

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«БІОМЕХАНІКА»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ: 014 – «СЕРЕДНЯ ОСВІТА (ФІЗИЧНА
КУЛЬТУРА)» ТА 227 – «ФІЗИЧНА ТЕРАПІЯ, ЕРГОТЕРАПІЯ»
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2020

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Біомеханіка» для студентів денної форми навчання зі спеціальностей: 014 – «Середня освіта (Фізична культура)», 227– «Фізична терапія, ерготерапія» освітнього ступеня «Бакалавр»

Укладачі: к. б. н., доц. О. І. Антонова, к. т. н., А. В. Пасенко

Відповідальний за випуск доц. Т. І. Лошицька

Підп. до др. _____. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. 1,25. Наклад 5 прим. Зам. №18961. Безкоштовно.

Редакційно-видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600

У системі вищої освіти студентів денної форми навчання зі спеціальностей: 014 – «Середня освіта (Фізична культура)» та 227 – «Фізична терапія, ерготерапія» 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» вивчає 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). Виконання запропонованих практичних робіт закріплюють теоретичні знання. У результаті вивчення навчальної дисципліни «Біомеханіка» студенти повинні

знати:

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

уміти:

- володіти практичними навичками для використання отриманих знань під час лікування складних переломів, реабілітації після захворювань рухової, серцево-судинної, дихальної систем, тренування спортсменів;
- застосовувати знання з біомеханіки для проведення відновлювальних заходів та реабілітації спортсменів після травм і захворювань.

1 ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Практична робота № 1

Тема. Подоби біологічних систем. Елементи біологічної термодинаміки

Мета: вивчити I та II закони термодинаміки для відкритих систем, джерела вільної енергії живого організму та види робіт, які ним здійснюються, тепловий баланс організму, способи теплообміну, температурний гомеостаз, хімічну і фізичну терморегуляцію; навчитися розраховувати енерговитрати організму та основний обмін.

Короткі теоретичні відомості

Термодинаміка – наука про взаємні енергетичні перетворення та стани рівноваги в системах, у яких є теплові ефекти. Термодинаміка вивчає закономірності перетворення різних форм енергії (тепла, роботи, хімічної, електричної, магнітної, випромінювання) і властивості тіл, завдяки яким відбуваються ці перетворення, а також властивості термодинамічних систем, що знаходяться у рівновазі. Вона не описує процеси, які відбуваються у часі. Термодинаміка дає точне співвідношення між вимірюваними властивостями термодинамічних систем і відповідає на питання, наскільки глибоко відбувається ця реакція до досягнення рівноваги, дозволяє впевнено передбачити вплив температури, тиску та концентрації на хімічну рівновагу. Також існує термодинаміка нерівновагових процесів. Історично склалася назва навчальної дисципліни «Термодинаміка» (що не відповідає його змісту) за аналогією з «гідродинамікою», а в дійсності рух тепла (як форми енергії) у ній не розглядається. Термодинаміка ґрунтується на двох основних початках (законах, принципах, положеннях, постулатах), які є узагальненням закономірностей, що спостерігаються у природі та на практиці людської діяльності, які застосовуються до хімічної рівноваги, електрорушійних сил, фазових рівноваг, поверхневих і міжфазних явищ. Перший закон термодинаміки є законом еквівалентності енергії та впливає із загального

закону збереження й перетворення енергії речовини, прикладеного до термодинамічних систем і процесів. На його підґрунті утворюється баланс енергій у будь-яких перетвореннях. У цьому разі використовуються властивості функцій термодинамічного стану тіл, що енергетично взаємодіють. Але перший закон не визначає можливість і спрямованість термодинамічних процесів.

Другий закон термодинаміки встановлює умови можливостей змін у заданому напрямку, умови рівноваги і ступінь завершеності процесів, які можуть проходити у прямому та зворотному напрямках. Обмеження, що накладає другий закон на термодинамічний процес, виражається за допомогою деяких параметрів і функцій стану – ентропії (S), потенціалів Гіббса (G) і Гельмгольца (F) тощо. Ці два закони доповнені нульовим принципом і третім законом термодинаміки. Нульовий принцип указує на самостійне досягнення теплової рівноваги в ізольованих системах. Третій закон термодинаміки є доповненням другого у тій частині, що належить до розрахунків хімічної рівноваги на підставі термічних властивостей речовин і стану та властивостей речовин, стану рівноваги у разі абсолютного нуля температур.

Ці основні положення термодинаміки є досить узагальнені, а їх формулювання та окремі застосування визначаються залежно від конкретного змісту явищ. Термодинаміка побудована так, що дослідним способом установлені основні закони та положення і застосовано до них звичайний, доволі простий апарат математичного аналізу. Основний обмін речовин – це кількість енергії у кілокалоріях або кілоджоулях, виділеної організмом за одиницю часу. У дорослої людини це становить приблизно 1 ккал на 1 кг маси тіла за годину. У цьому разі обмін речовин залежить від статі, віку, зросту, маси тіла та інших чинників.

Основний обмін досить мінливий: він може змінюватися у разі недостатнього або надмірного харчування, збільшення або зменшення фізичних навантажень, впливу на організм кліматичних чинників, порушенні функцій ендокринних залоз, під час захворювань, що супроводжуються лихоманкою.

Основний обмін у тієї самої людини в різні дні може змінюватися

приблизно на 10 %. З віком він знижується на 7–10 % кожні десять років, а до старості досягає свого мінімуму.

Процеси обміну у жінок відбуваються повільніше, ніж у чоловіків. Навіть у разі однакового зросту з чоловіком у жінки маса тіла менша, м'язева система розвинута слабше, а жирова тканина – сильніше.

Для розрахунку основного обміну використовуються такі формули:

– **для чоловіків:** основний обмін = (зріст, см \times 5) + (вага, кг \times 14) + 66 – (вік \times 6,8);

– **для жінок:** основний обмін = (зріст, см \times 1,8504) + (вага, кг \times 9,556) + 655 – (вік \times 4,7).

Тобто, основний обмін тридцятирічної жінки зростом 170 см та вагою 65 кг становитиме: $(170 \times 1,8504) + (65 \times 9,556) + 655 - (30 \times 4,7) = 1450$ ккал. Під час утрати кожних десяти кілограмів він зменшується на 100 калорій, тому важливо скорочувати раціон поступово.

Існує кілька простих, але ефективних способів, щоб надати прискорення «сплячому» обміну.

Для того, щоб розрахувати енерговитрати, необхідно визначити свій рівень фізичної активності.

Дуже низький (сидячий спосіб життя, трохи легкої домашньої роботи, дуже рідко заняття спортом): 1,3.

Низький (легка робота, переважно сидяча, невеликі прогулянки, спорт або важка домашня робота кілька разів на тиждень): 1,4.

Середній (нескладна фізична робота, активний спосіб життя): 1,6 (жінки)/ 1,7 (чоловіки).

Високий (важка фізична праця або регулярні інтенсивні заняття спортом): 1,8 (жінки)/1,9 (чоловіки).

Потім необхідно помножити показник основного обміну на рівень фізичної активності. Отримане значення показує, скільки енергії витрачається за добу. Саме стільки калорій можна споживати з їжею.

Завдання до теми

1. Вивчити перший та другий закони термодинаміки: їх формули занести до протоколу.

2. Розрахувати енерговитрати за формулами, а їх результати занести до протоколу.

Розв'язати задачі

1. Загальне виділення енергії у людини у стані спокою складає $210 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год}$, а у разі середнього м'язового напруження – $726 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{год}$. Під час оцінювання ступеня участі окремих систем та органів у загальному теплоутворенні встановлено, що для скелетних м'язів воно складає 20 % та 75 %. Чим зумовлене значне збільшення теплопродукції скелетних м'язів під час навантаження?

2. Які зміни відбуваються у теплообміні людини з навколишнім середовищем за умов, коли температура його вища за температуру тіла?

3. Під час знаходження людини у воді в стані спокою за температури 12°C протягом 4 хвилин витрачається близько 420 кДж теплоти, тобто стільки ж, скільки на повітрі за тієї ж температури витрачається за годину. Чому це відбувається?

Контрольні питання

1. Перший та другий закони термодинаміки в біології.
2. Живий організм як відкрита термодинамічна система.
3. Зв'язок ентропії та інформації в біосистемах.
4. Основні положення лінійної нерівноважної термодинаміки.
5. Стаціонарний стан і термодинамічна рівновага в біосистемах.
6. У чому полягає сутність теореми Пригожина?
7. Нелінійна термодинаміка необоротних процесів.
8. Значення термодинаміки і синергетики для проблеми охорони довкілля.

Література: [2, с. 10–15; 3, с. 125–150].

Практична робота № 2

Тема. Біомеханіка матеріалів. Опис деформації матеріалу, поняття деформації, види деформації

Мета: вивчити біомеханіку матеріалів; отримати уявлення про деформації матеріалу та їх види.

Короткі теоретичні відомості

Еластичність біологічної тканини – це фізична величина, яка характеризує зміну абсолютної деформації цієї тканини до механічного навантаження і яка показує, на скільки зміниться ця деформація у разі зміни навантаження на 1 %. У результаті дії сили тверде тіло може змінювати свою форму або об'єм. Зміну форми або об'єму тіла під дією прикладених до нього сил називають деформацією. Якщо після припинення дії сил тіло відновлює свою форму та об'єм, то деформація називається пружною. Сили, які виникають за пружних деформацій тіл, називають силами пружності. Вони виникають під час взаємодії тіл, коли їхні молекули зближаються до відстані. Сили пружності діють між взаємодіючими шарами деформованого тіла, а також в місці контакту деформованого тіла з тілом, яке викликає деформацію. Розглянемо одномірні (лінійні) деформації розтягу або стиску. У цих випадках сили пружності напрямлені вздовж лінії дії деформуючої сили. Сили пружності, які діють на тіло з боку опори або підвісу називаються силою реакції опори або силою натягу підвісу. Закон Гука для розтягу (або стиску), що характеризується вектором видовження (стиску), формулюється так: сила пружності пропорційна вектору видовження (стиску) і протилежна йому за напрямком. Сили пружності залежать тільки від зміни відстаней між частинами цього пружного тіла, які взаємодіють. Механічні властивості твердого тіла розглянемо на прикладі деформацій розтягу стержня.

Деформацію розтягу характеризують: абсолютним видовженням, відносним видовженням, механічною напругою. Для дослідження деформації розтягу стержень розтягують за допомогою спеціальних пристроїв і вимірюють видовження зразка та напругу, що виникає в ньому. За результатами дослідів

креслять графік залежності напруги від відносного видовження. Цей графік називають діаграмою розтягу. Дослід показує, що для малих деформацій напруга прямо пропорційна відносному видовженню.

Максимальна напруга, за якої ще справджується закон Гука, називається границею пропорційності. Максимальну напругу, за якої ще не виникають помітні залишкові деформації (не більше 0,1 %), називають границею пружності. Із збільшенням навантаження деформація зростає дедалі швидше.

Завдання до теми

Вивчити в'язкопружні властивості тіл, які моделюються системами з різних комбінацій простих моделей «пружина» та «поршень». Результати набутих знань занести до протоколу у вигляді схематично зображених моделей:

– модель Максвелла – послідовне з'єднання в'язкого та пружного елементів;

– модель Кельвіна-Фойгта – паралельне з'єднання в'язкого та пружного елементів.

Розв'язати задачу

Мембранний потенціал спокою м'язового волокна становить -98 мВ. Уважаючи, що електричне поле всередині мембрани є однорідне (товщина мембрани $8,5$ нм), знайти напруженість електричного поля у мембрані.

Контрольні питання

1. Загальна характеристика деформацій біологічних тканин.
2. Як називають деформацію, характерну для полімерів?
3. Методи визначення механічних властивостей біологічних тканин
4. Моделі, які характеризують в'язкопружні властивості тіл.
5. Характеристика деформацій кісткової тканини, м'язів і судин.

Література: [4, с. 4–12]

Практична робота № 3

Тема. Біомеханічні властивості кістки. Біомеханіка рухової системи людини

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

Короткі теоретичні відомості

Рухові дії людини істотно залежать від будови та властивостей її тіла. З одного боку, надзвичайно складна будова й різноманітність властивостей тіла людини обумовлюють високу складність як рухових дій, так і процесів керування ними. Але з іншого боку, це дає змогу досягнути надзвичайного багатства та різноманітності рухів, які до цього часу були недоступні жодній навіть найбільш досконалій машині. Біомеханіка вивчає переважно ті особливості будови і функцій тіла людини та її опорно-рухового апарату, які мають найбільше значення для удосконалення рухових дій. Відволікаючись від деталей анатомічної будови і фізіологічних механізмів рухового апарату, розглядають спрощену модель тіла людини – біомеханічну систему. Вона володіє основними властивостями, важливими для виконання рухової функції, але не включає в себе більшості другорядних деталей. Під час математичних розрахунків з використанням біомеханічної системи (БМС) живого організму приймають наступні припущення: кінематичні та динамічні характеристики БМС відповідають аналогічним характеристикам живого організму, який досліджують; нехтують різницею в анатомічній будові правої та лівої частини тіла; біоланки БМС розглядаються як «миттєво затверділі», не враховуючи, що частини реального тіла – «жива маса»; тертя у тканинах і суглобах належать до внутрішніх утрат, якими знехтувати неможливо, і які враховують під час виведення коефіцієнта механічної ефективності роботи м'язів; переміщеннями у деяких суглобах, залежно від поставленого завдання дослідження та характеру рухових дій, нехтують; багатовісні суглоби за наявності відповідної керувальної роботи м'язів найчастіше вважають одновісними відповідно до рухових дій, які аналізуються тощо. Отже, біомеханічна система – це спрощена

копія, модель живого тіла людини, на якій можна вивчати закономірності її рухових дій. БМС тіла людини складається з біокінематичних ланцюгів. Більшість частин тіла, з'єднаних рухомо, утворюють біокінематичні ланцюги. До них прикладені сили (навантаження), які викликають деформації біоланок та зміну їхнього руху. Центром мас тіла (ЦМТ) називається точка перетину прямих, удовж яких мають бути спрямовані сили, щоб тіло рухалося поступально. Тому важливо вміти визначати положення ЦМТ під час біомеханічного аналізу його руху. Будь-яку досліджувану рухову дію можна подати як суму більш простих рухів – наприклад, руху ЦМТ та обертання окремих частин тіла відносно нього. Положення центра маси тіла людини можна визначити за допомогою її зважування на спеціальній платформі трикутної форми, на якій вона приймає потрібну позу. Проте більш зручним є розрахунковий спосіб, описаний нижче, який передбачає знаходження центрів мас усіх його частин. Для визначення положення центрів мас окремих частин тіла людини користуються відомими з курсу динамічної анатомії коефіцієнтами Фішера, що становлять: для тулуба та стегна – 0,44, для передпліччя та гомілки – 0,42, а для плеча – 0,47. Указані коефіцієнти є не зовсім точними, тому що не ураховують тотальних розмірів тіла, віку, співвідношення м'язового, кісткового та жирового компонентів тіла, спортивної спеціалізації тощо. Для цього у спеціальній літературі наведені точніші формули для розрахунку необхідних мас-інерційних характеристик тіла людини. Ці уточнені дані одержані під час спеціального радіотопного сканування спортсменів-студентів за методикою ГЦОЛІФКу.

Визначити розташування ЦМТ спортсмена, зображеного на фотографії, можна, використавши наслідок відомої у класичній механіці теореми Варіньйона: момент рівнодійної системи плоских однонапрямлених сил відносно будь-якої точки на площині рівний алгебраїчній сумі моментів складових сил відносно тієї ж точки. ЦМТ співпадає з центром тяжіння тіла людини. Тому, застосовуючи теорему Варіньйона до сил тяжіння окремих частин тіла, а також ураховуючи пропорційність цих сил відповідним масам,

одержимо такі залежності для визначення координат ЦМТ X_c та Y_c :

$$X_c = \sum m_i \cdot x_i / M \text{ (мм)}; \quad Y_c = \sum m_i \cdot y_i / M \text{ (мм)}$$

де m_i – маса i -тої біюланки в кг; x_i та y_i – координати центрів мас цих біюланок в мм.

Для визначення положення ЦМТ за фотознімком, теорему Варіньйона застосовують у такому порядку: зображають на заданому фотознімку плоску систему координат, спрямувавши вісь абсцис (X) праворуч, а вісь ординат (Y) – вгору, і бажано, щоб людина, зображена на ній, знаходилася якомога ближче до початку системи координат; наносять на фотознімок положення центрів мас голови, кистей та стоп і центри усіх суглобів, керуючись анатомічними ознаками; малюють відповідну таблицю та визначають положення ЦМ кожної частини тіла, помноживши попередньо виміряну її довжину на відповідний коефіцієнт Фішера та відклавши одержаний відрізок від проксимального (важкого) кінця (для тулуба – це плечовий пояс). ЦМ голови знаходиться, як відомо, над верхнім краєм зовнішнього слухового отвору; ЦМ кисті співпадає з п'ястнофаланговим суглобом третього пальця; ЦМ стопи (якщо це можливо визначити за наявним фотознімком) розташований на лінії між п'ятковим горбом та другим пальцем ноги на віддалі 0,44 повної довжини стопи від п'ятки; знаходять маси кожної частини тіла, помноживши значення графі «1» на масу сфотографованої людини в кг і заносять їх в графу «4» таблиці; вимірюють на фотознімку та заносять у відповідні графи таблиці координати x_i та y_i центра маси кожної частини тіла; вираховують і записують у відповідні графи таблиці добутки $m_i \cdot x_i$ та $m_i \cdot y_i$; знаходять суми $\sum m_i \cdot x_i$ та $\sum m_i \cdot y_i$; за формулами для координат ЦМТ вираховують координати x_c та y_c і показують їх на фотознімку, зазначивши знайдені координати на осях.

Завдання до теми

1. Дослідити та розшифрувати за фотознімком положення ЦМТ тіла людини.
2. Розрахувати положення ЦМТ тіла людини за фотознімком та дані заносять до таблиці:

№ прор.	Назва частини тіла	$m_i, \%$	$m_i, \text{кг}$	x_i	$m_i \cdot x_i$	y_i	$m_i \cdot y_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Голова	7					
2	Тулуб	43					
3	Стегно праве	12					
4	Стегно ліве	12					
5	Гомілка права	5					
6	Гомілка ліва	5					
7	Стопа права	2					
8	Стопа ліва	2					
9	Плече праве	3					
10	Плече ліве	3					
11	Передпліччя праве	2					
12	Передпліччя ліве	2					
13	Кисть права	1					
14	Кисть ліва	1					

Розв'язати задачі

1. На яку висоту може підстрибнути хлопчик масою 30 кг на батуті жорсткістю 800 Н/м?

2. Зовнішній діаметр ліктьової кістки 15 мм, межа міцності кістки 108 Па. Яку силу потрібно прикласти під час осьового навантаження до кістки, щоб стався її розрив. Товщина стінки кістки 3 мм.

3. Є залізний стержень діаметром поперечного перерізу $d = 5$ мм. Яку силу

Ї треба до нього прикласти, щоб викликати таке ж подовження, як і під час нагрівання на $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$? Температурний коефіцієнт лінійного розширення заліза $\alpha = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, модуль Юнга $E = 196 \text{ ГПа}$.

Контрольні питання

1. Що таке біомеханічна система?
2. Чим зв'язуються між собою біоланки біомеханічної системи?
3. Що таке біопара?
4. Що таке біокінематичний ланцюг?
5. Які є види біокінематичних ланцюгів?
6. Надайте визначення біомеханічного важеля. Чим відрізняються важелі першого і другого роду?
7. Що таке ступені свободи у суглобі? Що таке в'язі? Які є види в'язей?
8. Що таке абсолютна маса частини тіла? Що таке відносна маса частини тіла?
9. Які є способи визначення мас-інерційних характеристик частин тіла людини?
10. Охарактеризувати положення центрів мас окремих частин тіла людини.

Література: [5, с. 60–110].

Практична робота № 4

Тема. Основи реології крові

Мета: вивчити закони гідромеханіки, теорії пружності та пластичності, їх застосування у медицині; отримати уявлення про в'язкість крові.

Короткі теоретичні відомості

Біореологія – наука про плинність та деформацію суцільних біологічних середовищ (наприклад, біологічних в'язких рідин та рідин аномальної в'язкості, біотканин, суспензій тощо). Підґрунтям біореології є закони гідромеханіки і теорії пружності та пластичності (закон Ньютона для в'язкого тертя у рідинах, рівняння Нав'є-Стокса для руху нестисливої в'язкої рідини, закон Гука про опір

деформуванню пружного тіла тощо). Основне завдання біореології – встановити залежність між механічними напруженнями, що виникають в органічному об'єкті, і викликаними ними деформаціями та їх змінами в часі. При цьому основна увага привертається до складної реологічної поведінки біологічних речовин (наприклад, коли одночасно виявляються властивості в'язкі та пружні або в'язкі та пластичні). Біореологія охоплює питання, що знаходяться між питаннями, які розглядає теорія пружності ідеально пружних тіл і питаннями механіки ньютонівських рідин, і до яких належать задачі, пов'язані з деформацією та потоками реальних біологічних матеріалів, що зустрічаються на практиці – від біологічних суспензій (наприклад, лімфа, кров) до сильно розріджених рідин (наприклад, пінистих матеріалів). Зв'язок між швидкістю течії v , тиском p та висотою h певної точки в ідеальній рідині описується рівнянням Бернуллі (Даніель Бернуллі, 1738 рік). Усі рідини характеризуються такими унікальними властивостями, як плинність та в'язкість. Плинність – це властивість тіл деформуватися з перебігом часу під дією зовнішніх впливів (силових, теплових тощо). У різних тілах існують різні механізми плинності, що визначають опір тіл пластичній або в'язкій течії. У в'язких тіл (газів, рідин) плинність виявляється вже за мінімальних напружень, у пластичних твердих тіл – лише за великих напружень, що перевищують границю плинності. В'язкість або внутрішнє тертя – властивість рідких речовин чинити опір переміщенню однієї їх частини відносно іншої. В'язкість рідин – це результат взаємодії внутрішньомолекулярних силових полів, що перешкоджають відносному рухові двох шарів рідини. Отже, для переміщення шару один відносно одного треба подолати їх взаємне притягання, причому чим воно більше, тим більша потрібна сила зсуву. За відносного зсуву шарів у газовому середовищі, у результаті перенесення молекулами газу кількості руху під час їх переходу з шару в шар, виникає дотична сила між шарами, що протидіє проковзуванню останніх. Отже, внутрішнє тертя у рідині, на відміну від газів, зумовлене не обміном молекул, а їх взаємним притяганням. В'язкість рідини залежить від виду рідини, а також від її температури та градієнта

швидкості. Доказом цього є те, що зі збільшенням температури, як відомо, обмін молекул збільшується і тертя у газах збільшується, а в рідинах зменшується у зв'язку із послабленням міжмолекулярного притягання. На частинку, яка вільно переміщується у рідкому середовищі, діють три сили: сила тяжіння (зумовлює масивні тіла опускатися до низу), сила Архімеда (сила виштовхування стороннього тіла, яке занурюється у рідину) та сила внутрішнього тертя (сила, що чинить опір просуванню твердих тіл рідиною). Для визначення швидкості розглядається усталений рух нестисливої рідини з постійною в'язкістю у тонкій циліндричній трубці круглого перерізу під дією постійного перепаду тиску. Часто під час руху тіла в рідині виникають надлишкові сили тертя, які спричиняють утрати напору (тиску) або опір руху тіла з боку оточуючої його рідини і які називають гідравлічним опором (гідродинамічний опір). Гідравлічний опір оцінюється величиною втраченого напору h_v , що виражає собою ту частину питомої енергії потоку, яка незворотно витрачається на роботу сил опору. Утрата напору, яка належить до довжини каналу, на якому вона відбулася, називається «гідравлічний похил». Під час обтікання нерухомого тіла потоком рідини або, навпаки, коли тіло рухається у нерухомому середовищі, гідравлічний опір розглядається як проекція головного вектора усіх сил, які діють на тіло, на напрям руху. Утрати енергії (зменшення гідравлічного напору) у каналах можна спостерігати в рідині, що рухається не тільки на довгих ділянках, але й на коротких. У одних випадках утрати напору розподіляються (іноді рівномірно) по довжині каналу – це лінійні втрати; у інших вони зосереджені на дуже коротких ділянках, довжиною яких можна знехтувати, на так званих місцевих гідравлічних опорах: вентилях, поворотах і заокругленнях, звуженнях, розширеннях, розгалуженнях тощо, тобто скрізь, де потік деформується. Причиною втрат в обох випадках є в'язкість рідини, і втрачена енергія розсіюється у вигляді тепла. Окрім температури, що має вплив на в'язкість рідин, остання також залежить від ступеня дисоціації (α) – кількісного показника, обчисленого як відношення числа формульних одиниць розчиненої речовини, що розпалися на його йони,

до їх загального числа дисоціації. Ступінь дисоціації залежить від концентрації розчиненої речовини. Для слабких електролітів, у яких можна знехтувати взаємодією йонів між собою, справедливий закон розведення Освальда. Існує два основних режими протікання рідин: ламінарний та турбулентний. Ламінарний режим – ламінарний рух рідини, за якого окремі струмені течуть паралельно, обтікаючи перешкоди рівномірними шарами. Ламінарна течія спостерігається у дуже в'язких рідинах або за малої швидкості, а також під час повільного обтікання дуже в'язкою рідиною тіл малих розмірів. Зі збільшенням швидкості руху рідини (газу) ламінарна течія переходить у турбулентну. Турбулентним називають рух рідини, що супроводжується утворенням вихорів. Критерієм турбулентності є досягнення числом Рейнольдса критичного значення. Капілярний ефект – явище підвищення або зниження рівня рідини у капілярах порівняно з тим значенням, яке вимагає закон сполучених посудин. Капілярний ефект виникає через зниження або підвищення тиску рідини під меніском, який утворюється під час змочування рідиною стінок капіляра. Висота підняття (опускання) рідини в капілярі (формула Журена, 1717 рік) h залежить від діаметра капіляра d , а також від кута змочування рідиною стінок.

Завдання до теми

1. Визначити швидкість осідання еритроцитів у плазмі крові, вважаючи їх ізольованими кульками діаметром $d = 1$ мкм (густина еритроцитів = 1090 кг/м^3). Густина плазми крові = 1030 кг/м^3 .

2. Визначити швидкість і час повного осідання сферичних частинок крові радіусом $r = 2$ мкм (густина частинок = $2,5 \text{ г/см}^3$) у шарі товщиною $l = 3$ см: а) під час дії сили тяжіння; б) під час центрифугування з 500 с^{-1} (у цьому випадку силою тяжіння знехтувати). Радіус центрифуги $R = 10$ см.

Розв'язати задачу:

Хвилиний об'єм крові у спокої складає $Q_1 = 5$ л/хв, а за інтенсивної фізичної роботи може зростати до $Q_2 = 25$ л/хв. Визначити тип течії крові в

аорті для цих двох випадків. Діаметр аорти $D = 2$ см, в'язкість крові – 5 мПа/с, густина – 1050 кг/м³, значення числа Рейнольдса $Re_{кр} = 2000$. Дано: $Q_1 = 5$ л/хв = $8,3 \cdot 10^{-5}$ м³/с; $Q_2 = 25$ л/хв = $41,7 \cdot 10^{-5}$ м³/с; $D = 2$ см = $0,02$ м. Табличні величини, константи: 5 мПа/с – в'язкість крові; 1050 кг/м³ – густина крові; $Re_{кр} = 2000$ – критичне значення числа Рейнольдса. Знайти: Re_1, Re_2 .

Контрольні питання

1. Загальна характеристика в'язкого плинуну в медико-біологічних системах.
2. Охарактеризувати капілярні явища в біомеханіці.
3. Надати загальну характеристику в'язкості крові.
4. Пояснити основні закони.

Література: [3, с. 131–132].

Практична робота № 5

Тема. Біомеханіка серцево-судинної системи

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

Короткі теоретичні відомості

Серцево-судинна система забезпечує функціонування усіх тканин і органів, життєдіяльність усього організму за різних умов навколишнього середовища і стану організму. Така висока здатність до пристосування серцево-судинної системи досягається завдяки добре розвиненим адаптаційно-компенсаторним можливостям.

Найбільш повний та достовірний обсяг інформації про стан судин й гемодинаміки можливо отримати у разі використання інструментально-функціональних методів дослідження.

Осцилографія – метод дослідження судин, який використовує запис пульсових коливань артеріальної стінки за різного ступеня здавлення кінцівок.

Сфігмографія – метод графічної реєстрації коливань стінки артерій з виявленням форми та величини пульсу, а також швидкості розповсюдження

пульсової хвилі. У разі звуження артерії відмічається деформація та зменшення амплітуди пульсових хвиль.

Продольна сегментарна реографія являє собою один з найбільш об'єктивних методів оцінювання регіонарної гемодинаміки та особливо колатерального кровообігу з оклюзіями магістральних артерій. Метод ґрунтується на принципі реєстрації електричного опору тканин залежно від кровонаповнення кінцівок. Реограми знімають посегментно з 3–4 рівнів ураженої та здорової кінцівок.

Завдання до теми

1. Дослідити реоплетизмограму. Для дослідження центральної гемодинаміки використати тетраполярний реоплетизмограф (РПГ 2–02), чотиріканальний електрокардіограф (ЕЛКАР–4) з фонодатчиком і артеріальний осцилограф. За допомогою цієї апаратури у разі затримки дихання на напіввидиху синхронно зареєструвати 5–6 циклів об'ємної та диференціальної реоплетизмограми, електрокардіограму в другому стандартному відведенні, фонокардіограму з місця найкращої чутності II тону, а також осцилограму артерії лівого плеча. Визначити такі показники центральної геодинаміки: ударний та хвилинний об'єми крові (УОК і ХОК), частоту серцевих скорочень (ЧСС), систолічний, середній та діастолічний артеріальний тиск (АТ), а також розрахувати загальний периферичний опір (ЗПО). Отримані дані занести до протоколу.

Розв'язати задачі

1. У людини в стані спокою величина кровотоку на 100 г м'язів руки дорівнює в середньому 2,5 мл за хвилину. Визначити кількість капілярів у тканинах м'язів, вважаючи, що довжина кожного з них складає 0,3 мм, а діаметр – 10 мкм. Різниця тиску на кінцях капілярів дорівнює 33,3 гПа.

2. У стані спокою серце людини здійснює 60 скорочень за хвилину. Під час м'язової роботи середньої інтенсивності хвилинний об'єм крові збільшується приблизно у п'ять разів. У скільки разів збільшується робота серця за хвилину під час фізичного навантаження?

Контрольні питання

1. Реологічні властивості рідин та крові.
2. Робота серця.
3. Загальні фізичні закономірності руху крові по судинах.
4. Основні гемодинамічні показники.
5. Пульсова хвиля.

Література: [2, с. 44–45].

Практична робота № 6

Тема. Біомеханіка м'язних тканин

Мета: вивчити механізми руху м'язів людини, з'ясувати механізми м'язового скорочення.

Короткі теоретичні відомості

Скелетний м'яз людини – надзвичайно складне утворення: він демонструє свої механічні характеристики лише у випадку його підключення до системи кровообігу та центральної нервової системи, до того ж зовнішня подібність його поведінки до механічних властивостей неживих матеріалів обумовлена зовсім іншими і набагато складнішими внутрішніми причинами. Тому говорити про традиційні механічні властивості матеріалів (наприклад, пружність, твердість, в'язкість, міцність, текучість тощо) відносно живих м'язів людини просто некоректно. У біомеханіці розглядають два основні біомеханічні показники роботи м'яза: силу тяги на його кінцях та швидкість його скорочення. Основна функція м'язів – це перетворення хімічної енергії макроергічних сполук на механічну роботу (так звана механо-хімічна реакція). Скорочення м'язів відбувається унаслідок взаємодії актинових та міозинових міофіламентів. Активатором механохімічної реакції є іони кальцію. Енергія для роботи поперечних мостиків молекул міозину постачається АТФ. Розглядаючи будову скорочувальних елементів скелетного м'яза людини, можна зауважити, що він складається з окремих м'язових пучків, пучки – з волокон (клітини

довжиною від кількох мм до 10 і більше см), а волокна – з міофібрил (тонкі нитки товщиною 2 мкм). Міофібрили поділяються на товсті нитки – молекули міозину і тонкі нитки – білкові молекули актину. Поперечні z-мембрани розділяють міофібрили на маленькі волокна – саркомери – елементарні утворення м'яза, що виявляють його властивість скорочуватись (приблизно на 20 %, або на 5 мкм). Це надає змогу зробити висновок, що збільшення фізіологічного перетину м'яза приводить до зростання сили його тяги без зміни швидкості скорочення, і навпаки – збільшення довжини м'яза призводить до збільшення швидкості скорочення без зміни сили тяги. Практика показує, що найбільшу силу тяги м'яз проявляє за певної оптимальної довжини. Ця довжина називається довжиною спокою. Пояснюється це експериментальними даними, одержаними під час вивчення скорочення м'язового волокна. За великої довжини м'яза перекриття ниток актину та міозину мале, тому мала кількість мостиків, утворених між ними під час активації м'яза, які «тягнуть». За малої довжини м'яза нитки актину впираються у Z-мембрани молекул міозину і сила тяги різко зменшується. Вплив довжини саркомера на напруження, що розвивається окремими м'язовими волокнами, та схема перекриття міозинових і актинових ниток за різної довжини саркомера відображає силу активної тяги скелетного м'яза людини залежно від його довжини. Чим більше у м'яза з'єднувальної тканини, тим менша її рівноважна довжина (довжина розслабленого м'яза, витягнутого в одну лінію), що особливо характерно для більшості м'язів нижніх кінцівок. Тобто, збільшення максимальної сили тяги м'язів за їх великої довжини обумовлене не активною тягою саркомерів, а їх попереднім пасивним розтягом завдяки зовнішнім силам (наприклад, силами інерції тіла людини та його частин або інерцією спорядження та приладдя).

Завдання до теми

1. Обчисліть теплопродукцію Q м'яза, якщо його ККД $\eta = 40$. У ізотонічному режимі м'яз піднімає вантаж масою $m = 100$ г на висоту $h = 20$ см.

2. Розрахуйте, який максимальний вантаж може підняти м'яз на висоту

$h = 1$ м за допомогою енергії $Q = 1$ кДж; ККД м'яза $\eta = 30$ %.

3. Обчисліть загальну потужність $N_{\text{заг}}$ м'яза у разі навантаження в $P = 180$ Н. Максимальна загальна потужність, що розвивається м'язом, складає $N_{\text{заг.max}} = 10$ Вт, а навантаження в ізометричному режимі скорочення $P_0 = 300$ Н.

Розв'язати задачу

1. М'яз руки людини може утримати нерухомо найбільший вантаж, що дорівнює 50 кг, а максимальна швидкість скорочення м'яза дорівнює 20 м/с. Чому дорівнює максимальна потужність м'яза, якщо стала рівняння Хілла $a = 200$ Н?

Контрольні питання

1. Біомеханічні особливості м'язового скорочення.
2. Залежність сили тяги м'яза від його довжини.
3. Залежність сили тяги м'яза від часу.
4. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення (залежність Хілла).

Література: [1, с. 350–300].

Практична робота № 7

Тема. Біомеханіка дихальної системи

Мета: вивчити механізми вдиху та видиху, з'ясувати, які м'язи беруть участь у цих механізмах. Ознайомитись з показниками зовнішнього дихання та легеневої вентиляції.

Короткі теоретичні відомості

Дихальний цикл складається з 2 фаз – вдих і видих. *Механізм вдиху.* Вдих починається з активації інспіраторних нейронів дихального центру. Імпульси від них по *tr. reticulospinalis* передаються у спинний мозок на α –мотонейрони дихальних м'язів, а звідти по периферичним нервам до інспіраторних м'язів. Інспіраторні м'язи скорочуються. Збільшується об'єм грудної порожнини.

Збільшується об'єм плевральної порожнини, що призводить до зменшення плеврального тиску (-6-8 см H₂O). Зростає транспульмональний тиск ($P_{тр} = P_a - P_{пл}$), під впливом якого легені розтягуються. Об'єм альвеол збільшується, а тиск у них знижується (-1 см H₂O). Ральв. стає меншим за атмосферний тиск і повітря надходить в альвеоли за градієнтом тиску. *Механізм видиху.* Видих пов'язаний з припиненням імпульсації інспіраторних нейронів. Імпульси не надходять до інспіраторних м'язів, вони розслаблюються, об'єм грудної порожнини зменшується. Об'єм плевральної порожнини зменшується, плевральний тиск підвищується (-3-5 см H₂O). Транспульмональний тиск знижується, об'єм альвеол зменшується, тиск у них підвищується: він перевищує за атмосферний. І за градієнтом тиску повітря із альвеол виходить в атмосферу.

За спокійного дихання видих відбувається пасивно. Зменшення об'єму легенів відбувається завдяки пружності грудної клітки та еластичної тяги легенів.

Форсований (активний) видих відбувається за допомогою експіраторних м'язів, скорочення яких сприяє зменшенню об'єму легенів і виходу додаткової кількості повітря з альвеол.

Показники зовнішнього дихання. Методи їх визначення і оцінювання.

Показники легеневої вентиляції поділяють на 2 групи:

1. Статичні. Характеризують функціональні резерви системи зовнішнього дихання.
2. Динамічні. Характеризують реалізацію резервів зовнішнього дихання в умовах спокійного та форсованого дихання.



Для оцінювання стану дихальної системи у клініці використовують метод спірографії, спірометрії, пневмотахометрії.

Спірографія – це метод графічної реєстрації дихальних об'ємів за умов спокійного та форсованого дихання. Дихальний об'єм (ДО) – це об'єм повітря, який людина вдихає чи видихає під час спокійного дихання. У нормі ДО ≈ 500 мл. Резервний об'єм вдиху (Ровд.) – це максимальний об'єм повітря, який людина може додатково вдихнути після спокійного вдиху не видихаючи. У нормі Ровд. = 2,0–2,5 л. Резервний об'єм видиху (Ровид.) – це максимальний об'єм повітря, який людина може видихати після спокійного видиху. У нормі Ровид. = 1,5 л. Залишковий об'єм (ЗО) – це об'єм повітря, який залишається у легенях після глибокого видиху. У нормі ЗО = 1,0–1,5 л. Життєва ємність легенів (ЖЄЛ) – це максимальний об'єм повітря, який людина може видихнути після максимального глибокого вдиху. У нормі ЖЄЛ = 3,5–4 л. $ЖЄЛ = ДО + Ровд. + Ровид.$ Ємність вдиху (ЄВ) – це максимальний об'єм повітря, який людина може вдихнути після спокійного видиху. У нормі ЄВ = 2,0 л. $В = ДО + Ровд.$ Функціональна залишкова ємність (ФЗЄ) – це об'єм повітря, який знаходиться в легенях після спокійного видиху перед вдихом. У нормі ФЗЄ = 2,5–3 л. $ФЗЄ = Ровид. + ЗО.$ Загальна ємність легенів (ЗЄЛ) – це об'єм повітря, який знаходиться у легенях на висоті глибокого вдиху. У нормі ЗЄЛ = 5 л. $ЗЄЛ = Ровд. + Ровид. + ЗО.$ Найбільше значення серед статичних показників мають ДО, ЖЄЛ, ФЗЄ.

ЖЄЛ є показником рухливості легенів і грудної клітки. Не дивлячись на назву (життєва ЄЛ), цей показник не вказує на параметри дихання у реальних, життєвих умовах, оскільки навіть за найбільших потреб глибина дихання не сягає максимально можливих значень.

ЖЄЛ залежить від таких факторів.

1. Вік. Після 40 років ЖЄЛ зменшується. Це пов'язано зі зниженням еластичності та рухливості грудної клітки.

2. Стать. У жінок ЖЄЛ на 25 % зменшена, ніж у чоловіків.

3. Зріст, маса тіла. Величина грудної клітки пропорційна розмірам тіла. Збільшуються розміри тіла, збільшується грудна клітка, зростає ЖЄЛ.

4. Фізичний розвиток, ступінь тренуваності. У фізично тренуваних ЖЄЛ збільшується. Особливо у тих, хто займається видами спорту, що вимагають витривалості (плавання, гребля). У них ЖЄЛ зростає до 8 л.

ФЗЄ. Фізіологічне значення цього показника полягає в тому, що завдяки наявності цієї ємності в альвеолярному просторі вирівнюються коливання O_2 і CO_2 , яке обумовлено різницею в їх вмісті у вдихаємому та видихаємому повітрі. Повітря, яке вдихається, перемішується з тим, яке знаходиться у легенях, тобто з ФЗЄ. Оскільки ФЗЄ в декілька разів більша за ДО (3 л проти 0,5 л), то склад альвеолярного повітря змінюється незначно. ФЗЄ залежить: від віку, під час старіння зростає; від статі, у жінок на 25 % менше.

Завдання до теми

1. Визначити свою життєву ємність легень методом спірометрії. Зробити висновок.

2. Визначити свій дихальний об'єм методом спірометрії. Зробити висновок.

3. Визначити свій резервний об'єм вдику методом спірометрії. Зробити висновок.

4. Визначити свій резервний об'єм видиху методом спірометрії. Зробити висновок.

5. Розрахувати за спірограмою дихальний об'єм, життєву ємність легень. Зробити висновок.

6. Розрахувати основний обмін досліджуваного, визначивши споживання кисню за спірограмою, зареєстрованою у стандартних умовах, зробити висновок.

7. Виконати проби із затримкою дихання. Провести аналіз результатів.

Контрольні питання

1. Фізіологія дихання, газообмін. Зовнішнє, внутрішнє та клітинне дихання.
2. Значення дихання. Дихальні рухи. Перенесення газів кров'ю.
3. Регуляція дихання. Значення дихання. Зовнішнє та внутрішнє дихання.
4. Дихальний центр. Участь відділів головного мозку в регуляції дихання.
5. Особливості дихання за різних умов навколишнього середовища.

Література: [6, с. 25–50; 7, с. 44–45].

2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Шкала оцінювання знань студентів: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту, 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 навчальної дисципліни	Не зараховано з обов'язковим повторним вивченням навчальної дисципліни

Вид контролю	Максимальний бал
Відвідування практичних занять	5
Контрольні тести	5 (детальний розподіл балів здійснюється у робочій навчальній програмі)
Захист практичного заняття	20 (детальний розподіл балів здійснюється у робочій навчальній програмі)
Усього	30

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Александер Р. Биомеханика. М., 1970. 380 с.
2. Богданов К. Ю. Физик в гостях у биолога. М. : Наука, 1986. 142 с.
3. Баранов А. П., Рогачев Г. М. Сборник задач и вопросов по медицинской физике. Минск, 1982. 192 с.
4. Волькенштейн М. В. Биофизика. М.: Наука, 1988. 420 с.
5. Знаменский В. А. Что называют биомеханикой? Воронеж, 1991. 120 с.
6. 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.