

**Львівський державний університет фізичної культури ім. Івана
Боберського**

Кафедра анатомії та фізіології

"Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту"

Лекція № 3

Тема. ФІЗІОЛОГІЯ ВЕГЕТАТИВНИХ СИСТЕМ.

План.

1. Основні функції серця і властивості серцевого м'язу. ЕКГ.
2. Серцевий цикл та його фази.
3. Основні показники діяльності серця. Регуляція серцевої діяльності.
4. Кровообіг в стані спокою та під час м'язової роботи.
5. Фізіологія кровоносних судин. Артеріальний тиск.
6. Зовнішнє дихання та його показники.
7. Обмін газів у легенях.
8. Транспорт газів кров'ю. Регуляція дихання.

Тривалість лекції: 2 академічні години

Навчальні та виховні цілі: дати слухачам уявлення про механізми роботи серця, закономірності гемодинаміки, механізми функціонування системи зовнішнього дихання людини, транспорт газів кров'ю.

Матеріальне забезпечення: таблиці, мультимедійна презентація.

Склав: доц. Бергтраум Д.І.

Затверджено на засіданні

кафедри анатомії та фізіології

"_30_" __серпня__ 2021 р.

протокол № __1__

Львів - 2021

1. Основні функції серця і властивості серцевого м'язу. ЕКГ.

Основна функція серця - безперервне переміщення крові в організмі людини здійснюється завдяки почерговому його скороченню – *систолі*, та розслабленню – *діастолі*.

До основних фізіологічних властивостей серцевого м'язу належать: *автоматія, збудливість, провідність і скоротливість*.

Здатність серця ритмічно скорочуватись без зовнішніх подразників, лише під впливом імпульсів, що виникають в ньому самому, називається автоматією. В нормі ритмічні імпульси генеруються тільки спеціалізованими клітинами-водіями ритму - *пейсмейкерами* і поширюються по клітинах провідної системи серця. Головним водієм ритму або *пейсмейкером 1-го порядку* є синаотріальний вузол (пазушно-передсердний вузол Кіс-Фляка). У правому передсерді знаходиться атріовентрикулярний вузол (передсердно-шлуночковий, вузол Ашоффа-Товара) або *пейсмейкер 2-го порядку*. До провідної системи серця також належить пучок Гіса, який ділиться на праву і ліву ніжки і їх кінцеві розгалуження - волокна Пуркінє. У синоатріальному вузлі частота розрядів становить $60-80 \text{ хв}^{-1}$, у атріовентрикулярному – $40-50 \text{ хв}^{-1}$, у пучку Гіса – $30-40 \text{ хв}^{-1}$, у волокнах Пуркінє – 20 хв^{-1} .

М'яз серця (міокард) належить до збудливих тканин. Це означає, що *волокна міокарду володіють потенціалом спокою, і відповідають на порогові стимули генерацією потенціалу дії*.

Провідність серця лежить в основі поширення збудження від клітин водіїв ритму по всьому міокарду. При цьому, на відміну від скелетних м'язів, збудження в міокарді може поширюватись від клітини до клітини через спеціальні міжклітинні контакти.

Скоротливість серцевого м'язу. Під впливом потенціалу дії відбувається скорочення кардіоміоцитів. Механізм скорочення близький до описаного для скелетних м'язів, проте іони кальцію мобілізуються як із цистерн саркоплазматичного ретикулуму, так і входять через плазматичну мембрану. Особливістю скорочення міокарду є те, що усі його клітини реагують на

подразнення як єдине ціле (“все або нічого”), відсутня залежність між силою подразнення і силою скорочення міокарду та відсутність стану тетанусу. Сила скорочення міокарду регулюється за законом Франка-Старлінга, тобто сила скорочення серця тим більша, чим більше воно розтягується під час наповнення кров'ю. Окрім того, скоротливість серця підвищується при дії речовин, що збільшують вхід Ca^{2+} під час потенціалу дії (*адреналін, норадреналін*).

Розповсюдження збудження по провідній системі серця та серцевому м'язу супроводжується синхронним розрядом величезного числа клітин. Сумарний біопотенціал настільки великий, що може бути зареєстрований електродами, розміщеними на поверхні тіла. Отриманий сигнал відображає не скорочення, а поширення збудження по серцевому м'язу. А *сам запис біострумів серця з поверхні тіла називається електрокардіограмою (ЕКГ)*. Запис біострумів здійснюється у стандартних відведеннях (по Ейнтховену).

Типова ЕКГ складається із позитивних і негативних коливань – *зубців*. Проміжки між зубцями називають *сегментами*, сукупність зубця і сегменту – *інтервалом*. При аналізі ЕКГ визначають величину зубців в мілівольтах і тривалість інтервалів між ними в долях секунди.

Розрізняють зубці P, Q, R, S, T. Зубець P відображає процес поширення збудження в передсердях. Сегмент PQ – поширення збудження від передсердь до шлуночків (0,12-0,18 с). Комплекс QRS відображає поширення збудження по шлуночках (0,06-0,08 с). Широкий зубець T пов'язаний з реполяризацією міокарду. Інтервал QRST - це час, коли міокард охоплений хвилею збудження і називається *електричною систолою*. Сегмент TP співпадає із *загальною паузою та діастолою*.

2. Серцевий цикл та його фази.

Діяльність серця характеризується безперервною зміною скорочень і розслаблень. Скорочення серця називається систолою, розслаблення – діастолою. Серцевий цикл складається з таких основних фаз:

1. Систола передсердь. В цій фазі шлуночки розслаблені і наповнюються кров'ю.
2. Систола шлуночків. Кров під великим тиском нагнітається правим шлуночком в легеневу артерію, лівим в аорту.
3. Загальна діастола серця (мускулатура передсердь і шлуночків розслаблена).

Початковий період *систולי шлуночків*, коли ще не всі м'язові волокна охоплені збудженням називається фазою асинхронного скорочення. Тиск в шлуночках поступово зростає, що призводить до закриття атріовентрикулярних клапанів, наступає фаза ізометричного скорочення. При цьому тиск у шлуночках зростає, що призводить до відкриття півмісяцевих клапанів. Наступає фаза вигнання крові із шлуночків.

Діастола шлуночків починається протодіастолічним періодом. В цей час її мускулатура поступово розслабляється, але півмісяцеві клапани залишаються ще відкритими. Зменшення тиску в шлуночках призводить до закриття півмісяцевих клапанів. Період розслаблення шлуночків при закритих клапанах називається фазою ізометричного розслаблення. Потім передсердно-шлуночкові клапани відкриваються і шлуночки наповнюються кров'ю із передсердь. Настає фаза наповнення шлуночків, в кінці якої скорочуються передсердя.

3. Основні показники діяльності серця. Регуляція серцевої діяльності.

Дослідження частоти серцевих скорочень. Визначати частоту серцебиття можна пальпаторно, за ЕКГ, а також пульсотаксометричним методом. Частота серцебиття в стані спокою залежить від віку, статі, розмірів тіла, способу життя людини. У більшості здорових людей ця величина становить 60-70 уд/хв. У дітей частота серцебиття більша, ніж у дорослих, у жінок більша, ніж у чоловіків. Зниження ЧСС нижче 60 уд/хв називається брадикардією. ЧСС, що перевищує 90 уд/хв називається тахікардією. Частота серцевих скорочень залежить від положення тіла: в положенні стоячи вона більша, ніж сидячи і

лежачи.

Крім ЧСС важливим показником серцевої діяльності є *систоличний і хвилинний об'єм*. Систоличним або ударним об'ємом називають кількість крові, що викидається кожним із шлуночків серця при одному скороченні (60-100 мл). Після завершення систоли у шлуночках залишається кров що становить резервний об'єм. Крім резервного об'єму в шлуночках серця є ще залишковий об'єм крові, який залишається у них навіть при найсильнішому скороченні. Хвилинний об'єм кровообігу - це той об'єм крові, що викидається кожним шлуночком протягом 1 хв. У стан спокою він становить 3,6-5 л.

Перш за все, слід зазначити, що для серця характерна внутрішньосерцева нервова регуляція, яка здійснюється інтрамуральними гангліями серця. На позасерцевому рівні діяльність серця регулюється нервовими імпульсами, що надходять з ЦНС по блукаючому і симпатичних нервах, а також гуморальним шляхом.

Подразнення блукаючого нерва викликає:

- сповільнення ЧСС - негативний *хронотропний* ефект
- зменшення сила скорочень - негативний *іотропний* ефект
- зниження збудливості серцевого м'язу - негативний *батмотропний* ефект
- зменшення швидкості проведення збудження в серці - негативний *дромотропний* ефект

При сильному подразненні блукаючого нерва можлива повна зупинка серця. Вплив симпатичних нервів на серце протилежний дії блукаючих нервів.

Подразнення симпатичних нервів викликає

- прискорення ЧСС - позитивний *хронотропний* ефект
- посилює скорочення серця – позитивний *іотропний* ефект
- підвищує збудливість серця - позитивний *батмотропний* ефект
- покращує проведення збудження в серці - позитивний *дромотропний* ефект.

Гуморальна регуляція діяльності серця здійснюється гормонами, а також під впливом органічних речовин. Так, *адреналін* прискорює і посилює роботу

серця. *Тироксин* (гормон щитоподібної залози) підвищує ЧСС та збільшує чутливість серця до дії симпатичних нервів. Гормони кори наднирників – *кортикостероїди*, також посилюють скорочення міокарду. Велику роль в забезпеченні оптимального рівня серцевої діяльності відіграють електроліти крові (К, Са і ін).

4. Кровопостачання в стані спокою і під час м'язової роботи.

У спокої кровообіг у м'язах становить 4-7 мл/хв на 100 мл тканини, що становить приблизно 21% хвилинного об'єму крові. Під час сильних, ритмічних скорочень кровообіг зростає у 15-20 разів і досягає 100 мл/хв на 100 мл тканини. При цьому кількість відкритих капілярів у працюючих м'язах зростає у 50 разів. Відсоток хвилинного об'єму крові, що надходить у м'язи, зростає під час фізичної роботи до 47-88% у залежності від ступеня її важкості. Слід зазначити, що у процесі роботи зростає також здатність м'язів утилізувати кисень, що надходить із кров'ю.

Кровообіг у шкірі у значній мірі залежить від температури оточуючого середовища, і під час розширення судин шкіри може зростати у 7 разів. На початку фізичного навантаження судини шкіри звужуються. Надалі вони можуть розширюватись, що забезпечує ефективну тепловіддачу. При легкій та середній фізичній роботі відсоток ХОК, що надходить у шкіру, зростає до 12-15%, проте при важкій – спадає до 2%.

Кровопостачання мозку під час виконання фізичної роботи різної важкості практично не змінюється – 750 мл/хв (13%), проте відсоток ХОК, що надходить до мозку, зменшується до 3-8%.

На відміну від мозку, відсоток ХОК, що надходить до серця, під час фізичних навантажень – незмінний (4%), проте внаслідок загального зростання ХОК спостерігається збільшення кровопостачання серця із 250 мл/хв у стані спокою до 1000 мл/хв під час важкої фізичної праці.

Кровообіг у органах черевної порожнини, нирках та інших органах під час фізичного навантаження зменшується як у відсотковому відношенні, так і по об'єму.

**Розподіл ХОК по органах у стані спокою та під час
фізичного навантаження**

Органи	Спокій		Легка роб.		Середня роб.		Важка роб.	
	мл/хв	%	мл/хв	%	мл/хв	%	мл/хв	%
Скелетні м'язи	1200	21	4500	47	12500	71	22000	88
Шкіра	500	9	1500	15	1900	12	600	2
Мозок	750	13	750	8	750	4	750	3
Серце	250	4	350	4	750	4	1000	4
Органи черев. порожнини	1400	24	1100	12	600	3	300	1
Нирки	1100	19	900	10	600	3	250	1
Інші органи	600	10	400	4	400	3	100	1
Сумарно	5800	100	9400	100	17500	100	2500	100

5. Фізіологія кровоносних судин. Артеріальний тиск.

Кров може здійснювати свої функції лише за умови безперервного руху по судинах. У хребетних тварин рух крові відбувається по *замкнутій* кровоносній системі, до складу якої входить ряд кровоносних судин – артерії, вени, капіляри. Під час руху по судинній систем кров проходить - велике і мале коло кровообігу.

Рушійною силою крові служить різниця тисків між артеріальною і венозною частиною русла, яка створюється серцем. Тиск спадає по ходу кровоносних судин, причому основна частина (85%) припадає на артеріоли і капіляри, на рух по яких крові затрачується основна частина енергії серцевих

скорочень. Опір судин у першу чергу залежить від діаметра судин. При зменшенні діаметру у 2 рази опір зростає у 16 раз. саме тому найбільший опір потоку крові створюється в капілярах, діаметр яких дуже малий.

У загальному *об'ємна швидкість кровообігу (Q)*, тобто її кількість, що проходить за одиницю часу через кровоносну систему тим більша, чим більша різниця тисків в артеріальному (P_1) і венозному кінцях (P_2) і чим менший опір потоку крові (R). Це можна виразити формулою:

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{R}$$

У загальному, як бачимо, на гемодинаміку впливають такі фактори: артеріальний тиск; швидкість кровообігу в судинному руслі; серцевий викид; периферичний опір судин; кількість крові, що поступає в серце - венозний прилив крові.

При кожному скороченні серця в артерії викидається під великим тиском певна кількість крові. Для подолання цього опору створюється тиск, що називається кров'яним тиском. Кров'яний тиск неоднаковий в різних відділах судинної системи. Найбільший тиск в артеріях спостерігається при скороченні серця і називається систоличним (СТ) або максимальним (115-120 мм рт), найменший наявний під час розслаблення серця - діастолічний або мінімальний (60-80 мм рт.ст). Різниця систолічного і діастолічного тиску (ДТ) називається пульсовим тиском (ПТ). Він становить 40-60 мм рт. ст. Такий показник, як середній тиск вираховується за формулою $СТ = ДТ + 1/3 ПТ$, і ця величина завжди є ближча до діастолічного тиску (80-90 мм рт. ст.).

Існує ряд методів вивчення артеріального тиску.

Прямий або кривавий. В артерію вводиться порожниста голка, з'єднана з манометром. Цей метод вимагає хірургічного втручання і тому мало використовується для масових досліджень.

Непрямий або безкровний. У цьому випадку тиск вимірюють з допомогою методу Ріва-Роччі, запропонованому у 1896 р. При цьому вимірюється той тиск, який достатній для повного перетискання артерії і припинення потоку крові у

ній. Припинення потоку крові реєструють пальпаторно. Цим методом визначають лише систолічний тиск.

Аускультативний або метод Короткова. Запропонований Н.С.Коротковим в 1905р. При цьому про величину кров'яного тиску судять по виникненню і зникненню звуків, які прослуховуються на артерії нижче місця накладання манжети. Звуки ці виникають лише у звуженій артерії. Тони Короткова виникають коли тиск у манжеті знижується настільки, що кров починає проходити через неї Покази манометра на момент появи цих звуків характеризують систолічний тиск. Якщо знижувати тиск далі то звуки зникають В цей момент тиск в манжеті стає рівним діастолічному тиску.

Різниця тисків забезпечує рух крові по судинах. Цей рух має ще одну важливу характеристику - швидкість кровообігу. Розрізняють об'ємну і лінійну швидкість кровообігу. Об'ємна швидкість - це кількість крові, що протікає через всю кровоносну систему за одиницю часу (мл/хв, мл/сек).

Лінійна швидкість кровообігу - це швидкість руху крові вздовж судин (см/сек), вона залежить від сумарного просвіту судин. Найвища лінійна швидкість руху крові у аорті - 70 см/с, в артеріях вона складає 20-40 см/с, в артеріолах – 0,5 см/с, в капілярах найменша - 0,05 см/с, а у венах вона знову підвищується до 20 см/с.

Важливою характеристикою судинної системи є сумарний опір судин потоку крові - периферичний опір судин. Він тим більший, чим більша різниця тиску між артеріальний і венозним кінцем русла і тим менший, чим менша об'ємна швидкість кровообігу.

$$R = (P_a - P_v) \times Q \text{ (дін.с/см}^{-5}\text{)}$$

Периферичний опір судин залежить від тонусу судинної стінки, чим вищий тонус, тим вищий опір судин. Регуляція тонусу судин відбувається завдяки наявності нервових та гуморальних механізмів.

Артерії і артеріоли мають судинно-звужуючі нервові волокна - вазоконстриктори, які відносяться до симпатичної нервової системи, і судиннорозширюючі - вазодилатори, що належать до парасимпатичної

нервової системи. Судиннозвужуюча дія обумовлена посиленням тонуусу гладкої мускулатури стінок судин. Основним центром підтримання тонуусу судин та рефлекторної регуляції тонуусу є *судинноруховий центр довгастого мозку*. Він розміщений на дні IV шлуночка мозку. Центр має два відділи: *пресорний* і *депресорний*. Гормони *наднирників* адреналін і норадреналін розширює судини скелетних м'язів, гладкої мускулатури бронхів, серця, мозку, та звужує судини шкіри, органів травлення, нирок. Гормон *задньої долі гіпофіза* - антидіуретичний гормон (вазопресин) викликають звуження артерій і артеріол органів черевної порожнини і легень. Нервова і гуморальна регуляція кровообігу тісно пов'язані.

6. Зовнішнє дихання та його показники.

Дихання - це сукупність процесів, що забезпечують споживання організмом кисню та виділення ним вуглекислого газу.

Атмосферне повітря через систему повітронесних шляхів – ніс, глотку, гортань, трахею, правий і лівий бронхи, що галузяться до бронхіол (23 порядки). *Легені* – це парний орган, що мають губчасту будову і складаються із системи бронхів, бронхіол та легеневих міхурців - *альвеол*. Тоненькі стінки альвеол знаходяться в дуже тісному контакті з кровоносними капілярами. Саме в альвеолах відбуваються процеси газообміну між повітрям і кров'ю.

Дихання людини і вищих тварин включає наступні *етапи*:

1. обмін повітря між зовнішнім середовищем і альвеолами легень (зовнішнє дихання або вентиляція легень);
2. обмін газів між альвеолярним повітрям і кров'ю (дифузія газів в легенях);
3. транспорт газів кров'ю;
4. обмін газів між кров'ю та тканинами (дифузія газів в тканинах);
5. споживання кисню клітинами і виділення вуглекислоти (внутрішнє або клітинне дихання).

Вентиляція альвеол, що необхідна для газообміну, здійснюється завдяки чергуванню вдиху (*інспірація*) та видиху (*експірація*). Рух повітря під час вдиху

і видиху зумовлений позмінним збільшенням і зменшенням розмірів грудної клітки. Легені в акті дихання відіграють пасивну роль. Вони не можуть розширюватись і стискатись активно, оскільки в них нема м'язів. Активну роль в акті дихання відіграють дихальні м'язи, які змінюють розміри грудної клітки. При цьому м'язи, які здійснюють дихання, поділяються на *інспіраторні* (забезпечують збільшення об'єму грудної порожнини) та *експіраторні* (зменшують об'єм грудної порожнини).

До основних інспіраторних м'язів належать *діафрагма* та *зовнішні міжреберні м'язи*. Вдих відбувається внаслідок *підняття ребер* та *сплющення (опускання) діафрагми*. В умовах спокійного дихання видих здійснюється пасивно за рахунок еластичності тканини легень. Роль експіраторних м'язів можуть відігравати *внутрішні міжреберні м'язи*. Роль експіраторних м'язів можуть відігравати *внутрішні міжреберні м'язи*.

У випадку, коли необхідно підсилити діяльність дихального апарату - акт вдиху і видиху форсується за участю *додаткових дихальних м'язів*. До додаткових інспіраторних м'язів належать *великі та малі грудні, драбинчасті, грудинно-ключично-сосковидні і, частково, зубчасті м'язи*. До найважливіших допоміжних експіраторних м'язів відносяться *м'язи живота*, під дією яких ребра опускаються, а органи черевної порожнини стискаються і зміщуються вгору разом з діафрагмою.

Збільшення об'єму грудної клітки під час вдиху супроводжується збільшенням об'єму легень, хоча вони і не зрощені між собою. Це відбувається тому, що під час збільшення об'єму грудної порожнини при скороченні інспіраторних м'язів відбувається збільшення негативного тиску у плевральній порожнині, що призводить до розтягування тканини легень. В результаті розтягування легень тиск у них падає нижче за атмосферний і повітря надходить у легені.

Після розслаблення інспіраторних м'язів під впливом еластичної тяги легень (еластичні властивості легеневої тканини та тонус бронхіальних м'язів) вони повертаються у вихідний стан. Зменшення об'єму призводить до

перевищення тиску у легенях рівня атмосферного та виходу із них повітря.

Силу дихальних м'язів оцінюють за максимальною швидкістю вдиху і видиху, яку реєструють *пневмотахометром*

Сумарний об'єм повітря, який можуть вмістити легені при максимальному вдиху, називається загальною ємністю легенів (ЗЄЛ). Величина загальної ємності легенів становить приблизно 5400 мл. В загальній ємності легенів можна виділити чотири складові компоненти: *дихальний об'єм, резервний об'єм вдиху, резервний об'єм видиху і залишковий об'єм*.

Об'єм повітря, що видихається протягом одного дихального циклу, називається дихальним об'ємом (ДО). При спокійному диханні у дорослої людини він становить від 300 до 800 мл, при м'язовій роботі він може сягати 1-2 л і більше. Проте частина повітря залишається у дихальних шляхах, де не відбувається газообміну між повітрям і кров'ю – у мертвому просторі (140-160 мл.). Резервний об'єм вдиху (РОВд) - це об'єм повітря, який можна додатково вдихнути після звичайного вдиху. Його величина становить приблизно 2500 мл. Резервний об'єм видиху (РОВид) - це об'єм повітря, яке можна додатково видихнути після звичайного видиху. Його величина у стані спокою становить приблизно 1200 мл. Залишковим (ЗО) називається об'єм повітря, що залишається в легенях після максимального видиху. Його величина становить приблизно 1-2 л.

Сума дихального повітря, резервного об'єму вдиху і резервного об'єму видиху складає життєву ємність легенів (ЖЄЛ). ЖЄЛ залежить від ступеня тренуваності і може досягати 8 л.

ЖЄЛ та її складові частини вимірюють з допомогою спірометра. Запис дихання у часі називається спірограмою і виконується з допомогою спірографа.

Для газообміну між організмом і атмосферним повітрям важливе значення має вентиляція легень, що забезпечує оновлення повітря в альвеолах. Кількісним показником легеневої вентиляції служить хвилинний об'єм дихання (ХОД) - *кількість повітря, що вдихається або видихається протягом 1 хвилини*. ХОД дорівнює добутку дихального об'єму (ДО) на частоту дихання

(ЧД). У спокої доросла людина робить в середньому 16-20 дихальних рухів у хвилину. Частота дихання залежить від ряду факторів, зокрема віку, статі, тренуваності, потужності виконуваної роботи. В умовах спокою легенева вентиляція сильно знаходиться в межах від 4 до 15 л/хв. ХОД залежить від розмірів тіла, статі, і ін. ХОД визначають за допомогою мішка Дугласа, у який збирають повітря під час дихання. Об'єм зібраного повітря визначають з допомогою газових лічильників.

7. Обмін газів у легенях.

В результаті безперервної вентиляції у легені надходить атмосферне повітря, яке, змішуючись із уже наявним в легенях, формує альвеолярне повітря. Склад альвеолярного повітря, а саме парціальний тиск кисню і вуглекислого газу, відіграє вирішальну роль у газообміні. Парціальний тиск газу - це частина загального тиску газової суміші, яка припадає на долю того чи іншого газу в газовій суміші. Саме різниця парціальних тисків кисню і вуглекислого газу є рушійною силою їх дифузії з області з більш високим парціальним тиском даного газу в область з більш низьким його тиском.

Парціальний тиск кисню в альвеолах (100 мм рт.ст.), значно вищий, ніж венозній крові, що поступає в капіляри легенів (40 мм рт.ст.). Тому кисень дифундує з альвеолярного повітря у кров. Градієнт парціального тиску для вуглекислого газу спрямований у зворотній бік (46 мм рт.ст. на початку легеневих капілярів, 40 мм рт.ст. в альвеолах), внаслідок чого вуглекислий газу легенях переходить з крові в альвеолярне повітря. Дифузія газів проходить дуже швидко. В умовах спокою кожна порція крові проходить через капіляр приблизно за 0,8 с. Цього часу цілком досить для врівноваження тисків газів.

При м'язовій роботі проходить ріст швидкості кровообігу. Час перебування крові в альвеолярних капілярах знижується до 0,30 с. Проте одночасно спостерігається зростання градієнтів парціального тиску O_2 і CO_2 , що забезпечує достатній газообмін.

8. Транспорт газів кров'ю. Регуляція дихання.

Лише невелика частина (2%) кисню транспортується кров'ю у розчиненому в плазмі стані. Решта транспортується у формі нестійкої сполуки з киснем – оксигемоглобіну. Кров здатна зв'язати у середньому 21 мл кисню на 100 мл крові (*киснева ємність крові*). Рівень насиченості гемоглобіну киснем залежить від парціального тиску кисню у крові. Крива такої залежності називається *кривою дисоціації гемоглобіну*. Завдяки наявності такої залежності венозна кров у капілярах легень насичується киснем, а артеріальна кров у капілярах тканини, де парціальний тиск кисню нижчий, віддає кисень навколишнім тканинам. Гемоглобін більш ефективно віддає кисень за умови підвищення температури і зниженні рН крові, тобто в умовах підвищеного напруження вуглекислого газу. Такий “зсув вправо” полегшує насичення киснем працюючих м'язів. У тканинах кожні 100 мл крові віддають тканинам 5-6 мл O_2 – *артеріовенозна різниця по кисню*.

Лише 3-6% вуглекислого газу транспортується плазмою крові у розчиненому стані. Решта вступає у хімічні зв'язки. Близько 80% CO_2 транспортується у гідрокарбонату, утворенню якого сприяє *карбоангідраза* еритроцитів. Окрім того, дезоксигенований гемоглобін може переносити до 15% CO_2 у вигляді карбамінових сполук. Таким чином кров поглинає у тканинах 4-5 мл CO_2 на 100 мл крові – *артеріовенозна різниця по CO_2* .

У важких умовах роботи в постачанні м'язів киснем може мати значення також і внутрішньо м'язовий пігмент міоглобін, що виконує роль депо кисню. Міоглобін додатково зв'язує 1,0-1,5 л O_2 . Зв'язок кисню з міоглобіном міцніший, ніж з гемоглобіном. Оксигемоглобін віддає кисень лише при вираженій гіпоксемії (зниженню насичення крові киснем) або на початку інтенсивної м'язової роботи до часу зростання м'язового кровообігу і за рахунок цього забезпечується адекватне постачання м'язів киснем.

Адаптація дихання до потреб організму здійснюється шляхом складної системи нейроендокринної регуляції. Нервова регуляція може здійснюватись як за безумовно-рефлекторним механізмом, так і шляхом умовних рефлексів, що

має важливе значення під час виконання спортивних вправ. Поряд з нервовою регуляцією функціонують гуморальні механізми, що забезпечують оптимальний рівень парціального тиску кисню, вуглекислого газу і певної величини рН крові, які відповідали б конкретним метаболічним потребам організму в будь-яких умовах

Дослідження Н.А.Миславського (1885) показали, що дихальний центр локалізований на дні IV шлуночка в ретикулярній формації довгастого мозку. Він складається з двох частин - інспіраторного (центру вдиху) і експіраторного (центру видиху). Інспіраторні нейрони дихального центру посилюють свою активність у фазу вдиху, а експіраторні - у фазу видиху. Ритмічну зміну вдиху і видиху забезпечують нейрони пневмотаксичного центру, що розміщений у ділянці варолієвого моста. Від дихального центру імпульси надходять до мотонейронів спинного мозку, а від них – по діафрагмальних і міжреберних нервах до дихальних м'язів. Дихальний центр володіє певною автоматією, тобто постійною ритмічною активністю.

Основне значення в регуляції дихання мають багаточисленні аферентні шляхи, що йдуть в дихальний центр. Через них він отримує інформацію: 1) від механорецепторів дихальних м'язів і рухового апарату; 2) від хеморецепторів судин і самого дихального центру.

Напруження вуглекислого газу і кисню, також рН артеріальної крові не лише безпосередньо залежать від зовнішнього дихання, але в свою чергу впливають на вентиляцію легенів. Наявність гуморальної регуляції дихання підтверджена дослідом Фредеріка із перехресним кровопостачанням мозку піддослідних тварин. Інформація про рівень цих хімічних показників в артеріальній крові надходить від периферичних хеморецепторів. Зокрема, у каротидному клубочку розміщені хеморецептори, що реагують на напруження O_2 , напруження CO_2 , рН крові (надходять по язикоглотковому нерву). Рецептори, чутливі до напруження CO_2 , рН крові розміщені також поблизу клітин дихального центру у довгастому мозку. Збільшення напруження CO_2 в артеріальній крові (гіперкапінія) веде до підвищення хвилинного об'єму

дихання. Зниження напруження O_2 в артеріальній крові (*гіпоксемія*) супроводжується збільшенням вентиляції легенів, проте чутливість дихального центру до зниження парціального тиску O_2 артеріальної крові значно слабша.

М'язова діяльність виступає найбільш сильним природнім стимулятором дихання, оскільки енергія для виконання фізичної роботи утворюється у процесах окислення. Так, при напруженій м'язовій роботі об'єм легеневої вентиляції зростає у тренуваних людей до 100 і більше літрів на хвилину.

Одразу після початку фізичних вправ спостерігаємо зростання легеневої вентиляції за рахунок збільшення частоти і глибини дихання. При цьому початкове швидке зростання дихання обумовлене нервовими факторами – складні рефлекси на обстановку (готовність до дії), інтенсивна імпульсація до працюючих м'язів (ірадіація), аферентна імпульсація від пропріорецепторів працюючих м'язів. Подальша регуляція дихання тісно пов'язана із хеморецепторами, що реєструють зміни у рівні кисню, вуглекислого газу та рН крові. Людина в стані спокою споживає 250-350 мл кисню за хвилину, під час роботи - до 4500-5000 мл. При цьому максимальне поглинання кисню (МПК) визначається здатністю дихальної і серцево-судинної систем транспортувати кисень до тканин.

Рекомендована література

Базова

1. Вовканич Л.С. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту: навч. посібник для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр": у 2 ч. / Л.С.Вовканич, Д.І. Бергтраум– Л.: ЛДУФК, 2011. – Ч. 1. – 344 с. Режим доступу:
<http://repository.ldufk.edu.ua:8080/bitstream/34606048/6545/1/%D0%9C%20%D0%BE%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83%20%D0%B7%D0%B4%D0%BE%D1%80.pdf>
2. Гжегоцький М.Р. Фізіологія людини / М.Р. Гжегоцький, В.І.Філімонов, Ю.С.Петришин, О.Г. Мисаковець– К.: Книга плюс, 2005. – 494 с.

3. Коритко З.І. Загальна фізіологія / З.І.Коритко, Є.М. Голубій – Львів: 2002. – 172 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/11475>
4. Кучеров І.С. Фізіологія людини і тварин / І.С. Кучеров – К.: Вища школа, 1991 – 327 с.
5. Нормальна фізіологія / Під ред. В. І. Філімонова. – К.: Здоров'я, 1994. – 608 с.
6. Физиология человека / Под ред. Н.В. Зимкина. – М: Физкультура и спорт, 1975 – 256 с.
7. Физиология мышечной деятельности / Под ред. Я.М. Коца. – М: Физкультура и спорт, 1982 – 347 с.
8. Фізіологія людини і тварин (фізіологія нервової, м'язової і сенсорних систем) / М.Ю. Клевець, В.В.Манько, М.О. Гальків та ін. – Л.: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 326 с.
9. Чайченко Г.М. Фізіологія людини і тварин / Г.М.Чайченко , В.О. Цибенко, В.Д. Сокур– К: Вища школа, 2003. – 463 с.

Допоміжна

1. Агаджанян Н. А. Основы физиологии человека / Н.А. Агаджанян– М., 2004. – 408 с.
2. Амосов Н. М. Физическая активность и сердце / Н. М.Амосов, Я. А.Бендет – Киев: Здоров'я, 1989. – 212 с.
3. Апанасенко Г.Л. Избранные статьи о здоровье. – Киев, 2005. – 48 с.
4. Батуев А. С. Высшая нервная деятельность / А. С. Батуев– М.: Высш. шк., 1991. – 256 с.
5. Вілмор Дж. Фізіологія спорту / Дж. Вілмор– К.: Олімп. л-ра, 2003. – 656 с.
6. Волков Н. И. Биохимия мышечной деятельности / Н. И.Волков, Э. Н.Несен, А. А.Осипенко, С. Н. Корсун– К.: Олимп. л-ра, 2000. – 504 с.
7. Ганонг В. Ф. Фізіологія людини: Підручник / Переклад з англ. Наук ред. М. Гжегоцький, В. Шевчук, О. Заячківська. – Львів.: БаК, 2002. – 784 с.

8. Дембо А. Г. Спортивная кардиология / А. Г. Дембо, Э. В. Земцовский – Л.: Медицина. 1989. – 494 с.
9. Душанин С. А. Физиология сердца у юных спортсменов / С. А. Душанин, В. В. Шигалевский– Киев: Здоров'я, 1988. – 163 с.
10. Зима А. Г. Адаптация сердца к физическим нагрузкам и работоспособность / А. Г. Зима, В. А. Сычугова– Алма-Ата, 1985. – 83 с.
11. Карпман В.Л. Тестирование в спортивной медицине / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков– М.: Физкультура и спорт, 1988. – 208 с.
12. Клевець М. Ю. Фізіологія людини і тварин. Книга 1. Фізіологія нервової, м'язової і сенсорних систем: Навчальний посібник / М. Ю. Клевець– Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2000. – 199 с.
13. Клевець М. Ю. Фізіологія людини і тварин. Книга 2. Фізіологія вісцеральних систем: Навчальний посібник / М. Ю. Клевець, В. В. Манько – Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2002. – 233 с.
14. Мак-Комас Дж. Скелетные мышцы / Дж. Мак-Комас – К.: Олімп. л-ра, 2001. – 406 с.
15. Меерсон Ф. З. Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М.Г. Пшенникова– М.: Медицина., 1988. – 254 с.
16. Моногаров В.Д. Утомление в спорте / В.Д. Моногаров – К.: Здоров'я, 1986. – 120 с.
17. Солодков А. С. Физиологические основы адаптации к физическим нагрузкам // Л., ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта., 1988. – 38 с.
18. Физиология человека / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. М.: Мир, 1986. – Т.3. – 287 с.
19. Физиология человека. Пер. с англ. /Под ред. П. Г.Костюка, М.: Мир, 1985, т. 1. Мышцы. – 345 с.
20. Физиология человека: Пер. с англ. / Под ред. Р.Шмидт, Г. Тевса. – М.: Мир, 1985, Т. 1. – 270 с.
21. Чайченко Г. М. Фізіологія вищої нервової діяльності / Г. М. Чайченко– К.: Либідь, 1993. – 216 с.

22. Яремко Є.О. Фізіологічні проблеми діагностики рівня соматичного здоров'я / Є.О.Яремко, Л.С. Вовканич– Львів, Сполом, 2009. – 76 с. Режим доступу : <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/8030>
23. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту: навч. посіб. для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр" : у 2 ч. / Л.С.Вовканич, Д.І. Бергтраум– Л. : ЛДУФК, 2011 – Ч. 1. – 344 с. Режим доступу : <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/10059>
24. Фізіологія людини: навч. посіб. – Вид. 2-ге, доп. / Є. О. Яремко, Л. С. Вовканич, Д. І. Бергтраум [та ін.] – Л. : ЛДУФК, 2013. – 208 С. Режим доступу : <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/9261>