

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

Постуральный баланс и когнитивные функции: взаимодействие и значение для реабилитации (научный обзор)

Ю.П. Зверев^{1, 2}, Т.В. Буйлова^{1, 2}, А.А. Туличев²¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия;² Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена обобщению закономерностей постурально-когнитивного взаимодействия и их практического использования в физической реабилитации. Рассматриваются морфофункциональные основы взаимосвязи между постуральным балансом и когнитивными функциями, в частности роль вестибулярной системы в когнитивных процессах и участие когнитивных функций в поддержании равновесия. Проанализированы закономерности взаимодействия между постуральным балансом и когнитивными функциями, включая глобальный характер постурально-когнитивного взаимодействия, влияние многозадачности, типа двигательной задачи (статическая или динамическая), её сложности, новизны и вариативности.

В обзоре представлены перспективы практического применения концепции постурально-когнитивного взаимодействия в физической реабилитации. К ним можно отнести использование в программах реабилитации методов когнитивного тренинга, которые за счёт положительного переноса эффекта тренировки улучшают не только когнитивные функции, но и постуральную устойчивость, а также повышают способность выполнять двойные и многозадачные действия, в том числе относящиеся к активностям повседневной жизни. Ещё одним перспективным направлением практического применения взаимосвязи когнитивных функций и постурального баланса являются вестибулярные тренировки, которые за счёт вестибулярно-когнитивного взаимодействия способствуют улучшению когнитивного статуса.

Учитывая социальную значимость нейрокогнитивных расстройств и важность их ранней диагностики, рассматриваются вопросы, связанные с выявлением объективных коррелятов и предикторов снижения когнитивных функций, в частности базовых пространственных и пространственно-временных параметров статической стабиллометрии, а также расчётных стабиллометрических индексов.

Ключевые слова: постуральный баланс; когнитивные функции; стабиллометрия; реабилитация.

Как цитировать:

Зверев Ю.П., Буйлова Т.В., Туличев А.А. Постуральный баланс и когнитивные функции: взаимодействие и значение для реабилитации (научный обзор) // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 2. С. 143–156. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

Postural balance and cognitive functions: interaction and significance for rehabilitation (scientific review)

Yury P. Zverev¹, Tatyana V. Builova^{1, 2}, Alexander A. Tulichev²

¹ Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia;

² Privolzhsky Research Medical University, Nizhni Novgorod, Russia

ABSTRACT

The study analyses the patterns of postural-cognitive interaction and their possible application in physical rehabilitation. The morphofunctional basis of the relationship between postural balance and cognitive functions is considered, particularly the role of the vestibular system in cognitive processes and the participation of cognitive functions in the regulation of equilibrium. The interaction patterns between postural balance and cognitive functions were analyzed, including the global nature of postural-cognitive interaction, influence of multitasking, and type of motor task (static or dynamic), its complexity, novelty and variability.

The review presents the prospects and advantages of the practical application of the concept of postural-cognitive interaction in physical rehabilitation. These include the use of cognitive training methods in rehabilitation programs, which, due to the positive transfer of the effect of training, improves cognitive functions and postural stability and increases the ability to perform two or more tasks, including those related to activities of daily living. Vestibular training is another promising area of practical application of interaction between cognitive functions and postural balance; accordingly, vestibular-cognitive interaction contributes to the improvement of cognitive status.

Considering the social significance of neurocognitive disorders and the importance of their early diagnosis, issues related to the identification of objective correlates and predictors of cognitive decline, particularly the basic spatial and spatiotemporal parameters of static posturography and stabilometric indices, are taken into account.

Keywords: postural balance; cognitive functions; stabilometry; rehabilitation.

To cite this article:

Zverev YuP, Builova TV, Tulichev AA. Postural balance and cognitive functions: interaction and significance for rehabilitation (scientific review). *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(2):143–156. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab626484>

Список сокращений

ОЦД — общий центр давления

DSM-V (Diagnostic and statistical manual of mental diseases) — рекомендация по диагностике и статистике психических расстройств

IPS (Index of Postural Stability) — индекс постуральной стабильности

MoCA (Montreal Cognitive Assessment) — Монреальский тест когнитивной оценки

VPS (Visual Dependency Index of Postural Stability) — индекс визуальной зависимости постуральной стабильности

ВВЕДЕНИЕ

Представления о связи моторных функций, в частности постурального баланса, и когнитивных доменов претерпели существенные изменения от рассмотрения их абсолютно независимыми процессами, обособленно развивающимися и вовлекающими различные нервные субстраты, до современных концепций взаимосвязи моторики и когнитивных функций [1–3]. В соответствии с системной моделью, постуральный контроль не является отдельной морфофункциональной системой [3]. Для эффективного поддержания постуральной ориентации и устойчивости необходимы динамическое взаимодействие и координация между центральной нервной системой, сенсорными системами, а также опорно-двигательным аппаратом с привлечением различных ресурсов — биомеханических, когнитивных, сенсорных и двигательных [3].

В последнее время вырос интерес к когнитивному компоненту системы постурального контроля. Несмотря на то, что в хорошо освоенных положениях тела и двигательных действиях равновесие поддерживается автоматически, когнитивные функции необходимы для всех видов постурального баланса, и чем сложнее двигательное действие, тем больше требуется когнитивных ресурсов [1, 2]. Вовлечённость когнитивных функций в постуральный контроль наглядно прослеживается в условиях многозадачности, например, при выполнении двойных заданий или при смене заданий [2, 4]. Дефицит внимания ограничивает способность человека получать информацию об окружающей среде, своевременно обнаруживать изменения в ближайшем окружении, что уменьшает возможности проактивного и реактивного постурального контроля [5]. Когнитивные проблемы снижают также способность человека обучаться или восстанавливать навыки постурального баланса, уменьшают эффективность постурального контроля, что приводит к снижению функциональной мобильности и возможности самообслуживания и повышает риск падений [6].

Проведённые исследования по постурально-когнитивному взаимодействию дали противоречивые результаты: от полного отсутствия связи между показателями постурального контроля и когнитивных функций до наличия значимой связи различной степени выраженности [1, 2]. Отчасти такое противоречие может объясняться гетерогенностью и многокомпонентностью как когнитивных функций, так и постурального баланса [3]. Кроме того, постуральный баланс часто рассматривался не как самостоятельный компонент,

а как часть мобильности или крупной моторики, чаще всего в комплексе с ходьбой [1].

Учёт постурально-когнитивного взаимодействия имеет как теоретическое, так и практическое значение и может быть полезен в подборе наиболее эффективных реабилитационных программ по восстановлению или развитию моторных и/или когнитивных функций, а также в выявлении постуральных коррелятов когнитивных функций, в том числе для ранней диагностики когнитивных нарушений [1, 2].

ОБОБЩЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОСТУРАЛЬНО-КОГНИТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Критерии поиска и включения литературных источников

Подбор литературных источников проводился в августе-сентябре 2023 года в базах данных PubMed, eLibrary, Google Scholar, Cochrane. Использовались следующие ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках: постуральный контроль (postural control), баланс (balance), когнитивные функции (cognitive functions), реабилитация (rehabilitation), постурография (posturography), когнитивные нарушения (cognitive disorders), постурально-когнитивное взаимодействие (posture-cognitive interaction), вестибулярная система (vestibular system). Глубина поиска составила 20 лет. В обзор включены также несколько более ранних классических публикаций, содержащих концептуальную информацию. Всего найдено 132 источника. После анализа исследований для обзора было отобрано 68 источников.

Критерии включения: научные обзоры литературы и метаанализы, оригинальные статьи, клинические руководства, монографии. Критерии исключения: низкое методологическое качество, отсутствие полного текста, материалы конференций.

Гетерогенность постурального баланса и когнитивных функций

Понятие постурального баланса, как и когнитивных функций, является обобщённым и гетерогенным. Под постуральным балансом человека понимают способность

поддерживать и управлять положением общего центра тяжести тела в пределах базы опоры в целях предотвращения падения или потери равновесия при статическом или динамическом положении [7]. Исходя из определения, в постуральном балансе выделяют статический, динамический (реактивный и проактивный), а также произвольный компоненты.

В клинической практике для оценки постурального баланса кроме инструментальных методов используют также простые или комбинированные клинические шкалы с применением статических и динамических заданий [8]. Наиболее доступным инструментальным методом является стабилметрия, которая оценивает устойчивость вертикального положения тела по пространственным, пространственно-временным и спектральным характеристикам колебаний проекции общего центра тяжести тела на плоскость опоры [9].

Когнитивные функции являются наиболее сложными (высшими) психическими (познавательными) функциями головного мозга, с помощью которых осуществляется рациональное познание мира и целенаправленное взаимодействие с ним [10]. Это широкий термин, который относится к психическим процессам, участвующим в приобретении знаний, манипулировании информацией и рассуждении [11]. Хотя центральная нервная система является морфологической основой познания, различие между мозгом и познанием сравнивается с отношением между компьютерным оборудованием и компьютерным программным обеспечением [11].

Для анализа когнитивные функции разделяются на группы или домены. В клинической практике широко используется классификация, изложенная в международных рекомендациях по диагностике и статистике психических расстройств (Diagnostic and statistical manual of mental diseases, DSM-V) [12]. В ней на основе клинико-диагностического подхода выделено 6 основных доменов когнитивных функций, которые соответствуют группам различных клинических когнитивных нарушений.

1. Комплексное внимание, включающее сосредоточенное, распределённое и избирательное внимание.
2. Управляющие (executive) функции, или когнитивный контроль, — когнитивные способности высшего уровня, необходимые для координации и управления другими когнитивными способностями и поведением. К ключевым управляющим функциям относят торможение (тормозной контроль, включая самоконтроль и контроль помех (избирательное внимание и когнитивное торможение), рабочую (оперативную) память, когнитивную гибкость. На основе этих функций строятся управляющие функции более высокого порядка — рассуждение, решение проблем и планирование [13].
3. Обучение и память: сенсорная (непосредственная), оперативная, долговременная память и скрытое (бессознательное) обучение (процедурное обучение).
4. Речевые функции: экспрессивная речь и рецептивная речь.

5. Восприятие и перцептивно-моторные (психомоторные) функции, включая способность воспринимать сенсорную информацию, зрительно-конструктивные способности, гнозис, праксис.

6. Социальный интеллект — узнавание и понимание эмоций, логики и мотивов поведения других людей.

Детально когнитивные функции классифицированы также в Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья [14].

Для оценки когнитивных функций в клинической практике применяют нейропсихологическое тестирование и инструментальные методы (нейровизуализация — компьютерная или магнитно-резонансная томография головного мозга, электроэнцефалография и др.). Нейропсихологические тесты и пробы достаточно разнообразны и оценивают один или несколько доменов когнитивных функций человека независимо от медицинского диагноза [15]. Простейшими нейропсихологическими методиками являются скрининговые шкалы, которые не занимают много времени и не вызывают затруднений при интерпретации результатов.

Природа взаимосвязи между постуральным балансом и когнитивными функциями

Предлагается несколько объяснений связи между когнитивными и двигательными навыками [16]. Морфофункциональной основой взаимодействия между когнитивными процессами и постуральным контролем являются различные структуры головного мозга, которые коактивируются при выполнении двигательных и когнитивных задач. К этим структурам относятся префронтальная кора и гиппокамп (важны для высших когнитивных функций), базальные ганглии и мозжечок (важны для комплексных и координированных движений) [13]. Коактивация более выражена при выполнении сложных, новых или высокоскоростных задач [16]. Кроме того, взаимосвязь между постуральным балансом и когнитивными функциями обуславливают временной фактор (их формирование имеет сходные временные рамки) и общность базовых процессов, таких как выработка и закрепление определённой последовательности, мониторинг и планирование [17, 18].

Связь между вестибулярной системой и когнитивными функциями: вестибулярно-когнитивное взаимодействие

Роль вестибулярной системы в постуральном контроле хорошо известна. В последние годы возросло внимание уделяется взаимному влиянию вестибулярной системы и когнитивной сферы — вестибулярно-когнитивному взаимодействию. С одной стороны, показано влияние вестибулярной системы на способность к когнитивной обработке информации и переключению внимания, пространственное восприятие и память, управляющие когнитивные функции [19, 20]. С другой стороны, имеются доказательства участия когнитивных процессов в регуляции равновесия за счёт влияния на обработку сенсорных сигналов от вестибулярной системы

(вестибулярного сенсорного входа) [21]. Эпидемиологические исследования также косвенно подтверждают наличие взаимосвязи между двумя системами: в частности, отмечается высокая распространённость вестибулярных расстройств среди пациентов с когнитивными нарушениями по сравнению со здоровыми людьми [22].

Морфофункциональной основой вестибулярно-когнитивного взаимодействия может являться корковая нейронная сеть, используемая обеими системами [23]. Показано, что вестибулярная система активирует обширную кортикальную область, включающую верхнюю височную извилину, гиппокамп, нижнюю теменную область и другие структуры [19]. Эти же корковые структуры участвуют в механизмах памяти, зрительно-пространственного восприятия и других когнитивных функций. Такое совместное использование различными функциями одних и тех же структур (вестибулярно-когнитивная нейронная сеть) является основой не только их взаимодействия, но и потенциальной конкуренции [19].

Влияние вестибулярной системы на когнитивные функции особенно заметно при различных вестибулярных дисфункциях, которые часто сочетаются с когнитивными расстройствами (сочетанные вестибулярно-когнитивные нарушения) [19, 24]. Когнитивные дисфункции также влияют на вестибулярную систему. Предполагается наличие единых патогенетических механизмов развития когнитивной дисфункции и нарушения равновесия [19, 25]. Например, атрофия гиппокампа в результате вестибулярной патологии часто приводит к снижению пространственной памяти [26]. Атрофия гиппокампа развивается также в результате нарушения процессов нейрогенеза, вызванного болезнью Альцгеймера — наиболее частой причиной деменции, что отражается как на когнитивных, так и вестибулярных функциях [27, 28]. Именно поэтому атрофия гиппокампа может рассматриваться как пример вестибулярно-когнитивного взаимодействия в случае патологии, приводящего к сочетанным вестибулярно-когнитивным нарушениям [29–31].

Модель многозадачности как показатель связи моторных и когнитивных функций

Взаимосвязь когнитивных функций и постурального баланса прослеживается в условиях многозадачности или при выполнении двойных заданий, в которых к двигательной задаче по поддержанию статического или динамического равновесия добавляется когнитивная задача, связанная с беглой речью, рабочей памятью, мысленным отслеживанием, распознаванием образов, принятием решения и др. [30, 31]. При этом вторая задача не связана с первой и реализуется и оценивается отдельно от неё [31]. К двойным заданиям относятся многие рутинные действия повседневной жизни, поэтому их использование в качестве модели моторно-когнитивного взаимодействия является обоснованным. Механизм взаимодействия между двойными задачами объясняет модель совместного использования центральных ресурсов [32]. Согласно данной модели, одновременное выполнение двух или более задач требует взаимодействия между

ними (когнитивно-моторное взаимодействие) и привлечения внимания ко всем задачам. Предполагается, что когнитивная и моторная системы реципрочно (взаимно) или конкурентно используют совместные перекрывающиеся или параллельные ресурсы внимания для переработки и интеграции информации. Данные ресурсы функционально ограничены. Простые двойные задания, выполняемые автоматически, не перегружают когнитивные возможности человека [32]. Сложные задания, требующие существенного когнитивного контроля, могут привести к перегрузке внимания и конкуренции между заданиями или к когнитивно-моторному вмешательству (cognitive-motor interference), снижающему эффективность выполнения одной или обеих задач [32]. В этих условиях необходима приоритизация одной из задач. Существует предположение, что более приоритетным является поддержание постуральной стабильности, а не обеспечение когнитивных функций (принцип «устойчивость прежде всего») [24]. Такая приоритизация является адаптивным ответом, поскольку позволяет сохранить постуральную устойчивость и уменьшить риск падения и травматизации [19]. Двойные задания демонстрируют важность фокусировки внимания и участия других когнитивных процессов, таких как торможение и рабочая память, для поддержания постурального баланса [32].

Общие закономерности связи и взаимодействия между постуральным балансом и когнитивными функциями (постурально-когнитивного взаимодействия)

В анализе связи когнитивных функций и постурального контроля выделяют три взаимосвязанных аспекта: наличие и выраженность взаимосвязи между отдельными когнитивными доменами и постуральным балансом; зависимость постурально-когнитивного взаимодействия от выполняемой задачи и различия между когнитивным вовлечением в статический и динамический постуральный баланс [30, 33].

Глобальный характер постурально-когнитивного взаимодействия

Результаты систематических анализов и отдельных исследований позволяют предположить, что связь между когнитивными функциями и постуральным балансом не ограничивается единичным когнитивным доменом или видом постурального баланса, а является глобальной [34, 35]. О глобальном характере постурально-когнитивного взаимодействия свидетельствует вовлечённость когнитивной сферы даже в высокоавтоматизированные действия повседневной жизни, выполняемые здоровыми молодыми людьми [36]. Однако, несмотря на глобальный характер связи, вклад отдельных когнитивных доменов в постурально-когнитивное взаимодействие различен [34]. Одни домены вовлечены в постуральный контроль в большей степени, чем другие. Из шести когнитивных доменов, приведённых в DSM-V, основное значение в плане постурально-когнитивного взаимодействия отводится трём — комплексному вниманию,

управляющим функциям и обучению и памяти. Это не означает, что другие домены не участвуют в постуральном балансе, просто их вклад менее изучен.

Нейропсихологические исследования показали, что более сложные и комплексные движения, требующие существенного вовлечения когнитивной сферы, особенно высших когнитивных функций (например, мелкая моторика или билатеральная координация), имеют более выраженную ассоциацию с когнитивными функциями, чем более простые автоматизированные двигательные функции (например, постуральный баланс) [16, 37].

Исследования, целенаправленно посвящённые изучению взаимосвязи постурального баланса и когнитивных функций, немногочисленны, поскольку постуральный баланс часто рассматривался в комплексе с другими компонентами мобильности, например ходьбой. Результаты исследований достаточно противоречивы. Так, недавний систематический обзор и метаанализ взаимосвязи некоторых когнитивных функций (регулирующие функции, память, быстрота когнитивного ответа — домен внимание, глобальный когнитивный статус) и постурального баланса у здоровых пожилых людей показал, что все анализируемые когнитивные функции имели значимую корреляцию с постуральным балансом [34]. Однако сила ассоциации была различна: управляющие функции, в частности тормозной контроль, глобальный когнитивный статус и быстрота обработки информации (когнитивного ответа), имели наиболее сильную положительную корреляцию с постуральным балансом, а память — наименьшую. Это означает, что люди с лучшими показателями постурального баланса также имели более хорошие показатели вышеперечисленных когнитивных функций, и наоборот. Более раннее исследование также показало значимую взаимосвязь между общим когнитивным статусом и статическим балансом у пожилых людей [38]. Противоположные результаты приведены в систематическом обзоре взаимосвязи мобильности и когнитивных функций у пожилых людей — отсутствие значимой связи между постуральным компонентом мобильности и когнитивными показателями (общий когнитивный статус, память, управляющие функции, скорость обработки информации — домен внимание) [35]. Однако результаты этого обзора могут быть генерализованы или интерпретированы с определённой осторожностью из-за небольшого количества исследований, проведённых по данной тематике.

Следует отметить, что многие исследования постурально-когнитивного взаимодействия имели ограничения. Например, отсутствовало разделение на статический и динамический баланс, поскольку измерительные инструменты, в частности клинические шкалы, оценивали оба компонента [34]. Другое ограничение связано с «эффектом потолка»: тесты на оценку баланса были достаточно простыми, и пациенты легко набирали максимальные баллы [35]. Данный факт акцентирует необходимость комплексной оценки баланса с использованием тестов достаточной сложности, поскольку постурально-когнитивная взаимосвязь лучше проявляется в более сложных заданиях [34, 35, 39].

На постурально-когнитивное взаимодействие влияет не только тип задачи, но и её сложность, новизна и вариативность

Важными факторами, определяющими силу связи между когнитивными функциями и постуральным балансом, являются не только тип выполняемой задачи, но и её сложность, новизна и вариативность [34, 36, 40, 41]. Простые, хорошо освоенные действия (например, поддержание баланса в стабильных условиях) выполняются автоматически и не требуют существенного когнитивного вовлечения. Для успешного выполнения сложных, новых (не освоенных) и вариативных действий необходим когнитивный контроль (управляющие функции) [13, 36, 42]. Данный тезис подтверждается исследованиями с применением нейровизуализации, которые показали, что только новые и сложные моторные задания вызывают активацию дорсолатеральной префронтальной коры головного мозга и неocerebellума, которые играют критическую роль в моторном и когнитивном контроле [13, 36, 42]. С. Stuhr и соавт. [36] предположили, что именно сложность и вариативность двигательного действия определяют степень вовлечения когнитивного контроля в его выполнение. По их мнению, тип задания и его сложность/вариативность вовлекают разные уровни когнитивных функций [36]. Тип моторного задания активирует базовые когнитивные процессы, необходимые для его выполнения. Например, задания на балансировку активируют тормозной контроль, а мелкая моторика — операционную память. При увеличении сложности и вариативности задания привлекается другой уровень когнитивных процессов, обеспечивающий выполнение задания в условиях высокой вариативности.

Отличия постурально-когнитивного взаимодействия в статике и динамике

Поддержание статического и динамического постурального баланса имеет несколько отличные двигательные задачи. Статический постуральный баланс направлен на поддержание постуральной устойчивости и ориентации при неизменной базе опоры. При динамических условиях необходимо реагировать на различные пертурбации (реактивный контроль) или предупреждать возможные отклонения (проактивный контроль) [43]. Базируясь на принципе влияния типа задания, а также его сложности и вариативности на постурально-когнитивное взаимодействие, можно предположить, что динамический постуральный контроль требует большего вовлечения когнитивной сферы, чем статический. Низкая согласованность показателей статического и динамического баланса по данным инструментальных исследований или оценке по клиническим шкалам также подтверждает наличие различий между ними [30, 44].

Несмотря на то что оба типа постурального баланса контролируются одними и теми же мозговыми структурами, вклад этих структур в поддержании статического или динамического постурального баланса отличается [45]. При спокойном стоянии постуральная устойчивость в основном обеспечивается за счёт стабилизирующего эффекта тонических сокращений

антигравитационных мышц [46]. Данный механизм является автоматическим, реализуется в основном нейрональными цепями более низкого уровня сенсомоторной системы спинного мозга и ствола мозга с привлечением модулирующих влияний мозжечка и базальных ганглиев [45, 47], поэтому не требует существенного привлечения сферы сознания. Для поддержания равновесия в более сложных динамических условиях, в которых увеличиваются сенсорный поток и необходимость в сенсорной интеграции, проактивном и произвольном контроле и целенаправленных движениях, увеличивается вовлечение более высоких уровней головного мозга (кора, включая префронтальные отделы и задние париетальные зоны) и когнитивных ресурсов [45, 48].

Таким образом, динамический баланс в целом является более сложным и комплексным, чем статический, нуждается в большем вовлечении когнитивных ресурсов, однако независимо от двигательной задачи (статическая или динамическая), когнитивный вклад в постуральный баланс возрастает по мере увеличения сложности задания, добавления другого задания или изменения окружения, что отражается в увеличении кортикальной активности [49].

Перспективы практического применения концепции постурально-когнитивного взаимодействия в практике физической реабилитации

Тренировка постурально-когнитивного взаимодействия

Исследования показали, что перспективным методом повышения постуральной устойчивости, особенно у пожилых людей, являются когнитивные тренировки, направленные на улучшение когнитивных функций, таких как внимание и управляющие функции [33]. Комплексные когнитивные тренировки, включающие задания на память и внимание, улучшают не только тренируемые функции, но и оказывают положительное влияние на другие когнитивные домены, которые не были вовлечены в тренировку, что обозначается как положительный перенос эффекта [50, 51]. Положительный перенос возможен как между близкими когнитивными функциями (например, вербальная рабочая память и пространственно-зрительная память), так и несвязанными когнитивными доменами (например, память и когнитивное торможение или скорость обработки информации) [50]. Перенесённый положительный эффект сохраняется несколько месяцев после тренировок.

Показано, что положительный перенос эффекта тренировки также происходит при использовании двойных заданий и с когнитивных функций на постуральные [33, 52]. При этом улучшается общая способность выполнять двойные и многозадачные действия, относящиеся в том числе к активностям повседневной жизни. Теоретической основой улучшения функции постурального баланса с позиции переноса положительного эффекта когнитивной тренировки является улучшение способности совместного использования

ресурсов внимания в постурально-когнитивных заданиях, а также увеличение скорости обработки информации, улучшение тормозного контроля, распределённого и избирательного внимания [33].

Таким образом, улучшение когнитивных способностей с помощью персонализированных программ когнитивной реабилитации может оказать положительное влияние на постуральный баланс [33]. Реабилитационные программы, основанные на улучшении когнитивных способностей, являются хорошей альтернативой для людей с низкой физической работоспособностью. Дополнительные исследования необходимы для уточнения содержания и применения таких программ, а также возможных ограничений и длительности эффектов.

В настоящее время влияние физической активности на когнитивные функции, включая память, обработку информации и управляющие функции, не вызывает сомнений [53, 54]. Большинство исследований влияния физической активности на когнитивную сферу фокусировалось на аэробных тренировках, поскольку считалось, что именно данный тип физических упражнений оказывает наибольшее положительное влияние на когнитивные функции человека. Однако метаанализ, проведённый J. Young и соавт. [55], показал отсутствие чётких доказательств причинно-следственных связей между улучшением когнитивных функций и аэробной физической активностью. Другими направлениями улучшения/восстановления когнитивных функций является применение мультимодальных упражнений, мультикомпонентных функциональных тренировок, йоги и других техник, сочетающих когнитивную тренировку с упражнениями на постуральный баланс. Наблюдаемый при этом синергичный положительный эффект на постуральную устойчивость и когнитивные функции понятен и ожидаем.

Ещё одним методом реабилитации, основанном на постурально-когнитивном взаимодействии, являются вестибулярные тренировки, направленные на улучшение когнитивного статуса. Проведённые исследования показали улучшение когнитивных функций при применении монотренировок, включающих только упражнения на постуральный баланс, стимулирующие вестибулярную систему. Так, результаты 12-недельных круговых вестибулярных тренировок с упражнениями на реактивный постуральный баланс показали улучшение памяти и пространственного восприятия у здоровых взрослых в возрасте от 18 до 65 лет [53]. Другое недавнее исследование также продемонстрировало улучшение глобального когнитивного статуса у пожилых людей с хронической сердечной недостаточностью в результате домашних тренировок на баланс [56]. Результаты этих исследований подтверждают предположение J. Young и соавт. [55] о том, что аэробная тренировка и улучшение физической работоспособности не является фактором, опосредующим эффект физической активности на когнитивные функции.

Теоретической основой эффекта вестибулярной тренировки на когнитивные функции является описанное выше нейрональное взаимодействие между вестибулярной

и когнитивной системой. Имеется предположение, что вызванное движениями тела увеличение потока информации между вестибулярными ядрами и мозжечком, гиппокампом, префронтальной и париетальной корой, а также другими структурами мозга (вестибулярно-когнитивное взаимодействие) является своеобразным посредником между двигательными и когнитивными функциями [57]. Существенную роль в вестибулярно-когнитивном взаимодействии играет гиппокамп. Вестибулярная информация, получаемая гиппокампом, критична для формирования пространственной памяти [57]. Мультиmodalность вестибулярных проводящих путей вследствие конвергенции вестибулярной, соматосенсорной и зрительной информации в ядрах ствола мозга и мозжечка также является важным фактором, участвующим в обучении, формировании памяти и пространственном восприятии [58].

Таким образом, вестибулярные монотренировки без дополнения их аэробными или другими нагрузками способны улучшить состояние когнитивной сферы и такие когнитивные функции, как память и пространственное восприятие.

Стабилометрические предикторы когнитивных нарушений

Исследования корреляции стабилометрических параметров и показателей когнитивных функций немногочисленны, но они представляют как теоретический, так и практический интерес для раннего выявления когнитивных нарушений и подбора наиболее эффективных реабилитационных вмешательств [59]. Ранняя диагностика особенно важна при нейрокогнитивных расстройствах, поскольку длительное время они протекают латентно, без формирования очерченных клинических синдромов, и часто диагностируются на поздних стадиях, когда лечение малоэффективно [29, 59]. Согласно DSM-V, категория нейрокогнитивных расстройств включает группу состояний, при которых первичным клиническим проявлением выступает нарушение когнитивных функций [12]. Хотя когнитивный дефицит присутствует при многих психических и неврологических заболеваниях, к нейрокогнитивным отнесены только расстройства, основными признаками которых являются приобретённое нарушение когнитивных функций, которое представляет собой снижение ранее достигнутого уровня функционирования [12]. В DSM-IV нейрокогнитивные расстройства обозначались как деменция, делирий, амнестические и другие когнитивные расстройства.

Выявление объективных стабилометрических коррелятов снижения когнитивных функций на ранних субклинических стадиях нейрокогнитивных расстройств является крайне важным, поскольку позволяет начать своевременное лечение и реабилитацию и затормозить развитие болезни [60]. Практическая значимость раннего выявления когнитивных нарушений возросла в последние годы в связи с регистрацией адуканумаба (aducanumab) — препарата для лечения и замедления течения болезни Альцгеймера [61]. Применение данного препарата наиболее

эффективно на ранних стадиях болезни, в том числе при её преклинических формах.

Наиболее часто в качестве возможных предикторов когнитивных нарушений рассматриваются базовые пространственные и пространственно-временные параметры статической стабиллометрии, включающие площадь и длину статокинезиограммы, положение и девиацию общего центра давления (ОЦД) в сагиттальной (переднезадней) и фронтальной (медиолатеральной) плоскостях, скорость перемещения ОЦД, которые регистрируются с открытыми и закрытыми глазами пациента [59, 62, 63]. Стабилометрия позволяет объективно оценить параметры постуральных колебаний тела как показателя способности поддерживать баланс: чем меньше постуральные колебания, тем лучше постуральная устойчивость и тем меньше нужно прилагать физических усилий и когнитивных ресурсов для сохранения равновесия [64].

Несколько исследований оценивали величину отклонений ОЦД в медиолатеральном и переднезаднем направлении у разных категорий людей. Так, систематический обзор и метаанализ постурографических показателей у пациентов с умеренными нейрокогнитивными расстройствами (mild neurocognitive disorders) выявил увеличение амплитуды колебаний ОЦД в переднезаднем и медиолатеральном направлениях при стоянии с открытыми, но не закрытыми глазами (размер эффекта от небольшого до среднего) [65]. Авторы предположили, что увеличение постуральных колебаний с открытыми глазами является результатом нарушения центральной обработки зрительной информации, наблюдаемой при умеренных нейрокогнитивных расстройствах, а отсутствие эффекта при стоянии с закрытыми глазами — недостаточной надёжностью тестирования в этих условиях. Амплитуда и скорость колебаний ОЦД в переднезаднем направлении были существенно выше, чем в медиолатеральном. Было высказано предположение, что колебания ОЦД в переднезадней плоскости могут являться наиболее чувствительным постурологическим коррелятом умеренных нейрокогнитивных расстройств, поскольку движения в этой плоскости (голеностопная стратегия) наиболее часто используются для поддержания постуральной устойчивости в статическом положении [62]. Однако в работе S.F. Alsubaie [63] получены другие результаты — большая амплитуда колебаний ОЦД в медиолатеральной, но не в переднезадней плоскости, что может объясняться различными протоколами проведения исследований. В исследовании приводилась корреляция между стабилометрическими показателями постуральных колебаний (линейные отклонения ОЦД) и когнитивными способностями, которые оценивались с помощью Монреальского теста когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA) [63]. Обнаружена значимая положительная корреляция только между величиной медиолатеральных отклонений ОЦД при стоянии с закрытыми глазами на мягкой поверхности и MoCA. В данном положении система постурального контроля использует в основном вестибулярный сенсорный вход, возможности которого ограничены при когнитивных нарушениях, в частности в результате болезни

Альцгеймера [19, 25]. Следует отметить, что большинство участников исследования набрали высокие баллы по тесту МоСА (эффект потолка), что уменьшает значимость корреляции. Ещё одно исследование с применением шкалы МоСА выявило ассоциацию между общим баллом МоСА и площадью статокинезиограммы у пациентов старше 50 лет с умеренными нейрокогнитивными расстройствами [66].

Исследование постурографических параметров у пациентов с умеренными нейрокогнитивными расстройствами с применением «Клинического теста сенсорной интеграции для баланса» (Clinical Test of Sensory Integration and Balance) показало ухудшение индекса стабильности в переднезаднем и медиолатеральном направлениях в 2 положениях — стоя с открытыми глазами на твёрдой опорной поверхности и на мягкой поверхности [67], при этом степень неустойчивости зависела от выраженности когнитивных нарушений. Различия между индексами стабильности в медиолатеральной и переднезадней плоскостях не достигали уровня статистической значимости.

В недавнем исследовании Y. Suzuki и соавт. [29] предложены новые расчётные стабилметрические индексы для оценки постурального баланса — индекс визуальной зависимости постуральной стабильности (Visual Dependency Index of Postural Stability, VPS) и индекс постуральной стабильности (Index of Postural Stability, IPS) в качестве скринингового инструмента и предиктора ранних когнитивных нарушений при доклинических формах нейрокогнитивных расстройств. IPS рассчитывался на основе стабилметрически измеренной области постуральных отклонений и области стабильности при стоянии на стабилметрической платформе и наклонах тела влево, вправо, вперёд и назад. VPS является отношением IPS, рассчитанным при стоянии на мягкой поверхности с закрытыми и открытыми глазами. По сути, он оценивает вклад вестибулярного анализатора в постуральную устойчивость и основан на концепции вестибулярно-когнитивного взаимодействия. Результаты показали, что пациенты с доклиническими формами когнитивных нарушений имели значительно большие величины VPS, чем контроль, что свидетельствует о снижении постуральной устойчивости. Кроме того, значения VPS имели значимую отрицательную корреляцию с величинами МоСА как показателя когнитивных функций.

Таким образом, анализ литературных источников показал, что, несмотря на немногочисленность публикаций, можно предположить перспективность применения базовых пространственных и пространственно-временных параметров статической постурографии, а также интегральных показателей стабилметрии в качестве предикторов когнитивных нарушений. Однако данный вопрос требует дальнейшего исследования с участием здоровых людей и пациентов с различными видами нейрокогнитивных расстройств. Для выбора надёжных стабилметрических коррелятов снижения когнитивных функций важно решение вопроса о том, является ли нарушение постурального баланса результатом снижения когнитивных способностей или его можно рассматривать предиктором когнитивных нарушений [68].

Кроме того, важен системный анализ связи специфических параметров стабилметрии с различными когнитивными доменами [59].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Актуальность анализа механизмов и форм постурально-когнитивного взаимодействия продиктована необходимостью подбора наиболее эффективных реабилитационных программ по восстановлению или развитию моторных и/или когнитивных функций и в выявлении постуральных коррелятов когнитивных функций, в том числе для ранней диагностики нейрокогнитивных нарушений.

Связь между постуральным контролем и когнитивными функциями имеет глобальный характер, однако вклад отдельных когнитивных доменов в постурально-когнитивное взаимодействие различен и зависит от вида задания (статика или динамика) и модулируется его сложностью, новизной и вариативностью.

Перспективным методом повышения постуральной устойчивости, особенно у пожилых людей, являются когнитивные тренировки, которые улучшают не только тренируемые когнитивные функции, но и оказывают положительное влияние на другие когнитивные домены (положительный перенос эффекта тренировки). При этом положительный перенос эффекта также происходит и с когнитивных функций на постуральные, что повышает как постуральную устойчивость, так и общую способность выполнять двойные и многозадачные действия, относящиеся в том числе к активностям повседневной жизни. Реабилитационные программы, основанные на улучшении когнитивных способностей, являются хорошей альтернативой или дополнением для людей, которые по разным причинам имеют низкую физическую работоспособность. Дополнительные исследования необходимы для уточнения содержания и применения таких программ, а также возможных ограничений и длительности эффектов. Ещё одним направлением физической реабилитации, основанном на постурально-когнитивном взаимодействии, являются вестибулярные тренировки, направленные на улучшение когнитивного статуса. Поскольку статический и динамический постуральный баланс имеют отличные двигательные задачи и степень сложности, оба компонента должны оцениваться и включаться в тренировки.

Выявление объективных коррелятов снижения когнитивных функций на ранних субклинических стадиях нейрокогнитивных расстройств является крайне важным, поскольку позволяет начать своевременное лечение и реабилитацию и затормозить или даже реверсировать развитие болезни. Перспективным является применение базовых пространственных и пространственно-временных параметров статической постурографии, а также интегральных показателей стабилметрии в качестве индикаторов и предикторов когнитивных нарушений, однако данный вопрос требует дальнейших исследований с участием здоровых людей и пациентов с различными видами нейрокогнитивных расстройств.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследовательская работа проведена на личные средства авторского коллектива.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Ю.П. Зверев — разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация литературных источников, написание текста рукописи, утверждение рукописи для публикации; Т.В. Буйлова — разработка дизайна исследования, научная редакция текста рукописи, проверка содержания, формулирование заключения; утверждение рукописи для публикации; А.А. Туличев — подбор литературных источников, анализ публикаций по тематике статьи, написание текста рукописи, утверждение рукописи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. Yu.P. Zverev — development of research design, analysis and interpretation of data; review of publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication; T.V. Builova — development of research design, scientific revision of the text of the manuscript, verification of the content, formulation of the conclusion; approval of the manuscript for publication; A.A. Tulichev — selection of literary sources, analysis of publications on the subject of the article, collection and processing of data, statistical analysis, writing the text of the manuscript, approval of the manuscript for publication. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Xiao T., Yang L., Smith L., et al. Correlation between cognition and balance among middle-aged and older adults observed through a tai chi intervention program // *Front Psychol.* 2020. N 11. P. 668. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00668
- Базанова О.М., Ковалева А.В. Исследования психофизиологических показателей пострального контроля. Вклад российской научной школы. Часть I // *Физиология человека.* 2022. Т. 48, № 2. С. 113–136. EDN: KGLQBE doi: 10.31857/S0131164622020023
- Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? // *Age Ageing.* 2006. Vol. 35, Suppl. 2. P. ii7–ii11. EDN: IKEUWF doi: 10.1093/ageing/af1077
- Stephan D.N., Hensen S., Fintor E., et al. Influences of postural control on cognitive control in task switching // *Front Psychol.* 2018. N 9. P. 1153. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01153
- Woollacott M., Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research // *Gait Posture.* 2002. Vol. 16, N 1. P. 1–14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4
- Парфенов В.А., Захаров В.В., Преображенская И.С. *Когнитивные расстройства.* Москва: Ремедиум, 2014. 192 с.
- Horak F.B., Nashner L.M. Central programming of posture control: Adaptation to altered support surface configurations // *J Neurophysiol.* 1986. Vol. 55, N 6. P. 1369–1381. doi: 10.1152/jn.1986.55.6.1369
- Иванова Г.Е., Скворцов Д.В., Климов Л.В. Оценка постральной функции в клинической практике // *Вестник восстановительной медицины.* 2014. № 1. С. 19–25. EDN: SPLBTF
- Гаже П.М., Вебер Б. *Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека.* Санкт-Петербург: Издательский дом СПбМАПО, 2008. 314 с.
- Когнитивные расстройства у лиц пожилого и старческого возраста: клинические рекомендации.* Москва: Перо; 2021. 344 с.
- Kiely K.M. *Cognitive function.* In: A.C. Michalos, editor. *Encyclopedia of quality of life and well-being research.* Dordrecht: Springer, 2014. P. 974–978. doi: 1007/978-94-007-0753-5_426
- Diagnostic and statistical manual of mental diseases.* V ed. (DSM-V). London: American Psychiatric Association, 2013. 947 p.
- Diamond A. Executive functions // *Ann Rev Psychol.* 2013. N 64. P. 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Международная классификация функционирования, ограниченной жизнедеятельности и здоровья: МКФ* [интернет-ресурс]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2001. 351 с. Режим доступа: <https://skssrc.ru/files/2022/mkf.pdf>. Дата обращения: 15.01.2024.
- Соловьева А.П., Горячев Д.В., Архипов В.В. Критерии оценки когнитивных нарушений в клинических исследованиях // *Ведомости научного центра экспертизы средств медицинского применения.* 2018. Т. 8, № 4. С. 218–230. EDN: YQDKHR doi: 10.30895/1991-2919-2018-8-4-218-230
- Van der Fels I.M., Wierike S.C., Hartman E., et al. The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review // *J Sci Med Sport.* 2015. Vol. 18, N 6. P. 697–703. doi: 10.1016/j.jsams.2014.09.007
- Anderson V., Anderson P., Northam E., et al. Development of executive functions through late childhood and adolescence: An Australian sample // *Dev Neuropsychol.* 2001. Vol. 20, N 1. P. 385–406. doi: 10.1207/S15326942DN2001_5
- Roebers C.M., Kauer M. Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds // *Dev Sci.* 2009. Vol. 12, N 1. P. 175–181. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x
- Bigelow R.T., Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory // *J Vestib Res.* 2015. Vol. 25, N 2. P. 73–89. EDN: UWTAFI doi: 10.3233/VES-150544
- Dobbels B., Peetermans O., Boon B., et al. Impact of bilateral vestibulopathy on spatial and nonspatial cognition: A systematic review // *Ear Hear.* 2019. Vol. 40, N 4. P. 757–765. EDN: ORGLJZ doi: 10.1097/AUD.0000000000000679
- Mast F.W., Preuss N., Hartmann M., Grabherr L. Spatial cognition, body representation and affective processes: The role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture // *Front Integr Neurosci.* 2014. Vol. 27, N 8. P. 44. EDN: VJFCRF doi: 10.3389/fnint.2014.00044

22. Agrawal Y., Smith P.F., Rosenberg P.B. Vestibular impairment, cognitive decline and Alzheimer's disease: Balancing the evidence // *Aging Ment Health*. 2020. Vol. 24, N 5. P. 705–708. doi: 10.1080/13607863.2019.1566813
23. Ventre-Dominey J. Vestibular function in the temporal and parietal cortex: Distinct velocity and inertial processing pathways // *Front Integr Neurosci*. 2014. N 8. P. 53. doi: 10.3389/fnint.2014.00053
24. Gresty M.A., Golding J.F. Impact of vertigo and spatial disorientation on concurrent cognitive tasks // *Ann NY Acad Sci*. 2009. N 1164. P. 263–267. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03744.x
25. Hüfner K., Stephan T., Hamilton D.A., et al. Gray-matter atrophy after chronic complete unilateral vestibular deafferentation // *Ann NY Acad Sci*. 2009. N 1164. P. 383–385. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03719.x
26. Kamil R.J., Jacob A., Ratnanather J.T., et al. Vestibular function and hippocampal volume in the Baltimore longitudinal study of aging (BLSA) // *Otol Neurotol*. 2018. Vol. 39, N 6. P. 765–771. doi: 10.1097/MAO.0000000000001838
27. Lazarov O., Hollands C. Hippocampal neurogenesis: Learning to remember // *Prog Neurobiol*. 2016. N 138-140. P. 1–18. doi: 10.1016/j.pneurobio.2015.12.006
28. Tighilet B., Chabbert C. Adult neurogenesis promotes balance recovery after vestibular loss // *Prog Neurobiol*. 2019. N 174. P. 28–35. doi: 10.1016/j.pneurobio.2019.01.001
29. Suzuki Y., Tsubaki T., Nakaya K., et al. New balance capability index as a screening tool for mild cognitive impairment // *BMC Geriatrics*. 2023. Vol. 23, N 1. P. 74. EDN: IPNXXV doi: 10.1186/s12877-023-03777-6
30. Rizzato A., Paoli A., Andretta M., et al. Are static and dynamic postural balance assessments two sides of the same coin? A cross-sectional study in the older adults // *Front Physiol*. 2021. N 12. P. 681370. doi: 10.3389/fphys.2021.681370
31. Mclsaac T.L., Lamberg E.M., Muratori L.M. Building a framework for a dual task taxonomy // *BioMed Res Int*. 2015. Vol. 2015. P. 591475. doi: 10.1155/2015/591475
32. Tombu M., Jolicoeur P. A central capacity sharing model of dual-task performance // *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2003. Vol. 29, N 1. P. 3–18. EDN: GXKQDL doi: 10.1037//0096-1523.29.1.3
33. Borel L., Alescio-Lautier B. Posture and cognition in the elderly: Interaction and contribution to the rehabilitation strategies // *Neurophysiol Clin*. 2014. Vol. 44, N 1. P. 95–107. doi: 10.1016/j.neucli.2013.10.129
34. Divandari N., Bird M.L., Vakili M., Jaberzadeh S. The association between cognitive domains and postural balance among healthy older adults: A systematic review of literature and meta-analysis // *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2023. Vol. 23, N 11. P. 681–693. EDN: WFFPPN doi: 10.1007/s11910-023-01305-y
35. Demnitz N., Patrick E., Helen D., et al. A systematic review and meta-analysis of cross-sectional studies examining the relationship between mobility and cognition in healthy older adults // *Gait Posture*. 2016. N 50. P. 164–174. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.028
36. Stuhr C., Hughes C.M., Stöckel T. Task-specific and variability driven activation of cognitive control processes during motor performance // *Sci Rep*. 2018. Vol. 8, N 1. P. 10811. EDN: YJECQH doi: 10.1038/s41598-018-29007-3
37. Best J.R. Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise // *Dev Rev*. 2010. Vol. 30, N 4. P. 331–351. doi: 10.1016/j.dr.2010.08.001
38. Rosano C., Simonsick E.M., Harris T.B., et al. Association between physical function and cognitive function in healthy elderly: The health, aging and body composition study // *Neuroepidemiology*. 2005. Vol. 24, N 1-2. P. 8–14. doi: 10.1159/000081043
39. Heaw Y.C., Singh D.K., Tan M.P., Kumar S. Bidirectional association between executive and physical functions among older adults: A systematic review // *Austral J Ageing*. 2022. Vol. 41, N 1. P. 20–41. doi: 10.1111/ajag.13008
40. Stöckel T., Wunsch K., Hughes C.M. Age-related decline in anticipatory motor planning and its relation to cognitive and motor skill proficiency // *Front Aging Neurosci*. 2017. N 9. P. 283. doi: 10.3389/fnagi.2017.00283
41. Bayot M., Dujardin K., Tard C., et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning // *Neurophysiol Clin*. 2018. Vol. 48, N 6. P. 361–375. doi: 10.1016/j.neucli.2018.10.003
42. Chein J.M., Schneider W. Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain general control network for learning // *Cogn Brain Res*. 2005. Vol. 25, N 3. P. 607–623. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.013
43. Winter D.A. *Biomechanics and motor control of human movement*. 4th ed. New York: John Wiley, 2009. 384 p.
44. Muehlbauer T., Besemer C., Wehrle A., et al. Relationship between strength, power and balance performance in seniors // *Gerontology*. 2012. Vol. 58, N 6. P. 504–512. doi: 10.1159/000341614
45. Takakusaki K., Takahashi M., Obara K., Chiba R. Neural substrates involved in the control of posture // *Adv Robot*. 2016. Vol. 31, N 1-2. P. 2–23. doi: 10.1080/01691864.2016.1252690
46. Morasso P., Cherif A., Zenzeri J. Quiet standing: the single inverted pendulum model is not so bad after all // *PLoS One*. 2019. Vol. 14, N 3. P. e0213870. doi: 10.1371/journal.pone.0213870
47. Sargent O.J., Dadalco O.I., Pickett K.A., Travers B.G. Balance and the brain: A review of structural brain correlates of postural balance and balance training in humans // *Gait Posture*. 2019. N 71. P. 245–252. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.011
48. Bolton D.A. The role of the cerebral cortex in postural responses to externally induced perturbations // *Neurosci Biobehav Rev*. 2015. N 57. P. 142–155. EDN: VGEUIZ doi: 10.1016/j.neubiorev.2015.08.014
49. Edwards A.E., Guven O., Furman M.D., et al. Electroencephalographic correlates of continuous postural tasks of increasing difficulty // *Neuroscience*. 2018. N 395. P. 35–48. EDN: PUTJGV doi: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040
50. Borella E., Carretti B., Ribo F., De Beni R. Working memory training in older adults: Evidence of transfer and maintenance effects // *Psychol Aging*. 2010. Vol. 25, N 4. P. 767–778. doi: 10.1037/a0020683
51. Levine B., Stuss D.T., Winocur G., et al. Cognitive rehabilitation in the elderly: Effects on strategic behaviour in relation to goal management // *J Int Neuropsychol Soc*. 2007. Vol. 13, N 1. P. 143–152. EDN: HWGCIT doi: 10.1017/S1355617707070178
52. Bherer L., Kramer A.F., Peterson M.S., et al. Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: Further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood // *Exp Aging Res*. 2008. Vol. 34, N 3. P. 188–219. doi: 10.1080/03610730802070068
53. Rogge A.K., Röder B., Zech A., et al. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults // *Sci Rep*. 2017. Vol. 7, N 1. P. 572. doi: 10.1038/s41598-017-06071-9

- 54.** Chapman S.B., Aslan S., Spence J.S., et al. Shorter term aerobic exercise improves brain, cognition, and cardiovascular fitness in aging // *Front Aging Neurosci.* 2013. N 5. P. 75. doi: 10.3389/fnagi.2013.00075
- 55.** Young J., Angevare M., Rusted J., Tabet N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment // *Cochrane Database Syst Rev.* 2015. Vol. 2015, N 4. P. CD005381. doi: 10.1002/14651858.CD005381.pub4
- 56.** Gholami M., Salari Z., Yarahmadi R., et al. Effects of balance training on cognitive function and activities of daily living in older adult patients with heart failure: A randomized controlled trial // *Ir J Med Sci.* 2023. Vol. 193, N 1. P. 111–121. EDN: NDFSDD doi: 10.1007/s11845-023-03436-0
- 57.** Smith P.F., Darlington C.L., Zheng Y. Move it or lose it: Is stimulation of the vestibular system necessary for normal spatial memory? // *Hippocampus.* 2010. Vol. 20, N 1. P. 36–43. doi: 10.1002/hipo.20588
- 58.** Angelaki D.E., Cullen K.E. Vestibular system: The many facets of a multimodal sense // *Annu Rev Neurosci.* 2008. N 31. P. 125–150. doi: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125555
- 59.** Bahureksa L., Najafi B., Saleh A., et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment // *Gerontology.* 2017. Vol. 63, N 1. P. 67–83. doi: 10.1159/000445831
- 60.** Livingston G., Huntley J., Sommerlad A., et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the lancet commission // *Lancet.* 2020. Vol. 396, N 10248. P. 413–446. EDN: VAADCC doi: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6
- 61.** Mullard A. FDA approval for Biogen's aducanumab sparks Alzheimer disease firestorm // *Nat Rev Drug Discov.* 2021. Vol. 20, N 7. P. 496. doi: 10.1038/d41573-021-00099-3
- 62.** Leandri M., Cammisuli S., Cammarata S., et al. Balance features in Alzheimer's disease and amnesic mild cognitive impairment // *J Alzheimer's Dis.* 2009. Vol. 16, N 1. P. 113–120. doi: 10.3233/JAD-2009-0928
- 63.** Alsubaie S.F. the postural stability measures most related to aging, physical performance, and cognitive function in healthy adults // *BioMed Res Int.* 2020. Vol. 2020. P. 5301534. doi: 10.1155/2020/5301534
- 64.** Johansson J., Nordström A., Gustafson Y., et al. Increased postural sway during quiet stance as a risk factor for prospective falls in community-dwelling elderly individuals // *Age Ageing.* 2017. Vol. 46, N 6. P. 964–970. doi: 10.1093/ageing/afx083
- 65.** Lindsay B., Najafi B., Saleh A., et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment // *Gerontology.* 2017. Vol. 63, N 1. P. 67–83. doi: 10.1159/000445831
- 66.** Quialheiro A., Thaynara M., Zimmermann T.A., et al. Stabilometric analysis as a cognitive function predictor in adults over the age of 50: A cross-sectional study conducted in a memory clinic // *J Bodyw Mov Ther.* 2021. N 27. P. 640–646. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.04.007
- 67.** Kuan Y.C., Huang L.K., Wang Y.H., et al. Balance and gait performance in older adults with early-stage cognitive impairment // *Eur J Phys Rehabil Med.* 2021. Vol. 57, N 4. P. 560–567. doi: 10.23736/S1973-9087.20.06550-8
- 68.** Deary I.J., Whalley L.J., Batty G.D., Starr J.M. Physical fitness and lifetime cognitive change // *Neurology.* 2006. Vol. 67, N 7. P. 1195–2000. doi: 10.1212/01.wnl.0000238520.06958.6a

REFERENCES

- 1.** Xiao T, Yang L, Smith L, et al. Correlation between cognition and balance among middle-aged and older adults observed through a tai chi intervention program. *Front Psychol.* 2020;(11):668. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00668
- 2.** Bazanova OM, Kovaleva AV. Psychophysiological indicators of postural control. Contribution of the Russian scientific school. Part I. *Human Physiol.* 2022;48(2):113–136. EDN: KGLQBE doi: 10.31857/S0131164622020023
- 3.** Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 2006;35(Suppl 2):ii7–ii11. EDN: IKEUWF doi: 10.1093/ageing/af077
- 4.** Stephan DN, Hensen S, Fintor E, et al. Influences of postural control on cognitive control in task switching. *Front Psychol.* 2018;(9):1153. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01153
- 5.** Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait Posture.* 2002;16(1):1–14. doi: 10.1016/S0966-6362(01)00156-4
- 6.** Parfenov VA, Zakharov VV, Preobrazhenskaya IS. *Cognitive disorders.* Moscow: Remedium; 2014.192 p. (In Russ).
- 7.** Horak FB, Nashner LM. Central programming of posture control: Adaptation to altered support surface configurations. *J Neurophysiol.* 1986;55(6):1369–1381. doi: 10.1152/jn.1986.55.6.1369
- 8.** Ivanova GE, Skvortsov DV, Klimov LV. Postural function evaluation in clinical practice. *Bulletin Rehabil Med.* 2014;(1): 19–25. EDN: SPLBTF
- 9.** Gazhe PM, Veber B. *Posturology. Regulation and disorders of human body equilibrium.* Saint Petersburg: Publishing House St. Petersburg Medical Academy of Postgraduate Education; 2008. 314 p. (In Russ).
- 10.** *Cognitive disorders in the elderly and senile: clinical recommendations.* Moscow: Pero Publishing House; 2021. 344 p. (In Russ).
- 11.** Kiely KM. *Cognitive function.* In: A.C. Michalos, editor. Encyclopedia of quality of life and well-being research. Dordrecht: Springer; 2014. P. 974–978. doi: 1007/978-94-007-0753-5_426
- 12.** *Diagnostic and statistical manual of mental diseases.* ed. (DSM-V). London: American Psychiatric Association; 2013. 947 p.
- 13.** Diamond A. Executive functions. *Ann Rev Psychol.* 2013;(64): 135–168. doi: 10.1146/annurev-psych-113011-143750
- 14.** *International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF* [Internet resource]. Geneva: World Health Organisation; 2001. 351 p. (In Russ). Available from: <https://sksrc.ru/files/2022/mkf.pdf>. Accessed: 15.01.2024.
- 15.** Solovyova AP, Goryachev DV, Arkhipov VV. Criteria for assessing cognitive impairment in clinical trials. *Bulletin Sci Center Examinat Med Products.* 2018;8(4):218–230. EDN: YQDKHR doi: 10.30895/1991-2919-2018-8-4-218-230
- 16.** Van der Fels IM, Wierike SC, Hartman E, et al. The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children: A systematic review. *J Sci Med Sport.* 2015;18(6):697–703. doi: 10.1016/j.jsams.2014.09.007

17. Anderson V, Anderson P, Northam E, et al. Development of executive functions through late childhood and adolescence: An Australian sample. *Dev Neuropsychol*. 2001;20(1):385–406. doi: 10.1207/S15326942DN2001_5
18. Roebers CM, Kauer M. Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Dev Sci*. 2009;12(1):175–181. doi: 10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x
19. Bigelow RT, Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: Visuospatial ability, attention, executive function, and memory. *J Vestib Res*. 2015;25(2):73–89. EDN: UWTAIF doi: 10.3233/VES-150544
20. Dobbels B, Peetermans O, Boon B, et al. Impact of bilateral vestibulopathy on spatial and nonspatial cognition: A systematic review. *Ear Hear*. 2019;40(4):757–765. EDN: ORGLJZ doi: 10.1097/AUD.0000000000000679
21. Mast FW, Preuss N, Hartmann M, Grabherr L. Spatial cognition, body representation and affective processes: The role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture. *Front Integr Neurosci*. 2014;27(8):44. EDN: VJFCRF doi: 10.3389/fnint.2014.00044
22. Agrawal Y, Smith PF, Rosenberg PB. Vestibular impairment, cognitive decline and Alzheimer's disease: Balancing the evidence. *Aging Ment Health*. 2020;24(5):705–708. doi: 10.1080/13607863.2019.1566813
23. Ventre-Dominey J. Vestibular function in the temporal and parietal cortex: Distinct velocity and inertial processing pathways. *Front Integr Neurosci*. 2014;(8):53. doi: 10.3389/fnint.2014.00053
24. Gresty MA, Golding JF. Impact of vertigo and spatial disorientation on concurrent cognitive tasks. *Ann NY Acad Sci*. 2009;(1164):263–267. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03744.x
25. Hüfner K, Stephan T, Hamilton DA, et al. Gray-matter atrophy after chronic complete unilateral vestibular deafferentation. *Ann NY Acad Sci*. 2009;(1164):383–385. doi: 10.1111/j.1749-6632.2008.03719.x
26. Kamil RJ, Jacob A, Ratnanather JT, et al. Vestibular function and hippocampal volume in the Baltimore longitudinal study of aging (BLSA). *Otol Neurotol*. 2018;39(6):765–771. doi: 10.1097/MAO.0000000000001838
27. Lazarov O, Hollands C. Hippocampal neurogenesis: Learning to remember. *Prog Neurobiol*. 2016;(138–140):1–18. doi: 10.1016/j.pneurobio.2015.12.006
28. Tighilet B, Chabbert C. Adult neurogenesis promotes balance recovery after vestibular loss. *Prog Neurobiol*. 2019;(174):28–35. doi: 10.1016/j.pneurobio.2019.01.001
29. Suzuki Y, Tsubaki T, Nakaya K, et al. New balance capability index as a screening tool for mild cognitive impairment. *BMC Geriatrics*. 2023;23(1):74. EDN: IPNXXV doi: 10.1186/s12877-023-03777-6
30. Rizzato A, Paoli A, Andretta M, et al. Are static and dynamic postural balance assessments two sides of the same coin? A cross-sectional study in the older adults. *Front Physiol*. 2021;(12):681370. doi: 10.3389/fphys.2021.681370
31. McIsaac TL, Lamberg EM, Muratori LM. Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Res Int*. 2015;2015:591475. doi: 10.1155/2015/591475
32. Tombu M, Jolicoeur PA. Central capacity sharing model of dual-task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2003;29(1):3–18. EDN: GXKQDL doi: 10.1037//0096-1523.29.1.3
33. Borel L, Alescio-Lautier B. Posture and cognition in the elderly: Interaction and contribution to the rehabilitation strategies. *Neurophysiol Clin*. 2014;44(1):95–107. doi: 10.1016/j.neucli.2013.10.129
34. Divandari N, Bird ML, Vakili M, Jaberzadeh S. The association between cognitive domains and postural balance among healthy older adults: A systematic review of literature and meta-analysis. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2023;23(11):681–693. EDN: WFFPPN doi: 10.1007/s11910-023-01305-y
35. Demnitz N, Patrick E, Helen D, et al. A systematic review and meta-analysis of cross-sectional studies examining the relationship between mobility and cognition in healthy older adults. *Gait Posture*. 2016;(50):164–174. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.08.028
36. Stuhr C, Hughes CM, Stöckel T. Task-specific and variability driven activation of cognitive control processes during motor performance. *Sci Rep*. 2018;8(1):10811. EDN: YJECQH doi: 10.1038/s41598-018-29007-3
37. Best JR. Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Dev Rev*. 2010;30(4):331–351. doi: 10.1016/j.dr.2010.08.001
38. Rosano C, Simonsick EM, Harris TB, et al. Association between physical function and cognitive function in healthy elderly: The health, aging and body composition study. *Neuroepidemiology*. 2005;24(1-2):8–14. doi: 10.1159/000081043
39. Heaw YC, Singh DK, Tan MP, Kumar S. Bidirectional association between executive and physical functions among older adults: A systematic review. *Austral J Ageing*. 2022;41(1):20–41. doi: 10.1111/ajag.13008
40. Stöckel T, Wunsch K, Hughes CM. Age-related decline in anticipatory motor planning and its relation to cognitive and motor skill proficiency. *Front Aging Neurosci*. 2017;(9):283. doi: 10.3389/fnagi.2017.00283
41. Bayot M, Dujardin K, Tard C, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin*. 2018;48(6):361–375. doi: 10.1016/j.neucli.2018.10.003
42. Chein JM, Schneider W. Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain general control network for learning. *Cogn Brain Res*. 2005;25(3):607–623. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.013
43. Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement*. 4th ed. New York: John Wiley; 2009. 384 p.
44. Muehlbauer T, Besemer C, Wehrle A, et al. Relationship between strength, power and balance performance in seniors. *Gerontology*. 2012;58(6):504–512. doi: 10.1159/000341614
45. Takakusaki K, Takahashi M, Obara K, Chiba R. Neural substrates involved in the control of posture. *Adv Robot*. 2016;31(1-2):2–23. doi: 10.1080/01691864.2016.1252690
46. Morasso P, Cherif A, Zenzeri J. Quiet standing: the single inverted pendulum model is not so bad after all. *PLoS One*. 2019;14(3):e0213870. doi: 10.1371/journal.pone.0213870
47. Sargent OJ, Dadalko OI, Pickett KA, Travers BG. Balance and the brain: A review of structural brain correlates of postural balance and balance training in humans. *Gait Posture*. 2019;(71):245–252. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.011
48. Bolton DA. The role of the cerebral cortex in postural responses to externally induced perturbations. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;(57):142–155. EDN: VGEUIZ doi: 10.1016/j.neubiorev.2015.08.014
49. Edwards AE, Guven O, Furman MD, et al. Electroencephalographic correlates of continuous postural tasks of increasing difficulty. *Neuroscience*. 2018;(395):35–48. EDN: PUTJGV doi: 10.1016/j.neuroscience.2018.10.040

- 50.** Borella E, Carretti B, Ribo F, De Beni R. Working memory training in older adults: Evidence of transfer and maintenance effects. *Psychol Aging*. 2010;25(4):767–778. doi: 10.1037/a0020683
- 51.** Levine B, Stuss DT, Winocur G, et al. Cognitive rehabilitation in the elderly: Effects on strategic behaviour in relation to goal management. *J Int Neuropsychol Soc*. 2007;13(1):143–152. EDN: HWGCIT doi: 10.1017/S1355617707070178
- 52.** Bherer L, Kramer AF, Peterson MS, et al. Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: Further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Exp Aging Res*. 2008;34(3):188–219. doi: 10.1080/03610730802070068
- 53.** Rogge AK, Röder B, Zech A, et al. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults. *Sci Rep*. 2017;7(1):572. doi: 10.1038/s41598-017-06071-9
- 54.** Chapman SB, Aslan S, Spence JS, et al. Shorter term aerobic exercise improves brain, cognition, and cardiovascular fitness in aging. *Front Aging Neurosci*. 2013;(5):75. doi: 10.3389/fnagi.2013.00075
- 55.** Young J, Angevare M, Rusted J, Tabet N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;2015(4):CD005381. doi: 10.1002/14651858.CD005381.pub4
- 56.** Gholami M, Salari Z, Yarahmadi R, et al. Effects of balance training on cognitive function and activities of daily living in older adult patients with heart failure: A randomized controlled trial. *Ir J Med Sci*. 2023;193(1):111–121. EDN: NDFSDD doi: 10.1007/s11845-023-03436-0
- 57.** Smith PF, Darlington CL, Zheng Y. Move it or lose it: Is stimulation of the vestibular system necessary for normal spatial memory? *Hippocampus*. 2010;20(1):36–43. doi: 10.1002/hipo.20588
- 58.** Angelaki DE, Cullen KE. Vestibular system: The many facets of a multimodal sense. *Ann Rev Neurosci*. 2008;(31):125–150. doi: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125555
- 59.** Bahureksa L, Najafi B, Saleh A, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment. *Gerontology*. 2017;63(1):67–83. doi: 10.1159/000445831
- 60.** Livingston G, Huntley J, Sommerlad A, et al. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the lancet commission. *Lancet*. 2020;396(10248):413–446. EDN: VAADCC doi: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6
- 61.** Mullard A. FDA approval for Biogen's aducanumab sparks Alzheimer disease firestorm. *Nat Rev Drug Discov*. 2021;20(7):496. doi: 10.1038/d41573-021-00099-3
- 62.** Leandri M, Cammisuli S, Cammarata S, et al. Balance features in Alzheimer's disease and amnesic mild cognitive impairment. *J Alzheimer's Dis*. 2009;16(1):113–120. doi: 10.3233/JAD-2009-0928
- 63.** Alsubaie SF. the postural stability measures most related to aging, physical performance, and cognitive function in healthy adults. *BioMed Res Int*. 2020;2020:5301534. doi: 10.1155/2020/5301534
- 64.** Johansson J, Nordström A, Gustafson Y, et al. Increased postural sway during quiet stance as a risk factor for prospective falls in community-dwelling elderly individuals. *Age Ageing*. 2017;46(6):964–970. doi: 10.1093/ageing/afx083
- 65.** Lindsay B, Najafi B, Saleh A, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: A systematic review and meta-analysis of studies using instrumented assessment. *Gerontology*. 2017;63(1):67–83. doi: 10.1159/000445831
- 66.** Quialheiro A, Thaynara M, Zimmermann TA, et al. Stabilometric analysis as a cognitive function predictor in adults over the age of 50: A cross-sectional study conducted in a memory clinic. *J Bodyw Mov Ther*. 2021;(27):640–646. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.04.007
- 67.** Kuan YC, Huang LK, Wang YH, et al. Balance and gait performance in older adults with early-stage cognitive impairment. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2021;57(4):560–567. doi: 10.23736/S1973-9087.20.06550-8
- 68.** Deary IJ, Whalley LJ, Batty GD, Starr JM. Physical fitness and lifetime cognitive change. *Neurology*. 2006;67(7):1195–2000. doi: 10.1212/01.wnl.0000238520.06958.6a

ОБ АВТОРАХ

* **Зверев Юрий Павлович**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 603950, Нижний Новгород, пр-т Гагарина, д. 23;
ORCID: 0000-0003-4477-748X;
eLibrary SPIN: 1793-4555;
e-mail: yzverev@yahoo.com

Буйлова Татьяна Валентиновна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-0282-7207;
eLibrary SPIN: 6062-2584;
e-mail: tvbuilova@list.ru

Тулечев Александр Алексеевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-3157-2218;
eLibrary SPIN: 9647-5272;
e-mail: mr.tulichev@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Yury P. Zverev**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;
address: 23 Gagarin avenue, 603950 Nizhni Novgorod, Russia;
ORCID: 0000-0003-4477-748X;
eLibrary SPIN: 1793-4555;
e-mail: yzverev@yahoo.com

Tatyana V. Builova, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0003-0282-7207;
eLibrary SPIN: 6062-2584;
e-mail: tvbuilova@list.ru

Alexander A. Tulichev, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-3157-2218;
eLibrary SPIN: 9647-5272;
e-mail: mr.tulichev@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author