachi, K. Yuki, S. Awano-Tanabe [et al.]. — DOI 10.1186/s12886-017-0613-1 // BMC Ophthalmology. — 2017. — Vol. 17, No. 1. — P. 213.
281. *Falls C.* Videonystagmography and Posturography / C. Falls. — DOI 10.1159/000490269 // Adv Otorhinolaryngol. — 2019. — Vol. 82. — P. 32—38.
282. Faranesh N. The video head impulse test (VHIT) / N. Faranesh, A. Shupak // Harefuah. — 2023. — Vol. 162, № 7. — P. 444—449. Hebrew.
283. *Feldman A. G.* The Relationship Between Postural and Movement Stability / A. G. Feldman. — DOI 10.1007/978-3-319-47313-0_6 // Adv. Exp. Med. Biol. — 2016. — Vol. 957. — P. 105—120.
284. *Felipe L.* Caloric Stimulation with Water and Air: Responses by Age and Gender / L. Felipe, R. Cavazos. — DOI 10.22038/ijorl.2020.49305.2632 // Iranian Journal of Otorhinolaryngology. — 2021. — Vol. 33, № 115. — P. 71—77.
285. *Felipe L.* Can Type of Dizziness Influence the Vestibular Caloric Test Result? / L. Felipe, A. Staggs, S. Hunnicutt. — DOI 10.1177/21501327211030120 // J. Prim. Care Community Health. — 2021. — Vol. 12. — e21501327211030120.
286. *Feller K. J.* Sensory re-weighting for postural control in Parkinson's disease / K. J. Feller, R. J. Peterka, F. B. Horak. — DOI 10.3389/fnhum.2019.00126 // Frontiers in Human Neurosciences. — 2019. — Vol. 13. — № 126.
287. *Ferrè E. R.* Introduction to vestibular cognition special issue: progress in vestibular cognition / E. R. Ferrè, L. R. Harris. — DOI 10.1163/22134808-000024803 // Multisensory Research. — 2015. — Vol. 28. — P. 393—396.
288. *Ferrè E. R.* Vestibular—somatosensory interactions: a mechanism in search of a function? / E. R. Ferrè, P. Haggard. — DOI 10.1163/22134808-00002487 // Multisensory Research. — 2015. — Vol. 28.
289. *Fetter M.* Vestibulo-ocular reflex / M. Fetter. — DOI 10.1159/000100348 // Developments in Ophthalmology. — 2007. — Vol. 40. — P. 35—51.
290. *Fitze D. C.* Human vestibular perceptual thresholds — a systematic review of passive motion perception / D. C. Fitze, F. W. Mast, M. Ertl. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.09.011> // Gait & Posture. — 2024. — Vol. 107. — P. 83—95.
291. *Flores M. R.* Vectoeletronistagmografia Computadorizada: Nistagmo Póscalo órico à Estimulação com Ar em Indivíduos Sem Queixa. Computerized Vectoelectronystamography: Pós Nystagmus Testing by Caloric Air Estimulation in Individuals Without Complaints / M. R. Flores, E. S. Franco. — São Paulo, 2003. Vol. 7, № 4. P. 302—308.

292. *Foisy A.* Plantar cutaneous afferents influence the perception of Subjective Visual Vertical in quiet stance / A. Foisy, Z. Kapoula. — DOI 10.1038/s41598-018-33268-3 // Scientific Reports. — 2018. — Vol. 8, № 1. — Article 14939.
293. *Frank M.* Meniere's disease is a manifestation of migraine / M. Frank, M. Abouzari, H. R. Djalilian. — DOI 10.1097/MOO.0000000000000908 // Curr. Opin. Otolaryngol. Head. Neck. Surg. — 2023. — Vol. 31, № 5. — P. 313—319.
294. Frequency analyses of postural sway demonstrate the use of sounds for balance given vestibular loss / A. V. Lubetzky [et al.]. — DOI 10.1016/j.gaitpost.2024.12.013 // Gait & posture. — 2025. — Vol. 117. — P. 129—135.
295. Frequency-Specific Effects of Galvanic Vestibular Stimulation on Response-Time Performance in Parkinson's Disease / S. Lee, P.F. Smith, W. H. Lee, M. J. McKeown. — DOI 10.3389/fneur.2021.758122 // Front Neurol. — 2021. — Nov 2. — Vol. 12. — e758122.
296. *Futami S.* Comprehensive equilibrium function tests for an accurate diagnosis in vertigo: a retrospective analysis / S. Futami, T. Miwa. — DOI 10.3390/jcm13092450 // Journal of Clinical Medicine. — 2024. — Vol. 13, № 9. — P. 2450.
297. *Gaddey H. L.* Otitis media: rapid evidence review / H. L. Gaddey, M. T. Wright, T. N. Nelson // American Family Physician. — 2019. — Vol. 100, № 6. — P. 350—356.
298. *Gagey P.-M.* Stabilometric study of the effect of heel height on postural control / P.-M. Gagey, A. de Tauzia, T. Ferrus // 19th ISPGR World Congress. — Bologna : ISPGR, 2009. — P. 240.
299. Gait and Falls in Benign Paroxysmal Positional Vertigo: A Systematic Review and Meta-analysis / S. Pauwels [et al.] — DOI 10.1097/NPT.0000000000000438 // Journal of neurologic physical therapy: JNPT. — 2023. — Vol. 47, № 3. — P. 127—138.
300. Gait Characteristics Analyzed with Smartphone IMU Sensors in Subjects with Parkinsonism under the Conditions of “Dry” Immersion / A.Y. Meigal, L. I. Gerasimova-Meigal, S. A. Reginya [et al.]. — DOI 10.3390/s22207915 // Sensors (Basel). — 2022. — Vol. 22 (20). — e7915.
301. Galvanic vestibular stimulation and its applications: a systematic review / A. P. B. de Ávila Pires, T. R. Silva, M. S. Torres [et al.]. — DOI 10.1016/j.bjorl.2022.05.010 // Braz. J. Otorhinolaryngol. — 2022. — Nov-Dec. — Vol. 88, Suppl 3. — S. 202—211.
302. *Ganança M. M.* Electronystagmography versus videonystagmography / M. M. Ganança, H. H. Caovilla, F. F. Ganança. — DOI <https://doi.org/10.18454/>

- ACEN.2017.4.6 // Brazilian Journal of Otorhinolaryngology. — 2010. — Vol. 76, № 3. — P. 399—403.
303. *Gans R. E.* Vestibular rehabilitation: critical decision analysis / R. E. Gans. — DOI 10.1055/s-2002-33000 // *Seminars in Hearing*. — 2002. — Vol. 23, № 2. — P. 149—159.
304. Geriatric benign paroxysmal positional vertigo: a single-center study / N. Song [et al.]. — DOI 10.1016/j.bjorl.2023.101277 // *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. — 2023. — Vol. 89, № 4. — e101277.
305. *Gianoli G.* Description of a new labyrinthine dehiscence: horizontal semicircular canal dehiscence at the tympanic segment of the facial nerve / G. Gianoli, J. Soileau, B. Shore. — DOI 10.3389/fneur.2022.879149 // *Frontiers in Neurology*. — 2022. — Vol. 13. — Article 879149.
306. *Gianoli G.* Proposal for a unitary anatomo-clinical and radiological classification of third mobile window abnormalities / G. Gianoli, J. Soileau, B. Shore. — DOI 10.3389/fneur.2022.879149 // *Frontiers in Neurology*. — 2022. — Vol. 13. — Article 879149.
307. *Grieser B. J.* Identifying mechanisms behind the Tullio phenomenon: a computational study based on first principles / B. J. Grieser, L. Kleiser, D. Obrist. — DOI 10.1007/s10162-016-0553-0 // *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. — 2016. — Vol. 17. — P. 103—118.
308. *Gufoni M.* The role of vestibular cold caloric tests in the presence of spontaneous nystagmus / M. Gufoni, A. P. Casani. — DOI 10.14639/0392-100X-N2283 // *Acta Otorhinolaryngol. Ital.* — 2023. — Vol. 43, № 1. — P. 56—64.
309. Guidelines for reasonable and appropriate care in the emergency department 3 (GRACE-3): Acute dizziness and vertigo in the emergency department / J. A. Edlow, C. Carpenter, M. Akhter [et al.]. — DOI 10.1111/acem.14728 // *Academic Emergency Medicine*. — 2023. — Vol. 30, № 5. — P. 442—486.
310. *Gurfinkel, V. S., Lestienne, F., Levik, Yu. S., Popov, K. E.* (1993) Egocentric references and human spatial orientation in microgravity. I. Perception of complex tactile stimuli. *Experimental Brain Research*, vol. 95, no. 2, pp. 339—342. <https://doi.org/10.1007/BF00229791>.
311. *Halmagyi G. M.* A clinical sign of canal paresis / G. M. Halmagyi, I. S. Curthoys. — DOI 10.1001/archneur.1988.00520310043015 // *Archives of neurology*. — 1988. — Vol. 45 (7). — P. 737—9.
312. *Halmágyi G. M.* Vestibular contributions to the Romberg test: testing semicircular canal and otolith function / G. M. Halmágyi, I. S. Curthoys. — DOI 10.1111/ene.14942 // *European Journal of Neurology*. — 2021. — Vol. 28, № 9. — P. 3211—3219.

313. *Haxby F.* Finding a Balance: A Systematic Review of the Biomechanical Effects of Vestibular Prostheses on Stability in Humans / F. Haxby, M. Akrami, R. Zamani. — DOI 10.3390/jfmk5020023 // J. Funct. Morphol. Kinesiol. — 2020. — Vol. 5, № 2. — P. 23.
314. *Herdman S. J.* Assessment and Intervention for the Patient with Complete Vestibular Loss / S. J. Herdman, R. A. Clendaniel // Vestibular Rehabilitation. — 3rd. — Philadelphia: F A Davis Company, 2007. — P. 311—342.
315. *Herdman S. J.* Intervention for the patient with vestibular hypofunction / S. J. Herdman, S. L. Whitney. — DOI 10.1097/NPT.0000000000000382 // Herdman S. J. Vestibular Rehabilitation. — 3rd ed. — Philadelphia: F. A. Davis Co., 2007. — P. 309—37.
316. *Herdman S. J.* Role of vestibular adaptation in vestibular rehabilitation / S. J. Herdman. — DOI 10.1016/S0194-5998(98)70195-0 // Otolaryngol. Head. Neck. Surg. — 1998. — Vol. 119, № 1. — P. 49—54.
317. *Herdman S. J.* Vestibular rehabilitation / S. J. Herdman. — DOI 10.3988/jcn.2011.7.4.184. — 3rd ed. — Philadelphia : F.A. Davis Co., 2007.
318. *Herssens N.* Stimulating balance: recent advances in vestibular stimulation for balance and gait / N. Herssens, C. McCrum. — DOI 10.1152/jn.00851.2018 // J. Neurophysiol. — 2019. — Vol. 122, № 2. — P. 447—450.
319. *Hillier S. L.* Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction / S. L. Hillier, M. McDonnell. — DOI 10.1002/14651858.CD005397.pub4 // Cochrane Database of Systematic Reviews. — 2011. — Issue 2. — Art. № CD005397.
320. *Hillier S. L.* Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction / S. L. Hillier. — DOI 10.1002/14651858.CD005397.pub4 // Cochrane Database Syst Rev. 2015. — Jan 13. — Vol. 1: CD005397.
321. HINTS to diagnose stroke in the acute vestibular syndrome: three-step bedside oculomotor examination more sensitive than early MRI diffusion-weighted imaging / J. C. Kattah, A. V. Talkad, D. Z. Wang [et al.]. — DOI 10.1161/STROKEAHA.109.551234 // Stroke. — 2009. — Vol. 40, № 11. — P. 3504—10.
322. *Hitier M.* Vestibular pathways involved in cognition / M. Hitier, S. Besnard, P. F. Smith. — DOI 10.3389/fnint.2014.00059 // Frontiers in Integrative Neuroscience. — 2014. — Vol. 8. — P. 59.
323. *Horak F. B.* Postural compensation for vestibular loss / F. B. Horak. — DOI 10.1111/j.1749-6632.2008.03708.x. // Annals of the New York Academy of Sciences. — 2009. — Vol. 1164. — P. 76—81

324. Horizontal gaze-evoked nystagmus in pontine gaze palsy: patterns and anatomical correlates / S. Y. Choi, J. H. Choi, H. S. Kim [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2025.1624192 // *Frontiers in Neurology*. — 2025. — Vol. 16. — Art. 1624192. — PMID 40708955. — PMCID PMC12286784.
325. *Hübner P. P.* Velocity-selective adaptation of the horizontal and cross-axis vestibulo-ocular reflex in the mouse / P. P. Hübner, S. I. Khan, A. A. Migliaccio. — DOI 10.1007/s00221-014-3988-8 // *Experimental Brain Research*. — 2014. — Vol. 232. — P. 3035—3046.
326. *Hughes C. A.* Benign paroxysmal positional vertigo / C. A. Hughes, L. Proctor. — DOI <https://doi.org/10.1097/00005537-199705000-00010> // *The Laryngoscope*. — 1997. — Vol. 107, № 5. — P. 607—613.
327. *Huh Y. E.* Bedside Evaluation of Dizzy Patients / Y. E. Huh, J. S. Kim. — DOI 10.3988/jcn.2013.9.4.203 // *Journ. of Clinical. Neurology*. — 2013. — Vol. 9, № 4. — P. 203—213.
328. *Iaria G.* Three-dimensional probabilistic maps of the occipital sulci of the human brain in standardized stereotaxic space / G. Iaria, S. Robbins, M. Petrides. — DOI 10.1016/j.neuroscience.2007.09.050 // *Neuroscience*. — 2008. — Vol. 151, № 1. — P. 174—85.
329. Impact and Cost Effectiveness of Videonystagmography / G. Ni, C. Kim, L. Nair [et al.]. — DOI 10.1177/0003489420968873 // *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* — 2021. — Vol. 130, № 7. — P. 718—723.
330. Impact of age on the postural stability measured by a virtual reality tracker-based posturography and a pressure platform system / H.-W. Liang [et al.]. — DOI 10.1186/s12877-022-03195-0 // *BMC geriatrics*. — 2022. — Vol. 22 (1). — P. 506.
331. Impact of cochlear implantation on peripheral vestibular function in adults / V. Colin, P. Bertholon, S. Roy, A. Karkas. — DOI 10.1016/j.anorl.2018.10.007 // *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*. — 2018. — Vol. 135, № 6. — P. 417—420.
332. Impact of galvanic vestibular stimulation-induced stochastic resonance on the output of the vestibular system: A systematic review / S. P. Stefani, J. M. Serrador, P. P. Breen, A. J. Camp. — DOI 10.1016/j.brs.2020.01.006 // *Brain Stimul.* — 2020. — Vol. 13, № 3. — P. 533—535.
333. Improving balance function using vestibular stochastic resonance: optimizing stimulus characteristics / A. P. Mulavara, M. J. Fiedler, I. S. Kofman [et al.]. — DOI 10.1007/s00221-011-2633-z // *Exp Brain Res*. — 2011. — Vol. 210, № 2. — P. 303—12.

334. Incidence of pediatric superior semicircular canal dehiscence and inner ear anomalies / E. M. Sugihara, S. C. Babu, D. J. Kitsko. — DOI 10.1097/MAO.0000000000001194 [et al.] // *Otology & Neurotology*. — 2016. — Vol. 37. — P. 1370—1375.
335. Incidence of peripheral vestibular disorders based on population data of South Korea / J. Jeong [et al.]. — DOI 10.3233/VES-220085 // *Journal of Vestibular Research: equilibrium & orientation*. — 2023. — Vol. 33 (2). — P. 143—150.
336. Increased brain responsivity to galvanic vestibular stimulation in bilateral vestibular failure / C. Helmchen, M. Rother, P. Spliethoff, A. Sprenger. — DOI 10.1016/j.nicl.2019.101942 // *Neuroimage Clin*. — 2019. — Vol. 24. — P. 101942.
337. Increasing human brain excitability by transcranial high-frequency random noise stimulation / D. Terney, L. Chaieb, V. Moliadze [et al.]. — DOI 10.1523/JNEUROSCI.4248-08.2008 // *J. Neurosci*. — 2008. — Vol. 28, № 52. — P. 14147—55.
338. Innovative approaches for managing patients with chronic vestibular disorders: follow-up indicators and predictive markers for studying the vestibular error signal / F. Xavier, E. Chouin, B. Tighilet [et al.]. — DOI 10.3389/fresc.2024.1414198 // *Front. Rehabil. Sci*. — 2024 — Vol. 5. — e1414198.
339. Insight into postural control in unilateral sensorineural hearing loss and vestibular hypofunction / A. V. Lubetzky [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0276251 // *PloS one*. — 2022. — Vol. 17 (10). — e0276251.
340. Integrated diagnostic algorithm for acute vertigo combining TiTrATE, STANDING, and HINTS: a validation study in the emergency department / E. Cortese, P. Rochelle, F. Patel [et al.]. — DOI 10.1038/s41598-025-11007-9 // *Scientific Reports*. — 2025. — Vol. 15, № 1. — Art. 25403.
341. Intermanual transfer of visuomotor learning is facilitated by a cognitive strategy / J. D. Havas, P. Haggard, H. Gomi [et al.]. — DOI 10.1101/2021.10.12.464030 // *BioRxiv*. — 2021.
342. Interpretation and use of caloric testing / D. U. Gonçalves [et al.]. — DOI 10.1016/s1808-8694(15)30580-2 // *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. — 2008. — Vol. 74 (3). — P. 440—446.
343. Investigating health disparities in vestibular rehabilitation / R. D. Wellons, S. E. Duhe, S. G. MacDowell [et al.]. — DOI 10.3233/VES-240002 // *J. Vestib. Res*. — 2024. — Vol. 34, № 4. — P. 205—214.
344. Is the vestibular system affected by middle ear effusion? / J. Ben-David, L. Podoshin, M. Fradis, D. Faraggi. — DOI 10.1177/019459989310900306 // *Otolaryngology — Head and Neck Surgery*. — 1993. — Vol. 109, № 3, Pt 1. — P. 421—426.

345. *Ivanenko Y.* Human Postural Control / Y. Ivanenko, V. S. Gurfinkel. — DOI 10.3389/ // Frontiers in Neuroscience. — 2018. — Vol. 12. — P. 171. fnins.2018.00171.
346. *Jacobson G. P.* The development of the Dizziness Handicap Inventory / G. P. Jacobson, C. W. Newman — DOI 10.1001/archotol.1990.01870040046011 // Archives of Otolaryngology—Head & Neck Surgery. — 1990. — Vol. 116, № 4. — P. 424—427.
347. *Jongkees L. B.* Clinical nystagmography. A detailed study of electro-nystagmography in 341 patients with vertigo / L. B. Jongkees, J. P. Maas, A. J. Philipszoon // Pract Otorhinolaryngol (Basel). — 1962. — Vol. 24. — P. 65—93.
348. *Józefowicz-Korczyńska M.* Clinical tests for balance stability and gait assessment — bedside tests / M. Józefowicz-Korczyńska, J. Chmielecka-Rutkowska, A. Mazerant // Polish Otorhinolaryngology Review. — 2016. — Vol. 5, № 1. — P. 1—7. — ISSN: 2084-5308E-ISSN: 2300-7338 ICV: 100MNiSW: 70.
349. *Kattah J. C.* Use of HINTS in the acute vestibular syndrome. An overview / J. C. Kattah // Stroke Vasc. Neurol. — 2018. — Vol. 3, № 4. — P. 190—196.
350. *Kerkhoff G.* Modulation and rehabilitation of spatial neglect by sensory stimulation / G. Kerkhoff. — DOI 10.1016/S0079-6123(03)42018-9 // Progress in brain research. — 2003. — Vol. 142. — P. 257—71.
351. *Khan S.* Anatomy of the vestibular system: a review / S. Khan, R. Chang. — DOI 10.3233/NRE-130866 // NeuroRehabilitation. — 2013. — Vol. 32, № 3. — P. 437—443.
352. *Kim H. A.* Recent advances in understanding audiovestibular loss of a vascular cause / H. Kim, H. Lee. — DOI 10.5853/jos.2016.00857 // Journal of Stroke. — 2017. — Vol. 19, № 1. — P. 61—66.
353. *Kingma H.* Anatomy, physiology, and physics of the peripheral vestibular system / H. Kingma, R. van de Berg // Handbook of Clinical Neurology. — 2016. — Vol. 137. — P. 1—16.
354. *Kiryu T.* Sensation of presence and cybersickness in applications of virtual reality for advanced rehabilitation / T. Kiryu, R. H. Y. So. — DOI 10.1186/1743-0003-4-34 // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. — 2007 — Vol. 4, article 34.
355. *Kutlubaev M. A.* Menière's disease / M. A. Kutlubaev, Y. Xu, J. Hornibrook. — DOI <https://doi.org/10.1136/practneurol-2020-002734> // Practical Neurology. — 2021. — Vol. 21, № 2. — P. 116—124.
356. *Lacour M.* Plastic events in the vestibular nuclei during vestibular compensation: the brain orchestration of a “deafferentation” code / M. Lacour, B. Tighilet. — DOI 10.3233/RNN-2010-0509 // Restor Neurol Neurosci. — 2010. — Vol. 28, № 1. — P. 19—35.

357. *Le T. N.* Vestibular Neuritis: Recent Advances in Etiology, Diagnostic Evaluation, and Treatment / T. N. Le, B. D. Westerberg, J. Lea. — DOI 10.1159/000490275// Advances in Otorhinolaryngology. — 2019. — Vol. 82. — P. 87—92.
358. *Levik Y. S.* (2021) Motor control based on the internal representation system on the earth and in space / Y. S. Levik. — DOI 10.1134/S0362119721030099 // Human Physiology. — 2021.-Vol. 47.- no. 3, P. 335—351.
359. *Leigh R. J.* The Neurology of Eye Movements / R. J. Leigh, D. S. Zee. — 3edn. — New York : Oxford University Press, 1999. — 646 p.
360. *Li W.* Applying bilateral mastoid vibration changes the margin of stability in the anterior-posterior and medial-lateral directions while walking on different inclines / W. Li, Y. Zhang, J. H. Chien. — DOI 10.1186/s40001-025-02364-2 // European journal of medical research — 2025. — Vol. 30 (1). — P. 108.
361. *Liang Sh.* Age affects the dynamic interaction between kinematics and gait stability / Sh. Liang. — DOI 10.3389/fbioe.2024.1370645 // Frontiers in bioengineering and biotechnology. — 2024. — Vol. 12. — e1370645.
362. *Lin B. Y.* Assessing residual function in adults with congenital hearing loss / B. Y. Lin, Y. H. Young. — Текст : электронный // European Archives of Oto-Rhino-Laryngology. — 2016. — Vol. 273, № 12. — P. 4209—4214. — URL:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27295174> (дата обращения: 20.01.2026).
363. *Lin C. Y.* Association of acute upper respiratory tract infections with sudden sensorineural hearing loss: a case-crossover, nationwide, population-based cohort study / C. Y. Lin, P. H. Kuo, S. Y. Wu. — DOI 10.1007/s00405-016-4137-8. — DOI 10.3390/ijerph182010745 // International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2021. — Vol. 18, № 20. — P. 10745.
364. Lindsay-Hemenway Syndrome Involving the Horizontal Semicircular Canal: Some Considerations Upon Residual Canal Afferents in BPPV Secondary to an Ipsilateral Acute Unilateral Vestibulopathy / S. Martellucci, P. Malara, G. Pagliuca, A. Castellucci // Otology & Neurotology. — 2025. — Vol. 46, № 6. — P. 693—699. — DOI 10.1097/MAO.0000000000004512. — PMID 40307983.
365. Lingual electrotactile discrimination ability is associated with the presence of specific connective tissue structures (papillae) on the tongue surface / T. S. Allison, J. Moritz Jr, P. Turk, L. M. Stone-Roy // PLoS ONE. — 2020. — Vol. 15, № 8. — e0237142. — DOI 10.1371/journal.pone.0237142. — PMID 32764778. — PMCID PMC7413419.

366. Long-lasting visuo-vestibular mismatch in freely-behaving mice reduces the vestibulo-ocular reflex and leads to neural changes in the direct vestibular pathway / J. Carcaud, F. França de Barros, E. Idoux [et al.]. — DOI 10.1523/ENEURO.0290-16.2017 // eNeuro. — 2017. — Vol. 4. — P. 1.
367. *Lopez C.* Electrical stimulation of the peripheral and central vestibular system / C. Lopez, K. E. Cullen. — DOI 10.1097/WCO.0000000000001228 // Curr. Opin. Neurol. — 2024. — Vol. 37, № 1. — P. 40—51.
368. *Lopez C.* Nobel Prize centenary: Robert Bárány and the vestibular system / C. Lopez, O. Blanke. — DOI 10.1016/j.cub.2014.09.067 // Curr. Biol. — 2014 — Vol. 24 (21). — P. 1026—8.
369. *Lopez C.* The vestibular cortex in the human brain revealed by coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis / C. Lopez, O. Blanke, F. W. Mast. — DOI 10.1016/j.neuroscience.2012.03.028 // Neuroscience. — 2012. — Vol. 60. — P. 162—169.
370. *Maire R.* Evaluation of the Caloric Test by Combining 3 Response Parameters / R. Maire, B. Daoui, G. van Melle. — DOI 10.1016/S0194-59980070007-6 // Otolaryngology — Head and Neck Surgery. — 2000. — Vol. 122, № 6. — P. 814—820.
371. *Manso A.* Vestibular rehabilitation with visual stimuli in peripheral vestibular disorders / A. Manso, M. M. Ganança, H. H. Caovilla. — DOI 10.1016/j.bjorl.2015.05.019 // Braz. J. Otorhinolaryngol. — 2016. — Vol. 82, № 2. — P. 232—41.
372. *Maudoux A.* Vestibular Deficits in Deafness: Clinical Presentation, Animal Modeling, and Treatment Solutions / A. Maudoux, S. Vitry, A. El-Amraoui. — DOI 10.3389/fneur.2022.816534 // Front. Neurol. — 2022. — Vol. 4 (13). — e816534.
373. *McCaslin D. L.* Electronystagmography/ Videonystagmography (ENG/VNG). — 2nd edition / D. L. McCaslin // San Diego, California: Plural Publishing, Inc., 2019. — 266 p.
374. *McDonnell M. D.* The benefits of noise in neural systems: bridging theory and experiment / M. D. McDonnell, L. M. Ward. — DOI 10.1038/nrn3061 // Nat. Rev. Neurosci. — 2011. — Vol. 12, № 7. — P. 415—26.
375. *McDonnell M. N.* Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction / M. N. McDonnell, S. L. Hillier. — DOI 10.1002/14651858.CD005397.pub4 // Cochrane Database Syst Rev. — 2015. — Vol. 1 (1) — eCD005397.
376. Measuring body sway of bipedally standing rat and quantitative evaluation of its postural control / Y. Sato, T. Funato, D. Yanagihara [et al.]. — DOI 10.1109/

- EMBC.2015.7319590 // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. — 2015. — Vol. 2015. — P. 5311—5314.
377. Mechanisms underlying treatment effects of vestibular noise stimulation on postural instability in patients with bilateral vestibulopathy / M. Wuehr, J. Eder, S. Kellerer [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-023-12085-3 // J. Neurol. — 2024. — Vol. 271, № 3. — P. 1408—1415.
378. *Meldrum D.* Gaze stabilisation exercises in vestibular rehabilitation: review of the evidence and recent clinical advances / D. Meldrum, K. Jahn. — DOI 10.1007/s00415-019-09459-x // J. Neurol. — 2019 — Vol. 266 (Suppl 1). — P. 11—18.
379. Menière's disease / M. A. Kutlubaev [et al.]. — DOI 10.1136/practneurol-2020-002734 // Practical neurology. — 2020.
380. *Merchant S. N.* Conductive hearing loss caused by third-window lesions of the inner ear / S. N. Merchant, J. J. Rosowski. — DOI 10.1097/mao.0b013e318161ab24 // Otology & Neurotology. — 2008. — Vol. 29. — P. 282—289.
381. *Merchant S. N.* Sudden deafness: is it viral? / S. N. Merchant, M. L. Durand, J. C. Adams. — DOI <https://doi.org/10.1159/000111048> // ORL J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec. — 2008. — Vol. 70, № 1. — P. 52—60.
382. Meta-analytical definition and functional connectivity of the human vestibular cortex / P. Eulenburg, S. Caspers, C. Roski, S. B. Eickhoff. — DOI 10.1016/j.neuroimage.2011.12.032 // NeuroImage. — 2012. — Vol. 60. — P. 162—169.
383. *Michel L.* Rehabilitation of dynamic visual acuity in patients with unilateral vestibular hypofunction: earlier is better / L. Michel, T. Laurent, T. Alain. — DOI <https://doi.org/10.1007/s00405-019-05690-4> // European Archives of Oto-Rhino-Laryngology. — 2020. — Vol. 277, № 1. — P. 103—113.
384. *Minor L. B.* Clinical manifestations of superior semicircular canal dehiscence / L. B. Minor. — DOI 10.1097/01.mlg.0000178324.55729.b7 // Laryngoscope. — 2005. — Vol. 115. — P. 1717—1727.
385. *Minovi A.* Diseases of the middle ear in childhood / A. Minovi, S. Dazert. — DOI 10.3205/cto000114 // GMS Current Topics in Otorhinolaryngology — Head and Neck Surgery. — 2014. — Vol. 13. — Doc. 11.
386. *Mitsutake T.* Noisy galvanic vestibular stimulation influences head stability in young healthy adults while standing on a moving platform / T. Mitsutake, M. Sonobe. — DOI 10.1016/j.gaitpost.2023.09.014 // Gait & Posture. — 2024. — Vol. 107. — P. 177—181. — PMID 37840004.

387. Modern vestibular tests can accurately separate stroke and vestibular neuritis / B. Nham, C. Wang, N. Reid [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-022-11473-5 // J. Neurol. — 2023. — Vol. 270, № 4. — P. 2031—2041.
388. *Molnár, A.* Long-term follow-up of patients with vestibular neuritis by caloric testing and directional preponderance calculation / A. Molnár, B. D. Jassoy, S. Maihoub [et al.]. — DOI 10.1007/s00405-022-07660-9 // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. — 2023. — Vol. 280, № 4. — P. 1695—1701.
389. *Morasso P. G.* Ankle Muscle Stiffness Alone Cannot Stabilize Balance during Quiet Standing / P. G. Morasso, V. Sanguineti. — DOI 10.1152/jn.2002.88.4.2157 // J. of Neurophysiology. — 2002. — Vol. 88. — P. 2157—2162.
390. *Morasso P.* Quiet standing: The Single Inverted Pendulum model is not so bad after all / P. Morasso, A. Cherif, J. Zenzeri. — DOI 10.1371/journal.pone.0213870 // PLoS One. — 2019. — Vol. 14, № 3. — e0213870.
391. *Moreno A.* Balancing act: a comprehensive review of vestibular evaluation in cochlear implants / A. Moreno, M. Castillo-Bustamante, J. A. Prieto. — DOI 10.7759/cureus.5526 // Cureus. — 2024. — Vol. 16, № 2. — e552611.
392. Morphological correlation between caloric tests and vestibular hydrops in Ménière's disease using intravenous Gd enhanced inner ear MRI / J. E. Choi, Y. K. Kim, Y. S. Cho [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0188301 // PLoS One. — 2017. — Nov. 30. — Vol. 12 (11). — e0188301.
393. *Moser E. I.* Place cells, grid cells, and the brain's spatial representation system / E. I. Moser, E. Kropff, M. B. Moser. — DOI 10.1146/annurev.neuro.31.061307.090723 // Annu. Rev. Neurosci. — 2008. — Vol 31. — P. 69—89.
394. Motor mechanisms of balance during quiet standing / D. A. Winter, A. E. Patla, M. Ishac, W. H. Gage. — DOI 10.1016/s1050-6411(02)00085-8 // J. Electromyogr. Kinesiol. — 2003. — Vol. 13, № 1. — P. 49—56.
395. *MsCaslin D. L.* Electronystagmography and videonystagmography / D. L. MsCaslin. — San Diego; Oxford; Melbourne: Plural Publishing inc., 2012. — 213 p.
396. Müller-Wöhrstein S. Galvanic vestibular stimulation alters the sense of upright / S. Müller-Wöhrstein, H. O. Karnath. — DOI 10.1007/s00221-025-07193-7 // Experimental Brain Research. — 2025. — Vol. 243, № 12. — Art. 246. — PMID 41236545. — PMCID PMC12618296.
397. *Neuhauser H. K.* The epidemiology of dizziness and vertigo / H. K. Neuhauser. — DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00005-4> // Handbook of Clinical Neurology. — 2016. — Vol. 137. — P. 67—82.

398. Neural substrates underlying vestibular compensation: contribution of peripheral versus central processing / K. E. Cullen, S. G. Sadeghi, M. Beraneck, L. B. Minor. — DOI 10.3233/VES-2009-0357 // J. Vestib. Res. — 2009. — Vol. — 19. — P. 171—182.
399. Neurological update: neuro-otology 2023 / G. M. Halmágyi, G. Akdal, M. S. Welgampola, C. Wang. — DOI 10.1007/s00415-023-11922-9 // J. Neurol. — 2023. — Vol. 270, № 12. — P. 6170—6192.
400. New treatment strategy for cupulolithiasis associated with benign paroxysmal positional vertigo of the lateral canal: the head-tilt hopping exercise / Yamanaka T. [et al.]. — DOI 10.1007/s00405-013-2808-2 // European archives of oto-rhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology — Head and Neck Surgery. — 2014. — Vol. 271, № 12. — P. 3155—60.
401. *Newman-Toker D. E.* Diagnosing stroke in acute vertigo: the HINTS family of eye movement tests and the future of the “Eye ECG” / D. E. Newman-Toker, I. S. Curthoys, G. M. Halmagyi. — DOI 10.1055/s-0035-1564298 // Semin. Neurol. — 2015. — Vol. 35, № 5. — P. 506—521.
402. Noise-enhanced vestibular input improves dynamic walking stability in healthy subjects / M. Wuehr, E. Nusser, S. Krafczyk [et al.]. — DOI 10.1016/j.brs.2015.08.017 // Brain Stimul. — 2016. — V. 9. — P. 109—116.
403. Noisy galvanic vestibular stimulation improves vestibular perception in bilateral vestibulopathy / M. Wuehr, J. Eder, A. Keywan, K. Jahn. — DOI 10.1007/s00415-022-11438-8 // J. Neurol. — 2023. — Vol. 270, № 2. — P. 938—943.
404. Noisy vestibular stimulation improves body balance in bilateral vestibulopathy / S. Iwasaki, Y. Yamamoto, F. Togo [et al.]. — DOI 10.1212/WNL.0000000000000215 // Neurology. — 2014. — Vol. 82, № 11. — P. 969—75.
405. Noisy vestibular stimulation improves dynamic walking stability in bilateral vestibulopathy / M. Wuehr, E. Nusser, J. Decker [et al.]. — DOI 10.1212/WNL.00000000000002748 // Neurology. — 2016. — Vol. 86, № 23. — P. 2196—202.
406. Noisy vestibular stimulation improves vestibulospinal function in patients with bilateral vestibulopathy / R. Schniepp, J. C. Boerner, J. Decker [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-018-8814-y // J. Neurol. — 2018. — Vol. 265 (Suppl 1). — P. 57—62.
407. Noisy vestibular stimulation increases gait speed in normals and in bilateral vestibulopathy / S. Iwasaki, C. Fujimoto, N. Egami [et al.]. — DOI 10.1016/j.brs.2018.03.005 // Brain Stimul. — 2018. — Vol. 11, № 4. — P. 709—715.

408. *Norré M. E.* Treatment of vertigo based on habituation. II. 2. Technique and results of habituation training / M. E. Norré, W. de Weerft. — DOI 10.1017/s0022215100089726 // *Journal of Laryngology and Otology*. — 1980. — Vol. 94, № 9. — P. 971—977.
409. *Nouri S.* Variability in the vestibulo-ocular reflex and vestibular perception / S. Nouri, F. Karmali. — DOI 10.1016/j.neuroscience.2018.08.025 // *Neuroscience*. — 2018. — Vol. 393. — P. 350—365.
410. Novel ways to modulate the vestibular system: Magnetic vestibular stimulation, deep brain stimulation and transcranial magnetic stimulation / transcranial direct current stimulation / A. A. Tarnutzer [et al.]. — DOI 10.1016/j.jns.2023.120544 // *Journal of the neurological sciences*. — 2023. — Vol. 445. — e120544.
411. *Nusseck M.* Comparison of Postural Stability and Balance Between Musicians and Non-musicians / M. Nusseck, C. Spahn. — DOI 10.3389/fpsyg.2020.01253 // *Front Psychol*. — 2020. — Vol. 11. — P. 1253.
412. Nystagmus in adult patients with acute otitis media or otitis media with effusion without dizziness / C. H. Kim, J. Lee, B. Choi, J. E. Shin. — DOI 10.1371/journal.pone.0250357 // *PLoS ONE*. — 2021. — Vol. 16, № 5. — e0250357.
413. Oculomotor strategies and their effect on reducing gaze position error / M. C. Schubert, C. D. Hall, V. Das [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0b013e3181c2dbae // *Otol Neurotol*. — 2010. — Vol. 31, № 2. — P. 228—31.
414. Optokinetic stimulation for the treatment of vestibular and balance disorders: a systematic review with meta-analysis / E. Obrero-Gaitán, A. Sedeño-Vidal, A. B. Peinado-Rubia [et al.]. — DOI 10.1007/s00405-024-08604-1 // *Eur. Arch. Otorhinolaryngol*. — 2024. — Vol. 281, № 9. — P. 4473—4484.
415. *Ortuño-Cortés M. A.* Posturografía estática frente a pruebas clínicas en ancianos con vestibulopatía. — DOI 10.1016/j.otorri.2012.03.006 / M. A. Ortuño-Cortés, E. Martín-Sanz, R. Barona-de Guzmán // *Acta Otorrinolaringológica Española*. — 2008. — Vol. 59, № 7. — P. 334—340. Spanish.
416. Otic capsule dehiscence syndrome: superior semicircular canal dehiscence syndrome with no radiographically visible dehiscence / P. A. Wackym, S. J. Wood, D. A. Siker, D. M. Carter. — DOI 10.1177/014556131509400802 // *Ear, Nose & Throat Journal*. — 2015. — Vol. 94. — P. E8—E24.
417. *Pagarkar, W.* Dizziness / W. Pagarkar, R. Davies. — DOI 10.1383/medc.32.9.18.49908 // *Medicine*. — 2004. — Vol. 32, iss. 9. — P. 14—18.

418. *Paplou V.* Age-related changes in the cochlea and vestibule: shared patterns and processes / V. Paplou, N. M. A. Schubert, S. J. Pyott. — DOI 10.3389/fnins.2021.680856 // *Front. Neurosci.* — 2021. — Vol. 15. — e680856.
419. Paradigm shift in acute dizziness: is caloric testing obsolete? / M. Morrison, A. Korda, E. Zamaro [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-021-10667-7 // *Journal of neurology.* — 2022. — Vol. 269, № 2. — P. 853—860.
420. Patients with vertigo/dizziness of unknown origin during follow-ups by general otolaryngologists at outpatient town clinic / D. Nishikawa, M. Masuda, M. Terada [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.anl.2020.09.012> // *Auris Nasus Larynx.* — 2021. — Vol. 48, № 3. — P. 400—407.
421. *Patterson J. N.* Stability of Vestibular Testing in Children with Hearing Loss / J. N. Patterson, S. Chen, K. L. Janky. — DOI 10.1044/2022_AJA-21-00257 // *Am. J. Audiol.* — 2022. — Vol. 31, № 4. — P. 1155—1166.
422. *Pavlou M.* The assessment of increased sensitivity to visual stimuli in patients with chronic dizziness / M. Pavlou, R. A. Davies, A. M. Bronstein. — DOI 10.3233/VES-2006-164-509 // *J Vestib Res.* — 2006. — Vol. 16. — P. 223—31.
423. *Pavlou M.* The use of optokinetic stimulation in vestibular rehabilitation / M. Pavlou. — DOI 10.1097/NPT.0b013e3181dde6bf // *J. Neuro.l Phys. Ther.* — 2010. — Vol. 34, № 2. — P. 105—10.
424. Pediatric semicircular canal dehiscence: radiographic and histologic prevalence, with clinical correlations / D. A. Meiklejohn, C. E. Corrales, B. M. Boldt [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000000811 // *Otology & Neurotology.* — 2015. — Vol. 36. — P. 1383—1389.
425. Peng Fluctuating Sensorineural Hearing Loss / L. Hui, Z. Kunpeng, Z. Xuemei, A. Kevin. — DOI <https://doi.org/10.1159/000500658> // *Audiol Neurotol.* — 2019. — Vol. 24 (3). — P. 109—116.
426. *Peultier-Celli L.* Postural Control in Lyric Singers / L. Peultier-Celli, M. Audouin, C. Beyaert, P. Perrin. — DOI 10.1016/j.jvoice.2020.04.019 // *Journal of Voice.* — 2022. — Vol. 36, no. 1. — P. 141.e11—141.e17.
427. *Peterka R. J.* Age-related changes in human posture control: sensory organization tests / R. J. Peterka, F. O. Black // *J. Vestib. Res.* — 1990 — 1991. — Vol. 1, № 1. — P. 73—85.
428. *Peterka, R. J.* Sensorimotor integration in human postural control / R. J. Peterka // *Journal of Neurophysiology.* — 2002. — Vol. 88, No. 3. — P. 1097—1118. — DOI 10.1152/jn.2002.88.3.1097. — PMID 12205132.

429. *Peterka R. J.* Sensory integration for human balance control / R. J. Peterka, N. Perez, J. Rama-Lopez. — DOI 10.1016/B978-0-444-63916-5.00002-1 // Handbook of clinical neurology. — 2018. — Vol. 159. — P. 27—42.
430. Physical therapy outcomes for persons with bilateral vestibular loss / K. E. Brown, S. L. Whitney, D. M. Wrisley, J. M. Furman. — DOI 10.1097/00005537-200110000-00027 // Laryngoscope. — 2001. — Vol. 111, № 10. — P. 1812—7.
431. Pinky. Assessing the efficacy of vestibular rehabilitation in the treatment of vertigo/ Tahira Channa, Samar Anwar Memon Shamshad Zahra. — DOI <https://doi.org/10.53555/jptcp.v31i1.4196> // Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology. — 2024. — Vol. 31, № 1. — P. 1443—1448.
432. Platform posturography of patients with peripheral vestibular dysfunction in the non-acute phase of vertigo / K. Shimizu, T. Imai, R. Oya [et al.]. — DOI 10.1016/j.anl.2020.10.017 // Auris Nasus Larynx. — 2021. — Vol. 48, №. 4. — P. 577—582.
433. *Podsiadlo D.* The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons / D. Podsiadlo, S. Richardson. — DOI 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x // Journal of the American Geriatrics Society. — 1991. — Vol. 39, № 2. — P. 142-148.
434. Posterior semicircular canal dehiscence: a histopathologic human temporal bone study / S. Nomiya, S. Cureoglu, S. Kariya [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0b013e3181eb3309 // Otology & Neurotology. — 2010. — Vol. 31. — P. 1122—1127.
435. Posterior semicircular canal dehiscence: case series and systematic review / J. A. Lee, Y. F. Liu, S. A. Nguyen [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.00000000000002576 // Otology & Neurotology. — 2020. — Vol. 41, № 4. — P. 511—521.
436. Postflight balance control recovery in an elderly astronaut: a case report / W. H. Paloski [et al.]. — DOI 10.1097/00129492-200401000-00011 // Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society and European Academy of Otology and Neurotology. — 2004. — Vol. 25, №1. — 53—6.
437. Postural performance of vestibular loss patients under increased postural threat / L. R. Young, L. Bernard-Demanze, M. Dumitrescu [et al.]. — DOI 10.3233/VES-2012-0449 // J. Vestib. Res. — 2012. — Vol. 22, № 2. — P. 129—138.
438. Postural stability after treadmill and overground walking in young and elderly / Z. Hirjaková [et al.]. — DOI 10.1016/j.gaitpost.2020.05.014 // Gait & posture. — 2020. — Vol. 80. — P. 84—89.

439. Posture control in vestibular-loss patients / T. Mergner [et al.]. — DOI 10.1111/j.1749-6632.2008.03722.x // *Annals of the New York Academy of Sciences*. — 2009. — Vol. 1164. — P. 206—15.
440. Posture Deficits and Recovery After Unilateral Vestibular Loss: Early Rehabilitation and Degree of Hypofunction Matter / M. Lacour [et al.]. — DOI 10.3389/fnhum.2021.776970 // *Frontiers in human neuroscience*. — 2022. — Vol. 15. — e776970.
441. Practical anatomy and physiology of the caloric test / G. P. Jacobson [et al.]. — DOI 10.1016/B978-0-444-63437-5.00009-1 // *Semin Hear*. — 2011. — Vol. 32, № 3. — P. 189—200.
442. *Prasad A.* Optical identification of middle ear infection / A. Prasad, S. M. A. Hasan, M. R. Gartia. — DOI 10.3390/molecules25092239 // *Molecules*. — 2020. — Vol. 25, № 9. — P. 2239.
443. Preconditioning of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation with transcranial direct current stimulation: evidence for homeostatic plasticity in the human motor cortex / H. R. Siebner, N. Lang, V. Rizzo [et al.]. — DOI 10.1523/JNEUROSCI.5316-03.2004 // *J. Neurosci*. — 2004. — Vol. 24, № 13. — P. 3379—85.
444. Presbyvestibulopathy: Diagnostic criteria Consensus document of the classification committee of the Bárány Society / Y. Agrawal, R. van den Berg, F. Wuyts [et al.]. — DOI 10.3233/VES-190672 // *J. Vestib. Res*. — 2019. — Vol. 29, № 4. — P. 161—170.
445. Prevalence and impact of bilateral vestibular hypofunction: results from the 2008 US National Health Interview Survey / B. K. Ward, Y. Agrawal, H. J. Hoffman [et al.]. — DOI 10.1001/jamaoto.2013.3913 // *JAMA Otolaryngology — Head & Neck Surgery*. — 2013. — Vol. 139, No. 8. — P. 803—810. — PMID 23949355.
446. Prevalence, Determinants, and Consequences of Vestibular Hypofunction. Results From the KORA-FF4 Survey / E. Grill, M. Heuberger, R. Strobl [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2018.01076 // *Frontiers in Neurology*. — 2018. — Vol. 9, art. 1076. — PMID 30581415.
447. Probabilistic maps of visual topography in human cortex / L. Wang, R. E. Mruzek, M. J. Arcaro, S. Kastner. — DOI 10.1093/cercor/bhu277 // *Cerebral Cortex*. — 2015. — Vol. 25, № 10. — P. 3911—3931.
448. Prognostic value of initial electronystagmography findings in idiopathic sudden sensorineural hearing loss without vertigo. — DOI 10.1097/MAO.0b013e31817fdf94 / M. Junicho, H. Fushiki, S. Aso, Y. Watanabe // *Otology & Neurotology*. — 2008. — Vol. 29, № 7. — P. 905—909.

449. Prospective study on the efficacy of optokinetic training in the treatment of seasickness / E. Ressiot, M. Dolz, L. Bonne, R. Marianowski. — DOI 10.1016/j.anorl.2012.03.009 // Eur. Ann. Otorhinolaryngol. Head Neck Dis. — 2013. — Vol. 130, № 5. — P. 263—8.
450. ProximityHat: a head-worn system for subtle sensory augmentation with tactile stimulation / M. Berning, F. Braun, T. Riedel [et al.]. — DOI 10.1145/2802083.2802088 // International Symposium on Wearable Computers. — 2015. — P. 31—38.
451. Radiological prevalence of superior and posterior semicircular canal dehiscence in children / A. J. Saxby, C. Gowdy, M. Fandiño [et al.]. — DOI 10.1016/j.ijporl.2015.01.001 // International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology. — 2015. — Vol. 79. — P. 411—418.
452. *Rajamani S. K.* Comparison of Halmágyi—Curthoys Head Impulse (Thrust) Test with Romberg's Test in Detection of Vestibular Hypofunctioning in Vertigo Patients / S. K. Rajamani, R. S. Iyer, A. Venkatraman. — DOI <https://doi.org/10.3390/ohbm5010004> // Journal of Otorhinolaryngology, Hearing and Balance Medicine. — 2024. — Vol. 5, № 1. — P. 4.
453. Reaching in reality and virtual reality: a comparison of movement kinematics in healthy subjects and in adults with hemiparesis / A. Viau, A. G. Feldman, B. J. McFadyen [et al.] // J. Neuroengineering Rehabil. — 2004. — V. 1 (1). — P. 11.
454. Real sounds influence postural stability in people with vestibular loss but not in healthy controls / A. V. Lubetzky, M. Cosetti, D. Harel [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0317955 // PloS one. — 2025. — Vol. 20 (1) — e0317955.
455. Recommendations for Methodology of Virtual Reality Clinical Trials in Health Care by an International Working Group: Iterative Study JMIR / B. Birckhead, C. Khalil, X. Liu [et al.]. — DOI 10.2196/11973 // Ment Health. — 2019. — Vol. 6 (1). — e11973.
456. Recovery of dynamic visual acuity in bilateral vestibular hypofunction / S. J. Herdman, C. D. Hall, M. C. Schubert [et al.]. — DOI 10.1001/archotol.133.4.383 // Arch. Otolaryngol. Head. Neck. Surg. — 2007. — Vol. 133, № 4. — P. 383—389.
457. Rehabilitation of balance disorders in the patient with vestibular pathology / M. Pavlou, A. Shumway-Cook, F. B. Horak [et al.] // Clinical Disorders of Balance, Posture and Gait / A. M. Bronstein, T. Brandt, M. H. Woollacott, J. G. Nutt. — 2nd ed. — London: Arnold, 2004. — P. 317—343.
458. Relationship between the extent of endolymphatic hydrops and the severity and fluctuation of audiovestibular symptoms in patients with Meniere's disease and MRI evidence of hydrops / C. Jerin, S. Floerke, R. Maxwell, R. Gürkov. — DOI 10.1097/

- MAO.00000000000001681 // Otolaryngology & Neurotology. — 2018. — Vol. 39. — P. 119—130.
459. Remote Delivery of Vestibular Rehabilitation for Vestibular Dysfunction: A Systematic Review / C. A. Perez-Heydrich, I. Creary-Miller, M. Spann, Y. Agrawal. — DOI 10.1097/MAO.00000000000004218// Otolaryngology & Neurotology. — 2024. — Vol. 45, № 6. — P. 608—618. — PMID 38865717.
 460. Research on the Effects of a Web-Based System With Oculomotor and Optokinetic Stimuli on Vestibular Rehabilitation / G. Ertunc Gulcelik [et al.]. — DOI 10.1097/PHM.00000000000001584 //American journal of physical medicine & rehabilitation. — 2021. — Vol. 100 (6). — P. 555—562.
 461. Residual dizziness after BPPV management: exploring pathophysiology and treatment beyond canalith repositioning maneuvers / O. N. Özgürin [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2024.1382196 // Frontiers in neurology. — 2024. — Vol. 15. — e1382196.
 462. *Safavynia S. A.* Task-level feedback can explain temporal recruitment of spatially fixed muscle synergies throughout postural perturbations / S. A. Safavynia, L. H. Ting. — DOI 10.1152/jn.00653.2011 // Journal of Neurophysiology. — 2012. — Vol. 107, № 1. — P. 159—177. — PMID 21957219. — PMCID PMC3349688.
 463. *Schubert M. C.* New advances regarding adaptation of the vestibulo-ocular reflex / M. C. Schubert, A. A. Migliaccio. — DOI 10.1152/jn.00729.2018 // J. Neurophysiol. — 2019. — Vol. 122, № 2. — P. 644—658.
 464. *Schubert, M. C.* Saccade and vestibular ocular motor adaptation / M. C. Schubert, D. S. Zee. — DOI 10.3233/RNN-2010-0523 // Restor. Neurol. Neurosci. — 2010. — Vol. 28, No. 1. — P. 9—18.
 465. *Schubert M. C.* Vestibulo-ocular physiology underlying vestibular hypofunction / M. C. Schubert, L. B. Minor. — DOI 10.1093/ptj/84.4.373 // Phys. Ther. — 2004. — Vol. 84, № 4. — P. 373—85.
 466. Scoping out noisy galvanic vestibular stimulation: a review of the parameters used to improve postural control/ R. McLaren, P. F. Smith, R. L. Taylor [et al.]. — DOI 10.3389/fnins.2023.1156796 // Front Neurosci. — 2023. — Vol. 17, e1156796.
 467. Sensitivity evaluation in air and water caloric stimulation of the vestibular organs using videonystagmography. — DOI 10.1016/j.otpol.2013.10.002/ A. Jałocha-Kaczka, P. Pietkiewicz, H. Zielińska-Bliźniewska [et al.] // Otolaryngol. Pol. — 2014. — Vol. 68, № 5. — P. 227—32.

468. Sex differences in caloric nystagmus intensity: Should reference values be updated? / J. Gerb [et al.]. — DOI 10.1111/nyas.15310 // *Annals of the New York Academy of Sciences*. — 2025. — Vol. 1546 (1). — P. 136—143.
469. Sham transcranial electrical stimulation and its effects on corticospinal excitability: a systematic review and meta-analysis / T. D. Dissanayaka, M. Zoghi, M. Farrell [et al.]. — DOI 10.1515/revneuro-2017-0026 // *Rev Neurosci*. — 2018. — Vol. 29, № 2. — P. 223—232.
470. *Shepard N. T.* Habituation and balance retraining therapy. A retrospective review / N. T. Shepard, S. A. Telian, M. Smith-Wheelock. — DOI 10.1016/S0733-8619(18)30367-0 // *Neurol Clin*. — 1990. — Vol. 8, № 2. — P. 459—75.
471. *Shepard N. T.* Programmatic vestibular rehabilitation / N. T. Shepard, S. A. Telian. — DOI 10.1016/S0194-59989570317-9 // *Otolaryngol. Head Neck Surg*. — 1995. — Vol. 112. — P. 173—182.
472. *Shepard N. T.* The caloric irrigation test / N. T. Shepard, G. P. Jacobson. — DOI 10.1016/B978-0-444-63437-5.00009-1 // *Handb. Clin. Neurol*. — 2016. — Vol. 137. — P. 119—31.
473. *Sherrington C. S.* The Integrative Action of the Nervous System / C. S. Sherrington. — New York : Scribner, 1906. — URL: <https://archive.org/details/integrativeactio00sher/page/n5/mode/2up> (дата обращения: 20.12.2025). — Текст : электронный.
474. Similarities and Differences Between Vestibular and Cochlear Systems — A Review of Clinical and Physiological Evidence / I. S. Curthoys, J. W. Grant, C. J. Pastras [et al.]. — DOI 10.3389/fnins.2021.695179 // *Front Neurosci*. — 2021 — Vol. 15. — P. 695179. — PMID: 34456671.
475. Simulator based rehabilitation in refractory dizziness / M. Pavlou, A. Lingeswaran, R. A. Davies [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-004-0476-2 // *J. Neurol*. — 2004. — Vol. 251. — P. 983—95.
476. Sitting-up vertigo and trunk retropulsion in patients with benign positional vertigo but without positional nystagmus / B. Büki, L. Simon, S. Garab [et al.] // *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. — 2011. — Vol. 82, № 1. — P. 98—104. — DOI 10.1136/jnnp.2009.199208. — PMID 20660923. — PMCID PMC4196320.
477. *Smith P. F.* From ear to uncertainty: vestibular contributions to cognitive function / P. F. Smith, Y. Zheng. — DOI 10.3389/fnint.2013.00084 // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. — 2013. — Vol. 7. — P. 84.

478. *Somisetty S.* Neuroanatomy, Vestibulo-ocular Reflex / S. Somisetty, J. M. Das // StatPearls [Internet]. — Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2023. — PMID 31424881.
479. *Song H. S.* Fear of falling and associated factors among patients with peripheral vestibular hypofunction / H. S. Song, H. J. Lee. — DOI 10.12965/jer.2040094.047 // J. Exerc. Rehabil. — 2020. — Vol. 16, № 2. — P. 162—167.
480. *Sorathia S.* Dizziness and the Otolaryngology Point of View / S. Sorathia, Y. Agrawal, M. C. Schubert. — DOI 10.1016/j.mcna.2018.06.004 // Med. Clin. North Am. — 2018. — Vol. 102, № 6. — P. 1001—1012.
481. *Spencer R. F.* Biological organization of the extraocular muscles / R. F. Spencer, J. D. Porter. — DOI 10.1016/S0079-6123(05)51002-1 // Progress in Brain Research. — 2006. — Vol. 151. — P. 43—80.
482. Stabilometric assessment of vestibular function in children with a medium otitis / G. Garyuk, T. Pochuieva, I. Redka, Iu. Lozova. — DOI 10.15587/2519-4798.2021.241951 // ScienceRise: Medical Science. — 2021. — № 5 (44). — P. 32—40.
483. Stabilometry in balance assessment of dizzy and normal subjects / R. M. Kantner, A. M. Rubin, C. W. Armstrong, V. Cummings. — DOI 10.1016/0196-0709(91)90120-5 // American Journal of Otolaryngology. — 1991. — Vol. 12, Issue 4. — P. 196—204.
484. Static and dynamic stabilometric force platform study of spinopelvic anterior sagittal imbalance / M. Ould-Slimane, F. Luc, N. Chastan [et al.]. — DOI 10.1016/j.otsr.2021.103195 // Orthop Traumatol Surg Res. — 2022. — Vol. 108, № 8. — P. 103195.
485. Stochastic resonance in the human vestibular system — Noise-induced facilitation of vestibulospinal reflexes / M. Wuehr [et al.]. — DOI 10.1016/j.brs.2017.10.016 // Brain stimulation. — 2018. — Vol. 11, № 2. — P. 261—263.
486. Stochastic resonance in the synaptic transmission between hair cells and vestibular primary afferents in development / A. Flores, S. Manilla, N. Huidobro [et al.]. — DOI 10.1016/j.neuroscience.2016.02.051 // Neuroscience. — 2016. — Vol. 13 (322). — P. 416—29.
487. Structural and functional connectivity mapping of the vestibular circuitry from human brainstem to cortex / V. Kirsch, D. Keiser, T. Hergenroeder [et al.] // Brain Structure and Function. — 2016. — Vol. 221. — P. 1291—1308.
488. Structural neural connectivity of the vestibular nuclei in the human brain: a diffusion tensor imaging study / S. Jang, M. Lee, S. Yeo, H. Kwon. — DOI 10.4103/1673-5374.230304 // Neural Regeneration Research. — 2018. — Vol. 13, № 4. — P. 727—730.

489. *Strupp M.* Diagnose und Differenzialdiagnose von peripheren und zentralen Schwindelsyndromen / M. Strupp, K. Feil, A. Zwergal. — DOI 10.1055/a-1057-3239 // *Laryngorhinootologie*. — 2021. — Bd. 100, № 3. — S. 176—183.
490. Subjective and objective responses to caloric stimulation help separate vestibular migraine from another vestibular disorders / I. P. Hannigan, S. M. Rosengren, G. K. Bharathy [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-023-12027-z // *J. Neurol.* — 2024. — Vol. 271, № 2. — P. 887—898.
491. *Sun X.* Vestibular rehabilitation: Proven benefits in enhancing balance and reducing dizziness / X. Sun, Z. Cao, X. Li. — DOI 10.17219/acem/193242 // *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. — 2025. — Vol. 34, № 9. — P. 1433—1449. — PMID 40470864.
492. Superior semicircular canal dehiscence syndrome: diagnostic criteria consensus document of the committee for the classification of vestibular disorders of the Bárány Society / B. K. Ward, R. van de Berg, V. van Rompaey [et al.]. — DOI 10.3233/VES-200004 // *Journal of Vestibular Research*. — 2021. — Vol. 31. — P. 131—141.
493. Superior semicircular canal dehiscence: diagnosis and management / C. Mau, N. Kamal, S. Badeti [et al.]. — DOI 10.1016/j.jocn.2017.11.019 // *Journal of Clinical Neuroscience*. — 2018. — Vol. 48. — P. 58—65.
494. Suppression of the vestibulo-ocular reflex using visual and nonvisual stimuli / G. P. Jacobson, E. G. Piker, C. Do [et al.]. — DOI 10.1044/1059-0889(2012/12-0021 // *American Journal of Audiology*. — 2012. — Vol. 21, № 2. — P. 226—231.
495. *Takakusaki K.* Functional neuroanatomy for posture and gait control / K. Takakusaki. — DOI 10.14802/jmd.16062 // *Journal of Movement Disorders*. — 2017. — Vol. 10, № 1. — P. 1—17.
496. *Takeda T.* A possible mechanism of the formation of endolymphatic hydrops and its associated inner ear disorders / T. Takeda, S. Takeda, A. Kakigi. — DOI 10.1016/j.anl.2019.09.005 // *Auris Nasus Larynx*. — 2020. — Vol. 47, № 1. — P. 25—41.
497. *Telian S. A.* Update on vestibular rehabilitation therapy / S. A. Telian, N. T. Shepard // *Otolaryngol Clin North Am*. — 1996. — Vol. 29, № 2. — P. 359—71.
498. *Temirbekov D.* The Relationship Between the Long-Term Non-Rehabilitated Benign Paroxysmal Positional Vertigo and Vestibular Hypofunction / D. Temirbekov, E. Sakallı, G. Kılıç. — DOI 10.4274/haseki.galenos.2021.6439 // *Med. Bull. Haseki*. — 2021. — Vol. 59, № 1. — P. 25—31.
499. The contribution of peripheral and central vision in the control of movement amplitude / G. P. Lawrence, M. A. Khan, E. Buckolz, A. R. Oldham. — DOI 10.1016/j.

- humov.2006.02.001 // Human Movement Science. — 2006. — Vol. 25, № 3. — P. 326—338. — PMID 16616964.
500. The dissociation of video head impulse test (vHIT) and bithermal caloric test results provide topological localization of vestibular system impairment in patients with “definite” Ménière’s disease / D. L. McCaslin [et al.]. — DOI 10.1044/2014_AJA-14-0040 // American journal of audiology. — 2015. — Vol. 24 (1). — P. 1—10.
 501. The effect of age on vestibular rehabilitation outcomes / S. L. Whitney, D. M. Wrisley, G. F. Marchetti, J. M. Furman. — DOI 10.1097/00005537-200210000-00015 // Laryngoscope. — 2002. — Vol. 112, № 10. — P. 1785—90.
 502. The Effect of Auditory Cues on Static Postural Control: A Systematic Review and Meta-Analysis / H. Zarei, A. A. Norasteh, L. King [et al.]. — DOI 10.1159/000525951 // Audiology & neuro-otology. — 2022. — Vol. 27, № 6. — P. 427—436.
 503. The effect of cochlear implant surgery on vestibular function in adults: a meta-analysis study / F. C. Vaz, L. Petrus, W. R. Martins [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2022.947589 // Frontiers in Neurology. — 2022. — Vol. 13. — Article 947589.
 504. The effect of long-term exposure to microgravity on the perception of upright / L. R. Harris [et al.]. — DOI 10.1038/s41526-016-0005-5 // NPJ microgravity. — 2017. — Vol. 3, № 3. — 12 Jan.
 505. The effect of migraine and motion sickness on symptoms evoked by the caloric vestibular test / O. Gedik-Soyuyuce [et al.]. — DOI 10.3233/VES-210046 // Journal of vestibular research: equilibrium & orientation. — 2022. — Vol. 32 (2). — P. 135—144.
 506. The Effect of Supervision in Vestibular Rehabilitation in Patients with Acute or Chronic Unilateral Vestibular Dysfunction: A Systematic Review / A. Lilius [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000003354 // Otolaryngology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society and European Academy of Otolaryngology and Neurotology. — 2021. — Vol. 42, (10). — P. e1422-e1431.
 507. The effect of vestibular rehabilitation in Meniere’s disease: a systematic review and meta-analysis of clinical trials / A. Rezaeian, H. Abtahi, M. Moradi, Z. Farajzadegan. — DOI 10.1007/s00405-023-08066-x // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. — 2023. — Vol. 280, № 9. — P. 3967—3975.
 508. The Effect of Vestibular Rehabilitation in Patients with Ménière’s Disease / B. F. van Esch, E. S. van der Scheer-Horst, H. J. van der Zaag-Loonen [et al.]. — DOI 10.1177/0194599816678386 // Otolaryngol. Head Neck Surg. — 2017. — Vol. 156, № 3. — P. 426—434.

509. The effectiveness of exercise-based vestibular rehabilitation in adult patients with chronic dizziness: a systematic review / B. Kundakci, A. Sultana, A. J. Taylor, M. A. Alshehri. — DOI 10.12688/f1000research.14089.1. — 2018. — Vol. 7. — P. 276.
510. The effectiveness of vestibular rehabilitation in Ménière's disease patients with chronic imbalance / Y. Zhuang, P. Wu, W. Li, S. Xi. — DOI 10.13201/j.issn.2096-7993.2022.09.005 // Lin Chuang Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. — 2022. — Vol. 36, № 9. — P. 675—678.
511. The Effects of Vibratory and Acoustic Stimulations on Postural Control in Healthy People: A Systematic Review / R. Minino, A. Romano, L. E. Troisi [et al.]. — DOI 10.1007/s10439-023-03136-x // Annals of biomedical engineering. — 2023. — Vol. 51, № 4. — P. 643—659.
512. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: a systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment / L. Bahureksa, B. Najafi, A. Saleh [et al.]. — DOI 10.1159/000445831 // Gerontology. — 2017. — Vol. 63. — № 1. P. 67—83.
513. The Importance of Frailty in Older Adults with Benign Paroxysmal Positioning Vertigo / S. Pauwels [et al.] . — DOI 10.1097/NPT.0000000000000495// Journal of neurologic physical therapy: JNPT. — 2025. — Vol. 49, № 2 — P. 99—107.
514. The Instrumented Timed “Up & Go” Test Distinguishes Turning Characteristics in Vestibular Hypofunction / K. J. Kim [et al.]. — DOI 10.1093/ptj/pzab103 // Physical therapy. — 2021. — Vol. 101 (7). — pzab103.
515. The Next Challenges of Vestibular Implantation in Humans / J. J. A. Stultiens, R. F. Lewis, J. O. Phillips [et al.]. — DOI 10.1007/s10162-023-00906-1 // JARO J. Assoc. Res. Otolaryngol. — 2023. — Vol. 24. — P. 401—412.
516. The potential of noisy galvanic vestibular stimulation for optimizing and assisting human performance / K. Lajoie, D.S. Marigold, B. A. Valdés, C. Menon. — DOI 10.1016/j.neuropsychologia.2021.107751 // Neuropsychologia. — 2021. — Feb 12. — Vol. 152. — e107751.
517. The relationship between vestibular function and topographical memory in older adults / F. H. Previc, W. W. Krueger, R. A. Ross [et al.]. — DOI 10.3389/fnint.2014.00046 // Frontiers in Integrative Neuroscience. — 2014. — Vol. 8. — P. 46.
518. The response of guinea pig primary utricular and saccular irregular neurons to bone-conducted vibration (BCV) and air-conducted sound (ACS) / I. S. Curthoys,

- V. Vulovic, A. M. Burgess [et al.]. — DOI 10.1016/j.heares.2015.10.019 // *Hear Res.* — 2016. — Vol. 33. — P. 131—43. — PMID: 26626360.
519. The role of sensory augmentation for people with vestibular deficits: Real-time balance aid and/or rehabilitation device? / K. Sienko, S. Whitney, W. Carender, C. Wall. — DOI 10.3233/ves-170606 // *J. Vestib. Res.* — 2017. — Vol. 27. — P. 63—76.
 520. The use of virtual reality for people with balance and vestibular disorders: the Pittsburgh experience / S. L. Whitney, P. J. Sparto, K. A. Alahmari [et al.] // *Physical Therapy Reviews.* — 2009. — Vol. 14, № 5. — P. 299—306.
 521. The vestibular implant: frequencydependency of the electrically evoked vestibulo-ocular reflex in humans / R. van de Berg, N. Guinand, T. A. Nguyen [et al.]. — DOI 10.3389/fnsys.2014.00255 // *Front. Syst. Neurosci.* — 2015. — Vol. 8. — P. 255.
 522. The vestibular implant: Opinion statement on implantation criteria for research / R. van de Berg, A. Ramos, V. van Rompaey [et al.] // *Journal of Vestibular Research.* — 2020. — Vol. 30, № 3. — P. 213—223. — DOI 10.3233/VES-200701. — PMID 32651339. — PMCID PMC9249290.
 523. The video Head Impulse Test (vHIT) detects vertical semicircular canal dysfunction / H. G. Macdougall [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0061488 // *PloS one.* — 2013. — Vol. 8 (4). — e61488.
 524. The video head impulse test (vHIT) of semicircular canal function — age-dependent normative values of VOR gain in healthy subjects / L. A. McGarvie, H. G. MacDougall, G. M. Halmagyi [et al.] // *Frontiers in Neurology.* — 2015. — Vol. 6. — P. 154.
 525. Three-dimensional, virtual reality vestibular rehabilitation for chronic imbalance problem caused by Ménière's disease: a pilot study / S.-Y. Hsu, T.-Y. Fang, Sh.-Ch. Yeh, M.-Ch. Su. — DOI <https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1203027> // *Journal Disability and Rehabilitation.* — 2017. — Vol. 39, Issue 16. — P. 1601—1606.
 526. *Todd N. P.* A utricular origin of frequency tuning to low-frequency vibration in the human vestibular system? / N. P. Todd, S. M. Rosengren, J. G. Colebatch. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.12.055> // *Neuroscience Letters.* — 2009. — Vol. 451, Issue 3 — P. 175—180.
 527. *Todd N. P.* Tuning and sensitivity of the human vestibular system to low-frequency vibration / N. P. Todd, S. M. Rosengren, J. G. Colebatch // *Neurosci. Lett.* — 2008. — V. 444. — P. 36— 41.
 528. Treatment Efficacy of Various Maneuvers for Lateral Canal Benign Paroxysmal Positional Vertigo with Apogeotropic Nystagmus: A Randomized Controlled Trial /

- H. Lee, E. J. Jeon, S. Nam [et al.]. — DOI 10.21053/ceo.2023.00619 // Clin. Exp. Otorhinolaryngol. — 2023. — Vol. 16, № 3. — P. 251—258.
529. *Trinus K. F.* (2011). Concept of the vestibular analyzer. Neurology, neuropsychiatry, Psychosomatics. 66. — DOI 10.14412/2074-2711-2011-150.
530. Type, dose, and outcomes of physical therapy interventions for unilateral peripheral vestibular hypofunction: protocol for a systematic review / C. W. Hoppes, E. R. Anson, W. J. Carender [et al.]. — DOI 10.1186/s13643-023-02328-9 // Syst Rev. — 2023. — Vol. 12, № 1. — P. 164.
531. *Uneri A.* Vestibular rehabilitation with electrotactile vestibular substitution: early effects / A. Uneri, S. Polat // European Archives of Oto-Rhino-Laryngology. — 2009. — Vol. 266, № 8. — P. 1199—1203. — DOI 10.1007/s00405-008-0886-3. — PMID 19082618.
532. Unilateral vestibular failure suppresses cortical visual motion processing / A. Deutschländer, K. Hüfner, R. Kalla [et al.]. — DOI 10.1093/brain/awn035 // Brain. — 2008. — Vol. 131, pt. 4. — P. 1025—1034.
533. Usability of the head impulse test in routine clinical practice in the emergency department to differentiate vestibular neuritis from stroke / B. Machner, K. Erber, J. H. Choi [et al.]. — DOI 10.1111/ene.14707 // Eur. J. Neurol. — 2021. — Vol. 28, № 5. — P. 1737—1744.
534. Using low levels of stochastic vestibular stimulation to improve locomotor stability / A. P. Mulavara, I. S. Kofman, Y. E. de Dios [et al.]. — DOI 10.3389/fnsys.2015.00117 // Front Syst Neurosci. — 2015. — Vol. 9. — P. 117.
535. Using Low Levels of Stochastic Vestibular Stimulation to Improve Balance Function / R. Goel, I. Kofman, J. Jeevarajan [et al.]. — DOI 10.1371/journal.pone.0136335 // PLoS One. — 2015. — Vol. 21, № 10 (8). — e0136335.
536. Vascular vertigo and dizziness: Diagnostic criteria / J. S. Kim [et al.]. — DOI 10.3233/VES-210169 // Journal of vestibular research: equilibrium & orientation. — 2022. — Vol. 32 (3). — P. 205—222.
537. Vertigo in children / K. Pawlak-Osińska, H. Kaźmierczak, R. Kuczyńska, A. Szaflarska-Poplawska // International Tinnitus Journal. — 2006. — Vol. 12, № 2. — P. 185—189.
538. Vertigo with sudden hearing loss: audiovestibular characteristics / J. M. Pogson, R. L. Taylor, A. S. Young [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-016-8214-0 // Journal of Neurology. — 2016. — Vol. 263, № 10. — P. 2086—2096.

539. Vestibular activation by bone conducted sound / M. S. Welgampola, S. M. Rosengren, G. M. Halmagyi, J. G. Colebatch. — DOI 10.1136/jnnp.74.6.771 // J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry. — 2003. — Vol. 74. — P. 771—778.
540. Vestibular compensation and vestibular rehabilitation. Current concepts and new trends / A. Deveze, L. Bernard-Demanze, F. Xavier [et al.]. — DOI 10.1016/j.neucli.2013.10.138 // Neurophysiol Clin. — 2014. — Vol. 44, № 1. — P. 49—57.
541. Vestibular compensation: the neuro-otologist's best friend / M. Lacour [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-015-7903-4 // Journal of neurology. — 2016. — Vol. 263, Suppl 1. — P. S54—64.
542. Vestibular disorders — diagnosis, new classification and treatment / M. Strupp, J. Długaiczek, B. B. Ertl-Wagner [et al.]. — DOI 10.3238/arztebl.2020.0300 // Deutsches Ärzteblatt international. — 2020. — Vol. 117. — P. 300—310
543. Vestibular Dysfunction / J. M. Dougherty, M. Carney, M. H. Hohman, P. D. Emmady // StatPearls [Internet]. — Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2026. — PMID 32644352.
544. Vestibular dysfunction and hearing outcome in idiopathic sudden sensorineural hearing loss / A. Omidvari, A. Asghari, M. Ahadi [et al.]. — DOI 10.1017/S0022215125000672. — PMID 40558478 // The Journal of Laryngology & Otology. — 2025. — Vol. 139, № 8. — P. 713—717.
545. Vestibular function in children and adults before and after unilateral or sequential bilateral cochlear implantation / R. Guan, Y. Wang, S. Wu [et al.]. — DOI 10.3389/fneur.2021.675502 // Frontiers in Neurology. — 2021. — Vol. 12. — Article 675502.
546. Vestibular implant: does it really work? A systematic review / Y. J. Azevedo, A. L. L. Ledesma, L. V. Pereira [et al.] // Brazilian Journal of Otorhinolaryngology. — 2019. — Vol. 85, № 6. — P. 788—798. — DOI 10.1016/j.bjorl.2019.07.011. — PMID 31606334. — PMCID PMC9443005.
547. Vestibular migraine or Meniere's disease: a diagnostic dilemma / J.Y. Chen [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-022-11532-x // Journal of neurology. — 2023. — Vol. 270 (4). — P. 1955-1968.
548. Vestibular neuritis affects both superior and inferior vestibular nerves / R. L. Taylor [et al.]. — DOI 10.1212/WNL.0000000000003223 // Neurology. — 2016. — Vol. 87, № 16. — P. 1704—1712.
549. Vestibular Neuritis: Recent Advances in Etiology, Diagnostic Evaluation, and Treatment / T. N. Le [et al.]. — DOI 10.1159/000490275 // Advances in oto-rhino-laryngology. — 2019. — Vol. 82. — P. 87—92.

550. Vestibular Neuronitis. StatPearls Internet / T. Smith, J. Rider, S. Cen, J. Borger. — Текст: электронный // StatPearls Publishing; — 2023. — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549866/> (дата обращения: 25.11.2025).
551. Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Updated Clinical Practice Guideline from the Academy of Neurologic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association / C. D. Hall [et al.]. — DOI 10.1097/NPT.0000000000000382 // Journal of neurologic physical therapy: JNPT. — 2022. — Vol. 46 (2). — P. 118—177.
552. Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Evidence-Based Clinical Practice Guideline: From the american physical therapy association neurology section / C. D. Hall, S. J. Herdman, S. L. Whitney [et al.]. — DOI <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000120> // Journal of Neurologic Physical Therapy: JNPT. — 2016. — Vol. 40, № 2. — P. 124—155.
553. Vestibular rehabilitation potential of commercially available virtual reality video games / A. Heffernan, L. Booth, R. Fletcher, D. A. Nunez. — DOI 10.1186/s40463-023-00642-9 // J. Otolaryngol. Head. Neck. Surg. — 2023. — Vol. 52, № 1. — P. 54.
554. Vestibular Rehabilitation Therapy and Corticosteroids for Vestibular Neuritis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials / H. B. Hidayati, H. A. N. Imania, D.S. Octaviana [et al.]. — DOI 10.3390/medicina58091221 // Medicina (Kaunas). — 2022. — Vol. 58, № 9. — P. 1221.
555. Vestibular rehabilitation using the Nintendo® Wii Balance Board—a userfriendly alternative for central nervous compensation / I. Sparrer, T. A. Duong Dinh, J. Ilgner, M. Westhofen. — DOI 10.3109/00016489.2012.732707 // Acta Otolaryngol. — 2013. — Vol. 133. — P. 239—45.
556. Vestibular status in partial deafness / M. Sosna [et al.]. — DOI 10.1016/j.bjorl.2019.09.012 // Brazilian journal of otorhinolaryngology. — 2021. — Vol. 87, № 4. — P. 379—388.
557. Vestibular-Evoked Myogenic Potential Testing in Vestibular Localization and Diagnosis / R. L. Taylor, M. S. Welgampola, B. Nham, S. M. Rosengren. — DOI 10.1055/s-0039-3402068 // Seminars in Neurology. — 2020. — Vol. 40, № 1. — P. 18—32.
558. Vestibulo-ocular disturbances in rats exposed to organic solvents / R. Tham, I. Bunnfors, B. Eriksson [et al.]. — DOI 10.1111/j.1600-0773.1984.tb01895.x // Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology. — 1984. — Vol. 54, № 1. — P. 58—63.

559. Vestibulo-ocular reflex suppression during head-fixed saccades reveals gaze feedback control / P. M. Daye, D. C. Roberts, D. S. Zee, L. M. Optican // *Journal of Neuroscience*. — 2015. — Vol. 35, № 3. — P. 1192—1198.
560. Vestibulo-ocular reflex suppression: clinical relevance and assessment in the digital age / P. T. Nerdal, F. Gandor, M. U. Friedrich [et al.]. — DOI 10.1523/JNEUROSCI.3875-14.2015. — DOI <https://doi.org/10.1159/000537842> // *Digital Biomarkers*. — 2024. — Vol. 8, № 1. — P. 52—58.
561. Vibration with the canalith repositioning maneuver: a prospective randomized study to determine efficacy / J. D. Macias, A. Ellensohn, S. Massingale, R. Gerkin. — DOI 10.1097/00005537-200406000-00010 // *Laryngoscope*. — 2004. — Vol. 114, № 6. — P. 1011—4.
562. Vibration-induced postural reactions: a scoping review on parameters and populations studied / M. Bertrand-Charette [et al.]. — DOI 10.3389/fnhum.2023.1307639 // *Frontiers in human neuroscience*. — 2024. — Vol. 17. — e1307639.
563. Vibrotactile feedback improves balance and mobility in patients with severe bilateral vestibular loss / H. Kingma, L. Felipe, M. C. Gerards [et al.]. — DOI 10.1007/s00415-018-9133-z // *J. Neurol.* — 2018 — Dec 5.
564. Video Head Impulse Test (vHIT): The Role of Corrective Saccades in Identifying Patients with Vestibular Loss / K. L. Janky [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000001751 // *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society and European Academy of Otology and Neurotology*. — 2018. — Vol. 39 (4). — P. 467—473.
565. Video Ocular Counter-Roll (vOCR): Otolith-Ocular Function and Compensatory Effect of the Neck Following Vestibular Loss / Y. Yang, J. Tian, J. Otero-Millan [et al.]. — DOI 10.1002/ohn.304 // *Otolaryngol. Head Neck Surg.* — 2023. — Vol. 169, № 3. — P. 669—678.
566. Viral upper respiratory tract infection and otitis media complication in young children / T. Chonmaitree, K. Revai, J. J. Grady [et al.]. — DOI 10.1086/528685 // *Clinical Infectious Diseases*. — 2008. — Vol. 46, № 6. — P. 815—823.
567. Virtual and augmented reality in the vestibular rehabilitation of peripheral vestibular disorders: systematic review and meta-analysis / A. Heffernan [et al.]. — DOI 10.1038/s41598-021-97370-9 // *Scientific reports*. — 2021. — Vol. 11 (1). — 17843.
568. Virtual Reality for Vestibular Rehabilitation: A Systematic Review / M. Xie, K. Zhou, N. Patro [et al.]. — DOI 10.1097/MAO.0000000000003155 // *Otology & neurotology: official publication of the American Otological Society, American*

- Neurotology Society and European Academy of Otology and Neurotology. — 2021. — Vol. 42, № 7. — P. 967—977.
569. Virtual reality rehabilitation of balance: assessment of the usability of the Nintendo Wii (®) Fit Plus / D. Meldrum, A. Glennon, S. Herdman [et al.]. — DOI 10.3109/17483107.2011.616922 // Disabil Rehabil Assist Technol. — 2012. — Vol. 7, № 3. — P. 205—10.
 570. Visual binocular disorders and their relationship with baropodometric parameters: a cross-association study / M. C. Sánchez-González, E. Gutiérrez-Sánchez, P. P. Elena [et al.]. — DOI 10.1155/2020/6834591 // BioMed Research International. — 2020. — Vol. 2020. — Article 6834591.
 571. *Wall C.* 3rd Vibrotactile tilt feedback improves dynamic gait index: a fall risk indicator in older adults / C. Wall 3rd, D.M. Wrisley, K.D. Statler — DOI 10.1016/j.gaitpost.2009.02.019 // Gait & posture. — 2009. — Vol. 30, № 1. — P. 16—21.
 572. *Wang Y.* Anticipatory and Compensatory Postural Adjustments in Response to Dynamic Platform Perturbation during a Forward Step / Y. Wang, K. Watanabe, T. Asaka. — DOI 10.1080/00222895.2022.2092440 // Journal of Motor Behavior. — 2023. — Vol. 55, № 1. — P. 31—38.
 573. *Wang Z.* The ground reaction force pattern during walking under vestibular-demanding task with/without mastoid vibration: implication for future sensorimotor training in astronauts / Z. Wang, H. Xie, J. H. Chien. — DOI 10.3389/fphys.2024.1325513 // Front. Physiol. — 2024. — Vol. 15. — e 1325513.
 574. *Weiss N.* Cochlea-Implantation [Cochlear implantation — adverse effects on the cochlea and the vestibular organ] / N. Weiss. — DOI 10.1055/a-1961-5815 // Laryngorhinootologie. — 2023. — Vol. 102, № 5. — P. 381—389.
 575. *West N.* Vestibular screening before cochlear implantation: clinical implications and challenges in 409 cochlear implant recipients / N. West, M. Klokke, P. Cayé-Thomasen. — DOI 10.1097/MAO.0000000000002898 // Otology & Neurotology. — 2021. — Vol. 42, № 2. — P. e137—e144.
 576. *Whitney S. L.* An overview of vestibular rehabilitation / S.L. Whitney, A. A. Alghwiri, A. Alghadir. — DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00013-3> // Handbook of Clinical Neurology. — 2016 — Vol. 137 — P. 187—205.
 577. *Whitney S. L.* Principles of vestibular physical therapy rehabilitation / S. L. Whitney, P. J. Sparto. — DOI 10.3233/NRE-2011-0690 // NeuroRehabilitation. — 2011. — Vol. 29, № 2. — P. 157—66.

578. *Wit H. P.* Measurement of the mechanical compliance of the endolymphatic compartments in the guinea pig / H. P. Wit, T. J. Warmerdam, F. W. Albers. — DOI 10.1016/s0378-5955(00)00078-2 // *Hearing Research*. — 2000. — Vol. 145, № 1-2. — P. 82—90.
579. *Wodarski P.* Trend Change Analysis as a New Tool to Complement the Evaluation of Human Body Balance in the Time and Frequency Domains / P. Wodarski. — DOI 10.5114/jhk/163058 // *J. Hum. Kinet.* — 2023. — Vol. 87. — P. 51—62.
580. *Wuehr M.* Noisy galvanic vestibular stimulation: an emerging treatment option for bilateral vestibulopathy / M. Wuehr, J. Decker, R. Schniepp. — DOI 10.1007/s00415-017-8481-4 // *J. Neurol.* — 2017. — Vol. 264 (Suppl 1). — P. 81—86.
581. *Xerri C.* Compensation deficits in posture and kinetics following unilateral vestibular neurectomy in cats. The role of sensorimotor activity / C. Xerri, M. Lacour // *Acta Otolaryngol.* — 1980. — Vol. 90. — № 5—6. — P. 414—424.
582. *Yu H.* Vestibular dysfunctions in sudden sensorineural hearing loss: a systematic review and meta-analysis / H. Yu, H. Li. — DOI 10.3389/fneur.2018.00045 // *Frontiers in Neurology*. — 2018. — Vol. 9. — P. 45.
583. *Zee D. S.* Ocular stability and set-point adaptation / D. S. Zee, P. Jareonsettasin, R. J. Leigh. — DOI 10.1098/rstb.2016.0199 // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* — 2017. — Vol. 372, № 1718.
584. *Zee D. S.* Vestibular adaptation / D. S. Zee // *Herdman S. J. Vestibular Rehabilitation*. — 2nd ed. — Philadelphia : F. A. Davis Co., 2000. — P. 77—87.

Приложение 1

Протокол спектрального анализа вибрационных характеристик прибора Xiaomi WellSkins WX-MJ100, используемого для стимуляции сосцевидного отростка при реабилитации пациентов с отолитиазом (ДППГ)

Устройство: Xiaomi WellSkins WX-MJ100

Цель измерений: Спектральный анализ вибрации устройства

Прибор: Виброанализатор STD-3300

Номер прибора: 1729

Версия прибора: 2.3

Версия ПО: 1.23.1.3632

Дата, время измерения: 17.01.2025 15:08:29

Количество отсчетов: 65536

Верхняя граница, Гц: 32000

Нижняя граница, Гц: 2

Тип расчетного параметра: среднеквадратичное значение (СКЗ)

Расчетный параметр: 1,8274

Единица измерения: м/с²

Признак перегрузки: нет

Результат:

В спектре вибрации выявлена основная частота $f_0=96,25$ Гц и её гармоники (kf_0 , $k=2...17$). Амплитуды кратных гармоник составляют не более 2% от амплитуды основной гармоники, что свидетельствует о близости сигнала к моносинусоидальному с частотой f_0 . Наличие слабых гармоник вплоть до 17го порядка обусловлено особенностями контакта измерительного щупа с поверхностью устройства. Спектр вибрации представлен на рис. П.1.1 (А, Б) в двух вариантах масштабов осей.

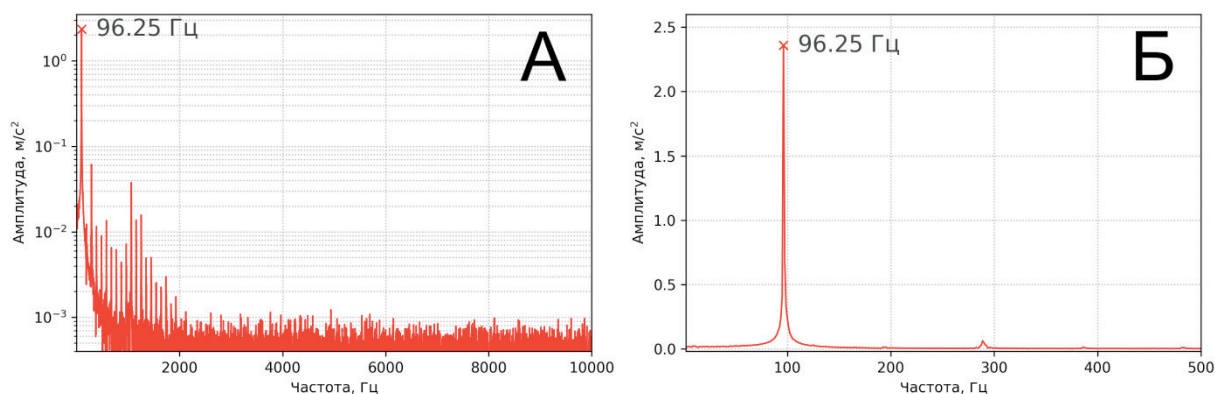


Рисунок П.1.1 — Спектр вибрации устройства Xiaomi WellSkins WX-MJ100. На панели слева (А) приведен спектр в полосе 2—10000 Гц, масштаб по оси амплитуд — логарифмический, на панели справа (Б) приведен фрагмент спектра до 500 Гц, масштаб по оси амплитуд — линейный

Форма зарегистрированного сигнала представлена на рис. П.1.2.

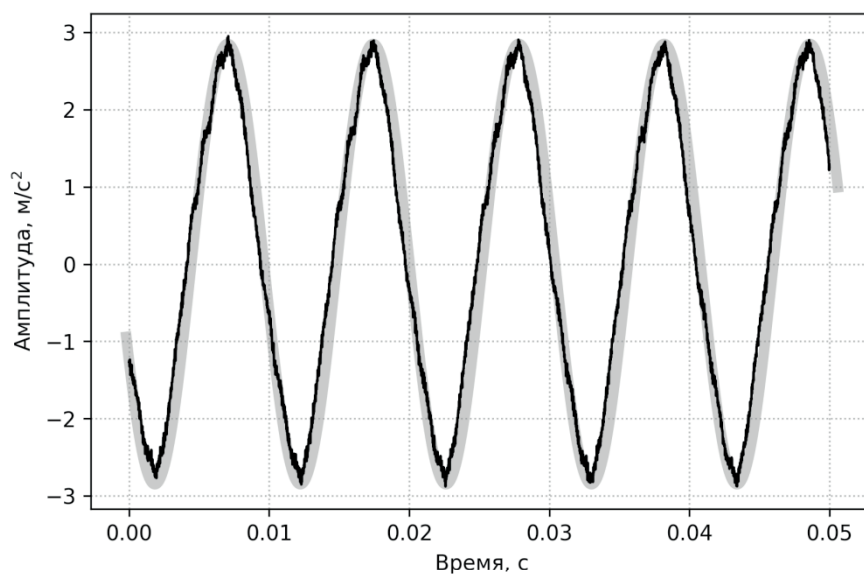


Рисунок П.1.2 — Фрагмент 50 мс измеренного сигнала (черная линия) с наложенной синусоидальной аппроксимацией основной частоты 96,25 Гц (светло-серая линия).

Снимки экрана прибора с представлением спектра зарегистрированного сигнала вибрации при различных масштабах по оси частот приведены на рис. П1.3 (А, Б, В).

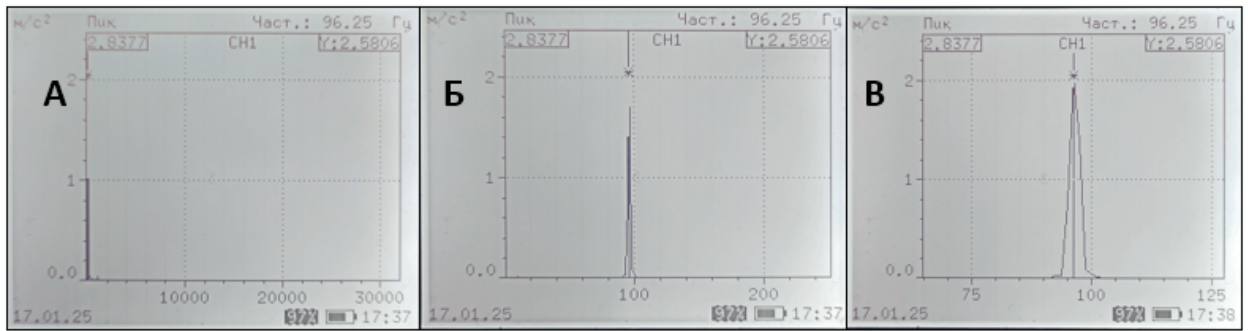


Рисунок П.1.3 — Снимки экрана прибора с анализом спектра при различных масштабах по оси частот (панель А: 2—32000 Гц, панель Б: 2—250 Гц, панель В: 65—125 Гц).

Технические характеристики виброанализатора STD-3300 (справочно):

АЦП: 2х24 бита

Динамический диапазон: до 109 дБ

Частота дискретизации: 81920 Гц

Точность: $\pm 1\%$

Вибропреобразователь ВП-9 ICP 603M150, s/n 302969, 100 мВ/г

Частотный диапазон:

F_{min} : от 0.5 до F_{max} Гц

F_{max} : 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000, 32000 Гц

Разрешение спектра: 3200, 6400, 12800, 25600 линий

Собираемые волны: 8192, 16384, 32768, 65536 точек

Количество усреднений: от 0 до 256, тип усреднений: линейный

Приложение 2

Программное обеспечение «Виртуальный вестибулярный тренажер»: состав и алгоритм работы

Программное обеспечение представляет собой десктопное приложение, которое может быть установлено на компьютере с операционной системой Windows 7 и выше. Для работы программы к компьютеру необходимо подключить контроллер Kinect.

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

1. Ввод и хранение данных о пациенте, включая результаты выполнения упражнений, что позволяет отслеживать динамику реабилитации.
2. Реализацию упражнений с контролем их выполнения.
3. Вывод рекомендаций после анализа результатов выполнения упражнения.

Алгоритм работы пользователя с программой следующий. После запуска программы предлагается выбрать пациента или зарегистрировать нового пациента. Регистрация пациентов позволяет использовать программу сразу несколькими пациентами. Для каждого пациента накапливаются данные о результатах выполнения упражнений (собирается портфолио), что дает возможность отслеживать динамику реабилитации.

Пациенту предлагается выполнить одно из упражнений. После выбора упражнения на экране появляется инструкция по выполнению упражнения. После ознакомления с инструкцией пациент переходит к выполнению упражнения. Каждое упражнение требует от пациента выполнения определенных движений. Движения фиксируются и распознаются контроллером Kinect. Полученные от контроллера данные о расположении частей тела пациента сравниваются с модельным расположением, и если расхождение превышает заданный коэффициент точности, то упражнение считается невыполненным (или выполненным неправильно). При выполнении упражнения на экране пациент может видеть условное изображение своего тела (фрагмента тела, например, только кисти руки)

и корректировать свои движения, чтобы достигнуть правильного выполнения упражнения.

Для каждого упражнения могут быть заданы настройки, включающие время, за которое необходимо выполнить все упражнение, скорость движения предметов на экране, наличие помех и т. п. Содержание настроек определяется типом упражнения.

После выполнения упражнения пациент на экране видит результаты выполнения упражнения, которые сохраняются в его портфолио. Вместе с результатами отображаются рекомендации для выполнения этого упражнения в следующий раз. Для каждого упражнения сформирована математическая модель, описывающая правильное выполнение упражнения в зависимости от выбранных настроек, включая заданный коэффициент точности выполнения упражнения. Контроллер Kinect позволяет получить данные о реальном выполнении упражнения пациентом. Программное обеспечение контроллера Kinect осуществляет полное 3-мерное распознавание движений тела. Сравнение реальных и модельных данных позволяет контролировать правильность выполнения упражнений.

Приложение разработано с использованием языка программирования C и фреймворка .NET Framework.

Для работы программы необходим компьютер с установленной операционной системой Windows 7 или выше. К компьютеру должен быть подключен контроллер Kinect. К компьютеру должен быть подключен экран диагональю не менее 1 м. Помещение, где предполагается выполнять упражнение, должно быть в ширину не менее 2 м, в длину — не менее 5 м. Экран располагается на уровне 1 м от пола. Контроллер Kinect располагается непосредственно над экраном. Пациент выполняет упражнения перед экраном на расстоянии 1,5-2 м от экрана.

Приложение 3

Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: Показатели функции равновесия у здоровых и пациентов со стенозирующими заболеваниями экстракраниальных сосудов»



Рисунок П.3.1 — Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: Показатели функции равновесия у здоровых и пациентов со стенозирующими заболеваниями экстракраниальных сосудов» (№ 2013620902, опубл. 08.08.2013) / С. В. Горностаева, Л. В. Щеголева, Е. Н. Кравцова; заявитель ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».

Приложение 4

Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: «Калорические битермальные исследования с орошением»



Рисунок П.4.1 — Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: «Калорические битермальные исследования с орошением» (№ 2019621480, опубл. 19.08.2019) / Е. Н. Кравцова, Л. В. Щеголева, С. В. Горностаева, А. Ю. Мейгал; заявитель ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».

Приложение 5

Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: «Данные стабилотметрии»



Рисунок П.5.1 — Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: «Данные стабилотметрии» (№2019621481, опубли. 19.08.2019) / Е. Н. Кравцова, Л. В. Щеголева, А. Ю. Мейгал; заявитель ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».

Приложение 6

Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: «Мобильное приложение для тренировки глазодвигательных реакций у пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией»



Рисунок П.6.1 — Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: «Мобильное приложение для тренировки глазодвигательных реакций у пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией» (№2023614763, опубл. 06.03.2023) / Е. Н. Кравцова, Л. В. Щеголева, М. А. Машнюк; заявитель ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».

Приложение 7

Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: Программа реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией с использованием системы безмаркерного видеозахвата»



Рисунок П.7.1 — Свидетельство о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности: Программа реабилитации пациентов с периферической вестибулярной дисфункцией с использованием системы безмаркерного видеозахвата» (№2024610054, опубл. 09.01.2024) / В. А. Руденок, Е. Н. Кравцова, Л. В. Щеголева; заявитель ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет».