

УДК 612.176—053

В. С. Міщенко, Р. С. Кирилова

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЯЦІЇ ДИХАННЯ ДІТЕЙ І ПІДЛІТКІВ, ЩО ЗАЙМАЮТЬСЯ СПОРТОМ

Відомо, що регуляція вегетативних функцій і, зокрема, дихання та кровообігу дітей і підлітків має свої особливості, зв'язані з відомою перебудовою нейрогуморальних регуляцій, особливо в період становлення статової зрілості [2, 3, 4, 5, 6, 7].

М'язові навантаження в процесі спортивного тренування в період вікового розвитку з типовими для них значними невідповідностями споживання кисню кисневому запиту на роботу і зрушеними напруженням респіраторних газів, концентрації H^+ крові, можуть бути одним з найбільш сильних факторів, що впливають на зміни та ступінь прояву регуляції перш за все в дихальній системі.

Так, нашими раніше проведеними дослідженнями було показано, що під впливом спортивного тренування значною мірою оптимізується взаємодія всіх елементів системи регуляції дихання, що створює передумови для більш раннього становлення кисневого режиму (КР) організму в цілому.

В плані дальших досліджень по виявленню інтимних механізмів, що лежать в основі впливу м'язового тренування на становлення КР в процесі визрівання організму, ми поставили завдання вивчити вплив тренування на чутливість вентиляторної реакції при адекватній для дихання стимуляції вуглекислим газом і структури дихальної відповіді при цьому (оцінюваної за відношенням дихального об'єму — V_t , частоти дихання і тривалості вдиху при будь-якому даному рівні легеневої вентиляції — \dot{V}_E). В літературі ці питання не висвітлені. Вуглекислий газ, як відомо, є найбільш сильним і адекватним для дихання стимулом, і вплив багатьох з факторів, що стимулюють чи пригнічують дихання у людини, може бути описаний в термінах змін вентиляторної відповіді на CO_2 [1, 5, 13, 21].

Методика досліджень

Було обстежено 61 особу чоловічої статі віком 9—17 років та 20 осіб 19—26 років у стаці спокою, сидячи та на різних етапах тренування в циклических видах спорту.

Гіперкапнічну стимуляцію створювали такими способами: 1) збільшенням P_{CO_2} в процесі дихання в замкнутій системі спирографа при $P_{IO_2} = 350—400$ мм рт. ст., тобто «чиста» гіперкапнічна стимуляція на протязі 5 хв [21]. При цьому P_{ACO_2} збільшувався на 14—17 мм рт. ст.; 2) вдиханням повітря з $P_{CO_2} = 35—37$ мм рт. ст.; 3) методом поодиноких вдихів забагаченою CO_2 газовою суміші [14].

Вентиляцію реєстрували на спирографі та за допомогою системи реєстрації вентиляції з датчиком типу трубки Флієща, розробленої нами. Парциальний тиск CO_2 в альвеолах (P_{ACO_2}) вимірювали при кожному диханні на швидкодіючому аналізаторі CO_2 (типу «Інфрапліт»).

Залежність \dot{V}_E від P_{ACO_2} в аналізованому діапазоні P_{ACO_2} (тобто при його збільшенні на 14—17 мм рт. ст.) лінійна [22] і виражається регресійним рівнянням: $\dot{V}_E =$

Про деякі особливості регуляції

$= S(P_{ACO_2} - B)$ [22], де S — нахил лінії STPD на одиницю збільшення P_{ACO_2} , B — сою. Ця точка умовно відображає величину P_{ACO_2} від легеневої вентиляції характеризувати поріг чутливості вентиляції. Гіпокапнії оцінювали зворотно екстрапонованого P_{ACO_2} до гіперкапнії [14]. Структурами Хью — Ейлера [16, 20], яке описує об'ємом з допомогою двох параметрів (н сою — K). Вивчали також вплив фізичні наростаючим навантаженням до відмови в 25 хв.

Результати

Дослідження показали від збільшення P_{ACO_2} . Як це видно, хована в $ml/hv/kg$ ваги тіла при жуваніх, так само, як і у чоловіків у останніх, за нашими та літературними даними, збільшення P_{ACO_2} ця величина у дітей та підлітків в період з 30 $ml/hv/kg$. Крім того, у 42 $ml/hv/kg$, тоді як у віці 16 років

Аналіз вікових відмінностей

що звичайно позначається як зниження з віком чутливості до V_{50} , розрахована на kg ваги тіла як в 15—16 років — лише 16 років чутливість вентиляторної вентиляції. Про більшу питому вагу (чи то також порівняння абсолютної чину легеневої вентиляції). Якщо у дітей 10 років V_{50} становить лише 28%.

З віком знижується також гіпокапнічна відповідь на зменшення P_{ACO_2} тіла, а у підлітків 16 років —

Поряд з вказаною залежністю від зміни P_{ACO_2} збільшена чи знижена чутливість від дихання від зміни P_{ACO_2} у підлітків 12—14 років при повторюваному за вторинними стимулами.

$= S(P_{ACO_2} - B)$ [22], де S — нахил лінії, що відображає приріст вентиляції (\dot{V}_E) в $л/хв$ STPD на одиницю збільшення P_{ACO_2} , B — екстрапольована точка пересічення лінії з абсцисою. Ця точка умовно відображає величину P_{ACO_2} , при якій за даних умов залежності вентиляції від легеневої вентиляції настає апноє. Тобто, ця точка може в певній мірі характеризувати поріг чутливості вентиляторної реакції до CO_2 . Чутливість вентиляції до гіпокапнії оцінювали зворотною екстраполяцією лінії \dot{V}_E перехідного процесу від нормального P_{ACO_2} до гіперкапнії [14]. Структуру вентиляційної відповіді оцінювали за відношенням Хью — Ейлера [16, 20], яке описує лінійну залежність між вентиляцією і дихальним об'ємом з допомогою двох параметрів (нахилу лінії — M та точки її пересічення з абсцисою — K). Вивчали також вплив фізичного навантаження на велоергометрі з ступінчастою — нарстаючим навантаженням до відмови обстежуваної особи від продовження роботи (15 — 25 хв).

Результати досліджень

Дослідження показали вікові відмінності вентиляторної реакції на збільшення P_{ACO_2} . Як це видно з рис. 1, вентиляторна реакція, розрахована в $мл/хв/кг$ ваги тіла при збільшенні P_{ACO_2} у 9—16-річних обстежуваних, так само, як і у чоловіків 20—26 років, зростає. Проте, якщо у останніх, за нашими та літературними даними, на кожний $мм$ рт. ст. збільшення P_{ACO_2} ця величина дорівнює 20—25 $мл/хв/кг$ ваги тіла, то у дітей та підлітків в період з 9 до 16 років вона знижується з 42 до 30 $мл/хв/кг$. Крім того, у дев'ятирічних дітей приріст становив 42 $мл/хв/кг$, тоді як у віці 16 років — 30 $мл/хв/кг$ ($p \leq 0,05$).

Аналіз вікових відмінностей величини \dot{V}_E при $P_{ACO_2} = 50$ $мм$ рт. ст.,

що звичайно позначається як \dot{V}_{50} , також підтверджує згадані дані про зниження з віком чутливості до CO_2 стимуляції дихання. Так, величина \dot{V}_{50} , розрахована на $кг$ ваги тіла, в 10 років становить 0,5 $л/хв/кг$, тоді як в 15—16 років — лише 0,32 $л/хв/кг$. Отже, за період від 9 до 16 років чутливість вентиляторної реакції до CO_2 знижується на третину. Про більшу питому вагу CO_2 стимуляції дихання у дітей може свідчити також порівняння абсолютної величини \dot{V}_{50} з максимальною величиною легеневої вентиляції при фізичному навантаженні (\dot{V}_E ф. н.). Якщо у дітей 10 років \dot{V}_{50} становить 44% від \dot{V}_E ф. н., то в 15—16 років — лише 28%.

З віком знижується також чутливість вентиляторної реакції до гіпокапнії. Як видно з рис. 1, у дітей 9—10 років зниження вентиляції у відповідь на зменшення P_{ACO_2} на 1 $мм$ рт. ст. становить 6,6 $мл/хв/кг$ ваги тіла, а у підлітків 16 років — 4,2 $мл/хв/кг$ ($p \leq 0,05$).

Поряд з вказаною закономірністю змін чутливості вентиляторної реакції з віком відзначався ряд індивідуальних особливостей — окремих випадків значного відхилення від середньої величини вікової групи реакції \dot{V}_E на зміні P_{ACO_2} . Аналіз таких випадків показав, що значно збільшена чи знижена чутливість до CO_2 відзначається у окремих підлітків 12—14 років при помітному відставанні статевого розвитку, оцінюваному за вторинними статевими ознаками.

Раніше нами були одержані дані про зниження чутливості до гіпоксії та гіперкапнії під впливом тренування [8, 9]. Спеціальне вивчення цього питання у дітей та підлітків показало, що у них значніше і швидше, ніж у дорослих, знижується чутливість вентиляції до гіперкапнічної стимуляції (рис. 1). Наші дані показують, що той ступінь зниження чутливості до CO_2 , який спостерігається у дорослих спортсменів циклічних видів спорту, що тренуються на витривалість, досягається вже в 15—16 років при попередньому інтенсивному тренуванні з бігу, плавання, велосипедного спорту, веслування протягом двох—чети-

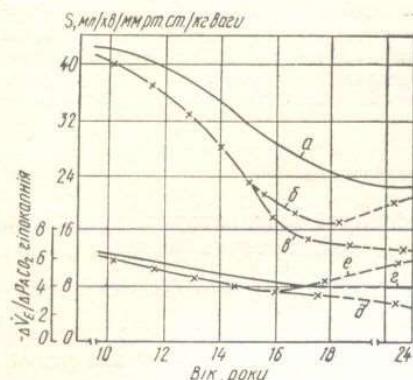


Рис. 1. Зміни чутливості вентиляторної реакції до CO_2 в $\text{мл}/\text{хв}/\text{мм рт. ст.}$ на kg ваги тіла при гіперкапнії (S) та гіпокапнії ($\Delta V_E/\Delta P_{ACO_2}$) залежно від віку та фізичної тренованості.

Відповідно, величини S та $\Delta V_E/\Delta P_{ACO_2}$ при гіпокапнії: a, e — у нетренованих осіб; b, d — у тренованих осіб при спеціалізації з спринті; c, f — у тренованих осіб при спеціалізації в роботі на витривалість.

рьох років. Так, під впливом двох—трьох років тренування вентиляція з розрахунку на мм рт. ст. підвищена P_{ACO_2} при зворотному диханні збільшується значно менше у юніх легкоатлетів і плавців 13—15 років, ніж у нетренованих підлітків — відповідно на 1,26 і 2,15 $\text{л}/\text{хв}/\text{мм}/\text{рт. ст.}$

Зниження вентиляторної відповіді на CO_2 добре виявляється також при вдиханні протягом кількох хвилин повітря, забагаченого CO_2 до 35—37 мм рт. ст. При цьому у нетренованих підлітків вентиляція збільшилась з 7,1 до 16,1 $\text{л}/\text{хв}$, тоді, як у тренованих з 7,45 до 14,35 $\text{л}/\text{хв}$, що відповідно дорівнює 1,03 і 0,83 $\text{л}/\text{хв}$ на мм підвищення P_{ACO_2} ($p \leq 0,01$).

Чутливість дихальної системи до CO_2 як стимула залежить від напряму тренувального процесу. Зокрема, це відображається на ступені зниження чутливості до CO_2 залежно від спринтерської спрямованості тренування чи з акцентом на роботу на витривалість. Починаючи з 15—16-річного віку при спеціалізованій підготовці в циклічних видах спорту у спринтерів відзначається тенденція до збільшення чутливості до гіперкапнії та зниження чутливості до гіпокапнії (рис. 1). В більш зрілому віці, як видно з рис. 1, ці відмінності, пов'язані з спрямованістю тренування, стають досить значними.

Ми провели також аналіз змін чутливості до CO_2 при збільшенні P_{ACO_2} до 60—65 мм рт. ст. Ці дані деякою мірою дозволяють судити про стійкість вентиляторної реакції в умовах різкої гіперкапнії. Наші дані показують, що в цих умовах у дітей та нетренованих підлітків відзначається деяка пригніченість вентиляторної відповіді. У добре тренованих на витривалість підлітків з помітним зниженням чутливості до гіперкапнічних стимулів, навпаки, відзначається різке збільшення вентиляторної відповіді з гіперболічним характером залежності. В осіб зрілого віку залежність V_E та P_{ACO_2} , як правило, залишається лінійною в цих межах збільшення P_{ACO_2} .

Про деякі особливості регуляції

У спеціальній серії досліджень ми проаналізували питому вагу посторонній відповіді на даний гіперкапній, що початкова вентиляторна відповідь периферичних хеморецепторів, на хемочутливими утвореннями [15], дозволяє судити про швидкість реагування до характеристики реактивної системи в умовах CO_2 . початкова відповідь V_E становить акції. У віці від 9 до 12—13 років значене вікове зниження загальномовлено переважно зниженням зниженням інтенсивності впливу тупному віковому періоді роль після 18 років досягає такого ж рівня.

У юніх спортсменів (особливості) питома вага первинної тренованих підлітків.

Особливий інтерес становить гіпокапнічні стимули до та після зниження, яке тривало 15—21 хв. Але не впливає на нахил лінії залежності V_E , що відображає поріг чутливості до CO_2 знижується на 3—8 мм рт. ст., а відповідно в окремих випадках на 40%. Невеликі зміни можуть трактуватись як початкова реакція до CO_2 .

Одержані нами дані показують, що фізичного навантаження у спортсменів 19—24 років. Крім

V_{50} залежало від вихідного рівня V_{50}^* до роботи, збільшенню виражено і, навпаки, при збільшенні після роботи було.

Для оцінки відносної ролі величини робочого гіперкапнічної вентиляції при чистій гіперкапнічній

максимальну величину вентиляції (ф. н.). Це порівняння показало, що віднесена значна частина сивому фізичному навантаженню величина вентиляції легень повинна становити 35—60% максимального віднесеної величини. Водночас до роботи ця величина вентиляції легень повинна становити 35—60% максимального віднесеної величини. Загальна величина легеневої вентиляції у окремих осіб досягала

У спеціальній серії досліджень з вдиханням гіперкапнічної суміші ми проаналізували питому вагу початкової (перші 10 і 30 сек) вентиляторної відповіді на даний гіперкапнічний стимул. Ми виходили з того, що початкова вентиляторна відповідь зумовлена переважно стимуляцією периферичних хеморецепторів, наступна ж її частина — центральними хемочутливими утвореннями [15, 17, 24, 28]. Крім того, такий аналіз дозволяє судити про швидкість реакції на CO_2 і, таким чином, наблизитись до характеристики реактивності вентиляторного апарату як функціональної системи в умовах CO_2 стимуляції. Такий аналіз показав, що початкова відповідь \dot{V}_{E} становить 15—45% від загальної величини реакції. У віці від 9 до 12—13 років, тобто в пропубертатному періоді, відзначено вікове зниження загальної вентиляторної реакції на CO_2 обумовлено переважно зниженням початкової реакції, тобто, вірогідно, зниженням інтенсивності впливу периферичних хеморецепторів. У наступному віковому періоді роль початкової реакції \dot{V}_{E} нарastaє і до 16—18 років досягає такого ж рівня, як у 9—10 років.

У юніх спортсменів (особливо у плавців та тих, що займаються пірнанням) питома вага первинної реакції на 15—20% вища, ніж у нетренизованих підлітків.

Особливий інтерес становить порівняння реакції вентиляції на гіперкапнічні стимули до та після (через 20—22 хв) фізичного навантаження, яке тривало 15—21 хв. Аналіз показав, що фізичне навантаження не впливає на нахил лінії залежності $\dot{V}_{\text{E}} - P_{\text{ACO}_2}$. Але ж, величина B , що відображає поріг чутливості до CO_2 , після навантаження зменшується на 3—8 мм рт. ст., а величина \dot{V}_{50} збільшується на 12—25%, та в окремих випадках на 40%. На думку деяких авторів [1, 22, 29], такі зміни можуть трактуватись як зниження порога чутливості вентиляторної реакції до CO_2 .

Одержані нами дані показують, що зниження порога чутливості після фізичного навантаження у юніх спортсменів виражене менше, ніж у спортсменів 19—24 років. Крім того, зниження величини B і збільшення \dot{V}_{50} залежало від вихідного рівня цих величин. Так, при низькому показнику \dot{V}_{50} до роботи, збільшення цієї величини після роботи було більш виражено і, навпаки, при високій вихідній величині \dot{V}_{50} наступне її збільшення після роботи було незначним.

Для оцінки відносної ролі гіперкапнічної стимуляції в загальній величині робочого гіперпною ми зіставили показники легеневої вентиляції при чистій гіперкапнічній стимуляції ($P_{\text{ACO}_2} = 50$ мм рт. ст.) і

максимальну величину вентиляції при фізичному навантаженні (\dot{V}_{E} ф. н.). Це порівняння показало, що до гіперкапнічного фактора може бути віднесена значна частина загального робочого гіперпною при інтенсивному фізичному навантаженні. Так, в умовах нашого експерименту величина вентиляції легень після роботи при $P_{\text{ACO}_2} = 50$ мм рт. ст. становить 35—60% максимальної вентиляції при фізичному навантаженні. Водночас до роботи ця ж величина дорівнювала лише 15—45%. Загальна величина легеневої вентиляції після роботи при $P_{\text{ACO}_2} = 50$ мм рт. ст. у окремих осіб досягала 70—82 л/хв.

При певних допущеннях про реальність досягнення в умовах фізичного навантаження величини P_{ACO_2} 50 мм рт. ст., а також про зниження порога чутливості до CO_2 під час фізичного навантаження в більшій мірі, ніж ми спостерігали після фізичного навантаження, можна вважати, що роль гіперкапнічної стимуляції при фізичному навантаженні у осіб молодого віку досить значна.

Виходячи з наявних результатів досліджень, можна вважати, що під впливом фізичного навантаження значної інтенсивності як у підлітків, так і у дорослих осіб знижується поріг чутливості до CO_2 (знижується величина B) при відсутності значного підвищенні чутливості вентиляторної реакції до CO_2 .

Про це посередньо може свідчити також відзначене нами збільшення величини відношення легеневої вентиляції до виділення CO_2 на протязі фізичного навантаження значної інтенсивності. Таке збільшення легеневої вентиляції щодо рівня виділення CO_2 краще виражено у дітей та нетренованих підлітків порівняно з юними спортсменами.

Чутливість вентиляторної відповіді до збільшення P_{CO_2} (виражена через величину S) у стані спокою, як показав аналіз, пов'язана з вентиляторною реакцією на фізичне навантаження щодо виділення CO_2 при цьому, тобто з вентиляційним еквівалентом для CO_2 . Як правило, більший вентиляційний еквівалент спостерігається у осіб з більшою величиною S . У частині юних спортсменів з особливо помітним зниженням чутливості до CO_2 величина S після фізичного навантаження збільшувалась поряд зі зниженням B .

Таким чином, для всіх осіб було характерно зниження після фізичного навантаження значної інтенсивності порогу чутливості до CO_2 (величина B). Для підлітків характерна менша, ніж у дорослих осіб величина зрушень B , а також деяке підвищенні чутливості вентиляторної реакції до CO_2 (величина S).

Щоб пійти до розуміння причин зниження чутливості вентиляції до CO_2 під впливом спортивного тренування, ми проаналізували величини циклічних і нецикліческих змін P_{ACO_2} протягом дихального циклу в умовах занять спортом. Для цього ми провели експериментальне визначення та розрахунки коливальних змін P_{ACO_2} , пов'язаних із залишковим об'ємом легень та функціональною ємкістю [25]. Деякі з цих даних наведені в табл., з якої видно, що зміни P_{ACO_2} на протязі дихального циклу у нетренованих підлітків 13—14 років та у дорослих спортсменів відрізняються мало (відповідно 4 та 5 мм рт. ст.), особливо при розрахунку в процентах від середнього рівня P_{ACO_2} — 12,5 та 13%. При фізичному навантаженні в умовах близькомаксимального споживання кисню коливальні зміни P_{ACO_2} збільшуються і становлять у середньому у підлітків 6,4 мм рт. ст., а у дорослих спортсменів — 7,4 мм рт. ст., тобто, відповідно 20 і 18,5% від середньої величини P_{ACO_2} .

Однак, якщо у підлітків ці циклічні зміни P_{ACO_2} перебувають на рівні 28,3—34,7 мм рт. ст., то у дорослих спортсменів — на значно більш високому — 35,3—42,7 мм рт. ст. Крім того, при інтенсивній роботі навіть незначні зміни ритмічності дихання, спостережувані в реальних умовах, приводить до більших нецикліческих коливань P_{ACO_2} у підлітків.

Про деякі особливості регуляції

Так, незначна затримка дихання приводить до збільшення P_{ACO_2} протягі 2,5 сек. P_{ACO_2} збільшує ритм дихання дітей та підлітків особливо при фізичному навантаженні тренування вони відносно складу крові. Протягом певного часу аферентації на згадає з причин більш швидкого зниження P_{ACO_2} у дітей порівняно з дорослими.

Зміни парціального тиску CO_2 в легеневому резервуарі (наведені середні значення від дітей)

Досліджувані показники	Після відповіді
q_{CO_2} , мл	56
P_{ACO_2} , мм рт. ст.	32
Дорослі	
q_{CO_2} , мл	150
P_{ACO_2} , мм рт. ст.	38

Певний інтерес у цьому п. CO_2 у юних спортсменів залишається — спринт чи робота на витривалість зниження чутливості до CO_2 відбувається при тренуванні на витривалість тренуванні в спринті приводить зрушень газового складу зрушень не такі виразні, але

Це дозволяє припустити, що сильний вплив, ніж величина також крім того, одержані нами цикліческі зміни P_{ACO_2} на протягі при фізичному навантаженні, а також дані про закон кількості виділення метаболіческих коливань P_{CO_2} на газової вентиляції при фізично-ліческих змін P_{CO_2} виражена у людей.

Оскільки коливання P_{ACO_2} в легеневого резервуара, який має величина ємкості (ΦO_E), то о

Так, незначна затримка дихання на видаху у підлітків на протязі 1 сек приводить до збільшення P_{ACO_2} до 49 мм рт. ст., а під час вдиху — на протязі 2,5 сек. P_{ACO_2} збільшується до 50 мм рт. ст. Враховуючи, що ритм дихання дітей та підлітків менш стійкий, ніж у дорослих людей, особливо при фізичному навантаженні, то зрозуміло, що в процесі спортивного тренування вони відносно більше схильні до зрушень газового складу крові. Протягом певного часу тренування це може змінювати характер аференції на згаданий гуморальний фактор і бути однією з причин більш швидкого зниження чутливості вентиляції до CO_2 стимулів у дітей порівняно з дорослими.

Таблиця 1

Зміни парціального тиску CO_2 в альвеолах (P_{ACO_2}) та кількості CO_2 в легеневому резервуарі (q_{CO_2}) на протязі дихального циклу
(наведені середні значення відмінності показників підлітків та дорослих,
достовірні при $p \leq 0,01$)

Досліджувані показники	Після вдиху	Кінець паузи	Кінець вдиху мертвого простору	Кінець вдиху
Підлітки 13—14 років				
q_{CO_2} , мл	56,1	58,9	65,9	69,4
P_{ACO_2} , мм рт. ст.	32,4	33,9	34,3	30,3
Дорослі спортсмени				
q_{CO_2} , мл	150,6	157,0	172,3	179,4
P_{ACO_2} , мм рт. ст.	38,8	40,4	40,8	35,8

Певний інтерес у цьому плані становить аналіз змін чутливості до CO_2 у юних спортсменів залежно від напрямку тренувального процесу — спринт чи робота на витривалість. Як було відзначено, найбільш чітке зниження чутливості до CO_2 під впливом тренування спостерігається при тренуванні на витривалість. Водночас характер вправ при тренуванні в спринті приводить до, хоч і поодиноких, але ж більш значних зрушень газового складу крові. При тренуванні на витривалість ці зрушения не такі виразні, але повторюються на протязі значного часу. Це дозволяє припустити, що сумація зрушень P_{ACO_2} має відносно більший вплив, ніж величина таких зрушень.

Крім того, одержані нами дані про стабільність відносної величини циклічних змін P_{ACO_2} на протязі дихального циклу як у стані спокою, так і при фізичному навантаженні у різних контингентів обслідуваних осіб, а також дані про закономірну залежність величини коливань від кількості виділення метаболічного CO_2 вказують на можливу роль цих циклічних коливань P_{CO_2} на протязі дихального циклу в регуляції легеневої вентиляції при фізичному навантаженні. Відносна величина циклічних змін P_{CO_2} виражена однаково у дітей, підлітків та дорослих людей.

Оскільки коливання P_{ACO_2} значною мірою залежать від величини легеневого резервуара, який ми характеризуємо величиною функціональної ємкості (ФОС), то одержана нами залежність цієї величини та

величини S у дітей 10—15 років ($r=0,52$) має фізіологічний зміст. В групі юних спортсменів одного віку (15—16 років), які тренувались на протязі двох — чотирьох років, ми одержали негативну залежність ФОЕ, а також життєвої ємкості легень (ЖЕЛ) та величини S . Враховуючи, що збільшення ЖЕЛ, як і зниження S під впливом тренування найбільш виражено при роботі на витривалість, це може свідчити про можливу роль гіперкапнії як фактора, що зумовлює збільшення ЖЕЛ при роботі на витривалість. Аналіз змін чутливості вентиляторної реакції в міру зростання ЖЕЛ (відношення величини ЖЕЛ до величини S) показав, що вікові зміни цієї величини значно менше виражені, ніж зміни під впливом тренування. Так, якщо з віком вона знижуvalася з 0,75 л/хв/мм рт. ст. в 10—12 років до 0,54 — в 13—15 років і до 0,45 — у осіб зрілого віку, то у підлітків 15—16 років, що тренуються на витривалість, ця величина становить лише 0,17, а у дорослих висококваліфікованих спортсменів-велосипедистів — 0,26 л/хв/мм рт. ст. Слід відзначити, однак, що в 15—16 років і у мало тренованих підлітків реєструється найбільш низькі величини цього відношення — 0,39, що ще раз підкреслює наявність особливих рис у регуляції дихання підлітків.

Досить висока кореляційна залежність відзначена нами між величиною S та деякими показниками фізичної тренованості в стані спокою [7].

Найбільш виражена ця залежність з показниками властивості спортсменам відносної гіповентиляції легень, яка супроводжується зниженням альвеолярної вентиляції на кг ваги тіла, частоти дихання, P_{AO_2} , підвищеннем P_{ACO_2} в стані спокою ($r=0,76—0,59$).

Величина S досить тісно пов'язана з цими показниками і при фізичному навантаженні в точці порога анаеробного обміну.

Значний інтерес становить аналіз відмінностей у структурі дихальної реакції, що залежить від віку та тренованості, тобто в питомій вазі дихального об'єму та частоти дихання (враховуючи тривалість вдиху та видиху) в загальній реакції вентиляції.

В літературі хоч і є окремі відомості про взаємозв'язок між чутливістю до CO_2 та структурою дихання [11, 12, 18, 27], але ж вікові особливості дітей та підлітків і вплив тренування не висвітлені. Використовуючи простий шлях описання структури дихальної відповіді при допомозі двох параметрів (нахилу лінії та точки її пересічення з абсцисою) в межах лінійного відношення між вентиляцією та дихальним об'ємом [12, 22], ми одержали дані про чіткі вікові відмінності цього відношення і зміни під впливом тренування (рис. 2).

Як видно з рис. 2, з віком, а також під впливом тренування нахил лінії (M) відношення $\dot{V}_E - V_t$ зменшується, а числове значення точки пересічення цієї лінії з абсцисою (K) збільшується. Якщо представити одержані залежності у вигляді рівняння Хью — Ейлера, то можна численно виразити одержані нами відмінності залежно від віку та фізичної тренованості (табл. 2).

Отже, як видно з таблиці, напрямок змін параметра M залежно від віку та тренованості співпадає зі змінами реакції вентиляції на збільшення P_{ACO_2} на 1 мм рт. ст., тобто параметра S . Ще більш тісний кореляційний зв'язок відзначається між параметром M та відношенням величини S з ЖЕЛ ($r=0,87$).

Особливу увагу привертає аналіз характеру залежності дихального об'єму та тривалості вдиху — показника, запропонованого Ейлером [16]. Вважається, що цей показник відображає чутливість рефлексу

Про деякі особливості регуляції

Герінг-Брейера [16, 18, 19, 23]. Цього показника досить значно в спортивному тренування. Про можливість Герінг-Брейера під впливом тренування

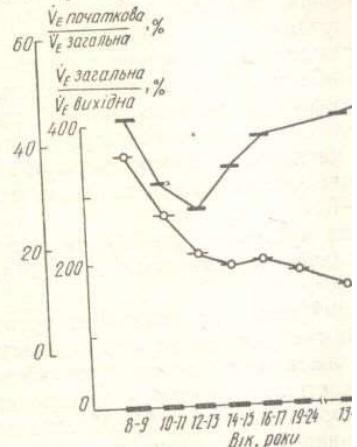


Рис. 2. Зміни загальної реакції легенів (VE) в % від її вихідної величини (a) та питома вага початкової вентиляції (30 сек першої вдиханні) в % від загальної реакції \dot{V}_E залежно від віку та фізичної тренованості при вдиханні повітря з $P_{CO_2} = 37$ мм рт. ст.

тренованих дітей, підлітків та нованими особами зрушення вдихання (Те) при дихальній відтакні фізичного навантаженні

Залежність вентиляції об'єму (ретресійне) чутливості рефлексу Герінга від віку

Вік, роки

10—12

15—16

15—16
треновані

22—25

Герінг-Брейера [16, 18, 19, 23]. Як видно з таблиці, числове значення цього показника досить значно збільшується з віком та під впливом спортивного тренування. Про можливе зниження чутливості рефлексу Герінг-Брейера під впливом тренування може свідчити також менше у

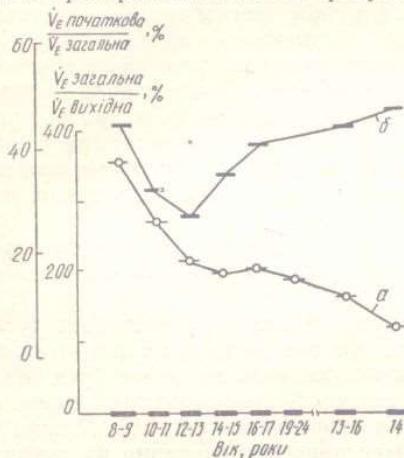


Рис. 2. Зміни загальної реакції легеневої вентиляції (\dot{V}_E) в % від її вихідної величини (a) та питома вага початкової реакції вентиляції (30 сек першої хвилини) в % від загальної реакції \dot{V}_E (б) залежно від віку та фізичної тренованості при вдиханні повітря з $P_{CO_2}=35—37$ мм рт. ст.

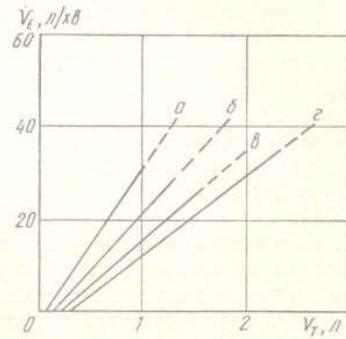


Рис. 3. Зміни відношення вентиляції легень (\dot{V}_E) та дихального (V_T) об'єму (регресійне рівняння Хью—Ейлера) залежно від віку та фізичної тренованості.

a — у дітей 10—12 років, б — у підлітків 15—16 років, в — у юних спортсменів 15—16 років, г — у дорослих тренованих осіб 22—25 років.

тренованих дітей, підлітків та дорослих спортсменів порівняно з нетренованими особами зрушения співвідношення тривалості вдиху (T_i) та видиху (T_e) при дихальній відповіді на збільшення P_{ACO_2} чи при нарощуванні фізичного навантаження в межах порога анаеробного обміну.

Таблиця 2

Залежність вентиляції легень (\dot{V}_E) і дихального (V_T) об'єму (регресійне рівняння Хью—Ейлера) та індекс чутливості рефлексу Герінг-Брейнера за Ейлером [16] у осіб різного віку та тренованості ($\bar{X} \pm m$)

Вік, роки	$\dot{V}_E, l/xh = M(\dot{V}_{T-K})$ літри	Індекс Ейлера K/M
10—12	$\dot{V}_E = 36,2 (V_{T-0,13}) \pm 2,3$	$0,22 \pm 0,04$
15—16	$\dot{V}_E = 26,8 (V_{T-0,20}) \pm 1,4$	$0,45 \pm 0,06$
15—16 треновані	$\dot{V}_E = 20,2 (V_{T-0,25}) \pm 0,95$	$0,75 \pm 0,06$
22—25	$\dot{V}_E = 17,6 (V_{T-0,3}) \pm 0,5$	$1,02 \pm 0,05$

Якщо виходити з того, що характер впливу рефлексу Герінг-Брейєра на дихальну відповідь протилежний звичайному впливу хеморецепторів, то відзначенні факти, можливо, є проявом перебудови регуляції дихання під впливом фізичного тренування. Наслідком цієї перебудови є збільшення питомої ваги V_t в загальній вентиляторній відповіді. Можна гадати, що внаслідок високої чутливості згаданого рефлексу здатність дітей до збільшення тривалості вдиху та інших його параметрів обмежена порівняно з дорослими особами та юними спортсменами також і високою чутливістю цього рефлексу. Посередньо про це може свідчити і менша зміна тривалості вдиху у нетренованих дітей та підлітків порівняно з юними спортсменами та дорослими особами при відповіді вентиляції на CO_2 стимулю і фізичне навантаження, а також менша за цих умов величина відношення T_i-T_e .

Отже, одержані дані про зв'язок змін чутливості до CO_2 та структури дихальної відповіді вказують на спільність механізмів цих змін з віком та під впливом тренування.

Слід відзначити також, що конкретний механізм зниження чутливості вентиляції до CO_2 у підлітків, що тренуються на витривалість, зважаючи на значний ступінь такого зниження, не може бути віднесений лише за рахунок зниження чутливості периферичних хеморецепторів, як це відзначається у дорослих спортсменів [10, 26]. Можна гадати, що у підлітків під впливом інтенсивного тренування на витривалість знижується чутливість до CO_2 і центральних хемочутливих структур.

Показані в даному дослідженні межі змін чутливості реакцій вентиляції на адекватні стимули поряд зі змінами структури дихальної реакції можна розглядати і як один з механізмів, що пояснюють значну частину гіповентиляції легень, що виникає під впливом спортивного тренування. Як відомо, при цьому поліпшується газообмін у легенях, і відносна гіповентиляція легень є проявом економізації легеневої функції.

З практичної точки зору врахування наведених даних дозволяє раціоналізувати питання розробки критеріїв оптимальності впливу значних об'ємів фізичних навантажень в процесі багаторічного спортивного вдосконалення.

Література

- Винницкая Р. С., Коганова Н. А.—Фізiol. журн. ССР, 1967, 4, 450.
- Колчинская А. З.—Кислородные режимы организма ребенка и подростка, Киев, «Наукова думка», 1973.
- Лаур Н. В., Колчинская А. З.—В кн.: Регуляция вегетативных и animalных функций в онтогенезе, М.—Л., 1965, 81.
- Лаур Н. В., Середенко М. М., Кагановская М. М.—В кн.: Ведущие факторы онтогенеза, Киев, 1972, 250.
- Маршак М. Е.—Физиологическая роль углекислого газа, М., 1972.
- Маркосян А. А.—Основы морфологии и физиологии организма детей и подростков, М., 1969.
- Мищенко В. С.—Изменения дыхания у подростков и юношей под влиянием спортивной тренировки, Автореф. дисс., М., 1969.
- Мищенко В. С.—В кн.: Труды VIII конфер. по возрастной физиол., морфол., биохимии, М., 1971, 1, 155.
- Мищенко В. С.—В кн.: Функциональные и адаптационные возможности детей и подростков, М., 1974, 2, 33.
- Булл-Кінн Е., Вейл І., Содал І., Філі І., Гровер Р.—J. Appl. Physiol., 1971, 30 (1), 91.
- Сампбалл Е., Агостоні Е., Дейвіс І.—The Respiratory Muscle. Lloyd-luke, London, 1970, 278.
- Кіннингем Д., Патрік І., Ллойд Б.—In: Oxygen in the Animal Organism, Oxford, Pergamon, 1964, 277.

Certain Peculiarities of Respiration Regulation

- Дежур П., Пуччинелі Р., Аг—1965, 20 (5), 890.
- Dejours P.—Respiration, N. Y. Ox
- Edelman N., Epstein P., Lahi 17, 3, 302.
- Euler C. von., Herrero F., We 167, 1, 54.
- Guz A., Widdicombe J.—In: B
- Guz A., Trenchard D., Jain S., pathol. respir., 1973, 9, 3, 773.
- Hey E., Lloyd B., Cunningham 1966, 1, 193.
- Lambertsen C.—Handbook of P 1, 545.
- Lloyd B., Jukes M., Cunning 214.
- Lonis-Michel L., Michel R., P
- Patrick J., Howard Q.—Respi
- Rahn H.—In: Handbook of Physiol
- Rebuck A., Read J.—Clin. Sci., 19
- Schaefer K.—J. Appl. Physiol., 19
- Sorensen S., Severinghaus
- Tenney S.—Ann. N. Y. Acad. Sci., 1

Кафедра фізичного виховання
Київського університету

V. S. Mishchenko

CERTAIN PECULIARITIES
IN CHILDREN AND TEENAGERS

Sensitivity of the ventilatory reactions of 81 persons at the age from 9 to 24 years. Results of studies were used.

The data are obtained on the subjects of Hey-Eiler. The data show a distinct decrease in sensitivity which is especially developed in young people at the age of 12-13. Physical load lowers sensitivity to CO_2 . A different effect on sensitivity to CO_2 . A different effect of peripheral chemoreceptors and the effect of training.

Department of Physical Training,
the T. G. Shevchenko State University,
Kiev

- йе-
сп-
ції
ови-
ді.
су-
ет-
ми-
же-
їд-
д-
н-
К-
з-
н-
б-
е-
т-
з-
у-
о-
з-
ї-
ї-
ї-
13. Dejours P., Puccinelli R., Armand J., Dicharry M.—J. Appl. Physiol., 1965, 20 (5), 890.
 14. Dejours P.—Respiration, N. Y. Oxford University press, 1966, 150.
 15. Edelman N., Epstein P., Lahiri S., Cherniak N.—Respir. Physiol., 1973, 17, 3, 302.
 16. Euler C. von., Herrero F., Wexler I.—Respir. Physiol., 1970, 10, 93.
 17. Flandrois R., Quard S., Mayet M., Charbonnier J.—C. r. Soc. biol., 1973, 167, 1, 54.
 18. Guz A., Widdicombe J.—In: Breathing, Ciba Foundation Symposium, 1970, 41.
 19. Guz A., Trenchard D., Jain S., Bystzycka E., Noble M.—Bull. physiol.-pathol. respir., 1973, 9, 3, 773.
 20. Hey E., Lloyd B., Cunningham D., Jukes M., Bolton D.—Respir. Physiol., 1966, 1, 193.
 21. Lambertsen C.—Handbook of Physiol. sect. 3. Respiration, Washington, 1964, 1, 545.
 22. Lloyd B., Jukes M., Cunningham D.—Quart. J. Exp. Physiol., 1958, 43, 2, 214.
 23. Lonis-Michel L., Michel R., Paul R.—C. r. Acad. Sci., 1973, D276, 19, 2701.
 24. Patrick J., Howard Q.—Respir. Physiol., 1972, 16, 337.
 25. Rahn H.—In: Handbook of Physiol., 3, Respiration., Washington, 1964, 1, 46.
 26. Rebuck A., Read J.—Clin. Sci., 1974, 41, 13.
 27. Schaefer K.—J. Appl. Physiol., 1958, 13, 1, 14.
 28. Sorensen S., Severinghaus J.—J. Appl. Physiol., 1969, 25, 217.
 29. Tenney S.—Ann. N. Y. Acad. Sci., 1963, 109, 634.

Кафедра фізичного виховання
Київського університету

Надійшла до редакції
22.I 1975 р.

V. S. Mishchenko, R. S. Kirilova

CERTAIN PECULIARITIES OF RESPIRATION REGULATION IN CHILDREN AND TEEN-AGERS GOING IN FOR SPORTS

Summary

Sensitivity of the ventilatory reaction to hypercapnia and hypoxia was studied in 81 persons at the age from 9 to 24 at rest before and after physical load. Different models of studies were used.

The data are obtained on the structure of the respiratory response according to Hey-Eiler. The data show a distinct decrease in sensitivity to CO_2 at the age of 10-15 which is especially developed in young sportsmen. Certain peculiarities were found at the age of 12-13. Physical load lowers the threshold of sensitivity without changing sensitivity to CO_2 . Different sport specialization (sprint, work for endurance) has a different effect on sensitivity to CO_2 . An assumption is advanced on a decrease in sensitivity of peripheral chemoreceptors and lung receptors in children and teen-agers under the effect of training.

Department of Physical Training,
the T. G. Shevchenko State University,
Kiev