Kohut I, Marynych V, Bekar S. Status and prospects of prosthetic systems usage in adaptive physical culture Theory and Methods of Physical education and sports. 2019; 2: 50-56
DOI:10.32652/tmfvs.2019.2.50-56

Когут І, Маринич В, Бекар С. Стан та перспективи застосування протезних систем у адаптивній фізичній культурі. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 2019;2: 50-56
DOI:10.32652/tmfvs.2019.2.50-56

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОТЕЗНИХ СИСТЕМ У АДАПТИВНІЙ ФІЗИЧНІЙ КУЛЬТУРІ

Ірина Когут, Вікторія Маринич, Сергій Бекар

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Анотація. Досліджено сучасні технології протезування кінцівок у сфері адаптивної фізичної культури серед осіб з ураженнями опорно-рухового апарату. *Мета.* Узагальнення шляхів розвитку та застосування протезних систем в адаптивній фізичній культурі. *Методи.* Аналіз, синтез, порівняння, узагальнення літературних, науково-теоретичних та інформаційних джерел, аналіз відеоматеріалів. *Результати.* На сьогодні з підвищенням рівня індустріалізації, напруження геополітичної ситуації, що призводить до військових протистоянь, зростає кількість людей з ампутаціями. Протезування є актуальним і перспективним питанням з точки зору реабілітації людей з ампутаціями кінцівок та адаптації їх до соціального середовища. У сфері адаптивної фізичної культури можна виділити альпінізм, оскільки в ньому є можливість застосування різноманітних протезних систем залежно від кліматичних умов та поставлених перед альпіністом завдань. Завдяки цьому є можливість дослідити різноманітні протезні системи та визначити ключові недоліки і переваги кожної з них. Важливо відмітити, що, враховуючи специфіку скелелазіння, альпіністи власноруч виготовляють або модернізують протезні системи для їх відповідності до нагальних потреб і кліматичних умов. У результаті дослідження можна виділити біонічні протезні системи, що здатні відтворювати найбільший спектр рухових дій і взаємодіяти з нервовою системою людини. Подальше удосконалення цих систем є одним із нагальних питань розвитку сфери протезування кінцівок.

Узагальнюючи досліджену інформацію, можна констатувати, що використання протезних систем у сфері адаптивної фізичної культури дає поштовх до їх подальшого удосконалення та впровадження в інші сфери життєдіяльності людини.

Ключові слова: адаптивна фізична культура, альпінізм, протезування, біонічні протезні системи, ампутації, реабілітація.

Iryna Kohut, Viktoriia Marynych, Serhii Bekar

STATUS AND PROSPECTS OF PROSTHETIC SYSTEMS USAGE IN ADAPTIVE PHYSICAL CULTURE

Abstract. Modern technologies of limb prosthetics in the field of adaptive physical culture among patients with locomotorium disorders have been investigated. *Objective.* Generalization of ways of development and application of prosthetic systems in adaptive physical culture. *Methods.* Analysis, synthesis, comparison, generalization of literary, scientific-theoretical and informational sources, analysis of video materials. *Results.* Today, with the increase of industrialization level, the tension of the geopolitical situation, which leads to military confrontation, the number of people with amputations tends to increase. Prosthetics is a topical and promising issue in terms of rehabilitation of people with limb amputations and their adaptation to the social environment. In the field of adaptive physical culture one may outline the mountaineering, since it offers the possibility of applying various prosthetic systems depending on climatic conditions and tasks set before the climber. This allows to explore a variety of prosthetic systems and determine the key drawbacks and benefits of each. It is important to note that, taking into account the specificity of climbing, mountaineers themselves make or upgrade prosthetic systems to suit their urgent needs and climatic conditions. As a result of the study, one can distinguish bionic prosthetic systems that are able to reproduce the largest range of motor actions and interact with the human nervous system. Further improvement of these systems is one of the pressing issues in the development of the prosthetic limb.

Summarizing the information studied, it can be stated that the use of prosthetic systems in the field of adaptive physical culture gives impetus to their further improvement and introduction into other spheres of human activity.

Keywords: adaptive physical culture, mountaineering, prosthetics, bionic prosthetic systems, amputations, rehabilitation.

© Ірина Когут, Вікторія Маринич, Сергій Бекар, 2019

Вступ. Із розвитком і поширенням протезних систем сьогодні особи з ампутаціями мають змогу не тільки частково відновлювати рухові функції утрачених кінцівок, а й займатися фізичною культурою й активним відпочинком. Для участі осіб з інвалідністю у спорті вищих досягнень (Паралімпійські ігри, Дефлімпійські ігри) від протезних систем вимагається максимальна простота, надійність, висока ефективність певних рухових дій для високої результативності у спортивних дисциплінах. Протезні системи, що використовують для активного дозвілля, можуть бути різноманітними і не мати конкретних вимог до їхньої конструкції і функціонального призначення.

Сьогодні питання протезування розглядається в провідних медичних та технологічних центрах США, Японії, Німеччини, Великої Британії, Італії тощо. Такі фірми, як OttoBock, RLCSteeper, Ossur займаються поширенням, встановленням та обслуговуванням різноманітних протезних систем у всьому світі. Питання щодо вдосконалення протезних систем та їх використання у спортивній діяльності досліджують багато провідних спеціалістів світу [17, 19].

Протезування є актуальним і перспективним питанням з точки зору реабілітації людей з ампутаціями кінцівок та адаптації їх у соціумі, тому постає необхідність дослідження можливостей застосування протезних систем у фізичній культурі і спорті.

Роботу виконано відповідно до тематичного плану НУФВСУ за темою 1.7 «Організаційно-методичні основи розвитку адаптивного спорту» (номер держреєстрації 0116U001613). Роль авторів полягає в удосконаленні науково-методичних засад розвитку адаптивного спорту та системи протезування в Україні.

Мета дослідження – узагальнення шляхів розвитку та застосування протезних систем в адаптивній фізичній культурі.

Методи дослідження: аналіз, синтез, порівняння, узагальнення літературних, науково-теоретичних та інформаційних джерел; аналіз відеоматеріалів.

Результати дослідження та їх обговорення. Сучасні протези використовують спортсмени з ампутаціями для занять серфінгом, танцями, альпінізмом, боулінгом, парапланеризмом та іншими видами спорту. Особливе місце посідає альпінізм, тому що велика кількість осіб з ампутаціями займаються цим видом спорту. Оскільки спортсмени під час занять можуть перебувати в різноманітних кліматичних умовах, а піднімання в гори буває різним (сніг, каміння, лід, пісчаник тощо), то альпіністи з ампутаціями можуть застосовувати різні протезні системи та змінні елементи для зручності пересування, яких нині розроблено велику кількість [2, 3, 8, 9].

Аналіз літературних джерел, в яких розглянуто, використання цих засобів в адаптивній фізичній культурі, дозволив узагальнити різновиди протезних систем та змінних елементів, що використовуються спортсменами з ампутаціями верхніх та нижніх кінцівок [10]. У даній статті ми розглянули існуючі протезні системи, що використовують спортсмени з ампутаціями, які займаються альпінізмом.

Американець Хью Герр під час одного з підйомів на гору отримав обмороження нижніх кінцівок, що призвело до їх ампутації нижче коліна. Для скелелазіння він застосовує протези, які складаються із карбонової гільзи (прийомник культі) та металевої гомілки зі спеціальною ступнею (рис. 1). Цей протез дозволяє займатися скелелазінням без будь-яких перешкод. В одному з інтерв'ю Хью Герр, відповідаючи на запитання про його заняття альпінізмом із протезами, сказав: «Протези жодним чином мене не обмежують. Навіть навпаки, вони не стомлюються, як звичайна нога, а можуть те саме» [11, 12].

Унаслідок нещасного випадку у Великому Каньйоні інший американський спортсмен – Арон Ралстон – втратив праву руку. Займаючись альпінізмом, застосовує спеціальний протез для верхньої кінцівки, який складається із карбонової гільзи та кріплення для змінних елементів, таких як гаки, захвати, альпіністські гаки або льодоруби (рис. 2). Протез дозволяє особі з ампутаціями вільно займатися спортом, проте недоліком його є те, що залежно від конфігурації, надається певний руховий спектр і є лише одна рука для маніпуляцій з альпіністським спорядженням. Але позитивним є те, що кінцівка дозволяє спортсмену перебувати в підвішеному стані довше, оскільки вона не

Рисунок 1 – Хью Герр

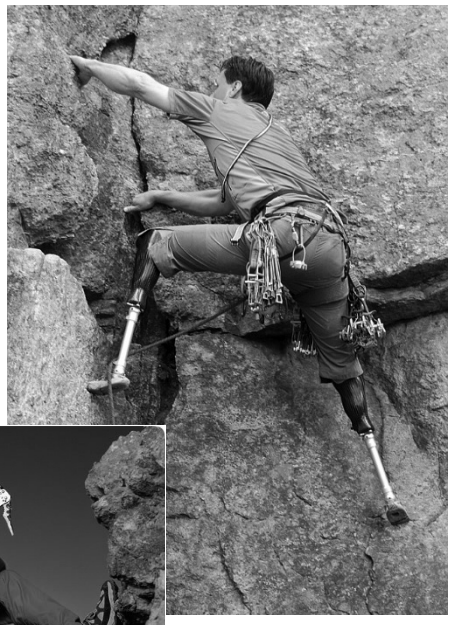

Рисунок 2 – Арон Ралстон

Рисунок 3 – Золтан Еросс

Рисунок 4 – Кайл Мейнард

стомлюється, а змінні частини можна швидко замінити навіть під час сходження.

Стівен Балл отримав ураження верхніх кінцівок під час підйому на гору Деналі у США. В результаті ліва рука була ампутована, а на правій було видалено чотири пальці. Після довгого процесу реабілітації та звикання до протезів він самостійно виготовив власні. Взявши за основу карбонову гільзу, модифікував її для кріплення льодорубів або інших подібних інструментів. Перевагами таких протезних систем є легкість у застосуванні і можливість різноманітних модифікацій, проте неможливість взаємодії з іншим альпіністським спорядженням є головним недоліком [9, 21].

Золтан Еросс – альпініст із Угорщини – втратив праву ногу вище коліна унаслідок сходу лавини у Високих Татрах. Під час підйомів на Еверест, а також на інші гори висотою понад 8000 м застосовував протез, що складається із карбонової гільзи та модифікованої гомілково-ступневої лопаті. На лопать закріплено спеціальну підошву, на якій знаходяться снігозачепи та «кігті» (рис. 3). Такий протез дозволяє займатися альпінізмом в місцях, покритих снігом та льодом. Він має переваги над протезними системами, представленими вище, проте обмежує рухи ноги, оскільки у спортсмена ампутація вище коліна, а протез не має колінно-суглобового модуля, і, як наслідок, нога з протезом завжди пряма.

Марк Інгліс втратив обидві ноги нижче коліна. Для занять альпінізмом виготовив для себе протези із вуглеводного волокна, що складаються із гільзи, вуглеводної трубки та армованої ступні із снігозачепами та «кігтями» для пересування по засніженій місцевості та льоду. Цей протез має всі переваги над протезом Золтана Ерosса, оскільки ступня і гільза з'єднані через карбонову трубку, а не через гомілково-ступневу лопать, то можна модифікувати його довжину, замінивши трубку, не вносячи зміни в конструкцію протеза [6].

Кайл Мейнард народився із вадами усіх кінцівок. У нього відсутні нижні кінцівки нижче коліна та повністю – верхні кінцівки. Для скелелазіння він застосовує спеціальні протези, які складаються лише з гільзи, поверхня якої виготовлена із нековзаючого матеріалу та спеціальних зачепів (рис. 4). Перевагами такого протеза є його простота, легкість та надійність, але його функціональні можливості дуже обмежені і не дозволяють вільно пересуватись на складній гірській місцевості [20].

Представлені приклади застосування протезів особами з ампутаціями, які займаються альпінізмом, демонструють різносторонність і унікальність протезних систем для кожного конкретного випадку. Враховуючи кліматичні умови та рельєф місцевості, можна застосовувати спеціальні ступні для пересування по снігу, льоду, камінні тощо, різноманітні захвати, кріплення, інструменти для полегшення і більш ефективного пересування. Ключовою особливістю протезів нижніх кінцівок є той факт, що через відсутність необхідності носіння взуття та зимового одягу знижується загальна вага нижньої частини тіла, що знижує навантаження на верхню частину. Для протезів верхніх кінцівок характерним є можливість одночасного застосування кількох змінних елементів, що збільшує їхні функціональні можливості [17].

Аналізуючи отриману інформацію, нами було виділено певні основні положення щодо протезних систем, які застосовують спортсмени для занять альпінізмом. Також було визначено основні переваги і недоліки, властиві протезним системам верхніх і нижніх кінцівок, котрі застосовуються для скелелазіння (табл. 1) [22].

Таблиця 1 – Застосування протезних систем для альпінізму

Протезні системи	Загальні аспекти	Переваги	Недоліки
Нижніх кінцівок	– можливість різнобічної модифікації відповідно до кліматичних умов та спрямованості занять; – збільшення тривалості підйомів внаслідок можливості закріплення протезів у статичних позах і часу відпочинку	– зменшення навантаження на верхню половину тіла внаслідок зменшення ваги; – можливість виконання більш тривалих підйомів; – відсутність негативного кліматичного впливу на кінцівки	– менший спектр виконуваних рухів і їх точність; – відсутність «відчуття» поверхні у кінцівках
Верхніх кінцівок	– зменшення негативного впливу на організм кліматичних умов	– можливість застосування одночасно кількох змінних елементів	– відсутня можливість взаємодії із іншим альпіністським спорядженням; – відсутність «відчуття» поверхні у кінцівках

Рисунок 5 – Troppman grip – протез для гольфу

Рисунок 6 – Функціональні пристрої

Окрім альпінізму, протезні системи застосовують і в інших видах рухової активності. Наприклад, існує протез, спеціально розроблений для гри у гольф – Troppman grip (рис. 5), який дозволяє особам з ампутаціями верхніх кінцівок повноцінно грати. Різноманітні протезні системи верхніх кінцівок дозволяють окрім повсякденної роботи вести активний спосіб життя, захвати або гаки, лопаті дозволяються грати у баскетбол, теніс, більярд, боулінг тощо, де є необхідність взаємодії з певним знаряддям або інвентарем [1].

Застосування функціональних пристроїв як одного із видів протезних систем є одним із найрозповсюдженіших для занять фізичною культурою та спортом. Спеціалізовані протези дозволяють займатися різноманітними видами діяльності, починаючи від забивання цвяхів за допомогою захватів для молотка до спеціальних лопатей для гри у баскетбол чи гандбол (рис. 6). Такі протези складаються із гільзи та спеціалізованого пристрою: лопаті, гака, захвату тощо, тому вони досить дешеві та дуже прості у виготовленні і використанні, що дозволяє широко їх застосовувати. Окрім повсякденного життя чи занять фізичною культурою такі протезні системи активно застосовуються для занять спортом вищих досягнень. Їх вузька спеціалізація дозволяє виконувати певні специфічні рухові дії швидко і чітко, що сприяє досягненню максимального результату. Тому можна стверджувати, що ця категорія протезних систем досить різностороння і має можливість бути застосованою у багатьох сферах діяльності людини [16].

Рисунок 7 – Протез Biom

Таблиця 2 – Переваги і недоліки протезних систем

Вид	Переваги	Недоліки
Механічні	– легкість виробництва; – простота застосування; – довгий строк експлуатації; – широкий вибір змінних елементів	– вузький спектр виконуваних функцій; – необхідність залучати здорову кінцівку для виконання руху чи певної дії; – невисока точність або швидкість виконання рухів
Пасивно-еластичні	– висока міцність і стійкість до спортивних навантажень; – висока швидкість пересування; – легкість; – простота виготовлення й обслуговування; – можливість застосування різних змінних запчастин для різноманітного функціонального застосування	– підвищені енерговитрати під час пересування за допомогою протеза; – вузька специфікація елементів протеза
Функціональні	– легкість і низька вартість виробництва; – простота застосування; – довгий строк експлуатації; – широкий вибір змінних елементів систем	– вузький спектр виконуваних функцій; – вузька специфікація елементів протеза; – для взаємодії з різними елементами необхідна заміна робочих компонентів протеза; – неможливість взаємодіяти зі складними системами (комп'ютер, телефон тощо)

Дослідивши технологічні особливості застосування протезних систем у адаптивній фізичній культурі, спорті, повсякденному житті, нами було визначено переваги і недоліки їх застосування. Особливості механічних, пасивно-еластичних протезних систем, функціональних пристроїв представлено у таблиці 2.

На особливу увагу заслуговують біонічні протезні системи, що сьогодні активно розробляються. Завдяки можливості відтворення широкого спектра рухів, сфера їх застосування є необмеженою, а завдяки технологіям і принципам роботи, можливості їх використання ще не розкриті в повному обсязі. Наприклад, протез Biom (рис. 7), розроблений американською фірмою Iwalk, дозволяє за рахунок взаємодії з нервовою системою людини та великого функціонального потенціалу не тільки вільно пересуватися, а й бігати, стрибати, танцювати. Також необхідно зазначити, що такий протез не тільки дозволяє виконувати великий спектр рухів, а й виконувати їх анатомічно і фізіологічно природно, порівняно з іншими класичними небіонічними протезними системами. Але є і недоліки таких систем, що обмежують їх використання: наявність електронних систем зумовлює необхідність їх постійного живлення та перезаряджання. Також це обумовлює неможливість їх застосування у водному середовищі і необхідність застосування захисних елементів від потрапляння води під час повсякденного використання [5, 7].

Слід згадати і про активний розвиток біонічного протезування верхніх кінцівок, що дозволяють особам з ампутаціями відновлювати утрачені рухові функції. Проте, порівняно з протезами нижніх кінцівок, перед ними стоїть завдання

відновлення не тільки функції переміщення кінцівки у просторі, а й пряма взаємодія із оточуючим середовищем. Необхідність не тільки створення системи рухових дій для пальців, а й можливість повного відтворення дій згідно з отриманими сигналами від центральної нервової системи, що є ключовим моментом для розробників [13, 14].

Одним із завдань для розробників біонічних протезів є створення системи отримання нервових імпульсів протезними системами та розробка й удосконалення систем відтворення рухів пальців, що дозволить ефективно взаємодіяти з телефонами, комп'ютерами, різноманітним канцелярським приладдям тощо. Тому одним із перспективних напрямів розвитку протезування є залучення біонічного протезування у спортивну діяльність, оскільки можливості даних видів протезів дозволяють застосовувати їх в усіх сферах діяльності. Однак такі протези потребують подальшого вдосконалення і ліквідації їх існуючих недоліків. Розглянемо переваги і недоліки біонічних видів протезів: [2, 4, 18, 19].

Переваги	Недоліки
– високий спектр рухів, що можна виконувати протезом; – ергономічність і естетичний зовнішній вигляд; – легкість і надійність протезів, хоч і мають в наявності електронні компоненти; – великий потенціал для удосконалення і розвитку як окремих протезних систем, так і сфери біонічного протезування в цілому; – взаємодія з нервовою системою людини дозволяє створювати протезні системи, що включають кілька суглобових модулів і частин кінцівок, і відновлювати рухові можливості цілих кінцівок; – порівняно з іншими протезними системами дають змогу відновлювати рухові функції в максимальному обсязі	– низька швидкість рухів чи затримка в їх виконанні, головною причиною є сама система зчитування сигналів нервової системи людини, котра потребує удосконалення; – наявність електронних компонентів потребує їх живлення і підзарядки його елементів чи їх заміни; – велика вартість виробництва і обслуговування протезних систем; – довгий період підготовки до використання й адаптації протезів до носія (2–3 міс.); – неможливість застосування у водному середовищі через наявність електронних компонентів

Біонічне протезування є дуже перспективним напрямом наукових розробок, що може позитивно вплинути на розвиток протезування в цілому та відновлення осіб з ампутаціями зокрема. Однак це потребує подальших досліджень, розробок, окрім спеціалізованих тестувань [3–5].

Дискусія. Досліджуючи протезні системи, що виготовляють і застосовують спортсмени у скелелазінні, можна говорити про їх високу ефективність, однак залучення фахових спеціалістів зі сфери протезування або використання різноманітних матеріалів дозволить покращити технічні показники протезних систем та підвищити їх діяльність.

Проаналізувавши сучасні різновиди протезних систем, можна стверджувати, що вони мають високу ефективність у сфері адаптивної фізичної культури, однак мають вузьку спеціалізацію і не дозволяють у повному обсязі відновити втрачені функції кінцівок, найбільш актуальним це питання є для протезів верхніх кінцівок. Останнім часом набувають поширення біонічні протезні системи, що дозволяють практично на 100 % відновити функції втрачених кінцівок, однак постає питання про можливість їх застосування широкими верствами населення. Покращення взаємодії протеза з нервовою системою та зниження вартості виробництва протезних систем є найбільш актуальним на сьогодні.

Висновки. Нині багато осіб з ампутаціями активно займаються альпінізмом і, як наслідок, існує велике різноманіття протезних систем, що використовуються спортсменами. Через особливості кліматичних умов і різновидів поверхонь під час занять альпінізмом спортсмени можуть застосовувати широкий спектр змінних елементів для протезів. Також альпіністи з ампутаціями мають змогу власноруч виготовляти та удосконалювати протезні системи відповідно до нагальних потреб.

Кожна із категорій протезних систем має певні відмінності від інших та ряд недоліків і переваг. Протезні системи є ефективним засобом відновлення рухових можливостей осіб з ампутаціями, тому активно застосовуються у фізичній культурі, спорті, активному відпочинку і для повсякденної діяльності. Досліджуючи сферу адаптивного спорту, було встановлено, що для змагальної діяльності спортсмени надають перевагу пасивно-еластичним протезам та функціональним пристроям.

Завдяки активному розвитку протезних систем є перспективи залучення біонічного протезування до адаптивної фізичної культури та адаптивного спорту. Ця категорія протезів взаємодіє з нервовою системою людини, тому має змогу відтворювати найбільший спектр рухів. Проте такі протези потребують подальшого дослідження й удосконалення, усунення певних недоліків, котрі перешкоджають їх успішному застосуванню у спортивних змаганнях.

Література

1. Бекар СВ, Когут ІО, Дев'ятаєва ОВ .Біонічні протезні системи, перспективи застосування в адаптивному спорті. Мат. X Міжнар. конф. «Молодь та олімпійський рух»; Київ; 2017. с. 202, 203.

2. Бекар СВ, Когут ІО, Маринич ВЛ. Сучасні протезні системи, переваги і недоліки для адаптивного спорту. Мат. XI Міжнар. конф. «Молодь та Олімпійський рух»; Київ; 2018.

3. Бекар С, Прокопенко А, Когут І, Маринич В. Застосування протезних систем у спорті (на прикладі альпінізму). XII Міжнар. інтернет-конференція «Спорт та сучасне суспільство». Київ; 2019.

4. Как работают бионические протезы. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.popmech.ru/technologies/235633-kak-rabotayut-bionicheskie-protezy/ (дата звернення 21.09.2017)

5. Когут ІО. Соціально-гуманістичні засади розвитку адаптивної фізичної культури в Україні: монографія. Львів: СПОЛОМ; 2015. 284 с.

6. Матвєєв СФ, Бріскін ЮА, Когут ІО та ін. Історичні, організаційні та соціальні аспекти розвитку спорту інвалідів: [навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів фіз. виховання і спорту]. Київ: Асконіт; 2011. 250 с.

7. Курдыбайло СФ, Щербина КК. Повышение эффективности реабилитации инвалидов вследствии боевых действий и военной травмы, перенесших ампутации конечностей. Санкт-Петербург: Человек и здоровье; 2006. 86 с.

8. Міжнародна виставка TED – технології, розваги, дизайн. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.ted.com/ (дата звернення 14.05.2018)

9. Фірми Biom і Bionxmed, загальна інформація. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.businesswire.com/news/home/20150928006599/en/BiOM%C2%AE-BionX%E2%84%A2 (дата звернення 11.08.2018)

10. Як розвивалися протези. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://habr.com/post/400695/ (дата звернення 11.08.2018)

11. Au SK & Herr H. 2006 Initial experimental study on dynamic interaction between an amputee and a powered ankle-foot prosthesis. Presented at Dyn. Walking: Mech. Control Hum. Robot. Locomotion, 6–8 May 2006, Ann Arbor, MI, USA.

12. Au SK & Herr HM. 2008 Powered ankle-foot prosthesis: the importance of series and parallel motor elasticity. IEEE Robot. Autom. Mag. 15: 52–59.

13. Donelan JM, Kram R & Kuo AD. 2002 Mechanical work for step-to-step transitions is a major determinant of the metabolic cost of human walking. J. Exp. Biol. 205: 3717–27.

14. Donelan JM, Kram R & Kuo AD. 2002 Simultaneous positive and negative external mechanical work in human walking. J. Biomech. 35; 117–124.

15. Eilenberg MF, Geyer H & Herr H. 2010 Control of a powered ankle-foot prosthesis based on a neuromuscular model. IEEE Trans. Neural Syst. Rehab. Eng. 18: 164–173.

16. Freedom innovations. Загальна інформація. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.freedom-innovations.com/the-company/ (дата звернення 17.06.2018)

17. Grabowski A, Farley C T & Kram R. 2005 Independent metabolic costs of supporting body weight and accelerating body mass during walking. J. Appl. Physiol. 98: 579–583.

18. Herr HM & Grabowski AM. Bionic leg normalizes walking gait Proc. R. Soc. B (2012).

19. Herr H, Weber J & Au SK. 2007 Powered ankle-foot prosthesis. In Proc. Biomech. Lower Limb Health, Dis. Rehabil., 3–5 September 2007, Manchester, UK, P. 72–74.

20. Hitt J, Bellman R, Holgate M, Sugar T & Hollander K. 2007 The sparky (spring ankle with regenerative kinetics) projects: design and analysis of a robotic transtibial prosthesis with regenerative kinetics. In Proc. ASME Int. Des. Eng. Tech. Conf., Las Vegas, NV, USA, P. 1587–1598.

21. Hof AL, Geelen BA & Vandenberg J. 1983 Calf muscle moment, work and efficiency in level walking: role of series elasticity. J. Biomech. 16, 523–537.

22. Hsu M J, Nielsen DH, Lin-Chan SJ & Shurr D. 2006 The effects of prosthetic foot design on physiologic measurements, self-selected walking velocity, and physical activity in people with transtibial amputation. Arch. Phys. Med. Rehabil. 87: 123–129.

Literature

1. Bekar SV, Kohut IO, Deviataieva OV. Bionic prosthetic systems, perspectives of application in adaptive sport. Mat. X Mizhnar. konf. «Molod ta olimpiyskyi rukh»; Kyiv. p. 202, 203.

2. Bekar SV, Kohut IO, Marynych VL. Modern prosthetic systems, pros and cons for adaptive sport. Mat. X Mizhnar. konf. «Molod ta olimpiyskyi rukh»; Kyiv; 2018.

3. Bekar S, Prokopenko A, Kohut I, Marynych V. «Use of prosthetic systems in sport (mountaineering). XII Mizhnar. internet-konferentsiia «Sport ta suchasne suspilstvo». Kyiv; 2019.

4. How do bionic prostheses work? [Electronic resource] Access mode: https://www.popmech.ru/technologies/235633-kak-rabotayut-bionicheskie-protezy/ (accessed date 21.09.2017)

5. Kohut IO. Socio-humanistic bases of adaptive physical culture development in Ukraine: monograph. Lviv: SPOLOM; 2015. 284 p.

6. Matveiev SF, Briskin IA, Kohut IO et al. Historical, organizational and social aspects of disabled sports development: [teaching huide for students of phys. cult. And sport institutions]. Kyiv: Askonit; 2011. 250 p.

7. Kurdybaylo SF, Shcherbina KK. Increase of rehabilitation efficiency of disabled people as a result of hostilities and military trauma with limb amputation. Saint Petersburg: Chelovek i zdorovye; 2006. 86 p.

8. International exhibition TED – technologies, entertainment, design. [Electronic resource] Access mode: https://www.ted.com/ (accessed date 14.05.2018)

9. Biom and Bionxmed firms, general information. [Electronic resource] Access mode: https://www.businesswire.com/news/home/20150928006599/en/BiOM%C2%AE-BionX%E2%84%A2 (accessed date 11.08.2018)

10. How did prostheses develop? [Electronic resource] Access mode: https://habr.com/post/400695/ (accessed date 11.08.2018)

11. Au SK & Herr H. 2006 Initial experimental study on dynamic interaction between an amputee and a powered ankle-foot prosthesis. Presented at Dyn. Walking: Mech. Control Hum. Robot. Locomotion, 6–8 May 2006, Ann Arbor, MI, USA.

12. Au SK & Herr HM. 2008 Powered ankle-foot prosthesis: the importance of series and parallel motor elasticity. IEEE Robot. Autom. Mag. 15: 52–59.

13. Donelan JM, Kram R & Kuo AD. 2002 Mechanical work for step-to-step transitions is a major determinant of the metabolic cost of human walking. J. Exp. Biol. 205: 3717–27.

14. Donelan JM, Kram R & Kuo AD. 2002 Simultaneous positive and negative external mechanical work in human walking. J. Biomech. 35; 117–124.

15. Eilenberg MF, Geyer H & Herr H. 2010 Control of a powered ankle-foot prosthesis based on a neuromuscular model. IEEE Trans. Neural Syst. Rehab. Eng. 18: 164–173.

16. Freedom innovations. General information. [Electronic resource] Access mode: http://www.freedom-innovations.com/the-company/ (дата звернення 17.06.2018)

17. Grabowski A, Farley C T & Kram R. 2005 Independent metabolic costs of supporting body weight and accelerating body mass during walking. J. Appl. Physiol. 98: 579–583.

18. Herr HM & Grabowski AM. Bionic leg normalizes walking gait Proc. R. Soc. B (2012).

19. Herr H, Weber J & Au SK. 2007 Powered ankle-foot prosthesis. In Proc. Biomech. Lower Limb Health, Dis. Rehabil., 3–5 September 2007, Manchester, UK, P. 72–74.

20. Hitt J, Bellman R, Holgate M, Sugar T & Hollander K. 2007 The sparky (spring ankle with regenerative kinetics) projects: design and analysis of a robotic transtibial prosthesis with regenerative kinetics. In Proc. ASME Int. Des. Eng. Tech. Conf., Las Vegas, NV, USA, P. 1587–1598.

21. Hof AL, Geelen BA & Vandenberg J. 1983 Calf muscle moment, work and efficiency in level walking: role of series elasticity. J. Biomech. 16, 523–537.

22. Hsu M J, Nielsen DH, Lin-Chan SJ & Shurr D. 2006 The effects of prosthetic foot design on physiologic measurements, self-selected walking velocity, and physical activity in people with transtibial amputation. Arch. Phys. Med. Rehabil. 87: 123–129.

Надійшла 20.08.2019

Інформація про авторів

Когут Ірина Олександрівна
https:orcid.org/0000-0002-8862-9545,
kogut_irina@ukr.net

Маринич Вікторія Леонідівна
https:orcid.org/0000-0003-2784-680X,
wikleon@ukr.net

Бекар Сергій Володимирович
https://orcid.org/0000-0002-2805-097X,
Bekar12sergey@gmail.com

Національний університет
фізичного виховання і спорту України
03150, Київ, вул. Фізкультури 1

Information about the authors

Kogut Iryna
https:orcid.org/0000-0002-8862-9545,
kogut_irina@ukr.net,

Marynych Viktoriia
https:orcid.org/0000-0003-2784-680X,
wikleon@ukr.net

Bekar Serhii
https://orcid.org/0000-0002-2805-097X,
Bekar12sergey@gmail.com

National University of Ukraine
on physical Education and sport
03150, Kyiv, Fizkul`tury str., 1