

Федеральное медико-биологическое агентство

**ВЛИЯНИЕ КВАДРИПЕДАЛЬНОГО РИТМИЧЕСКОГО ПРАКСИСА И
УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ У СПОРТСМЕНОВ РАЗНОЙ
КВАЛИФИКАЦИИ НА НАИХУДШИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И
ВРЕМЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В ИММЕРСИОННОЙ СРЕДЕ И
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ
ВЫПОЛНЕНИЯ СПОРТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАЧ
СПОРТСМЕНАМИ СПОРТИВНЫХ СБОРНЫХ КОМАНД
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РАЗНЫХ ВИДАХ СПОРТА**

Методические рекомендации

МР ООО «РАСМИРБИ» 91500.12.0002-2025/РАСМИРБИ

Москва

2025

Предисловие

1. Разработано:

1.1. В Общество с ограниченной ответственностью «Мир спорта» (ООО «Мир спорта»)

Директор – Малинина А.С.

2. Исполнители:

2.1. От ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России:

Заместитель директора по научной работе – д-р мед. наук, профессор Парастаев С.А.;

врач по спортивной медицине отдела медицинского обеспечения спортивных сборных команд и соревнований Завьялов В.В.

2.2. От Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН):

Директор благотворительного фонда КРАН. д-р мед. наук, профессор Касаткин В.Н.

Директор НИИ развития мозга высших достижений РУДН, канд.биол.наук Толченникова В.В.,

Лаборант-исследователь НИИ развития мозга высших достижений РУДН Шлепнев П.В.

3. В настоящих методических рекомендациях реализованы требования Федеральных законов Российской Федерации:

- Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 4 декабря 2007 года № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 05.12.2017 № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О физической культуре и спорте в Российской Федерации" и Федеральный закон "Об основах охраны здоровья граждан в

Российской Федерации" по вопросам медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации».

4. Утверждены РАСМИРБИ «13» февраля 2025 г.

5. Введены впервые.

Содержание

Предисловие	2
1. Область применения	5
2. Нормативные ссылки	6
3. Обозначения и сокращения	8
Введение	9
4. Виртуальная реальность для оценки ритмического праксиса у спортсменов	11
5. Протокол оценки квадрипедального ритмического праксиса в виртуальной реальности.	12
6. Протокол оценки квадрипедального ритмического праксиса в физической реальности	21
7. Протокол коррекции квадрипедального праксиса в условиях виртуальной реальности	31
8. Протокол коррекции квадрипедального ритмического праксиса в условиях физической реальности.	33
9. Квадрипедальное движение и исполнительные функции.....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	41
Список литературы	42
Библиографические данные	43

УТВЕРЖДАЮ

Президент
РАСМИРБИ
Б.А. Поляев
«13» февраля 2025 г.



**ВЛИЯНИЕ КВАДРИПЕДАЛЬНОГО РИТМИЧЕСКОГО ПРАКСИСА И
УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ У СПОРТСМЕНОВ РАЗНОЙ
КВАЛИФИКАЦИИ НА НАИХУДШИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И
ВРЕМЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ В ИММЕРСИОННОЙ СРЕДЕ И
ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ
ВЫПОЛНЕНИЯ СПОРТИВНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗАДАЧ
СПОРТСМЕНАМИ СПОРТИВНЫХ СБОРНЫХ КОМАНД
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РАЗНЫХ ВИДАХ СПОРТА**

Методические рекомендации

МР ООО «РАСМИРБИ» 91500.12.0002-2025/РАСМИРБИ

1. Область применения

Методические рекомендации предназначены для специалистов, участвующих в мероприятиях медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд.

2. Нормативные ссылки

Настоящий документ разработан на основании рекомендаций и требований, следующих нормативных правовых актов и нормативных документов.

Федеральный закон от 4 декабря 2007 года № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации».

Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Федеральный закон от 05.12.2017 № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О физической культуре и спорте в Российской Федерации" и Федеральный закон "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" по вопросам медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации».

Приказ Министерства здравоохранения РФ от 23 октября 2020 г. № 1144н «Об утверждении порядка организации оказания медицинской помощи лицам, занимающимся физической культурой и спортом (в том числе при подготовке и проведении физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий), включая порядок медицинского осмотра лиц, желающих пройти спортивную подготовку, заниматься физической культурой и спортом в организациях и (или) выполнить нормативы испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса "Готов к труду и обороне" (ГТО)" и форм медицинских заключений о допуске к участию в физкультурных и спортивных мероприятиях».

Приказ Федерального медико-биологического агентства от 8 сентября 2023 года № 178 «Об утверждении порядка организации медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации».

Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 30.01.2024 № 27н "Об утверждении профессионального стандарта "Врач по спортивной медицине".

Рекомендации «Р» ФМБА России от 28 июня 2023 г. 1-2023 «Порядок разработки, изложения, представления на согласование и утверждение нормативных и методических документов, разрабатываемых научными организациями по заказу ФМБА России, в Комиссию Федерального медико-биологического агентства по рассмотрению нормативных и методических документов, разработанных при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, осуществлении научно-технической и инновационной деятельности».

3. Обозначения и сокращения

В настоящем документе использованы следующие обозначения и сокращения:

ЦНС – центральная нервная система

ПЯ – педункуло-понтинное ядро

VR – виртуальная реальность

Введение

Данное исследование является продолжением работ, начатых под руководством д.м.н. проф. В.Н.Касаткина, в рамках которых были созданы и экспериментально обоснованы способы оценки и коррекции монопедального чувства ритма у спортсменов различной квалификации и различных видов спорта. Для оценки способности спортсменов к слухо-моторной синхронизации были разработаны протоколы: 1) произвольного теппинга, 2) максиминного теппинга, 3) слухо-моторного ритмического праксиса с различной частотой, 4) воспроизведения ритма по памяти, 5) воспроизведение ритма в присутствии различных помех, 6) воспроизведение ритма при необходимости переключения между быстрым и медленным темпом. Этот протокол оказался эффективным инструментом выявления незадействованного ресурса у спортсменов различных видов спорта и различной классификации, используется в клинике реабилитации после перенесенных нейроонкологических заболеваний (Касаткин, 2023).

Ритмически организованное движение присутствует во всех видах спорта. Так, в плавании отсутствует внешний ритмоводитель, результативность отражает внутреннее чувство ритма. Напротив, реализация двигательных навыков в теннисе и баскетболе связана со способностью синхронизировать свои действия с действующими стимулами. В теннисе такими стимулами является траектория полета мяча, а в баскетболе спортсмен подстраивает свое движение в соответствии как с движением мяча, так и с перемещениями других игроков. В танцевальных видах спорта слухомоторная синхронизация имеет решающее значение, а непопадание в музыку является грубой ошибкой, причиной снижения оценок и ухода из данного вида спорта. Такое положение дел представляется не столь драматичным, учитывая, что чувство ритма поддается коррекции. Такую коррекцию всегда сможет осуществить грамотный тренер, владеющий диагностическими и коррекционными протоколами, представленными как в рамках настоящего исследования, так и в серии предшествующих работ под руководством В.Н.Касаткина.

Ритмический праксис имеет принципиальное значение не только с точки зрения организованности движений спортсмена, но и с точки зрения распознавания когнитивных способностей спортсмена. Ритм представляет собой сложно организованную структуру измерения времени. Оценка временных интервалов между действиями является важным адаптационным механизмом, который позволяет организовывать свою деятельность. Усвоение ритмических паттернов является наиболее простым примером тайминга, то есть способности прогнозировать последующих событий. Это свойство имеет тесную связь с когнитивными функциями, такими как рабочая память, ингибирование (подавление не

релевантного ответа), планирование деятельности (Brown S.W. et al., 2016; Derouet, J., Doyère, V., & Droit-Volet, S. 2019). Таким образом, тренировка чувства ритма повышает нейрокогнитивный потенциал спортсмена и должна осуществляться на регулярной основе и включена в структуру регулярных тренировок.

Низкая организованность во времени двигательных актов связана с неэффективностью и низкой результативностью спортсменов. Следовательно, улучшение чувства ритма представляет собой эффективный инструмент спортивных психологов.

На сегодняшний день способность к слухомоторной синхронизации оценивается преимущественно с помощью монопедальных моделей (теппинг ведущей рукой). И хотя такой способ оценки является простым и удобным, он не может быть единственным и достаточным инструментом для спортсменов, которые выполняют гораздо более сложные модели движения с вовлечением всех четырех конечностей. В этом отношении квадрипедальная модель движения – последовательное осуществление ударов и руками и ногами – является более информативной и более перспективной с точки зрения выявления потенциальных ресурсов эффективности у спортсменов.

Еще одна причина обратить внимания и использовать квадрипедальную модель движения – это наличие древних центров в ЦНС, регулирующих квадрипедальное движение. Анатомическим субстратом головного мозга, который отвечает за квадрипедальность является педункулопонтинное ядро (ПЯ), которое локализовано в верхней части ствола мозга и прилегает к верхнему мозжечковому стеблю (Zrinzo et al ., 2007). Нарушение работы ПЯ приводит к нарушению локомоций как среди людей, так и среди животных (Nandi et al ., 2002), при этом, восстановление работы этой структуры ведет к восстановлению движений.

Таким образом, разработка способа оценки ритмического праксиса именно за счет квадрипедальной модели движения представляется эффективной с точки зрения актуализации незадействованного ресурса спортсмена различного уровня спортивного мастерства. Ритмические способности относительно легко измерить количественно и относительно легко скорректировать. В условиях воронки достижений способность тренера определить чувство ритма у спортсменов и скорректировать его в процессе подготовки к ситуации соревнования станет эффективным инструментом тренеров, работающих в различных видах спорта и со спортсменами различных квалификаций от самых начинающих и юных до мастеров спорта международного класса.

За три года реализации проекта нам удалось создать несколько сотен вариантов тестирования квадрипедального ритмического праксиса. Мы изменяли частотные и пространственные характеристики стимульного материала, цвет виртуальных мишеней,

цвет фона и варианты их взаимных сочетаний. Мы интегрировали в процесс тестирования принцип биологической обратной связи (параметры стимулов изменяются в зависимости от успешности выполнения задания участником). Мы создали несколько видов помех: 1) слуховые помехи в виде дополнительного метронома, частота которого отличается от основного и мешает участнику синхронизироваться с ним. Затрудняет процесс распознавания целевого стимула, 2) зрительные помехи – большие яркие движущиеся объекты в поле видимости, которые непроизвольно захватывают ресурс внимания участника, мешая ему сосредоточиться на маленьких, блеклых, неподвижных мишенях – целевых объектах. В общем, эти тесты были протестированы более чем на 100 участниках различного пола и возраста, в результате чего мы создали программу тестирования квадрипедального движения в условиях виртуальной реальности из шести последовательно усложняющихся субтестов.

4. Виртуальная реальность для оценки ритмического праксиса у спортсменов

Изначально технологии виртуальной реальности использовались только в тренировках элитных спортсменов, особенно с использованием технологий *exergame*, которые представляют собой активные видеоигры, то есть для реализации игрового процесса необходимо совершать физические действия в реальном мире (Schupak, 2018). В настоящее время существуют целые виртуальные тренировки, которые позволяют с помощью подключения к серверу тренироваться с квалифицированными тренерами, а также напоминают о тренировках (Karkar et al., 2018). В спортивной психологии виртуальная реальность позволяет воссоздавать среду, которая максимально отражает естественную среду, но при этом максимально контролируется. При этом, технологии виртуальной реальности позволяют как одновременно захватывать движения, так и использовать обратную связь от зрительных и слуховых анализаторов, а также позволяет максимально воссоздать виртуальную ситуацию «здесь и сейчас».

Технологии виртуальной реальности показали свою эффективность при спортивной реабилитации после травм, при восстановлении двигательных функций (Gokeler et al., 2014; Shi et al., 2018).

Следует отметить ряд принципиальных ограничений, связанных с использованием технологий виртуальной реальности в диагностике и тренировке ритмического праксиса. Аппаратура является достаточно дорогостоящей, требует технической поддержки, соблюдения правил эксплуатации, подготовки к процедуре тестирования (трекеры должны

быть заряжены к моменту начала тестирования, базовые станции должны быть расположены определенным образом, существует вероятность потери и искажения сигнала, поскольку ритм предстоит отбивать в том числе и нижними конечностями). Данный шлем рекомендуется к использованию на участниках старше 12 лет. Более того, следует учитывать, что шлем виртуальной реальности вызывает эффекты киберукачивания примерно у 25% здоровых респондентов, в следствие чего этот параметр необходимо контролировать и прекращать диагностику немедленно после появления первых признаков киберукачивания.

Таким образом, на основании анализа литературы можно предполагать наличие связи между результатами выполнения заданий на слухо-моторную синхронизацию и некоторыми исполнительными функциями.

Такая система была разработана нами на базе HTC VIVE Pro Eye с трекерами HTC VIVE Tracker 2.0, и чертями трекерами, устанавливаемыми на стопах и ладонях респондента. На основе качественных и количественных исследований мы сформировали ключевые тесты диагностики и корректировки, позволяющие получить ключевые характеристики квадрипедального движения и в короткие сроки усовершенствовать его у спортсмена. Этот выбор был обусловлен практическим удобством, легкостью исполнения.

5. Протокол оценки квадрипедального ритмического праксиса в виртуальной реальности.

Для описания моделей движения в двухмерной среде использовалась система системы виртуальной реальности HTC Vive в шлеме VivePro. Для регистрации движения и симуляции виртуальной реальности использовалась система виртуальной реальности HTC VIVE Pro Eye со шлемом и контроллерами HTC VIVE Tracker 2.0, которые крепились на тыльных сторонах кистей и стоп. В виртуальной реальности испытуемый мог видеть положение конечностей – каждый контроллер отображался в шлеме виртуальной реальности как зелёный шар. При выполнении ударов в вертикальной и горизонтальной плоскостях места ударов в виртуальной реальности были помечены жёлтыми квадратами. Всё остальное виртуальное пространство было окрашено белым светом. Для уменьшения околувестибулярного рефлекса никаких пространственных обозначений кроме четырех зеленых шаров, эмулирующих движения верхних и нижних конечностей, а также четырех желтых квадратов, эмулирующих площадки для ударов, не было.

Перед началом тестирования необходимо подписать подготовленное проинформированное согласие на участие в исследовании, закрепить на ладонях и стопах участника трекеры движения, посадить его на стул без опоры на спинку стула.

Далее до того, как участник наденет шлем виртуальной реальности ему необходимо объяснить модель движения: осуществление последовательных ударов левой рукой – правой рукой – правой ногой, левой ногой и так далее по кругу. Следует быть готовыми к тому, что, поскольку модель движения является нетривиальной, ее необходимо будет продемонстрировать несколько раз и убедиться, что участник правильно понял, какие действия от него требуются и в какой последовательности. Во всех субтестах использовалась модель движения, в которой осуществлялись последовательные удары правой рукой, правой ногой, левой ногой, левой рукой. Мы также проанализировали несколько моделей движения: вытягивание конечностей вперед до соприкосновения с виртуальной мишенью без контакта с ограничивающей движения реальной поверхностью в физическом мире, вытягивание соответствующих конечностей до столкновения с ограничивающей движение плоскостью (физически существующей), удар соответствующей конечностью вниз до остановки об ограничивающую поверхность (колени и пол). На основе качественных и количественных исследований мы приняли решения для дальнейших тестов выбрать последнюю модель движения. Этот выбор был обусловлен практическим удобством, легкостью исполнения (конечность движется в направлении действия силы тяжести, что минимизирует фактор утомления). Также, в последней модели движения остановка осуществляется об ограничивающую поверхность, что добавляет проприоцептивную обратную связь, дополняющую ситуацию виртуальной реальности.

Только после этого необходимо надеть шлем виртуальной реальности, попросив участника придерживать его на уровне глаз, чтобы шлем плотно контактировал с лицом, но при этом отсутствовали какие-либо неприятные ощущения, поскольку это повредит процедуре исследования.

Каждая из конечностей спортсмена будет отображаться в виде красного шара. Мишени, по которым требуется осуществлять удары представляют собой прямоугольники белого цвета. Никаких других ориентиров типа вертикальной или горизонтальной направляющих (а также всплывающих окон, системных или брендовых надписей) не должно быть в поле видимости спортсмена. После этого на компьютере необходимо включить программу, ввести данные спортсмена и проверить правильность отображения трекеров.

Перед каждым новым субтестом необходимо озвучивать инструкцию и уточнять о состоянии спортсмена. При первых признаках киберукачивания (тошнота, головокружение, резь, вспышки и полосы в глазах) следует немедленно прекратить исследование в соответствии с протоколом биоэтики от 2014 года.

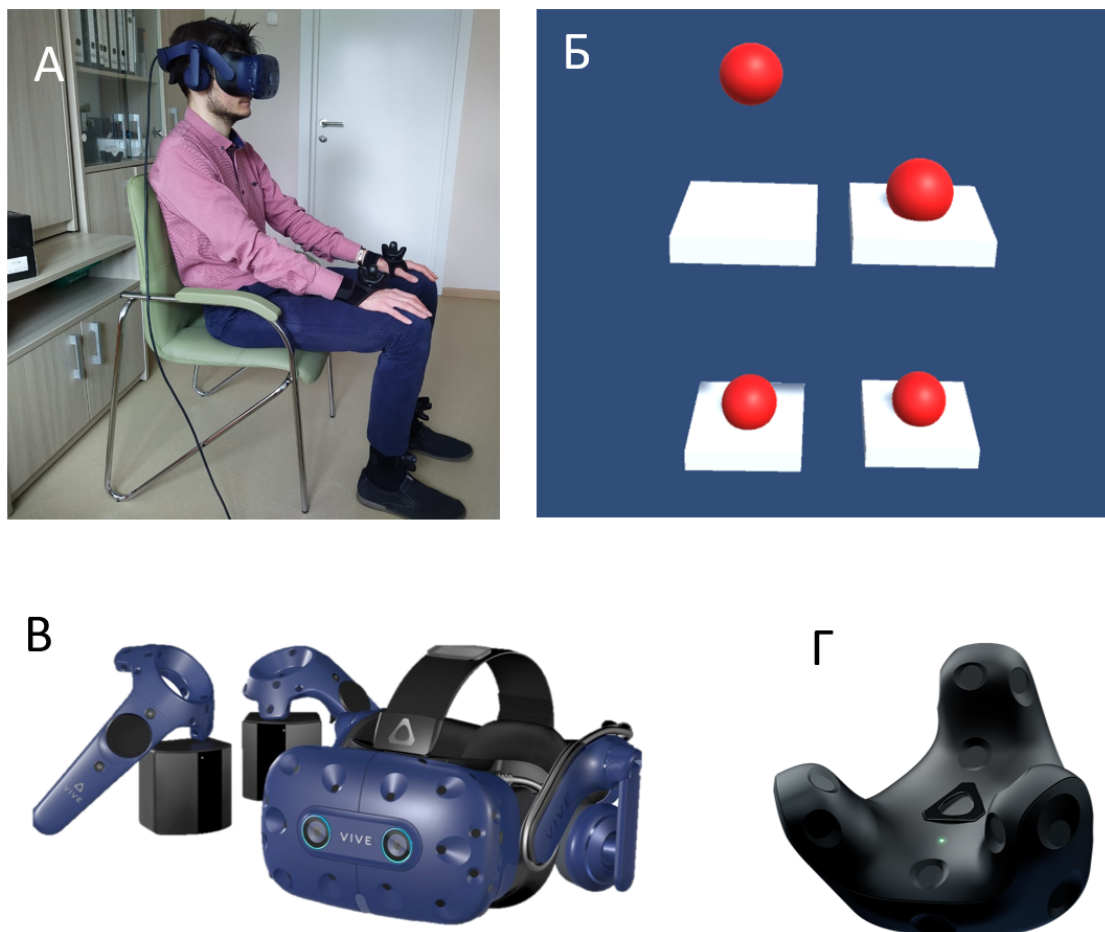


Рис. 1 - Элементы аппаратно-программного комплекса для оценки квадрипедального ритмического праксиса у спортсменов: А – вид участника исследования в шлеме виртуальной реальности, на голове закреплен шлем Vive Pro, на руках и ногах закреплены трекеры, Б – вид в шлеме виртуальной реальности, красные шары – виртуальные проекции трекеров на руках и ногах, белые прямоугольники – мишени, с которыми необходимо соприкоснуться под ритм метронома, В – система Vive Pro, включающая 1 шлем, 2 базы и два контролера, Г - трекеры, которые необходимо закрепить на конечностях спортсмена перед началом тестирования.

Все этапы тестирования осуществляются сидя.

1. Произвольный темп. Спортсмену необходимо выполнять квадрипедальное движение в произвольном темпе. Длительность теста 1 минута. Тест позволяет выявить собственную частоту, на которой спортсмену удобно справляться с поставленной задачей. Инструкция, которую озвучивают спортсмену: *«Ваша задача выполнять квадрипедальную последовательность: удары левой рукой – правой рукой, правой ногой, левой ногой в любом удобном для себя равномерном ритме, не ускоряясь и не замедляясь в течение одной минуты».*

Анализируемые параметры для данного теста средняя длительность интервалов между ударами и их стандартное отклонение, динамика выполнения – склонность ускоряться или замедляться в процессе деятельности.

2. Максимальный теппинг – спортсмену необходимо воспроизводить квадрипедальное движение в максимальном темпе в течение одной минуты. Тест оценивает выносливость (истощаемость) нервных процессов и динамику воспроизведения квадрипедального движения в режиме высокой интенсивности.

Инструкция: «Ваша задача осуществлять последовательные удары левой рукой, правой рукой, правой ногой, левой ногой и так далее по кругу в максимально возможном ритме в течение одной минуты. Если в процессе выполнения начнете уставать и замедляться – это нормально, но надо стараться стучать как можно чаще».

Оценивается средняя длительность интервалов между ударами и их стандартное отклонение, а также средняя частота ударов. Кроме того, нейродинамические характеристики нервной системы: время достижения оптимума, длительность стадии плато, время развития истощения, время восстановления, если спортсмен после периода снижения эффективности восстанавливает высокий темп деятельности.

3. Тест на слухомоторную синхронизацию. Данный тест направлен на оценку способности спортсмена синхронизироваться с медленными и быстрыми ударами метронома. В шлем Vive Pro встроены наушники, звук которых будет слышать спортсмен. Следует убедиться в том, что наушники работают исправно, уровень громкости достаточный, но не превышает болевой порог

Инструкция: «Сейчас Вы будете слышать ритмичные звуки. Ваша задача осуществлять последовательные удары левой рукой, правой рукой, правой ногой, левой ногой и так далее по кругу синхронно со звуками. Важно, чтобы удар был не до, не после включения звука, а максимально точно совпадал с ним».

Программа позволяет задавать скорость метронома. Самой медленной частотой является 40 ударов в минуту. Меньше этой частоты оценивать способности к слухомоторной синхронизации не имеет смысла. Стандартный протокол предвлагает оценку синхронизации на частоте 40, 60, 90, 120 ударов в минуту.

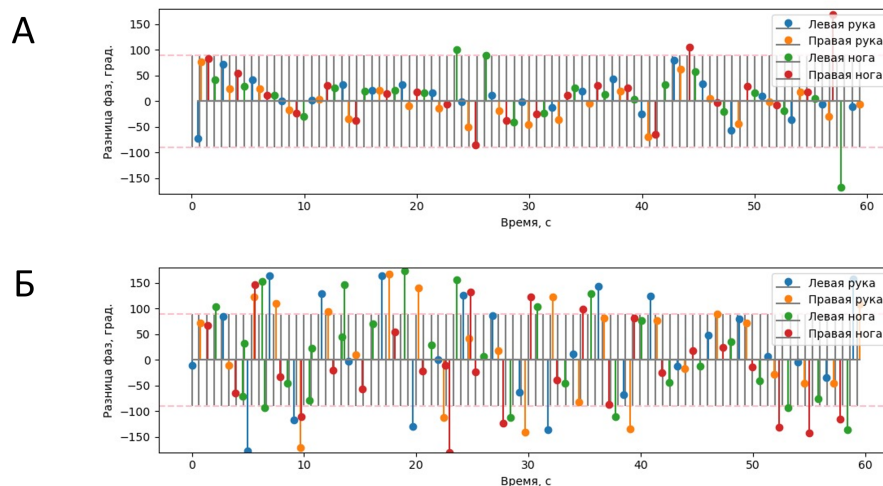


Рис.2 - Пример выполнения квадрипедального ритмического движения при синхронизации с равномерным ритмом: А – пример успешного выполнения теста, ошибка синхронизации не превышает четверти периода, Б – пример неуспешного выполнения теста, выраженная дисритмия у спортсмена МС. По горизонтали время тестирования в секундах, по вертикали – ошибка синхронизации, вычисленная в разнице фаз. Синим цветом обозначены удары левой рукой, оранжевым – удары правой рукой, зеленым – удары левой ногой, красным – удары правой ногой.

Анализируемые параметры: ошибка синхронизации в секундах и ошибка в синхронизации в разнице фаз (чтобы можно было сравнивать ошибку синхронизации на разных частотах). Для спорта высших достижений принципиальное значение имеет стратегия синхронизации: рефлексивная, тогда удар запаздывает относительно звукового стимула и антиципирующая – удар опережает звук метронома. В отсутствие временной модели процесса спортсмен осуществляет удары в ответ на стимул. По мере становления временной модели периодического сигнала в ЦНС спортсмен переходит к антиципирующей стратегии – начинает опережать удары. Таким образом, для данного субтеста можно представить один важный параметр – время смены рефлексивной стратегии на антиципирующую. Этот момент отражает время формирования модели процесса в ЦНС.

4. Тест воспроизведения ритма по памяти. Для оценки воспроизведения ритма по памяти испытуемым предлагали синхронизировать квадрипедальное движение с ударами метронома 70 уд/мин в течение 30 секунд, после чего метроном выключался, а участники должны были продолжать выполнять удары с заданной частотой.

Испытуемому дается следующая инструкция: «Вы будете слышать в наушниках ритмические звуки. Ваша задача осуществлять последовательные удары левой рукой, правой рукой, правой ногой, левой ногой синхронно (одновременно) со звуком метронома и постараться хорошо запомнить (усвоить) этот ритм. Через некоторое время звук будет выключен, но Вы должны продолжать воспроизводить тот ритм, который только что выстукивали, до сигнала «стоп» от специалиста, который проводит тест».

40 сек работы испытуемого под метроном (по отметкам шкалы времени на экране программы) специалист выключает звук в операционной системе. Испытуемый продолжает воспроизводить ритм без метронома, без подсказки еще 30 секунд до команды специалиста «стоп». Общая продолжительность выполнения задания – 1 минута.

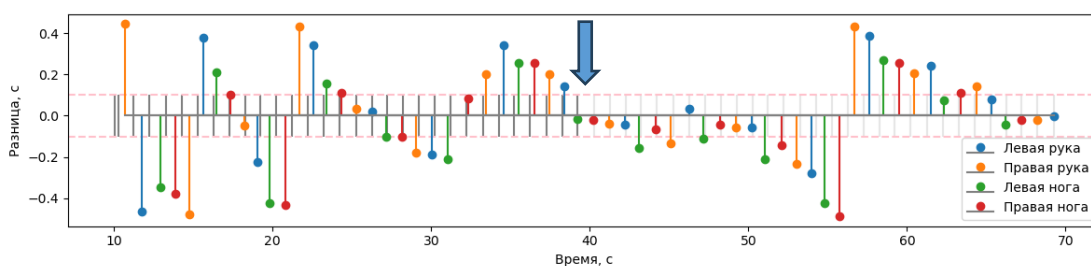


Рис. 3 - Воспроизведение квадрипедального ритма по памяти. Вертикальной синей стрелкой обозначен момент выключения метронома.

Успешность выполнения теста оценивали с помощью временной ошибки — разницы между моментом соприкосновения соответствующей конечности и поверхностью и ударом метронома и при оценке увеличения этой ошибки в отсутствие действия наличного стимула.

5. Тест способности к переключению. Данный тест предназначен для оценки способности спортсмена быстро переключаться с одного ритма на другой: с быстрого на медленный и обратно при выполнении квадрипедального ритмического праксиса.

Инструкция для спортсмена: «Вам будут предъявляться в наушники ритмы с изменяющейся частотой: сначала быстрые, а затем медленные, без пауз между ними. Ваша задача стараться максимально точно синхронизироваться с тем ритмом, выполняя последовательные удары левой рукой, правой рукой, правой ногой, левой ногой и так далее по кругу».

При этом частота метронома изменялась каждые 10 секунд и представляла собой чередование частот 60 ударов в минуту и 80 ударов в минуту. Длительность теста составляла 1 минуту. Успешность выполнения теста оценивали, вычисляя увеличение временной ошибки при изменении частоты метронома.

6. Тест устойчивости к интерференции. Задание предполагает выполнение квадрипедального ритмического праксиса в двух ситуациях: при воздействии одного основного ритма метронома (как в задании на простой ритмический праксис) и при воздействии помехи. Мы предлагаем использовать для диагностики и тренировки унимодальные помехи (звук другой частоты) и полимодальные помехи (зрительные стимулы, появляющиеся рядом с целевыми объектами). Для оценки устойчивости к унимодальной интерференции испытуемым предлагали синхронизироваться с частотой 60 ударов в минуту, выполняя квадрипедальное движение: последовательные удары руками и ногами. После 30 секунд воспроизведения ритма к ведущему ритму добавлялся интерферирующий ритм с частотой 70 ударов в минуту, отвлекающий от основного ритма. Громкость интерферирующего ритма была снижена в два раза относительно основного ритма

Оценивалась способность синхронизироваться с ведущим, первоначальным ритмом на фоне интерферирующего. Общая продолжительность теста 1 минута. Анализировали разницу временной ошибки при выполнении теста в отсутствии и на фоне действия интерферирующего стимула.

В качестве полимодальной интерференции используется тест со зрительными интерферирующими стимулами.

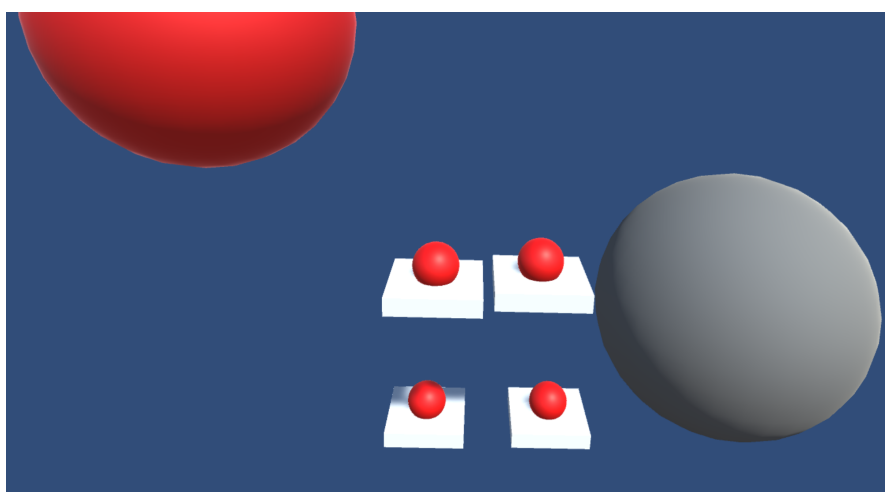


Рис. 4 - Вид в шлеме виртуальной реальности при выполнении квадрипедального движения в присутствии зрительных - помех больших движущихся шаров серого и красного цвета.

7. Синхронизация с ритмом, имеющим неравномерную ритмическую структуру

Тест направлен на способность выявления сложные закономерности в структуре ритмического сигнала и организовать на их основе квадрипедальное движение. По своей сложности тест значительно превышает предыдущие. Если при действии равномерного ритмического рисунка (простые удары метронома) улавливание закономерности сводилась к задаче определения межстимульного интервала, то в настоящем субтесте от спортсмена требуется определить: 1) что является минимальной повторяемой единицей в данной структуре деятельности? Определение периода (через какие промежутки времени паттерн начинает повторяться, 2) определить ритмическую структуру внутри минимальной повторяющейся единицы, 3) воспроизвести уловленную закономерность на модели квадрипедального движения

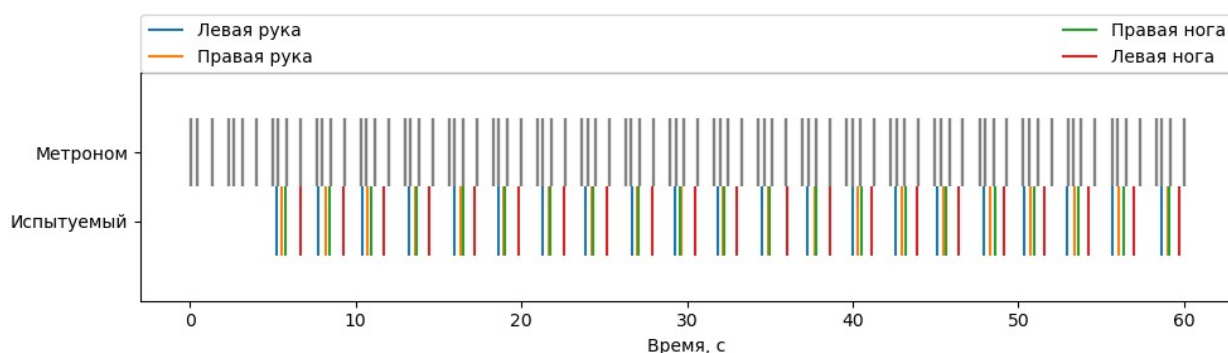


Рис. 5 - Воспроизведение ритмического рисунка с неравномерной структурой при выполнении квадрипедального движения. Спортсмен не справился с предложенной задачей.

Участник вступает на 5 секунде действия стимулов, при этом до последней секунды нарушает предложенный паттерн, мы видим синкинезии – одновременные или последовательные движения правой ногой и правой рукой или левой рукой и левой ногой вместо предложенного паттерна – последовательной ударение правой рукой, правой ногой, левой ногой, левой рукой.

Первичные результаты отображались в виде графиков для каждой конечности, где по оси ординат откладывалась амплитуда движения по одной из ортогональных осей, а по оси абсцисс – время в секундах. На графике также отображались временные метки звука метронома.

Таблица 1 - Программа диагностики квадрипедального движения в условиях виртуальной реальности

	Тест	Структура задачи	Время тестирования	Оцениваемые параметры
1	Воспроизведение квадрипедального ритма в удобном темпе: тест позволяет выявить частоту, на которой участнику комфортно воспроизводить квадрипедальный паттерн	Выполнять последовательные удары левая рука-правая рука-правая нога-левая нога в произвольном темпе	1 мин	Средний междударный интервал, вариабельность междударного интервала, количество сбоев паттерна
2	Максиминное тестирование - квадрипедальная модель движения. Тест позволяет оценить способность к слухомоторной синхронизации при выполнении сложного паттерна, включающего все 4 конечности участника	Задача - синхронизировать движения конечностями с ударами метронома. Паттерн движения: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога и т.д.)	1 мин	максимальная поддерживаемая чатота движения для квадрипедального ритма (уд/мин), 2) максимальный период безошибочной работы для квадрипедального ритма (в секундах)
3	Квадрипедальный ритм (синхронизация на 40, 60, 90, 120 уд/мин)	Выполнять последовательные удары левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируясь с ударами метронома частотой 90 уд/мин	1 мин	1) средняя ошибка синхронизации, 2) средняя ошибка синхронизации для каждой конечности 3) количество ошибок - сбоев
4	Воспроизведение квадрипедального ритма по памяти	Выполнять квадрипедальное движение по памяти, воспроизводя его с той же частотой, что и действовавший метроном, после его выключения	1 мин	ошибка синхронизации в присутствии ритмоводителя и без него
5	Воспроизведение квадрипедального ритма в присутствии интерферирующего фактора	Выполнять квадрипедальное движение, синхронизируясь с метрономом 90 уд/мин, игнорируя большие движущиеся шары	1 мин	ошибка синхронизации в присутствии помех и без них

6	Оценка способности к переключению между различными темпами деятельности для квадрипедального движения	Синхронизировать квадрипедальный паттерн движения с ударами метронома, скорость метронома варьирует и изменяется каждые 20 минут от 70 до 120 ударов	1 мин	Ошибка синхронизации при необходимости переключения и без нее
7	Оценка способности воспроизведения квадрипедального праксиса при синхронизации с ритмом с неравномерной структурой	Синхронизировать квадрипедальный паттерн движения с ударами метронома,	1 мин	Ошибка синхронизации при необходимости переключения и без нее

6. Протокол оценки квадрипедального ритмического праксиса в физической реальности

Наличие признаков киберукачивания у 20% здоровых людей делает диагностику квадрипедального движения с помощью инструментов виртуальной реальности крайне затрудненной, сопряженной с негативными психофизиологическими ощущениями и в ряде случаев невозможной по этическим соображениям. Поэтому в задачу настоящего исследования входило разработать систему диагностики квадрипедального ритмического праксиса в физической реальности и обосновать ее эффективность статистическими методами. Мы провели эту работу в общей сложности на 133 участниках исследования – спортсменов различных видов спорта и различного уровня мастерства и в настоящий момент готовы предложить быстрый, простой способ оценки квадрипедального движения, не требующий специального оборудования ни даже наличия помещения. Диагностика может быть успешно проведена в положении сидя на стуле. Такой инструмент станет простым и удобным методом в арсенале каждого тренера, который в отсутствие физиологов сможет самостоятельно продиагностировать спортсмена и провести с ним необходимый цикл тренировок, если обнаружит признаки дизритмии или существенные трудности при слухомоторной синхронизации.

Этот инструмент является простым, безопасным для спортсмена, не требующим пространства и не подразумевающим перемещение в пространстве. Именно с этого упражнения может начинаться восстановление спортсмена после продолжительной болезни, травмы. Данный тест впервые был разработан для реабилитации пациентов, утративших базовые двигательные стереотипы в результате нейроонкологических заболеваний (Касаткин и др. 2023), позволяя выявить ресурс для восстановления ослабленной высшей нервной деятельности.

Следует, однако, обозначить принципиальные ограничения такой оценки. В отличие от методов диагностики квадрипедального ритмического праксиса, оценка его в физической реальности не позволит получить объективные количественные данные о пространственной и временной структуре квадрипедального движения. В этом случае, также. Будет трудно выявить признаки такого феномена как «память о травме» - следы в управлении конечностью, ставшие последствием ее травмы и не пришедшие в норму после ее восстановления.

Выбор модели движения для данного теста был обусловлен закономерностями онтогенетического и филогенетического развития, но также соотнесен с принципами практического удобства. Для тестирования необходимы стул и метроном с возможностью изменять частоту в интервале от 40 до 400 ударов в минуту. Следует убедиться, что ступни участника находятся на полу, руки – на бедрах и ничто не мешает ему выполнять движения (одежда, обувь, подлокотники и т.п.).

Далее необходимо добиться того, чтобы участник исследования запомнил и воспроизвел правильный двигательный паттерн: последовательные удары в вертикальном направлении до ограничивающей поверхности левой рукой, правой рукой, правой ногой, левой ногой и так далее. Следует дать возможность осуществить несколько циклов в произвольном темпе и лишь затем приступить к процедуре тестирования.



Рис. 6 - Диагностика квадрипедального ритмического праксиса в физической реальности. Циклический паттерн движения, включающий последовательные удары, осуществляемые руками и ногами: 1) удар левой рукой, 2) удар правой рукой, 3) удар правой ногой, 4) удар левой ногой и т.д.

После того, как тестирующий убедился в том, что паттерн движения уловлен и может быть воспроизведен спортсменом самостоятельно без подсказок и пауз, можно приступить к тестированию, которое включает ряд последовательных усложняющихся заданий.

Таблица 2 - Последовательность тестовых заданий для определений квадрипедального ритмического праксиса в физической реальности.

Бланк тестирования.

	Задача	Скорость метронома	Время безошибочной работы (сек)	Типы ошибок	Количество событий за 2 минуты тестирования
1	<p>Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)</p>	70 уд/мин		Без ошибок	
				Остановка с последующим восстановлением ритма (без нарушения паттерна движения)	
				Одновременный удар одноименными конечностями (например, должна ударить правая рука, а спортсмен ударяет и правой рукой, и правой ногой)	
				Нарушение последовательности (например, после правой руки должна ударить правая нога, но участник ударяет левой ногой)	

				Ускорение (паттерн движения сохраняется, но темповые характеристики движения рассогласуются с внешним ритмом)	
				Замедление (через некоторое время спортсмен начинает замедляться)	
2	Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	90 уд/мин		Без ошибок	
				Остановка с последующим восстановлением ритма (без нарушения паттерна движения)	
				Одновременный удар одноименными конечностями (например, должна ударить правая рука, а спортсмен ударяет и правой рукой, и правой ногой)	
				Нарушение последовательности (например, после правой руки должна ударить правая нога, но участник ударяет левой ногой)	

				Ускорение (паттерн движения сохраняется, но темповые характеристики движения рассогласуются с внешним ритмом)	
				Замедление (через некоторое время спортсмен начинает замедляться)	
3	Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	120 уд/мин		Без ошибок	
				Остановка с последующим восстановлением ритма (без нарушения паттерна движения)	
				Одновременный удар одноименными конечностями (например, должна ударить правая рука, а спортсмен ударяет и правой рукой, и правой ногой)	
				Нарушение последовательности (например, после правой руки должна ударить правая нога, но участник ударяет левой ногой)	

				Ускорение (паттерн движения сохраняется, но темповые характеристики движения рассогласуются с внешним ритмом)	
				Замедление (через некоторое время спортсмен начинает замедляться)	
4	Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	180 уд/мин		Без ошибок	
				Остановка с последующим восстановлением ритма (без нарушения паттерна движения)	
				Одновременный удар одноименными конечностями (например, должна ударить правая рука, а спортсмен ударяет и правой рукой, и правой ногой)	
				Нарушение последовательности (например, после правой руки должна ударить правая нога, но участник ударяет левой ногой)	

				Ускорение (паттерн движения сохраняется, но темповые характеристики движения рассогласуются с внешним ритмом)	
				Замедление (через некоторое время спортсмен начинает замедляться)	
5	(Квадрипедальный ритм с синкопой на пятую долю) Осуществлять последовательные удары по часовой стрелке: четверть-четверть-четверть-четверть-шестнадцатая и восьмая с точкой. Например, в первом цикле левая рука-правая рука-правая нога-левая нога-левая рука делает два неравномерных удара короткий и более длинный. В следующем цикле двойные удары попадут уже не на правую руку, а в третьем - на правую ногу.	70 уд/мин		Без ошибок	
				Остановка с последующим восстановлением ритма (без нарушения паттерна движения)	

				Одновременный удар одноименными конечностями (например, должна ударить правая рука, а спортсмен ударяет и правой рукой, и правой ногой)	
				Нарушение последовательности (например, после правой руки должна ударить правая нога, но участник ударяет левой ногой)	
				Ускорение (паттерн движения сохраняется, но темповые характеристики движения рассогласуются с внешним ритмом)	
				Замедление (через некоторое время спортсмен начинает замедляться)	
6	Максиминное тестирование. Осуществлять последовательные удары по часовой стрелке с возрастающей частотой до полной остановки	от 70 уд/мин и выше до возникновения ошибок		Если участник исследования после сбоя или ошибки восстанавливает паттерн движения, продолжаем тестирование, увеличивая частоту метронома. Работаем до отказа выполнять упражнение	Здесь фиксируем максимальную частоту, которую участник в состоянии поддерживать хотябы на протяжении 4 циклов

В ряде случаев (15%) спортсмен может быть не в состоянии усвоить новый двигательный паттерн и, как следствие, не справиться ни с одним тестом. В этом случае на бланке тестирования следует указать «движение недоступно для выполнения». Такой результат означает, что у спортсмена имеются ресурсы для превышения профессиональной продуктивности. Этот ресурс может быть актуализирован путем ежедневных тренировок (завершающая глава настоящего отчета).

Если спортсмен не может выполнить отдельные типы заданий, следует указать напротив соответствующего пункта «недоступно для выполнения».

В остальных случаях следует дать возможность выполнить задание в течение двух минут, фиксируя не только наличие ошибок, но и их характер (простая остановка без потери паттерна движения, нарушение паттерна движения, ускорение или замедление).

Следует отдельно остановиться на пункте 5 – воспроизведении ритмической структуры с синкопой – неравномерный ритм. Этот ритм отличается от остальных тем, что имеет неравномерную структуру. Это задание является сложным. Для установления такой закономерности требуется большее время и больший объем рабочей памяти. Для воспроизведения такого паттерна требуется гораздо больше когнитивных усилий. Более того, количество конечностей соответствует 4, а полный цикл движения соответствует 5-ти, в результате чего, двойной удар будет приходиться каждый раз на другую конечность. Еще одна принципиальная трудность этой ритмической структуры внутри нашей модели движения состоит в том, что для успешного выполнения задания участнику исследования предстоит объединить привычное обыденное и банальное с необычным и «противоестественным» в составе единой деятельности. Так, чтобы выполнить квадрипедальное движение с синкопой на 5 долю предстоит интегрировать ритм 4/4 (четыре четверти, самый популярный музыкальный ритм) и ритм 5/4 (пять четвертей, «противоестественный» «антианатомичный» музыкальный ритм, такой ритм используется крайне редко что использовал Лойд Веббер в арии Марии Магдалены). Таким образом, полный цикл будет занимать 20 четвертей и состоять из 4 вложенных пятикратных циклов, каждый из которых содержит по одной синкопе. В тоже время этот же 20-ти частный цикл будет содержать 5 циклов по 4 удара, если группировать удары не с точки зрения синкопы, а с точки зрения конечности, выполняющей удар.



Рис. 7 - 2 цикла квадрипедального движения с синкопой на 5 долю, 1-5 удары первого цикла, 6-10 – удары второго цикла.

Также следует отдельно остановиться на максиминном тестировании (пункт 6 диагностического тестирования). Задача тестирования состоит в том, чтобы выявить максимальную частоту, на которой участник еще способен выполнять квадрипедальное движение. Следует отметить, что данное тестирование будет зависеть от скорости изменения ритма. Данный алгоритм, реализованный автоматически в условиях виртуальной реальности, позволяет осуществлять эту подстройку, учитывая подвижность нервной системы самого участника: медленно для низкоабильных участников и быстро для участников с подвижными нервными процессами. В данном случае такая возможность отсутствует, поэтому следует отметить, что повышать частоту метронома следует не более чем на 10 ударов в минуту, давать адаптироваться в новой частоте участнику следует в течение не менее 20 секунд. Так, например, тестирующий начинает тест с 70 ударов в минуту, через 20 секунд увеличивает частоту метронома до 80, еще через 20 до 90 и так далее пока не доходит до 180 ударов в минуту. На этой частоте участник исследования совершает две ошибки, связанные с распадом паттерна движения, после чего отказывается от дальнейшего выполнения. В таком случае в протокол тестирования записывается частота 180 ударов в минуту как максиминная частота квадрипедального ритма.

Следует отличать такую ситуацию от другой, когда участник совершает ошибку (останавливается или сбивается), но после непродолжительной паузы восстанавливает

квадрипедальный ритм и последовательно его воспроизводит. В таком случае следует продолжать увеличивать частоту метронома до отказа.

Результат диагностического тестирования является основой для программы тренировок квадрипедального праксиса. Квадрипедальное движение поддается тренировке в случае выполнения ежедневных упражнений. Важно отметить, что при отработке квадрипедального движения основное значение имеет период безошибочной работы. Поэтому следует тренировать спортсмена не на максимальной частоте, а на той частоте, на которой у него обнаруживается несколько ошибок за 2 минуты. Таким образом, важнее не воспроизвести максимальную частоту, но удержаться в течение не менее 2 минут без сбоев, потери ритма, остановок.

7. Протокол коррекции квадрипедального праксиса в условиях виртуальной реальности

В отсутствие признаков киберукачивания а также при наличии доступа оборудованию виртуальной реальности существует возможность проводить тренировки в условиях виртуальной реальности для улучшения квадрипедального ритмического праксиса.

Тренировки необходимо проводить не реже 2 раз в неделю, полный цикл должен составлять не менее 10 занятий, при этом в дни без аппаратных тренировок участник должен самостоятельно выполнять базовые упражнения в физической реальности (следующая глава) плюс упражнения на отстающую конечность в случае выявления на диагностическом этапе памяти о травме.

Таблица 3 - Методика коррекции квадрипедального праксиса в виртуальной реальности. Вариант персонифицированного протокола

	Задача	Скорость метронома	Время выполнения упражнения
1	Касаться виртуальных мишеней: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	90 уд/мин	2 минуты

2	(смена направления) Касаться виртуальных мишеней в обратном направлении: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога и т.д.)	90 уд/мин	2 минуты
3	Касаться виртуальных мишеней: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	120 уд/мин	2 минуты
4	(смена направления) Касаться виртуальных мишеней в обратном направлении: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога и т.д.)	120 уд/мин	2 минуты
5	Касаться виртуальных мишеней: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	180 уд/мин	2 минуты
6	(смена направления) Касаться виртуальных мишеней в обратном направлении: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога и т.д.)	180 уд/мин	2 минуты
7	(Квадрипедальный ритм с неравномерной временной структурой) Касаться виртуальных мишеней по часовой стрелке: синхронизируясь с ударами метронома. При этом метроном воспроизводит один и тот же неравномерный ритмический рисунок, который изменяется в каждом новом тестовом задании	70 уд/мин	2 минуты
8	Смена направления, Квадрипедальный ритм с неравномерной ритмической структурой, двигательный паттерн реализуется а обратном направлении: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога	70 уд/мин	2 минуты
9	В случае выявления "памяти о трафме ритмический праксис на "отстающую" конечность". Монопедальное движение, равномерная ритмическая структура. Следует начинать со скорости 70 уд/мин, постепенно увеличивать ее до 150 уд/мин	70 уд/мин	2 минуты
10	Проба на двойную задачу. Осуществление квадрипедального движения, совмещенное с вербальной деятельностью (последовательно вычитать из 100 по 7, озвучивая результат вслух)	90 уд/мин	2 минуты

Представленные упражнения расположены в порядке своей сложности, поэтому не следует переходить к новому упражнению, если предыдущее выполняется плохо (отсутствует антиципирующая стратегия, количество ошибок и сбоев превышает 2 за 2 минуты, спортсмен способен выполнять упражнение, но лишь в короткий интервал времени, который длится менее 2 минут).

Длительность тренировки не должна превышать 30 минут. Если какие-то упражнения оказались недоступными для выполнения, следует сосредоточить свое внимание на предшествующих упражнениях. Если какие-то упражнения участник не успевает выполнить за время тренировки, нежелательно увеличивать ее продолжительность. Требуется вернуться к ним, но в следующий раз.

8. Протокол коррекции квадрипедального ритмического праксиса в условиях физической реальности.

Согласно данным ВОЗ, что у 10-20 % людей, смотрящих продукцию в 3D, просмотр вызывает тошноту и головокружение (Kolasinski, 2015, Lawson et al, 2021). Это означает, что виртуальная реальность не может быть универсальным и единственным инструментом в руках спортивного врача или спортивного психолога. Даже если спортсмен может пройти диагностические мероприятия, его тренировка не может проводиться в условиях виртуальной реальности. Это не означает, что ресурс, связанный с квадрипедальным движением, не может быть обнаружен и использован. Специально для таких целей мы разработали алгоритм, позволяющий тренировать спортсмена без специальных аппаратно-программных комплексов.

Необходимое оборудование: стул без подлокотников, секундомер с возможностью изменять скорость (до 400 ударов в минуту). Перед тренировкой необходимо провести диагностику в виртуальной или физической реальности, для того, чтобы определить 1) частоту, на которой участник исследования совершает минимальное число ошибок.

Тренировки квадрипедального движения следует осуществлять ежедневно, работая по 15-20 минут. Длительность каждого упражнения – 2 минуты. Между каждым упражнением пауза длительностью 1 минута. Во время паузы следует сидеть с закрытыми глазами, не разговаривать.

Перед началом выполнения упражнения следует убедиться, что спортсмен понял инструкцию и может продемонстрировать упражнение в отсутствии метронома, делает 2-3 цикла и не сбивается при этом. Если спортсмен сбивается в отсутствие метронома, следует отработать движение без метронома и лишь затем отрабатывать его слухомоторную синхронизацию.

После того, как тренер убедился в том, что спортсмен понимает инструкцию и может выполнить упражнение без метронома, спортсмену необходимо включить метроном, для того, чтобы он сформировал представление о темпе предстоящей деятельности. Рекомендуется использовать ритм 90 ударов в минуту. Если спортсмен не справляется с

этим ритмом, следует использовать частоту 70 ударов в минуту в течение первых тренировок. По мере того, как у спортсмена будут наблюдаться улучшения, появятся периоды безошибочной работы, следует постепенно увеличивать частоту работы до 90 ударов в минуту.

Таблица 4 - Программа тренировки квадрипедального ритмического праксиса в физической реальности для спортсменов различных видов спорта

	Задача	Скорость метронома	Время выполнения упражнения
1	Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	90 уд/мин	2 минуты
2	(смена направления) Осуществлять последовательные удары: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога и т.д.)	90 уд/мин	2 минуты
3	Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	120 уд/мин	2 минуты
4	(смена направления) Осуществлять последовательные удары: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога и т.д.)	120 уд/мин	2 минуты
5	Осуществлять последовательные удары: левая рука-правая рука-правая нога-левая нога, синхронизируя каждый со звуком метронома (по часовой стрелке)	180 уд/мин	2 минуты
6	(смена направления) Осуществлять последовательные удары: правая рука-левая рука-левая нога-правая нога и т.д.)	180 уд/мин	2 минуты
7	(Квадрипедальный ритм с синкопой на пятую долю) Осуществлять последовательные удары по часовой стрелке: четверть-четверть-четверть- четверть-шестнадцатая и восьмая с точкой. Например, в первом цикле левая рука-правая рука-правая нога-левая нога-левая рука делает два неравномерных удара короткий и более длинный. В следующем цикле двойные удары попадут уже не на правую руку, а в третьем - на правую ногу.	70 уд/мин	2 минуты

8	(Смена направления, Квадрипедальный ритм с синкопой на пятую долю) Осуществлять последовательные удары против часовой стрелки: четверть-четверть-четверть- четверть-шестнадцатая и восьмая с точкой. Например, в первом цикле правая рука-левая рука-левая нога-правая нога-два удара правой рукой. В следующем цикле двойные удары попадут уже не на правую руку, а на левую руку	70 уд/мин	2 минуты
9	(Квадрипедальный ритм с синкопой на пятую долю) Осуществлять последовательные удары по часовой стрелке: четверть-четверть-четверть- четверть-шестнадцатая и восьмая с точкой.	100 уд/мин	2 минуты
10	(Смена направления, Квадрипедальный ритм с синкопой на пятую долю) Осуществлять последовательные удары против часовой стрелки: четверть-четверть-четверть- четверть-шестнадцатая и восьмая с точкой.	100 уд/мин	2 минуты

Если спортсмен не справляется с ритмом 90 ударов в минуту и за время выполнения совершает многократные (более двух) сбои, ошибки, рекомендуется выполнять упражнения на частоте 70 ударов в минуту.

После того, как базовые упражнения, включая синкопированный ритм, будут доступны спортсмену, необходимо увеличить период безошибочной работы с 2 минут до необходимого времени.

Следующий этап – разгон квадрипедального движения, увеличение частоты, на которой спортсмен может безошибочно работать до 200 ударов в минуту.

Курс ежедневных тренировок должен продолжаться не менее 10 ежедневных занятий. По окончании курса необходимо осуществить повторную диагностику.

9. Квадрипедальное движение и исполнительные функции

Представляло интерес сопоставить созданный диагностический инструмент (квадрипедальный ритмограф) с «золотым психометрическим стандартом» - батареей когнитивных тестов, оценивающих исполнительные функции. Для этого мы использовали следующие субтесты: 1) Задача Go/No-go. Задача на оценку способности к ингибированию нерелевантных. Задача отличается от других тестов тем, что участники не подавляют одну реакцию, чтобы вызвать другую, а они только подавляют реакцию, 2) Тест Ступа — широко используемый тест для оценки способности подавлять когнитивную интерференцию, возникающую, когда обработка определенного признака стимула препятствует одновременной обработке второго признака стимула. 3) Фланговая задача. Задача

оценивает избирательность внимания. Тормозный контроль внимания (контроль интерференции на уровне восприятия) позволяет нам избирательно следить, сосредотачиваясь на том, что мы выбираем, подавляя внимание на другие стимулы. 4) Прямой (объем кратковременной памяти) и обратный счет (объем рабочей памяти). 5) Задача n-back. Задача оценивает обновление рабочей памяти. Для оценки обновления рабочей памяти используется парадигма n-back. На матрице 4x4 загорается какая-то из ячеек, человеку нужно выбрать, загоралась ли та же самая ячейка n позиций назад. Оцениваются: время реакции, количество ошибок и типы ошибок, средняя точность выполнения задания. 6) Задача на переключаемость При выполнении задания респондент должен реагировать на форму или цвет предъявляемых фигур. Оцениваются: время реакции в испытаниях, где условие не меняется и время реакции при переключении правила; количество ошибок в двух условиях; разница времени реакции между условиями; разница в количестве ошибок между условиями.

Мы провели корреляционный анализ, сопоставив параметры тестов оценки квадрипедального ритмического праксиса у спортсменов с параметрами тестов на исполнительные функции (Таблица 2): ингибирование нерелевантных стимулов (go-no-go), избирательность внимания (фланкер), обновляемость рабочей памяти (n-back). Парадигма Go/No-go оценивает тормозной контроль, требуя реагировать только на специфические стимулы (Go) и подавлять автоматическую реакцию (No-Go). Значимо коррелируют между собой количество ошибок во фланговой задаче и вариабельность ритма при выполнении квадрипедального движения, что указывает на то, что лица с более высокой степенью ритмической диспраксии (большая вариативность) склонны совершать больше ошибок в заданиях, требующих избирательного внимания и торможения, и наоборот.

Значимые корреляции обнаруживаются между количеством ошибок в тесте на ингибирование в парадигме «Go/No-go» и вариабельностью ритма в присутствии интерферирующего стимула, а также разницей в вариабельности в присутствии и отсутствии интерферирующего стимула. Время реакции в тесте на ингибирование в парадигме «Go/No-go» значимо коррелирует с вариабельностью ритма при выполнении квадрипедального движения и с вариабельностью ритма в тесте на переключаемость ритмов, что позволяет получить ценные сведения о взаимодействии моторного, когнитивного контроля и ритмических способностей. Адаптация к различным ритмическим структурам требует ресурсов рабочей памяти. Корреляция между вариабельностью ритма и количества ошибок в этой парадигме позволяет предположить, что у лиц с ритмической диспраксией также затруднен тормозной контроль, им трудно эффективно подавлять автоматические реакции. В присутствии отвлекающих ритмов люди с высокой

вариабельностью ритма не могут адекватно подавлять реакции, что подтверждается ошибками в заданиях, требующих точного подавления реакции. Более высокая вариабельность ритма свидетельствует о трудностях в управлении пространством рабочей памяти, что приводит к задержке реакции при переключении между ритмами.

Задача n-back предъявляет значительные требования к рабочей памяти, поскольку требует от участников постоянно обновлять и вспоминать предыдущие элементы в последовательности, которая была предъявлена, то есть большое количество ошибок указывает на трудности в управлении когнитивными ресурсами. Это и подтверждается трудностями с ритмической задачей, где при устранении внешнего ритмического стимула наблюдаются трудности с внутренней генерацией и поддержанием ритма, что приводит к увеличению вариабельности. Обнаружена значимая положительная корреляция между количеством ошибок в тесте n-back на рабочую память и разнице в вариабельности интервалов при выключенном и включенном метрономе в тесте на ритмическую память..

Значимая корреляция присутствует между разницей во времени реакции в тесте Струпа и ошибкой синхронизации в присутствии интерферирующего стимула, вариабельностью ритма в присутствии интерферирующего стимула, а также разницы ошибки синхронизации в присутствии и отсутствии интерферирующего стимула. Более длительное время реакции в тесте Струпа указывает на трудности с торможением автоматических реакций и концентрацией внимания. Возможно, на выполнение теста Струпа и ошибки синхронизации влияет общий базовый фактор, или они могут взаимно влиять друг на друга более сложным образом. Возможно, трудности в выполнении теста Струпа приводят к увеличению ошибок синхронизации из-за нарушения контроля внимания. И наоборот, проблемы с двигательной координацией могут влиять на когнитивные процессы, что приводит к увеличению времени реакции в тесте Струпа. Может существовать и двунаправленная связь, когда трудности в одной области усугубляют проблемы в другой. Цена переключения (в ошибках) отрицательно коррелирует с высоким уровнем значимости с разницей ошибки синхронизации в присутствии и отсутствии интерферирующего стимула, а также с вариабельностью ритма в тесте на переключаемость. Под ценой переключения понимаются дополнительные ошибки, возникающие при переключении между задачами или стимулами. Более низкая цена переключения свидетельствует о более высокой когнитивной гибкости и эффективности переключения между задачами. Отрицательная корреляция свидетельствует о том, что люди с более высокой когнитивной гибкостью (меньшей ценой переключения) демонстрируют меньшее количество ошибок синхронизации в присутствии отвлекающего стимула. Они также демонстрируют меньшую вариабельность ритма во время теста на

переключаемость, и наоборот. Спортсмены с более низкой ценой переключения, что свидетельствует о высокой когнитивной гибкости, лучше противостоят внешним отвлекающим факторам. Они сохраняют двигательную координацию даже в присутствии отвлекающих стимулов. Более низкие затраты на переключение свидетельствуют о способности к быстрому переключению задач и адаптации к изменяющимся требованиям. Эта адаптивность может распространяться и на двигательные задачи, позволяя людям эффективно корректировать свои движения в зависимости от меняющихся ритмических сигналов, уменьшая ошибки синхронизации и вариабельность ритма. Когнитивная гибкость тесно связана с контролем внимания.

Спортсмены с меньшими затратами на переключение, вероятно, обладают более совершенными механизмами внимания, позволяющими им избирательно направлять внимание на значимые сигналы, игнорируя отвлекающие стимулы. Развитый контроль внимания может положительно влиять на двигательную активность, обеспечивая более высокую устойчивость к дистракторам и последовательное ритмичное выполнение действий. Полученные результаты позволяют предположить, что вмешательства, направленные на развитие когнитивной гибкости, потенциально могут повысить устойчивость к дистракторам и улучшить двигательную активность. Полезными могут оказаться тренировочные программы, включающие как упражнения на когнитивную гибкость, так и ритмические двигательные задания.

Таким образом, разработанная система оценки квадрипедального ритмического праксиса статистически значимо, высоко и избирательно коррелирует с исполнительными функциями, золотым психометрическим стандартом (избирательность внимания, способность к ингибированию нерелевантных стимулов, оборачиваемость рабочей памяти). По сути, это означает, что разработанный протокол оценки квадрипедального ритмического праксиса одновременно диагностирует исполнительные функции. При этом разработанная нами система оценки дает представление о нейрокогнитивных функциях в динамике, поскольку позволяет получить картину выполнения задачи, развернутую во времени и оценить, на каком этапе выполнения появляются ошибки: на этапе вработывания и освоения структуры задачи, или на этапе монотонного ее воспроизведения через определенные промежутки времени. Именно поэтому разработанная нами система превосходит «золотой психометрический стандарт», поскольку дает наглядное представление о нейродинамике нервных процессов.

Таблица 5 - Корреляционная матрица параметров исполнительных функций и показателей квадрипедального ритмического праксиса. Были использованы корреляции по Спирмену. * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$.

	Ошибк а синхро низаци и	Вариабел ьность	Разниц а интерв ала при выключ енно м и включ енном метрон оме	Разница вариабел ьности при выключ енном и включ енном метроно ме	Ошибка в присутс твии интерфе ренции	Вариабел ьность в присутс твии интерфе ренции	Разница ошибки при интерфе ренции	Разница вариабел ьности при интерфе ренции	Ошибка при переключ аемости	Вариабел ьность при переключ аемости	Разница в ошибке при переключ аемости	Разница в вариабел ьности при переключ аемости
Flanker_Кол ичество ошибок	-0.138	0.345*	-0.016	0.216	0.111	0.269	0.082	0.046	-0.198	0.158	-0.017	-0.282
Flanker_Раз ница во времени реакции (секунды)	0.173	0.094	0.029	-0.192	0.204	0.196	0.221	0.229	-0.049	-0.198	-0.137	-0.257
Go_No_Go_ Количество ошибок	-0.013	0.087	0.066	0.028	0.041	0.448**	-0.088	0.442**	0.089	-0.087	0.093	-0.219
Go_No_Go_ Время реакции	-0.297	0.460**	0.149	0.232	0.257	0.336	0.212	-0.117	-0.087	0.383*	0.167	-0.235
Nback_Врем я реакции (секунды)	-0.249	0.134	-0.239	-0.125	-0.060	0.323	0.033	0.233	0.162	0.186	0.277	-0.097
Nback_Коли чество ошибок	-0.014	0.180	0.143	0.498**	-0.101	0.151	0.068	-0.067	-0.266	-0.092	-0.165	-0.322

Backwards_S rap_объем рабочей памяти	0.452**	-0.291	0.126	-0.009	-0.021	-0.182	-0.209	-0.109	0.279	-0.115	0.044	0.305
Forward_Spa n_объем кратковре менной памяти	0.487**	-0.282	0.192	-0.170	0.049	-0.227	-0.139	-0.018	0.073	-0.213	-0.170	0.276
Stroop_Коли чество ошибок	-0.315	0.266	-0.052	0.175	-0.153	0.283	-0.154	0.126	-0.117	0.037	0.125	-0.248
Stroop_разн ица во времени реакции в секундах	-0.144	0.220	0.133	0.169	0.488**	0.385*	0.357*	0.246	-0.034	0.030	0.160	-0.249
Переключае мость_цена переключен ия_время реакции в секундах	0.012	-0.181	0.243	-0.113	0.129	0.049	0.219	0.261	-0.163	-0.099	-0.115	0.012
Переключае мость_цена переключен ия (ошибки)	0.100	-0.017	0.022	-0.103	-0.301	0.076	- 0.560***	0.223	0.117	-0.371*	0.072	-0.312

Заключение

Разработанные методические рекомендации представляют протоколы оценки квадрипедального ритмического праксиса в виртуальной и физической реальности а также протоколы коррекции квадрипедального ритмического праксиса в виртуальной и физической реальности с учетом особенностей, выявленных при диагностике. Настоящие программы могут являться дополнительными упражнениями в рамках тренировочного процесса или самостоятельными тренинговыми программами при восстановлении после болезни или травмы.

Полученные результаты в совокупности свидетельствуют о сложной взаимосвязи между ритмическим праксисом и исполнительными функциями. Лица, демонстрирующие большую вариабельность при выполнении ритмических заданий, чаще испытывают трудности с исполнительными функциями, в частности с заданиями на ингибирование и селективное внимание, и наоборот. Это позволяет предположить о наличии общих механизмов, лежащих в основе ритмических и когнитивных функций. Полученные результаты приближают к пониманию сложного взаимодействия между моторными навыками, обработкой ритма и когнитивным контролем, что дает ценные сведения для будущих исследований. Кроме того, эти данные открывают перспективы для разработки целенаправленных вмешательств, которые могут улучшить результаты для людей, сталкивающихся с трудностями как в двигательной, так и в когнитивной сферах.

Проведенное исследование о взаимосвязи между ритмическим праксисом и исполнительными функциями закладывает прочную основу для повышения спортивных результатов научно обоснованным способом

Список литературы

1. Bood R. J. et al. The power of auditory-motor synchronization in sports: enhancing running performance by coupling cadence with the right beats //PloS one. – 2013. – Т. 8. – №. 8. – С. e70758.
2. Brown, T. G. (1911). The intrinsic factors in the act of progression in the mammal. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 84(572), 308-319.
3. Gokeler, Alli & Bisschop, Marsha & Myer, Gregory & Benjaminse, Anne & Dijkstra, Pieter & Burgerhof, Johannes & Otten, Egbert & van Keeken, Helco & Raay, Jos. (2014). Immersive virtual reality improves movement patterns in patients after ACL reconstruction: implications for enhanced criteria- based return-to-sport rehabilitation. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*. 24. doi: 10.1007/s00167-014-3374-x.
4. Kolasinski, E. M. "Simulator sickness in virtual environments (ARI 1027)" (PDF). www.dtic.mil. U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. Archived from the original on April 6, 2015. Retrieved 22 July 2014.
5. Karkar, Somaya Almaadeed, Rehab Salem, Mariam AbdelHady, Sara Abou-Aggour, & Hafsa Samea KinFit (2018). A Factual Aerobic Sport Game with Stimulation Support. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 13(12), 50–67. doi: 10.3991/ijet.v13i12.8626
6. Lawson, Ben D.; Stanney, Kay M. (2021). "Editorial: Cybersickness in Virtual Reality and Augmented Reality". *Frontiers in Virtual Reality*. 2. doi:10.3389/frvir.2021.759682. ISSN 2673-4192.
7. Nandi D, Aziz TZ, Giladi N, Winter J, Stein JF. Reversal of akinesia in experimental parkinsonism by GABA antagonist microinjections in the pedunculopontine nucleus. *Brain* 2002; 125: 2418–30.
8. Schupak, A. (2018). Simulated Golf, Real Results: Off-Course Participation Helps Drive Engagement. National Golf Foundation. Retrieved from: [https:// www.thengfq.com/2018/01/simulated-golf-real-results-offcourse-participation-helps-drive-engagement](https://www.thengfq.com/2018/01/simulated-golf-real-results-offcourse-participation-helps-drive-engagement)
9. Shi, Y., & Peng, Q. (2018). A VR-based user interface for the upper limb rehabilitation. In *Procedia CIRP*, 78, 115–120, doi: 10.1016/j.procir.2018.08.311
10. Zrinzo L, Zrinzo LV, Hariz M. The pedunculopontine and peripeduncular nuclei: a tale of two structures. *Brain* 2007a; 130: e73.
11. Красноперов А.В., Анисимов В.Н., Ковалева А.В., Касаткин В.Н. Прибор для оценки чувства ритма RhythmGraph, патентное свидетельство № 2019661879.
12. Физическая и психологическая реабилитация детей с опухолями задней черепной ямки: монография / под ред. В.Н. Касаткина. М.: МЕДпресс-информ, 2023. 440 с.

Библиографические данные

УДК 61:796/799

Ключевые слова: спорт высших достижений, спортсмены спортивных сборных команд Российской Федерации, квадрипедальный ритмический праксис, когнитивные функции, виртуальная реальность