

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ

імені Івана Боберського

Кафедра анатомії та фізіології

Фізіологічні методи дослідження

ЛЕКЦІЯ № 2

Тема лекції:

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ ТА ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ. ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СПОРТСМЕНІВ

План лекції:

1. Методи дослідження серцево-судинної системи.
2. Дослідження системи кровообігу.
3. Методи дослідження дихальної системи.
4. Визначення фізичної працездатності спортсменів.

Тривалість лекції: 2 академічні години

Навчальні та виховні цілі: дати студентам уявлення про основні методики обстеження функціонального стану серцево-судинної та дихальної системи людини, а також оцінювання фізичної працездатності спортсменів.

Матеріальне забезпечення: мультимедійна презентація.

Склав: доц. Вовканич Л.С.

Затверджено на засіданні
кафедри анатомії і фізіології
"_____" _____ 2020 р.

протокол № _____

Зав. кафедри _____ Вовканич Л.С.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ.

Неінвазивні методи дослідження діяльності серця

Інформацію про діяльність серця у людини звичайно отримують за допомогою вивчення зовнішніх проявів цієї діяльності, не проводячи втручання в організм. Такі методи дослідження називають неінвазивними.

Рентгеноскопія серця.

Точну інформацію про розміри і форму серця можна отримати шляхом *рентгеноскопії* серця. При цьому реєструють контури серцевої тіні. Для запису зміни границь серцевої тіні в процесі скорочення, чи під впливом зміни положення тіла, використовують *рентгенокімографію*. У цьому випадку перед рентгеновською плівкою розташовують металеву решітку і під час кожного скорочення серця її зміщують на ширину однієї щілини. На плівці отримують зубчате зображення серця, яке є показником зміни границь серця під час скорочення. Метод супроводжується опроміненням організму.

Ехокардіографія.

При ехокардіографії записують ультразвукові коливання, відбиті від різних поверхонь серця, зовнішніх і внутрішніх поверхонь стінок, клапанів і т.д. Цей метод дозволяє отримати морфологічну характеристику серця та його окремих структур (розміри серця, товщина стінок, рух клапанів, тощо). Ехокардіографічні дослідження можна проводити багатократно.

Електрокардіографія

Метод графічної реєстрації біопотенціалів серця з поверхні тіла називається *електрокардіографією*. Крива змін цієї різниці потенціалів у часі називається *електрокардіограмою*.

ЕКГ бажано реєструвати у спеціальному екранованому приміщенні далеко від інших електроприладів. Дослідження проводять за кімнатної

температури, після 10-хвилинного відпочинку обстежуваного, у положенні лежачи на спині, не раніше як через 2 години після прийняття їжі, при спокійному і рівномірному диханні. Електрокардіограф має бути заземлений, його слід прогріти протягом 2-3 хвилини, перевірити чутливість приладу за калібрувальним сигналом і встановити положення пера.

Електроди накладають наступним чином: на руках на зовнішню поверхню нижньої третини передпліччя, на ногах на передньо-внутрішню поверхню нижньої третини гомілки, на грудній клітці між II і VI ребрами. При цьому дотримуються такого порядку підведення проводів відведення: жовтий ліва рука; зелений ліва нога; червоний права рука; чорний права нога (заземляючий); білий для грудного електрода. Під електроди кладуть марлеві прокладки, змочені в 10% розчині кухонної солі або змазують електроди тонким шаром спеціальної пасти.

Розрізняють *біполярні* і *уніполярні* відведення. Для отримання *уніполярного* відведення реєструють біопотенціали однієї точки на поверхні тіла по відношенню до нульової. Розглянемо відведення, які найчастіше використовують у клініці.

Уніполярні:

Уніполярні підсилені відведення від кінцівок за Гольдбергером (aVR, aVL, aVF). При цих відведеннях реєструється різниця потенціалів між електродом, накладеним на кінцівку (наприклад, на праву руку для відведення aVR) і референтним електродом, який є об'єднаним електродом від двох інших кінцівок.

Уніполярні (прекордіальні) відведення за Вільсоном (V_1 - V_6). Для отримання цих відведень використовують об'єднаний референтний електрод від трьох кінцівок і активний електрод, який накладається на певні точки грудної клітки на рівні серця. Відведення дозволяють виявити запізнення збудження різних ділянок серця, яке пов'язане з порушенням проведення збудження. Можливий також запис відведень від правої половини грудної клітки, у цьому випадку до позначень відведень додають індекс R - V_{R1} - V_{R6} .

Біполярні:

Біполярні стандартні відведення Ейнтховена (I, II і III) від кінцівок. При цих відведеннях реєструється різниця потенціалів між двома активними електродами, розташованими на кінцівках:

I – між правою і лівою рукою;

II – між правою рукою та лівою ногою;

III – між лівою рукою та лівою ногою.

Біполярні грудні відведення - запропоновані Небом у 1938 р. Електроди розміщують на передній поверхні грудної клітки так, що утворюється так званий малий серцевий трикутник. Електрод від правої руки встановлюють у другому міжребер'ї справа біля краю грудини; від лівої руки на задній підпахвовій лінії на рівні проекції верхівки серця; від лівої ноги на місці верхівкового поштовху. Відведення відображають різницю потенціалів між двома електродами, розташованими на грудній клітці. Запис здійснюють при положенні перемикача відведень у позиціях

I - позначається буквою D, відображає потенціали задньої поверхні серця;

II – A, передньої поверхні;

III – I, нижньої поверхні.

ЕКГ записують в стандартних і підсилених відведеннях від кінцівок, потім у грудних відведеннях V_{1-6} . У будь-якому відведенні записують не менше 4 серцевих циклів і тут же на стрічці позначають відведення. На нормальній електрокардіограмі розрізняють зубці (коливання), *сегменти* (відстань між двома зубцями) та *інтервали* (сукупність зубця і сегмента).

Вимірюють зубці та інші елементи ЕКГ найчастіше у II відведенні, але завжди слід старанно аналізувати їх і в інших відведеннях. Якщо розглянути нормальну електрокардіограму, то на ній виділяють шість зубців, три інтервали і два комплекси.

Зубець P відображає збудження передсердь, в II відведенні завжди позитивний.

Інтервал PQ відповідає періодові поширення збудження по передсердях і провідниковій системі (від початку збудження передсердь до початку збудження шлуночків), розміщений на рівні ізолінії. Збільшення свідчить про сповільнення проведення в атріовентрикулярному вузлі або в пучку Гіса.

Зубець Q відповідає збудженню внутрішньої поверхні шлуночків, міжшлуночкової перегородки, правого сосочкового м'яза, верхівки шлуночків, основи правого шлуночка, може бути відсутній;

Зубець R відображає охоплення збудженням шлуночків, а **S** – закінчення цього періоду.

Сегмент ST відповідає періоду повного збудження шлуночків.

Зубець T записується у період зникнення збудження у шлуночках, у II відведенні – позитивний.

Інтервал TP характеризує діастолу серця.

Характеристика елементів електрокардіограми

Елемент	Тривалість	Висота
Зубець P	0,06-0,10 с	$P < 0,25$ мВ
інтервал PQ	0,12-0,20 с	на рівні ізолінії
сегмент PQ	0,04 0,10 с	-
Зубець Q	0,03 с	$Q < 1/4R$
Зубець R	0,04-0,07 с	до 2 мВ
Зубець S	0,04 с	$< 0,8$ мВ
Комплекс QRS	0,07-0,10 с	-
Сегмент ST	0,02-0,15 с	на рівні ізолінії чи дещо вище
Зубець T	0,15-0,20 с	$1/3 - 1/4 R$
Сегмент TP	0,30-0,40 с	-

Електрокардіограма дозволяє визначити такі показники:

Частота серцевих скорочень.

$$\text{ЧСС} = 60/R-R, \text{ де}$$

R-R – тривалість інтервалу, с.

Локалізація вогнища збудження (синусний вузол, передсердя, синоатріальний вузол і ін.).

Порушення ритму серця. ЕКГ надає можливість розпізнати різні види аритмій (синусова аритмія, надшлуночкові і шлуночкові екстрасистоли, тріпотіння і фібриляція) та встановити їх джерело. Наприклад при тріпотінні передсердь на ЕКГ замість зубця Р реєструють так звані хвилі тріпотіння, які мають однакову пилоподібну конфігурацію і частоту 220-350 на хвилину.

Порушення проведення. Можна визначити ступінь і локалізацію блокади чи затримки проведення.

Напрямок електричної осі серця. Напрямок електричної осі серця відображає його анатомічне розташування, а при патології вказує на порушення поширення збудження (гіпертрофія одного з відділів серця, блокада ніжки пучка Гіса, тощо).

Гіпертрофію різних відділів серця.

Вплив різних зовнішніх факторів на серце. На ЕКГ відображається вплив вегетативних нервів, гормональні порушення та порушення обміну, зсуви у вмісті електролітів, дія отрут, лікарств, тощо.

Ураження серця. Існують електрокардіографічні симптоми недостатності коронарного кровообігу, постачання серця киснем, запальних захворювань серця, порушень у серці при загальних патологічних станах і травмах, при вроджених чи набутих вадах серця.

Інфаркт міокарда (повне порушення кровопостачання якоїсь ділянки серця). За ЕКГ можна судити про локалізацію, обсяг та динаміку інфаркту.

Додаткові показники:

Систолічний показник (СП)

$$\text{СП} = Q-T \cdot 100/R-R, \text{ де}$$

Q-T, R-R – тривалість відповідних інтервалів, с

Показник відображає функціональний стан міокарду, належний СП знаходять по таблицях.

Слід, однак, пам'ятати, що відхилення ЕКГ від норми, за винятком деяких типових ознак порушення збудливості чи провідності, дозволяють лише припускати наявність патології.

Аналіз ЕКГ можна проводити і після **функціональних проб**, які можуть включати:

- **медикаментозні** (з хлоридом калію, індеролом, атропіном і ін.);
- **механічні**
 - **проба Вальсальви** (з натужуванням) - для уточнення походження неповної блокади ніжки пучка Гіса,
 - **проба з гіпервентиляцією** (30-40 форсованих вдихів за 30 с.) – для діагностики нейроциркуляторної дистонії,
 - **дозоване фізичне навантаження** (піднімання у ліжку з горизонтального положення у вертикальне (5-20 разів), присідання (20 присідань за 30 секунд), підйом і спуск по сходах і ін.).

Кардіоінтервалографія.

Кардіоінтервалографія є одним з методів оцінки ритму серця. Цей метод відрізняється простотою реєстрації *кардіоінтервалограм* (КІГ) і швидкістю одержання інформації, а також можливістю проведення повторних досліджень навіть у важкохворих і в екстремальних умовах. КІГ – це послідовний ряд 100 кардіоциклів і більш, записаних в одному з ЕКГ відведень у реальному масштабі часу, а інтервал R-R складає одиницю її виміру.

Розрахунок ведеться на підставі тривалості інтервалів R-R записаних у статистичний ряд. Спочатку розраховуються наступні показники:

мода (M_0) — найчастіше значення кардіоінтервалу, що характеризує гуморальний канал регуляції і рівень функціонування системи, норма - $0,80 \pm 0,04$ с;

амплітуда моди (АМо) — число значень інтервалів відповідних Мо, виражене у відсотках до загального числа кардіоциклів масиву, визначає стан активності симпатичного відділу вегетативної нервової системи, норма - $43,0 \pm 0,9 \%$;

варіаційний розмах (ΔX , с) — різниця між максимальним і мінімальним значеннями тривалості інтервалів R-R у даному масиві кардіоциклів, відображає рівень активності парасимпатического ланки вегетативної нервової системи, норма - $0,21 \pm 0,01$ с;

вегетативний показник ритму (ВПР):

$$\text{ВПР} = 1/(\text{Мо} \cdot \Delta X);$$

відношення $\text{АМо}/\Delta X$, характеризує баланс для симпатичних і парасимпатических впливів на серце;

відношення $\text{АМо}/\text{Мо}$ — вказує на шлях реалізації центральної стимуляції діяльності серця (нервовий чи гуморальний);

індекс напруження міокарду (ІН, виражається в %):

$$\text{ІН} = \text{АМо}/(2 \cdot \text{Мо} \cdot \Delta X)$$

ІН є інформативним показником, що свідчить про ступінь напруження компенсаторних механізмів організму, рівні функціонування центрального контуру регуляції ритму серця. Норма - 80-140 ум. од. Він був запропонований у 1979 р. Р.М.Баевским. ІН зростає при збільшенні симпатичного тону і спадає при посиленні тону парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи.

Аналіз динамічного ряду інтервалів R-R може йти шляхом побудови *гістограм, варіаційних пульсограм, скатерграм*. Криві розподілу ритму серця розрізняють по видах і типах: 1) *нормальна*, близька по вигляду до кривих розподілу Гаусса, типова для здорових людей у стані спокою, 2) *асиметричні криві* — вказують на порушення стаціонарності процесу, спостерігаються при перехідних станах, 3) *ексцесивні* — характеризуються дуже вузькою основою і загостреною вершиною, реєструються при вираженому стресі, патологічних станах, 4) *багатовершинні криві* — характерні для миготливої аритмії.

У залежності від стану вегетативної нервової системи розрізняють 3 варіанти варіаційних кривих:

- I — нормотонічні (мономерні, Мо складає 0,7-0,9 с, коливання менш 0,1 с),
- II - симпатикотонічні (мономірні, Мо складає 0,5-0,7 с, коливання менш 0,1 с),
- III — ваготонічні (полімерні, Мо складає 1,0-1,2 с, коливання 0,4 с).

Метод КІГ застосовують як у стані спокою, так і після функціональних проб (клиностатична, ортостатична, фізичні навантаження, вдихання суміші повітря і кисню).

Апекскардіографія

Верхівковий поштовх виникає внаслідок складної зміни форми, об'єму та просторового розташування серця в цілому. Він виявляється короткочасним випинанні у лівому п'ятому міжребер'ї по серединноключичній лінії. Запис верхівкового поштовху називається *апекскардіограмою*. *Апекскардіографія* (АКГ) характеризує об'ємні процеси серцевої діяльності, які залежать від ударного об'єму крові, характеру наповнення кров'ю порожнин серця і тиску в них, скоротливої здатності міокарда, форми грудної клітки, товщини підшкірної основи.

Реєстрацію АКГ проводять синхронно з ЕКГ і ФКГ. Для реєстрації АКГ лівого шлуночка на грудній клітці пальпаторно визначають максимальну точку пульсації верхівкового поштовху серця, на якій міцно фіксують датчик. Для реєстрації АКГ правого шлуночка сфігмографічний датчик закріплюють у четвертому-п'ятому міжребер'ї.



Нормальна АКГ починається невеликою хвилею “а”, що відображає скорочення передсердь і за часом синхронна з IV тоном ФКГ. Потім виникає систолічний підйом (хвиля “b”), розташований в інтервалі часу від зубця Q до вершини R ЕКГ. Вершина хвилі “b” найчастіше збігається з I тоном і відповідає початку вигнання крові в аорту (“c”). Друга вершина максимального підйому відповідає закриттю півмісяцевих клапанів (“d”). Форма цієї ділянки кривої (максимального підйому) досить варіабельна. Далі спостерігається опускання кривої до найнижчої точки “o”, що збігається за часом з відкриттям митрального клапана. Потім спостерігається невеликий підйом кривої (хвиля “h”). Вона відображає час швидкого наповнення, а вершина цієї хвилі відповідає III тону синхронно записаної ФКГ. Подальша ділянка кривої від кінця хвилі «h» до початку “a” прийнято називати часом повільного чи пасивного наповнення шлуночка. З використанням АКГ можна ідентифікувати за часом серцеві тони й окремі фази серцевого циклу.

Фонокардіографія

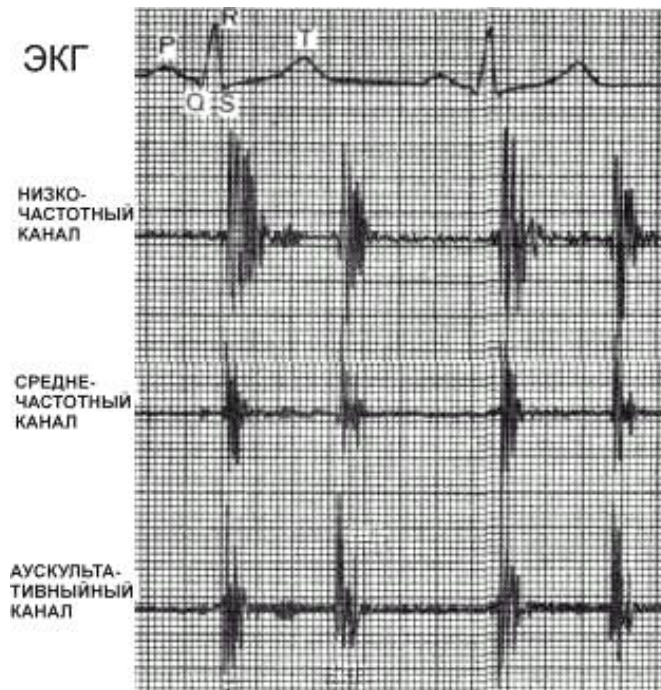
Тони серця. Під час скорочень серця виникають коливання звукової частоти (15-400 Гц), які передаються на грудну клітку, де їх можна вислухати або просто вухом, або за допомогою стетоскопа чи фонендоскопа (два тони).

Перший тон співпадає з моментом закриття атріовентрикулярних клапанів і пов’язаний з коливанням стінок серця та клапанів. Перший тон добре прослуховується безпосередньо над шлуночками (у п'ятому лівому міжребер'ї по середньоключичній лінії аускультують лівий атріовентрикулярний клапан, а по правому краю грудини - правий).

Другий тон коротший, пов'язаний з ударом одна об одну стулок півмісяцевих клапанів. Коливання цих стулок добре реєструються по ходу кровоносних судин (аортальний клапан аускультують у другому міжребер'ї справа, а легеневий у другому міжребер'ї зліва).

Фонокардіографія (ФКГ) - це графічний метод реєстрації звуків серця. За допомогою спеціальних мікрофонів та реєструючої апаратури можна записати окремі коливання, з яких складаються тони серця. Такий запис називається *фонокардіограмою*; він дозволяє не лише здійснювати постійну реєстрацію тонів, але й досліджувати часові співвідношення між цими тонами та іншими процесами, які відбуваються протягом серцевого циклу. Весь спектр звуків серця надходить до підсилювача і фільтрів фонокардіографа, які забезпечують їх підсилення і диференціацію на діапазони низьких, середніх і високих частот. Після цього електричні сигнали надходять на відповідний канал реєструючого пристрою і записуються у вигляді ФКГ. Для запису звуків серця використовують стандартні точки аускультатії, проте при цьому слід пам'ятати, що мікрофон потрібно встановлювати у точках найкращого вислуховування звуків, виходячи з індивідуальних особливостей кожного обстежуваного.

На нормальній фонокардіограмі реєструють *I, II*, і часто – *III і IV тони* серця. Інтервал від початку *першого тону* і до початку *другого тону* відповідає *механічній систолі*, а від початку *другого тону* до початку *першого* – *діастолі*.



Перший тон. Є три основних компоненти цього тону. Перший з них це *м'язовий компонент*, обумовлений скороченням міокарду шлуночків (повільна низькоамплітудна і низькочастотна хвиля) відповідає початку періоду ізометричного скорочення. Далі йде *клапанний компонент*, обумовлений коливанням стулок передсердно-шлуночкових клапанів після їх закриття (високоамплітудний, високочастотний). Третій компонент – *судинний*, виникає після відкриття легеневого і аортального клапанів та надходження порій крові у ці судини (низькоамплітудний, низькочастотний).

Другий тон. Початок другого тону знаменує кінець періоду вигнання і звичайно співпадає з кінцем Т-зубця ЕКГ. Іноді другий тон буває розщепленим: перший компонент у цьому випадку обумовлений закриттям аортального клапана, а другий співпадає з закриттям легеневого клапана.

Третій і четвертий тони. Коли у початковій стадії періоду наповнення кров починає надходити до шлуночків, виникає третій тон. Цей тон, звичайно, можна почути лише у дітей, оскільки у них звуки краще проводяться до поверхні тіла. Іноді в інтервалі між кінцем Р і початком Q-зубця ЕКГ можна зареєструвати четвертий тон, обумовлений скороченням передсердь. Цей тон не чутно під час звичайної аускультатції.

Під час аналізу тонів враховують переважно клапанний компонент. При цьому можна виявити стеноз клапанів, погіршення скоротливої здатності міокарду, блокаду проведення по пучку Гіса, склероз аорти чи легеневої артерії.

Серцеві шуми. Серцеві шуми - це патологічні звукові явища, пов'язані, в основному з завихренням потоку крові. Шуми характеризуються більшою частотою і тривалістю і меншою швидкістю наростання і спадання, ніж нормальні тони серця. Шуми часто спостерігаються при вроджених чи набутих пороках клапанів серця (стеноз, недостатність), а також при дефектах міжпередсердної чи міжшлуночкової перегородок.

Полікардіографія.

Під час запису полікардіограми відбувається синхронна реєстрація ЕКГ, ФКГ і сфігмограми. Запис проводять на багатоканальному електрокардіографі. При цьому п'єзодатчик розташовують на сонній артерії, мікрофон – на верхівці серця, а ЕКГ записують у II відведенні. Отриману полікардіограму (ПКГ) використовують для отримання різних показників серцевої діяльності.

Визначення тривалості фаз серцевого циклу

Період напруження (Т), фаза асинхронного скорочення

Фаза ізометричного скорочення (ІС), нормальне значення – по формулі:

$$IC = 5 \cdot 10^{-5} (TD - 5)$$

де ТД – тиск діастолічний (мм рт.ст).

Збільшення тривалості більш, ніж на 0,02 с. свідчить про погіршення скоротливості міокарду.

Період вигнання (Е), належне значення визначається по формулі

$$E = 0,109 \cdot C + 0,159$$

де С – тривалість серцевого циклу;

Тривалість механічної систоли (S_m), належна величина

$$S_m = 0,114 \cdot C + 0,185$$

Тривалість загальної систоли (S_o), належна величина

$$S_o = 0,12 \cdot C + 0,235$$

Електрична систола (S_e)

Діастола (Д), у нормі становить

$$Д = 0,88 \cdot С - 0,235.$$

На основі отриманих показників обраховуємо ряд важливих індексів, що характеризують серцеву діяльність.

Внутрішньосерцевий показник (ВСП) В.Л.Карпмана:

$$ВСП = 100\% \cdot E/S_m$$

Норма ВСП – 86-93%, зменшення вказує на зниження функцій міокарду.

Індекс напруження міокарду (ІНМ):

$$ІНМ = 100\% \cdot T/S_o$$

Норма – 20-29%, збільшення є патологією.

Механічний коефіцієнт (МК) Мюллера-Блюмберга:

$$МК = E/T$$

Норма – 2,5-5,0.

Внутрішньофазний показник (ВФП) В.Ф.Кубишкіна:

$$ВФП = 100\% \cdot IC/T$$

Норма – 36,8%, підвищення вказує на зниження скоротливої здатності міокарду.

Ударний об'єм (УО) за формулою Харлі Мартіна становить

$$УО = 0,501 \cdot E + 0,130 \cdot С - 67,2 \text{ (мл)}$$

Час вигнання хвилинного об'єму (ЧВХО):

$$ЧВХО = E \cdot ЧСС$$

Норма – від 15 до 21 с, зменшення вказує на гіперфункцію міокарду, збільшення – на ослаблення скоротливої здатності міокарду.

Інвазивні методи дослідження серцевої діяльності.

Останнім часом розроблені методи *внутрішньосудинних і внутрішньосерцевих вимірювань*, в яких використовують спеціальні катетери (гнучкі трубки із відповідними датчиками). Їх вводять в периферичні кровоносні судини і (під рентгенографічним контролем) проводять у серце.

Катетер із периферійної вени можна провести у праве передсердя, правий шлуночок і легеневий ствол. Ліве серце катетеризується ретроградно (через периферійну артерію) або шляхом проколу міжпередсердної перегородки з порожнини правого передсердя.

Внутрішньосерцеві вимірювання. За допомогою катетерів можна отримати дані про тиск в порожнинах серця і прилеглих судинах, здійснити взяття проб крові і визначити вміст у ній кисню. Через катетер у серце можна вводити індикатор (обчислення серцевого викиду за *кривою розведення*), рентгеноконтрастну речовину для отримання рентгенограм, зареєструвати електричну активність різних відділів серця та тони серця (внутрішньошлуночкову фонограму).

При введенні контрастних речовин можливе отримання рентгенівських знімків різних судин і камер серця у різні фази серцевого циклу. Цей метод називається *ангіокардіографією*.

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ

Аналіз артеріального пульсу.

Шляхом простої пальпації пульсу поверхневих артерій (наприклад, променевої артерії в ділянці кисті) можна отримати важливі попередні відомості про функціональний стан серцево-судинної системи. При цьому оцінюють такі якості пульсу:

1. **Частоту** (нормальний чи частий пульс).
2. **Ритм** (ритмічний чи аритмічний пульс). Частота пульсу може коливатись згідно з ритмом дихання - "дихальна аритмія", можливі й інші види аритмій - екстрасистоли, миготливі аритмії, тощо.
3. **Висоту** (високий чи низький пульс). Амплітуда пульсу залежить, насамперед, від величини ударного об'єму і об'ємної швидкості кровообігу при діастолі, а також від еластичності амортизуючих судин (прямо пропорційно).

4. **Швидкість** (швидкий чи повільний пульс) – характеризує крутизну наростання пульсової хвилі.

5. **Напруження** (твердий чи м'який пульс). Напруження пульсу залежить, в основному, від середнього артеріального тиску, за напруженням пульсу можна приблизно судити про систолічний тиск.

Форму пульсової хвилі можна досліджувати за допомогою відносно простих методик. Найбільш поширений у клініці метод полягає у розташуванні на шкірі датчиків, які реєструють або зміни тиску (*сфігмографія*) або зміни об'єму (*плетизмографія*).

Аналіз венозного пульсу

Венозний пульс. Під час серцевого циклу змінюється ступінь наповнення кров'ю центральних вен. Ці зміни зовні виявляються як коливання об'єму вен, наприклад зовнішньої яремної вени. Запис її рухів (*флебограма* яремної вени) є показником діяльності правого серця і, особливо, правого передсердя.

Принцип роботи сфігмографа полягає у тому, що пульсові коливання, сприйняті датчиком, перетворюються в електричні, які після підсилення надходять на реєструючий пристрій. Внаслідок малої пружності стінок яремної вени, слабкої її пульсації та низького венозного тиску виникають труднощі при записі флебограми. Тому її якість, переважно, залежить від уміння накласти датчик на вену. Він повинен фіксуватись тільки за допомогою спеціального штативу або дуги, а не руками чи гумовою стрічкою.

Вимірювання артеріального тиску

Артеріальний тиск (АТ) - це сила, з якою кров тисне на стінки артерій і на стовп крові у судинах у напрямку від серця до периферії. Значення артеріального тиску залежить, від сили скорочення серця та від периферичного опору кровоносних судин. Артеріальний тиск змінюється протягом серцевого циклу. Під час систоли артеріальний тиск досягає найбільшої величини і називається *систолічним* або *максимальним*. Максимальний тиск складається з

бокового систолічного тиску (тиску крові на стінки судин під час систоли) і ударного або гемодинамічного (сили гемодинамічного удару, необхідного для проштовхування крові по судинах). Наприкінці діастоли шлуночків артеріальний цикл найменший і називається *діастолічним* або *мінімальним*. Він залежить від еластичності судинної стінки і міри відтоку крові через систему дрібних артерій і артеріол. Різниця між систолічним і діастолічним артеріальним тиском називається *пульсовим тиском*. Існують *прямі* (криваві) і *непрямі* методи вимірювання артеріального тиску.

Прямі методи вимірювання артеріального тиску

Пряме вимірювання величина артеріального тиску передбачає сполучення порожнин кровеносного русла із датчиками тиску - рідинними (ртутними або водяними) чи мембранними манометрами. Інерційність рідинних манометрів дозволяє визначити лише середній тиск.

За допомогою *мембранних манометрів* можна зареєструвати більш швидкі коливання тиску. В загальному такі манометри складаються з жорсткої камери, однією з стінок якої є пружна мембрана. Тиск у судині передається через канюлю на мембрану і реєструється за допомогою механічного, оптичного, або електричного пристрою. Сучасні мембранні датчики тиску надійно реєструють зміни тиску з частотою 1000 Гц і більше. Для того, щоб під час запису швидких коливань тиску не спотворювалась їх амплітуда і фазові співвідношення, власна частота коливань манометра повинна у 10 разів перевищувати частоту коливань, які реєструються. Сигнал датчика, перед його реєстрацією підсилюється за допомогою електронних підсилювачів.

Непрямі методи вимірювання артеріального тиску

Основним приладом для непрямого вимірювання артеріального тиску є сфігмоманометр, сконструйований Ріва-Роччі. Зазвичай артеріальний тиск вимірюється на плечі обстежуваного, який перебуває у положенні сидячи або лежачи.

Пальпаторний метод дозволяє визначити лише систолічний тиск. У цьому випадку також використовується сфігмоманометр Ріва-Роччі і

визначається тиск, при якому пульс на променевій артерії зникає під час нагнітання повітря у манжету і знову з'являється під час випускання повітря.

При використанні *аускультативного методу* Короткова на плечову артерію в ділянці ліктя (дистальніше манжети) накладають стетоскоп або фонендоскоп і судять про систолічний (СТ) чи діастолічний (ДТ) тиск за характерними звуками (тонами Короткова). Момент появи звуків відповідає систолічному тиску, а їх зникнення чи послаблення – діастолічному. На основі СТ та ДТ розраховують пульсовий тиск (ПТ).

$$\text{ПТ} = \text{СТ} - \text{ДТ}$$

Знаючи СТ та ДТ можна розрахувати середній тиск, або середній динамічний тиск, за формулою Хікема (СДТ)

$$\text{СДТ} = \text{ДТ} + 1/3 \text{ ПТ}$$

чи за формулою Вецлета і Богера:

$$\text{СДТ} = 0,42 \cdot \text{СТ} + 0,58 \cdot \text{ДТ}$$

Необхідно, щоб манжета розташовувалась на рівні серця (щоб усунути вплив гідростатичного тиску). Окрім того, ширина манжети повинна складати приблизно половину обводу плеча (у дорослих - манжета шириною 12 см). При підвищеній активності серцево-судинної системи (наприклад, при інтенсивному фізичному навантаженні, тиреотоксикозі чи недостатності аортального клапана) тони Короткова часто зберігаються після того, як починають стихати; при цьому вони лише постійно слабшають, але ніколи не зникають аж до нульового тиску у манжеті. У таких випадках слід враховувати не лише систолічний і діастолічний тиск, але й тиск, при якому тони слабшають. За допомогою автоматичних вимірювань і запису тонів з використанням мікрофонів (або запису змін кровотоку за допомогою ультразвукових датчиків) можна здійснювати повторні вимірювання через визначені проміжки часу (найкоротший можливий проміжок складає біля 30 с). Тому цей простий метод можна застосовувати для вивчення змін тиску протягом тривалого часу.

Осцилографічний метод. Метод базується на записі коливань стінки артерії при зміні міри її стискання манжеткою. Перевагою цього методу є об'єктивна реєстрація тиску. Осцилограма також дозволяє визначити величину середнього динамічного артеріального тиску, яка співпадає з найбільшою амплітудою осциляцій

На основі даних артеріального тиску можна обчислити ударний об'єм серця та ряд інших важливих показників.

Ударний об'єм (УО) можна розрахувати за формулою Старра:

$$УО = 90,97 + 0,54 ПТ - 0,57 ДТ - 0,61 В$$

де, ПТ – пульсовий тиск (мм. рт. ст), ДТ – діаст. тиск, В – вік в роках

Існує модифікація формули Старра за Романцевою для обчислення систолічного об'єму серця у дітей:

$$УО = 80 + 0,5 ПТ - 0,6 ДТ - 2 В$$

Обрахунок можливий також за формулою Бремзера-Ранке:

$$УО = (0,6 \cdot Q \cdot 1332 \cdot ПТ \cdot S \cdot T) / C \cdot D$$

де Q – площа перерізу аорти (см²), по номограмі Савицького, ПТ – пульсовий тиск, S – тривалість систоли (с), T – серцевий цикл (с), C – швидкість розповсюдження пульсової хвилі (см/с), D – тривалість діастоли (с).

Слід зазначити, що в умовах клініки серцевий викид визначають прямим методом Фіка або методом розведення індикатора. Прямий метод передбачає визначення вмісту кисню в артеріальній і змішаній венозній крові. Використання індикатора передбачає його введення у праве передсердя із наступним виявленням у променевої артерії т побудовою кривої розведення.

Хвилинний об'єм крові (ХОК, л) можна орієнтовно обрахувати за формулою Лільєштранда і Цандера:

$$ХОК = РАТ \cdot ЧСС$$

де РАТ – редукований артеріальний тиск,

$$РАТ = (СТ - ДТ) \cdot 100 / ((СТ + ДТ) / 2)$$

Знаючи ХОК, можна розрахувати також **серцевий індекс (СІ, л/хв/м²)**, що дозволяє більш точно порівняти показники серця різних людей:

$$CI = XOK/S,$$

де S – площа поверхні тіла (m^2), яку знаходять по номограмі чи за формулою.

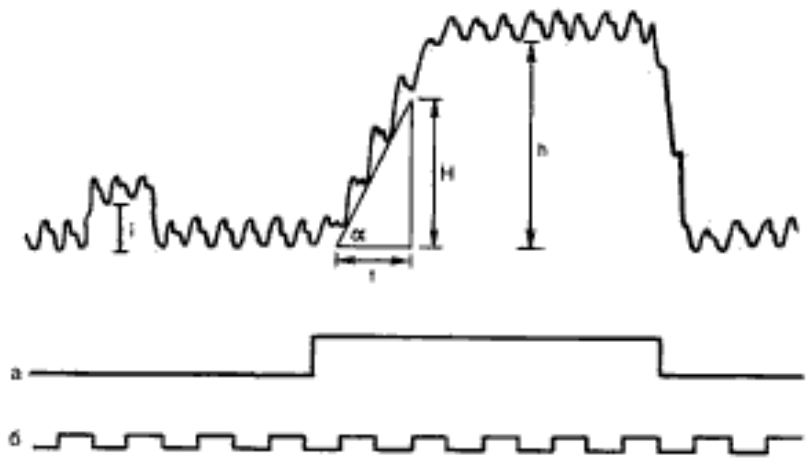
Вимірювання венозного тиску

Венозний тиск - це сила, з якою кров тисне на стінку венозної судини. Він залежить від кількості крові, яка до неї притікає і відтікає, тонусу вен, функціонального стану правого шлуночка. Для вимірювання венозного тиску використовують апарат Вальдмана. Венозний тиск вимірюють після 20-25 хвилин відпочинку обстежуваного, ранком, натщесерце, у положенні лежачи на спині. У клініці периферійний венозний тиск зазвичай визначають у вені руки, розташованій точно на рівні правого передсердя. При цьому за допомогою канюлі сполучають вену із трубкою апарату і слідкують за зміною рівня рідини у трубці. Кров з вени надходить у трубку і підіймає стовп рідини в апараті на висоту, яка рівна венозному тиску. Периферійний венозний тиск у цьому випадку складає від 3 до 15 см вод.ст. Можна визначити також центральний венозний тиск. Для більш точного визначення центрального венозного тиску у праве передсердя вводять катетер з мініатюрним датчиком тиску на кінці (або з'єднаний з електроманометром, розташованим поза організмом обстежуваного).

Плетизмографія

Плетизмографія — спосіб реєстрації змін об'єму тіла чи його частини, що пов'язані з динамікою кровонаповнення. *Загальна плетизмографія* (body plethysmography) використовується для дослідження функцій зовнішнього дихання і хвилинного об'єму кровообігу. За допомогою плетизмографії можна оцінити тонус судин та проаналізувати органічну чи функціональну природу його змін.

Плетизмограма пальця.
 а — отметка давления — 20 мм рт. ст. в окклюзионной манжетке; б — отметка времени; i — высота подъема кривой (мм) при калибровке объемом $V = 10 \text{ мм}^3$; h — высота плато; H — прирост объема за время t ; угол α — крутизна подъема кривой на высоту H .



Реєстрація плетизмограм проводиться з використанням спеціальних приладів - *плетизмографів* різної конструкції (водяні, електро-, фотоплетизмографи). У залежності від характеру сигналу, який отримуємо при зміні кровонаповнення, розрізняють *механічну плетизмографію* (коливання об'єму реєструються завдяки повітряній чи водяній передачі), *електроплетизмографію* (*імпедансна плетизмографія*, *реографією* - реєструємо динаміку електропровідності, що залежить від ступеня кровонаповнення), *фотоелектрична плетизмографія* (*денситографія*, в основі якої лежить оцінка світлопроникності частини тіла в залежності від ступеня кровонаповнення). Останній метод не одержав широкого застосування, тому що не є кількісним.

Плетизмографічні показники прийнято відносити до 100 см^3 тканини. При цьому реєструють:

окклюзионний приріст об'єму (h), який для пальця здорової людини коливається в межах $20\text{—}60 \text{ мм}^3$ (чи $0,3\text{—}0,4 \text{ см}^3/100 \text{ см}^3$ тканини).

Розрахунок **об'ємної швидкості кровотоку (Q)** здійснюється по початковому відхиленню плетизмограми (перші 1 - 3 пульсові хвилі) за допомогою такої формули:

$$Q = H/t \cdot 60$$

де Q — об'ємна швидкість кровотока, $\text{см}^3/\text{хв}$; H — приріст об'єму, см^3 за час t , с, 60 — коефіцієнт перетворення розмірності часу (з с в хв.). За допомогою окклюзионної плетизмографії діагностуються складні форми порушення регіонарного кровотоку, органічний стеноз внутрішньої сонної

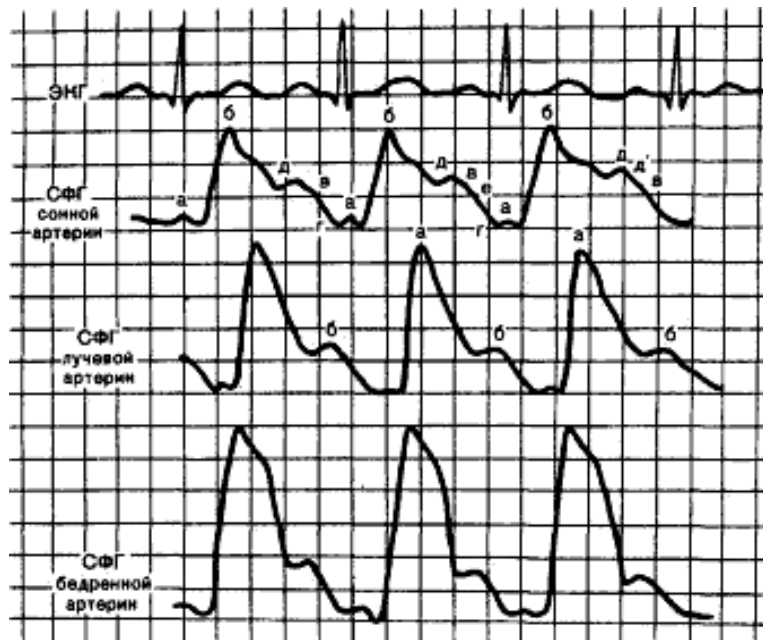
артерії й ін. Можна також вивчати фармакодинаміку вазоактивних лікарських засобів.

Сфігмографія

Сфігмографія - це метод реєстрації коливань стінок артерій, які виникають внаслідок викиду порції крові із серця під час систоли. Розрізняють сфігмограми *центрального* (сонна артерія) і *периферійного* пульсу (променева, стегнова артерія і артерії гомілки), а також *пряму* і *об'ємну* сфігмографію. *Пряма сфігмографія* забезпечує реєстрацію змін на обмеженій ділянці стінки судини з допомогою датчиків, які зафіксовані над пульсуючою судиною. *Об'ємною сфігмографією* називають запис кривої, яка реєструє сумарні об'ємні зміни в артеріях за допомогою манжетки, розташованої довкола ділянки кінцівки, яка досліджується.

Для запису артеріального пульсу застосовують *сфігмограф* або сфігмографічні приставки, які під'єднуються до електрокардіографа. Принцип роботи сфігмографа полягає в тому, що сигнали механічних коливань стінки судини, сприйняті датчиком, перетворюються в електричні, які після підсилення надходять на реєструючий пристрій. Для запису пульсу застосовують датчики різного типу – п'єзокристалічні, ємнісні, тензометричні, тощо.

При проведенні дослідження обстежуваний знаходиться у положенні лежачи, датчики кріплять на місці найкращої пульсації артерії за допомогою гумової стрічки.



Сфігмограма центрального пульсу є хвилеподібною кривою, яка складається з систолічної і діастолічної частин. Крива починається з невеликої **пресистолічної хвилі** (“а”), утворення якої пов'язане з вип'ячуванням півмісяцевих клапанів у просвіт аорти під час ізометричного скорочення лівого шлуночка. Далі йде основна **систолічна хвиля**, яка починається крутим підйомом **анакротою** (“а-б”), який обумовлений різким підвищенням тиску в аорті в момент фази швидкого вигнання крові з лівого шлуночка. Досягнувши верхівки хвиля закруглюється і плавно спускається (**катакрота**), а тоді круто знижується, утворюючи **інцизуру** (“д”). Катакрота разом з верхівкою відображає фазу повільного вигнання крові з лівого шлуночка (“в-г”). Проміжок часу від початку підйому кривої до інцизури відповідає періоду вигнання лівого шлуночка. Найнижча точка інцизури відображає момент повного закриття клапанів аорти. Діастолічна частина сфігмограми представлена невеликою хвилею, яка називається **дикротичною** і відображає коливні рухи стінок артерій. Підйом дикротичної хвилі з переходом у спуск до вихідного рівня показує, що підвищений тиск крові на початку діастолі в артеріях поступово зменшується внаслідок відтоку крові на периферію.

З практичною метою сфігмографія використовується для характеристики функціонального стану артеріальних судин. Так, у випадку зниженої еластичності артеріальної стінки інцизура розташовується ближче до верхівки

основної хвилі, при виражених порушеннях судинної стінки знижується дикротична хвиля. Сфігмографію використовують і як допоміжний метод діагностики аортальних вад серця. Наприклад, при стенозі (звуженні) устя аорти тривалість анакрати збільшується, оскільки чим більш виражене звуження, тим триваліша фаза швидкого вигнання.

Аналіз сфігмограми центрального пульсу може бути спрямований на вивчення часових характеристик серцевого циклу. Е. Б. Бабський і В. Л. Карпман запропонували такі рівняння для розрахунку тривалості систоли:

$$S=0,324 C; S=0,183 C+0,142$$

де S — тривалість систоли, C — серцевий цикл.

Так, збільшення тривалості систоли понад 0,02 с, свідчить про зростання діастолічного об'єму (підвищений венозний приплив крові чи застійні явища в серці в стадії компенсації). Укорочення систоли вказує на пошкодження міокарда (дистрофія й ін.).

По морфології кривої можна охарактеризувати особливості вигнання крові з лівого шлуночка при різних патологічних станах. Крутий підйом кривої (більш ніж у нормі) з висхідним плато характерний для підвищеного тиску в аорті і периферичних судинах, а ранній пік з низкою систолічною вершиною, що переходить у швидке зниження з глибокою інцизурою, відповідає низькому тиску в аорті. Досить типові криві записуються при недостатності аортальних клапанів, при аортальному стенозі і ін.

Синхронний запис сфігмограм сонної, стегнової і променевої артерій дозволяє визначити **швидкість поширення пульсової хвилі**.

При визначенні різниці в часі появи підйому кривих сонної і стегнової артерій розраховується швидкість поширення пульсової хвилі по судинах еластичного типу (C_e):

$$C_e = l_2 + l_3 - l_1 / t_e$$

Розрахунок швидкості поширення пульсової хвилі по судинах м'язового типу виробляється по формулі:

$$C_M = l_2 + l_3 - l_1 / t_M$$

де l_1 — від сонної артерії до яремної вирізки груднини, l_2 — від яремної вирізки груднини до пупка; l_3 — від пупка до стегнової артерії, l_4 — від яремної вирізки груднини до променевої артерії (при витягнутій під прямим кутом до тулуба руці), t_e — час запізнювання пульсової хвилі від сонної до стегнової артерій, t_m — час запізнювання пульсової хвилі від сонної до променевої артерій.

Дані розраховують в 5—10 комплексах. Відношення швидкості поширення пульсової хвилі по судинах м'язового типу до швидкості поширення пульсової хвилі по судинах еластичного типу в здорових людей знаходиться в межах 1,1—1,3. Швидкість поширення пульсової хвилі визначається пружними властивостями артеріальної стінки і змінюється з віком — від 400 см/с у дітей до 1000 см/с в людей старше 65 років.

Реографія

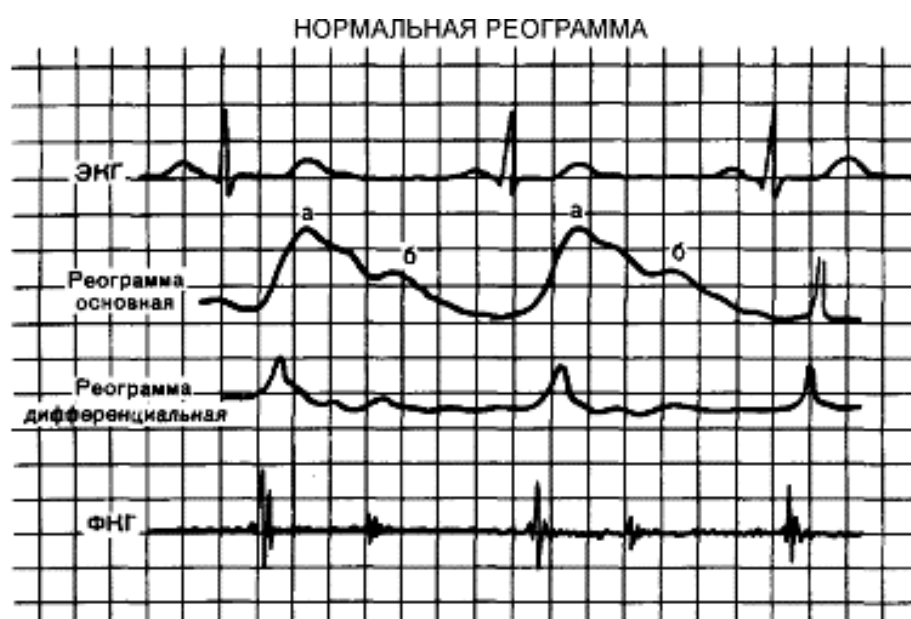
Реографія - метод дослідження загального і органного кровообігу, який ґрунтується на реєстрації коливань електричного опору живих тканин організму внаслідок зміни вмісту у них рідини (кровонаповнення). Чим інтенсивніший кровообіг у тканинах і більше їх кровонаповнення, тим більша електропровідність і менший опір. При реографії через ділянку, яка досліджується, проводиться нешкідливий для організму і не відчутний ним змінний струм високої частоти (від 100 до 500 кГц) і малої сили (до 10 мА). У момент збільшення кровонаповнення тканини під час систоли електропровідність зростає, що супроводжується зменшенням опору і збільшенням амплітуди реографічної кривої. Під час діастоли наявні протилежні явища.

Для реєстрації реограм використовують реографи типу 4РГ-1М, Р4-02 або реоплетизмограф РПГ2-02. Під час запису реограми звичайним *біполярним способом* на відповідних ділянках тіла фіксують два електроди, кожен з яких і одночасно активним і вимірювальним. Форма і розмір електродів, їх локалізація залежать від виду дослідження. Застосовуються пластинчаті і

кільцеві електроди з різних матеріалів з прокладками і пастами для кращого контакту. Контроль за якістю накладання здійснюють за величиною міжелектродного опору. Залежно від зони вимірювання інтегрального і регіонарного базового імпедансу електроди розташовують у різних зонах, наприклад: один довкола шії, другий довкола грудної клітки на рівні мечеподібного відростка Z_1 ; і т.д.

При *тетраполярній (чотириелектродній) реографії* зону дослідження обмежують двома вимірювальними електродами, назовні від яких розташовують два активні. При такому способі відпадає необхідність у прокладках і пастах. Електроди закріплюють на досліджуваній ділянці тіла після обезжирення її спиртом.

Дослідження слід проводити при горизонтальному положенні обстежуваного, натщесерце або через 2 години після прийняття їжі і 10-хвилинного відпочинку при температурі повітря $20-22^{\circ}\text{C}$. Реограму і її першу похідну записують після регулювання реографа і калібрувального сигналу в $0,1$ Ом при швидкості руху паперової стрічки 50 мм/с і затримці дихання на спокійному видиху. Для клінічної оцінки реографічних хвиль записують 4-5 циклів реограми.



Форма реограми будь-якої ділянки тіла подібна до сфігмограми і складається з систолічної (головної) і діастолічної частин. Систолічна хвиля

складається з висхідної частини (анакроти), верхівки і нисхідної частини (катакроти). Спуск закінчується інцизурою, за якою йде діастолічна частина кривої. Діастолічна частина значною мірою пов'язана із венозним відтоком крові. Диференціальна реограма характеризує швидкість притоку крові до ділянки тіла, що досліджується.

Реограма оцінюється за **якісними і кількісними показниками**. При *якісній* оцінці звертають увагу на регулярність пульсових хвиль, крутизну підйому і спуску, характер верхівки, вираженість інцизури і діастолічної хвилі. Нерегулярність кривих реєструється при аритміях, повільний підйом при систолічному перевантаженні лівого шлуночка, при зниженні еластичності артерій зменшується амплітуда хвилі та заокруглюється вершина, при аритміях хвилі нерегулярні, тощо.

Існує кілька *кількісних* показників реограми. Серед них:

Амплітуда реограми (h_2) в омах характеризує величину пульсового кровонаповнення. Вимірюють як амплітуду систолічної, так і діастолічної хвилі.

Співвідношення амплітуд систолічної і діастолічної хвилі (A_c/A_d) - відображає співвідношення артеріального притоку і венозного відтоку.

Реографічний індекс (PI) характеризує величину пульсового кровонаповнення досліджуваної ділянки

$$PI = h_2/K$$

h_2 - амплітуда систолічної хвилі (в мм), K - калібрувального імпульсу (в мм).

Період швидкого вигнання – від початку систолічної хвилі до найбільш крутої ділянки її підйому. Відображає величину систолічного об'єму і стан великих судин.

Період повільного вигнання – від ділянки найбільш крутого підйому до завершення систолічної хвилі. Відображає стан судин середнього і малого калібру.

Амплітудно-частотний показник (АЧП) характеризує величину об'ємного кровотоку досліджуваної ділянки за 1 с

$$\text{АЧП} = \text{PI/R-R}$$

R-R - тривалість серцевого циклу (с) .

Дикротичний індекс або індекс тону (ДІ)

$$\text{ДІ} = h_2 / h_3 \times 100\%$$

де h_2 - амплітуда в найвищій точці; h_3 - амплітуда в точці інцизури. Він характеризує тонус артеріол (величину периферійного опору).

Час поширення реографічної хвилі – зростає при склерозі чи збільшення тону судин.

Реографічний коефіцієнт (РК) – відображає стан тону артерій

$$\text{РК} = a/\text{R-R}$$

a – визначають графічно по кривій реограми.

Реовазографія - реографічне дослідження судин кінцівок. Це цінний метод діагностики захворювань периферійних артерій. Останнім часом для реєстрації РВГ окремих ділянок верхніх і нижніх кінцівок широко застосовують поздовжній метод тетраполярної реографії з застосуванням циркулярних електродів шириною 1-1,5 см для плеча, передпліччя, кисті, стегна, гомілки, стопи і 0,5-0,7 см для пальців. При цьому електроди закріплюють довкола проксимальної і дистальної частин ділянки, яка досліджується.

Реоенцефалографія (РЕГ) - один з варіантів реографічного методу дослідження, спрямований на вивчення гемодинаміки головного мозку в нормі і при патології.

Інтегральна реографія. Ця методика заснована на зміні базового імпедансу. При цьому можна вимірити базовий імпеданс всього тіла чи в якому-небудь регіоні. Існують кілька зон накладення електродів для вивчення регіонарного базового імпедансу. Найбільше застосування знайшли: методика Е. Нoffer (1970), коли розміщаються кільцеві електроди в нижній третині правого передпліччя і лівої гомілки, і методика М. И. Тищенко (1971— 1973),

що передбачає фіксацію однієї пари об'єднаних електродів у нижній третині обох передпліч, а іншої — у нижній третині обох гомілок.

Реографія є також одним з найбільш простих і зручних методів визначення показників центральної гемодинаміки, дозволяє за необхідності постійно розраховувати ударний (УО) і хвилинний об'єми серця. При цьому окрім інших показників потрібно визначити величину периметра грудної клітки Q (в см) і відстань між електродами L (в см).

Формула для визначення УО має такий вигляд:

$$УО = \frac{0,45 \cdot Q^2 \cdot L \cdot Ad \cdot T}{Z^2} \text{ (в мл),}$$

де Ad амплітуда систолічної хвилі диференційної реограми від нульової лінії до піку (в Ом/с); T - час вигнання, який визначається відстанню між початком підйому диференціальної кривої до нижньої точки інцизури; Z - базовий опір, який визначається по шкалі реографа (в Ом).

Для розрахунку УО застосовують також формулу А.А.Кедрова:

$$УО = (S \cdot K \cdot P) / (C \cdot R)$$

де S – амплітуда реографічної хвилі (см), K – калібрувальний опір (Ом), P – маса тіла (г), C – висота калібрувального імпульсу (см), R – загальний електричний опір (Ом).

Для підрахунку УО також можна використати формули М.І.Тищенко, Ю.Т.Пушкаря, W. Kubicek.

Користуючись значеннями ударного і хвилинного об'єму крові можна розрахувати ряд комплексних реографічних показників: об'ємну швидкість вигнання крові (в мл/с); потужність лівого шлуночка (в Вт); витрату енергії на переміщення 1 л хвилинного об'єму крові (в Вт/л).

Інші методи дослідження системи кровообігу

Електромагнітна флуориметрія. При використанні цього методу судина розміщується між полюсами електромагніту таким чином, що силові лінії пересікають довгу вісь судини. Коли кров, яка є розчином електролітів, проходить через електромагнітне поле, виникає напруга, яка спрямована перпендикулярно до силових ліній і кровотоку. Цю напругу можна виміряти за допомогою електродів, які належним чином закріплені на зовнішній стінці судини. Оскільки напруга, яка реєструється у кожний момент часу, пропорційна кількості протікаючої крові, цей метод дозволяє детально вивчати пульсуючий кровотік. За допомогою вживлених датчиків можна здійснювати тривалу реєстрацію кровотоку в судинах діаметром від 1 мм і більше, аж до аорти.

Ультразвукова флуориметрія. Цей метод ґрунтується на вимірюванні часу проходження ультразвукових хвиль. Судина розташовується між двома ультразвуковими датчиками, які є одночасно і випромінювачами. Оскільки час проходження сигналу у напрямку кровотоку менший, ніж у зворотньому напрямку; то за різницею визначають об'ємну швидкість кровотоку в судині. Модифікацією цього методу є ультразвуковий метод визначення лінійної швидкості кровотоку у поверхневих судинах. При використанні цього методу ультразвукові хвилі посилаються через судину у діагональному напрямку одним кристалом, а відбиті хвилі вловлюються іншим. При цьому частота коливань змінюється у залежності від напрямку руху крові. Різниця між вихідною і відбитою частотою пропорційна швидкості руху частинок крові. При використанні апаратури, яка дозволяє одночасно виміряти діаметр судини можна також визначити об'ємну швидкість кровотоку.

Термоелектричні методи. Метод ґрунтується на змінах теплопровідності тканин залежно від їх кровонаповнення. Про зміну кровотоку судять за різницею температури між нагрітим і ненагрітим елементами. При збільшенні кровотоку ця різниця зменшується, оскільки тепло швидше проводиться від нагрітого елемента. Обидва елементи можна вмонтувати в голкоподібний "термощуп", який дозволяє виміряти шкірний і м'язовий кровотік у людини.

Окклюзивна плетизмографія. При цьому методі дослідження про об'ємну швидкість кровотоку в артеріях судять виходячи з того, наскільки збільшується обсяг кінцівки (або частини кінцівки) при перекритті венозного відтоку.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.

Система зовнішнього дихання забезпечує підтримання нормального газового складу артеріальної крові. За умов, які безперервно змінюються, безперервно змінюються і вимоги, які постають перед системою дихання. Головним принципом функціонального дослідження системи дихання, як і будь-якої іншої системи організму, полягає у тому, щоб оцінити відповідність реакції системи дихання умовам за яких вона працює.

Види тестувань, які використовуються під час досліджень системи дихання: *довільне регулювання дихальних рухів, дихання з додатковим опором, фармакологічні проби, дихання з використанням сумішей змінюваного газового складу, фізичні навантаження, тощо.* Однією з величин, на зміну яких звертають увагу під час досліджень системи дихання ї так звані паттерни дихання. Це сукупність об'ємних і часових параметрів, які характеризують структуру дихального циклу та легеневу вентиляцію в цілому:

кількість дихальних рухів за 1 хвилину;

тривалість окремого дихального циклу;

тривалість інспіраторної та експіраторної фази;

частка вдиху у загальній тривалості циклу;

дихальні об'єми;

середня швидкість потоку повітря на вдиху і на видиху;

максимальна швидкість потоку повітря на вдиху і на видиху;

легенева вентиляція.

До найпростіших методик, які дозволяють вивчити стан дихальної системи у людини належить **вимірювання рухомості грудної клітки.** При цьому обстежуваний знаходиться у положенні стоячи, опустивши руки по

швах, сантиметрова стрічка пропускається довкола грудної клітки під пахвами. Здійснюється глибокий вдих. У нормі у мужчин обсяг грудної клітки має зрости на 7-10 сантиметрів, у жінок на 5-8.

Ще одним методом, який не потребує наявності складної апарату є **перкусія** або простукування грудної клітки. Обстежуваний під час цього повинен бути роздягнутим до пояса. За допомогою перкусії можна встановити зміни положення нижнього краю легенів. У здорових людей під час нормального дихання цей край має зміщатись у циклі вдих-видих на три міжреберні проміжки.

Спірометрія

Спірометрія – метод вимірювання дихальних об'ємів. Для визначення застосовують цілий ряд спірометрів – повітряні, водні і ін. Можливе застосування також **динамічної спірометрії**, що полягає у реєстрації ЖЄЛ після фізичних навантажень. При цьому ЖЄЛ досліджують у стані спокою, безпосередньо після навантаження та через 3 і 5 хв. Здорові люди реагують на виконану роботу зменшенням ЖЄЛ на 200-300 мл., вихідні значення ЖЄЛ відновлюються через 1-3 хв. За умов дихальної недостатності зменшення ЖЄЛ більш виражене та зберігається понад 3 хв. На основі ЖЄЛ обчислюють **життєвий показник (життєвий індекс)**, який дорівнює відношенню ЖЄЛ в мл до ваги тіла в кг. Для здорових чоловіків цей показник становить 60 мл/кг, для жінок - 52 мл/кг.

Спірографія

Спірографія - метод графічної реєстрації змін об'ємів легень під час виконання різноманітних дихальних рухів. За її допомогою можна отримати ряд важливих характеристик анатомо-морфологічних властивостей апарату дихання. Умови проведення спірографії обстежуваний перебуває за умов відносного спокою у положенні сидячи, на ніс накладають затискач. Спочатку протягом 2-3 хвилин обстежуваний здійснює спокійне дихання з метою

адаптації до дихання через прилад та встановлення рівня спокійного видиху. Після цього проводиться запис життєвої ємності легень (ЖЄЛ). Визначення здійснюють 3 рази з невеликими паузами відпочинку (нормальне дихання). Отримане значення ЖЄЛ порівнюють із належною ЖЄЛ (**НЖЄЛ**), яку вираховують за величиною належного основного обміну (НОО, таблиці).

$$\text{НЖЄЛ} = \text{НОО} \cdot \text{К}, \text{ де}$$

К – коефіцієнт.

Для чоловіків К – 3,0, для жінок – 2,6, у 4 р. – 1,4, 5-6 р. – 1,5, 7-9 р. – 4,65, 10-13 р. – 1,75, 14-15 р. – 2,0, 16-17 р. – 2,2, у 50-60 р. – зменшений на 0,2.

Окрім визначення ЖЄЛ за допомогою спірографії можна розрахувати ряд інших показників:

частоту дихання (ЧД), визначають протягом 3-5 хв., норма для дорослих – 16-18;

дихальний об'єм (ДО), визначають за період 5-10 дихальних рухів, норма – 15-16% ЖЄЛ (300-800 мл);

резервні об'єми вдику і видиху (РОВд і РОВи). Належний РОВд становить 50-51% ЖЄЛ, належний РОВи – 34-35% ЖЄЛ.

максимальну вентиляцію легень (МВЛ, здійснювати 40 хв⁻¹), яка значно залежить від статі, зросту, ваги тіла і ін. Тому її порівнюють із належною МВЛ (НМВЛ), яку визначають по таблицях, чи за формулою:

$$\text{НМВЛ} = 0,5 \cdot \text{НЖЄЛ} \cdot 35$$

МВЛ, нижча за 40 л/хв – завжди вказує на патологічні порушення апарату зовнішнього дихання.

час затримки дихання на вдику (проба Штанге, не менше 35-40 с) і на **видиху** (проба Генча, не менше 30 с).

форсовану ЖЄЛ (ФЖЄЛ - видих із максимальною швидкістю після максимального вдику, велика швидкість запису). ФЖЄЛ є показником стану бронхіальної провідності, у здорових осіб практично відповідає ЖЄЛ, різниця може становити 200-130 мл. Під час форсованого видиху визначають також **об'єм форсованого видиху за секунду – ОФВ₁**. У чоловіків 18-30 р. вона

складає 3,3 л/с, у жінок – 2,3 л/с. Відношення $ОФВ_1$ до ЖЄЛ має назву **тесту Тіффно** і складає у нормі 70%.

Споживання кисню, на основі якого обчислюють величину основного обміну.

Із спірограми можна обчислити також ряд інших показників:

Показник швидкості руху повітря (МВЛ/ЖЄЛ) – у здорових чоловіків – 24, жінок – 26. Зменшення говорить про підвищений опір у дихальних шляхах або недостатню потужність видиху.

Коефіцієнт використання кисню (КВК) – кількість кисню, що вбирається із 1 л повітря.

$$КВК = \frac{ХПО_2}{ХОД},$$

де $ХПО_2$ – кількість поглинутого за 1 хв. кисню.

Норма КВК – 35-40, його збільшення спостерігається при підвищенні тренованості організму. Зменшення свідчить про утруднення дифузії кисню через легеневу мембрану.

Дихальний еквівалент (ДЕ) – показує, з якого об'єму повітря організм засвоює 100 мл кисню у випадку, якщо його поглинання відповідає належному ($НПО_2$). Норма – 1,8-3,0.

$$ДЕ = \frac{ХОД}{НПО_2}.$$

Вентиляційний еквівалент (ВЕ) – те саме, але визначається за фактичним поглинанням кисню ($ХВО_2$). Норма – 2,5-2,8.

$$ВЕ = \frac{ХОД}{ХПО_2}.$$

Збільшення його вказує на приховану легеневу недостатність.

Кисневий еквівалент (КЕ) – відношення $ХПО_2$ до частоти серцевих скорочень. Норма – 4-7.

$$КЕ = \frac{ХПО_2}{ЧСС}.$$

Процент використання ЖЄЛ – $100\% \cdot (ДО/ЖЄЛ)$. Норма – 12-15%.

Процент утилізації кисню $100\% \cdot (ХОД/ХВО_2)$. Норма – 3,8-4,0%.

Життєвий показник – відношення ЖЄЛ (мл) до ваги тіла (кг). Норма для чоловіків – 60, для жінок – 52.

За умови наявності спірографа із аналізатором гелію (ПООЛ-1) можливе також визначення залишкового об'єму легень (ЗОЛ). У цьому випадку визначення ґрунтується на розведенні інертного газу при диханні повітряно-гелієвою сумішшю. Отримані дані дозволяють отримати функціональну залишкову ємність легень, а різниця між функціональною залишковою ємністю і РОВи становить залишкову ємність легень. При цьому для оцінки ЗОЛ його оцінюють у відсотках до ЖЄЛ. У середньому величина цього відношення становить 33%.

Додавши ЗОЛ і ЖЄЛ отримаємо **загальну ємність легень (ЗЄЛ)**, яка в нормі у віці 15-34 р. дорівнює НЖЄЛ, поділений на 0,8. При цьому відношення ЗОЛ до ЗЄЛ у здорових людей коливається від 20 до 30%.

Пневмотахометрія.

За допомогою пневмотахометрії вимірюють максимальну швидкість повітряного потоку під час вдиху або видиху. Методика дозволяє оцінити стан бронхіальної провідності – найбільш частого і раннього симптому хронічного захворювання бронхів і легень. Для досліджень використовують пневмотахометри – ПТ-1, ПТ-2 і ін. При цьому реєструють потужність видиху (ПВи) та потужність вдиху (ПВд) У нормі ПВи у чоловіків становить 5-8 л/с, жінок – 4-6 л/с. Для розрахунку належної ПВи слід величину НЖЄЛ помножити на 1,2. У здорових осіб ПВи рівна чи перевищує ПВд.

Іншим неінвазивним методом дослідження дихання людини і оксигеметрія метод визначення *міри насичення крові киснем* методом **оксигеметрії**. Базується на аналізі спектральних властивостей гемоглобіну. Окислений гемоглобін пропускає видиме червоне світло в певній частині спектру більшою мірою, ніж відновлений. Після калібрування за еталонним фільтром датчик приладу розташовують на мочці вуха. Він складається з двох камер: в одній розташована лампа, у іншій два фотоелементи, один з яких реагує на інтенсивність світлового потоку, інший на зміну спектральних властивостей крові. Оскільки окислений і відновлений гемоглобін мають різні

спектральні характеристики, за їх зміною можна судити про ступінь насичення крові киснем. Датчик прогрівається 20 хв, що сприяє пришвидшенню кровотоку у місці накладання і артеріалізації крові. Після цього стрілку розташовують на поділці шкали, рівній приблизно 90% насичення і подають чистий кисень (здорові люди дихають ним протягом 3 хвилин, хворі протягом 5). Кожні 30 с записують результати. Після закінчення відведеного часу, переходять на дихання звичайним повітрям. У здорової людини ступінь насичення під час дихання киснем має змінитись до 100%, у хворої цього не спостерігатиметься.

Вимірювання тиску у плевральній порожнині здійснюється за допомогою введеного у стравохід і розташованого приблизно на середині відстані до шлунка балона, який стискається і розтягується під час вдиху-видиху.

Порушення глибини та ритму дихання.

Часто у людей з тої чи іншої причини мають місце порушення дихання. Їх можна умовно об'єднати у дві групи порушення дихання за рестриктивним типом і за обструктивним типом.

Рестриктивний тип порушення причиною є зменшення дихальних екскурсій легень. Такі зміни можуть настати внаслідок фіброзу легень, наявності значного числа плевральних спайок. Для встановлення наявності такого типу порушення використовують визначення ЖЄЛ. Її зменшення, порівняно з належними величинами, є свідченням рестриктивного порушення.

Обструктивний тип порушення спричинений звуженням повітроносних шляхів, яке може виникнути, наприклад, внаслідок бронхіальної астми. Для перевірки використовують тест Тіффно (вимірювання об'єму форсованого видиху). Обстежуваному записують спірограму, він отримує інструкцію здійснити максимально швидкий видих, визначають відношення об'єму повітря, видихнутого за першу секунду до повного об'єму видиху. Величина тесту Тіффно для людей до 50 років становить 70-80%, для людей старших 65-70%.

Існують також *порушення, переважно, патологічні ритму дихання:*

дихання Чейн-Стокса глибина дихання поступово зростає, досягає максимуму, зменшується і відбувається зупинка дихання на якийсь час, після чого весь цикл повторюється знову. Такий тип дихання спостерігається у здорових людей під час сну у високогір'ї або під час отруїння організму (наприклад, при уремії), серцевій недостатності, значній артеріальній гіпертензії, інфаркті міокарда;

дихання Біота нормальне ритмічне дихання, яке переривається паузами, під час яких дихання не відбувається. Спостерігається у випадку пошкодження головного мозку, при підвищенні внутрішньочерепного тиску, наявності пухлин мозку, менінгоенцефаліті;

дихання Куссмауля дуже глибоке ритмічне дихання протягом тривалого часу. Спостерігається, наприклад, у діабетиків при метаболічному ацидозі.

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СПОРТСМЕНІВ

Фізична працездатність – це комплексне поняття, що характеризується як ергометричними, так і фізіологічними показниками. Для оцінки фізичної працездатності, як правило, використовують сукупність показників. Сюди належать, зокрема, потужність, ємність і ефективність аеробної і анаеробної енергопродукції, сила і витривалість м'язів, нейром'язова координація та ін. У більш вузькому сенсі фізичну працездатність визначають як функціональний стан кардіореспіраторної системи. Проте оцінка фізичної працездатності на основі лише одного з показників, наприклад PWC_{170} , може призвести до неправильних висновків. Мінімальне обстеження повинне включати антропометрію, визначення максимальної аеробної потужності та сили м'язів. При цьому важлива роль відводиться застосуванню функціональних проб. При цьому розрізняють кілька видів факторів впливу:

- фізичні навантаження;
- зміна положення тіла у просторі;
- натужування;

- зміна складу повітря;
- фармакологічні проби

Найчастіше як фактор впливу використовується фізичне навантаження, форми виконання якого дуже різноманітні. Важливим при цьому є точне дозування навантажень, для чого найчастіше використовують велоергометри різних конструкцій чи бігові доріжки. З метою наблизити характер роботи спортсмена під час функціональних проб до змагальної чи тренувальної діяльності, в окремих випадках застосовують прилади спеціальної конструкції (плавальний ергометр, гребний ергометр, лижну бігову доріжку і ін.). Методику реєстрації відповіді організму на навантаження вибирають у залежності від того, яка система організму найбільш є найбільш об'єктивним індикатором реакції на дане навантаження, та технічних можливостей зареєструвати той чи інший показник.

Для оцінки стану різноманітних систем енергетичного забезпечення фізичної роботи були запропоновані такі показники:

аеробна потужність – МПК (чи критична потужність);

аеробна ємкість – споживання кисню під час вправи;

аеробна ефективність – кисневий еквівалент або поріг анаеробного обміну;

гліколітична потужність – швидкість накопичення молочної кислоти;

гліколітична ємкість – кількість накопиченої молочної кислоти;

гліколітична ефективність – механічний еквівалент молочної кислоти;

алактатну потужність – максимальна анаеробна потужність;

алактатну ємкість – вміст креатинфосфату у м'язах;

алактатну ефективність – швидкість оплати алактатного кисневого боргу.

Для визначення цих та інших показників запропоновані і апробовані ряд функціональних проб.

Визначення МПК.

Величина МПК досить надійно характеризує аеробну працездатність людини. Вона дозволяє як передбачити результат у циклічних видах спорту, так і є показником стану хворих із порушеннями кардіореспіраторної системи.

Існують дві методики *прямого визначення МПК*. В обох випадках використовується серія навантажень зростаючої потужності, хоча у першому випадку вони виконуються безперервно, а у другому – із перервою між ними. Для дозування навантажень використовують велоергометр чи тредбан, рідше – степ-тест. Загальним принципом є виконання навантаження, інтенсивність якого дорівнює (чи перевищує) індивідуальну ”критичну потужність”. При цьому інтенсивність приросту навантаження коливається від 10 до 70 Вт, а його тривалість – від 1 до 4 хв., у залежності від віку, статі, тренуваності обстежуваного. При цьому не завжди вдається виявити плато на кривій споживання кисню, у зв’язку з чим для визначення рівня МПК можна використати непрямі критерії: досягнення максимального ЧСС (за формулою $220 - \text{вік}$ у роках), рівень дихального коефіцієнту 1,0-1,15, концентрація молочної кислоти понад 70-100 мг% (8-10 ммоль/л), а також збільшення споживання кисню лише на 100 мл/хв при зростанні навантаження на 25 Вт. Визначення МПК проходить після 45-60 хвилинного відпочинку і попередньої 5-20 хвилинної розминки інтенсивністю 40-60% від можливого МПК. Між розминкою основним навантаженням надається перерва у 10-15 хв. Існує варіант вкороченого тесту ГЦОЛИФКу, коли використовують фізичне навантаження, що перевищує критичне.

У випадку масових обстежень доцільним є використання *непрямих методів визначення МПК*.

Тест по утриманню “критичної потужності”

Тест на утримання “критичної потужності” належить до групи максимальних тестів. На думку авторів тесту, він дозволяє охарактеризувати ємність систем аеробного енергозабезпечення. Першим етапом тестування є визначення індивідуальної “критичної потужності”. Через 1-2 дні визначають

час утримання цієї потужності, перед цим виконують розминку. Результат оцінюють за часом виконання тесту. Як правило, у спортсменів-початківців він становить 3 хв., а у спортсменів міжнародного класу – 13 хв.

З метою стандартизації цього тесту І.А.Гудковим був запропонований тест по визначенню часу “утримання” потужності на рівні PWC_{170} . У цьому випадку визначається індивідуальна величина PWC_{170} , а через 5-10 хв. після цього визначається час утримання досліджуваним даного навантаження. У нетренованих чоловіків час утримання становив 10 хв., у спортсменів – 22 хв.

Визначення максимального кисневого боргу.

Максимальний кисневий борг (МКБ) характеризує здатність організму до виконання навантажень анаеробного характеру, фактично він відображає ємність систем анаеробного енергозабезпечення. При цьому розрізняють швидку фракцію кисневого боргу, що погашається протягом 3-5 хв. після завершення навантаження. Величина цієї фракції є показником спринтерських можливостей досліджуваного. Як правило, у спортсменів-початківців вона становить 25 мл/кг, у тренуваних – в 2-3 рази вища.

Визначення максимального кисневого боргу складається з кількох етапів – вибір адекватного навантаження, вимірювання надлишку споживання кисню, розрахунку МКБ. Інтенсивність навантаження вибирають на таку, щоб тривалість роботи становила 1-3 хв., при цьому максимально мобілізується кардіореспіраторна система, а кисневий запит набагато перевищує МПК. Після цього відбувається реєстрація споживання досліджуваним кисню за схемою, що передбачає 10-15 кратну реєстрацію протягом 30-45 хвилин. Побудована на основі цих значень графічна залежність дозволяє визначити хід оплати кисневого боргу у даного досліджуваного. У нетренованих дорослих чоловіків величина МКБ становить 70-110 мл/кг, у жінок вона на 30-40% нижча. У добре тренуваних спортсменів МКБ може досягати 250-300 мл/кг.

Визначення максимальної потужності м'язової роботи

Максимальна потужність м'язової роботи є критерієм максимальної анаеробної потужності. З метою оцінити величину роботи максимальної потужності були запропоновані ряд тестів.

Велоергометричне визначення максимальної потужності м'язової роботи доцільно проводити при оптимальному співвідношенні частоти обертання педалей і опору обертанню. Цей оптимум становить приблизно 50% від максимальної частоти та 35% від максимального опору. Тому для визначення максимальної потужності роботи був запропонований тест, під час якого визначали максимальну частоту обертання педалей за різних величин опору обертанню. На це потрібно близько 5 с, з яких 2-3 затрачаються на "розгін". Максимальну роботу за підсумком серії таких спроб визначають математично чи за графіком.

Максимальну потужність роботи також можна визначати за тестом **Маргарія**. Під час цього тесту досліджуваний після розгону (5-50 м) максимально швидко піднімається по сходах висотою 10-15 сходинок. При цьому реєструється час проходження ними невеликого відрізка сходів (0,7 м по вертикалі) на ділянці, де досягається максимальна швидкість пересування. За результатом найкращої спроби (інтервал між ними – 2-5 хв.).

Усі ці тести важко застосувати при масових обстеженнях. Тому для дослідження анаеробних можливостей організму були запропоновані інші тести. Сюди належить, перш за все, **1-хвилинний тест**. Під час 1-хвилинного тесту робота виконується на велоергометрі із постійним опором обертанню педалей, що не залежить від частоти їх обертання. Перш за все досліджуваний виконує стандартну роботу протягом 1 хв. Після чого він відпочиває теж 1 хв. Під час тестуючої спроби досліджуваний намагається виконати максимальне число обертів за 1 хв. за стандартизованого згідно із вагою досліджуваного опору педалей. Середнє значення 6,25 Вт/кг.

За методичними підходами мало відрізняється від 1-хвилинного також **Вінгатський анаеробний тест**. Проте навантаження тут триває лише протягом

30 с., а опір обертанню педалей – на 25% вищий. Перед основним навантаженням досліджуваний виконує 5-6 хвилинну розминку. При цьому оцінюють як “пікову”, так і середню величину потужності педалювання.

Для оцінки загальної фізичної працездатності спортсменів, що виступає також показником функціональної готовності спортсменів, застосовують **тест Новаккі**. При цьому на велоергометрі задається початкове навантаження таким чином, щоб спортсмен виконував роботу із потужністю 1 Вт/кг. Через кожні 2 хв. навантаження збільшують на 1 Вт/кг. Результати оцінюють за числом подоланих “сходинок”, та за часом роботи на кожній із них. Нормальною вважається робота нетренованих із навантаженням 3 Вт/хв., а тренованих – 4-5 Вт/кг.

Оцінка фізичної працездатності

Оцінка фізичної працездатності може бути проведена з допомогою тесту **PWC₁₇₀**. Відомо, що м'язова робота при ЧСС 170 уд/хв. викликає зсуви у показниках кардіореспіраторної системи, що становлять 75-80% від максимальних. Очевидно, що рівень фізичної працездатності за цим тестом визначається продуктивністю кардіореспіраторної системи.

Під час визначення PWC₁₇₀ досліджуваний виконує два навантаження (велоергометр, степ-тест і ін.) помірної потужності. Між навантаженнями повинна бути перерва тривалістю 3 хв. Тривалість кожного навантаження – 5 хв. Величину PWC₁₇₀ визначають по формулі.

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \cdot ((170 - ЧСС_1) / ЧСС_2 - ЧСС_1)$$

де W_1 і W_2 - потужність першого і другого навантаження, $ЧСС_1$ і $ЧСС_2$ – частота серцевих скорочень після першого та другого навантаження.

Для отримання адекватних результатів слід дотримати кілька умов. Перш за все. тест PWC₁₇₀ виконується без розминки. По-друге, слід адекватно підібрати величину першого і другого навантаження. ЧСС після першого навантаження повинна складати 100-120 уд/хв, а після другого – 145-160 уд/хв.

Різниця повинна складати 40 уд/хв. Величину навантаження можна підібрати за спеціальними таблицями.

Абсолютна величина PWC_{170} прямо пропорційно залежить від розмірів тіла. Тому для нівелювання індивідуальних відмінностей у вазі визначають відносні величини PWC_{170} у перерахунку на кілограм маси тіла. Окрім того, величини PWC_{170} залежать від статі, віку, спадкових факторів, стану здоров'я і ін.

У здорових молодих нетренованих чоловіків PWC_{170} знаходиться в межах 850-1100 кГм/хв (14,4 кГм/хв·кг), у жінок – 450-850 кГм/хв.(10,2 кГм/хв·кг). Найбільші значення PWC_{170} характерні для спортсменів, що займаються циклічними видами спорту і приділяють багато уваги розвитку витривалості. У них величини PWC_{170} становлять 1600-1700 кГм/хв (23,0-24,0 кГм/хв·кг).

Дані, отримані з допомогою тесту PWC_{170} , можна використовувати для обчислення належної величини об'єму серця (HV), максимального ударного об'єму ($УО_{\text{макс}}$) у спортсменів, максимального поглинання кисню (МПК).

$$HV = 1,1 \cdot PWC_{170} - 23 \cdot 10^{-5} \cdot (PWC_{170})^2 - 140$$

де HV – належний об'єм серця, см³, PWC_{170} – в кГм/хв.

$$УО_{\text{макс}} = 0,05 \cdot PWC_{170} + 25$$

де $УО_{\text{макс}}$ – в мл, PWC_{170} – в кГм/хв

Визначення анаеробного порогу.

Під анаеробним порогом розуміють ту потужність навантаження, при якій для енергетичні потреби організму починають задовольнятися із значною участю систем анаеробної енергопродукції, наслідком чого стає метаболічний ацидоз. Вважається, що момент такого переходу можна визначити за точкою перегину на кривій залежності показників багатьох функцій організму від потужності роботи. До показників належать – концентрація молочної кислоти, рН, легенева вентиляція, дихальний коефіцієнт і ін. Слід зазначити, що величина анаеробного переходу тісно корелює з результатом у бігу на довгі дистанції.

Анаеробний поріг визначають під час однократного навантаження ступінчасто зростаючої потужності на велоергометрі чи біговій доріжці. Як правило, застосовують навантаження тривалістю 3 хв. на кожній сходинці, потужність визначають за таблицями (15-20% МПК на кожну сходинку). Величину анаеробного переходу визначають по потужності роботи, при якій досліджуваний показник досягає порогового значення (4 ммоль/л молочної кислот, дихальний коефіцієнт 0,85 і ін.).