

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab568543>

Особенности постурального контроля пациентов пожилого возраста с остеопорозом: обзор

Ю.П. Зверев¹, А.А. Туличев², Т.В. Буйлова¹, Н.В. Иосько¹, М.О. Игнатьева¹, Н.А. Бормоткина¹¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация;² Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В обзоре рассматриваются особенности постурального контроля пациентов с сенильным и пресенильным остеопорозом. Обобщены возрастные изменения компонентов и механизмов системы постурального контроля. Обсуждаются основные факторы, ассоциированные с остеопорозом и влияющие на постуральный баланс, а именно: сниженная минерализация костей, постуральные деформации, патологические переломы и саркопения. Рассматриваются ключевые проблемы пациентов пожилого возраста с остеопорозом, вызванные снижением постуральной устойчивости и связанные, прежде всего, с повышенным риском падений и травматизаций, страхом падений, снижением функциональной мобильности и качества жизни.

На основе анализа литературных источников предложена гипотетическая модель постурального контроля и взаимодействия между возрастассоциированными и остеопорозассоциированными факторами.

Ключевые слова: постуральный контроль; остеопороз; риск падений; страх падений; качество жизни.

Как цитировать:

Зверев Ю.П., Туличев А.А., Буйлова Т.В., Иосько Н.В., Игнатьева М.О., Бормоткина Н.А. Особенности постурального контроля пациентов пожилого возраста с остеопорозом: обзор // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2023. Т. 5, № 3. С. 255–264. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab568543>

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab568543>

Features of postural control of elderly patients with osteoporosis: Overview

Yuriy P. Zverev¹, Alexander A. Tulichev², Tatyana V. Builova¹, Natalya V. Iosko¹,
Maria O. Ignatieva¹, Natalia A. Bormotkina¹

¹ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation;

² Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

ABSTRACT

The study discusses the features of postural control of patients with senile and presenile osteoporosis. Age-related changes in the components and mechanisms of the postural control system are summarized. The main factors that are associated with osteoporosis and affect the postural balance, namely, reduced bone mineralization, postural deformities, pathological fractures, and sarcopenia, are discussed. The key problems of older patients with osteoporosis associated with a decrease in postural stability are considered. These problems are associated with an increased risk of falls and injuries, fear of falls, reduced functional mobility, and quality of life.

On the analysis of literature sources, a hypothetical model of postural control and interaction between age-associated and osteoporosis-associated factors is proposed.

Keywords: postural control; osteoporosis; risk of falls; fear of falls; quality of life.

To cite this article:

Zverev YuP, Tulichev AA, Builova TV, Iosko NV, Ignatieva MO, Bormotkina NA. Features of postural control of elderly patients with osteoporosis: Overview. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2023;5(3):255–264. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab568543>

Received: 18.08.2023

Accepted: 04.09.2023

Published: 29.09.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Способность поддерживать постуральный баланс как в статике, так и в динамике является базовой для жизнедеятельности человека [1]. Такая способность необходима для нормальной мобильности человека и выполнения активностей повседневной жизни. Расстройства постуральной устойчивости существенно увеличивают риск падений и травматизаций, а также повышают функциональную зависимость и оказывают негативное влияние на качество жизни пациентов [2–4].

Снижение постуральной устойчивости является довольно распространённой проблемой у пожилых людей, которая усугубляется или дополняется наличием возраст-ассоциированных заболеваний, например остеопороза [5–7]. У пожилых людей возрастные изменения организма и ассоциированные с остеопорозом морфофункциональные изменения протекают параллельно и могут действовать синергично [6]. Поскольку и те, и другие оказывают негативное влияние на постуральную устойчивость человека, трудно оценить, что является доминирующим: вклад возраста или остеопороза. Данный вопрос имеет теоретическую и практическую значимость и требует детального рассмотрения и анализа, поскольку эта группа пациентов подвержена большому риску переломов и сопутствующих заболеваний и состояний, связанных с падениями [6, 7].

Целью настоящего обзора является изучение особенностей постурального контроля и постуральной устойчивости у пожилых людей с остеопорозом.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПОСТУРАЛЬНОМУ КОНТРОЛЮ

Под постуральным балансом человека понимают способность поддерживать и управлять положением общего центра тяжести тела (ОЦТ) в пределах базы опоры в целях предотвращения падения или потери равновесия при статическом или динамическом положении [8]. Данное определение постурального баланса, хотя и включает статику и динамику, более применимо для статических положений. Во время локомоций, например при ходьбе, проекция ОЦТ находится в пределах базы опоры только во время двойной опоры. В период одинарной опоры проекция ОЦТ смещается за пределы контакта опорной ноги с опорой. В этом случае интеграция позы и движения и поддержание динамического соотношения между базой опоры и положением ОЦТ более важны, чем поддержание проекции ОЦТ в границах базы опоры [9].

Для сохранения равновесия в вертикальном положении проекция ОЦТ должна находиться в определённых пространственных границах в рамках предела устойчивости. Предел устойчивости можно определить как наибольшее расстояние, на которое человек может отклонить проекцию ОЦТ, не теряя равновесия и не меняя базу опоры [10]. Предел устойчивости имеет конусообразную

форму — конус устойчивости. С позиций конуса устойчивости, равновесие — это не определённое положение тела в пространстве, а пространство, определяемое базой опоры и лимитируемое подвижностью суставов, мышечной силой, а также сенсорной информацией [11].

Основные задачи постурального контроля включают поддержание определённого постурального положения в условиях гравитации, облегчение произвольных движений, возвращение (удержание) равновесия в ответ на внешние воздействия (пертурбации) [11, 12].

Выделяют два компонента постурального контроля: постуральную устойчивость и постуральную ориентацию [11]. По сути, постуральная устойчивость отражает способность поддерживать равновесие, а постуральная ориентация обеспечивает поддержание и изменение позы. Оба компонента постурального контроля тесно взаимосвязаны, поскольку любое изменение ориентации мгновенно влечёт за собой смещение ОЦТ, тогда как коррекция положения ОЦТ достигается в основном перемещением сегментов тела относительно друг друга, т.е. посредством изменения позы. Можно выделить ещё один компонент постурального контроля — облегчение фазных движений, т.е. обеспечение «механической поддержки» тела при движении [12].

В соответствии с системной моделью, постуральный контроль не является какой-то обособленной системой или набором постуральных рефлексов [11]. Системная модель фокусируется на динамическом взаимодействии между различными компонентами и подсистемами организма для поддержания постурального баланса [13]. К основным системам постурального контроля относят сенсорные системы опорно-двигательного аппарата, нервно-мышечную и когнитивную системы. Зрительная, соматосенсорная (проприоцептивная) и вестибулярная сенсорные системы предоставляют информацию о положении и движении тела, особенно головы, о внешней среде и её движениях относительно тела. Опорно-двигательный аппарат и нервно-мышечная система осуществляют моторное планирование и обеспечивают произвольные или рефлексорные реакции в ответ на сенсорную информацию. Когнитивная система интерпретирует сенсорную информацию, выбирает и координирует соответствующий моторный ответ.

Центральная нервная система вносит свой вклад в постуральный контроль, интерпретируя входные сигналы из всех источников и формируя соответствующий выходной сигнал для сохранения равновесия [12]. Для адекватного реагирования на этот выходной сигнал суставы должны иметь достаточную подвижность, а мышцы — достаточную силу.

Постуральные корректировки могут происходить в ответ на информацию от неожиданных внешних возмущений (реактивный постуральный контроль), в упреждающем порядке в преддверии ожидаемых возмущений (проактивный постуральный контроль, преднастройка позы) или произвольно [12].

Базируясь на системной модели, F.B. Hoag [11] выделил шесть важных ресурсов, необходимых для эффективного

постурального контроля: биомеханические (база опоры, положение ОЦТ, пределы устойчивости, степени свободы движений, силы), сенсорные компоненты (вестибулярная, зрительная и соматосенсорная системы, сенсорная интеграция), ориентация в пространстве (гравитационная вертикаль, опорная поверхность, гравитация), когнитивные ресурсы (внимание, память, обучение), контроль динамики (локомоции, проактивный баланс), двигательные стратегии (реактивные, произвольные, преднастроенные). Нарушение любого из этих ресурсов может привести к снижению постуральной устойчивости и ориентации и повышению риска падений человека.

В постуральном контроле используются различные стереотипные стратегии (т.е. способы достижения цели) и синергии (определённые паттерны мышечной активности) для поддержания или восстановления равновесия и стабильности [12, 13]. Различают три базовые постуральные стратегии, которые вовлекают нижние конечности и нижнюю часть туловища: голеностопную, тазобедренную и шаговую. Несколько факторов определяют выбор наиболее эффективной постуральной стратегии для удержания равновесия в ответ на возмущающее воздействие: скорость и интенсивность возмущающего воздействия, характеристики опорной поверхности, величина смещения ОЦТ.

Небольшие медленные колебания ОЦТ при спокойном стоянии на ровной твёрдой поверхности компенсируются движениями в голеностопном суставе — голеностопная стратегия. Данная стратегия неэффективна при достаточно большом или быстром отклонении ОЦТ, особенно на неровной, узкой или движущейся поверхности, а также при отклонении ОЦТ в латеральном направлении. В этом случае применяется тазобедренная стратегия — движения в тазобедренном суставе с активацией крупных мышц бедра и туловища, включая абдукторы бедра, с последующим вовлечением мышц голеностопного сустава. При существенном отклонении положения ОЦТ применяется шаговая стратегия. Человек делает шаг, в результате которого устанавливается новая увеличенная база опоры. Постуральный контроль подстраивается к новому положению тела и к новой базе опоры [12].

При отсутствии результативности трёх базовых постуральных стратегий в ситуации, близкой к падению, мобилизуются верхние конечности в качестве стратегии сохранения постуральной стабильности [4, 14]. Данная стратегия является комплексной и включает движения верхних конечностей, туловища и нижних конечностей.

ВОЗРАСТАССОЦИИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

С возрастом происходят анатомические, биомеханические и физиологические изменения всех компонентов постурального контроля, которые затрагивают статический

и динамический постуральный баланс и могут ухудшить постуральную стабильность даже при выполнении несложных двигательных действий (табл. 1) [1, 12, 15]. Возрастные изменения происходят градуально, с существенным ускорением после 80 лет. До достижения возраста 70 лет изменения в постуральном контроле при выполнении несложных двигательных действий являются минимальными [1].

Возрастные изменения системы постурального контроля являются одной из ведущих причин повышенного риска падений у пожилых людей [3, 16]. Выделены два возрастассоциированных моторных фактора, увеличивающих частоту падений и травматизации: плохая постуральная реакция на возмущающие воздействия (пертурбации), особенно во время ходьбы, и постуральная нестабильность [17].

Постуральная реакция на пертурбации при движениях у пожилых людей имеет ряд особенностей. Во-первых, в ответ на небольшое нарушение постурального баланса пожилые применяют тазобедренную стратегию, а молодые люди — голеностопную [18]. Во-вторых, пожилым людям, по сравнению с молодыми, требуется дополнительный шаг в ответ на возмущение, чтобы вернуться к стабильной позе и удержать пределы стабильности [19]. В-третьих, у пожилых отмечается большая мышечная ригидность в ответ на пертурбации равновесия, включая падение [20]. Мышечный ответ на внезапное возмущение характеризуется более длительным латентным периодом, избыточными сокращениями мышц голени и бедра, существенным сгибанием туловища и небольшим сгибанием коленей. У пожилых зарегистрирована большая вертикальная составляющая силы реакции опоры, чем у молодых, что свидетельствует о большей силе удара при падении [17].

Согласно модели М. Henry и S. Baudry [21], постуральный дефицит и нестабильность у пожилых людей являются результатом четырёх ключевых возрастных изменений:

- 1) снижения доступной проприоцептивной информации;
- 2) увеличения зависимости от визуальной информации;
- 3) нарушения координации (увеличения коактивации) мышц агонистов и антагонистов нижних конечностей, приводящего к скованности движений и трудностям в реализации постуральных стратегий;
- 4) увеличения когнитивной нагрузки для поддержания постуральной стабильности.

Наличие возрастассоциированного сдвига в относительной значимости различных сенсорных систем (сенсорная переоценка) отмечается в недавних исследованиях [21, 22]. У молодых здоровых людей соматосенсорная система, в частности информация от проприорецепторов нижней конечности, имеет ведущее значение для поддержания статического постурального баланса или в иницировании постуральных реакций в ответ на внезапное отклонение опорной поверхности. Зрительная система необходима для полноценного функционирования

Таблица 1. Возрастные изменения компонентов пострурального баланса

Table 1. Age-related changes in postural balance components

Система	Компонент	Возрастные изменения и их последствия
Сенсорная	Зрительный	Зрительная система приобретает ведущее значение в поддержании пострурального баланса. Снижение остроты зрения, сужение полей зрения, снижение способности восприятия глубины пространства и контраста, снижение чувствительности к визуальному потоку искажают зрительную информацию и эффективность пострурального контроля, повышают риск падений, снижают безопасность подъёма и спуска по лестнице
	Вестибулярный	Уменьшение количества вестибулярных рецепторов, нейронов в вестибулярных ядрах, диаметра и степени миелинизации нервных волокон. Снижение функции вестибулярной системы коррелирует с увеличением поструральных колебаний тела на податливой опорной поверхности с закрытыми глазами
	Соматосенсорный	Снижение вибрационной, проприоцептивной, тактильной и кинестетической чувствительности; ощущения положения суставов коррелирует с усилением поструральных колебаний тела, падениями и нарушением мобильности
Моторная	Двигательная координация	Нарушение центральных механизмов пострурального контроля. Увеличение поструральных колебаний общего центра тяжести тела при спокойном стоянии. Замедление (увеличение латентного периода) и уменьшение выраженности реактивных поструральных ответов при спокойном стоянии и ходьбе вследствие увеличения сенсорных порогов для поструральных стимулов. Увеличение количества шагов, предпринимаемых для восстановления пострурального баланса при умеренных отклонениях. Замедление и дезорганизация проактивных поструральных реакций
Когнитивная	Высший уровень сенсорной интеграции	Снижение способности переключаться с одного сенсорного входа на другой для контроля позы. Нарушения вестибулоокулярных и оптокинестических рефлексов
	Внимание	Осуществление пострурального контроля требует повышенного внимания, что выражается более низкой производительностью в ситуациях с двойным заданием. По мере усложнения поструральной задачи снижается эффективность выполнения когнитивных задач
Мышечно-скелетная	Мышечная сила	Уменьшение мышечной массы, снижение силы и скорости сокращения мышц, снижение способности создавать быстрый крутящий момент в голеностопном суставе. Снижение мышечной силы коррелирует с потерей равновесия
	Гибкость и подвижность	Снижение подвижности суставов и гибкости позвоночника

реактивного и проактивного пострурального контроля. Её значение для пострурального контроля увеличивается при нарушениях проприоцепции. Вестибулярная система играет доминирующую роль при наличии конфликта между проприоцептивными и зрительными сигналами, для поддержания поструральной устойчивости во время ходьбы, распознавания и восприятия движений тела, ориентации тела по вертикали. С возрастом уменьшается чувствительность всех сенсорных систем, происходит переоценка значения различных источников сенсорной информации с повышением роли зрительного анализатора в контроле поструральной стабильности — сенсорный сдвиг (переоценка) с вестибулярной и проприоцептивной систем на зрительную [17]. Так, исследование В.В. Alberts и соавт. [22] показало, что пожилые люди для определения ориентации гравитационной вертикали в большей степени

полагаются на визуальную информацию, чем на свои ощущения, связанные с проприоцептивной и вестибулярной системой. Однако такая сенсорная переоценка может вызывать определённые поструральные трудности, поскольку визуальная информация у пожилых людей также может быть ненадёжной или недоступной [21, 22].

В ответ на сенсорный дефицит у пожилых людей увеличиваются поструральные колебания и смещения центра давления [17]. Традиционно эта ответная реакция рассматривалась как проявление нарушений пострурального контроля. Недавние исследования показали, что возрастание амплитуды поструральных колебаний может иметь положительное адаптационное значение, поскольку позволяет активировать менее чувствительные проприоцепторы и вестибулярные рецепторы и обеспечить лучший поструральный баланс [22].

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У ПАЦИЕНТОВ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА С ОСТЕОПОРОЗОМ

Сенильный и пресенильный остеопороз является одним из наиболее распространённых и социально значимых заболеваний во всём мире [23]. Остеопороз характеризуется системным снижением минерализации костной ткани, структурно-функциональными дефектами, приводящими к повышенной хрупкости костей.

К основным факторам, ассоциированным с остеопорозом и влияющим на постуральный баланс, относят низкую минерализацию костей, постуральные деформации, патологические переломы и саркопению.

Постуральные деформации при остеопорозе включают гиперкифоз, снижение высоты позвонков, нарушение выравнивания частей тела относительно гравитационной вертикали, снижение гибкости позвоночника [24, 25].

Гиперкифоз отмечается у многих пожилых людей, но у пациентов с остеопорозом он встречается в 2 раза чаще, чем у их сверстников без выраженного остеопороза [6, 26]. Гиперкифоз приводит к изменению привычного положения головы (наклон вперёд), протракции лопаток, уменьшению поясничного лордоза, снижению роста стоя. Согнутое положение тела при гиперкифозе является относительно нестабильным, поскольку смещает положение ОЦТ к границам предела устойчивости в переднезаднем направлении, существенно увеличивает шансы на потерю устойчивости и падение [6, 26]. Кроме того, отклонения в выравнивании тела при гиперкифозе нарушают проприорецепцию суставов и вызывают искажение кинестетической чувствительности и схемы тела. Ограничение сгибания вследствие рефлекторного гипертонуса флексоров, слабость мышц-разгибателей позвоночника снижают гибкость позвоночника, вызывают трудности при подъёме на лестницу, уменьшение скорости ходьбы, нарушение походки и снижение возможности выполнения повседневных активностей. Кифозассоциированные факторы оказывают влияние на контроль положения ОЦТ и возможность адекватно реагировать на возмущающие воздействия [24]. В целом, постуральные деформации оказывают дестабилизирующее влияние на систему постурального контроля. Это влияние может быть как прямым, так и опосредованным за счёт аугментации возрастных изменений.

Наличие постуральных деформаций может способствовать предпочтительному использованию тазобедренной стратегии для поддержания постуральной устойчивости [27]. Дополнительными факторами в поддержку чрезмерного использования тазобедренной стратегии являются страх падения и снижение силы мышц голеностопного сустава.

Снижение минеральной плотности костей, саркопения, нарушения выравнивания тела и гиперкифоз выступают синергично в уменьшении постуральной устойчивости

и формировании рисков патологических переломов — компрессионных переломов позвоночника, бедра, запястий. В свою очередь, компрессионные переломы и их последствия усугубляют постуральные деформации и снижают устойчивость вертикального положения человека.

Недавние исследования показали не только связь между минеральной плотностью костей и постуральной стабильностью, но и ассоциацию между историей травматичных падений и показателями постурографических тестов. Так, в ретроспективном исследовании А. Simon и соавт. [28] показано, что снижение минеральной плотности в области нижней части бедренной кости коррелирует с постурографическими показателями постуральной стабильности в позе Ромберга с открытыми и закрытыми глазами у пожилых мужчин и женщин с остеопорозом. Авторы предположили, что снижение минеральной плотности костей может являться фактором риска для развития постуральных нарушений и ограничений. Кроме того, у пожилых людей сниженная минеральная плотность костей коррелирует с отклонениями от идеального выравнивания частей тела [24]. Показано, что при снижении минеральной плотности костной ткани в головке бедренной кости на одно стандартное отклонение риск переломов бедра увеличивается в 2,6 раза [29].

У пожилых пациентов снижение минеральной плотности костной ткани часто сочетается с наличием саркопении, проявляющейся снижением мышечной массы и силы скелетных мышц [24, 30]. Обнаружена мышечная слабость в отводящих мышцах бедра, разгибателях и сгибателях колена, тыльных сгибателях голеностопного сустава, что способствует риску падений. Поскольку сила мышц является значимым инструментом в контроле крутящего момента во время ситуаций, приводящих к падениям, её снижение превышает риск падений и травматизации.

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПАЦИЕНТОВ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА С ОСТЕОПОРОЗОМ, СВЯЗАННЫЕ СО СНИЖЕНИЕМ ПОСТУРАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

В клинической практике пожилые люди с остеопорозом относятся к лицам с высоким риском падений, травматизации и травматических переломов [23, 24]. Кроме того, данная категория пациентов имеет высокий риск патологических остеопоретических переломов, вызванных минимальными воздействиями. Чаще всего они локализованы в шейке бедра, телах позвонков и дистальном отделе предплечья.

Повышенная встречаемость травм и переломов у пожилых людей с остеопорозом является результатом взаимодействия двух факторов — снижения минеральной плотности костей и повышения риска падений [25]. В свою

очередь, риск падений повышают внутренние (морфо-функциональные) и внешние (средовые) факторы [25]. Ведущим возрастзависимым внутренним фактором повышенного риска падений у пожилых людей является постуральная нестабильность и ограничение функциональных возможностей различных компонентов системы постурального контроля. Так, недавнее стабилметрическое исследование показало, что высокоамплитудные постуральные колебания являются независимым предиктором остеопоретических переломов у пожилых женщин [31]. К внешним факторам можно отнести все средовые факторы, снижающие постуральную устойчивость, например скользкий пол.

Остеопоретические переломы вызывают изменение костной морфологии и мышечный дисбаланс, что приводит к тенденции повышения амплитуды постуральных колебаний. Переломы позвонков могут привести к гиперкифозу и смещению ОЦТ ближе к границам стабильности, что уменьшает устойчивость вертикального положения человека и способствует падениям [18].

Нарушения постурального баланса формируют страх падения и получения травмы, который, в свою очередь (по типу порочного круга), увеличивает риск падения и может существенно ограничивать двигательную активность

человека [18]. Показано, что страх падения формирует так называемую стратегию повышенной жесткости (stiffening strategy), заключающуюся в коактивации мышц агонистов и антагонистов, что приводит к стабилизации суставов и уменьшению амплитуды и скорости osteokinematic движений [18, 32]. Это ограничивает возможность применения постуральных стратегий в ответ на возмущающие воздействия. Кроме того, «стратегия повышенной жесткости» и страх падения ограничивают возможность выполнения активностей повседневной жизни, изменяют двигательное планирование и поведение [18, 25], при этом приоритизируются положения тела и позы, минимизирующие постуральные отклонения.

Таким образом, страх падений, травматические и патологические остеопоретические переломы могут привести к существенному снижению физического и психологического здоровья и качества жизни, связанного со здоровьем, и даже инвалидизации [25], при этом боль, страх движения и страх повторного падения значительно ухудшают реабилитационный потенциал таких больных [18]. Гипотетическая обобщенная модель постурального контроля и взаимодействия между возрастассоциированными и остеопорозассоциированными факторами представлена на рис. 1.



Рис. 1. Гипотетический механизм нарушений постурального баланса у пожилых пациентов с остеопорозом.

Fig. 1. Hypothetical mechanism of postural balance disorders in older patients with osteoporosis.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возрастные изменения системы постурального контроля приводят к ухудшению постуральной устойчивости, особенно в ответ на возмущающие воздействия (пертурбации) во время локомоций, что повышает риск падений и травматизации у пожилых людей, а также увеличивает функциональную зависимость и снижает качество жизни пациентов. Кроме того, нарушения постурального баланса формируют страх падения и получения травмы, что может существенно ограничивать двигательную активность человека. Остеопороз является важным фактором, ухудшающим постуральный контроль у пожилых людей. Данное заболевание сопровождается морфофункциональными изменениями в организме, которые также влияют на систему постурального баланса и могут ограничивать постуральную стабильность пациентов за счёт аугментации возрастных изменений или путём прямого влияния на постуральный контроль.

Дальнейшие исследования постуральной устойчивости при сенильном и пресенильном остеопорозе позволят разработать подходы к комплексной оценке системы постурального контроля для людей пожилого возраста с остеопорозом и определить наиболее эффективные для данной популяции пациентов реабилитационные стратегии, снижающие шансы на падение и травматизацию.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Поисково-аналитическая работа проведена на личные средства авторского коллектива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu H., Wei Y., Miao X., et al. Characteristics of balance performance in the Chinese elderly by age and gender // *BMC Geriatr.* 2021. Vol. 21, N 1. P. 596. doi: 10.1186/s12877-021-02560-9
2. Carrasco C., Tomas-Carus P., Bravo J., et al. Understanding fall risk factors in community-dwelling older adults: A cross-sectional study // *Int J Older People Nurs.* 2020. Vol. 15, N 1. P. e12294. doi: 10.1111/opn.12294
3. Montero-Odasso M., van der Velde N., Martin FC., et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: A global initiative // *Age Ageing.* 2022. Vol. 51, N 9. P. 1–36. doi: 10.1093/ageing/afac205
4. Lavedán A., Viladrosa M., Jürschik P., et al. Fear of falling in community-dwelling older adults: A cause of falls, a consequence, or both? // *PLoS One.* 2018. Vol. 13, N 3. P. 1–8. doi: 10.1371/journal.pone.0194967
5. Riis J., Eika F., Blomkvist A.W., et al. Lifespan data on postural balance in multiple standing positions // *Gait Posture.* 2020. N 76. P. 68–73. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.11.004
6. Burke T.N., França F.J., Meneses S.R., et al. Postural control among elderly women with and without osteoporosis: Is there a difference? // *Sao Paulo Med J.* 2010. Vol. 128, N 4. P. 219–224. doi: 10.1590/s1516-31802010000400009
7. Okayama A., Nakayama N., Kashiwa K., et al. Prevalence of sarcopenia and its association with quality of life, postural stability, and past incidence of falls in postmenopausal women with

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Вклад авторов. Ю.П. Зверев, А.А. Туличев, Н.В. Иоско — дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; Т.В. Буйлова — дизайн исследования, редактирование; М.О. Игнатьева, Н.А. Бормоткина — подбор литературных источников, написание рукописи, подготовка иллюстраций. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы 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.

Authors' contribution. Yu.P. Zverev, A.A. Tulichev, N.V. Iosko — research design, analysis and interpretation of data, review of publications on the topic of the article, and manuscript writing; T.V. Builova — research design and editing; M.O. Ignatieva, N.A. Bormotkina — selection of literary sources, manuscript writing, preparation of graphic and tabular material. 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.

- osteoporosis: A cross-sectional study // *Healthcare (Basel).* 2022. Vol. 19, N 10. P. 192. doi: 10.3390/healthcare10020192
8. 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
9. Winter D.A. *Biomechanics and motor control of human movement*, 4th ed. New York: John Wiley; 2009. 384 p.
10. Nashner L.M. Physiology of balance, with special reference to the healthy elderly. In: C. Masdeu, L. Sudarsky, L. Wolfson *Gait disorders of aging: falls and therapeutic strategies*. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997. P. 37–53.
11. Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? // *Age and Ageing.* 2006. N 35, Suppl. 2. P. ii7–ii11. doi: 10.1093/ageing/af077
12. Cameron M.H., Monroe L. Balance and fall risk in physical rehabilitation: Evidence-based examination, evaluation, and intervention. Philadelphia PA, USA: Elsevier Science Health Science; 2007.
13. Nashner L.M. Sensory, neuromuscular, and biomechanical contributions to human balance. In: P.W. Duncan, editors. *Balance: proceedings of APTA forum*. Alexandria, VA: American Physical Therapy Association; 1990. P. 33–38.
14. Blenkinsop G.M., Pain M.T., Hiley M.J. Balance control strategies during perturbed and unperturbed balance in standing and handstand // *R Soc Open Sci.* 2017. Vol. 4, N 7. P. 161018. doi: 10.1098/rsos.161018

15. Bronstein A.M., Brandt T., Woollacott M.H., Nutt J.G. Clinical disorders of balance, posture and gait. London: Arnold; 2004. 479 p.

16. Montero-Odasso M.M., Kamkar N., Pieruccini-Faria F., et al. Evaluation of clinical practice guidelines on fall prevention and management for older adults: A systematic review // *JAMA Netw Open*. 2021. Vol. 4, N 12. P. e2138911. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.38911

17. Dominguez L. Postural control and perturbation response in aging populations: Fall risk implications // *J Neurophysiol*. 2020. Vol. 124, N 5. P. 1309–1311. doi: 10.1152/jn.00767.2019

18. Stamenkovic A., van der Veen S.M., Thomas J.S. Fear priming: A method for examining postural strategies associated with fear of falling // *Front Aging Neurosci*. 2020. N 12. P. 241. doi: 10.3389/fnagi.2020.00241

19. König M., Epro G., Seeley J., et al. Retention and generalizability of balance recovery response adaptations from trip perturbations across the adult life span // *J Neurophysiol*. 2019. Vol. 122, N 5. P. 1884–1893. doi: 10.1152/jn.00380.2019

20. Sanders O., Hsiao H.Y., Savin D.N., et al. Aging changes in protective balance and startle responses to sudden drop perturbations // *J Neurophysiol*. 2019. Vol. 122, N 1. P. 39–50. doi: 10.1152/jn.00431.2018

21. Henry M., Baudry S. Age-related changes in leg proprioception: Implications for postural control // *J Neurophysiol*. 2019. Vol. 122, N 2. P. 525–538. doi: 10.1152/jn.00067.2019

22. Alberts B.B., Selen L.P., Medendorp W.P. Age-related reweighting of visual and vestibular cues for vertical perception // *J Neurophysiol*. 2019. Vol. 121, N 4. P. 1279–1288. doi: 10.1152/jn.00481.2018

23. Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В., и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // *Остеопороз и остеопатии*. 2021. Т. 24, № 2. С. 4–47. doi: 10.14341/osteo12930

24. Hsu W.L., Chen C.Y., Tsao J.Y., et al. Balance control in elderly people with osteoporosis // *J Formos Med Assoc*. 2014. Vol. 113, N 6. P. 334–339. doi: 10.1016/j.jfma.2014.02.006

25. Hanafy M., Hamoud H., Samy Abdulhakim S., et al. Balance characteristics and frequency of falls in patients with postmenopausal osteoporosis // *Ortho Rheum Open Access J*. 2017. Vol. 8, N 1. P. 555730. doi: 10.19080/OROAJ.2017.08.555730

26. Mohebi S., Torkaman G., Bahrami F., et al. Postural instability and position of the center of pressure into the base of support in postmenopausal osteoporotic and nonosteoporotic women with and without hyperkyphosis // *Arch Osteoporos*. 2019. Vol. 14, N 1. P. 58. doi: 10.1007/s11657-019-0581-6

27. Lynn S.G., Sinaki M., Westerlind K.C. Balance characteristics of persons with osteoporosis // *Arch Phys Med Rehabil*. 1997. Vol. 78, N 3. P. 273–277. doi: 10.1016/s0003-9993(97)90033-2

28. Simona A., Ruppia N., Hoenigb T., et al. Evaluation of postural stability in patients screened for osteoporosis: A retrospective study of 1086 cases // *Gait Posture*. 2021. N 88. P. 3304–3310. doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.06.013

29. Cummings S.R., Black D.M., Nevitt M.C., et al. Bone density at various sites for prediction of hip fractures // *Lancet*. 1993. Vol. 341, N 8837. P. 72–75. doi: 10.1016/0140-6736(93)92555-8

30. Iolascon G., Giamattei G.M., Moretti A., et al. Sarcopenia in women with vertebral fragility fractures // *Aging Clin Exp Res*. 2013. N 25, Suppl. 1. P. S129–S131. doi: 10.1007/s40520-013-0102-1

31. Qazi S.L., Sirola J., Kroger H., et al. High postural sway is an independent risk factor for osteoporotic fractures but not for mortality in elderly women // *J Bone Miner Res*. 2019. Vol. 34, N 5. P. 817–824. doi: 10.1002/jbmr.3664

32. Nagai K., Yamada M., Uemura K., et al. Effects of fear of falling on muscular coactivation during walking // *Aging Clin Exp Res*. 2012. Vol. 24, N 2. P. 157–161. doi: 10.3275/7716

REFERENCES

1. Wu H, Wei Y, Miao X, et al. Characteristics of balance performance in the Chinese elderly by age and gender. *BMC Geriatr*. 2021;21(1):596. doi: 10.1186/s12877-021-02560-9

2. Carrasco C, Tomas-Carus P, Bravo J, et al. Understanding fall risk factors in community-dwelling older adults: A cross-sectional study. *Int J Older People Nurs*. 2020;15(1):e12294. doi: 10.1111/opn.12294

3. Montero-Odasso M, van der Velde N, Martin FC, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults: A global initiative. *Age Ageing*. 2022;51(9):1–36. doi: 10.1093/ageing/afac205

4. Lavedán A, Viladrosa M, Jürschik P, et al. Fear of falling in community-dwelling older adults: A cause of falls, a consequence, or both? *PLoS One*. 2018;13(3):1–8. doi: 10.1371/journal.pone.0194967

5. Riis J, Eika F, Blomkvist AW, et al. Lifespan data on postural balance in multiple standing positions. *Gait Posture*. 2020;(76):68–73. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.11.004

6. Burke TN, França FJ, Meneses SR, et al. Postural control among elderly women with and without osteoporosis: Is there a difference? *Sao Paulo Med J*. 2010;128(4):219–224. doi: 10.1590/s1516-31802010000400009

7. Okayama A, Nakayama N, Kashiwa K, et al. Prevalence of sarcopenia and its association with quality of life, postural stability, and past incidence of falls in postmenopausal women with osteoporosis: A cross-sectional study. *Healthcare (Basel)*. 2022;19(10):192. doi: 10.3390/healthcare10020192

8. 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

9. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement, 4th ed. New York: John Wiley; 2009. 384 p.

10. Nashner LM. Physiology of balance, with special reference to the healthy elderly. In: C. Masdeu, L. Sudarsky, L. Wolfson. *Gait disorders of aging: Falls and therapeutic strategies*. Philadelphia: Lippincott-Raven; 1997. P. 37–53.

11. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*. 2006;(35 Suppl 2):ii7–ii11. doi: 10.1093/ageing/af1077

12. Cameron MH, Monroe L. Balance and fall risk in physical rehabilitation: Evidence-based examination, evaluation, and intervention. Philadelphia PA, USA: Elsevier Science Health Science; 2007.

13. Nashner LM. Sensory, neuromuscular, and biomechanical contributions to human balance. In: P.W. Duncan, editor. *Balance: proceedings of APTA forum*. Alexandria, VA: American Physical Therapy Association; 1990. P. 33–38.

14. Blenkinsop GM, Pain MT, Hiley MJ. Balance control strategies during perturbed and unperturbed balance in standing and handstand. *R Soc Open Sci*. 2017;4(7):161018. doi: 10.1098/rsos.161018

15. Bronstein AM. Clinical disorders of balance, posture and gait. London: Arnold; 2004.

16. Montero-Odasso MM, Kamkar N, Pieruccini-Faria F, et al. Evaluation of clinical practice guidelines on fall prevention and management for older adults: A systematic review. *JAMA Netw Open*. 2021;4(12):e2138911. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2021.38911
17. Dominguez L. Postural control and perturbation response in aging populations: Fall risk implications. *J Neurophysiol*. 2020;124(5):1309–1311. doi: 10.1152/jn.00767.2019
18. Stamenkovic A, van der Veen SM, Thomas JS. Fear Priming: A method for examining postural strategies associated with fear of falling. *Front Aging Neurosci*. 2020;(12):241. doi: 10.3389/fnagi.2020.00241
19. König M, Epro G, Seeley J, et al. Retention and generalizability of balance recovery response adaptations from trip perturbations across the adult life span. *J Neurophysiol*. 2019;122(5):1884–1893. doi: 10.1152/jn.00380.2019
20. Sanders O, Hsiao HY, Savin DN, et al. Aging changes in protective balance and startle responses to sudden drop perturbations. *J Neurophysiol*. 2019;122(1):39–50. doi: 10.1152/jn.00431.2018
21. Henry M, Baudry S. Age-related changes in leg proprioception: Implications for postural control. *J Neurophysiol*. 2019;122(2):525–538. doi: 10.1152/jn.00067.2019
22. Alberts BB, Selen LP, Medendorp WP. Age-related reweighting of visual and vestibular cues for vertical perception. *J Neurophysiol*. 2019;121(4):1279–1288. doi: 10.1152/jn.00481.2018
23. Belaya ZE, Belova KYu, Biryukova EV, et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis Bone Dis*. 2021;24(2):4–47. (In Russ). doi: 10.14341/osteol2930
24. Hsu WL, Chen CY, Tsauo JY, et al. Balance control in elderly people with osteoporosis. *J Formos Med Assoc*. 2014;113(6):334–339. doi: 10.1016/j.jfma.2014.02.006
25. Hanafy M, Hamoud H, Abdulhakim S, et al. Balance characteristics and frequency of falls in patients with postmenopausal osteoporosis. *Ortho Rheum Open Access J*. 2017;8(1):555730. doi: 10.19080/OROAJ.2017.08.555730
26. Mohebi S, Torkaman G, Bahrami F, et al. Postural instability and position of the center of pressure into the base of support in postmenopausal osteoporotic and nonosteoporotic women with and without hyperkyphosis. *Arch Osteoporos*. 2019;14(1):58. doi: 10.1007/s11657-019-0581-6
27. Lynn SG, Sinaki M, Westerlind KC. Balance characteristics of persons with osteoporosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78(3):273–277. doi: 10.1016/s0003-9993(97)90033-2
28. Simon A, Rupp N, Hoenigb T, et al. Evaluation of postural stability in patients screened for osteoporosis: A retrospective study of 1086 cases. *Gait Posture*. 2021;(88):3304–3310. doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.06.013
29. Cummings SR, Black DM, Nevitt MC, et al. Bone density at various sites for prediction of hip fractures. *Lancet*. 1993;341(8837):72–75. doi: 10.1016/0140-6736(93)92555-8
30. Iolascon G, Giamattei GM, Moretti A, et al. Sarcopenia in women with vertebral fragility fractures. *Aging Clin Exp Res*. 2013;(25 Suppl 1):S129–S131. doi: 10.1007/s40520-013-0102-1
31. Gazi SL, Sirola J, Kroger H, et al. High postural sway is an independent risk factor for osteoporotic fractures but not for mortality in elderly women. *J Bone Miner Res*. 2019;34(5):817–824. doi: 10.1002/jbmr.3664
32. Nagai K, Yamada M, Uemura K, et al. Effects of fear of falling on muscular coactivation during walking. *Aging Clin Exp Res*. 2012;24(2):157–161. doi: 10.3275/7716

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

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

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

Иосько Наталья Валерьевна;
ORCID: 0009-0002-3234-1363;
e-mail: ionava1979@yandex.ru

Игнатъева Мария Олеговна;
ORCID: 0000-0002-1175-5244;
e-mail: mialk8@list.ru

Бормоткина Наталья Александровна;
ORCID: 0000-0002-5156-0134;
e-mail: natuseneka@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Yuriy P. Zverev**, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;
address: 23 Gagarin avenue, 603600 Nizhni Novgorod, Russia;
ORCID: 0000-0003-4477-748X;
eLibrary SPIN: 1793-4555;
e-mail: yzverev@yahoo.com

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

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

Natalya V. Iosko;
ORCID: 0009-0002-3234-1363;
e-mail: ionava1979@yandex.ru

Maria O. Ignatieva;
ORCID: 0000-0002-1175-5244;
e-mail: mialk8@list.ru

Natalia A. Bormotkina;
ORCID: 0000-0002-5156-0134;
e-mail: natuseneka@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author