Роль классических факторов риска остеоартрита коленного сустава при односторонней транстибиальной ампутации

Ольга Ивановна Хохлова*, Елена Михайловна Васильченко,
Аркадий Миронович Берман

Новокузнецкий научно-практический центр медико-социальной экспертизы
и реабилитации инвалидов, г. Новокузнецк, Россия

Реферат

Цель исследования — изучить литературные сведения о классических факторах риска остеоартрита коленного сустава и их возможной роли в развитии данной патологии у пациентов с односторонней транстибиальной ампутацией с позиции потенциальных реабилитационных перспектив. Проведён поиск публикаций по исследуемой проблеме в базах данных PubMed Национального центра биотехнологической информации США, на сайте издательства Elsevier. Общеизвестно, что факторы повышенного риска остеоартрита коленного сустава — пожилой возраст, женский пол, слабость мышц нижних конечностей, низкая или чрезмерная физическая активность, избыточная масса тела, травма коленного сустава или операция в анамнезе, хроническая боль в колене. Перечисленные факторы характерны для популяции инвалидов с односторонней транстибиальной ампутацией, что в сочетании со специфическими механическими факторами делает данный контингент особенно уязвимым в отношении развития и прогрессирования остеоартрита. Программы, направленные на устранение модифицируемых факторов риска развития остеоартрита коленного сустава, могут способствовать сохранению функций коленного сустава в долгосрочной перспективе и улучшению качества жизни инвалидов после односторонней транстибиальной ампутации. Для этого необходима слаженная работа мультидисциплинарной команды, а также участие самих инвалидов. Выявление и управление потенциально изменяемыми классическими факторами риска развития остеоартрита коленного сустава — одно из перспективных направлений реабилитации инвалидов с односторонней транстибиальной ампутацией.

Ключевые слова: остеоартрит коленного сустава, факторы риска, утрата нижней конечности, односторонняя транстибиальная ампутация, реабилитация.

Для цитирования: Хохлова О.И., Васильченко Е.М., Берман А.М. Роль классических факторов риска остеоартрита коленного сустава при односторонней транстибиальной ампутации. *Казанский мед. ж.* 2021; 102 (6): 893–901. DOI: 10.17816/KMJ2021-893.

The role of classical risk factors for knee osteoarthritis in unilateral transtibial amputation

O.I. Khokhlova, E.M. Vasilchenko, A.M. Berman

Novokuznetsk Scientific and Practical Centre for Medical and Social Expertise and Rehabilitation of Disabled Persons, Novokuznetsk, Russia

Abstract

The study aimed to review the literature on the classical risk factors for knee osteoarthritis and their possible role in the development of this pathology in patients with unilateral transtibial amputation in terms of potential rehabilitation prospects. A search of publications was carried out using PubMed databases of the US National Center for Biotechnology Information and the website of the Elsevier publishing house. Well-established increased risk factors for knee osteoarthritis are old age, female gender, lower limb muscle weakness, low or excessive physical activity, overweight, a history of knee joint injury or surgery, chronic knee pain. These factors are common for disabled persons with unilateral transtibial amputation, which, combined with specific mechanical factors, makes these persons more vulnerable to the development and progression of osteoarthritis. Programs aimed at eliminating

modifiable risk factors for the development of knee osteoarthritis can contribute to the preservation of knee joint function in the long term and improve the quality of life of persons with unilateral transtibial amputation. This requires the well-coordinated efforts of a multidisciplinary team, as well as the participation of the disabled persons themselves. Identification and management of the potentially modifiable classical risk factors for the development of knee osteoarthritis are one of the promising pathways of rehabilitation of persons with unilateral transtibial amputation.

Keywords: knee osteoarthritis, risk factors, lower limb loss, unilateral transtibial amputation, rehabilitation.

For citation: Khokhlova O.I., Vasilchenko E.M., Berman A.M. The role of classical risk factors for knee osteoarthritis in unilateral transtibial amputation. *Kazan Medical Journal*. 2021; 102 (6): 893–901. DOI: 10.17816/KMJ2021-893.

Введение. По определению разных авторов, остеоартрит (ОА) — многофакторное состояние суставной недостаточности, характеризующееся потерей суставного хряща, склерозом субхондральной кости и воспалением, ведущим к прогрессирующей деградация суставов, структурным изменениям, потере подвижности и функции, боли и снижению качества жизни [1, 2]. ОА коленного сустава характеризуется медленным прогрессированием, и, к сожалению, рентгенологический диагноз часто ставят только на поздней стадии заболевания [3]. Из-за дегенеративной природы заболевания ОА коленного сустава обычно прогрессирует до стадии, когда операция по замене сустава может быть единственным вариантом для облегчения симптомов и улучшения функций и качества жизни, однако для людей с транстибиальной ампутацией такая операция может быть неприемлемой [4].

По этой причине важно выявлять потенциально изменяемые факторы риска и реализовывать защитные стратегии, которые могут привести к благоприятным долгосрочным результатам. В настоящее время ведущую роль в замедлении прогрессирования ОА отводят изменению образа жизни, физиотерапии, физическим упражнениям и другим методам физической и реабилитационной медицины [5].

В популяции людей с односторонней транстибиальной ампутацией установлена повышенная распространённость ОА и боли в коленном суставе интактной конечности [6, 7], что связывают с нарушениями биомеханики походки и компенсаторным повышением нагрузки на данный сустав [8]. В то же время влиянию других, классических факторов риска развития ОА коленного сустава уделяют недостаточно внимания.

Цель исследования: изучить литературные сведения о классических факторах риска ОА коленного сустава и их возможной роли в развитии данной патологии у людей с односторонней транстибиальной ампутацией с позиции потенциальных реабилитационных перспектив.

Материал и методы исследования. Был проведён поиск публикаций в базах данных PubMed Национального центра биотехнологической информации США, на сайте издательства Elsevier с использованием ключевых слов: knee osteoarthritis, knee pain, risk factors, lower limb amputation, transtibial amputation, below-knee amputation, satisfaction. Анализу подвергали полнотекстовые статьи, соответствующие исследуемой проблеме. При выборе наиболее подходящих публикаций поиск литературы также производили в списках «схожих статей», рекомендованных непосредственно на указанных сайтах.

Результаты и обсуждение. Общепризнанными факторами, способствующими повышенному риску развития ОА коленного сустава в общей популяции, считают избыточный вес, наличие клинических симптомов (прежде всего, боли) без рентгенологического подтверждения ОА, перенесённую травму колена или операцию на колене в анамнезе [9]. Наиболее высокая распространённость болей в коленях и ОА отмечена у людей пожилого возраста и женщин [10]. Немаловажное значение в развитии ОА имеет генетическая предрасположенность, однако в настоящее время генетическую предрасположенность трудно оценить клинически [11].

К факторам риска развития ОА коленного сустава относят также повышенную нагрузку на суставы [12], физическую активность, мышечную слабость [13].

Актуальность перечисленных факторов риска развития ОА для популяции людей с односторонней транстибиальной ампутацией, по-видимому, более значима, чем для других групп населения.

Возраст. Пожилой возраст — хорошо известный фактор риска развития ОА. Считают, что связь между возрастом и риском развития ОА многофакторна. Она может быть обусловлена нарушениями метаболизма с интенсификацией окислительных процессов, изменениями структуры хряща, уменьшением мышечной силы с развитием саркопении, снижением про-

прицепции [14]. Неадекватной реакции на стресс и разрушению суставных тканей способствуют также возрастные изменения клеточных механизмов, поддерживающих гомеостаз [15].

Если рассматривать популяцию людей с ампутированными конечностями в развитых странах, то большинство из них старше 60 лет [16], соответственно данная популяция особенно уязвима в отношении развития и/или прогрессирования ОА коленного сустава, что необходимо учитывать при составлении программ реабилитации и протезирования.

Пол. Высказывают мнение о гендерных различиях патогенеза ОА [17], связанных, по-видимому, со статусом половых гормонов, преимущественно с уровнем эстрогена. Об этом свидетельствуют данные о большей распространённости ОА у женщин [18, 19], об увеличении распространённости ОА среди женщин в постменопаузе [20], а также о наличии рецепторов эстрогена в тканях суставов [21]. В эксперименте на мышах показано, что эстроген играет защитную роль в поддержании гомеостаза суставов, предотвращая повреждение хряща и изменения в субхондральной кости суставов [22]. Согласно данным литературы, гендерные различия по частоте обширных ампутаций нижних конечностей отсутствуют [23]. Однако отмечен более старший возраст пациентов женского пола к моменту ампутации [24]. С этих позиций гендерная зависимость ОА коленных суставов актуальна и для популяции женщин с транстибиальной ампутацией.

Избыточная масса тела. Один из доказанных модифицируемых факторов риска развития ОА коленного сустава — ожирение. По данным L. Murphy и соавт., двое из каждых трёх человек с ожирением имеют ОА [25]. В исследовании Z.-Y. Zhou показана зависимость развития ОА от индекса массы тела [26].

Считают, что ожирение связано как с развитием, так и с прогрессированием ОА коленного сустава [27]. И, напротив, показано, что потеря веса более чем на 5% у людей с факторами риска или рентгенографическими признаками ОА связана с меньшим прогрессированием в течение 96 мес дегенерации хряща коленного сустава, а также с меньшим прогрессированием поражения мениска по сравнению с участниками исследования со стабильным весом [28].

Несмотря на доказанность связи ожирения и развития ОА, идут серьёзные споры о том, как ожирение способствует возникновению и прогрессированию заболевания. В качестве основного механизма связи между ожирением и ОА для суставов, несущих нагрузку, рассма-

тривают сочетание повышенной нагрузки и изменённой биомеханики суставов [29]. При этом из-за анатомических особенностей ожирение в большей степени влияет на индукцию и прогрессирование ОА в коленном суставе, нежели в тазобедренном [30].

По мнению L. Chen и соавт., аномальная нагрузка при ожирении играет центральную роль, в то время как смещение суставов и мышечная слабость находятся в динамическом взаимодействии, влияя друг на друга и усугубляя воздействие аномальной нагрузки на суставы [30]. Гипотрофия мышц у людей с ожирением ограничивает полноценное функционирование суставов, способствуя их смещению. Комбинация этих трёх факторов влияет на структуру суставов, стимулируя возникновение и прогрессирование ОА [30].

Инвалиды с ампутацией нижней конечности в силу малоподвижного образа жизни имеют повышенный риск увеличения массы тела и ожирения. В исследовании A.J. Littman и соавт. только 23% пациентов с ампутацией нижней конечности имели нормальный вес, треть — избыточный вес, 26 и 17% — ожирение I и II степени соответственно [31], что обуславливает повышенный риск развития ОА коленного сустава.

Литературные данные свидетельствуют о важности включения мероприятий по сохранению нормальной массы тела или её снижению (при необходимости) в программу реабилитации инвалидов с транстибиальной ампутацией с целью предупреждения развития и/или прогрессирования ОА коленного сустава после протезирования.

Мышечная слабость. Показано, что у пациентов с ОА обычно развивается нарушение мышечной функции, включая слабость, изменение последовательности, степени и скорости активации вследствие нарушения механизмов нервно-мышечной передачи, а также проприоцептивный дефицит [32]. Более подвержены повреждениям мышцы у пожилых, при этом они медленнее регенерируют и восстанавливаются, чем в молодости, чаще становятся атрофичными и слабыми.

Ранее считали, что мышечная слабость — вторичное явление, обусловленное симптомами, связанными с ОА, которые приводят к снижению уровня активности с последующей гипотрофией мышц и их слабостью. Однако было показано, что мышечная слабость предшествует возникновению ОА коленного сустава [33]. Особенно это характерно для разгибателей и сгибателей колена [34]. Считают, что утрата силы четырёхглавой мышцы может снизить её

амортизирующий потенциал, вызывая большие динамические нагрузки на хрящ коленного сустава и последующую прогрессирующую дегенерацию хряща [32, 35, 36].

Существуют данные, позволяющие предположить, что слабость мышц, обеспечивающих движение тазобедренного сустава, также может способствовать повышенному риску развития ОА коленного сустава [37]. В частности, это касается мышц бедра, которые участвуют в выравнивании фронтальной и горизонтальной плоскостей нижних конечностей [37]. Показано, что укрепление отводящих мышц бедра может привести к значительному уменьшению боли и улучшению функционирования пожилых людей с первичным ОА коленного сустава [38].

Для популяции людей с ампутацией нижней конечности проблема мышечной слабости стоит особенно остро. При отсутствии подошвенных сгибателей разгибатели колена и бедра становятся более важными для обеспечения передвижения. Однако есть данные об изменениях мышц при трансстибиальной ампутации, уменьшении силы разгибателей (четырёхглавой мышцы) и сгибателей коленного сустава [39]. Сниженная сила четырёхглавой мышцы может ухудшить способность протезированной конечности производить адекватное движение [40]. Учитывая преимущественно пожилой возраст инвалидов с ампутацией нижней конечности, проблема мышечной слабости становится особенно актуальной.

С другой стороны, как считают E.R. Esposito и R.H. Miller, снижение силы в сохранившихся мышцах культи может быть причиной увеличения метаболических затрат при ходьбе при односторонней трансстибиальной ампутации [41]. Авторы полагают, что минимизация снижения мышечной силы, особенно в протезированной конечности, должна быть основным направлением реабилитации после трансстибиальной ампутации для поддержания экономичной ходьбы с минимальными отклонениями в походке [41]. L.A. Nolan также подчёркивает необходимость поддержания силы мышц культи и симметрии силы мышц между конечностями [42]. По мнению X. Zhang и соавт., во время реабилитационных тренировок следует уделять особое внимание снижению веса и увеличению мышечной массы, что может иметь важные последствия для уменьшения риска развития ОА коленного сустава в этой популяции [43].

M.M. Lefèvre-Colau и соавт. считают, что стратегии реабилитации для улучшения функционирования мышц в долгосрочной перспективе у пациентов с ОА должны вклю-

чать соответствующие упражнения, а также все компоненты физической активности [44]. Показано, что упражнения для укрепления мышц уменьшают боль и улучшают физическое функционирование и качество жизни людей с ОА коленного сустава; однако эти преимущества обычно не сохраняются после того, как пациент прекращает тренировки [45]. Это свидетельствует о необходимости информирования инвалидов о важности регулярных физических упражнений и обучения самостоятельному их выполнению в домашних условиях.

Уровень физической активности. Данные о влиянии физической активности на развитие и прогрессирование ОА противоречивы, что может быть связано с некоторой ограниченностью исследований: например, авторы могли не принять во внимание дополнительную роль травмы, полученной во время физической нагрузки. Также возможно, что структуры колена по-разному ведут себя при разных физических нагрузках на разных этапах жизни [46].

По-видимому, большое значение имеет интенсивность физической нагрузки. В частности, приводят сведения, что малоподвижный образ жизни и активная деятельность могут быть небезопасными для людей с риском развития ОА коленного сустава [46], и что как низкая физическая активность, так и чрезмерная сопровождается деградацией хряща [47, 48]. Отмечен повышенный риск развития ОА коленного сустава при увеличении физической нагрузки у мужчин с избыточным весом и ожирением [49].

В то же время, существуют данные о том, что у менее активных людей среднего возраста также может впоследствии развиться ОА коленного сустава [50].

M. Nagao и соавт. считают, что чрезмерно интенсивные виды спорта повышают риск развития ОА, в то время как ежедневные упражнения снижают его [51]. О снижении риска ОА при поддержании физической активности на протяжении всей жизни говорят и другие авторы [52]. Возможно, это связано с уменьшением действия некоторых других факторов риска развития ОА коленного сустава (таких, как снижение силы четырёхглавой мышцы) [53].

Другое объяснение снижения риска развития ОА коленного сустава при регулярных физических нагрузках даёт гипотеза «кондиционирования» хряща [54], согласно которой хрящ способен адаптироваться к нагрузкам; а случаи продолжительных периодов низкой активности, сменяющиеся короткими периодами интенсивной активности, могут подвер-

гнуть хрящ разрушению и увеличить риск развития ОА.

Показана положительная реакция внутрисуставного хряща на различные виды физических упражнений [55, 56]. Кроме того установлено, что упражнения не оказывают вредного воздействия на биохимический состав суставного хряща коленного сустава в популяции с лёгкой степенью ОА коленного сустава и хорошо переносятся [55, 56].

Умеренная физическая активность рекомендована руководящими принципами нехирургического лечения ОА коленного сустава [57].

Учитывая вышеизложенное, люди с односторонней транстибиальной ампутацией, по-видимому, имеют повышенный риск развития ОА коленного сустава, в том числе за счёт пониженного уровня физической активности [58].

R.H. Miller и соавт. объясняют повышенный риск развития ОА коленного сустава у людей с односторонней транстибиальной ампутацией гипотезой «кондиционирования» хряща: резкие изменения в механике походки из-за ампутации и использования протезов приводят к внезапному увеличению нагрузки на суставы интактной конечности, адаптивная реакция хряща которых была ослаблена из-за длительного периода разгрузки вследствие перенесённой травмы и/или операции [59].

Предполагают, что суставной хрящ претерпевает некоторую степень структурной и функциональной атрофии в отсутствие механической нагрузки. В частности, показано, что содержание гликозаминогликанов в хряще коленного сустава, которые влияют на жёсткость хряща при сжатии, остаётся ниже исходного уровня, как минимум, в течение 1 года после 6 нед иммобилизации [59]. В свете этого авторы полагают, что чрезмерная нагрузка на неповреждённую конечность после иммобилизации может быть особенно опасной для состояния коленного сустава в будущем. И чтобы свести к минимуму этот риск, они предлагают избегать длительных периодов разгрузки в той степени, в которой это безопасно и возможно для пациента [59].

В настоящее время остаётся неясным, может ли занятие спортом быть фактором риска возникновения и прогрессирования ОА коленного сустава у людей с ампутацией нижней конечности [7]. Однако есть данные, что инвалиды с постампутационным дефектом нижней конечности, которые занимаются спортом и/или физически активны, сообщают о значительных улучшениях как в физическом, так и в психологическом плане (повышение силы, выносливости, а также самооценки и качества жизни) [60].

Травма или операция на колене. Травму сустава считают одним из самых серьёзных факторов риска развития ОА [61]. Существуют данные, что у людей с травмами колена в анамнезе риск развития ОА коленного сустава существенно выше [24], и диагноз им ставят раньше [62].

В отличие от идиопатического, посттравматический ОА представляет собой причину функциональной инвалидности в непропорционально молодой популяции, поскольку первичные травмы чаще получают молодые люди [63]. При этом частота травм передней крестообразной связки превалирует, особенно у молодых людей, занимающихся видами спорта, требующими поворотов и частой смены направления [63]. По разным данным, 50–90% повреждений передней крестообразной связки прогрессирует до ОА [64, 65]. В свою очередь, травма передней крестообразной связки может вызвать боль, ограничение диапазона движений, мышечную слабость, нестабильность колена, изменение биомеханики и снижение уровня физической активности [65], определяя вторичный риск развития ОА коленного сустава.

Опосредовать риск посттравматического ОА может и ряд других факторов: женский пол, возраст, высокий индекс массы тела, ожирение, физическая активность, курение, низкий уровень образования, последующая операция, хирургическое вмешательство, варусное выравнивание колена [64, 66].

Точный механизм развития посттравматического ОА остаётся неясным. Считают, что в этот процесс вовлечены структурные, биологические, механические и нервно-мышечные факторы [67].

После травмы коленного сустава может существовать «раннее терапевтическое окно», когда активируется воспалительная реакция и начинается дегградация матрикса, на которые может быть нацелено вмешательство, однако оптимальные и/или самые последние сроки, при которых дегградация может быть остановлена или обращена вспять, в настоящее время неизвестны [68].

В реабилитации пациентов с посттравматическим ОА большое значение придают физическим упражнениям, причём, как считают D. Dore и S. Rodeo, поскольку при посттравматическом ОА часто ограничен диапазон движений в суставе, основной упор следует делать на нормализацию диапазона движений и силовые тренировки четырёхглавой мышцы и подколенного сухожилия [69].

Важную роль в реабилитации пациентов с посттравматическим ОА некоторые авторы

отводят информированию пациентов: необходимо повышать их осведомлённость о возможности повторных травм и риске посттравматического ОА, помогая им понять важность предотвращения повторных травм, а также обучать их изменению физической активности, контролю веса и соблюдению диеты [70].

Посттравматический ОА может быть актуален для инвалидов с транстибиальной ампутацией травматической этиологии. Существуют данные, что серьёзные травмы нижних конечностей, требующие ампутации, становятся всё более частой проблемой для военных и гражданских хирургов и травматологов-ортопедов [71]. Один важный факт — это преобладание мужчин и молодой возраст людей (в среднем 37,2 года) с ампутированными вследствие травматического повреждения конечностями [72].

Показано, что люди с травматической односторонней ампутацией нижней конечности подвержены большему риску развития ОА контралатерального коленного сустава по сравнению с лицами, не имеющими ампутации [4, 73].

Высокая продолжительность жизни молодых людей с травмой предполагает разработку эффективных реабилитационных программ для предотвращения или отсрочки развития ОА коленного сустава путём раннего выявления и модификации факторов риска. Реабилитационные программы должны включать скрининг интактной конечности на предмет предшествующей высокоэнергетической травмы, оценку боли в суставах, изучение биомеханики контралатерального коленного сустава и быть направлены, в том числе, на управление массой тела и устранение слабости мышц нижних конечностей [4].

Хроническая боль в колене. Наличие хронической боли в колене считают ранним признаком дегенеративных изменений суставов, которые могут появиться до рентгенологических признаков ОА коленного сустава, поскольку наиболее часто используемые обычные рентгенограммы не чувствительны к обнаружению ранних структурных изменений при ОА [74].

Показано, что интенсивность боли в коленном суставе бывает предиктором полной замены коленного сустава при ОА [75]. По этой причине уменьшение боли с помощью недорогих и неинвазивных методов лечения представляет интерес. Эти методы включают вспомогательные средства для ходьбы, коррекцию биомеханики походки, специальные физические упражнения и фиксацию сустава [9, 57].

По данным D.C. Norvell и соавт., у людей с транстибиальной ампутацией боль в коле-

не интактной конечности встречается почти в 2 раза чаще, чем в контрольной популяции, а в колене ампутированной конечности — в 5 раз реже [76]. Жалобы на боли в контралатеральном коленном суставе чаще возникают у женщин (37%), чем у мужчин (24,1%) [77]. Если учитывать приведённое ранее мнение, что наличие хронической боли в колене — ранний признак развития ОА коленного сустава [74], то, вероятно, мероприятия, направленные на уменьшение боли (или её предупреждение), позволят отсрочить (или предотвратить) клиническую и рентгенологическую манифестацию ОА у людей с транстибиальной ампутацией.

Заключение. Коленный сустав обладает уникальным механизмом несения нагрузки, способным выдерживать обычные ежедневные нагрузки без получения травм, что определяется генетическими, механическими и возрастными факторами. Однако воздействие чрезмерных нагрузок и изменений в биомеханике суставов, которые происходят после ампутации нижней конечности, в сочетании с другими факторами риска, характерными для контингента инвалидов с односторонней транстибиальной ампутацией (пожилой, как правило, возраст или травматическая этиология ампутации конечности в молодом возрасте; пониженная физическая активность, мышечная слабость, избыточная масса тела), могут привести к возникновению и прогрессированию ОА.

Считают, что разработка эффективных реабилитационных программ для предотвращения или отсрочки ОА коленного сустава путём раннего обнаружения и модификации факторов риска — решающий шаг в сохранении функций коленного сустава в долгосрочной перспективе и улучшении качества жизни инвалидов после односторонней ампутации конечности [4]. Для этого необходима слаженная работа команды врачей, протезистов, физиотерапевтов и других специалистов, а также участие самих пациентов [78, 79].

ВЫВОДЫ

1. Основные общепризнанные классические факторы риска развития остеоартрита коленного сустава — пожилой возраст, женский пол, избыточная масса тела (ожирение), слабость мышц нижних конечностей, низкая или чрезмерная физическая активность, травма или операция области коленного сустава в анамнезе, хроническая боль в колене.

2. Для популяции инвалидов с односторонней транстибиальной ампутацией конечности характерна высокая частота следующих

факторов: возраст старше 60 лет, преобладание женщин в более преклонном возрасте, повышенная масса тела, сниженная физическая активность, слабость мышц сгибателей и разгибателей коленного сустава и отводящих мышц бедра, травматический генез ампутации в молодом возрасте, не исключая повреждение структур коленного сустава, хронические боли в области колена.

3. Выявление и управление потенциально изменяемыми классическими факторами риска развития остеоартрита коленного сустава — одна из задач реабилитации инвалидов с односторонней транстибиальной ампутацией, направленная на сохранение функций коленного сустава в долгосрочной перспективе и улучшение качества жизни данного контингента.

Участие авторов. О.И.Х. — концепция и дизайн исследования, поиск и анализ публикаций, написание текста статьи; Е.М.В. — редактирование, общее руководство работой; А.М.Б. — поиск и анализ публикаций.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

- Loeser R.F., Goldring S.R., Scanzello C.R., Goldring M.B. Osteoarthritis: A disease of the joint as an organ. *Arthritis Rheum.* 2012; 64 (6): 1697–1707. DOI: 10.1002/art.34453.
- Contartese D., Tschon M., De Mattei M., Fini M. Sex specific determinants in osteoarthritis: A systematic review of preclinical studies. *Int. J. Mol. Sci.* 2020; 21 (10): 3696. DOI: 10.3390/ijms21103696.
- Glyn-Jones S., Palmer A.J.R., Agricola R., Price A.J., Vincent T.L., Weinans H., Carr A.J. Osteoarthritis. *Lancet.* 2015; 386 (9991): 376–387. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)60802-3.
- Farrokhi S., Mazzone B., Yoder A., Grant K., Wyatt M.A. Narrative review of the prevalence and risk factors associated with development of knee osteoarthritis after traumatic unilateral lower limb amputation. *Mil. Med.* 2016; 181 (S4): 38–44. DOI: 10.7205/MILMED-D-15-00510.
- Hussain S.M., Neilly D.W., Baliga S., Patil S., Patil S. Knee osteoarthritis: a review of management options. *Scott. Med. J.* 2016; 61 (1): 7–16. DOI: 10.1177/0036933015619588.
- Struyf P.A., van Heugten C.M., Hitters M.W., Smeets R.J. The prevalence of osteoarthritis of the intact hip and knee among traumatic leg amputees. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2009; 90 (3): 440–446. DOI: 10.1016/j.apmr.2008.08.220.
- Gailey R. Review of secondary physical conditions associated with lower-limb amputation and long-term prosthesis use. *J. Rehabil. Res. Dev.* 2008; 45 (1): 15–30. DOI: 10.1682/JRRD.2006.11.0147.
- Morgenroth D.C., Gellhorn A.C., Suri P. Osteoarthritis in the disabled population: a mechanical perspective. *PMR.* 2012; 4 (Suppl. 5): S20–S27. DOI: 10.1016/j.pmrj.2012.01.003.
- Wink A.E., Gross K.D., Brown C.A., Lewis C.E., Torner J., Nevitt M.C., Tolstykh I., Sharma L., Felson D.T. Association of varus knee thrust during walking with worsening Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis index knee pain: a prospective cohort study. *Arthritis Care Res. (Hoboken).* 2019; 71 (10): 1353–1359. DOI: 10.1002/acr.23766.
- Landsmeer M.L.A., Runhaar J., van Middelkoop M., Oei E.H.G., Schiphof D., Bindels P.J.E., Bierma-Zeinsma S.M.A. Predicting knee pain and knee osteoarthritis among overweight women. *J. Am. Board. Fam. Med.* 2019; 32 (4): 575–584. DOI: 10.3122/jabfm.2019.04.180302.
- Gardiner B.S., Woodhouse F.G., Besier T.F., Grodzinsky A.J., Lloyd D.G., Zhang L., Smith D.W. Predicting knee osteoarthritis. *Ann. Biomed. Eng.* 2016; 44 (1): 222–233. DOI: 10.1007/s10439-015-1393-5.
- Heijink A., Gomoll A., Madry H., Drobnic M., Filaro G., Espregueira-Mendes J., Van Dijk C.N. Biomechanical considerations in the pathogenesis of osteoarthritis of the knee. *Knee Surg., Sports Traumatol., Arthroscopy.* 2012; 20 (3): 423–435. DOI: 10.1007/s00167-011-1818-0.
- O'Neill T.W., McCabe P.S., McBeth J. Update on the epidemiology, risk factors and disease outcomes of osteoarthritis. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 2018; 32 (2): 312–326. DOI: 10.1016/j.berh.2018.10.007.
- Dulay G.S., Cooper C., Dennison E.M. Knee pain, knee injury, knee osteoarthritis & work. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 2015; 29 (3): 454–461. DOI: 10.1016/j.berh.2015.05.005.
- Loeser R.F., Collins J.A., Diekman B.O. Ageing and the pathogenesis of osteoarthritis. *Nat. Rev. Rheumatol.* 2016; 12 (7): 412–420. DOI: 10.1038/nrrheum.2016.65.
- Ramezykowski T., Schildhauer T.A. Amputation of the lower limb — treatment and management. *Z. Orthop. Unfall.* 2017; 155 (4): 477–498. DOI: 10.1055/s-0042-122394.
- Yang Y., You X., Cohen J.D., Zhou H., He W., Li Z., Xiong Y., Yu T. Sex differences in osteoarthritis pathogenesis: A comprehensive study based on bioinformatics. *Med. Sci. Monit.* 2020; 26: e923331. DOI: 10.12659/MSM.923331.
- Phinyomark A., Osis S.T., Hettinga B.A., Kobsar D., Ferber R. Gender differences in gait kinematics for patients with knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2016; 17: 157. DOI: 10.1186/s12891-016-1013-z.
- Blagojevic M., Jinks C., Jeffery A., Jordan K.P. Risk factors for onset of osteoarthritis of the knee in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2010; 18 (1): 24–33. DOI: 10.1016/j.joca.2009.08.010.
- Li D., Li S., Chen Q., Xie X. The prevalence of symptomatic knee osteoarthritis in relation to age, sex, area, region, and body mass index in China: A systematic review and meta-analysis. *Front. Med. (Lausanne).* 2020; 7: 304. DOI: 10.3389/fmed.2020.00304.
- Dietrich W., Haitel A., Holzer G., Huber J.C., Kolbus A., Tschugguel W. Estrogen receptor-beta is the predominant estrogen receptor subtype in normal human synovium. *J. Soc. Gynecol. Investig.* 2006; 13 (7): 512–517. DOI: 10.1016/j.jsg.2006.07.002.
- Kuh D., Cooper R., Moore A., Richards M., Hardy R. Age at menopause and lifetime cognition: findings from a British birth cohort study. *Neurology.* 2018; 90 (19): e1673–e1681. DOI: 10.1212/WNL.00000000000005486.
- Hussain M.A., Lindsay T.F., Mamdani M., Wang X., Verma S., Al-Omran M. Sex differences in the outcomes of peripheral arterial disease: a population-based cohort study. *CMAJ Open.* 2016; 4 (1): E124–E131. DOI: 10.9778/cmajo.20150107.
- Kamrad I., Söderberg B., Örneholm H., Hagberg K. SwedeAmp—the Swedish Amputation and Prosthetics Registry: 8-year data on 5762 patients with lower limb amputa-

- tion show sex differences in amputation level and in patient-reported outcome. *Acta Orthop.* 2020; 91 (4): 464–470. DOI: 10.1080/17453674.2020.1756101.
25. Murphy L., Schwartz T.A., Helmick C.G., Renner J.B., Tudor G., Koch G. Lifetime risk of symptomatic knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2008; 59 (9): 1207–1213. DOI: 10.1002/art.24021.
26. Zhou Z.-Y., Liu Y.-K., Chen H.-L., Liu F. Body mass index and knee osteoarthritis risk: a dose-response meta-analysis. *Obesity.* 2014; 22 (10): 2180–2185. DOI: 10.1002/oby.20835.
27. Landsmeer M.L.A., de Vos B.C., van der Plas P., van Middelkoop M., Vroegindewij D., Bindels P.J.E., Oei E.H.G., Bierma-Zeinstra S.M.A., Runhaar J. Effect of weight change on progression of knee OA structural features assessed by MRI in overweight and obese women. *Osteoarthritis Cartilage.* 2018; 26 (12): 1666–1674. DOI: 10.1016/j.joca.2018.08.006.
28. Gersing A.S., Schwaiger B.J., Nevitt M.C., Zarnowski J., Joseph G.B., Feuerriegel G., Jungmann P.M., Guimaraes J.B., Facchetti L., McCulloch C.E., Link T.M. Weight loss regimen in obese and overweight individuals is associated with reduced cartilage degeneration: 96-month data from the osteoarthritis initiative. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019; 27 (6): 863–870. DOI: 10.1016/j.joca.2019.01.018.
29. Antony B., Jones G., Jin X., Ding C. Do early life factors affect the development of knee osteoarthritis in later life: a narrative review. *Arthritis Res. Ther.* 2016; 18 (1): 202. DOI: 10.1186/s13075-016-1104-0.
30. Chen L., Zheng J.J.Y., Li G., Yuan J., Ebert J.R., Li H., Papadimitriou J., Wang Q., Wood D., Jones C.W., Zheng M. Pathogenesis and clinical management of obesity-related knee osteoarthritis: Impact of mechanical loading. *J. Orthop. Translat.* 2020; 24: 66–75. DOI: 10.1016/j.jot.2020.05.001.
31. Littman A.J., McFarland L.V., Thompson M.L., Bouldin E.D., Arterburn D.E., Majerczyk B.R., Boyko E.J. Weight loss intention, dietary behaviors, and barriers to dietary change in veterans with lower extremity amputations. *Disabil. Health J.* 2015; 8 (3): 325–335. DOI: 10.1016/j.dhjo.2014.10.003.
32. Bennell K.L., Wrigley T.V., Hunt M.A., Lim B.W., Hinman R.S. Update on the role of muscle in the genesis and management of knee osteoarthritis. *Rheum. Dis. Clin. North Am.* 2013; 39 (1): 145–176. DOI: 10.1016/j.rdc.2012.11.003.
33. Oiestad B.E., Holm I., Gunderson R., Myklebust G., Risberg M.A. Quadriceps muscle weakness after anterior cruciate ligament reconstruction: a risk factor for knee osteoarthritis? *Arthritis Care Res.* 2010; 62 (12): 1706–1714. DOI: 10.1002/acr.20299.
34. Nakagawa K., Maeda M. Associations of knee muscle force, bone malalignment, and knee-joint laxity with osteoarthritis in elderly people. *J. Phys. Ther. Sci.* 2017; 29 (3): 461–464. DOI: 10.1589/jpts.29.461.
35. Muraki S., Akune T., Teraguchi M., Kagotani R., Asai Y., Yoshida M., Tokimura F., Tanaka S., Oka H., Kawaguchi H., Nakamura K., Yoshimura N. Quadriceps muscle strength, radiographic knee osteoarthritis and knee pain: the ROAD study. *BMC Musculoskel. Disord.* 2015; 16 (1): 305. DOI: 10.1186/s12891-015-0737-5.
36. Culvenor A.G., Segal N.A., Guermazi A., Roemer F., Felson D.T., Nevitt M.C., Lewis C.E., Stefanik J.J. Sex-specific influence of quadriceps weakness on worsening patellofemoral and tibiofemoral cartilage damage: a prospective cohort study. *Arthritis Care Res. (Hoboken).* 2019; 71 (10): 1360–1365. DOI: 10.1002/acr.23773.
37. Hinman R.S., Hunt M.A., Creaby M.W., Wrigley T.V., McManus F.J., Bennell K.L. Hip muscle weakness in individuals with medial knee osteoarthritis. *Arthritis Care Res. (Hoboken).* 2010; 62 (8): 1190–1193. DOI: 10.1002/acr.20199.
38. Sled E.A., Khoja L., Deluzio K.J., Olney S.J., Culham E.G. Effect of a home program of hip abductor exercises on knee joint loading, strength, function, and pain in people with knee osteoarthritis: a clinical trial. *Phys. Ther.* 2010; 90 (6): 895–904. DOI: 10.2522/ptj.20090294.
39. Fontes Filho C.H.D.S., Laett C.T., Gavilão U.F., Campos J.C.Jr., Alexandre D.J.A., Cossich V.R.A., Sousa E.B. Bodyweight distribution between limbs, muscle strength, and proprioception in traumatic transtibial amputees: a cross-sectional study. *Clinics (Sao Paulo).* 2021; 76: e2486. DOI: 10.6061/clinics/2021/e2486.
40. Lloyd C.H., Stanhope S.J., Davis I.S., Royer T.D. Strength asymmetry and osteoarthritis risk factors in unilateral trans-tibial, Amputee Gait. *Gait Posture.* 2010; 32 (3): 296–300. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.05.003.
41. Esposito E.R., Miller R.H. Maintenance of muscle strength retains a normal metabolic cost in simulated walking after transtibial limb loss. *PLoS One.* 2018; 13 (1): e0191310. DOI: 10.1371/journal.pone.0191310.
42. Nolan L. A training programme to improve hip strength in persons with lower limb amputation. *J. Rehabil. Med.* 2012; 44 (3): 241–248. DOI: 10.2340/16501977-0921.
43. Zhang X., Pan X., Deng L., Fu W. Relationship between knee muscle strength and fat/muscle mass in elderly women with knee osteoarthritis based on dual-energy X-ray absorptiometry. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020; 17 (2): 573. DOI: 10.3390/ijerph17020573.
44. Lefèvre-Colau M.M., Nguyen C., Haddad R., Delamarche P., Paris G., Palazzo C., Poiraudou S., Rannou F., Roren A. Is physical activity, practiced as recommended for health benefit, a risk factor for osteoarthritis? *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 2016; 59 (3): 196–206. DOI: 10.1016/j.rehab.2016.02.007.
45. Regnaud J.P., Lefevre Colau M.M., Trinquart L., Nguyen C., Boutron I., Brosseau L., Ravaud P. High-intensity versus low-intensity physical activity or exercise in people with hip or knee osteoarthritis. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2015; (10): CD010203. DOI: 10.1002/14651858.CD010203.pub2.
46. Halilaj E., Hastie T.J., Gold G.E., Delp S.L. Physical activity is associated with changes in knee cartilage microstructure. *Osteoarthritis Cartilage.* 2018; 26 (6): 770–774. DOI: 10.1016/j.joca.2018.03.009.
47. Nomura M., Sakitani N., Iwasawa H., Kohara Y., Takano S., Wakimoto Y., Kuroki H., Moriyama H. Thinning of articular cartilage after joint unloading or immobilization. An experimental investigation of the pathogenesis in mice. *Osteoarthritis Cartilage.* 2017; 25 (5): 727–736. DOI: 10.1016/j.joca.2016.11.013.
48. Campbell T.M., Reilly K., Laneville O., Uthoff H., Trudel G. Bone replaces articular cartilage in the rat knee joint after prolonged immobilization. *Bone.* 2018; 106: 42–51. DOI: 10.1016/j.bone.2017.09.018.
49. Soutakbar H., Lamb S.E., Silman A.J. The different influence of high levels of physical activity on the incidence of knee OA in overweight and obese men and women — a gender specific analysis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019; 27 (10): 1430–1436. DOI: 10.1016/j.joca.2019.05.025.
50. Bricca A., Wirth W., Juhl C.B., Kemnitz J., Hunter D.J., Kwok C.K., Eckstein F., Culvenor A.G. Moderate physical activity may prevent cartilage loss in women with knee osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative. *Arthritis Care Res. (Hoboken).* 2019; 71 (2): 221–226. DOI: 10.1002/acr.23791.
51. Nagao M., Ishijima M., Kaneko H., Takazawa Y., Ikeda H., Kaneko K. Physical activity for knee osteoarthritis. *Clin. Calcium.* 2017; 27 (1): 25–30. PMID: 28017942.
52. Wallace I.J., Worthington S., Felson D.T., Jurmain R.D., Wren K.T., Maijanen H., Woods R.J., Lieber-

man D.E. Knee osteoarthritis has doubled in prevalence since the mid-20th century. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2017; 114 (35): 9332–9336. DOI: 10.1073/pnas.1703856114.

53. Hafer J.F., Kent J.A., Boyer K.A. Physical activity and age-related biomechanical risk factors for knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2019; 70: 24–29. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.02.008.

54. Seedhom B.B. Conditioning of cartilage during normal activities is an important factor in the development of osteoarthritis. *Rheumatology*. 2006; 45: 146–149. DOI: 10.1093/rheumatology/kei197.

55. Munukka M., Waller B., Rantalainen T., Häkkinen A., Nieminen M.T., Lammentausta E., Kujala U.M., Paloneva J., Sipilä S., Peuna A., Kautiainen H., Selänne H., Kiviranta I., Heinonen A. Efficacy of progressive aquatic resistance training for tibiofemoral cartilage in postmenopausal women with mild knee osteoarthritis: a randomised controlled trial. *Osteoarthritis Cartilage*. 2016; 24 (10): 1708–1717. DOI: 10.1016/j.joca.2016.05.007.

56. Koli J., Multanen J., Kujala U.M., Häkkinen A., Nieminen M.T., Kautiainen H., Lammentausta E., Jämsä T., Ahola R., Selänne H., Kiviranta I., Heinonen A. Effects of exercise on patellar cartilage in women with mild knee osteoarthritis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2015; 47 (9): 1767–1774. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000629.

57. McAlindon T.E., Bannuru R.R., Sullivan M.C., Arden N.K., Berenbaum F., Bierma-Zeinstra S.M., Hawker G.A., Henrotin Y., Hunter D.J., Kawaguchi H., Kwok K., Lohmander S., Rannou F., Roos E.M., Underwood M. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2014; 22 (3): 363–388. DOI: 10.1016/j.joca.2014.01.003.

58. Bussmann J.B., Grootsholten E.A., Stam H.J. Daily physical activity and heart rate response in people with a unilateral transtibial amputation for vascular disease. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2004; 85 (2): 240–244. DOI: 10.1016/s0003-9993 (03) 00485-4.

59. Miller R.H., Krupenevich R.L., Pruziner A.L., Wolf E.J., Schnall B.L. Medial knee joint contact force in the intact limb during walking in recently ambulatory service members with unilateral limb loss: a cross-sectional study. *Peer J*. 2017; 5: e2960. DOI: 10.7717/peerj.2960.

60. Bragaru M., Dekker R., Geertzen J., Dijkstra P. Amputees and sports: a systematic review. *Sports Med.* 2011; 41 (9): 721–740. DOI: 10.2165/11590420-000000000-00000.

61. Watt F.E., Corp N., Kingsbury S.R., Frobell R., Englund M., Felson D.T., Levesque M., Majumdar S., Wilson C., Beard D.J., Lohmander L.S., Kraus V.B., Roemer F., Conaghan P.G., Mason D.J. Towards prevention of post-traumatic osteoarthritis: report from an international expert working group on considerations for the design and conduct of interventional studies following acute knee injury. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019; 27 (1): 23–33. DOI: 10.1016/j.joca.2018.08.001.

62. Driban J.B., Eaton C.B., Lo G.H., Ward R.J., Lu B., McAlindon T.E. Association of knee injuries with accelerated knee osteoarthritis progression: data from the osteoarthritis initiative. *Arthritis Care Res.* 2014; 66 (11): 1673–1679. DOI: 10.1002/acr.22359.

63. Riordan E.A., Little C., Hunter D. Pathogenesis of post-traumatic OA with a view to intervention. *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.* 2014; 28 (1): 17–30. DOI: 10.1016/j.berh.2014.02.001.

64. Friel N.A., Chu C.R. The role of ACL injury in the development of posttraumatic knee osteoarthritis. *Clin. Sports Med.* 2013; 32 (1): 1–12. DOI: 10.1016/j.csm.2012.08.017.

65. Luc B., Gribble P.A., Pietrosimone B.G. Osteoarthritis prevalence following anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and numbers-needed-to-treat

analysis. *J. Athl. Train.* 2014; 49 (6): 806–819. DOI: 10.4085/1062-6050-49.3.35.

66. Jones M.H., Spindler K.P. Risk factors for radiographic joint space narrowing and patient reported outcomes of post-traumatic osteoarthritis after ACL reconstruction: data from the MOON cohort. *J. Orthop. Res.* 2017; 35 (7): 1366–1374. DOI: 10.1002/jor.23557.

67. Narez G.E., Fischenich K.M., Donahue T.L.H. Experimental animal models of post-traumatic osteoarthritis of the knee. *Orthop. Rev. (Pavia)*. 2020; 12 (2): 8448. DOI: 10.4081/or.2020.8448.

68. Lattermann C., Jacobs C.A., Bunnell M.P., Jochimsen K.N., Abt J.P., Reinke E.K. Logistical challenges and design considerations for studies using acute anterior cruciate ligament injury as a potential model for early posttraumatic osteoarthritis. *J. Orthop. Res.: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*. 2017; 35 (3): 641–650. DOI: 10.1002/jor.23329.

69. Dare D., Rodeo S. Mechanisms of post-traumatic osteoarthritis after ACL injury. *Curr. Rheumatol. Rep.* 2014; 16 (10): 448. DOI: 10.1007/s11926-014-0448-1.

70. Wang L.J., Zeng N., Yan Z.P., Li J.T., Ni G.X. Post-traumatic osteoarthritis following ACL injury. *Arthritis Res. Ther.* 2020; 22 (1): 57. DOI: 10.1186/s13075-020-02156-5.

71. Low E.E., Inkellis E., Morshed S. Complications and revision amputation following trauma-related lower limb loss. *Injury*. 2017; 48 (2): 364–370. DOI: 10.1016/j.injury.2016.11.019.

72. Kobayashi L., Inaba K., Barmparas G., Criscuoli M., Lustenberger T., Talving P., Lam L., Demetriades D. Traumatic limb amputations at a level I trauma center. *Eur. J. Trauma Emerg. Surg. Off Publ. Eur. Trauma Soc.* 2011; 37 (1): 67–72. DOI: 10.1007/s00068-010-0011-3.

73. Kesikburun S., Koroğlu Ö., Yaşar E., Güzelküçük Ü., Yazcoğlu K., Tan A.K. Comparison of intact knee cartilage thickness in patients with traumatic lower extremity amputation and nonimpaired individuals. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2015; 94 (8): 602–608. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000216.

74. Hensor E.M., Dube B., Kingsbury S.R., Tennant A., Conaghan P.G. Toward a clinical definition of early osteoarthritis: onset of patient-reported knee pain begins on stairs. Data from the osteoarthritis initiative. *Arthritis Care Res. (Hoboken)*. 2015; 67 (1): 40–47. DOI: 10.1002/acr.22418.

75. Conaghan P.G., D'Agostino M.A., LeBars M., Baron G., Schmidely N., Wakefield R., Ravard P., Grassi W., Martin-Mola E., So A., Backhaus M., Malaise M., Emery P., Dougados M. Clinical and ultrasonographic predictors of joint replacement for knee osteoarthritis: results from a large, 3-year prospective EULAR study. *Ann. Rheum. Dis.* 2010; 69 (4): 644–647. DOI: 10.1136/ard.2008.099564.

76. Norvell D.C., Czerniecki J.M., Reiber G.E., Maynard C., Pecoraro J.A., Weiss N.S. The prevalence of knee pain and symptomatic knee osteoarthritis among veteran traumatic amputees and nonamputees. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2005; 86 (3): 487–493. DOI: 10.1016/j.apmr.2004.04.034.

77. Beisheim E.H., Seth M., Horne J.R., Hicks G.E., Pohl R.T., Sions J.M. Sex-specific differences in multisite pain presentation among adults with lower-limb loss. *Pain Pract.* 2021; 21 (4): 419–427. DOI: 10.1111/papr.12969.

78. Kwak C.-J., Kim Y.L., Lee S.M. Effects of elastic-band resistance exercise on balance, mobility and gait function, flexibility and fall efficacy in elderly people. *J. Phys. Ther. Sci.* 2016; 28 (11): 3189–3196. DOI: 10.1589/jpts.28.3189.

79. Major M.J., Fey N.P. Considering passive mechanical properties and patient user motor performance in lower limb prosthesis design optimization to enhance rehabilitation outcomes. *Phys. Ther. Rev.* 2017; 22 (3–4): 1–15. DOI: 10.1080/10833196.2017.1346033.