

Моделювання функцій опорно-рухового апарату як інструмент вибору та використання засобів фізичної терапії в осіб із надлишковою масою тіла та гоналгіями

УДК 615.8

І. О. Жарова¹, В. І. Скочко², О. В. Кучерява¹

¹ Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Резюме. Надлишкова маса тіла є важливим фактором ризику утворення болю, переважно у колінних суглобах, внаслідок надмірного систематичного механічного навантаження та обмеження фізичної активності, що призводить до слабкості м'язово-зв'язкового апарату й порушення конгруентності суглобових поверхонь. Збільшення маси тіла створює передумови перенавантаження колінних суглобів.

Мета. Висвітлення актуальності проблеми виникнення болю у колінах, спричинених збільшенням маси тіла, тобто внаслідок збільшення осьового навантаження на колінні та суміжні із ними суглоби, а також розгляд способів підвищення ефективності фізичної терапії жінок із надмірною масою тіла шляхом розробки удосконаленої фізико-математичної моделі нижньої кінцівки, що сприятиме більш точному аналізу впливу надмірної ваги на колінні та суміжні суглоби. **Методи.** Аналіз науково-методичної літератури, інструментальні методи, діагностика.

Результати. Відомо, що втрата ваги призводить до зменшення навантаження на суглоби, а отже, потенційно затримує прогресування запальних процесів і у колінних суглобах. Основна причина розвитку болю у колінах – невідповідність між механічним навантаженням на суглобову поверхню хряща та її здатністю чинити опір цьому навантаженню, що викликає явища дегенерації та деструкцій.

Робота містить огляд того, як за допомогою методів геометричного формоутворення й чисельного моделювання можна вдосконалити тенсегріті-модель нижньої частини тіла для того, щоб оцінити сили натягу та стискання у колінному й суміжних суглобах. Для реалістичної побудови моделі нижньої частини опорно-рухового апарату знадобиться провести ретельний аналіз специфіки розподілу внутрішніх зусиль у м'язах та кістках ніг і таза людини. Це дасть змогу зрозуміти яким саме чином надмірна вага, розподілена в різних частинах тіла, призводить до задіяння відповідних груп м'язів та їх комбінацій у несприятельній для людини зі збалансованою вагою спосіб, що спричиняє неправильний характер розподілу внутрішніх зусиль у суглобах.

Проаналізовано, як удосконалена тенсегріті-модель нижньої частини опорно-рухового апарату людини буде сприяти покращенню розуміння розподілу навантажень на колінний та суміжні з ним суглоби, допомагати наочності вивчення та оцінювання впливу надмірної ваги тіла на колінні суглоби та створювати передумови для вдосконалення програм з фізичної терапії, що допоможе підвищити показники фізичного та психоемоційного стану, покращити якість життя.

Ключові слова: надмірна вага, колінний суглоб, навантаження, біль, тансегріті-модель, опорно-руховий апарат, фізична терапія.

Modeling the functions of the musculoskeletal system as a tool for the selection and use of physical therapy in overweight patients affected by gonalgia

I. O. Zharova¹, V. I. Skochko², O. V. Kutcheriava¹

¹ National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Abstract. Excess body weight is an important risk factor for pain development, mainly in the knee joint, as a result of excessive systematic mechanical load and limited physical activity, which

leads to weakness of the muscular-ligamentous apparatus and reduced congruence of the joint surfaces. An increase in body weight creates prerequisites for overloading the knee joints. *Objective.* To highlight the relevance of the problem of knee pain caused by increased body weight, that is, due to an increase in the axial load on the knee and adjacent joints, as well as to examine the ways to increase the effectiveness of physical therapy for overweight women by developing an improved physical and mathematical model of the lower limb, which will contribute to a more accurate analysis of the impact of excess body weight on the knee and adjacent joints. *Methods.* Analysis of scientific and methodological literature, instrumental methods, diagnostic methods.

Results. It is known that weight loss leads to a reduction in the load on the joints, and therefore potentially delays the progression of inflammatory processes in the knee joints as well. The main reason for the development of pain in the knees is an imbalance between the mechanical load on the articular surface of the cartilage and its ability to resist this load, which causes the phenomena of degeneration and destruction.

The paper provides an overview of how a lower body tensegrity model can be improved using geometric modeling and numerical modeling techniques to estimate tension and compression forces in the knee and adjacent joints. To build a realistic model of the lower part of the musculoskeletal system, it is necessary to thoroughly analyze the specifics of the distribution of internal forces in the muscles and bones of the human legs and pelvis. This will allow to understand exactly how excessive body weight, distributed in different parts of the body, leads to the use of the corresponding groups of muscles and their combinations in a way that is not typical for a person with a balanced weight, which causes an incorrect nature of the distribution of internal forces in the joints.

It was analyzed how the improved tensegrity model of the lower part of the human musculoskeletal system will contribute to the improvement of the understanding of the load distribution on the knee and adjacent joints, help to increase the visibility of studying and assessing the impact of excess body weight on the knee joints, and to create prerequisites for improving physical therapy programs, which will help to increase indicators of physical, mental and emotional status and to improve the quality of life.

Keywords: overweight, knee joint, physical load, pain, tensegrity model, musculoskeletal system, physical therapy.

Постановка проблеми. Стараючись підтримати вагу в нормальних рамках, ми робимо крок до збереження здоров'я свого опорно-рухового апарату. На жаль, кількість людей з надмірною вагою та ожирінням щороку зростає. Надмірна вага – це додаткове навантаження на суглоби, а отже підвищений ризик травм, виникнення болю в спині і дегенеративних змін у суглобах, наприклад остеоартрозу.

Комплексний аналіз останніх досліджень і публікацій зарубіжних та вітчизняних фахівців свідчить, що інтенсивне введення в спосіб життя фізичних вправ у короткий термін може запобігти розвитку болю в колінах серед осіб, які мають високий ризик до виникнення остеоартрозу. Американські і європейські фахівці (такі як D. White, W. Rejeski, S. Messier, R. Loeser, T. Georgiev, M. Hall та ін.) стверджують, що медичні працівники можуть розглядати рекомендації до фізичних вправ і дієти як засоби для запобігання розвитку болю в колінах [14, 15, 19, 21, 23, 30].

Хоча біль буває сильнішим після фізичних навантажень порівняно з передбачуваною добовою схемою, але на наступний день після фізичного навантаження він значно нижчий, ніж відразу після фізичних вправ. B. Focht, V. Ewing, L. Gauvin

та ін. зробили висновок, що біль, пов'язаний зі значними фізичними вправами дорослих людей із надмірною вагою або ожирінням, які мають остеоартроз коліна, є тимчасовим [11–13]. Варто додати, що комплекси фізичних вправ при їх правильному та обережному підборі можуть сприяти зміцненню груп тих м'язів, робота внутрішніх зусиль у яких дозволяє стабілізувати опорно-руховий апарат і під час руху або статичного стану приводити положення кісток у суглобах в більш правильне природне положення, розвантажуючи самі суглоби.

Відомо, що зменшення болю в колінах, відновлення функції суглобів та сили м'язів стегна, пов'язані з участю у 12-тижневому режимі фізичного навантаження, тривало зберігалися після закінчення відповідної програми. Канадські фахівці J. Peeler, M. Christian, J. Cooper та ін. підтверджують, що ці результати мають важливе значення для розробки та вдосконалення комплексу фізичних вправ, що застосовуються при тривалому лікуванні суглобових симптомів, пов'язаних з остеоартрозом колінних суглобів у пацієнтів із надмірною масою тіла [17, 19].

Ці спеціалісти звертають увагу на фізичні вправи з низьким навантаженням, які можуть

бути використані для значного зменшення болю в колінах, посилення функцій суглобів та підвищення сили м'язів стегна, одночасно безпечно сприяючи безболісній ходьбі у пацієнтів із надмірною масою тіла з остеоартрозом колін. Це має важливе значення для розробки стратегій неоперативного лікування, пов'язаних з прогресуючим запаленням колінних суглобів, враховуючи емоційне забарвлення занять [3, 22]. До фізичних вправ з низьким навантаженням відносять фізичні вправи за напрямом пілатес.

Вітчизняні фахівці [2] роблять висновок, що в терапії ожиріння можна виділити два основні етапи: ініціювання втрати маси тіла і підтримання досягнутого ефекту. Виходячи з результатів робіт різних дослідників, можна зробити висновок, що застосування дієтотерапії і лікарської терапії дають позитивний ефект на першому етапі лікування, а використання підвищеної фізичної активності сприяє підтриманню довгострокових результатів. Варто також звернути увагу на те, що основним принципом терапії надмірної ваги та ожиріння є дотримання комплексного індивідуального підходу до лікування.

Як висновок можна резюмувати, що комплексне застосування засобів і методів боротьби з прогресуючим запаленням колінних суглобів включає фізичні вправи, спортивно-прикладні вправи, масаж, фізіотерапію, бальнеотерапію та альтернативні засоби [2, 24]. Метою виконання фізичних вправ пацієнтами з колінним остеоартрозом є зменшення болю та збереження функції суглобів. Більше того, виконання цих вправ передбачає досягнення більш конкретної мети — зміцнення чотириголових м'язів, стабілізацію суглобів, підтримання фізичної активності та підвищення насиченості тканин киснем (за рахунок збільшення аеробних вправ) [20, 29]. Завдяки цьому актуальними залишаються дослідження впливу надмірної ваги на суглоби для покращення вивчення навантаження на колінний та суміжні суглоби, а також пошук шляхів збільшення наочності вивчення та оцінювання впливу надмірної ваги тіла на колінні суглоби. Результати подальших досліджень за цими напрямками створюватимуть передумови для вдосконалення програм з фізичної терапії, що зрештою допоможе підвищити показники фізичного та психоемоційного стану пацієнтів і покращити якість їхнього життя.

Варто зазначити, що деякі учені не погоджуються з ідеєю тенсегріті-моделі, вважаючи її неправдивою моделлю будови тіла та рухів людини [5, 25]. Проте ортопед Стівен Леві, який ввів поняття «біотенсегріті» більше 30 років тому, навпаки розглядає тіло людини як цілісну кон-

струкцію, яка являє собою ієрархічну систему, компоненти якої на всіх рівнях побудовані за принципом тенсегріті [16–18]. Але існуючі моделі та уявлення про опорно-руховий апарат людини як механічну систему із стиснутих та розтягнутих зав'язків (представлених кістками та м'язами відповідно) не є досконалою та потребує подальших досліджень і доопрацювань [5].

Існуючі дослідження у галузі теоретичної механіки та прикладної дискретної геометрії демонструють широку варіативність застосування інтерпретаційних моделей зрівноважених статичних чи динамічних сітчастих структур, якими, в тому числі, є конструкції типу «тенсегріті», по відношенню до широкого спектра завдань. Зокрема, застосовуючи інтерпретаційні моделі сітчастих структур, можна успішно моделювати роботу та елементи напружено-деформованого стану стрижневих, вантових та комбінованих конструкцій із шарнірним сполученням ланок (зв'язків) [8, 26, 28], характер роботи яких повністю відповідає характеру роботи опорно-рухового апарату людини. Саме на засадах механіки та інструментів чисельного моделювання внутрішніх зусиль у вузлах і ланках моделей кісток та м'язів будуються сучасні підходи до проєктування й наступного прототипування протезів штучних кісток і суглобів [9]. Окрім того, інтерпретаційне дискретне моделювання дозволяє визначити величини опорних реакцій модельованих конструкцій та впливати на перерозподіл цих реакцій з метою розвантаження окремих опор [7, 8, 27].

Варто розглянути можливість удосконалення біотенсегріті-моделі. Використовуючи методи чисельного моделювання та формоутворення засобами прикладної дискретної геометрії, а також спираючись на оцінювання складу тіла людини за допомогою вимірювання опору різних тканин організму слабким електричним сигналам [6], планується створення набагато більш деталізованої фізико-математичної моделі роботи колінного та суміжних із ним суглобів нижньої частини тіла, що дасть змогу на основі аналізу розподілу внутрішніх зусиль у кістках та м'язах оцінити вплив надмірної ваги на людину, її функціональний стан та рухову активність. Естетичне розуміння схеми анатомії впливу надмірної ваги на колінний суглоб дозволить краще оцінювати правильність рухів нижніх кінцівок, як у повсякденному житті, так і при активних навантаженнях та частково стане передумовою для вдосконалення програм фізичної терапії.

Мета дослідження — висвітлення актуальності проблеми виникнення болю у колінах, спричинених збільшенням маси тіла, тобто вна-

слідок збільшення осьового навантаження на колінні та суміжні із ними суглоби, а також розгляд способів підвищення ефективності фізичної терапії жінок із надмірною масою тіла шляхом розробки удосконаленої фізико-математичної моделі нижньої кінцівки, що сприятиме більш точному аналізу впливу надмірної ваги на колінні та суміжні суглоби.

Методи дослідження: аналіз науково-методичної літератури, інструментальні методи, діагностика.

Результати дослідження та їх обговорення. У процесі побудови удосконаленої біотенсегриті-моделі нижньої частини опорно-рухового апарату організму планується застосовувати методи інструментальної бази дискретного геометричного формоутворення. При цьому кістки інтерпретуватимуться як жорсткі стрижні, що працюють в межах пружних деформацій без втрати стійкості, а м'язи — як гнучкі нерозтяжні (тобто такі, які не зазнають пластичних деформацій та аналогічним чином працюють у межах закону Гука [9]) ланки, які після зникнення зусиль, що зумовлюватимуть розтягнення та будуть намагатися повернутися у початковий стан. Кістки, які мають сталу геометричну форму, пропонується задавати у вигляді комбінації пружних стрижнів, кожна трикутна комбінація яких, з точки зору теоретичної механіки, являтиме собою жорсткий просторовий диск [10]. Відповідні комбінації зможуть утворювати прообрази жорстких конструкцій, які, за аналогією до реальних кісток, матимуть змогу сприймати не лише зусилля на стиск, а й на розтягнення, згинання та кручення. Такий підхід дозволить реалістичніше передати специфіку роботи колінних та суміжних із ними суглобів, і, як наслідок, ретельніше дослідити проблематику їхніх захворювань, спричинених надмірною вагою.

Для оцінювання складу людського тіла планується використовувати дані дослідження за допомогою вимірювання опору різних тканин організму слабким електричним сигналам. Такий підхід дає можливість отримати дані про масу тіла, індекс маси тіла, відсоток та вміст жирової та знежиреної маси, а також дозволяє оцінити вміст жиру в окремих сегментах тіла, зокрема в актуальних для даного дослідження частинах тулуба та нижніх кінцівках.

На основі отриманих антропометричних даних планується у чисельних показниках й наочно за допомогою геометричної моделі фрагментів опорно-рухового апарату нижньої частини тіла продемонструвати вплив надмірної ваги на колінний суглоб, а також те, як саме відбувається змі-

на навантаження на нього і як змінюється рухова активність людини при зміні маси тіла в цілому.

Оскільки коліно є найскладнішим суглобом організму, що багато часу перебуває в русі, постійні навантаження роблять його вразливим. Однак, не завжди больові відчуття в колінному зчленуванні є ознакою або симптомом якогось захворювання. Протягом життя багато людей стикаються з болем у колінах, які виникають під час заняття спортом, при інтенсивних навантаженнях або просто під час ходьби.

Колінний суглоб є одночасно органом і опори і руху, оскільки утримує і переносить тіло людини в просторі. З анатомічної точки зору колінний суглоб — це блокоподібний суглоб із переважно одним ступенем свободи рухів і з можливістю згинання та розгинання навколо фронтальної осі. Також у ньому можливий і незначний ротаційний рух навколо поздовжньої осі гомілки.

Відповідно, коли в структурі колінного суглоба відбуваються морфологічні зміни, людина відчуває больовий синдром, на який потрібно звернути увагу, щоб не дати розвинутися запальному процесу та запобігти розвитку остеоартрозу. Надмірна вага та ожиріння визнані як важливі фактори ризику для структурного ушкодження суглобів (особливо в кульшовому та колінному суглобах), що часто присутні серед фізично неактивних людей з остеоартрозом. Це підвищує ризик розвитку й прогресування остеоартрозу нижніх кінцівок та збільшує небезпеку розвитку колінного остеоартрозу в чотири рази порівняно з людьми з індексом маси тіла (ІМТ) $< 30 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$. Зазвичай, коли $\text{ІМТ} = 18,5\text{--}25$, то ризик для здоров'я мінімальний. Але у мускулистих людей проблеми малоімовірні навіть при високому ІМТ. ІМТ вище 25 несе серйозний ризик різноманітних патологій для колінних суглобів.

Відомо, що надмірна вага та ожиріння впливають на біомеханіку руху і викликають в осіб з остеоартрозом колінних суглобів механічне перевантаження цих суглобів, викликаючи розлад їх роботи, в результаті чого відбувається посилення болю. Збільшення жиру навколо чотириголового м'яза може підвищити інвалідність через зниження продуктивності роботи нижніх кінцівок [14]. Тому велике значення має коректна робота чотириголового м'яза стегна, який відіграє роль у захисті колінного суглоба від пошкодження й передає стабілізуюче зусилля на суглоб. Окрім того, чотириголовий м'яз стегна забезпечує опір гравітації всієї нижньої кінцівки [4].

Доведено, що первинна слабкість чотириголового м'яза (*m. quadriceps*) — важливий фактор ризику виникнення остеоартрозу колінних

суглобів, що розвивається внаслідок зниження стабільності суглоба та зменшення поглинаючих властивостей м'яза при навантаженнях. Крім того, з віком відбувається зменшення м'язової сили та витривалості багатьох м'язових груп. Розвиток остеоартрозу, особливо колінних суглобів, може спричинити подальше зниження цих параметрів та призвести до відчутних функціональних порушень [1].

Це дозволяє зробити висновок про те, що надлишкова маса тіла є важливим фактором ризику остеоартрозу, переважно колінних суглобів, завдяки наявності не тільки надмірного механічного навантаження на суглоби, а й обмеження фізичної активності, що призводить до слабкості сухожилково-м'язового апарату та порушення конгруентності суглобових поверхонь. Збільшення маси тіла створює умови перенавантаження та порушення нормального функціонування колінного суглоба. Дані численних епідеміологічних досліджень також свідчать про високу частоту остеоартрозу в пацієнтів з ожирінням порівняно з особами, які мають нормальну масу тіла [1].

Коли всі механізми коліна працюють у нормі, проблем у цій ділянці немає. На жаль, травми, перенавантаження, інфекції і різні запалення можуть безпосередньо пошкоджувати суглобові хрящі і, відповідно, сприяти його руйнуванню. Необхідно бути уважним, адже надмірна вага діє двояко — передовсім вона підвищує ризик травм хряща, а коли вони вже виникли, прискорює їх подальшу дегенерацію.

Уповільнити прогресування болю в коліні і ослабити його симптоми можна різними способами. До них відносять зменшення навантаження на пошкоджений суглоб і збереження його активності за допомогою фізичних вправ.

Підраховано, що 1 кг надмірної ваги збільшує ризик розвитку остеоартрозу на 9–13 % [19]. Зв'язок очевидний: знижуючи масу тіла, людина знижує навантаження на опорні суглоби, насамперед на кульшові та колінні.

Регулярна фізична активність дуже важлива для підтримання сили м'язів (здатності до формування сил), нормальної структури суглобів, їх коректного функціонування і здоров'я кісток у цілому. Необхідність фізичної активності обумовлюється тим, що вона призводить до поліпшення м'язової сили, зменшення болю і підвищення фізичної функції серед осіб з остеоартрозом колінних суглобів. Окрім того, фізична активність є дієвим засобом профілактики травматизму, по-

ліпшення контролю балансу та підвищення пропріоцепції.

Використання засобів та методів фізичної реабілітації має важливе значення, оскільки вони спрямовані на стимуляцію механізмів компенсації та резервних можливостей організму, нормалізації життєво важливих функцій. Фізичні вправи є важливим функціональним методом відновлювального лікування остеоартрозу колінного та кульшового суглобів, оскільки даний метод сприяє розвитку компенсаторно-приспосувальних механізмів, спрямованих на відновлення та покращення функції суглоба [31].

Слід сказати, що запорукою створення дієвої програми фізичної терапії є правильний та вчасно поставлений реабілітаційний висновок. Важливе місце у цьому питанні посідає вибір та адаптація методів дослідження і виявлення причини фізичних порушень, що є складним і трудомістким процесом.

Саме тому впровадження нових методів діагностики має значний потенціал, оскільки дозволить підвищити якість програм фізичної терапії та прогнозовано зменшить кількість людей із надмірною вагою. Водночас, запропонований підхід до формування й дослідження фізико-математичної моделі нижньої частини опорно-рухового апарату тіла буде сприяти більш точному оцінюванню навантаження, і, як наслідок, виявленню зміни сил натягу та стискання фрагментів колінного та суміжних із ним суглобів за рахунок виникнення надмірної ваги у людини.

Висновки. Для побудови більш точних та індивідуальних програм фізичної реабілітації з подальшим призначенням відновного лікування осіб з надмірною вагою і болем у колінних суглобах є вкрай актуальним дослідження характеру роботи їх нижньої частини опорно-рухового апарату та визначення впливу надмірної ваги на колінні суглоби. Важливо розуміти, як саме відбувається процес зміни навантаження на колінні суглоби і як змінюється рухова активність людини при коливанні ваги її тіла у цілому. Даний процес слід розглядати індивідуально на конкретних прикладах із використанням сучасних інструментів дискретного геометричного та чисельного моделювання компонентів напружено-деформованого стану інтерпретаційних моделей опорно-рухового апарату. Відповідні дослідження допоможуть доповнити обґрунтування особливостей складання програм з фізичної терапії за напрямом пілатес для жінок з надмірною масою та болем у колінних суглобах.

Література

1. Григор'єва НВ, Поворознюк ВВ, Баннікова РО, Юнусова СВ, Паламарчук АА. Лікувальна фізкультура в комплексному лікуванні остеоартрозу колінних суглобів. [Physical therapy in the integrated treatment of osteoarthritis of the knee joints]. Біль. Суглоби. Хребет. 2011;2:132-143.
2. Жарова ІО, Кравчук ЛД. Загальні підходи до побудови програми фізичної реабілітації в залежності від форми ожиріння. [General approaches to designing physical rehabilitation program with regard to the form of obesity]. Теорія і методика фізичного виховання і спорту. 2014; 2:58-61.
3. Івановська ОЕ. Програма фізичної реабілітації жінок другого зрілого віку з екзогенно-конституціональним ожирінням з використанням методів гідрокінезотерапії [автореферат]. [Program of physical rehabilitation of middle-aged women with exogenous and constitutional obesity using methods of hydro-kinesitherapy [avtoreferat]]. Київ; 2019.21 с. Доступно на: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/handle/787878787/3871>.
4. Коваленко ВМ, Борткевич ОП. Остеоартроз. Практическое руководство. [Osteoarthritis. Practical guide]. 2-е издание, переработанное и дополнение. Киев: Морион; 2005. 592 с.
5. Майерс Томас. Анатомические поезда [Anatomy trains] [пер. с англ. НВ. Скворцовой, АА. Зиминой]. Київ: Форс Україна; 2020. 320 с.
6. Рабинович ИМ. Курс строительной механики стержневых систем. Часть 2. Статически неопределимые системы. [Course of structural mechanics of rod systems. Part 2. Statically indeterminate systems]. Издание 2-е. переработанное Москва: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре; 1954. 548 с., ил.
7. Скочко ВІ. Алгоритм розвантаження окремих опор стрижневих будівельних конструкцій із шарнірним вузловим сполученням. [Algorithm of unloading individual supports of rod building structures with hinged nodal connection]. Енергозбереження в будівництві та архітектурі: науково-технічний збірник. Київ: КНУБА; 2018; 9: 222-226.
8. Скочко ВІ. Методи інтерпретаційного геометричного моделювання сітчастих структур та їх застосування: [дисертація]. [Methods of interpretive geometric modeling of mesh structures and their application: [dissertation]]. Київ : КНУБА; 2021. 277 с.
9. Яворский БМ, Детлаф АА. Справочник по физике: для инженеров и студентов. [Handbook of physics: for engineers and students]. 7-е издание исправленное Москва : Наука; 1979. 944 с., илл.
10. Brosseau L, Wells GA, Tugwell P, Egan M, Dubouloz CJ et al. Ottawa Panel evidence-based clinical practice guidelines for the management of osteoarthritis in adults who are obese or overweight. Physical Therapy. 2011;91(6):843-861.
11. Cicuttini FM, Baker JR, Spector TD. The association of obesity with osteoarthritis of the hand and knee in women: a twin study. Journal Rheumatol. 1996;23:1221-1226.
12. Focht BC, Ewing V, Gauvin L, Rejeski WJ. The unique and transient impact of acute exercise on pain perception in older overweight or obese adults with knee osteoarthritis. Ann Behav Med. 2002;24:201-210.
13. Focht BC, Rejeski WJ, Ambrosius WT et al. Exercise, self-efficacy, and mobility performance in overweight and obese older adults with knee osteoarthritis. Arthritis Rheum. 2005;53:659-665.
14. Georgiev T, Angelov K. Modifiable risk factors in knee osteoarthritis: treatment implications. Rheumatol Int. 2019;39(7):1145-1157.
15. Hall M, Castelein B, Wittoek R, Calders P, Van Ginckel A. Diet-induced weight loss alone or combined with exercise in overweight or obese people with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. Semin Arthritis Rheum. 2019;48(5):765-777.
16. Levin S. The importance of soft tissues for structural support of the body. Spine: State of the Art Reviews 1995; 9(2).
17. Levin S. The scapula is a sesamoid bone. Journal Biomech 2005;n 38(8): 1733-1734.
18. Levin S. A suspensory system for the sacrum in pelvic mechanics: biotensegrity. In: Vleeming A., editor. Movement, stability, and lumbopelvic pain. 2nd ed. Edinburg: Elsevier; 2007.
19. Loeser RF, Beavers DP, Bay-Jensen AC, Karsdal MA, Nicklas BJ, Guermazi A, Hunter DJ, Messier SP. Effects of dietary weight loss with and without exercise on interstitial matrix turnover and tissue inflammation biomarkers in adults with knee osteoarthritis: the Intensive Diet and Exercise for Arthritis trial (IDEA). Osteoarthritis and Cartilage. 2017;11: 1822-1828.
20. McAlindon TE, Bannuru RR, Sullivan MC et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee Osteoarthritis. Osteoarthritis and Cartilage. 2014;22:363-388.
21. Messier SP, Mihalko SL, Legault C et al. Effects of Intensive Diet and Exercise on Knee Joint Loads, Inflammation, and Clinical Outcomes Among Overweight and Obese Adults With Knee Osteoarthritis The IDEA Randomized Clinical Trial. JAMA. 2013;310(12):1263-1273.
22. Peeler J, Christian M, Cooper J, Leiter J, MacDonald P. Managing Knee Osteoarthritis: The Effects of Body Weight Supported Physical Activity on Joint Pain, Function, and Thigh Muscle Strength. Clin Journal Sport Med. 2015;25:518-23.
23. Peeler J, Leiter J, MacDonald P, Clin J. Effect of Body Weight-Supported Exercise on Symptoms of Knee Osteoarthritis: A Follow-up Investigation. Sport Med. 2018 Oct 1. doi: 10.1097 / JSM.0000000000000668.
24. Schiphof D, van den Driest JJ, Runhaar J Osteoarthritis year in review 2017: rehabilitation and outcomes. Osteoarthritis Cartilage. 2018;26(3):326-340.
25. Simon H. The organization of complex system. In: Patte H., editor. Hierarchy theory. New York: Brazillier 1973.
26. Skochko V. Morphogenesis and Correction of Planar Rod Constructions with a Small Amount of Free Nodes. Polish Academy of Sciences. Lublin-Rzeszow. Motrol. 2015; 17 (8): 35-42.
27. Skochko VI. Determination of support reactions of rod constructions obtained by morphogenesis [Текст]. USEFUL. Online Scientific Journal. USA, Miami 2018; 2 (3): 29-42.
28. Skochko VI, Ploskyi VO. Morphogenesis and adjustment of flat rod structures [Текст]. USEFUL. Online Scientific Journal. USA, Miami. 2018. II (2): 8-26. DOI : <https://doi.org/10.32557/useful-2-2-2018-0002>.
29. Varady NH, Grodzinsky AJ. Osteoarthritis year in review 2015: mechanics. Osteoarthritis Cartilage. 2016;24:27-35.
30. White DK, Neogi T, Rejeski WJ, Walkup MP, Lewis CE, Nevitt MC, Foy CG, Felson DT. Arthritis Care Res (Hoboken). 2015;67:965-71.
31. Williams NH, Amoakwa E, Burton K et al. The Hip and Knee Book: developing an active management booklet for hip and knee osteoarthritis. Br. J. Gen. Pract. 2010;60:64-82.

Aniri2002@ukr.net
vladimirandfriends@gmail.com
olia.koutcheriava@gmail.com

Надійшла 28.10.2022