

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«БІОМЕХАНІКА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 227 – «ФІЗИЧНА ТЕРАПІЯ, ЕРГОТЕРАПІЯ»
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2018

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Біомеханіка» для студентів денної форми навчання зі спеціальності 227 – «Фізична терапія, ерготерапія» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладач к. б. н., доц. О. І. Антонова

Рецензент к. мед. н., доц. Б. О. Луценко

Кафедра здоров'я людини та фізичної культури

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № _____ від _____

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Перелік лабораторних робіт	5
Лабораторна робота № 1 Біомеханічні властивості кістки. Біомеханіка рухової системи людини.....	5
Лабораторна робота № 2 Основи реології крові.....	8
Лабораторна робота № 3 Біомеханіка серцево-судинної системи.....	10
2 Критерії оцінювання знань студентів	16
Список літератури	17

ВСТУП

У системі вищої освіти студентів денної форми навчання зі спеціальності 227 – «Фізична реабілітація» біомеханіка як наука займає важливе місце для отримання знань і навичок, необхідних для практичної діяльності під час занять з фізичного виховання і спорту. Навчальна дисципліна «Біомеханіка» розглядає не тільки рухові можливості та рухову діяльність людини під час виконання різноманітних рухових дій у сфері фізичного виховання, спорту, фізичної рекреації та реабілітації, а й способи та методики її удосконалення. Завдання навчальної дисципліни – вивчення індивідуальних особливостей будови та функцій рухового апарату людини (визначення тотальних розмірів тіла, пропорцій, конституціональних особливостей, мас-інерційних характеристик окремих частин тіла, а також рівня розвитку силових і швидкісних якостей, витривалості, гнучкості, спритності та специфічних якостей, потенційних можливостей та динаміки систем дихання, кровообігу тощо).

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Біомеханіка» студенти повинні

знати:

- біомеханічні аспекти будови та функції систем та органів;
- елементи біологічної термодинамики;
- основні методи та методики, які використовуються у біомеханіці;

уміти:

- вільно користуватися поняттями, що розкривають суть предмета «Біомеханіка»;
- володіти практичними навичками щодо використання отриманих знань під час лікування складних переломів, реабілітації після захворювань рухової, серцево-судинної, дихальної систем, тренуванні спортсменів;
- застосовувати знання з біомеханіки для проведення відновлювальних заходів та реабілітації спортсменів після травм і захворювань.

1 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Тема. Біомеханічні властивості кістки. Біомеханіка рухової системи людини

Мета роботи: вивчити біомеханічні властивості кістки; отримати уявлення про біомеханіку рухової системи людини.

Короткі теоретичні відомості

Кістка – це основний матеріал опорно-рухового апарату людини. В скелеті людини більше 200 кісток. У спрощеному вигляді можна вважати, що 2/3 маси компактної кісткової тканини (0,5 об'єму) складає неорганічний матеріал – мінеральна речовина кістки – гідроксилапатит. Ця речовина представлена у вигляді мікроскопічних кришталіків. Іншу частину маси складає органічний матеріал, головним чином, колаген (високомолекулярна сполука, волокнистий білок, який характеризується високою еластичністю). Кришталіки гідроксилапатиту розташовані між колагеновими волокнами (фібрилами). Властивість кості до пружної деформації зумовлюється присутністю в ній саме мінеральної речовини, а повзучість – за рахунок колагену. Композиційна будова кості надає потрібні їй механічні властивості: твердість, пружність і міцність. Її механічні властивості залежать від багатьох факторів, у т. ч. від віку, індивідуальних умов росту організму, і, звичайно, від ділянки організму. В нормі щільність кісткової тканини $2\ 400\ \text{кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 1010\ \text{Па}$ (10 ГПа), ліміт міцності при розтягуванні $\sigma = 100\ \text{МПа}$, відносна деформація досягає 1 %. Швидку деформацію кісткової тканини забезпечує її мінеральна складова, а повзучість кісткової тканини визначає полімерна частина (колаген). Тобто, за моделлю Кельвіна-Фойхта мінеральна складова кісткової тканини може бути представлена у вигляді поршня, а еластична компонента – у вигляді пружини. Поведінка кісткової тканини на деформацію характеризується

наступними особливостями:

1) Кісткова тканина веде себе по-різному при різних способах деформації (навантаження). Міцність на стискання є вищою, ніж на розтягування чи на згинання. Так, стегнова кістка у прямому напрямку витримує навантаження 45 000 Н, а при згинанні – 2 500 Н. Але запас механічної міцності кісток дуже значний і помітно перевищує навантаження, з якими вони зустрічаються у звичайних життєвих умовах. Встановлено, що міцність кістки на розтягування є вищою, ніж у дуба, і майже дорівнює міцності чавуну.

2) Уся архітектоніка кісткової тканини відповідає опорній функції скелету, а орієнтація кісткової перекладини паралельна лініям основних напружень, що дозволяє кісткам витримувати великі механічні навантаження. Так, наприклад, довгі кістки кінцівок, які підвернені в основному згинанню, мають у середній частині трубчасту форму. Це забезпечує найбільш економічне використання кісткової речовини, бо при згинанні шари речовини, які знаходяться поблизу від поздовжньої осі тіла, майже не беруть участі в опорі навантаженню. В голівці стегнової кістки, заради цього, під кожне навантаження формується своя структура – форма Мітчелла. Усі форми пов'язані між собою і утворюють складну структуру.

3) Однією із важливих особливостей кісток скелету є галтельність, тобто округлення внутрішніх і зовнішніх кутів. Галтельність підвищує міцність і знижує внутрішні напруги у місцях різкого переходу.

4) Кістки мають різну міцність залежно від функції, яку виконують. Кістки черепа, грудини і тазу захищають внутрішні органи. Опорну функцію виконують кістки кінцівок і хребту. Кістки ніг та рук довгі і трубчасті. Трубчаста будова забезпечує протидію значним навантаженням і, разом із цим, у 2-2,5 рази знижує їх масу і значно зменшує моменти інерції. Стегнова кістка у вертикальному положенні витримує навантаження до 1,5 т, а велика берцова – до 1,8 т.

5) Відповідно до виконання фізіологічних задач з реалізації опорних і

локомоторних функцій у кістках формуються зони різної твердості відповідно розподіленню силових навантажень. При постійних силових навантаженнях, наприклад, у спортсменів, можлива робоча гіпертрофія кісток. Наприклад, у штангістів потовщуються кістки ніг і хребту, у футболістів – зовнішня частина кістки плюсни, у тенісистів – кістки передпліччя тощо.

Хід роботи

1. Студенти вивчають залежність $\sigma = f(\epsilon)$ для компактної кісткової тканини, яка має характерний вигляд твердого тіла: при невеликих деформаціях виконується закон Гука.
2. Студенти вивчають механічну модель Кельвіна-Фойхта кісткової тканини та часову залежність деформації кісткової тканини.
3. Студенти вивчають архітекtonіку кісткової тканини. під кожне навантаження формується своя структура – форма Мітчелла.

Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Побудувати графік залежності деформації σ кісткової тканини від її напруженості ϵ .
3. Побудувати криву механічної моделі Кельвіна-Фойхта кісткової тканини та часової залежності деформації кісткової тканини.
4. Під кожне навантаження сформувати свою структуру – форму Мітчелла та занести до протоколу.

Контрольні питання

1. Охарактеризувати біомеханічні властивості кісток.
2. Навести приклади робочої гіпертрофії кісток.
3. Охарактеризувати механічну модель Кельвіна-Фойхта кісткової тканини.
4. Архітекtonіка кісткової тканини.

Література: [4, с. 170–181; 5, с. 60–110].

Лабораторна робота № 2

Тема. Основи реології крові

Мета роботи: знати визначення в'язкості рідини та одиниці вимірювання; ознайомитись з методами визначення в'язкості рідини, з будовою і принципом роботи віскозиметра ВК-4.

Короткі теоретичні відомості

У медичній практиці велику увагу приділяють в'язкості різних біологічних рідин (крові, лімфи, молока, слини, сечі, спинномозкової рідини). Наприклад, в'язкість крові неоднакова в чоловіків та жінок, змінюється з віком (що є важливим для судово-медичних досліджень), а також при різних захворюваннях, залежить також від умов життя та харчування. У нормі вона дорівнює 4-5 сПз (санти Пуаз). При патології коливається від 1,7 до 22,9 сПз, що відбивається на швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ). Венозна кров має більшу в'язкість, ніж артеріальна. При тяжкій фізичній праці збільшується в'язкість крові. Деякі інфекційні захворювання збільшують в'язкість крові, інше – черевний тиф, туберкульоз – зменшують її. При русі реальної рідини по трубах чи крові по кровоносних судинах, різні шари їх мають неоднакову швидкість: центральні шари рідини чи крові рухаються з більшою швидкістю, ніж периферичні. Це пояснюється тим, що швидкість шару, що прилипає до стінки труби, внаслідок змочування, дорівнює нулю, а в міру віддалення від неї швидкість шарів рідини збільшується. Інакше кажучи, у таких потоках рідини існує рух одного шару рідини відносно другого. Між двома шарами рідини з різними швидкостями виникає сила внутрішнього тертя. Вона є результатом сил молекулярного зчеплення на межі двох шарів і переходу молекул з одного шару в інший внаслідок хаотичного руху. Властивість рідини чинити опір рухові її шарів одного відносно іншого називається в'язкістю рідини. Рідини називаються ньютонівськими, коли в'язкість їх залежить тільки від природи

рідини і температури (з підвищенням температури в'язкість зменшується). До них відносяться: вода, низькомолекулярні органічні сполуки, розчини солей, кислот, лугів та розплавлені метали. Високомолекулярні сполуки (розчини полімерів), дисперсні системи (суспензії, емульсії), в'язкість яких залежить не тільки від їх природи й температури, але й від тиску та швидкості течії (при збільшенні швидкості течії в'язкість зменшується), називаються структурно-в'язкими або неньютонівськими. Ньютон експериментально встановив, що сила внутрішнього тертя (в'язкості) пропорційна градієнту швидкості і площі шарів S , між якими визначається тертя. Коефіцієнт внутрішнього тертя (η) або в'язкості залежить від роду рідини, температури та домішок. Вимірюється коефіцієнт в'язкості в $1\text{Па} \cdot \text{с}$, або в пуазах. $1\text{Па} \cdot \text{с} = 10\text{Пз}$. В'язкість лімфи й плазми крові досить добре описуються законом Ньютона для в'язкої течії, тому їх можна віднести до ньютонівських рідин. Кров являє собою суспензію формених елементів у білковому розчині – плазмі. При русі крові по судинах спостерігається концентрація формених елементів по осі течії, де в'язкість незначно збільшується. Тому кров відносять до неньютонівських рідин. Але так як в'язкість крові невелика, то цими змінами нехтують і вважають коефіцієнт в'язкості її постійною величиною. Класичним методом визначення в'язкості рідин є метод Стокса, який експериментально встановив, що при русі кульки у в'язкому середовищі з невеликою швидкістю, коли немає завихрень, на неї діє сила опору, пропорційна коефіцієнту в'язкості, радіусу кульки та швидкості її руху. При падінні кульки в рідині ця сила зростає, доки не зрівноважить вагу кульки, після чого рух кульки стає рівномірним. Точніше швидкість рівномірного руху v кульки визначають за умови рівноваги сил: $P = Q + F$, де P – вага кульки, Q – виштовхувальна сила рідини, F – сила опору рідини. Закон Стокса лежить в основі методу визначення швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ) крові. Вимірювання ШОЕ в плазмі крові є надзвичайно важливим методом діагностики, що дає можливість встановити наявність запальних процесів в організмі людини. У зв'язку з необхідністю досить великої кількості

рідини, метод Стокса не може бути використаний для визначення в'язкості крові. З цією метою користуються віскозиметром ВК-4, принцип дії якого базується на законі Пуазейля. Віскозиметр ВК-4 складається з двох проградуєваних однакових піпеток-капілярів. Відстань, яку проходить рідина в капілярі під дією градієнту тиску, обернено пропорційна в'язкості рідини. Тому відношення в'язкостей відомої та невідомої рідин, обернено пропорційне відповідним відстаням. В якості рідини з відомою в'язкістю використовують воду.

Хід роботи

1. Студенти засвоюють метод Стокса для визначення в'язкості рідини.
2. Студенти навчаються визначати в'язкість крові за допомогою віскозиметра ВК-4.

Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Визначити поняття сили та одиниці вимірювання сили. Графічно зобразити силу.
3. Визначити від чого залежить в'язкість крові у людини: від віку; від захворювання; від статі та правильну відповідь занести до протоколу.

Контрольні питання

1. Сили внутрішнього тертя. Як вони виникають.
2. В'язкість рідини. Одиниці вимірювання в'язкості.
3. В'язкість крові. Від чого залежить в'язкість крові у людини.
4. Ньютонівські та неньютонівські рідини.
5. Метод вимірювання в'язкості рідини методом Стокса.
6. Метод вимірювання в'язкості рідини за допомогою віскозиметра ВК-4.

Література: [1, с. 25–30; 3, с. 131–132].

Лабораторна робота № 3

Тема. Біомеханіка серцево-судинної системи

Мета роботи: вивчити механізми руху крові по судинах, з'ясувати механізми роботи серцево-судинної системи, навчитися досліджувати ефективність роботи серця.

Короткі теоретичні відомості

Сучасна біомеханіка займається дослідженнями не лише механіки опорно-рухового апарату, а також вивчає механічні властивості живих тканин, органів і організму в цілому, а також механічні явища, які відбуваються у ньому. Одним з напрямків досліджень сучасної біомеханіки виступає біомеханіка кругообертання крові (гемодинаміка). Гемодинаміка – це галузь біомеханіки, в якій досліджується тиск крові у судинній системі. Фізичною основою гемодинаміки є гідродинаміка. Течія крові у судинах залежить як від властивостей крові, так і від властивостей кровоносних судин. Для оцінки ефективності роботи серця використовується показник серцевого викиду (СВ), який являє собою кількість крові, що викидається лівим шлуночком в аорту за 1 хвилину чи 1 секунду (мл/сек – систолічний об'єм крові (СО), л/хв – хвилиний об'єм крові (ХОК)) і залежить від таких фізіологічних факторів: кількості крові, яка тече до правого передсердя («венозне повернення»), нагнітальної функції серця, яка визначається скорочувальною здатністю міокарда, та загальним периферійним опором (ЗПО). Ефективність серця, як насоса, визначається тим, наскільки воно спроможне перекачувати об'єм крові, котрий надходить за системою порожніх вен. У нормальних умовах серце за 1 хв перекачує 5-6 л крові. Підвищення ЗПО при інших однакових умовах (постійній величині венозного возврату і постійній скорочувальній функції міокарда) призводить до зниження серцевого викиду. Фактори, які підвищують частоту скорочень серця (фізичне навантаження, емоційне збудження тощо), як правило, підвищують і показник серцевого викиду. На серцевий викид впливають захворювання і порушення, при яких зменшується приплив крові до

серця через вени (венозний возврат). Також СВ знижується при ослабленні серця (наприклад, при стійкій серцевій недостатності).

Кров, після викиду її з серця, здійснює на стінки судин тиск. Існує градієнт тиску, який спрямовано від артерії до артеріол і капіляр і від периферійних вен – до центральних, через що кров'яний тиск зменшується у наступному напрямку: аорта – артеріоли – капіляри – венули – крупні вени – порожні вени. Саме завдяки цьому градієнту кров тече від серця до артеріол, потім до капіляр, венул, вен, і назад – до серця. У судинах через тиск крові з'являється опір. Тобто кров'яний тиск, який зумовлений перевищенням тиску, викликаного роботою серця, над атмосферним тиском, є основною руховою силою течії крові. Для окремо взятої судини можна вважати, що рух крові забезпечується різницею тисків на вході і виході судини. Під артеріальним тиском (АТ) розуміють тиск, який здійснює кров на внутрішню поверхню артерій і на поперед лежачий стовб крові. АТ залежить від притоку крові в артеріальну систему, від еластичності судинних стінок, від в'язкості крові і ще від багатьох інших факторів. Артеріальний тиск є величиною, яка утворюється і регулюється, в основному, лише внаслідок зміни серцевого викиду крові і периферійного опору. Розрізняють систолічний (максимальний) і діастолічний (мінімальний) тиск. Систолічний артеріальний тиск (СТ) – це тиск, який виникає в Основи біофізики і біомеханіки 101 артеріальній системі після систоли лівого шлуночка серця, тобто в момент максимального підйому пульсової хвилі. Діастолічний артеріальний тиск (ДТ) – виникає в період діастоли серця, коли має місце спад пульсової хвилі. Різниця між величинами максимального і мінімального тиску називається пульсовим тиском (ПТ). Підвищені величини АТ (гіпертонія) спостерігаються при багатьох захворюваннях: гіпертонічної хвороби, пухлинах кори і наднирників тощо. В цих випадках систолічний АТ може підніматися до 200-250 і вище мм. рт. ст., діастолічний – до 120-160 мм. рт. ст. Стійкий високий діастолічний тиск свідчить про підвищення тонуусу артеріол, що відбувається при гіпертонічній

хворобі. Зниження АТ має назву гіпотонії. Спостерігається при шоку, при різних інтоксикаціях тощо. Короточасний підйом АТ (гіпертензія) до максимального може спостерігатися у здорових людей після надмірного переїдання, при великих фізичних і розумових навантаженнях, при психічному збудженні (стресі) після прийому алкоголю, кави, міцного чаю. Раптова артеріальна гіпотензія спостерігається при інфаркті міокарда, колапсі, сильних кровотечах тощо. Падіння АТ пов'язано зі зниженням тону артеріол і ще більше він знижується при слабкості серцевого м'язу. АТ вимірюють з метою оцінки стану судинної системи як у хворих, так і у здорових людей. Таким чином, спостереження про величину АТ відіграє важливу роль у своєчасному виявленні того чи іншого захворювання. Під час систоли (скорочення серцевого м'язу) кров викидається з лівого шлуночка в аорту і великі артерії, які виходять з неї. При цьому частина кінетичної енергії крові витрачається на розтягування еластичних стінок судин і на запас її у вигляді потенційної енергії пружної деформації. Під час діастоли (розслаблення шлуночків) аортальний клапан зачиняється і приток крові від серця у великі судини гальмується. Розтягнуті стінки артерії при цьому скорочуються, забезпечуючи приток крові в капіляри під час діастоли. Вперше ідея про такий спосіб руху крові була висунута сільським священиком Хейлсом у 1733 р., а у 1899 р. – Франк створив свою гідродинамічну модель, яка описує часові зміни тиску і об'ємної швидкості течії крові в артеріях. Незважаючи на її відносну простоту, вона дозволяє встановити зв'язок між ударним об'ємом крові (об'єм крові, який викидається шлуночком серця за 1 сек.), гідравлічним опором периферійної частини системи колообігу крові, і зміною тиску в артеріях. Модель Франка (механічна модель кровообігу) представляє кровоносну систему, як деякий пульсуючий насос у сукупності з системою трубок, причому вважається, що всі великі судини артеріальної частини об'єднані в одну камеру (резервуар) з еластичними стінками і дуже малим гідравлічним опором, а всі малі судини – в жорстку трубку з постійним гідравлічним опором. При побудові цієї моделі

серцевосудинна система розглядається, по-перше, ізольованою від управляючих впливів з боку організму, тобто в умовах повної саморегуляції і, подруге, значно спрощеною – з відтворенням лише основних елементів, які є необхідними для аналізу явищ, котрі відбуваються у системі.

Хід роботи

1. Студенти вивчають та схематично зображують Модель Франка (механічну модель кровообігу).
2. Студенти навчаються вимірювати кров'яний тиск.

Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Визначити, у скільки разів збільшиться робота, що виконується серцем при навантаженні, якщо серце людини, що знаходиться в спокої за час $t = 1 \text{ хв}$ викидає в аорту $V_1 = 5 \text{ л}$ крові проти середнього тиску $P_1 = 90 \text{ мм. рт. ст.}$ (12 кПа), а при фізичному навантаженні $V_2 = 25 \text{ л}$ проти тиску $P_2 = 140 \text{ мм. рт. ст.}$ (18 кПа). Кінетичною енергією крові знехтувати.
3. Визначити, за який час в судині проходить пульсова хвиля, якщо модуль пружності артерії $E = 10^6 \text{ Па}$, діаметр артерії рівний $d = 0,4 \text{ см}$, товщина стінки $h = 0,4 \text{ см}$, довжина судини $L = 10 \text{ см}$. Густина крові ρ прийняти рівною густині води.

Контрольні питання

1. Що таке гемодинамічні показники стану судинної системи організму людини? Який зв'язок між основними гемодинамічними характеристиками за правилом Пуазейля?
2. Надайте біомеханічну характеристику гідродинамічної моделі кровоносної системи О. Франка.
3. Яка існує залежність об'ємної швидкості відтоку крові від часу? Що впливає на в'язкість крові і як залежить швидкість кровотоку від в'язкості крові?

4. Чим можна пояснити, що при збільшенні радіусу судини на 16 %, об'ємна швидкість течії рідини зростає на 100 %?

5. Чому найбільший гідравлічний опір серед всіх ділянок судинної системи має сукупність артеріол?

6. Чим можна пояснити той факт, що найбільше падіння тиску відбувається в артеріолах і капілярах?

7. Як знайти роботу серця при одноразовому скороченні серцевого м'язу? Відповідь обґрунтуйте аналітично.

8. Від чого залежить швидкість кровотоку в судинній системі? Надайте основні біомеханічні характеристики обертання крові в кровоносній системі (за законом Лапласа).

9. Від чого залежить характер течії крові у судинах? Де можливі перетворення течії крові з ламінарної до турбулентної?

10. Що спричиняє виникнення судорог м'язів та як це передбачити? Відповідь обґрунтуйте.

11. Надайте біомеханічну характеристику роботи судинної системи людини. Як змінюється тиск і швидкість кровотоку та амплітуда коливань крові залежно від типу кровоносних судин?

Література: [2, с. 44–452; 6, с. 150–160; 7, с. 55–60].

2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90–100	A	відмінно	зараховано
82–89	B	добре	
74–81	C		
64–73	D	задовільно	
60–63	E		
35–59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0–34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Вид контролю	Максимальний бал
Відвідування лабораторних занять	5
Контрольні тести	5 (детальний розподіл балів здійснюється в робочій навчальній програмі)
Захист лабораторного заняття	20 (детальний розподіл балів здійснюється в робочій навчальній програмі)
Усього	30

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Александер Р. Биомеханика / Р. Александер. – М., 1970. – 380 с.
2. Богданов К. Ю. Физик в гостях у биолога / К.Ю. Богданов. – М.: Наука, 1986. – 142 с.
3. Баранов А. П. Сборник задач и вопросов по медицинской физике / А.П. Баранов, Г.М. Рогачев. – Минск, 1982. – 192 с.
4. Волькенштейн М.В. Биофизика / М.В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1988. – 420 с.
5. Знаменский В. А. Что называют биомеханикой? / В.А. Знаменский. – Воронеж, 1991. – 120 с.
6. Іщейкіна Ю.О. Медична і біологічна фізика [Навчальний посібник] / Ю.О. Іщейкіна, В.І. Макаренко, Н.В. Тронь. – Полтава: Шевченко Р.В., 2012. – 352 с.
7. Медична і біологічна фізика / За ред. О. В. Чалого, 2-ге видання – К.: Книга-плюс, 2004. – 352 с.