УДК 616.72-07 *DOI: 10.26211/2658-4522-2021-3-1-8-18*

ТЕОРИЯ ВНУТРЕННЕГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКЗОСКЕЛЕТОНА И СИСТЕМА САНОМЕХАНИКА (SANOMECHANICS®) В ПРИМЕНЕНИИ К ПРОФИЛАКТИКЕ ОСТЕОАРТРИТА ПОСЛЕ ОДНОСТОРОННЕЙ АМПУТАЦИИ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Питкин М.Р.

Тафтский университет, Бостон, MA 02111, США

Резюме

Введение. После односторонней ампутации нижней конечности сохраненная нога испытывает при ходьбе асимметрично большие нагрузки, чем до операции. Перегрузка суставов ведет к развитию посттравматического артрита, что негативно влияет на эффективность протезирования, существенно снижая качество жизни пациента. Предлагается новый подход к реабилитационным методикам с целью повышения их эффективности в предотвращении перегрузки суставов как одной из причин посттравматического артрита.

Данный подход заключается во введении в существующие методики элементов Саномеханики (Sanomechanics®), разработанной автором, как общеукрепляющей системы психофизических упражнений. Отличительной особенностью Саномеханики является ее фокусирование на поддержании и восстановлении ранее не выделяемой физиологической системы, предохраняющей суставные хрящи от перегрузки. Система, названная «внутренний гидравлический экзоскелетон», охватывает весь костный скелет и включает в себя суставные сумки, надкостницу, энтезы и поднадкостничную жидкость.

Цель. Целью работы являлось предложить минимальное количество упражнений, развивающих способность выдерживать прыжковые нагрузки, для включения в реабилитационные методики клиники протезирования, а также модифицировать систему тренировки, чтобы помочь пациентам без предварительной атлетической подготовки овладеть рекомендованными упражнениями в короткие сроки и убедить их сделать эти упражнения ежедневной практикой.

Материалы и методы. Исследовались особенности соединения мышц с костями скелета, которые можно было бы связать со строением и работой системы «внутренний гидравлический экзоскелетон». Концепция внутреннего гидравлического экзоскелетона была использована в качестве смыслового фильтра для анализа известных традиционных методик физического совершенствования, связанных с экстремальными нагрузками прыжкового типа. При анализе ставились две задачи: выделить минимальное количество упражнений, развивающих способность выдерживать прыжковые нагрузки, которые можно рекомендовать для включения в реабилитационные методики клиники протезирования; предложить систему тренировки, чтобы помочь пациентам без предварительной атлетической подготовки овладеть рекомендованными упражнениями в короткие сроки и убедить их сделать эти упражнения ежедневной практикой.

Результаты. Несмотря на различия в анализируемых системах тренировки, общим, резонирующим с концепцией внутреннего гидравлического экзоскелетона, оказалось обязательное развитие гибкости в тазовой области. Отобраны упражнения для выполнения в сагиттальной плоскости: продольный шпагат, йоговская «кобра», йоговская «поза ребенка». Во фронтальной плоскости – поперечный шпагат. Данные упражнения модифицированы с возможностью их выполнения в постели после пробуждения по методу Саномеханики. Обучение методу предлагается проводить во время нахождения пациента в клинике до и после протезирования.

Заключение. Предложен для обсуждения и проверки дополнительный элемент реабилитационных мероприятий в клинике протезирования, состоящий в психофизической тренировке системы «внутренний экзоскелетон». Метод включает упражнения для снижения внутрисуставных давлений путем поддержания и восстановления гидростатической передачи и распределения давлений в поднадкостничном слое между тазом и конечностями и между тазом и позвоночником.

Ключевые слова: риск остеоартрита, односторонняя ампутация ноги, система упражнений Саномеханика, надкостница, энтезы.

Питкин М. Р. Теория внутреннего гидравлического экзоскелетона и система Саномеханика (Sanomechanics®) в применении к профилактике остеоартрита после односторонней ампутации нижней конечности // Физическая и реабилитационная медицина. – 2021. – Т. 3. – № 1. – С. 8-18. DOI: 10.26211/2658-4522-2021-3-1-8-18.

Pitkin MR. Teoriya vnutrennego gidravlicheskogo e`kzoskeletona i sistema Sanomexanika (Sanomechanics®) v primenenii k profilaktike osteoartrita posle odnostoronnej amputacii nizhnej konechnosti [Internal Hydraulic Exoskeleton Theory and the Sanomechanics® System as for Prevention of Osteoarthritis after Unilateral Lower Limb Amputation]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina [*Physical and Rehabilitation Medicine*]; 2021;3(1):8-18. DOI: 10.26211/2658-4522-2021-3-1-8-18 (In Russian).

Питкин Марк Рафаилович / Mark R. Pitkin; e-mail: mpitkin@tuftsmedicalcenter.org

INTERNAL HYDRAULIC EXOSKELETON THEORY AND THE SANOMECHANICS® SYSTEM AS FOR PREVENTION OF OSTEOARTHRITIS AFTER UNILATERAL LOWER LIMB AMPUTATION

Pitkin M. R., PhD, DSc

Tufts University, Boston, MA 02111, USA

Abstract

Introduction. After unilateral amputation of the lower limb, the preserved leg experiences asymmetrically greater loads during walking than before the operation. Overloading of its joints leads to the development of posttraumatic osteoarthritis, which negatively affects the effectiveness of prosthetic rehabilitation, significantly reducing the patient's quality of life. A new approach to rehabilitation techniques is proposed in order to increase their effectiveness in preventing joint overload as one of the causes of posttraumatic osteoarthritis.

This approach consists of the introduction of the elements of Sanomechanics®, developed by the author, as a general strengthening system of psychophysical exercises into existing rehabilitation methods. A distinctive feature of Sanomechanics is its focus on maintaining and restoring a previously undetectable physiological system that protects articular cartilage from overload. The system, called "internal hydraulic exoskeleton," encompasses the entire bony skeleton and includes the bursae, periosteum, entheses, and subperiosteal fluid.

Aim. The aim of the work was to propose a minimum number of exercises that develop a patient's ability to withstand jumping loads for inclusion in the rehabilitation methods of a prosthetics clinic, as well as to modify training systems to help patients without prior athletic training to master the recommended exercises in a short time and help them make these exercises part of their daily practice.

Materials and methods. The connection of muscles with the bones of the skeleton, which could be associated with the structure and operation of the "internal hydraulic exoskeleton" system, were investigated. The concept of the internal hydraulic exoskeleton was used as a semantic filter for the analysis of well-known traditional methods of physical improvement associated with extreme loads of the jumping type. The analysis set two tasks: to select the minimum number of exercises that develop the ability to withstand jumping loads, which can be recommended for inclusion in the rehabilitation methods of a prosthetics clinic; to offer a training system to help patients with no prior athletic training to master the recommended exercises in a short time and to help them to practice these exercises daily.

Results. Despite differences in the analyzed training systems, the general theme consistent with the concept of the internal hydraulic exoskeleton was the development of flexibility in the pelvic region. Selected exercises for performance in the sagittal plane: longitudinal split, "cobra" yoga pose, "child" yoga pose. In the frontal plane, this is the transverse split. These exercises have been modified so that they can be performed in bed after waking up according to the Sanomechanics method. It is proposed to teach the technique while the patient is in the clinic before and after prosthetics services.

Conclusion. An additional element of rehabilitation methods in the prosthetics clinic, consisting of the method of psychophysical training of the internal exoskeleton system, is proposed for discussion and verification. The technique consists of exercises to reduce intra-articular pressures by maintaining and restoring hydrostatic transmission and pressure distribution in the subperiosteal layer between the pelvis and extremities, and between the pelvis and the spine.

Keywords: risk of osteoarthritis, unilateral leg amputation, Sanomechanics exercise system, periosteum, entheses.

Введение / Introduction

Остеоартрит (ОА) во всем мире входит в число 50 наиболее распространенных последствий заболеваний и травм, от которых страдают более 250 млн человек или 4 % населения Земли. При этом ОА колена составляет 83 % от ОА других суставов [1].

После односторонней ампутации нижней конечности остеоартрит развивается у 22,2–28,3 % инвалидов, что негативно влияет на эффективность протезирования, существенно снижая качество жизни пациента [2]. Одной из основных причин развития посттравматического артрита считается перегрузка суставов сохраненной ноги вследствие асимметрично больших нагрузок при ходьбе и других видах локомоции [3–6].

Сходные по величине перегрузки суставов характерны для военнослужащих, как в ходе экстремальных тренировок, так и в ходе реальных операций. Так, из-за постоянно высоких нагрузок на суставы ветераны США чаще страдают остеоартритом, хроническими болями и ограничениями физической активности, чем гражданское население [7–9]. У раненных в боях военнослужащих США риск посттравматического остеоартрита (ПТОА) почти в 2,5 раза выше, чем у гражданского населения (28 % против 12 % заболеваемости) [10].

Учитывая отмеченную в нашей предыдущей работе корреляцию между перегрузкой суставов и остеоартитом у военнослужащих и пациентов после односторонней ампутации нижней конечности [11], в данной статье предлагается использовать в клинике протезирования модификацию метода, разработанного автором для военнослужащих [12].

В статье обосновывается гипотеза о том, что внутрисуставные давления в норме существенно ниже, чем принято считать, благодаря работе вновь выявленной физиологической системы. Система, названная «внутренний гидравлический экзоскелетон», включает в себя надкостницу, покрывающую практически весь скелет, и поднадкостничную жидкость. Нарушения ее нормального функционирования приводят к опасным перегрузкам суставов и их дальнейшей патологии [11, 13].

В статье рассматривается возможный подход к совершенствованию профилактики и реабилитации суставной патологии путем поддержания работы системы «внутренний гидравлический экзоскелетон» (ВГЭ). Метод направлен на поддержание работы системы ВГЭ [11, 12] с помощью психофизических упражнений Саномеханика (Sanomechanics®), разработанной автором ранее [14]. Основная идея Sanomechanics® заключается в том, что при нарушении работы системы ВГЭ нарушается передача поднадкостничного давления и может произойти перегрузка хрящей, что приведет к травмам, остеоартриту и другим связанным патологиям. И наоборот, если функционирование ВГЭ адекватно восстановлено и постоянно поддерживается, патологические изменения могут быть эффективно остановлены.

Цель / Aim

Целью работы являлось предложить минимальное количество упражнений, развивающих способность выдерживать прыжковые нагрузки, для включения в реабилитационные методики клиники протезирования, а также модифицировать систему тренировки, чтобы помочь пациентам без предварительной атлетической подготовки овладеть рекомендованными упражнениями в короткие сроки и убедить их сделать эти упражнения ежедневной практикой.

Материалы и методы / Materials and methods

1. Внутренний гидравлический эксоскелетон – предполагаемая морфологическая и физиологическая структура, предохраняющая суставы от перегрузки

Экспериментально подтвержденная передача давления между суставами [13] позволила предположить, что синовиальные капсулы не изолированы друг от друга, как показано на рисунке 1a. Исследование [13], проведенное с помощью установки, показанной на рисунке 1b показало, что внутрисуставное давление передается между суставами в поднадкостничном пространстве (рис. 1c). Это продемонстрировало прохождение давления через поднадкостничную жидкость, окружающую таз, и позволило предположить дальнейшее прохождение по позвоночнику (рис. 1d).

Данное исследование позволяет предположить, что перегрузка хрящей – следствие изолирования сустава(ов) от неизвестной ранее системы защиты, основанной на гидростатической проводимости давления между суставами в поднадкостничном пространстве.

Чтобы лучше отразить роль системы, чей вклад в антигравитационную функцию опорно-двигательной системы подобен наружно носимым экзоскелетонам [15, 16], мы назвали ее внутренним гидравлическим экзоскелетоном (ВГЭ) [12, 17].

Рассмотрим, какие элементы системы ВГЭ позволяют ей поддерживать себя для снижения рисков, связанных с решением рутинных и особо сложных двигательных задач. Помимо поднадкостничной жидкости, система ВГЭ включает надкостницу и энтезы.

1.1. Надкостница

Надкостница покрывает внешнюю поверхность всех костей, кроме сесамовидных и внутрисуставных головок костей [18, 19]. В надкостнице выделяют внешний фиброзный слой и внутренний слой, обладающий значительным костнообразующим потенциалом и названный Дюамелем в 1742 г. камбием [20], который провел параллель с деревьями, камбий которых отвечает за рост наружных слоев стволов [21]. Поверхностная часть внешнего слоя образована коллагеновым матриксом, состоящим из небольших компактных пучков с вкраплениями удлиненных фибробластов, делающих надкостницу в целом неэластичной [19]. Последнее объясняет способность надкостницы противостоять значительным деформациям растяжения [22] и оправдывает ее роль в гидростатической передаче давления между суставными капсулами через поднадкостничную жидкость в микропространстве между надкостницей и внешней поверхностью кости [13].

1.2. Энтезы

Различают два типа энтезов: фиброзные и фиброзно-хрящевые [23]. Фиброзные энтезы – это комплекс прикрепления к кости сухожилий или связок прямо или косвенно через надкостницу [24]. Фиброзные энтезы обычно связаны с более толстым слоем кортикального слоя кости, чем фиброзно-хрящевые энтезы. Они обеспечивают периостально-диафизарные прикрепления, которые возникают вдоль поверхности длинных костей между их головками. Кроме того, эти энтезы могут быть либо «костными», либо «надкостничными», в зависимости от того, врастает ли сухожилие непосредственно в кость или в надкостницу [24]. Этот тип энтеза встречается в таких мышцах, как дельтовидная, и в мышцах, прикрепляющихся вдоль бедренной кости, например, в большой приводящей мышце [25, 24], как показано на рисунке 2a.

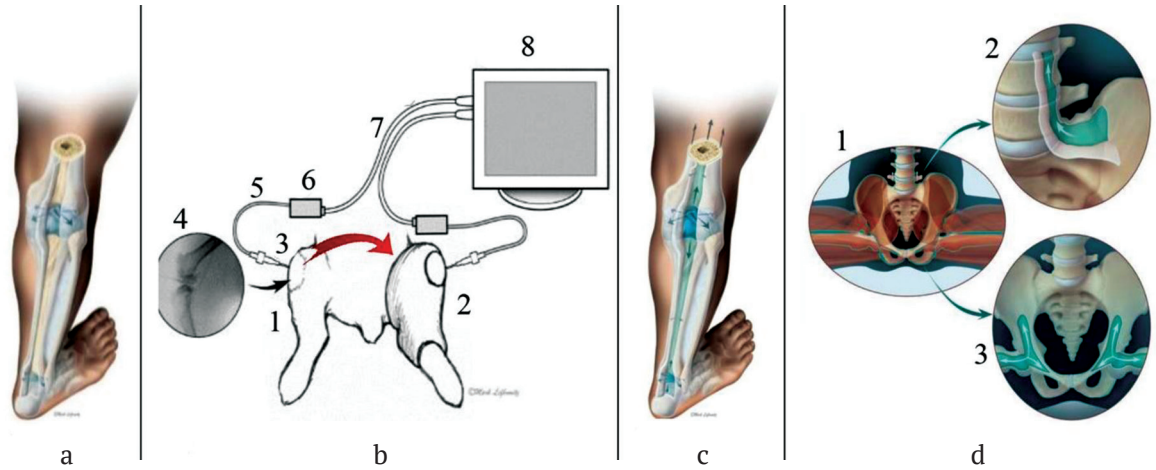

Рис. 1. Экспериментальное подтверждение передачи внутрисуставного давления в поднадкостничном пространстве:
a – традиционное представление о гидравлической изоляции синовиальных капсул друг от друга.
b – установка для одновременного измерения давления в паре суставов [13], один из которых является подвижным (1), а другой фиксируется (2), подтверждающая поднадкостничную гидравлическую передачу давления между контралатеральными суставами (дугообразная стрелка). Канюли (3) вводятся сбоку в суставные капсулы под рентгеновским контролем (4) и соединяются по трубкам (5) с датчиками давления (6); сигналы от датчиков давления (6) передаются по кабелям (7) на монитор (8).
c – иллюстрация феномена передачи давления между суставами через поднадкостничное пространство.
d – эффект оттягивания надкостницы в зонах энтеза при сокращении мышц: в боковом шпагате или при глубоком боковом приседании (1) для облегченания гидравлической передачи давления от ног к позвоночнику (2) и между ногами (3). (Воспроизводится из публикации [12] с разрешения Oxford University Press.)

Figure 1. Experimental confirmation of subperiosteal transmission of the intra-joint pressure
a – traditional teaching of hydraulic isolation of the synovial capsules from each other.
b – setup for simultaneous pressure measurements in a pair of joints, one of which is movable (1) while the other is immobilized by a cast (2), confirming subperiosteal hydraulic transmission of pressures between the contralateral joints (curved arrow). Cannulae (3) are inserted laterally into the joint capsules under X-ray control (4) and connected via a fluid line (5) to the pressure sensor (6); signal from the pressure sensor (6) is transmitted via cable (7) to the monitor (8).
c – artistic illustration of the phenomenon of pressure transmission between joints via the subperiosteal space.
d – pull-out effect of contracting muscles on the periosteum in the entheses zones: in the split or the wide squat position (1) on facilitation of the hydraulic transmission of pressures from the legs to the spine (2) and between the legs (3). (Adopted from [12] with permission from Oxford University Press.)

Рис. 2. Примеры энтезов, влияющих на объем поднадкостничного пространства.
a – Adductor magnus (большая приводящая мышца). Начало: лобковая и седалищная кости. Прикрепление: шероховатая линия бедренной кости, медиальный надмыщелок бедренной кости.
b – Psoas major (большая поясничная мышца). Начало: боковая поверхность тел XII грудного, четырёх верхних поясничных позвонков. Прикрепление: соединяясь с пучками подвздошной мышцы, образует общую подвздошно-поясничную мышцу. Изображения воспроизводятся с разрешения 3D4Medical's Complete Anatomy (https://3d4medical.com) и 3D4Medical Elsevier

Figure 2. Examples of the entheses able to change the volume of the subperiosteal space.
a – Adductor magnus. Origin: interior pubic ramus; ramus of ischium; ischial tuberosity. Insertion: gluteal tuberosity; linea aspera; medial supracondylar line; adductor tubercle.
b – Psoas major. Origin: vertebral bodies of T12–L4, intervertebral discs between T12–L4, transverse processes of L1–L5 vertebrae. Images are courtesy of 3D4Medical's Complete Anatomy (https://3d4medical.com) and 3D4Medical from Elsevier

Некоторые мышцы имеют энтезы обоих типов – фиброзных и фиброзно-хрящевых, как, например большая поясничная мышца. Она берет начало на боковой поверхности тел XII грудного и четырёх верхних поясничных позвонков, а в прикреплении – соединяется с пучками подвздошной мышцы, образуя общую подвздошно-поясничную мышцу (рис. 2b). Совокупность элементов энтеза образуют т.н. «орган энтеза», который включает, помимо прикрепления связки или сухожилия, сесамовидный или периостальный фиброзный хрящ, синовиальную оболочку и, возможно, бурсу [26].

Энтезиты – воспаления энтезов – возникают вследствие чрезмерной физической нагрузки (профессиональный фактор), травматизации, могут быть сопутствующим компонентом воспалительных процессов в организме (специфического и неспецифического характера). Чаще всего они возникают в местах прикрепления сухожилий, фасций, связок к костям, в местах апофизов, бугристостей, мыщелков, отростков. Рядом исследований установлено, что энтезиты были последовательным и ранним признаком развития остеоартрита [27–31].

2. Как представление о новой физиологической системе ВГЭ может быть использовано для профилактики остеоартрита

Поскольку в исследовании [13] мы установили факт передачи внутрисуставного давления от колена одной ноги к колену другой, а также от колена к ипсилатеральному локтю, важнейшим условием работы этого механизма представляется постоянное наличие определенного количества межтканевой жидкости в поднадкостничном пространстве котралатральных бедренных костей, костей таза и позвоночника.

При мышечном натяжении энтезы оттягивают ближайшую часть надкостницы от поверхности кости [32]. Этот факт принципиально важен для нашего представления о ВГЭ, так как периодическое оттягивание надкостницы создает эффект насоса, нагнетающего дополнительное количество жидкости в поднадкостничное пространство. Роль поднадкостничных «насосов» могут играть любые мышцы с энтезами на бедренной кости одновременно с энтезми на костях таза или позвоночника. Примерами таких мышц могут служить большая приводящая мышца (рис. 2a) и большая поясничная мышца (рис. 2b).

Подкачка поднадкостничной жидкости вследствие натяжения мышц – это естественный механизм активации передачи давления между суставами, который работает автоматически и бессознательно. Однако существуют различные факторы, до сих пор не полностью изученные, которые могут создавать препятствия для гидравлического соединения между суставами. Примеры включают инфекцию и воспаление с отеком. Кроме того, после нескольких часов сна расслабленная мускулатура не растягивает надкостницу, как днем, вызывая естественное сокращение ее эластичных тканей. Ее сжатие может привести к вытеснению поднадкостничной жидкости, необходимой для гидравлического соединения одного или нескольких суставов [33]. Прерванная передача давления между суставами заметна по утренней скованности тела, что приводит к частым травмам при первом вставании с постели [34].

Теперь представим, как можно поддерживать и активировать систему ВГЭ для снижения рисков, связанных с перегрузками.

2.1. Программа обучения

Программа обучения будет включать два блока: обучение теории внутреннего гидравлического экзоскелетона и обучение методу Саномеханики.

2.1.1. Обучение теории внутреннего гидравлического экзоскелетона

Этот блок кратко представит научные основы теории естественного внутреннего гидравлического экзоскелетона. Пациентам будет предложено несколько примеров положения тела с использованием приседаний и шпагатов. На рисунке 3 показаны поза сумо (a), поза фехтования (b), поза всадника (c), балетный и гимнастический шпагат (d) и прыжок циркового акробата (e). Общим является то, что все они работают в экстремальных условиях, связанных с высокими и опасными нагрузками на суставы.

Тренировки с раннего детства и постоянная практика этих поз отделяют профессионалов от обычных людей, которыми являются и наши пациенты. Поэтому им будет объяснено, что новый метод психофизической тренировки позволит им в кратчайшие сроки безопасно приблизиться к гибкости в тазобедренных суставах в поясничном отделе позвоночника, которой обладают профессионалы, и тем самым подготовить организм к предстоящим асимметрично большим нагрузкам на суставы.

Важно, что эти упражнения требуют работы мышц, которые в обычной жизни задействованы сравнительно мало. Но именно они, например, большая приводящая мышца (рис. 2a) и большая поясничная мышца (рис. 2b) своим сокращением активизируют и поддерживают поднакостничную передачу давления через тазовую область между ногами и от ног к позвоночнику. Поэтому минимальным количеством упражнений для выполнения в сагиттальной плоскости могут быть: продольный шпагат, йоговская «кобра», йоговская «поза ребенка» [35]. Во фронтальной плоскости – поперечный шпагат.

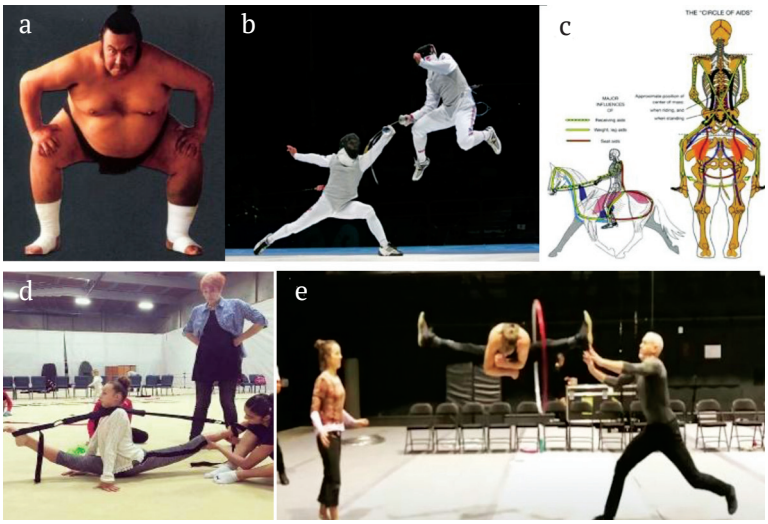

Рис. 3. Общность тренировки широкого приседания и шпагата с потребностью в безопасности костно-мышечной системы во время выполнения прыжков в экстремальных условиях.
a – сумо-приседания; b – фехтовальная поза; c – поза всадника; d – балет и гимнастика; e – прыжок акробата

Figure 3. Intrinsic association between squatting and splitting training and the need for the musculoskeletal system to remain safe while performing in extreme conditions.
a – sumo squat; b – fencing posture; c – horse rider posture; d – ballet and gymnastics splitting; e – circus acrobat split jump

Следует представить теорию поднадкостничной передачи давления между суставами, показанную на рисунке 1d и рисунке 2, и объяснить защитную роль этой передачи и то, что она может работать, если она беспрепятственна, без блокировок, изолирующих сустав от гидравлического экзоскелетона; рассказать об эксперименте (рис. 1b), демонстрирующем передачу давления от циклически согнутого правого колена на иммобилизованное левое колено анестезированных кроликов [11]; отметить, что передача давления происходила через микропространство между надкостницей и поверхностями правой бедренной кости, таза и левой бедренной кости.

Затем продемонстрировать, как позы, изображенные на рисунке 3, расширяют поднадкостничное пространство для беспрепятственного проникновения в него межтканевой жидкости. Упражнения рекомендуется выполнять без протеза на коленях, что позволяет их делать в постели после пробуждения. Завершить первый блок обучения, объяснив, что ежедневная активизации системы «внутренний гидравлический экзоскелетон», даже, если полный шпагат и не будет освоен, может помочь пациенту избежать или снизить опасность посттравматического остеоартрита.

Теперь пациенты готовы к обучению методу Саномеханики.

2.1.2. Структура метода Саномеханики

Компоненты Саномеханики (рис. 4) – это концепция внутреннего гидравлического экзоскелетона, концептуальный критерий правильности и концептуальное самовнушение, которые визуализируют морфологию ВГЭ [36].

Рис. 4. Структура метода Саномеханика [36]

Figure 4. Structure of the method of Sanomechanics [36]

Концептуальный критерий правильности

В любой традиционной системе упражнений инструктор может предложить различные критерии правильности выполнения конкретных упражнений. Примеры таких критериев перечислены ниже:

1. Примите определенную позу.
2. Выпрямите конечность / спину / шею.
3. Двигайтесь быстро / медленно.
4. Нагрузка на максимальном / минимальном / среднем уровне.
5. Сделайте упражнение без напряжения.

Инструктор может посоветовать обучаемым «сделать так, чтобы было удобно» при выполнении требуемых движений, но понятие «удобства» обычно не детализируется.

Что же касается критерия правильности выполнения упражнений Саномеханики, то он был разработан на основе принципа удовольствия Фрейда [37], но со специфической физиологической основой и без стремления Фрейда к объяснению бессознательных мотивов поведения.

Саномеханический критерий правильности обращается к механическим условиям работы любого сустава, который находится в центре внимания обучаемого в данном упражнении.

В нашей повседневной жизни мы знаем, что каждое относительное положение сегментов тела производит один из трех основных типов сигналов в мозг: нулевой / нейтральный, удовольствие и боль, как показано на рисунке 5. Здесь зона А представляет сгибание в суставе без заметного сигнала обратной связи (нейтральный сигнал). Зона С представляет нарастающую боль, когда мы достигаем предела подвижности сустава. Боль служит предупреждением о продолжении сгибания, которое может повредить сустав. Чувство удовольствия в зоне В побуждает нас сохранять эту позу, вознаграждая за то, что мы делаем что-то полезное для этого сустава.

Что особенно полезно для сустава в зонах В? Полагаем, что сохранение положения, генерирующего сигнал удовольствия, создает благоприятные гидравлические условия для более полного капиллярного проникновения жидкости в поднадкостничное пространство.

Таким образом, саномеханический критерий правильности выполнения упражнений гласит, что положение правильное, когда и до тех пор, пока оно генерирует сигнал обратной связи удовольствия или, по крайней мере, сигнал минимального дискомфорта, если сустав травмирован.

Концептуальное самовнушение

Концептуальное самовнушение мысленно визуализирует идею ВГЭ. Практику самовнушения необходимо обсудить и представить слушателям во время периода обучения теории и практике Саномеханики. В определенном смысле самовнушение – это целенаправленное ожидание реакции организма на поставленную задачу. Самовнушение, как лечебный фактор, было представлено Эмилем Куэ [38], указавшим на его близость к медитации. Он также подчеркнул, что следует ожидать не чудес, а только разумных результатов.

Второй вехой в представлении терапевтического самовнушения было развитие аутогенного тренинга Шульцем в 1932 году [39]. Метод включает в себя технику релаксации для усиления восприятия самовнушения телом и сознанием (внушаемость). Далее д-р Шульц обнаружил, что естественная внушаемость достигает максимального уровня утром при переходе от сна к пробуждению.

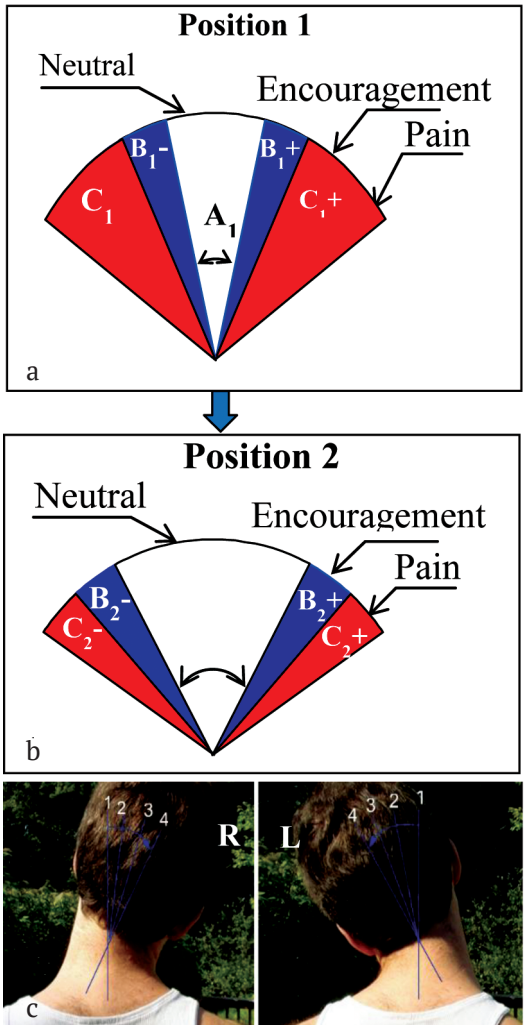

Рис. 5. Техника Саномеханики перехода из одного положения сустава в другое.
a – зоны ощущения в позиции 1:
A1 – нейтральное ощущение;
B1+, B1– – подвижность по часовой стрелке и против часовой стрелки с ощущением поощрения;
C1+, C1– – подвижность по часовой стрелке и против часовой стрелки с болевым ощущением;
b – зоны чувствительности в позиции 2;
c – последовательное сгибание шеи по часовой стрелке (R) и против часовой стрелки (L) из положения 1 в положения 2, 3 [36]

Figure 5. Sanomechanics technique of transitioning from one position to another.
a – sensation in position 1:
A1 – neutral sensation;
B1+, B1– – clockwise and counterclockwise mobility with encouragement;
C1+, C1– – clockwise and counterclockwise mobility with pain;
b – zones of sensation in position 2;
c – consecutive clockwise (R) and counterclockwise (L) bending of the neck from the initial position 1 to positions 2, 3, 4 [36]

Следующий шаг в превращении аутогенной терапии в успешную методологию сделала д-р Любинская, сформулировавшая правило под названием «право на самовнушение» [40]. Это предварительное условие, которому должен соответствовать человек для достижения желаемых результатов. Например, если есть стремление восстановить жизненную энергию, самовнушение «Я чувствую себя более энергичным и менее уставшим» будет работать только в том случае, если человек готов оздоровить свой образ жизни, привычки в еде и т. д.

Для всех саномеханических упражнений мы будем вызывать образ скелета с синовиальной жидкостью, просачивающейся между поверхностями костей и надкостницей. В сочетании с критерием правильности упражнения это даст нам право на формулу самовнушения: «Мой скелет полностью погружен в поднадкостничную жидкостью».

Саномеханическая техника и самовнушение будут рекомендованы к использованию в целенаправленной тренировке комплекса рекомендованных упражнений, постепенно включая широкие приседания, выпады, продольный и поперечный шпагат.

Упражнения следует выполнять на коленях. Начинать занятия следует с разрешения врача до первичной ампутации, если она плановая, и после нее. При ампутации в результате травмы упражнения следует начинать одновременно с началом реабилитационной терапии. Это позволит создать условия для более безболезненного и безопасного освоения передвижения на протезе.

Саномеханическа с ее критерием правильности также может быть рекомендована к использованию в уже существующих реабилитатционных методиках.

2.1.3. Пример саномеханического упражнения

Пример саномеханического упражнения представлен на рисунке 5. Серия (R) показывает циклы сгибания из нейтрального положения (1) вправо (2, 3, 4). Серия (L) показывает наклоны головы из нейтрального положения влево. Все циклы должны выполняться медленно, без какого-либо напряжения, чтобы максимально увеличить их положительные эффекты (безболезненное увеличение диапазона движений в суставе) и минимизировать возможные риски (растяжение мышц).

1. Дайте себе отчет, что данное положение (R1) головы не генерирует ни сигнала удовольствия, ни неудовольствия.

2. Скажите себе: «Я собираюсь наклонить голову вправо так медленно, чтобы случайный наблюдатель это заметил не сразу», «Я перестану наклонять голову и медленно вернусь в предыдущее положение, если возникнет чувство неудовольствия или боли», «Я остановлю движение наклона, когда возникнет ощущение удовольствия, и буду оставаться в этом положении, пока чувство удовольствия не исчезнет. Затем я продолжу (R2) или вернусь в нейтральное положение». Обычно, приятное ощущение длится не более 20-30 секунд и затем исчезает. Если держать позу дольше, начинает развиваться чувство дискомфорта, которое служит убедительным сигналом вернуться в исходное положение и сделать небольшую паузу. небольшой паузу.

3. Вы можете выполнить все позиции 2, 3, 4 или вернуться в нейтральную позицию 1 в зависимости от ощущений.

4. Повторите шаги 1–4 для наклона влево (L).

Результаты / Results

Предполагается, что поддержание / восстановление передачи давления между суставными капсулами является необходимым компонентом предотвращения перегрузки суставных хрящей, возникающей во время пользования протезом после односторонней ампутации. Хотя проблема защиты суставов от перегрузок стоит и успешно решается известными системами физического и психофизического совершенствования в спорте, балете и боевых искусствах, прямое применение данных систем в клинике протезирования неперспективно. Во-первых, времени на их освоение требуется существенно больше, чем располагает практика реабилитации. Также анализ существующих систем показывает, что им не хватает объективного понимания физиологического механизма их успеха или неудачи в тренировке. Вместо этого ученикам предлагаются туманные, зачастую мистические, объяснения и инструкции, выполняющие роль естественного фильтра для выявления будущих мастеров-профессионалов, способных упорными многолетними тренировками, зачастую сопровождаемыми травмами, интуитивно нащупать путь к успеху.

Определенный вклад в такое понимание был сделан путем демонстрации поднадкостничной передачи давления между суставами [13]. Это увеличивает безопасность хрящей во время антигравитационной амортизации нагрузок, связанных с передвижением и рискованными невольными двигательными маневрами на протезе. Визуализация этой концепции была предложена в данной работе для обучения системе Саномеханики с целью профилактики посттравматического остеоартрита в клинике протезирования.

Заключение / Conclusion

Предложен для обсуждения и проверки дополнительный элемент реабилитационных мероприятий в клинике протезирования, состоящий в психофизической тренировке системы «внутренний гидравлический экзоскелетон». Метод включает упражнения для снижения внутрисуставных давлений путем поддержания и восстановления гидростатической передачи и распределения давлений в поднадкостничном слое между тазом и конечностями и между тазом и позвоночником.

Необходимы дальнейшие исследования для оценки эффективности восстановления и поддержания системы ВГЭ в системе реабилитационных методик после односторонней ампутации нижней конечности.

Этика публикации / Publication ethics. Все данные являются реальными и подлинными; представленная статья ранее опубликована не была; все заимствования корректны.

Конфликт интересов / Conflict of interest. Информация о конфликте интересов отсутствует.

Источник финансирования / Source of financing. Это исследование частично финансировалось Национальным институтом здоровья США (номер гранта: R44HD057492).

Funding. This study was funded in part by the US National Institutes of Health (grant number: R44HD057492).

Литература

1. Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, Lozano R, Michaud C, Ezzati M, Shibuya K, Salomon J.A, Abdalla S, Aboyans V. Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. The lancet. 2012;380(9859): 2163-96.
2. Struyf PA, Heugten CM van, Hitters MW, Smeets RJ. The prevalence of osteoarthritis of the intact hip and knee among traumatic leg amputees. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2009;90(3):440-6.
3. Burke M, Roman V, Wright V. Bone and joint changes in lower limb amputees. Annals of the rheumatic diseases. 1978;37(3):252-4.
4 Esquenazi A, Geriatric amputee rehabilitation. Clinics in geriatric medicine; 1993;9(4):731-43.
5. Kohn MD, Sassoon AA, Fernando ND. Classifications in brief: Kellgren-Lawrence classification of osteoarthritis. Springer, 2016.
6. Смирнова Л.М. Биомеханические показатели перегрузки сохранной конечности у пациентов с ампутацией голени, бедра или вычленением в тазобедренном суставе, Гений Ортопедии. 2018. 24(1). С. 50-56.
7. Lew HL, Otis JD., Tun C, Kerns RD, Clark ME, Cifu DX. Prevalence of chronic pain, posttraumatic stress disorder, and persistent postconcussive symptoms in OIF/OEF veterans: polytrauma clinical triad. J Rehabil Res Dev. 2009;46(6):697-702.
8. Clark ME, Walker R., Gironda RJ, Scholten JD. Comparison of pain and emotional symptoms in soldiers with polytrauma: unique aspects of blast exposure. Pain medicine (Malden, Mass.). 2009;10(3):447-55.
9. Dominick KL, Golightly YM, Jackson GL. Arthritis prevalence and symptoms among US non-veterans, veterans, and veterans receiving Department of Veterans Affairs Healthcare. The Journal of rheumatology. 2006;33(2):348-54.
10. Rivera JC, Wenke JC, Buckwalter JA, Ficke JR, Johnson AE. Posttraumatic osteoarthritis caused by battlefield injuries: the primary source of disability in warriors. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2013;20(suppl):S64-S69.
11. Питкин М. Обнаружение передачи внутрисуставного давления от одного колена к другому как подтверждение теории о наличии физиологической системы «внутренний гидравлический экзоскелетон», предохраняющей суставные хрящи от перегрузки // Физическая и реабилитационная медицина. 2020.2(4). С. 8-19. DOI: 10.26211/2658-4522-2020-2-4-8-19.
12. Pitkin M. New Training System Based on the Discovery of Subperiosteal Transmission of Pressures Between Joint Capsules. Mil Med. 2021;186(S_1):814819. Available from: https://doi.org/10.1093/milmed/ usaa476. PMID: 33499550.
13. Pitkin M, Cassidy C, Muppavarapu R, Pitkin E. Subperiosteal Transmission of Intra-Articular Pressure Between Articulated and Stationary Joints, Nature. Scientific Reports. 2015:8103. Available from: https://www.nature.com/articles/srep08103. DOI:10.1038/srep08103.
14. Pitkin M. Biomechanics for Life. Introduction to Sanomechanics. Heidelberg, Dondrecht, London, New York: Springer, 2011. Available from: http://www.springer.com/medicine/orthop edic s/book/978-3-642-17176-5.
15. Schiffman JM, Gregorczyk KN, Bensel CK., Hasselquist L, Obusek JP. The effects of a lower body exoskeleton load carriage assistive device on limits of stability and postural sway. Ergonomics. 2008;51(10):1515-29.
16. Hill D, Holloway CS, Ramirez DZM, Smitham P, Pappas Y. What are user perspectives of exoskeleton technology? A literature review, 2017.
17. Pitkin M. New Training System - Sanomechanics - Based on the Discovery of Subperiosteal Transmission of Pressures Between Joint Capsules. Military Health System Research Symposium. MHSRS-19-00181. Kissime, FL, 2019:182.
18. Greene WB, Netter FH. Netter's orthopaedics, 1st ed. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier, 2006.
19. Dwek JR. The periosteum: what is it, where is it, and what mimics it in its absence? Skeletal radiology. 2010;39(4):319-323.
20. Duhamel HL. Sur le developpement et la crue des os des animaux, Mem Acad R Sci. 55(1742):354-370.
21. Bilkay U, Tokat C, Helvaci E, Ozek C, Zekioglu O, Onat T, Songur E. Osteogenic capacities of tibial and cranial periosteum: a biochemical and histologic study. J Craniofac Surg. 2008;19(2):453-8.
22. Carpenter RD, Carter DR. The mechanobiological effects of periosteal surface loads. Biomech Model Mechanobiol. 20087(3):227-42.
23. Балабанова Р.М. Энтезиты: диагностика, лечение. РМЖ. 2021;11:538.
24. Benjamin M, Kumai T, Milz S, Boszczyk BM, Boszczyk AA, Ralphs JR. The skeletal attachment of tendons-- tendon «entheses». Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 2002. 133(4). С. 931-45.
25. Lu HH, Thomopoulos S. Functional attachment of soft tissues to bone: development, healing, and tissue engineering. Annu Rev Biomed Eng. 2013;15:201-26.

26. Benjamin M, Moriggl B, Brenner E, Emery P, McGonagle D, Redman S. The “enthesis organ” concept: why enthesopathies may not present as focal insertional disorders. Arthritis & Rheumatism. 2004;50(10):3306-13.
27. Slobodin G, Rozenbaum M, Boulman N, Rosner I. Varied presentations of thesopathy. Seminars in arthritis and rheumatism. Elsevier. 2007:119-26.
28. Tan A.L, Grainger A.J, Tanner SF, Shelley DM, Pease C, Emery P, McGonagle D. High-resolution magnetic resonance imaging for the assessment of hand osteoarthritis. Arthritis Rheum. 2005;52(8):2355-65.
29. Hunter DJ. Insights from imaging on the epidemiology and pathophysiology of osteoarthritis, Radiologic Clinics. 2009;47(4):539-51.
30. Brandt K, Radin E, Dieppe P, Van De Putte L. Yet more evidence that osteoarthritis is not a cartilage disease. BMJ Publishing Group Ltd, 2006.
31. Rogers J, Shepstone L, Dieppe P. Is osteoarthritis a systemic disorder of bone? Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology. 2004;50(2):452-7.
32. Dorfl J. Migration of tendinous insertions. I. Cause and mechanism. J Anat. 1980;131(Pt 1):179-95.
33. McBride SH, Evans SF, Knothe ML. Tate, Anisotropic mechanical properties of ovine femoral periosteum and the effects of cryopreservation. J Biomech. 2011;44(10):1954-9.
34. Reid H, Wood S. Achilles Tendinopathy: Advice and Management. Oxford University Hospitals NHS Foundation Trust, 2015. Available from: https://www.ouh.nhs.uk/patient-guide/leaflets/files/11924Ptendinopathy.pdf
35. Дешикачар Т. Сердце йоги (совершенствование индивидуальной практики). Москва: София. 2003.
36. Pitkin M. Sanomechanics. In: Biomechanics for Life. Introduction to Sanomechanics. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2011:25-36.
37. Freud S. Introductory lectures on psycho-analysis: a course of twenty eight lectures delivered at the University of Vienna. Rev. ed. London: Allen & Unwin, 1929.
38. Coue Ё. How to practice suggestion and autosuggestion. New York: American library service, 1923.
39. Luthe W, Schultz JH. Autogenic therapy. New York: Grune & Stratton, 1969.
40. Любинская С.М. От заикания к свободной речи. М.: Просвещение, 1970.

References

1. Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, Lozano R, Michaud C, Ezzati M, Shibuya K, Salomon J.A, Abdalla S, Aboyans V. Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. The lancet. 2012;380(9859):2163-96.
2. Struyf PA, Heugten CM van, Hitters MW, Smeets RJ. The prevalence of osteoarthritis of the intact hip and knee among traumatic leg amputees. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2009;90(3):440-6.
3. Burke M, Roman V, Wright V. Bone and joint changes in lower limb amputees. Annals of the rheumatic diseases. 1978;37(3):252-4.
4. Esquenazi A, Geriatric amputee rehabilitation. Clinics in geriatric medicine 1993;9(4):731-43.
5. Kohn MD, Sassoon AA, Fernando ND. Classifications in brief: Kellgren-Lawrence classification of osteoarthritis. Springer, 2016.
6. Smirnova LM. Biomekhanicheskie pokazateli peregruzki sohrannoj konechnosti u pacientov s amputaciej goleni, bedra ili vychleneniem v tazobedrennom sustave [Biomechanical indicators of the overload of the preserved limb in patients with amputation of the lower leg, hip or hip joint]. Genij Ortopedii [The genius of Orthopedics]. 2018;24(1):50-6. (In Russian).
7. Lew HL, Otis JD., Tun C, Kerns RD, Clark ME, Cifu DX. Prevalence of chronic pain, posttraumatic stress disorder, and persistent postconcussive symptoms in OIF/OEF veterans: polytrauma clinical triad. J Rehabil Res Dev. 2009;46(6):697-702.
8. Clark ME, Walker R., Gironda RJ, Scholten JD. Comparison of pain and emotional symptoms in soldiers with polytrauma: unique aspects of blast exposure. Pain medicine (Malden, Mass.). 2009;10(3):447-55.
9. Dominick KL, Golightly YM, Jackson GL. Arthritis prevalence and symptoms among US non-veterans, veterans, and veterans receiving Department of Veterans Affairs Healthcare.The Journal of rheumatology. 2006;33(2):348-54.
10. Rivera JC, Wenke JC, Buckwalter JA, Ficke JR, Johnson AE. Posttraumatic osteoarthritis caused by battlefield injuries: the primary source of disability in warriors. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2013;20(suppl):S64-S69.
11. Pitkin MR. Teoriya vnutrennego gidravlicheskogo ezoskeletona i sistema Sanomekhanika (Sanomechanics®) v primenenii k profilaktike osteoartrita posle odnostoronnej amputacii nizhnej konechnosti [Detection of Intra-Articular Pressure Transmission Between Knees: A Confirmation of the “Internal Hydraulic Exoskeleton” System That Protects Articular Cartilage from Overloading]. Fizicheskaya i reabilitacionnaya medicina. [Physkal and Rehabilitation Medicine]. 2020;2(4):8-19. DOI: 10.26211/2658-4522- 2020-2-4-8-19 (In Russian).
12. Pitkin M. New Training System Based on the Discovery of Subperiosteal Transmission of Pressures Between Joint Capsules. Mil Med. 2021;186(S_1):814819. Available from: https://doi.org/10.1093/milmed/ usaa476. PMID: 33499550.
13. Pitkin M, Cassidy C, Muppavarapu R, Pitkin E. Subperiosteal Transmission of Intra-Articular Pressure Between Articulated and Stationary Joints, Nature. Scientific Reports. 2015:8103. Available from: https://www.nature. com/articles/srep08103. DOI: 10.1038/srep08103.
14. Pitkin M. Biomechanics for Life. Introduction to Sanomechanics. Heidelberg, Dondrecht, London, New York: Springer, 2011. Available from: http://www.springer. com/medicine/orthop edic s/ book/978-3-642-17176-5.
15. Schiffman JM, Gregorczyk KN, Bensel CK., Hasselquist L, Obusek JP. The effects of a lower body exoskeleton load carriage assistive device on limits of stability and postural sway. Ergonomics. 2008;51(10):1515-29.
16. Hill D, Holloway CS, Ramirez DZM, Smitham P, Pappas Y. What are user perspectives of exoskeleton technology? A literature review, 2017.
17. Pitkin M. New Training System - Sanomechanics - Based on the Discovery of Subperiosteal Transmission of Pressures Between Joint Capsules. Military Health System Research Symposium. MHSRS-19-00181. Kissime, FL, 2019:182.
18. Greene WB, Netter FH. Netter’s orthopaedics, 1st ed. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier, 2006.
19. Dwek JR. The periosteum: what is it, where is it, and what mimics it in its absence? Skeletal radiology. 2010;39(4):319-323.

20. Duhamel HL. Sur le developpement et la crue des os des animaux, Mem Acad R Sci. 55(1742):354-370.
21. Bilkay U, Tokat C, Helvaci E, Ozek C, Zekioglu O, Onat T, Songur E. Osteogenic capacities of tibial and cranial periosteum: a biochemical and histologic study. J Craniofac Surg. 2008;19(2):453-8.
22. Carpenter RD, Carter DR. The mechanobiological effects of periosteal surface loads. Biomech Model Mechanobiol. 20087(3):227-42.
23. Balabanova RM. Entezity: diagnostika, lechenie [Enteritis: diagnosis, treatment]. RMZh [Russian Medical Journal]. 2021;11:538 (In Russian).
24. Benjamin M, Kumai T, Milz S, Boszczyk BM, Boszczyk AA, Ralphs JR. The skeletal attachment of tendons--tendon «entheses». Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol. 2002;133(4):931-45.
25. Lu HH, Thomopoulos S. Functional attachment of soft tissues to bone: development, healing, and tissue engineering. Annu Rev Biomed Eng. 2013;15: 201-26.
26. Benjamin M, Moriggl B, Brenner E, Emery P, McGonagle D, Redman S. The "enthesis organ" concept: why enthesopathies may not present as focal insertional disorders. Arthritis & Rheumatism. 2004;50(10): 3306-13.
27. Slobodin G, Rozenbaum M, Boulman N, Rosner I. Varied presentations of thesopathy. Seminars in arthritis and rheumatism. Elsevier. 2007:119-26.
28. Tan AL, Grainger AJ, Tanner SF, Shelley DM, Pease C, Emery P, McGonagle D. High-resolution magnetic resonance imaging for the assessment of hand osteoarthritis. Arthritis Rheum. 2005;52(8):2355-65.
29. Hunter DJ. Insights from imaging on the epidemiology and pathophysiology of osteoarthritis, Radiologic Clinics. 2009;47(4):539-51.
30. Brandt K, Radin E, Dieppe P, Van De Putte L. Yet more evidence that osteoarthritis is not a cartilage disease. BMJ Publishing Group Ltd, 2006.
31. Rogers J, Shepstone L, Dieppe P. Is osteoarthritis a systemic disorder of bone? Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology. 2004;50(2):452-7.
32. Dorfl J. Migration of tendinous insertions. I. Cause and mechanism. J Anat. 1980;131(Pt 1):179-95.
33. McBride SH, Evans SF, Knothe ML. Tate, Anisotropic mechanical properties of ovine femoral periosteum and the effects of cryopreservation. J Biomech. 2011;44(10):1954-9.
34. Reid H, Wood S. Achilles Tendinopathy: Advice and Management. Oxford University Hospitals NHS Foundation Trust, 2015. Available from: https://www.ouh.nhs.uk/patient-guide/leaflets/files/11924Ptendinopathy.pdf
35. Deshikachar T. Serdce jogi (sovershenstvovanie individual'noj praktiki), [The Heart of Yoga (improving individual practice)]. M.: Sofiya [Moscow: Sofia], 2003 (In Russian).
36. Pitkin M. Sanomechanics. In: Biomechanics for Life. Introduction to Sanomechanics. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer, 2011:25-36.
37. Freud S. Introductory lectures on psycho-analysis: a course of twenty eight lectures delivered at the University of Vienna. Rev. ed. London: Allen & Unwin, 1929.
38. Coue Ë. How to practice suggestion and autosuggestion. New York: American library service, 1923.
39. Luthe W, Schultz JH. Autogenic therapy. New York: Grune & Stratton, 1969.
40. Lyubinskaya SM. Ot zaikaniya k svobodnoj rechi [From stuttering to free speech]. M.: Prosveshchenie [Moscow: Education]. 1970. (In Russian).

Рукопись поступила / Received: 26.02.2021
Принята в печать / Accepted for publication: 17.03.2021

Автор

Питкин Марк Рафаилович — доктор технических наук, профессор Тафтского университета, Бостон, MA 02111, США. Тел.: 617-636-7000, e-mail: mpitkin@tuftsmedicalcenter.org

Author

Prof. Pitkin, M.R. Dr. Tech. Sci. Tufts University, Boston, MA 02111, USA. Phone 617-636-7000, e-mail: mpitkin@tuftsmedicalcenter.org