

DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624023>

# Ортезирование голеностопного сустава у пациентов, перенёсших мозговой инсульт: целесообразность и эффективность

М.А. Вилков, А.Н. Белова, Н.Ю. Литвинова, Р.Д. Ананьев

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

## АННОТАЦИЯ

В обзоре проанализирована информация относительно особенностей ортезирования голеностопного сустава у пациентов, перенёсших мозговой инсульт. Кратко рассматриваются методы исследования ходьбы, используемые для оценки изменений ходьбы у пациентов после мозгового инсульта. Описаны три наиболее распространённых паттерна нарушения ходьбы после инсульта — ригидная походка (stiff-knee gait), «отвисающая стопа» и походка с переразгибанием коленного сустава.

Представлены сведения об основных функциональных типах ортезов голеностопного сустава — статическом и динамическом, рассматриваются их сильные и слабые стороны. Описаны изменения временно-пространственных и кинематических параметров ходьбы у пациентов, перенёсших мозговой инсульт, при использовании ортезов. Дана оценка изменений параметров ходьбы при использовании ортезов голеностопного сустава в зависимости от исходного паттерна нарушения походки. Описано влияние ортезирования на углы сгибания в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах в различные периоды цикла шага, а также влияние на скорость, ритмичность и длину шага. Приведены данные о влиянии ортезирования голеностопного сустава на способность пациента сохранять баланс. Продемонстрировано неоднозначное влияние ортезирования на биомеханику походки и функцию баланса у пациентов, перенёсших инсульт. Приведена информация, позволяющая поставить вопрос об оптимальных сроках применения ортезов голеностопного сустава у пациентов в восстановительном периоде инсульта, рассматриваются возможные причины таких неоднозначных результатов. Показана необходимость дальнейшего исследования эффективности использования ортезов голеностопного сустава при различных паттернах нарушения ходьбы у пациентов в постинсультном периоде.

**Ключевые слова:** ортезы; голеностопный сустав; мозговой инсульт; ходьба; биомеханика.

## Как цитировать:

Вилков М.А., Белова А.Н., Литвинова Н.Ю., Ананьев Р.Д. Ортезирование голеностопного сустава у пациентов, перенёсших мозговой инсульт: целесообразность и эффективность // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2024. Т. 6, № 1. С. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab624023>

DOI: <https://doi.org/10.366425/rehab624023>

# Ankle-foot orthosis in stroke survivors: status of the issue

Maxim A. Vilkov, Anna N. Belova, Natalia Y. Litvinova, Roman D. Ananyev

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

## ABSTRACT

This paper presents an analysis of information regarding the peculiarity of ankle joint orthosis in cerebral stroke survivors. Gait research methods used to assess gait changes in patients who had suffered a cerebral stroke were briefly reviewed. The three most common patterns of gait impairment after a stroke, namely, stiff-knee gait, “dropped foot,” and gait with knee joint hyperextension, were described. A brief review of the main functional types of ankle joint orthoses, namely, static and dynamic, considering their strengths and weaknesses, was presented. Changes in temporal, spatial, and kinematic parameters of gait in cerebral stroke survivors using orthoses were reported. Changes in gait parameters when using ankle joint orthoses depending on the initial pattern of gait disturbance were assessed. The effect of orthotics on the angles of flexion in the ankle, knee, and hip joints at various gait phases as well as their effect on the speed, rhythm, and length of the step were described. Data on the effect of ankle orthosis on patient’s ability to maintain balance were also presented. The effects of orthosis on gait biomechanics and balance function in stroke survivors are debatable. Thus, our findings in this study allow us to raise the question regarding the optimal timing of the use of ankle joint orthoses during the recovery period of a stroke. Possible reasons for these ambiguous results were considered. The necessity for further research into the effectiveness of ankle-foot orthoses regarding various pathological gait patterns in stroke survivors is justified.

**Keywords:** orthosis; ankle joint; stroke; gait; biomechanics.

## To cite this article:

Vilkov MA, Belova AN, Litvinova NYu, Ananyev RD. Ankle-foot orthosis in stroke survivors: status of the issue. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2024;6(1):39–48. DOI: <https://doi.org/10.366425/rehab624023>

Submitted: 29.11.2023

Accepted: 30.01.2024

Published online: 13.03.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Инсульт — одна из основных причин инвалидизации взрослого населения как в нашей стране, так и во всём мире [1], при этом более чем в половине случаев у пациентов, переживших инсульт, имеются нарушения походки [2]. Мышечная слабость, спастичность, координаторные расстройства, сенсорная дисфункция вкуче с нарушенными механизмами моторного контроля и адаптации приводят к значимому снижению скорости походки, нарушению пострального контроля и увеличению риска падений [3–5]. В свою очередь показано, что пациенты со сниженной скоростью и качеством походки имеют более низкий балл при оценке качества жизни [6].

Физиологически правильная походка требует сохранности рессорной, балансирующей, опорной и толчковой функции стопы, биомеханика которой в значительной степени зависит от функции голеностопного сустава [7]. Именно поэтому коррекция кинематики голеностопного сустава, в том числе путём ортезирования, является одним из важных и перспективных направлений реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление правильного двигательного стереотипа ходьбы [8–11].

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ БИОМЕХАНИКИ ХОДЬБЫ У ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЁСШИХ ИНСУЛЬТ

### Методы исследования ходьбы

Для анализа походки у пациентов после инсульта можно использовать два подхода — инструментальные (биомеханические) исследования и функциональные тесты, не требующие применения сложной диагностической аппаратуры.

Биомеханическое исследование предполагает прямую оценку пространственных, временных и кинематических характеристик ходьбы, в том числе с использованием технологий компьютерного зрения [12]. К основным кинематическим параметрам, которые оцениваются при исследовании ходьбы у лиц, перенёсших инсульт, относятся углы сгибания/разгибания в коленном и голеностопном суставах в фазе контакта и переноса. К основным пространственно-временным характеристикам относятся длина и ритмичность шага, скорость ходьбы [13].

Биомеханический метод имеет ограничения, связанные с возможными трудностями его рутинного применения в клинической практике ввиду кадрового дефицита и дороговизны современного высокотехнологического оборудования, поэтому помимо методов

прямой инструментальной оценки биомеханики ходьбы используются также функциональные тесты, легко выполнимые в клинических условиях и позволяющие измерять способность обследуемого к передвижению и сохранению баланса. Такие тесты не могут заменить биомеханического исследования, так как являются менее точными и надёжными. В то же время функциональные тесты представляют собой инструмент быстрой и доступной оценки ходьбы в клинических условиях. Для исследования эффективности реабилитационных мероприятий у пациентов, перенёсших инсульт, рекомендуют использовать тесты пятиметровой и десятиметровой ходьбы (оценка скорости ходьбы) и шкалу баланса Берга (оценка равновесия) [14]. Для оценки влияния ортезирования голеностопного сустава на динамическое равновесие и скорость ходьбы у пациентов, переживших инсульт, применяют тест «Встань и иди» (Timed Up and Go Test, TUG) [2].

### Изменение биомеханики ходьбы после инсульта

У пациентов, перенёсших инсульт, отмечается уменьшение продолжительности фазы опоры, удлинение фазы переноса паретичной ноги; возникает избыточное перераспределение нагрузки на здоровую конечность; наблюдаются снижение скорости, укорочение длины шага, нарушение пострального контроля [15, 16].

В литературе описаны три основных паттерна нарушения походки у пациентов, перенёсших инсульт: ригидная походка (stiff-knee gait) [17], так называемая отвисяющая стопа [18] и походка с переразгибанием коленного сустава [19]. Все перечисленные паттерны нарушения походки имеют свои характерные биомеханические особенности.

Наиболее известный тип нарушения походки у лиц после инсульта — это ригидная походка, которая характеризуется отсутствием сгибания паретичной ноги в коленном суставе в фазу переноса [20, 21]. В результате этого пациент «косит» ногой, осуществляя перенос ноги не за счёт выноса бедра вперёд и вверх, а за счёт движения бедра в сторону, по кругу. Вероятной биомеханической основой такого паттерна движений являются относительное удлинение конечности вследствие повышенной активности мышц подошвенных сгибателей стопы и четырёхглавой мышцы бедра в фазу одиночной опоры и в первые мгновения фазы переноса, а также дефицита мышечной силы мышц-сгибателей голени [20, 21].

Паттерн foot drop, или «отвисающая стопа», наблюдается в 20–30% случаев, характеризуется снижением мышечной силы тыльных сгибателей стопы и спастичностью подошвенных сгибателей [22, 23]. Произвольное тыльное сгибание ограничено, вследствие чего стопа находится в вынужденном положении подошвенного

сгибания, в том числе во время ходьбы, что приводит к «волочению» стопы по полу в период переноса (foot dragging) и компенсаторному изменению походки по типу «петушиной» (steppage gait) — с высоким подниманием колена, увеличением углов сгибания в коленном и тазобедренном суставах, удлинением шага и шлёпающим движением в фазу контакта с опорой вместо нормального контакта пяткой [24]. Такая патологическая походка у пациентов, переживших инсульт, приводит к снижению скорости ходьбы и шарканью стопы по поверхности в период переноса, что в свою очередь увеличивает риск падений и снижает способность пациентов к передвижению и самообслуживанию [8–11].

Третий паттерн — походка с переразгибанием парализованной ноги в коленном суставе — характеризуется снижением мышечной силы подошвенных сгибателей стопы наряду с их ранней активацией и слабостью мышц-разгибателей коленного сустава, что приводит к нарушению подкосоустойчивости в коленном суставе и его переразгибанию в период одиночной опоры [16, 20, 25]. Важно отметить, что переразгибание коленного сустава во время ходьбы в значительной степени является ятрогенным. Стереотип с переразгибанием формируется в начальном периоде заболевания, когда четырёхглавая мышца бедра ещё не готова воспринимать нагрузку, и нога теряет подкосоустойчивость в коленном суставе. Для восстановления устойчивости пациент в фазу одиночной опоры наклоняет корпус вперед, «замыкая» коленный сустав весом тела, при этом центр тяжести проходит впереди центра вращения коленного сустава. Если на данном этапе не корректировать походку, то такой паттерн закрепляется и продолжает использоваться пациентом даже тогда, когда коленный сустав приобретает нужную стабильность. У пациентов, перенёсших инсульт, переразгибание в коленном суставе может достигать 20 и более градусов [19].

Таким образом, с позиций биомеханики, нарушения походки у пациентов, переживших инсульт, могут значительно различаться как в зависимости от периода инсульта, так и индивидуальных параметров нарушения походки.

## Типы ортезов голеностопного сустава

Ортезы голеностопного сустава представляют собой внешнее носимое устройство, которое надевается на нижнюю конечность в области голеностопного сустава и модулирует его работу. Это традиционный метод коррекции походки за счёт иммобилизации стопы в нейтральном положении (статические ортезы) либо осуществления пассивного тыльного сгибания стопы (динамические ортезы) [26].

Статические ортезы голеностопного сустава неподвижно фиксируют стопу в нейтральном положении, предотвращая избыточное тыльное и/или подошвенное

сгибание, и способны отчасти решить проблему «волочения» ноги по поверхности в период переноса при «свисающей стопе» либо проблему избыточной активности подошвенных сгибателей в конце периода одиночной опоры при ригидной походке (stiff-knee gait) [27]. К преимуществам статических ортезов относят их универсальность, простоту и невысокую стоимость. Однако у такого типа ортезов имеются и существенные недостатки: ограничивая избыточное движение стопы в сторону подошвенного либо тыльного сгибания, фиксирующее устройство одновременно ограничивает и физиологическое движение в противоположную сторону. Так, например, при «свисающей стопе» статические ортезы, фиксируя стопу в нейтральном положении, решают проблему избыточной амплитуды подошвенного сгибания стопы, однако при этом нарушается поструральная устойчивость, поскольку подошвенное сгибание стопы реализует физиологическую функцию мышц задней группы мышц голени [27]. Кроме того, ограничение подошвенного сгибания в голеностопном суставе делает невозможным физиологический перекач через пятку, за счёт которого осуществляется трансформация энергии удара стопы об опору в поступательное движение корпуса [28]. Кроме того, ношение статического ортеза не сопровождается улучшением мышечной активности [29], и долгосрочная эффективность ортезирования с использованием статических ортезов является неоднозначной [30].

Динамические ортезы голеностопного сустава имеют в своей конструкции элементы, которые позволяют одновременно как сохранить подвижность в голеностопном суставе, так и обеспечить коррекцию положения стопы в ходе всего цикла шага за счёт пассивных движений в голеностопном суставе. Динамическая стабилизация сустава происходит за счёт направленного использования накапливаемой энергии (силы реакции опоры и/или силы сохранных мышц) [30]. Такие ортезы позволяют достичь более физиологичного паттерна движений в голеностопном суставе, поскольку не фиксируют стопу и сохраняют подвижность голеностопного сустава. Однако использование динамических ортезов ограничено исходным уровнем мышечного тонуса мышц голени и подвижностью в голеностопном суставе. Так, при высоком уровне спастичности в подошвенных сгибателях стопы либо при ограничении подвижности в голеностопном суставе, не позволяющем пассивно привести стопу в нейтральное положение, применение динамических ортезов невозможно [30]. Кроме того, динамические ортезы отличаются высокой стоимостью.

## Эффективность применения статических и динамических ортезов голеностопного сустава у лиц, перенёсших инсульт

На текущий момент в литературе вопрос эффективности ортезирования голеностопного сустава у лиц,

перенёсших инсульт, рассматривается в основном с позиции общего анализа эффекта ортезирования вне зависимости от типа ортеза и исходного характера нарушения походки [2, 13], и лишь в единичных работах проводится прямой сравнительный анализ влияния статических и динамических ортезов на биомеханику и функцию ходьбы [31–33].

Современные исследования демонстрируют, что ортезирование голеностопного сустава во многих случаях способно оказывать значительный положительный эффект на временные и пространственные параметры походки постинсультных больных. Однако важно отметить, что нам не удалось найти ни одной работы, в которой проводился бы анализ эффективности конкретного типа ортеза при конкретном паттерне нарушения ходьбы у пациентов, перенёсших инсульт. Исключение составляет небольшое количество исследований, посвящённых ортезированию «отвисающей стопы», в которых приведено сравнение эффективности статических и динамических ортезов, причём зачастую без привязки конкретно к инсульту. Во всех метаанализах и большинстве исследований оценка эффективности проводится в целом для всех пациентов, переживших инсульт, вне зависимости от паттерна нарушения походки и типа применяемого ортеза. Так, согласно данным недавно опубликованного системного обзора и метаанализа [2], ортезирование голеностопного сустава сопровождается увеличением скорости ходьбы, увеличением частоты и ритмичности шагов. В то же время влияние ортезов на баланс у пациентов с центральным постинсультным парезом нижней конечности оказалось неоднозначным. Так, некоторые авторы отмечают снижение латеральных колебаний тела во время ходьбы при использовании ортезов [34–36]. В то же время описаны и противоположные результаты. М. Nevisipour и С. F. Honeycutt [37] исследовали компенсаторную реакцию на потерю равновесия при преодолении препятствия у пациентов после инсульта и обнаружили, что ортезирование голеностопного сустава снижало способность восстанавливать равновесие в тех ситуациях, когда человек уже потерял равновесие, в то же время в состоянии покоя устойчивость вертикальной позы при ношении ортеза увеличивалась. В ходе данного исследования использовались статические ортезы, и сами авторы в качестве возможной причины увеличения риска падений в ситуации первично нарушенного баланса называют ограничение тыльного сгибания стопы [37]. Важно отметить проблемность сравнения результатов упомянутого выше метаанализа [2] и результатов, полученных М. Nevisipour и С. F. Honeycutt [37], поскольку последние касаются использования конкретного вида статического ортеза, в то время как выводы метаанализа сделаны на основании обобщения результатов применения

ортезов различных типов без привязки к паттерну нарушения походки.

Неоднозначным также представляется вопрос о сроках назначения ортезов голеностопного сустава. Так, С. D. Nikamp и соавт. [38] обнаружили, что в течение первых 8 недель после инсульта риск падений у пациентов, использовавших ортезы голеностопного сустава с первой недели заболевания, был в 2,75 раза выше, чем у тех, у которых имелась клиническая потребность в ортезах голеностопного сустава, но они ими не пользовались до истечения 8 недель после инсульта. В то же время сравнительный анализ раннего или отложенного применения ортезов голеностопного сустава показал, что более раннее применение ортезов у пациентов в острой и подострой фазах инсульта обеспечивало улучшение равновесия, проявлявшееся увеличением баллов по шкале баланса Берга [39]. Важно отметить, что все упомянутые исследования проводились на малых выборках пациентов и без их разделения по исходным паттернам нарушения походки, что могло быть одной из причин неоднозначных результатов.

Влияние всех типов ортезов голеностопного сустава на кинематику нижней конечности заключается в следующем. Применение ортеза на голеностопный сустав увеличивает угол тыльного сгибания стопы в период переноса, в фазу контакта и фазу одиночной опоры [2, 13, 40], на коленный сустав — увеличивает максимальный угол сгибания в коленном суставе в фазу контакта, а также улучшает способность коленного сустава реагировать на нагрузку, возникающую в момент переноса веса со здоровой ноги на паретичную во время ходьбы за счёт увеличения пикового угла сгибания коленного сустава в соответствующую фазу шага. Увеличиваются также максимальный угол разгибания коленного сустава в фазу односторонней опоры и максимальный угол сгибания в конце этой же фазы, в момент отрыва носка от поверхности [2, 13, 41]. Что касается тазобедренного сустава, то результаты метаанализов не демонстрируют достоверного тренда с влиянием ортезов на его кинематику в ту или иную сторону [2, 13], однако в отдельных работах, посвящённых коррекции конкретного паттерна — «отвисающей стопы», показано уменьшение угла сгибания в тазобедренном суставе при ношении ортеза голеностопного сустава [42].

Важно отметить, что в опубликованных работах изменение кинематики постинсультной походки при использовании ортеза голеностопного сустава не дифференцируется в зависимости от исходного паттерна её нарушений. Если в случае анализа пространственных и временных параметров ходьбы отсутствие такого разделения не представляет существенной проблемы (поскольку очевидно, какое изменение можно считать позитивным, а какое — негативным), то при оценке

углов в тех или иных суставах одно и то же изменение при разных типах нарушения походки может иметь как позитивный, так и негативный эффект. Так, в мета-анализах под руководством Y. Choo [2] и S. Tyson [13], увеличение угла сгибания в коленном суставе в период переноса при использовании ортеза голеностопного сустава оценивается как «значимый положительный эффект». Однако в случае паттерна «свисающая стопа» увеличение угла сгибания в коленном суставе — одного из элементов патологической «петушиной походки» (steppage gait) — нельзя считать благоприятным. Кроме того, в работах, посвящённых коррекции «свисающей стопы», показано снижение угла сгибания в коленном суставе как в фазу начала периода опоры, так и в периоде переноса при использовании любого типа ортеза голеностопного сустава [42].

### Сравнение результатов применения статических и динамических ортезов голеностопного сустава

Нам удалось найти лишь три исследования, в которых проводилось прямое («лоб в лоб») сравнение статических и динамических ортезов у пациентов, перенёвших мозговую инсульт. С. Bleyenheuft и соавт. [33] при сравнении статических и динамических ортезов обнаружили значимые различия угла тыльного сгибания стопы в фазу контакта и в период односторонней опоры: оба ортеза приводили к увеличению угла тыльного сгибания стопы, однако в случае применения динамического ортеза этот угол увеличивался в большей степени. Авторами не выявлено значимых отличий кинематики коленного сустава при использовании двух типов ортезов голеностопного сустава. Они наблюдали увеличение скорости ходьбы по результатам десятиминутного теста при использовании обоих типов ортезов голеностопного сустава, однако применение динамического ортеза позволяло достичь большей скорости ходьбы [33].

M.De Sèze и соавт. [31] обнаружили лучшую коррекцию патологической походки по типу «свисающей стопы» при использовании динамического ортеза на 30-й и 90-й дни его использования. Исследование Н. Gök и соавт. [32] продемонстрировало больший угол тыльного сгибания в голеностопном суставе паретичной ноги в фазу контакта с опорой и в период переноса при использовании динамического ортеза голеностопного сустава в сравнении со статическим.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование ортезов голеностопного сустава у пациентов, перенёвших инсульт, приводит к значимым улучшениям пространственно-временных характеристик ходьбы. Применение ортезов позволяет

добиться увеличения скорости, скорректировать некоторые патологические паттерны, такие как «степ-паж» или ригидная походка, но оказывает неоднозначное влияние на сохранение равновесия во время ходьбы. Отсутствие однозначных выводов о влиянии ортеза голеностопного сустава на баланс и кинематику походки может быть объяснено тем, что эффективность применения ортезов обычно оценивается без учёта исходного паттерна нарушения походки, в то же время однонаправленное изменение кинематики в одном и том же суставе может иметь как позитивный, так и негативный эффект в зависимости от паттерна нарушений.

Проблематика персонализированного подбора ортеза голеностопного сустава с учётом давности инсульта и характера нарушений ходьбы на данный момент в литературе раскрыта недостаточно. Необходимы дальнейшие исследования с целью создания практического руководства по ортезированию голеностопного сустава у пациентов, перенёвших мозговую инсульт, в котором бы учитывались биомеханические параметры походки и долговременный эффект использования ортезов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

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

**Вклад авторов.** М.А. Вилков, Р.Д. Ананьев — поисково-аналитическая работа, написание статьи; А.Н. Белова, Н.Ю. Литвинова — поисково-аналитическая работа, написание статьи, редакция, одобрение направления рукописи на публикацию. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (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' contributions.** M.A. Vilkov, R.D. Ananyev — search and analysis work, article writing; A.N. Belova, N.Y. Litvinova — search and analysis work, article writing, editing, approval of manuscript submission 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

1. Клинические рекомендации. Ишемический инсульт и транзиторная ишемическая атака у взрослых — 2021–2022–2023 (01.09.2021). Утверждены Минздравом РФ. Режим доступа: [http://disuria.ru/\\_ld/11/1106\\_kr21G45G46l63MZ.pdf?ysclid=ls6cu6bzt994500318](http://disuria.ru/_ld/11/1106_kr21G45G46l63MZ.pdf?ysclid=ls6cu6bzt994500318). Дата обращения: 15.01.2024.
2. Choo Y.J., Chang M.C. Effectiveness of an ankle-foot orthosis on walking in patients with stroke: A systematic review and meta-analysis // *Sci Rep*. 2021. N 11. P. 15879. doi: 10.1038/s41598-021-95449-x
3. Belda-Lois J.M., Mena-del Horno S., Bermejo-Bosch I., et al. Rehabilitation of gait after stroke: A review towards a top-down approach // *J Neuroeng. Rehabil*. 2011. N 8. P. 66. EDN: ITITRN doi: 10.1186/1743-0003-8-66
4. Taylor-Piliae R.E., Hoke T.M., Hepworth J.T., et al. Effect of tai chi on physical function, fall rates and quality of life among older stroke survivors // *Arch Phys Med Rehabil*. 2014. Vol. 95, N 5. P. 816–824. doi: 10.1016/j.apmr.2014.01.001
5. Хатькова С.Е., Костенко Е.В., Акулов М.А., и др. Современные аспекты патофизиологии нарушений ходьбы у пациентов после инсульта и особенности их реабилитации // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019. Т. 119, № 12–2. С. 43–50. EDN: UDKGIK doi: 10.17116/jnevro201911912243
6. Gambaro E., Gramaglia C., Azzolina D., et al. The complex associations between late life depression, fear of falling and risk of falls. A systematic review and meta-analysis // *Ageing Res Rev*. 2022. N 73. P. 101532. EDN: WHVAXK doi: 10.1016/j.arr.2021.101532
7. Brockett C.L., Chapman G.J. Biomechanics of the ankle // *Orthop Trauma*. 2016. Vol. 30, N 3. P. 232–238. doi: 10.1016/j.mporth.2016.04.015
8. Lin P.Y., Yang Y.R., Cheng S.J., Wang R.Y. The relation between ankle impairments and gait velocity and symmetry in people with stroke // *Arch Phys Med Rehabil*. 2006. Vol. 87, N 4. P. 562–568. doi: 10.1016/j.apmr.2005.12.042
9. Brandstater M.E., de Bruin H., Gowland C., Clark B.M. Hemiplegic gait: Analysis of temporal variables // *Arch Phys Med Rehabil*. 1983. Vol. 64, N 12. P. 583–587.
10. Yang Y.R., Mi P.L., Huang S.F., et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation on gait performance in chronic stroke with inadequate ankle control: A randomized controlled trial // *PLoS One*. 2018. Vol. 13, N 12. P. e0208609. doi: 10.1371/journal.pone.0208609
11. Patterson K.K., Gage W.H., Brooks D., et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: A comparison of current methods and recommendations for standardization // *Gait Posture*. 2010. Vol. 31, N 2. P. 241–246. EDN: NYMQAJ doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.10.014
12. Шейко Г.Е., Белова А.Н., Рукина Н.Н., Короткова Н.Л. Возможности применения биомеханических систем захвата движений человека в медицинской реабилитации (обзор) // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2022. Т. 4, № 3. С. 181–196. EDN: IKQJNH doi: 10.36425/rehab109488
13. Tyson S.F., Sadeghi-Demneh E., Nester C.J. A systematic review and meta-analysis of the effect of an ankle-foot orthosis on gait biomechanics after stroke // *Clin Rehabil*. 2013. Vol. 27, N 10. P. 879–891. doi: 10.1177/0269215513486497
14. Moore J.L., Potter K., Blankshain K., et al. A core set of outcome measures for adults with neurologic conditions undergoing rehabilitation: A clinical practice guideline // *J Neurol Phys Ther*. 2018. Vol. 42, N 3. P. 174–220. doi: 10.1097/NPT.0000000000000229
15. Lewek M.D., Bradley C.E., Wutzke C.J., Zinder S.M. The relationship between spatiotemporal gait asymmetry and balance in individuals with chronic stroke // *J Appl Biomech*. 2014. Vol. 30, N 1. P. 31–36. doi: 10.1123/jab.2012-0208
16. Beyaert C., Vasa R., Frykberg G.E. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies // *Neurophysiol Clin*. 2015. Vol. 45, N 4–5. P. 335–355. EDN: UMYUZJ doi: 10.1016/j.neucli.2015.09.005
17. Campanini I., Merlo A., Damiano B. A method to differentiate the causes of stiff-knee gait in stroke patients // *Gait Posture*. 2013. Vol. 38, N 2. P. 165–169. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.05.003
18. Chisholm A.E., Perry S.D., McIlroy W.E. Correlations between ankle-foot impairments and dropped foot gait deviations among stroke survivors // *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2013. Vol. 28, N 9–10. P. 1049–1054. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2013.09.007
19. Cooper A., Alghamdi G.A., Alghamdi M.A., et al. The relationship of lower limb muscle strength and knee joint hyperextension during the stance phase of gait in hemiparetic stroke patients // *Physiother Res Int*. 2012. Vol. 17, N 3. P. 150–156. doi: 10.1002/pri.528
20. Balaban B., Tok F. Gait disturbances in patients with stroke // *PM R*. 2014. Vol. 6, N 7. P. 635–642. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.12.017
21. Akbas T., Kim K., Doyle K., et al. Rectus femoris hyperreflexia contributes to Stiff-Knee gait after stroke // *J Neuroeng Rehabil*. 2020. Vol. 17, N 1. P. 117. EDN: HBZUJ doi: 10.1186/s12984-020-00724-z
22. Jørgensen H.S., Nakayama H., Raaschou H.O., Olsen T.S. Recovery of walking function in stroke patients: The copenhagen stroke study // *Arch Phys Med Rehabil*. 1995. Vol. 76, N 1. P. 27–32. EDN: XYUEF doi: 10.1016/s0003-9993(95)80038-7
23. Кауркин С.Н., Скворцов Д.В., Лобуныко Д.А., и др. Функциональная электрическая стимуляция при синдроме падающей стопы у больных с церебральным инсультом // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2023. Т. 5, № 3. С. 200–214. EDN: NQJZRY doi: 10.36425/rehab568673
24. Karunakaran K.K., Pilkar R., Ehrenberg N., et al. Kinematic and functional gait changes after the utilization of a foot drop stimulator in pediatrics // *Front Neurosci*. 2019. N 13. P. 732. doi: 10.3389/fnins.2019.00732
25. Kim C.M., Eng J.J. Magnitude and pattern of 3D kinematic and kinetic gait profiles in persons with stroke: Relationship to walking speed // *Gait Posture*. 2004. Vol. 20, N 2. P. 140–146. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.07.002
26. Choo Y.J., Chang M.C. Commonly used types and recent development of ankle-foot orthosis: A narrative review // *Healthcare (Basel)*. 2021. Vol. 9, N 8. P. 1046. doi: 10.3390/healthcare9081046
27. Yoshizawa T., Yoshida S. Correlation between ankle plantar flexion strength and degree of body sway // *J Phys Ther Sci*. 2022. Vol. 34, N 1. P. 40–43. EDN: ZLKXWK doi: 10.1589/jpts.34.40
28. Клинический анализ движений. Анализ походки. Иваново: Стимул, 1996. 344 с.
29. Nikamp C., Buurke J., Schaake L., et al. Effect of long-term use of ankle-foot orthoses on tibialis anterior muscle electromyography

- in patients with sub-acute stroke: A randomized controlled trial // *J Rehabil Med*. 2019. Vol. 51, N 1. P. 11-17. doi: 10.2340/16501977-2498
- 30.** Mulroy S.J., Eberly V.J., Gronely J.K., et al. Effect of AFO design on walking after stroke: impact of ankle plantar flexion contracture // *Prosthet Orthot Int*. 2010. Vol. 34, N 3. P. 277-292. doi: 10.3109/03093646.2010.501512
- 31.** De Sèze M.P., Bonhomme C., Daviet J.C., et al. Effect of early compensation of distal motor deficiency by the Chignon ankle-foot orthosis on gait in hemiplegic patients: A randomized pilot study // *Clin Rehabil*. 2011. Vol. 25, N 11. P. 989-998. doi: 10.1177/0269215511410730
- 32.** Gök H., Küçükdeveci A., Altinkaynak H., et al. Effects of ankle-foot orthoses on hemiparetic gait // *Clin Rehabil*. 2003. Vol. 17, N 2. P. 137-139. doi: 10.1191/0269215503cr605oa
- 33.** Bleyenheuft C., Caty G., Lejeune T., Detrembleur C. Assessment of the chignon dynamic ankle-foot orthosis using instrumented gait analysis in hemiparetic adults // *Ann Readapt Med Phys*. 2008. Vol. 51, N 3. P. 154-160. doi: 10.1016/j.annrmp.2007.12.005
- 34.** Chen C.L., Yeung K.T., Wang C.H., et al. Anterior ankle-foot orthosis effects on postural stability in hemiplegic patients // *Arch Phys Med Rehabil*. 1999. Vol. 80, N 12. P. 1587-1592. doi: 10.1016/s0003-9993(99)90335-0
- 35.** Pohl M., Mehrholz J. Immediate effects of an individually designed functional ankle-foot orthosis on stance and gait in hemiparetic patients // *Clin Rehabil*. 2006. Vol. 20, N 4. P. 324-330. doi: 10.1191/0269215506cr951oa
- 36.** Wang R.Y., Yen L., Lee C.C., et al. Effects of an ankle-foot orthosis on balance performance in patients with hemiparesis of different durations // *Clin Rehabil*. 2005. Vol. 19, N 1. P. 37-44. doi: 10.1191/0269215505cr797oa
- 37.** Nevisipour M., Honeycutt C.F. The impact of ankle-foot-orthosis (AFO) use on the compensatory stepping response required to avoid a fall during trip-like perturbations in young adults: Implications for AFO prescription and design // *J Biomech*. 2020. N 103. P. 109703. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109703
- 38.** Nikamp C.D., Buurke J.H., van der Palen J., et al. Early or delayed provision of an ankle-foot orthosis in patients with acute and subacute stroke: A randomized controlled trial // *Clin Rehabil*. 2017. Vol. 31, N 6. P. 798-808. doi: 10.1177/0269215516658337
- 39.** Corien D.M., Marte S.H., van der Palen J., et al. The effect of ankle-foot orthoses on fall/near fall incidence in patients with (sub-)acute stroke: A randomized controlled trial // *PLoS One*. 2019. Vol. 14, N 3. P. e0213538. doi: 10.1371/journal.pone.0213538
- 40.** Daryabor A., Arazpour M., Aminian G. Effect of different designs of ankle-foot orthoses on gait in patients with stroke: A systematic review // *Gait Posture*. 2018. N 62. P. 268-279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.03.026
- 41.** Farmani F., Mohseni-Bandpei M.A., Bahramizadeh M., et al. The influence of rocker bar ankle foot orthosis on gait in patients with chronic hemiplegia // *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2016. Vol. 25, N 8. P. 2078-2082. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2016.02.021
- 42.** Bregman D.J., De Groot V., Van Diggele P., et al. Polypropylene ankle foot orthoses to overcome drop-foot gait in central neurological patients: A mechanical and functional evaluation // *Prosthet Orthot Int*. 2010. Vol. 34, N 3. P. 293-304. doi: 10.3109/03093646.2010.495969

## REFERENCES

- 1.** Clinical guidelines. *Ischaemic stroke and transient ischaemic attack in adults — 2021-2022-2023 (01.09.2021)*. Approved by the Ministry of Health of the Russian Federation. (In Russ). Available from: [http://disuria.ru/\\_ld/11/1106\\_kr21G45G46l63MZ.pdf?ysclid=ls6cu6bzt994500318](http://disuria.ru/_ld/11/1106_kr21G45G46l63MZ.pdf?ysclid=ls6cu6bzt994500318). Accessed: 15.01.2024.
- 2.** Choo YJ, Chang MC. Effectiveness of an ankle-foot orthosis on walking in patients with stroke: A systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2021;11:15879. doi: 10.1038/s41598-021-95449-x
- 3.** Belda-Lois JM, Mena-del Horno S, Bermejo-Bosch I, et al. Rehabilitation of gait after stroke: A review towards a top-down approach. *J Neuroeng Rehabil*. 2011;(8):66. EDN: ITITRN doi: 10.1186/1743-0003-8-66
- 4.** Taylor-Piliae RE, Hoke TM, Hepworth JT, et al. Effect of tai chi on physical function, fall rates and quality of life among older stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(5):816-824. doi: 10.1016/j.apmr.2014.01.001
- 5.** Khatkova SE, Kostenko EV, Akulov MA, et al. Modern aspects of the pathophysiology of walking disorders and their rehabilitation in post-stroke patients. *S.S. Korsakov J Neurol Psychiatry*. 2019; 119(12-2):43-50. EDN: UDKGIK doi: 10.17116/jnevro201911912243
- 6.** Gambaro E, Gramaglia C, Azzolina D, et al. The complex associations between late life depression, fear of falling and risk of falls. A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2022;(73):101532. EDN: WHVAXK doi: 10.1016/j.arr.2021.101532
- 7.** Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma*. 2016;30(3):232-238. doi: 10.1016/j.mporth.2016.04.015
- 8.** Lin PY, Yang YR, Cheng SJ, Wang RY. The relation between ankle impairments and gait velocity and symmetry in people with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(4):562-568. doi: 10.1016/j.apmr.2005.12.042
- 9.** Brandstater ME, de Bruin H, Gowland C, Clark BM. Hemiplegic gait: Analysis of temporal variables. *Arch Phys Med Rehabil*. 1983;64(12):583-587.
- 10.** Yang YR, Mi PL, Huang SF, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation on gait performance in chronic stroke with inadequate ankle control: A randomized controlled trial. *PLoS One*. 2018;13(12):e0208609. doi: 10.1371/journal.pone.0208609
- 11.** Patterson KK, Gage WH, Brooks D, et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: A comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture*. 2010;31(2): 241-246. EDN: NYMQAJ doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.10.014
- 12.** Sheiko GE, Belova AN, Rukina NN, Korotkova NL. Possibilities of using biomechanical human motion capture systems in medical rehabilitation (review). *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2022;4(3):181-196. EDN: IKQJNH doi: 10.36425/rehab109488
- 13.** Tyson SF, Sadeghi-Demneh E, Nester CJ. A systematic review and meta-analysis of the effect of an ankle-foot orthosis on gait

- biomechanics after stroke. *Clin Rehabil.* 2013;27(10):879-891. doi: 10.1177/0269215513486497
14. Moore JL, Potter K, Blankshain K, et al. A core set of outcome measures for adults with neurologic conditions undergoing rehabilitation: A clinical practice guideline. *J Neurol Phys Ther.* 2018;42(3):174-220. doi: 10.1097/NPT.0000000000000229
15. Lewek MD, Bradley CE, Wutzke CJ, Zinder SM. The relationship between spatiotemporal gait asymmetry and balance in individuals with chronic stroke. *J Appl Biomech.* 2014;30(1):31-36. doi: 10.1123/jab.2012-0208
16. Beyaert C, Vasa R, Frykberg GE. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. *Neurophysiol Clin.* 2015;45(4-5):335-355. EDN: UMYUJZ doi: 10.1016/j.neucli.2015.09.005
17. Campanini I, Merlo A, Damiano B. A method to differentiate the causes of stiff-knee gait in stroke patients. *Gait Posture.* 2013;38(2):165-169. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.05.003
18. Chisholm AE, Perry SD, McLroy WE. Correlations between ankle-foot impairments and dropped foot gait deviations among stroke survivors. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2013;28(9-10):1049-1054. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2013.09.007
19. Cooper A, Alghamdi GA, Alghamdi MA, et al. The relationship of lower limb muscle strength and knee joint hyperextension during the stance phase of gait in hemiparetic stroke patients. *Physiother Res Int.* 2012;17(3):150-156. doi: 10.1002/pri.528
20. Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke. *PM R.* 2014;6(7):635-642. doi: 10.1016/j.pmrj.2013.12.017
21. Akbas T, Kim K, Doyle K, et al. Rectus femoris hyperreflexia contributes to Stiff-Knee gait after stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):117. EDN: HBZUJ doi: 10.1186/s12984-020-00724-z
22. Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of walking function in stroke patients: The copenhagen stroke study. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76(1):27-32. EDN: XYOUF doi: 10.1016/s0003-9993(95)80038-7
23. Kaurkin SN, Skvortsov DV, Lobunko DA, et al. Functional electrical stimulation for foot drop syndrome in patients with cerebral stroke. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation.* 2023;5(3):200-214. EDN: NQJZRY doi: 10.36425/rehab568673
24. Karunakaran KK, Pilkar R, Ehrenberg N, et al. Kinematic and functional gait changes after the utilization of a foot drop stimulator in pediatrics. *Front Neurosci.* 2019;(13):732. doi: 10.3389/fnins.2019.00732
25. Kim CM, Eng JJ. Magnitude and pattern of 3D kinematic and kinetic gait profiles in persons with stroke: Relationship to walking speed. *Gait Posture.* 2004;20(2):140-146. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.07.002
26. Choo YJ, Chang MC. Commonly used types and recent development of ankle-foot orthosis: A narrative review. *Healthcare (Basel).* 2021;9(8):1046. doi: 10.3390/healthcare9081046
27. Yoshizawa T, Yoshida S. Correlation between ankle plantar flexion strength and degree of body sway. *J Phys Ther Sci.* 2022;34(1):40-43. EDN: ZLKXWK doi: 10.1589/jpts.34.40
28. *Clinical movement analysis. Analysis of gait.* Ivanovo: Stimul; 1996. 344 p. (In Russ).
29. Nikamp C, Buurke J, Schaake L, et al. Effect of long-term use of ankle-foot orthoses on tibialis anterior muscle electromyography in patients with sub-acute stroke: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2019;51(1):11-17. doi: 10.2340/16501977-2498
30. Mulroy SJ, Eberly VJ, Gronely JK, et al. Effect of AFO design on walking after stroke: Impact of ankle plantar flexion contracture. *Prosthet Orthot Int.* 2010;34(3):277-292. doi: 10.3109/03093646.2010.501512
31. De Sèze MP, Bonhomme C, Daviet JC, et al. Effect of early compensation of distal motor deficiency by the Chignon ankle-foot orthosis on gait in hemiplegic patients: A randomized pilot study. *Clin Rehabil.* 2011;25(11):989-998. doi: 10.1177/0269215511410730
32. Gök H, Küçükdeveci A, Altinkaynak H, et al. Effects of ankle-foot orthoses on hemiparetic gait. *Clin Rehabil.* 2003;17(2):137-139. doi: 10.1191/0269215503cr605oa
33. Bleyenheuft C, Caty G, Lejeune T, Detrembleur C. Assessment of the chignon dynamic ankle-foot orthosis using instrumented gait analysis in hemiparetic adults. *Ann Readapt Med Phys.* 2008;51(3):154-160. doi: 10.1016/j.annrmp.2007.12.005
34. Chen CL, Yeung KT, Wang CH, et al. Anterior ankle-foot orthosis effects on postural stability in hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(12):1587-1592. doi: 10.1016/s0003-9993(99)90335-0
35. Pohl M, Mehrholz J. Immediate effects of an individually designed functional ankle-foot orthosis on stance and gait in hemiparetic patients. *Clin Rehabil.* 2006;20(4):324-330. doi: 10.1191/0269215506cr951oa
36. Wang RY, Yen Lu, Lee CC, et al. Effects of an ankle-foot orthosis on balance performance in patients with hemiparesis of different durations. *Clin Rehabil.* 2005;19(1):37-44. doi: 10.1191/0269215505cr797oa
37. Nevisipour M, Honeycutt CF. The impact of ankle-foot-orthosis (AFO) use on the compensatory stepping response required to avoid a fall during trip-like perturbations in young adults: Implications for AFO prescription and design. *J Biomech.* 2020;(103):109703. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.109703
38. Nikamp CD, Buurke JH, van der Palen J, et al. Early or delayed provision of an ankle-foot orthosis in patients with acute and subacute stroke: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2017;31(6):798-808. doi: 10.1177/0269215516658337
39. Corien DM, Marte SH, van der Palen J, et al. The effect of ankle-foot orthoses on fall/near fall incidence in patients with (sub-)acute stroke: A randomized controlled trial. *PLoS One.* 2019;14(3):e0213538. doi: 10.1371/journal.pone.0213538
40. Daryabor A, Arazpour M, Aminian G. Effect of different designs of ankle-foot orthoses on gait in patients with stroke: A systematic review. *Gait Posture.* 2018;(62):268-279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.03.026
41. Farmani F, Mohseni-Bandpei MA, Bahramizadeh M, et al. The influence of rocker bar ankle foot orthosis on gait in patients with chronic hemiplegia. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2016;25(8):2078-2082. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2016.02.021
42. Bregman DJ, De Groot V, Van Diggele P, et al. Polypropylene ankle foot orthoses to overcome drop-foot gait in central neurological patients: A mechanical and functional evaluation. *Prosthet Orthot Int.* 2010;34(3):293-304. doi: 10.3109/03093646.2010.495969

## ОБ АВТОРАХ

**\* Вилков Максим Александрович;**

адрес: Россия, 603000, Нижний Новгород,  
пл. Минина и Пожарского, д. 10/1;  
ORCID: 0009-0003-9467-0776;  
e-mail: vilkov.med@gmail.com

**Белова Анна Наумовна**, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-9719-6772;  
eLibrary SPIN: 3084-3096;  
e-mail: anbelova@mail.ru

**Литвинова Наталья Юрьевна**,

канд. мед. наук, доцент;  
ORCID: 0000-0002-6978-139X;  
eLibrary SPIN: 8165-2161;  
e-mail: ny7171@mail.ru

**Ананьев Роман Дмитриевич;**

ORCID: 0009-0002-9170-833X;  
eLibrary SPIN: 1136-5907;  
e-mail: Rom97an@yandex.ru

## AUTHORS' INFO

**\* Maxim A. Vilkov;**

address: 10/1 Minin and Pozharskii square,  
603000 Nizhny Novgorod, Russia;  
ORCID: 0009-0003-9467-0776;  
e-mail: vilkov.med@gmail.com

**Anna N. Belova**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0001-9719-6772;  
eLibrary SPIN: 3084-3096;  
e-mail: anbelova@mail.ru

**Natalia Yu. Litvinova**, MD, Cand. Sci. (Medicine),

Associate Professor;  
ORCID: 0000-0002-6978-139X;  
eLibrary SPIN: 8165-2161;  
e-mail: ny7171@mail.ru

**Roman D. Ananyev;**

ORCID: 0009-0002-9170-833X;  
eLibrary SPIN: 1136-5907;  
e-mail: Rom97an@yandex.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author