

Технології біомедицини у практиці спортивної травматології

УДК: 616.08059;796 (075.8)

М. М. Риган, О. О. Шматова, С. І. Лисюк, Т. В. Книш

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Резюме. Незважаючи на те що травми є частиною спорту, сьогодні вони стали серйозною проблемою через тривалий період відновлення, який гальмує або зовсім унеможливує демонстрацію вищих спортивних досягнень. Крім того, зниження рівня підготовленості для багатьох спортсменів є більш суттєвим ураженням, ніж процес отримання травми. У цьому випадку біомедичні та біотехнологічні науки є проблиском надії на скорочення процесу лікування та мінімізацію втрати працездатності при поверненні до професійного спортивного життя. *Мета.* Провести огляд та охарактеризувати доказово ефективні біомедичні технології, рекомендовані у практиці спортивної травматології. *Методи.* Аналіз і узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури; моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет; метод систематизації; контент-аналіз. *Результати.* Системний аналіз даних науково-методичної літератури та інформаційних джерел медичних баз мережі Інтернет дав можливість розкрити зміст та специфіку використання новітніх терапевтичних методів регенеративної медицини та біотехнологій для лікування спортивних травм. Огляд сучасних методів терапії уражень опорно-рухового апарату у практиці спортивної травматології показав, що основу цих процедур становлять комбінації скаффолдів, біологічно активних сполук і механізмів клітинної інженерії. Сьогодні ці методи представляють окремий напрям практичної медицини – регенеративну медицину, головна мета якої полягає в максимальному відновленні структур і функцій пошкоджених тканин та органів шляхом заміщення уражених ланок або стимуляції ендогенної регенеративної здатності самого організму, що дає змогу за мінімально короткий період часу значно покращити якість життя пацієнта. Окремо необхідно відзначити розвиток медичної техніки та її цифровізацію, що створює можливості для контактної або дистанційного контролю за процесами лікування і відновлення спортсменів безпосередньо під час терапевтичних занять, мінімізує ризики травматизму і повноцінно забезпечує профілактику тренувального процесу.

Ми віримо, що терапія, заснована на досягненнях сучасної біомедичної інженерії – це майбутнє вітчизняної спортивної травматології, яка потребує не просто підтримки коштами, а є механізмом залучення інвестицій для розвитку ринку послуг сфери спортивної індустрії, медичного туризму та громадського здоров'я в нашій країні і матиме широке практичне значення у процесі післявоєнного відновлення.

Ключові слова: спортивна травматологія, травми, спортсмен, біомедичні технології, регенеративна медицина, цифрові технології.

Biomedicine technologies in the practice of sports traumatology

M. M. Ryhan, O. O. Shmatova, S. I. Lysiuk, T. V. Knysh

National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Abstract. Although injuries are part of sports, they have become a serious issue today due to the long recovery periods that slow down or even make it impossible to demonstrate top sports performance. In addition, for many athletes, the decline in fitness is a more significant damage than the injury itself. In this case, biomedical and biotechnological sciences are a glimmer of hope for shortening the treatment process and minimizing disability when returning to professional sports life. *Objective.* To review and characterize evidence-based effective biomedical tech-

nologies recommended in the practice of sports traumatology. *Methods.* Analysis and synthesis of data of special scientific and methodical literature; monitoring of information resources on the Internet; systematization; and content analysis. *Results.* The systematic analysis of data from scientific and methodological literature and information sources of medical databases on the Internet made it possible to reveal the content and specifics of the use of the latest therapeutic methods of regenerative medicine and biotechnology for the treatment of sports injuries. A review of modern methods of treatment of musculoskeletal disorders in the practice of sports traumatology showed that these procedures are based on combinations of scaffolds, biologically active compounds, and mechanisms of cellular engineering. Today, these methods represent a separate area of practical medicine, i.e. regenerative medicine, the main goal of which is to maximize the restoration of structures and functions of damaged tissues and organs by replacing the affected links or stimulating the endogenous regenerative capacity of the body itself, which makes it possible to significantly improve the patient's quality of life in a short period of time. It should also be noted the development of medical equipment and its digitalization, which creates opportunities for contact or remote monitoring of the treatment and recovery of athletes directly during therapy sessions, minimizes the risk of injury and fully ensures injury prevention in the training process.

We believe that therapy based on the achievements of modern biomedical engineering is the future of domestic sports traumatology, which requires not only financial support, but is a mechanism for attracting investment for the development of the sports industry, medical tourism, and public health services market in our country and will have wide practical significance in the process of post-war recovery.

Keywords: sports traumatology, injuries, athlete, biomedical technologies, regenerative medicine, digital technologies.

Постановка проблеми. Проведене у 2018 р. Асоціацією спортивної медицини Сполучених штатів Америки аналітичне оцінювання практичних галузей видів власної доходної діяльності показала, що внесок спортивної травматології на той момент становив близько 490 млрд дол. США. Сьогодні він перевищив 500 млрд дол. США, продемонструвавши найвищі темпи приросту серед усіх галузей медицини із показником 4,3 % з 2014 р. [1, 10].

Перші три види спорту з найбільшою часткою доходного внеску в цьому секторі — це футбол (43 %), американський футбол (13 %) і бейсбол (12 %) [34]. У цих видах спорту ще десять років тому, за практики професійних команд і ліг, відсоток травмованих спортсменів мав пряму кореляцію із відсотком розірваних контрактів та звільнених спортсменів [4, 10].

Розвиток спортивної травматології й активне впровадження терапевтичних методів на основі технологій біомедицини замість традиційних методів лікування кардинально змінили ситуацію у бік суттєвого скорочення часу на саму терапію та реабілітацію і пришвидшення повернення до тренувань та змагальної діяльності (рис. 1) [2, 3].

Мета дослідження — провести огляд та доказово охарактеризувати ефективні біомедичні технології, рекомендовані у практиці спортивної травматології.

Методи дослідження: аналіз і узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури; моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет; метод систематизації; контент-аналіз.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз і узагальнення даних спеціальної науково-методичної літератури першочергово дозволили підкреслити актуальність питання цього дослідження через розробку і представлення інтеграційної моделі біомедичних технологій регенеративної та цифрової медицини у практиці спортивної травматології.

Моніторинг інформаційних ресурсів мережі Інтернет та метод систематизації дозволили охарактеризувати технології сучасної біомедицини як терапевтичні засоби спортивної травматології сьогодення.

Системний аналіз даних науково-методичної літератури та інформаційних джерел медичних баз мережі Інтернет дав можливість розкрити зміст та специфіку використання новітніх терапевтичних методів регенеративної медицини та біотехнологій для лікування спортивних травм [3].

Огляд сучасних методів терапії уражень опорно-рухового апарату (ОРА) у практиці спортивної травматології показав, що основу цих процедур становлять комбінації скаффолдів, біологічно-активних сполук і механізмів клітинної інженерії.

Травми спинного мозку. Спортивні травми сьогодні становлять близько 8 % загальної кількості травм спинного мозку, і вони займають четверте місце серед основних причин ураження хребта [24]. Рівень функціонального стресу і характер фізичного навантаження на хребет під час здійснення спортивної діяльності може спричинити широкий спектр уражень, включаючи вивих хребців шийного відділу, розтягнення



Рисунок 1 – Інтеграційна модель біомедичних технологій регенеративної та цифрової медицини у практиці спортивної травматології

або розриви м'яких тканин першочергово, звичайно, м'язів у грудному та поперековому відділах, компресійні та осколкові переломи [23]. Серед звичайних уражень хребта у спортсменів виокремлюють м'язові спазми, авульсивні переломи та грижі міжхребцевих дисків. Найвищий ризик ураження хребта належить таким видам спорту, як боротьба, регбі, дайвінг, стрибки з трампліна на лижах, стрибки у воду, гірський слалом, хокей та черлідінг [8].

Сучасні дослідження у галузі біомедичних технологій дали змогу виділити біомаркери системи крові для розрахунку ймовірності виникнення травми, ступеня її тяжкості, а також прогнозування та супроводу процесу відновлення спортсменів після неї. Цими маркерами було позначено нейрогліальний білок S100 та нейрон-специфічну енолазу – сполуки, що присутні у нервовій тканині й клітинах нейроендокринного походження і через власний рівень відмінно демонструють ступінь пошкодження аксонів. У практиці спортивної травматології ці маркери є базовими під час діагностики не тільки травм спинного, а й головного мозку у спортсменів—представників контактних видів спорту у ході обстеження після нокаутів та нокдаунів [33].

Потребує окремої уваги один із терапевтичних методів сучасної спортивної травматології – трансплантація стовбурових клітин. При травмах спинного мозку трансплантовані стовбурові клітини здатні сприяти реорганізації нейронних мереж, зменшенню системного або локального запалення, регенерації та нейропластичності аксонів, а також запобіганню виникнення гліальних рубців [16]. Сьогодні терапія стовбуровими клітинами набирає популярності серед спортсме-

нів-професіоналів та має неухильну тенденцію до розширення через те, що є менш інвазійним методом, ніж хірургічні методи забезпечення формування нової тканини [13].

Альтернативою методу трансплантації стовбурових клітин при травмах спинного мозку є метод забезпечення повторного росту аксонів в ушкоджених ділянках за допомогою функції та моделі коаксіального кабелю, створеного з біоматеріалів, які імітують структуру позаклітинного матриксу і можуть служити опорою та носієм ліків [6]. Технологію біоматеріалів часто використовують у практиці спортивної травматології разом із методом трансплантації стовбурових клітин для підвищення ефективності лікування та пришвидшення відновлення організму [19]. Синтез гідрогельових форм біоматеріалів з мезенхімальними стовбуровими клітинами (мультипотентні клітини, здатні диференціюватися в похідні сполучної тканини, зокрема на кісткову, м'язову або хрящову тканину) є ефективний варіант сумісної терапії травм спинного мозку.

Сьогодні у практиці біомедичних технологій біологічні матеріали гідрогельової форми модифікуються за допомогою молекул адгезивних сполук, таких як ламінін і фібриноген. Крім того, каркаси з гідрогельових біоматеріалів відмінно доповнюються факторами росту для посилення терапевтичного потенціалу при травмах спинного мозку [19]. Також підкреслюється важливість сумісного застосування методу 3D-друку, де надрукований на 3D-принтері імплантат спинного мозку зазвичай складається з гідрогелю, з урахуванням індивідуалізованого підходу до кожного пацієнта, і виготовляється з абсолютною точністю у будь-яких формах та розмірах [12].

Травми суглобового хряща. Травми хряща, якщо їх не лікувати, нівелюють подальшу спортивну діяльність у довгостроковій перспективі та можуть спричинити значні втрати функціональної тканини [22]. Загальна поширеність пошкоджень колінного хряща у професійних спортсменів становить 36 %, а після лікування від 45 до 78 % спортсменів мають можливість повернутись до активних тренувань протягом від семи до двадцяти п'яти місяців [6]. Відновлення хряща у професійних спортсменів вимагає повноцінної реструктуризації його поверхні для забезпечення перенесення механічних навантажень самим суглобом, особливо у складнокоординаційних видах спорту [22].

Методи регенеративної медицини та тканинної інженерії у цьому напрямі створюють багатобічний потенціал через використання таких методів, як мікрофрактуризація (відкриття виходу-каналу для мезенхімальних стовбурових клітин кісткового мозку до зони дефекту хряща), PRP-терапія (ін'єкції зі збагаченою тромбоцитами плазмою крові), трансплантація остеохондрального алотрансплантата (алотрансплантація тканини від генетично й імунологічно іншого людського організму), трансплантація остеохондрального аутоалотрансплантата (аутоалотрансплантація тканини в межах одного організму), аутологічна трансплантація хондроцитів (імплантація суспензії культивованих аутологічних хондроцитів), аутогенна трансплантація хондроцитів на матриксних носіях (імплантація хондроцитів на мезенхімальних стовбурових клітинах) (табл. 1) [10, 20].

Однак слід не забувати, що існують обмеження у лікуванні дефектів суглобового хряща, зокрема розмір і локалізація ураження, вік пацієнта та протокол реабілітації [10, 20].

Вогничкові хондральні дефекти можуть призвести до дискомфорту, порушення функції та в багатьох випадках до дегенерації суглоба, що в результаті призводить до остеоартриту. Окрім хірургічного втручання з відновлення хряща, орто-

біологічні препарати можуть лікувати сфокусовані хондральні дефекти в клінічних умовах. Серед ортобіологічних препаратів, що використовуються для лікування дефектів хряща, є концентрати аспірату кісткового мозку, мезенхімальні стовбурові клітини, отримані з жирової тканини, збагачена тромбоцитами плазма та мікронізований алогенний хрящ [27].

Травми сухожилля. Ураження сухожилля створюють значну захворюваність у звичайних людей і спортсменів у тому числі. На їх частку припадає приблизно 30–50 % ушкоджень ОРА, які вражають 100 млн людей у всьому світі [14]. Найбільш пов'язана зі спортом травма сухожилля – це ураження ахіллового сухожилля, що найчастіше зустрічаються у спортсменів ігрових видів спорту та легкої атлетики [5]. Розтягнення ахіллового сухожилля внаслідок повсякденної діяльності або різких рухів може призвести до його розриву. Від 70 до 90 % спортсменів з розривом цього сухожилля успішно відновлюються після операції, тоді як 20 % травмованих спортсменів потребують повторної операції, а від 3 до 5 % – не повертаються більше до спортивної діяльності [17].

Травми м'яких тканин, включаючи травми сухожилля і м'язів, у спортсменів спричиняють втрату часу та високі витрати для спортсменів і команд. У 2002 р. кошти, витрачені на лікування цих травм, досягли 15,8 млрд дол. [28]. Через низький потенціал самовідновлення сухожилля та неадекватність клінічно застосовуваних методів фізіотерапії, пошук нових методів лікування та використання стовбурових клітин для підтримання регенерації сухожилля здається захоплюючим для спортивної медицини та травматології. Стовбурові клітини мають потенціал до диференціювання в теноцити – основний клітинний компонент сухожилля [32]. Слід зазначити, хоча такі методи лікування, як ударно-хвильова терапія, ін'єкції аутологічних продуктів крові, пероральні або парентеральні нестероїдні протизапальні препарати, самі стероїдні препарати часто засто-

ТАБЛИЦЯ 1 – Показники ефективності окремих терапевтичних методів лікування після травм хряща

Терапевтичні підходи	Середній час повернення до спортивної діяльності, міс.	Відсоток спортсменів, які повернулись до спортивної діяльності, %	Відсоток спортсменів, які повернулись до своїх попередніх спортивних результатів, %
Мікрофрактуризація	8,7	75–77,4	62,3–69
Трансплантація остеохондрального алотрансплантата	9,4	77,1–88	59,5–79
Трансплантація остеохондрального аутоалотрансплантата	4,9–7	88,2–89	70–79,3
Аутологічна трансплантація хондроцитів	11,6–18	79,7–84	57,3–76
Аутогенна трансплантація хондроцитів на матриксних носіях	12,4	84–86	74,3–80,6
PRP-терапія	3	76,6–83	48,9–100

совують при травмах сухожиль, дослідження нових методів з кращими та точними результатами продовжуються [30].

Травми м'язів і кісток. Найпоширенішими пошкодженнями м'язової тканини є розтягнення м'язів, що може спричинити утворення гематом та розриви. Травми м'язів заважають спортсменам брати участь у тренуваннях і можуть викликати біль і функціональні розлади [9]. Крім того, травми м'язів можуть призвести до утворення фіброзної тканини та незворотного пошкодження, якщо їх не лікувати належним чином. Для лікування серйозних травм м'язів доступні різні біомедичні підходи та підходи тканинної інженерії. До них належать ін'єкції факторів росту, трансплантація м'язових стовбурових клітин із підтриманням біологічної основи або без неї, антифіброзна терапія, механічна стимуляція та PRP-терапія [18].

Щодо кісткової тканини, то незважаючи на те що кістки є найміцнішою структурою в тілі, вони можуть бути зламані у спортсменів через повторюваний стрес, гострі травми, пов'язані зі специфікою спортивної діяльності [25]. Дані переломи у спортсменів в основному спостерігаються на нижніх кінцівках [26]. Незрощення є основними ускладненнями, які спостерігаються після переломів.

Саме тому однією з найбільш актуальних тем у регенеративній медицині є екзосоми (позаклітинні везикули), які є клітинними секреторами та служать регуляторними агентами молекулярних механізмів. Відомо, що вони мають вирішальне значення для відновлення пошкоджень скелетних м'язів і кісток, підтримання гомеостазу та регенерації тканин. Дослідження показали, що коли позаклітинні везикули поміщають на каркаси для лікування травм кісток, об'єм кістки та мінеральна щільність збільшуються [31]. Крім того, було встановлено, що впровадження позаклітинних везикул для відновлення пошкоджень скелетних м'язів посилює експресію специфічних для м'язів факторів транскрипції та площі поперечного перерізу волокон і зменшує утворення рубців [7].

Аутологічні кісткові трансплантати вважаються «золотим стандартом» терапевтичних методів біомедицини у практиці спортивної травматології з їх остеоіндуктивними, остеокондуктивними та остеогенними властивостями. Показано, що кістковий аутоотрансплантат є ефективним у разі незрощення після переломів середнього відділу ключиці [15]. Композитні трансплантати, що містять комбінацію остеогенних клітин, остеоіндуктивних факторів росту та синтетичної остеокондуктивної матриці, вважаються однією з

найбільш перспективних стратегій лікування кісткових дефектів.

Окремим підходом до лікування травм ОРА є трансплантація стовбурових клітин у пошкоджену ділянку за допомогою біосумісних каркасів, після якої зрощення кісток завершується через 5–7 міс після трансплантації мезенхімальних стовбурових клітин кісткового мозку, засіяних гідроксиапатитовими каркасами для лікування кісткових дефектів критичного розміру [21].

Також до розгляду необхідно включити концепцію пролотерапії. Це ін'єкційна методика за допомогою препаратів, які стимулюють виділення «факторів росту» у місці введення та сприяють подальшій регенерації. Застосування ін'єкцій у складі 12,5 % декстрази та 0,5 % лідокаїну 22 регбістам і двом футболістам з хронічним паховим болем привело до припинення болю у 20 спортсменів і повернення до спортивної діяльності у 22 [29].

Поряд із цими методами лікування завдяки сучасним комп'ютерним системам проєктування та технологіям виробництва персоналізованих імплантатів та трансплантатів виготовляються з біоміметичних фосфатів кальцію, які імітують склад і структуру кісткових мінералів — органічна технологія [11], є ще одним перспективним підходом.

Висновки. Застосування регенеративних технологій у практиці спортивної травматології є відносно новим напрямом, що стрімко розвивається. Результати сучасних клінічних досліджень свідчать, що застосування біотехнологічних продуктів під час лікування патології ОРА є ефективним і безпечним варіантом терапії. Однак потрібно взяти до уваги і те, що використання регенеративних технологій вимагає ретельного підбору пацієнтів, оскільки неправильно підібраний клітинний продукт на неправильно вибраній стадії захворювання не демонструє позитивних результатів. Поза увагою не може залишитись питання високої вартості даних процедур, що є істотним недоліком і значно зменшує їх доступність. Це питання актуальне і щодо залучення у практику спортивної травматології засобів інформаційних медичних технологій та цифрових трансформацій. Ми віримо, що терапія, заснована на досягненнях сучасної біомедичної інженерії, — це майбутнє вітчизняної спортивної травматології, яке на сьогодні потребує не просто підтримки коштів, а є механізмом залучення інвестицій для розвитку ринку послуг сфери спортивної індустрії, медичного туризму та громадського здоров'я в нашій країні, і матиме широке практичне значення у процесі післявоєнного відновлення.

Література

1. Кокотєєва АС, Топорова Р. Застосування біомедичної інженерії в фізичному вихованні та спорті: сучасний стан та перспективи розвитку [Application of biomedical engineering in physical education and sports: current state and prospects for development]. В: Сучасні технології біомедичної інженерії. Національний університет «Одеська політехніка»; 2023: 206-207 С.
2. Лукасевич І, Богданович Л, Лисюк С, & Книш Т. Біомедичні технології як новітній розділ спортивної медицини [Biomedical technologies as the newest field of sports medicine]. Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія, 2024; (1): 14-18.
3. Маслова ОВ, Футорний СМ, Лукасевич ІІ, Богданович ЛВ, Лисюк СІ, Книш ТВ. Сучасні тенденції впровадження біомедичних технологій у практику спортивної медицини [Current tendencies in implementation of biomedical technologies in sports medicine practice]. Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова, 2024; 6 (179): 147-156.
4. Юденко ОВ, Жила ОБ, Юденко ЮМ, & Білоус АС. Медичні, біомеханічні та фізіотерапевтичні технології: тренди військового часу [Medical, biomechanical and physiotherapeutic technologies: wartime trends]. Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice. Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan. 2022, 2022. P. 710.
5. Achilles tendon injury [Internet]. 2022 [cited 2022 Dec 03]. Available from: <https://www.s-portsmd.com/torn-achilles-tendon/>
6. Ahuja CS, Wilson JR, Nori S, Kotter MRN, Druschel C, Curt A, et al. Traumatic spinal cord injury. Nat Rev Dis Primers. 2017;3:17018.
7. Altamirano DE, Noller K, Mihaly E. Recent advances toward understanding the role of transplanted stem cells in tissue-engineered regeneration of musculoskeletal tissues. F1000Res. 2020;9:F1000 Faculty Rev-118.
8. Boden BP, Jarvis CG. Spinal injuries in sports. Neurol Clin. 2008;26(1):63-78.
9. Delos D, Maak TG, Rodeo SA. Muscle injuries in athletes: enhancing recovery through scientific understanding and novel therapies. Sports Health. 2013;5(4):346-52.
10. Demiray EB, Kurt T, Duman ZY, Ozdemir BN, Erkovan B, Yigit GS, et al. Clinical tissue engineering approach and biotechnological advances to improve athlete healthcare. Turk Journal Sports Med. 2023; 58(4):185-92; <https://doi.org/10.47447/tjism.0757>
11. Ginebra M-P, Espanol M, Maazouz Y. Bioceramics and bone healing. EFORT Open Rev. 2018;3(5):173-83.
12. Joung D, Lavoie NS, Guo SZ, Park SH, Parr AM, McAlpine MC. 3D printed neural regeneration devices. Adv Funct Mater. 2020;30(1):10.1002/adfm.201906237.
13. Hildreth C. 40 Pro Athletes Who Have Had Stem Cell Treatments [Internet]. c2022 [2022 Dec 02]. Available from: <https://bioinformant.com/athletes-stem-cell-treatments/>.
14. Ho JO, Sawadkar P, Mudera V. A review on the use of cell therapy in the treatment of tendon disease and injuries. Journal Tissue Eng. 2014;5: 2041731414549678.
15. Huang HK, Chiang CC, Hung SH, Su YP, Chiu FY, Liu CL, et al. The role of autologous bone graft in surgical treatment of hypertrophic nonunion of midshaft clavicle fractures. Journal Chinese Med Assoc. 2012;75(5):216-20.
16. Kim Y, Jo SH, Kim WH, Kweon OK. Antioxidant and anti-inflammatory effects of intravenously injected adipose derived mesenchymal stem cells in dogs with acute spinal cord injury. Stem Cell Res Ther. 2015;6:229.
17. Kvist M. Achilles tendon injuries in athletes. Sport Med. 1994;18(3):173-201.
18. Laumonier T, Menetrey J. Muscle injuries and strategies for improving their repair. Journal Exp Orthop. 2016;3(1):15.
19. Ma T, Wu J, Mu J, Gao J. Biomaterials reinforced MSCs transplantation for spinal cord injury repair. Asian Journal Pharm Sci. 2022;17(1):4-19.
20. Magnussen RA, Dunn WR, Carey JL, Spindler KP. Treatment of focal articular cartilage defects in the knee: A systematic review. Clin Orthop Relat Res. 2008;466(4):952-62.
21. Marcacci M, Kon E, Moukhachev V, Lavroukov A, Kutepov S, Quarto R, et al. Stem cells associated with macroporous bioceramics for long bone repair: 6- to 7-year outcome of a pilot clinical study. Tissue Eng. 2007;13(5): 947-55.
22. McAdams TR, Mithoefer K, Scopp JM, Mandelbaum BR. Articular cartilage injury in athletes. Cartilage. 2010;1(3):165-79.
23. Patel SA, Vaccaro AR, Rihn JA. Epidemiology of spinal injuries in sports. Oper Tech Sports Med. 2013;21(3):146-51.
24. Rehab F. Spinal Cord Injury and Sports: Risks, Safety, and Recovery [Internet]. c2022 [cited 2022 Dec 01]. Available from: <https://www.flintrehab.com/spinal-cord-injury-sports/>
25. Romani WA, Gieck JH, Perrin DH, Saliba EN, Kahler DM. Mechanisms and management of stress fractures in physically active persons. Journal Athl Train. 2002;37(3):306-14.
26. Saxena A, Liu GT, Fullem BW, Allen MA. (2012). Stress fractures of the foot and ankle in athletes. In International Advances in Foot and Ankle Surgery (pp:235-51) Springer-Verlag London Ltd.
27. Southworth TM, Naveen NB, Nwachukwu BU, Cole BJ, Frank RM. Orthobiologics for focal articular cartilage defects. Clin Sports Med. 2019;38(1):109-22.
28. Taylor DW, Petrera M, Hendry M, Theodoropoulos JS. A systematic review of the use of platelet-rich plasma in sports medicine as a new treatment for tendon and ligament injuries. Clin Journal Sport Med. 2011;21(4):344-52.
29. Topol GA, Reeves KD, Hassanein KM. Efficacy of dextrose prolotherapy in elite male kicking-sport athletes with chronic groin pain. Arch Phys Med Rehabil. 2005;86(4):697-702.
30. van den Boom NAC, Winters M, Haisma HJ, Moen MH. Efficacy of stem cell therapy for tendon disorders: A systematic review. Orthop Journal Sport Med. 2020;8(4): 2325967120915857.
31. Zhang J, Liu X, Li H, Chen C, Hu B, Niu X, et al. Exosomes/tricalcium phosphate combination scaffolds can enhance bone regeneration by activating the PI3K/Akt signaling pathway. Stem Cell Res Ther. 2016;7(1):136.
32. Yee Lui PP. Stem cell technology for tendon regeneration: Current status, challenges, and future research directions. Stem Cells Cloning. 2015;8:163-74.
33. Yamazaki K, Kawabori M, Seki T, Houkin K. Clinical trials of stem cell treatment for spinal cord injury. Int Journal Mol Sci. 2020;21(11):3994.
34. Why the Sports Industry is Booming in 2020 [Internet]. c2022 [cited 2022 Dec 01]. Available from: <https://www.torrens.edu.au>

mrygan@uni-sport.edu.ua
 oshmatova@uni-sport.edu.ua
 slusyk@uni-sport.edu.ua
 tknysh@uni-sport.edu.ua

Надійшла 12.11.2024