

ВИВЧЕННЯ СЕРЦЕВОГО ВИШТОВХУ ПРИ ФІЗИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ МЕТОДОМ ЗВОРОТНОГО ДИХАННЯ CO_2

В. С. Міщенко, В. Д. Моногаров, Р. Я. Левін

Київський інститут фізичної культури; Київський університет

Дослідження пристосування кисеньтранспортної системи організму осіб, які займаються спортом, до великих фізичних навантажень викликає необхідність детального вивчення серцевого виштовху ($\dot{Q}$).

Ми аналізували зміни серцевого виштовху, систолічного об'єму і деяких CO_2 параметрів крові при фізичних навантаженнях різної інтенсивності у осіб молодого віку різного ступеня тренуваності.

Були визначені $\dot{Q}$ у спокої сидячи, при споживанні кисню ($\dot{V}\text{O}_2$), що дорівнює 20—30, 40—50, 60—70, 75—90% від максимального його споживання ($\dot{V}\text{O}_2 \text{ max}$) і при $\dot{V}\text{O}_2 \text{ max}$ в умовах «гладкої» роботи і ступінчасто підвищеного (через 5 хв) велоергометричного навантаження. Нами обслідувано 65 осіб 18—28 років, серед яких було 16 спортсменів-велосипедистів вищої спортивної кваліфікації і 32 хлопчики 9—15 років.

Крім того, ми вивчали деякі варіанти методики визначення серцевого виштовху методом зворотного дихання для виявлення найбільш оптимального щодо різної інтенсивності фізичного навантаження і контингенту обслідуваних осіб.

У зв'язку з тим, що згаданий метод ще не дістав достатнього поширення в фізіології спорту, ми вирішили детально спинитися на обґрунтуванні застосованого нами варіанта методу зворотного дихання CO_2 .

Незважаючи на те, що теоретична можливість визначення серцевого виштовху за CO_2 параметрами обґрунтована давно [14, 17, 28, 33, 37], лише нещодавно були розроблені відносно прості способи прямого визначення вмісту CO_2 в артеріальній (CaCO_2) і, що особливо важливо, в змішаній венозній крові [15, 19, 21—24]. Це сприяло підвищенню інтересу дослідників до цього методу та удосконаленню процедури зворотного дихання CO_2 [13, 16, 27, 35].

Останнім часом була описана можливість простого застосування методу в умовах фізичного навантаження з використанням малоінерційних аналізаторів CO_2 [2, 3, 18, 24, 26, 34, 39].

Водночас у деяких випадках застосування даного методу спостерігаються помітні відхилення як CO_2 параметрів, так і величини $\dot{Q}$ (від істинних показників). У зв'язку з цим в літературі описаний вплив на точність CO_2 методу особливостей процедури залежно від умов дослідження і контингенту обслідуваних осіб, способу визначення CaCO_2 тощо [31, 36, 42, 43].

Однією з причин таких помилок і деякої невідповідності даних різних авторів є, на наш погляд, відсутність стандартної, загальноприйнятої процедури зворотного дихання CO_2 . Так, більшість згаданих дослід-

ників застосовували різні варіанти цієї методики, хоч в основі всіх їх лежить процедура зворотного дихання за Дефаром [22]. Наприклад, склад вихідної газової суміші в мішку зворотного дихання коливається від чистого кисню [22] до 2—3% CO_2 і 30—40% O_2 [38] або до 8—9% CO_2 в кисні [19]. Те саме стосується ступеня наповнення мішка зворотного дихання залежно від умов дослідження, заданої частоти дихання, способів визначення PaCO_2 та деяких інших питань. Коливається також тривалість експериментальної процедури — від одного дихання [40] до 20—25 за сек [22]. Особливо це стосується фізичного навантаження різної інтенсивності.

Ми вивчали деякі технічні аспекти методу за умов фізичного навантаження, перевіряли застосовність методу до вивчення $\dot{Q}$ у дітей і підлітків, оптимальну частоту повторення проб зворотного дихання і найбільш прийнятні варіанти деяких інших складових методу.

Ми розглянемо величини, необхідні для розрахування $\dot{Q}$ в тому порядку, в якому вони визначаються даним методом. Виділення CO_2 ($\dot{V}\text{CO}_2$) визначали за період 60—30 сек, безпосередньо перед пробою зворотного дихання. Відбір видихуваного повітря здійснювався в мішки Дугласа з наступним аналізом повітря на газоаналізаторі Холдена. Паралельно з цим провадили безперервну реєстрацію легеневої вентиляції ($\dot{V}_E$) та вмісту O_2 і CO_2 у видихуваному повітрі на газоаналізаторі фізичного типу (Спіроліт). Це було здійснено для поточного контролю досягнення стійкого стану газообміну. Тим самим ми могли виділяти спостережувані іноді коливання виділення CO_2 , зв'язані з неметаболічними короткочасними змінами $\dot{V}_E$. Такі коливання $\dot{V}\text{CO}_2$ як показали наші спостереження, в деяких випадках можуть приводити до помилок у визначенні $\dot{Q}$ до 15—20%. Важливим, однаковою мірою, для точності розрахування $\dot{Q}$ є визначення PaCO_2 і CaCO_2 .

Вміст CO_2 в артеріальній крові, як відомо, залежить від альвеолярної вентиляції і CO_2 зв'язувальної здатності крові. PCO_2 крові, яка залишає альвеоли, визначає альвеолярна вентиляція. Внаслідок високої дифузійної здатності CO_2 можна припустити, що урівноваження між альвеолярним повітрям і кров'ю легневих капілярів завжди досягається, тобто має місце рівність $\text{PACO}_2 = \text{PaCO}_2$. Щодо умов визначення PaCO_2 , то вони повинні, по можливості, виключати зміни природного ритму дихання і $\dot{V}_E$ безпосередньо перед і під час відбору проб альвеолярного повітря. Ми проаналізували можливість оцінки PaCO_2 за складом альвеолярного повітря, одержаного методом безперервного виділення кінцевих порцій видиху за Раном та ін. [45] в нашій модифікації [4] і методом Холдена — Пристлі [32]. Водночас відбирали проби артеріалізованої крові з наступним визначенням у ній PaCO_2 на апараті Аструп.

Крім того, одержані відомості порівнювали з даними PaCO_2 , одержаними розрахунковим методом.

Не спiniaючись детально на цифровому матеріалі зіставлення результатів визначення PaCO_2 різними непрямыми методами, ми наводимо головні висновки такого зіставлення.

Так, спосіб відбору альвеолярного повітря наприкінці видиху за Раном і Отісом дає у спокої величини PACO_2 дещо (на 2—4 мм рт. ст.) нижчі, ніж показник PaCO_2 . При інтенсивному фізичному навантаженні ($\dot{V}\text{O}_2 > 30\text{—}40\% \dot{V}\text{O}_2 \text{ max}$) цей метод проявляє тенденцію завищувати величини PACO_2 (йдеться про CO_2 наприкінці видиху, а не про істинне альвеолярне повітря) в порівнянні з PaCO_2 на 2—5 мм рт. ст.,

особливо при високому відношенні дихального об'єму до функціональної ємкості легень.

Така відмінність показників PCO_2 , очевидно, пов'язана з тим, що артеріальне напруження CO_2 відбиває середнє $PACO_2$ для альвеолярної фази дихального циклу. А оскільки при збільшенні фізичного навантаження протягом альвеолярної фази дихального циклу осциляції PCO_2 збільшуються і досягають 8 мм рт. ст., а іноді й більше, то PCO_2 в кінцевій порції видиху стає вище середнього артеріального PCO_2 [6, 8, 44, 50] (рис. 1).

З цієї ж причини і такого ж характеру неточності виникають і при визначенні $PaCO_2$ методом Холдена — Пристлі [32]. Взяття двох проб



Рис. 1. Співвідношення величини PCO_2 в артеріальній крові і в кінцевій порції видиху у спокої та при різній інтенсивності фізичного навантаження [за 50].

повітря після видиху і після вдиху з наступним їх усередненням, не кажучи вже про складність цієї процедури для обслідуваного, допомагає лише частково позбутися згаданих джерел помилок. Це пов'язано, насамперед, з важкістю одержання згаданих двох проб при інтенсивному фізичному навантаженні без порушення природного ритму дихання, а також з тим, що в результаті усереднення двох проб альвеолярного повітря (після видиху і вдиху) ми все ж не одержуємо усередненого $PACO_2$ внаслідок нелінійності змін PCO_2 протягом дихального циклу. Позитивні результати дає застосування цього методу лише в поєднанні з малоінерційним аналізатором CO_2 (рис. 2).

Помилка визначення $PaCO_2$ при цьому, за середніми даними, коливається в межах ± 2 мм рт. ст. Досягнення більшої точності визначення PCO_2 обмежується точністю апаратури для газоаналізу. На підставі своїх досліджень ми вважаємо можливим без збитку для точності при інтенсивному фізичному навантаженні визначити $PaCO_2$ з кривої CO_2 , зареєстрованої малоінерційним CO_2 аналізатором після глибокого, злегка подовженого видиху, який слідує за нормальним вдихом. Цей спосіб найбільш придатний для визначення $PaCO_2$ у дітей і підлітків.

Наші дослідження показали, що величина $PaCO_2$ є добрим критерієм початку зниження ефективності легеневого газообміну при фізичному навантаженні. Таке зниження відповідає початку стійкого зменшення $PaCO_2$ при збільшенні $\dot{V}O_2$ і $\dot{V}CO_2$. Можна відзначити закономірно більш низькі рівні $\dot{V}O_2$ у мало тренованих осіб (65% від $\dot{V}O_{2\max}$) та у дітей і підлітків (52—60%), ніж у добре тренованих спортсменів (78% від $\dot{V}O_{2\max}$), коли починається помітне зниження $PaCO_2$. Крім того, ми одержали дані про існування індивідуальної величини навантаження (споживання кисню), при якому $PaCO_2$ досягає найвищих показників. Ця величина навантаження відповідає досягненню найбільшої економічності легеневого газообміну. До цього рівня навантаження відбувається також найбільш значне наростання артеріо-венозної різниці вмісту CO_2 в крові. Так, для спортсменів високої кваліфікації най-

більша величина P_aCO_2 ($47,2 \pm 1,1$ мм рт. ст.) досягає при $\dot{V}O_2 = 50-60\%$ від $\dot{V}O_2 \text{ max}$. Водночас у малотренованих осіб ($P_aCO_2 = 43,1 \pm 1,1$ мм рт. ст.) це відбувається вже при $\dot{V}O_2 = 42\%$ $\dot{V}O_2 \text{ max}$ тоді як у підлітків 13—15 років $P_aCO_2 = 40,3 \pm 0,9$ мм рт. ст. при $\dot{V}O_2 = 35\%$ від $\dot{V}O_2 \text{ max}$. В зв'язку з цим ми вважаємо можливим характеризувати

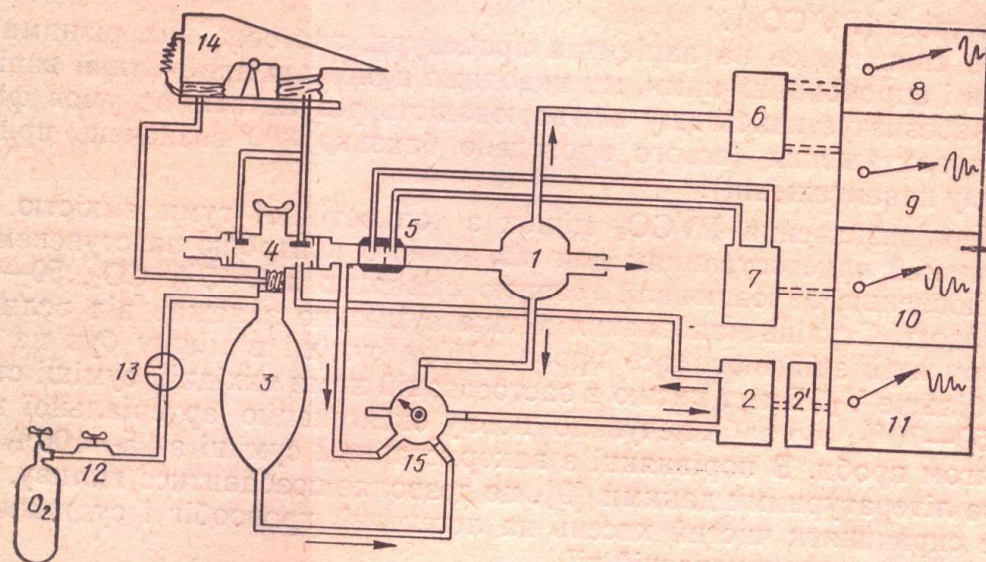


Рис. 2. Схематичне зображення установки для багаторазового визначення хвилиного об'єму кровообігу методом зворотного дихання протягом фізичного навантаження.

1 — усереднювальна камера (5 л) видихуваного повітря; 2 — швидкодіючий інфрачервоний аналізатор CO_2 ; 2' — диференціальний підсилювач; 3 — мішок зворотного дихання; 4 — маска; 5 — датчик пристрою для вимірювання вентиляції; 6 — газоаналізatori вимірювання вмісту кисню і CO_2 у видихуваному повітрі (спіроліт); 7 — блок перетворення і підсилення сигналу з датчика вентиляції; 8—11 — блок самописців реєстрації відповідно: вмісту кисню і CO_2 у видихуваному повітрі, вентиляції, швидкої реєстрації CO_2 ; 12—13 — редуктор і кран в ланцюгу подачі кисню в мішок зворотного дихання; 14 — пристрій для дистанційного переключення на дихання в мішок зворотного дихання; 15 — багатоходовий кран на п'ять робочих положень (для подачі видихуваного повітря на швидкий аналізатор CO_2 , заборний отвір крана, положення для подачі на аналізатор CO_2 повітря з мішка зворотного дихання, положення для подачі на аналізатор CO_2 атмосферного повітря для установки 0 аналізатора, промивання повітряносною системою).

стан легеневого газообміну організму спортсменів за величиною навантаження в $кгм/хв/кг$ ваги тіла або за інтенсивністю споживання кисню, при яких досягається найбільша величина P_aCO_2 .

В зв'язку з тим, що точність експериментального визначення P_aCO_2 непрямим методом залежить також і від дій обслідуваного, потребує певної його попередньої підготовки, в багатьох випадках виправдане застосування розрахункового способу визначення P_aCO_2 з допомогою формули Бора і формули для оцінки мертвого дихального простору Лінгхарда, як це запропонували Асмусен і Нільсон [8]: $P_aCO_2 = V_T \cdot F_{ECO_2} \cdot (P_b - 47) / V_T - (V_D + D)$; $V_D = 140 + 7n$ (чоловіки) або $V_D = 115 + 7n$ (жінки), де V_T — дихальний об'єм в л BTPS; F_{ECO_2} — вміст CO_2 у видихуваному повітрі, P_b — барометричний тиск в мм рт. ст., V_D — мертвий дихальний простір в л BTPS. D — мертвий простір маски, n — висота сидячи до під'язикової кістки в см мінус 68. Описано лідонок неточності у визначенні мертвого простору незначні і досягають лише 2 мм рт. ст. В діапазоні V_T 1,5—3,3 л помилка визначення P_aCO_2 перебувала в межах +1,7 і —1,6 мм рт. ст. Слід відзначити, що в окремих випадках при застосуванні цього методу спостерігались і більші

відхилення. Так, він мало придатний для осіб з непропорціональною будовою тіла і для дітей і підлітків.

Центральним питанням при визначенні $\dot{Q}$ методом зворотного дихання CO_2 є процедура зворотного дихання, в результаті якої можна одержати експоненціальну криву наростання PCO_2 в системі мішок — легені. Ця крива й дозволяє визначити напруження CO_2 в змішаній венозній крові ($\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$).

Не спляючись на варіантах процедури, застосованих різними авторами і апробованих нами, ми наводимо найбільш прийнятний варіант, який забезпечує найбільшу відтворюваність результатів за умов фізичного навантаження (всього проведено близько 800 визначень при фізичному навантаженні).

Для визначення $\text{P}\bar{\text{V}}\text{CO}_2$ мішок з тонкостінної гуми ємкістю 5 л, обладнаний пристосуванням для візуального контролю за ступенем його наповнення, заповнювали газовою сумішшю з 3—5% CO_2 , 50—70% O_2 в азоті. Ступінь наповнення мішка сумішшю залежав від величини V_T , при якій здійснювалась проба. Об'єм суміші в мішку був на 30—20% більше V_T . Вміст кисню в застосованій нами вихідній суміші становив 50—70%, що забезпечувало повну оксигенацію артеріальної крові протягом проби. В порівнянні з використанням суміші з 95—100% кисню, за літературними даними [9], це дозволяє позбавитися впливу, який може спричиняти чистий кисень на легеневий кровообіг і судинний тонус навіть при короткочасній дії.

Ми вважаємо необхідним спинитися на деяких технічних деталях виготовлення суміші. Найкращою була наявність трьох балонів з різним (в межах 3—5%) вмістом CO_2 . Настільки ж ефективним є застосований нами метод, при якому для виготовлення кожної наступної суміші використовується CO_2 в мішку від попередньої проби зворотного дихання. Наявність швидкого CO_2 аналізатора і деяких простих пристосувань (рис. 2) дозволила здійснювати цю роботу менш ніж за 1 хв так, що вміст кисню в мішку досягав 50—70%, а вміст CO_2 підбирали в межах 3—5% (табл. 1).

Заповнений мішок приєднували до обслідуваного наприкінці глибокого видиху з допомогою спеціально розробленого пристрою для дистанційного короткочасного переключення. Цей пристрій дозволяє робити переключення майже раптово, не загромождаючи маску краном і не збільшуючи мертвий простір дихальної системи. Це, в свою чергу, дозволяє провадити багаторазове визначення $\dot{Q}$ протягом фізичного навантаження в комплексі з іншими дослідженнями газообмінної системи організму. Обслідуваний робив зворотне дихання протягом часу, орієнтовна тривалість якого залежала від інтенсивності навантажен-

Таблиця 1

Тривалість проби зворотного дихання, частота дихання і вміст CO_2 у вихідній газовій суміші для різних рівнів споживання $\text{O}_2 (\dot{V}\text{O}_2)$ в процентах від максимального споживання $\text{O}_2 (\dot{V}\text{O}_{2\text{max}})$ при фізичному навантаженні

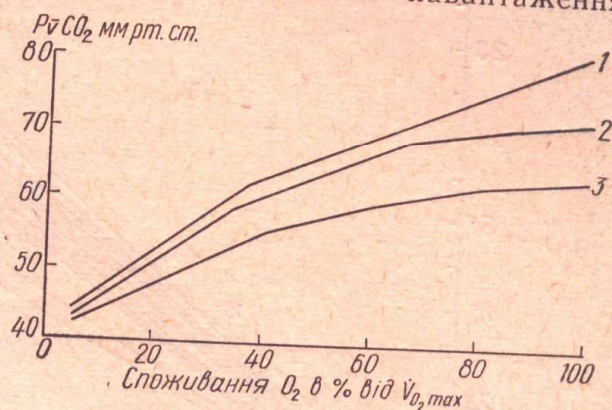
$\dot{V}\text{O}_2$ в % від $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$	Тривалість зворотного дихання (сек)	Вміст CO_2 у вихідній суміші (%)	Задана частота дихання
80—100	8—10	3	45—50
40—70	12—14	4	35—40
20—30	15—16	4,5	30—35
Рівень спокою	18—20	5	26—30

ня, вираженого нами в $\dot{V}O_2$ в % від $\dot{V}O_{2\max}$. Для цієї мети виявилось достатнім виділення трьох зон інтенсивностей роботи і відповідної тривалості зворотного дихання (табл. 1). Для визначення тривалості зворотного дихання ми ґрунтувались на результатах досліджень [48], авторів яких спеціально вивчали рецеркуляційний час крові протягом фізичних навантажень. Подовження часу зворотного дихання і наявність у легенях, в зв'язку з цим, збагачення CO_2 рециркулюючої крові може істотно знизити результати визначення $\dot{Q}$.

Частота дихання протягом зворотного дихання підтримувалась у межах 30—50 *дих/хв* також залежно від інтенсивності навантаження

Рис. 3. $P\bar{V}CO_2$ в змішаній венозній крові ($P\bar{V}CO_2$) щодо різних рівнів споживання кисню ($\dot{V}O_2$) в % від максимального ($\dot{V}O_{2\max}$) у осіб молодого віку різної тренованості.

1 — велосипедисти вищої спортивної кваліфікації, 2 — спортсмени-плавці, 3 — хлопчики 10—12 років.



(табл. 1). При високій інтенсивності роботи ($\dot{V}O_2$ в межах 75—100% $\dot{V}O_{2\max}$) природна частота дихання, як правило, близька до згаданої в таблиці.

Вся експериментальна процедура багаторазового визначення $\dot{Q}$ в описаному варіанті завдяки можливості здійснення усіх управляючих впливів з одного робочого місця може провадитися однією людиною.

Як показують наші дані, найменший інтервал між повторними визначеннями $\dot{Q}$ при фізичному навантаженні має становити близько 2 *хв*. При меншому інтервалі між пробами висока вірогідність перекручень результатів у зв'язку з порушенням стійкого стану газообмінної системи організму.

З одержаної кривої збільшення концентрації CO_2 при зворотному диханні $P\bar{V}CO_2$ визначали методом графічного аналізу [38].

Одержані нами дані про зміну $P\bar{V}CO_2$ залежно від інтенсивності фізичного навантаження показують, що коли $P\bar{V}CO_2$ зі збільшенням інтенсивності навантаження у добре тренованих осіб майже лінійно збільшується до граничних рівнів споживання кисню (до $\dot{V}O_2=80-90\%$ від $\dot{V}O_{2\max}$), то у мало тренованих осіб таке збільшення відзначається лише до $\dot{V}O_2=65-70\%$ від $\dot{V}O_{2\max}$. У дітей і підлітків відхилення лінійного збільшення настає вже після досягнення $\dot{V}O_2=50-60\%$ від $\dot{V}O_{2\max}$ (рис. 3).

Ми перевіряли відтворюваність визначення $P\bar{V}CO_2$ при повторних обчисленнях. Середні показники в 46 випадках у чоловіків 18—26 років при роботі на велоергометрі, що дорівнює 1200 *кГм/хв*, становили: перше визначення — $P\bar{V}CO_2=69,2$ *мм рт.ст.*, друге визначення — $P\bar{V}CO_2=69,6$ *мм рт.ст.* (стандартне відхилення 1,0, стандартна помилка в процентах до середньої величини $P\bar{V}CO_2$ — 1,4%).

В зв'язку з тим, що в умовах зворотного дихання при фізичному навантаженні не відбувається повного вирівнювання PCO_2 між альве-

олярним газом та кров'ю легеневих капілярів, для підвищення точності визначення $\bar{P}\bar{V}\text{CO}_2$ вважають доцільним введення такої поправки на величину альвеоло-артеріальної різниці PCO_2 [44]: $P(A-a)\text{CO}_2 = 0,230 \times \times \text{PCO}_2 - 10,3$ мм рт. ст.

Одержана величина $\bar{P}\bar{V}\text{CO}_2$ переводиться в об'ємні проценти вмісту CO_2 в крові ($\text{C}\bar{V}\text{CO}_2$). Оскільки протягом усього зворотного дихання

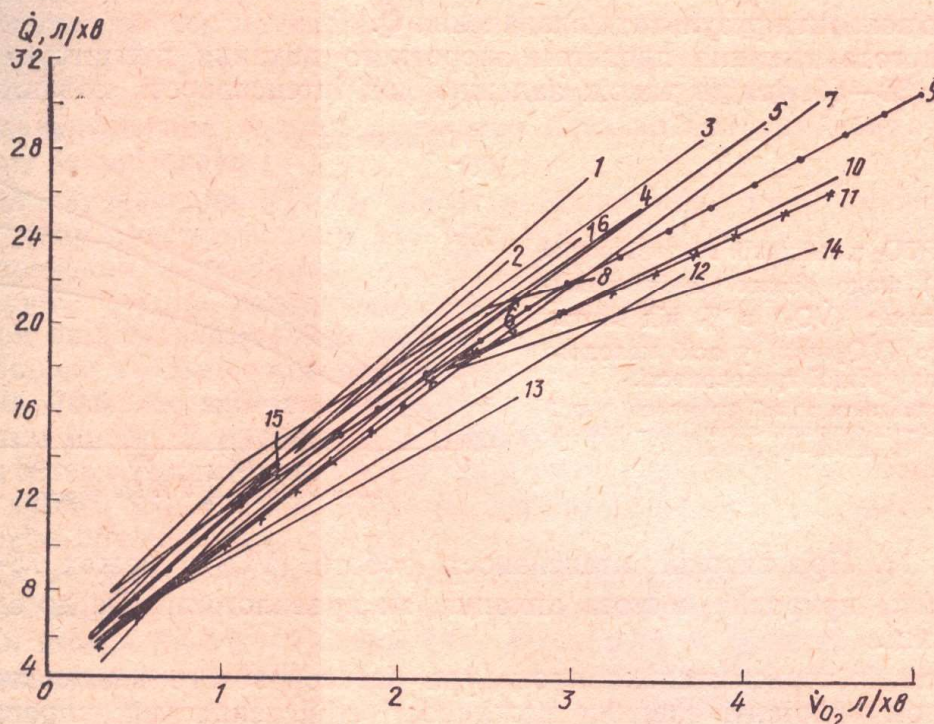


Рис. 4. Співвідношення показників серцевого виштовху ($\dot{Q}$) і споживання кисню ($\dot{V}\text{O}_2$) у чоловіків молодого віку (20–30 років) при фізичному навантаженні на велоергометрі (сидячи) за одержаними нами і літературними даними (* — дані для спортсменів).

1 — Армстронг та ін. [7], метод розведення барвника ($n=46$); 2 — Бергер та ін. [10], узагальнені дані для $\dot{V}\text{O}_2$ до 70% $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$; 3 — Гайтон [30], узагальнені дані ряду авторів; 4 — Карпман та ін. [2], зворотне дихання CO_2 ($n=45$); 5, 12*, 13 — Діксон, Фолкнер [26], зворотне дихання CO_2 ($n=12$); 6, 14 — Стенберг та ін. [49], розведення барвника ($n=65$); 7 — Екблом [29], розведення барвника ($n=56$); 8 — Клаузен [41], зворотне дихання CO_2 ($n=20$); 10* — Солтін [47], розведення барвника, ацетиленовий ($n=95$); 16 — Бевергард [11, 12], розведення барвника ($n=95$), 11* — наші дані, зворотне дихання CO_2 ($n=49$), $\dot{V}\text{O}_2 < 60\% \dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ — $\dot{Q} = 4,8 + 5,6 \dot{V}\text{O}_2$; $\dot{V}\text{O}_2 > 60\% \dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ — $\dot{Q} = 9,1 + 3,95 \dot{V}\text{O}_2$; 9* — наші дані, для велосипедистів вищої кваліфікації ($n=16$), $\dot{V}\text{O}_2 > 60\% \dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ — $\dot{Q} = 6,7 + 5,6 \dot{V}\text{O}_2$.

FO_2 в мішку залишається високим, то $\text{C}\bar{V}\text{CO}_2$, так само як і CaCO_2 , може бути визначене з стандартної кривої дисоціації CO_2 оксигенованої крові [20] або за діаграмою $\text{O}_2\text{—CO}_2$ [46].

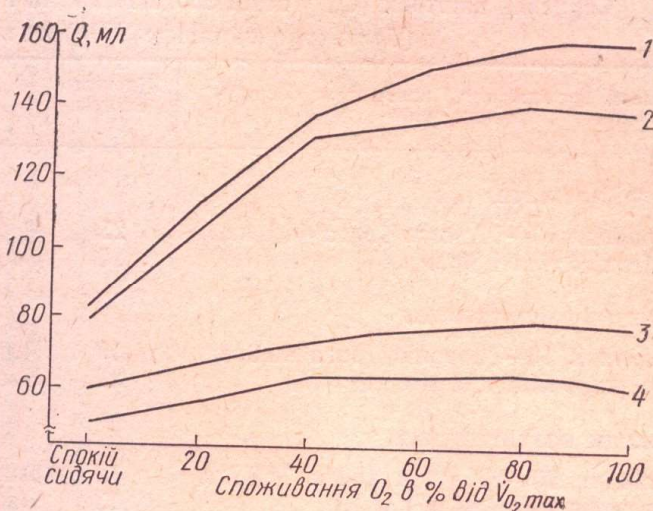
Слід відзначити, що такий спосіб переведення напруження CO_2 у вміст дає позитивні результати при нормальній CO_2 ємкості крові. При істотних відхиленнях $p\text{H}$ і вмісту Hb крові потрібна індивідуалізація кривих дисоціації CO_2 .

В кінцевому підсумку одержані дані підставляли у рівняння Фіка: $\dot{Q} (\text{л/хв}) = \dot{V}\text{CO}_2 (\text{л/хв}) \cdot 100 / \text{C}\bar{V}\text{CO}_2 - \text{CaCO}_2$.

На рис. 4 наведені фактичні дані про величину $\dot{Q}$ проти $\dot{V}\text{O}_2$ в процентах від $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$, одержані нами при обслідуванні групи спортсменів-плавців I—II спортивного розряду ($n=25$, вага 73,1 кг, поверхня тіла 1,86 м²) і групи велосипедистів (трек) вищої спортивної кваліфі-

кації ($n=16$, вага 78,6 кг, поверхня тіла $1,97 \text{ м}^2$) при велоергометричному навантаженні з ступінчастим (кожні 5 хв) його підвищенням. Ці дані зіставлені з літературними відомостями. Як це видно з рисунків, одержані результати добре відповідають більшості нових літературних даних і, особливо, тим, де $\dot{Q}$ визначали у спортсменів. Одержані також відомості про зміну систолічного об'єму (рис. 5). Як видно з рисунка, систолічний об'єм (Q) у добре тренованих осіб найбільше підвищується при зростанні $\dot{V}O_2$ до 40—50% від $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$. При дальшому збільшенні споживання ки-

Рис. 5. Систолічний об'єм (Q) при різних рівнях споживання кисню в % від $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$ при велоергометричному навантаженні у малотренованих осіб (плавці) 18—24 років (2), велосипедистів вищої спортивної кваліфікації (1), нетренованих (4) і тренуваних (3) хлопчиків 10—12 років ($n=19$).



сню систолічний об'єм продовжує підвищуватися ще на 30—36% загального зростання Q . У малотренованих осіб близько 85% усього збільшення систолічного об'єму досягається при $\dot{V}O_2$ до 40% від $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$.

У дітей і підлітків максимальне збільшення Q виражене менше (лише на 25%), ніж у осіб зрілого віку та здійснюється вже при $\dot{V}O_2$ близько 35% від $\dot{V}O_{2 \text{ max}}$. У тренуваних підлітків відзначається певне збільшення Q в міру посилення споживання кисню при зростаючій інтенсивності фізичного навантаження. При досягненні рівнів навантаження, коли дальше його збільшення не супроводжується підвищенням $\dot{V}O_2$, відзначено зниження (до 20%) систолічного об'єму.

Для оцінки результатів визначення $\dot{Q}$ застосованим нами методом зворотного дихання у дітей і підлітків ми зіставляли їх з результатами, одержаними деякими іншими методами. Зокрема, у стані спокою для визначення $\dot{Q}$ паралельно з нашими дослідженнями М. М. Середенком був використаний реографічний метод, розроблений у відділі фізіології кровообігу Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР [1]. При фізичному навантаженні на велоергометрі зіставляли середні показники, одержані ацетиленовим методом в описаній нами раніше модифікації [5]. Результати такого зіставлення наведені в табл. 2.

Порівняння одержаних показників $\dot{Q}$ при фізичному навантаженні як у дітей, так і у дорослих показує відсутність статистично достовірних відмінностей середніх величин ($T=0,79$ і $0,62$ відповідно). Показники $\dot{Q}$ при різних рівнях $\dot{V}O_2$ перебували в межах 15% один від іншого при коефіцієнті кореляції відповідно 0,57 і 0,51. Лише в окремих випадках спостерігалось значне відхилення результатів, одержаних різними методами, що, очевидно, пов'язано з порушенням рівномірності нагромадження CO_2 в системі мішок — легені.

У стані спокою при відсутності статистично достовірних відмінностей середніх, кореляція даних двох визначень була нижча, ніж при фізичному навантаженні. Середня ж величина серцевого індексу у

спокої (CI), одержана нами у дітей 10—14 років ($2,9 \text{ л/хв/м}^2$), добре укладається у відому залежність CI від віку [30].

Отже, наведені дані дозволяють вважати розглядуваний метод зворотного дихання CO_2 прийнятним для визначення $\dot{Q}$ також і у дітей та підлітків при фізичному навантаженні.

Таблиця 2

Серцевий виштовх ($\dot{Q}$) у стані спокою лежачи і при фізичному навантаженні (близькомаксимальне $\dot{V}\text{O}_2$) на велоергометрі

Умови дослідження і контингент обслідуваних осіб	Кількість обслідуваних	Метод визначення $\dot{Q}$	$\dot{Q} \text{ (л/хв)} \bar{x} \pm m$
Спокій лежачи,			
хлопчики 10—14 років (вага 46,1 кг, поверхня тіла $1,39 \text{ м}^2$)	25 25	Реографічний Зворотного дихання CO_2	$5,42 \pm 0,19$
Фізичне навантаження			
хлопчики 10—12 років (вага 40,6 кг, поверхня тіла $1,28 \text{ м}^2$)	19 21	Ацетиленовий Зворотного дихання CO_2	$16,05 \pm 0,4$ $16,55 \pm 0,45$
Фізичне навантаження			
чоловіки 20—28 років (вага 72,8 кг, поверхня тіла $1,81 \text{ м}^2$)	12 13	Ацетиленовий Зворотного дихання CO_2	$26,15 \pm 0,38$ $26,73 \pm 0,42$

Ми здійснили оцінку відтворюваності результатів визначення $\dot{Q}$ у різних контингентів обслідуваних нами осіб методом повторних визначень, які слідуєть одне за іншим (через 2 хв) у стійкому стані велоергометричного навантаження. Результати для наочності наведені в табл. 3 разом з аналогічними даними інших авторів [36]. Як видно з наведеного порівняння, наші дані (і з цього показника) добре узгоджуються з відомостями, одержаними при визначенні серцевого виштовху методами, які тепер прийнято вважати найбільш точними.

Отже, є підстави гадати, що вже тепер метод зворотного дихання CO_2 в умовах фізичного навантаження не поступається за надійністю

Таблиця 3

Відтворюваність показників серцевого виштовху ($\dot{Q}$) при повторних визначеннях за умов фізичного навантаження

Автори	Метод визначення $\dot{Q}$	Кількість подвійних визначень	Похибка в процентах x^1
Солтін (1964)	Ацетиленовий	55	5,9—6,4
Гримбі, Нільсон (1963)	Розведення барвника	48	7,3
Гренвік (1966)	Розведення барвника	18	4,2
Беклейк та ін. (1962)	Закис азоту	31	8,5
Хольмгрен, Перноу (1960)	Прямий метод Фіка	27	5,2
Фергюсон (1968)	Зворотне дихання CO_2	26	5,5
Наші дані	Зворотне дихання CO_2	19	$3,9 x^2$
		27	$5,1 x^3$
		17	$5,0 x^4$

Примітка. x^1 — стандартна похибка одиничного спостереження; виражена в % від середньої величини $\dot{Q}$; x^2 — при субмаксимальному фізичному навантаженні (середня величина $\dot{Q} = 20,2 \text{ л/хв}$); x^3 — при максимальному $\dot{V}\text{O}_2$ (середній $\dot{Q} = 29,3 \text{ л/хв}$); x^4 — хлопчики 10—12 років при близькомаксимальному рівні $\dot{V}\text{O}_2$ (середній $\dot{Q} = 16,15 \text{ л/хв}$).

одержаних результатів ацетиленовому методу. Беручи до уваги невичерпані можливості його удосконалення, можна вважати, що він найближчим часом стане одним з найбільш застосованих у фізіології спорту.

Література

1. Духин Е. А., Сахаров В. А., Цырульников В. А.—Врачебное дело, 1972, 5.
2. Карпман В. Л., Карамзина Р. В.—Теория и практика физич. культуры, 1969, 1, 17.
3. Карпман В. Л., Любина С. А., Синяков В. Л.—Физиол. журн. СССР, 1973, 2, 72.
4. Міщенко В. С., Моногаров В. Д., Левін Р. Я.—Фізіол. журн. АН УРСР, 1973.
5. Міщенко В. С., Гуняді Б. К.—Фізіол. журн. АН УРСР, 1970, 6, 774.
6. Aitken R., Clark-Kennedy A.—J. Physiol. (London), 1928, 65, 389.
7. Armstrong W. et al.—Science, 1961, 133, 3468, 25.
8. Asmussen E., Nielsen M.—Acta Physiol. Scand., 1956, 38, 1.
9. Bannister R., Cunningham D.—J. Physiol., 1954, 42, 1.
10. Barger A.—Am. J. Physiol., 1956, 184, 613.
11. Bevegard S.—Acta Physiol. Scand., 1960, 49, 279.
12. Bevegard S.—Acta Physiol. Scand., 1963, 57, 61.
13. Bolton D. et al.—Proceedings of the Physiol. Society, 1957, 19.
14. Butler J.—Respiration, 1965, 62, 2, 1491.
15. Campbell F., Howell J.—Brit. Med. J., 1960, 1, 458.
16. Cerretelli P. et al.—Respir. Physiol., 1966, 1, 258.
17. Christiansen J., Douglas C., Haldane J.—J. Physiol. (London), 1914, 48, 244.
18. Clausen J., Larsen O., Trap-Jensen J.—J. Appl. Physiol., 1970, 28, 2, 337.
19. Collier C.—J. Appl. Physiol., 1956, 9, 25.
20. Comroe J.—The Lung, Chicago, 1962, 154.
21. Defares J.—A Study of the Carbon Dioxide Time Course During Rebreathing. N. Y., 1956.
22. Defares J.—J. Appl. Physiol., 1958, 13 (2), 159.
23. Defares J., Wise M., Doyff M.—Nature, 1961, 192, 760.
24. Denison D. et al.—Respir. physiol., 1969, 7, 326.
25. Denison D.—Respir. Physiol., 1971, 11, 2, 186.
26. Dixon R., Faulkner J.—J. Appl. Physiol., 1971, 30 (5), 653.
27. Döhring W., Thews G.—Pflügers Archiv, 1969, 311, 4, 326.
28. Douglas C., Haldane J.—J. Physiol. (London), 1922, 56, 69.
29. Ekblom B.—Acta Physiol. Scand., 1969, Suppl., 328.
30. Guyton A.—Cardiac Output and its Regulation. Philadelphia—London, N. Y., 1963, 15.
31. Godfrey S., Davies C.—Clin. Sci., 1970, 39, 529.
32. Haldane J., Priestly J.—Respiration, New Haven—Oxford, 1935, 12, 493.
33. Henderson Y., Prince A.—J. Biol. Chem., 1917, 32, 325.
34. Hermansen L., Ekblom B., Saltin B.—J. Appl. Physiol., 1970, 29 (1), 82.
35. Farhi L., Haab B.—Respir. Physiol., 1967, 2, 225.
36. Ferguson R. et al.—J. Appl. Physiol., 1968, 25 (4), 450.
37. Fick A.—Sitz. Ber. Physik-Med. ges. Würzburg., 1870, 16. [цит. за 30].
38. Jerneus R., Lundin G.—Acta Physiol. Scand., 1963, 59, 390.
39. Jones N. et al.—Clin. Sci., 1967, 32, 311.
40. Kim T., Rahn H., Farhi L.—J. Appl. Physiol., 1966, 21, 1338.
41. Klausen K.—J. Appl. Physiol., 1965, 20 (4), 763.
42. Lundin J., Thomson D.—Acta Physiol. Scand., 1965, 64, 448.
43. Muicson G. et al.—J. Appl. Physiol., 1968, 24, 3, 424.
44. Norman L., Jones N.—J. Appl. Physiol., 1972, 32, 6, 782.
45. Rahn H., Otis H.—J. Appl. Physiol., 1949, 1, 717.
46. Rahn H., Fenn W.—Am. Physiol. Soc., Washington, 1955.
47. Saltin B.—Acta Physiol. Scand., 1964, 62, Suppl. 230, 32.
48. Sowton E. et al.—Cardiovasc. Res., 1968, 2, 4, 341.
49. Stenberg J. et al.—J. Appl. Physiol., 1967, 22 (1), 61.
50. Wasserman K., Van Kessel A., Burton G.—J. Appl. Physiol., 1967, 22 (1), 71.

Надійшла до редакції
25.XII 1973 р.

STUDY OF CARDIAC OUTPUT UNDER PHYSICAL LOADING
BY THE REBREATHING METHOD OF CO₂

V. S. Mishchenko, V. D. Monogarov, R. Ya. Levin

*Problem Research Laboratory, Institute of Physical Culture, Kiev, Department
of Physical Training, State University, Kiev*

Summary

On the basis of studying some variants of the procedure for determining the cardiac output ($\dot{Q}$) by the rebreathing method of CO₂ a variant of the procedure is suggested which, in the authors opinion, is the most satisfying the problems of $\dot{Q}$ study under different intensities of physical loading. On the basis of studying 65 men at the age of 18-28 and 32 boys at the age of 9-15 under the step-like (every 5 min) growing veloergometric loading, essential differences are found in the blood CO₂-parameters, systolic volume and $\dot{Q}$ in dependence on the level of O₂ uptake in the sportsmen of different categories including the highest sport qualification, as well as in children and teen-agers.