

УДК 612.16.23.332

ПРО ДЕЯКІ ПОКАЗНИКИ ГЕМОДИНАМІКИ І КИСЕНЬТРАНСПОРТНОЇ ФУНКЦІЇ КРОВІ ПІДЛІТКІВ ПРИ СТАТИЧНИХ ЗУСИЛЛЯХ

Ю. В. Степанов

*Київський інститут фізичної культури; лабораторія фізіології дихання людини
Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ*

Своєрідність фізіологічних зрушень, що здійснюються в організмі при статичних зусиллях, швидке стомлення, яке обмежує тривалість їх виконання, і значне місце, що належить їм при різних видах трудової і спортивної діяльності, роблять статичні зусилля одним з найцікавіших об'єктів для дослідження.

Водночас відомостей про вікові особливості реакцій організму на статичні зусилля в літературі мало. Окремі нечисленні дослідження [1, 8, 14, 17] присвячені вивченню частоти серцевих скорочень або артеріального тиску у відновному періоді. Навіть таке питання, як витривалість підлітків до статичних зусиль висвітлене недостатньо, хоч вважають встановленим, що підлітки менш витривалі до статичних зусиль, ніж дорослі [2, 3].

Водночас пубертатний період складний в житті людини. У цей час не тільки настає статеве дозрівання і відзначаються виразні зміни ендокринних залоз, а й здійснюється посилений ріст і розвиток усіх органів і систем, підвищується інтенсивність обмінних процесів і споживання кисню, змінюється регуляція соматичних і вегетативних функцій. Тому статичні зусилля не є байдужими для підліткового організму і залежно від величини навантаження та вірності застосування можуть виявляти як позитивний, так і негативний вплив на розвиток підлітків.

Ми детально вивчали особливості кровообігу, кисеньтранспортної функції крові і споживання кисню у підлітків при виконанні статичних зусиль.

Слід відзначити, що в літературі не описано хвилинний і ударний об'єм крові у підлітків при статичних зусиллях.

Нас цікавили відомості про хвилинний і ударний об'єми крові, особливості транспорту кисню артеріальною і венозною кров'ю, кількісне зіставлення між транспортом кисню кров'ю та споживанням його тканинами у підлітків при виконанні близькограничних статичних зусиль та в найближчому відновному періоді після них.

Методика досліджень

У 47 осіб визначали систолічний і хвилинний об'єми крові, частоту серцевих скорочень, артеріальний тиск, кисневу ємкість крові, насичення артеріальної крові киснем, кількість кисню, транспортованого артеріальною і змішаною венозною кров'ю, напруження кисню в крові і споживання кисню. До першої групи увійшли 37 підлітків віком 15—16 років, до другої — 10 чоловіків віком 20—35 років.

Досліди провадили у стані спокою в умовах, що наближаються до умов для визначення основного обміну; при статичних зусиллях (утримання штанги вагою

0,7 кг/кг на піднятих вгору руках протягом 1 хв); в найближчому відновному періоді. Хвилинний об'єм крові визначали ацетиленовим методом Грольмана в модифікації [12, 15].

Для підвищення точності визначення ХОК ми застосували систему газозбірників, що дало можливість дробно відсікати три — п'ять порцій видихуваної суміші і дозволило проводити визначення протягом 15 сек, тобто часу, при якому рециркуляція крові не могла внести істотної похибки. Частоту серцевих скорочень реєстрували на електрокардіографі. Артеріальний тиск визначали за методом Короткова у спокої та у відновному періоді. Насичення артеріальної крові киснем реєстрували на оксигеометрі типу О-36 з допомогою вушного датчика. Кисневу ємкість крові визначали газоаналітично на апараті Ван-Слайка типу АГК-2 з використанням 0,2 мл крові; споживання кисню — за методом Дуглас — Холдена. Аналіз видихуваного повітря і ацетиленової суміші здійснювали на модифікованому газоаналізаторі типу ГВВ-2. Напруження кисню в крові вивчали за номограмою [11]. Температура приміщення коливалась у межах 18—24° С, атмосферний тиск перебував у межах 740—760 мм рт. ст.

Статистична обробка одержаних даних провадилась варіаційно-статистичним методом із застосуванням критерію Стьюдента [18].

Результати досліджень

Наші дослідження свідчать про те, що підлітки 15—16 років неспроможні виконувати статичні зусилля в такому об'ємі і протягом такого ж тривалого часу, як і дорослі. Якщо чоловіки середнього віку утримували на прямих руках штангу вагою 50—60 кг протягом 1 хв, то підлітки могли утримувати протягом цього часу тільки 40—50 кг. В літературі нема даних щодо відмінностей в реакції організму на статичні зусилля однакової інтенсивності між дорослими і підлітками. Для порівняння реакції організму підлітка і дорослого на статичні зусилля ми використали близьке до граничного, рівне за інтенсивністю навантаження (0,7 кг/кг).

Проведені нами визначення хвилинного об'єму крові показали, що при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг у підлітків ХОК збільшується в два рази (табл. 1). Слід підкреслити, що в порівнянні з вихідними даними ХОК у підлітків збільшується менше, ніж у дорослих. Інтенсивність

Т а б л и ц я 1

Деякі показники гемодинаміки і кисеньтранспортної функції крові у підлітків при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг і в найближчому відновному періоді ($M \pm m$)

Показники	Спокій	Статичні зусилля	Перша хвилина відновного періоду
ЧСС (в хв)	72±1,43	119,5±1,56	114,4±1,76
СО (мл)	68,8±1,19	88±2,53	115,6±2,69
ХОК (л/хв)	5,0±0,158	10,5±0,25	12,9±0,37
(мл/хв/кг)	78,2±2,88	161,5±12,5	198±24,9
(л/хв/м ²)	3,0±0,08	6,03±0,22	7,40±0,35
СТ мм рт. ст.	116±1,34	—	125,6±2,14
ДД мм рт. ст.	69±1,05	—	75,5±1,38
О ₂ пульс	3,60±0,05	4,4±0,07	5,5±0,14
ГЕ	19,0±0,25	20,0±0,32	20,5±0,51
КЕК об%	19,43±0,13		
Насичення артеріальної крові О ₂ , %	95,5±0,13	93±0,22	95,4±0,23
Насичення змішаної венозної крові О ₂ , %	68,4±0,47	66,9±0,44	70,3±1,11
Вміст О ₂ в артеріальній крові (об%)	18,55±0,13	18,06±0,16	18,53±0,18
Вміст О ₂ в змішаній венозній крові (об%)	13,3±0,20	13,0±0,16	13,65±0,29

кровотоку у підлітків при статичних зусиллях виявляється більш високою ($161,5 \pm 12,5$ мл/хв/кг), ніж у дорослих ($147 \pm 7,7$ мл/хв, кг).

Частота серцевих скорочень у підлітків більша, ніж у дорослих і в 1,8 рази перевищує ЧСС підлітків у спокої.

Дані про показники гемодинаміки і кисеньтранспортної функції крові у осіб середнього віку при виконанні статичних зусиль опубліковані нами раніше [13].

При аналізі систолічного об'єму крові встановлено, що у підлітків він збільшується лише на 27%, тоді як у дорослих — на 45—50%.

Отже, збільшення ХОК у підлітків при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг здійснюється меншою мірою внаслідок підвищення СО, ніж за рахунок почастішання серцевих скорочень.

Відомо, що працездатність значною мірою залежить від доставки кисню до тканин. Особливості кисеньтранспортної функції крові у підлітків зумовлюються, з одного боку, особливостями гемодинаміки, з іншого — кисеньзв'язувальними властивостями гемоглобіну.

У зв'язку з тим, що киснева ємкість крові у підлітків коливалась в межах 19—20%, а насичення артеріальної крові при даному навантаженні становило $93 \pm 0,22\%$, можна було обчислити вміст кисню в артеріальній крові і на підставі одержаних даних визначити кількість кисню, транспортованого артеріальною кров'ю (за методом [5, 6]).

При утриманні штанги вагою 7 кг/кг вміст кисню в артеріальній крові підлітків становив $18,06 \pm 0,16$ об%, а кількість кисню, транспортованого артеріальною кров'ю, збільшувалась щодо спокою приблизно в два рази (табл. 2). У дорослих і абсолютна кількість кисню, транспортованого артеріальною кров'ю і, особливо, збільшення його щодо норми

Таблиця 2

Кількість кисню, транспортованого артеріальною, змішаною венозною кров'ю і спожита організмом підлітків при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг і в найближчому відновному періоді ($M \pm m$)

Показники	Спокій	Статичні зусилля	Перша хвилина відновного періоду
qaO_2 мл/хв	$920 \pm 29,3$	$1900 \pm 35,8$	$2390 \pm 67,8$
мл/хв/кг	$14,0 \pm 0,67$	$28,8 \pm 1,88$	$38,5 \pm 3,09$
qvO_2 мл/хв	$661 \pm 22,4$	$1372 \pm 32,1$	$1762 \pm 62,8$
мл/хв/кг	$10,0 \pm 0,52$	$20,8 \pm 1,38$	$28,3 \pm 2,46$
qtO_2 мл/хв	$259 \pm 9,6$	$528 \pm 23,9$	$628 \pm 27,4$
мл/хв/кг	$3,92 \pm 0,16$	$8,0 \pm 43$	$9,5 \pm 0,42$

були вищими. Але інтенсивність транспорту кисню кров'ю у підлітків при статичних зусиллях продовжувала залишатись більш високою, ніж у дорослих.

При зіставленні кількості кисню, транспортованого артеріальною кров'ю і спожитого тканинами, виявилось, що при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг утилізація кисню з артеріальної крові не перевищує 28%, що практично не відрізняється від спокою. Водночас кількість кисню, транспортованого змішаною венозною кров'ю, збільшується понад два рази, тобто в 2,5—3 рази більше, ніж за цей же період споживалось кисню тканинами.

Слід відзначити, що й гемодинамічний еквівалент при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг у підлітків незначно підвищився. Якщо в спокої кожен літр кисню вилучався з $19 \pm 0,25$ л крові, то при статичних зусиллях для цього необхідно було $20 \pm 0,32$ л крові.

Невисоке застосування кисню з артеріальної крові, високий вміст кисню у венозній крові, більший гемодинамічний еквівалент, ніж при динамічному навантаженні, дозволяють говорити про те, що ефективність кровообігу щодо постачання тканин киснем у підлітків при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг не тільки не підвищується, що звичайно відзначається при динамічному навантаженні, але навіть незначно знижується, незважаючи на те, що інтенсивність транспорту кисню артеріальною кров'ю у підлітків перевищує інтенсивність його транспорту у дорослих.

При динамічній роботі, як показано в нашій лабораторії [4, 9], кровообіг у підлітків стає більш ефективним і економічним щодо доставки кисню тканинам. Так, при роботі субмаксимальної інтенсивності кожен літр кисню вилучається організмом підлітків з 9—10 л крові.

Артеріальний тиск підлітків під впливом статичних зусиль недостатньо вивчений. Бірюкович [1] виявила, що у дівчат 14 років одразу після статичних зусиль пульсовий тиск збільшувався за рахунок підвищення систолічного тиску і незначного зниження діастолічного тиску, а Філатова [14] у школярів після статичних зусиль також спостерігала збільшення систолічного і пульсового тиску, при цьому діастолічний тиск підвищувався або не змінювався, але ніколи не зменшувався.

За нашими відомостями, які збігаються з даними Черніка [17], у підлітків у першу хвилину відновного періоду невелике збільшення пульсового тиску здійснюється тільки внаслідок збільшення СТ, оскільки ДТ також підвищується.

Водночас підвищення СТ і ДТ, на думку ряду авторів [10, 16], є негативною ознакою і свідчить про настання стомлення, а підвищення пульсового тиску одразу після роботи свідчить про добру функціональну здатність серцево-судинної системи, зменшення ж ПТ є ознакою перенапруження серця [7].

Частота серцевих скорочень одразу після утримання штанги знизилась у порівнянні з навантаженням на 4—5%, а систолічний об'єм у цей час підвищився на 30—35%.

Вивчаючи кровообіг у першу хвилину відновного періоду, ми встановили, що ХОК у підлітків підвищувався більше, ніж під час утримання штанги (на 20—30%) і становив 12—15 л/хв (див. рисунок).

Одразу після навантаження процент підвищення ХОК у підлітків більший, ніж у дорослих, у два рази. Про це можна судити також за інтенсивністю кровотоку і серцевим індексом (див. рисунок). Це свідчить насамперед про більш виразний феномен Ліндгарда та про те, що в організмі підлітка під час утримання штанги вагою 0,7 кг/кг здійснюються зрушення, які ускладнюють своєчасну доставку кисню до тканин.

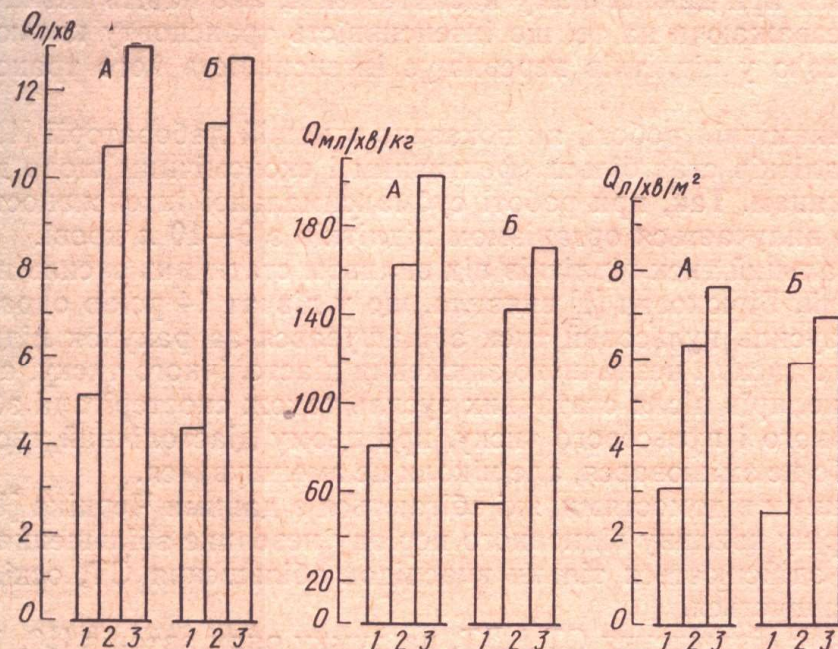
Крім того, збільшення систолічного і хвилинного об'ємів крові, а також підвищення серцевого індексу та інтенсивності кровообігу в післяробочому періоді можуть свідчити про наявність в організмі неусунених продуктів метаболізму. Одразу після утримання штанги кровообіг виявляється більш ефективним, ніж при статичних зусиллях, що відбувається, можливо, завдяки вазодилатації, про яку можна судити за збільшенням пульсового тиску.

Оскільки одразу після статичних зусиль оксигенація артеріальної крові у підлітків підвищилась на 2—3%, то вміст кисню в артеріальній крові також збільшувався в порівнянні з спостережуваним під час вправ.

В результаті підвищення ХОК і вмісту кисню в артеріальній крові кількість кисню, що транспортується артеріальною кров'ю, у першу хвилину відновного періоду у підлітків збільшувалась на 26% у порівнянні

з показниками, спостережуваними при статичних зусиллях, і становила $2,4 \pm 0,68$ л/хв, що в 2,2—2,4 рази вище, ніж у спокої.

Оскільки процент утилізації кисню з артеріальної крові одразу після статичних зусиль не збільшувався, а гемодинамічний еквівалент був приблизно таким самим, як при утриманні штанги, і становив $20,5 \pm 0,51$, то



Хвилинний об'єм крові у підлітків (А) і чоловіків (Б) в умовах спокою (1), при статичних зусиллях (2) і в першу хвилину відновного періоду (3).

ї ефективність утилізації кисню тканинами у підлітків одразу після статичних зусиль не підвищувалась, хоч кисневий пульс незначно збільшувався у порівнянні з спостережуваним при утриманні штанги.

Кількість кисню, що виноситься від тканин до легень змішаною венозною кров'ю, при статичних зусиллях у підлітків збільшувалась понад два рази і становила $1,4 \pm 0,32$ л/хв. Одразу після статичних зусиль швидкість транспорту кисню змішаною венозною кров'ю ще більше прискорюється і досягає $1,8 \pm 0,63$ л/хв.

Все це вказує на те, що транспорт кисню кров'ю в магістральних судинах під час статичних зусиль у підлітків виявляється більш ніж достатнім, оскільки в змішаній венозній крові залишається ще великий резерв невикористаного тканинами кисню. Крім того, помітне збільшення транспорту кисню змішаною венозною кров'ю є наслідком зниження ефективності кровотоку щодо постачання тканин киснем, а також зменшення утилізації кисню з крові.

Це дозволяє також говорити про те, що кровообіг у підлітків при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг виявляється менш ефективним, ніж у спокої.

Аналіз напруження кисню в крові показує, що при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг у підлітків напруження кисню в змішаній венозній крові практично не змінюється (див. табл. 3). Водночас статичні зусилля приводять до зниження напруження кисню в артеріальній крові, що викликає зменшення артеріовенозного градієнта pO_2 , що спричиняється до зниження утилізації кисню з крові.

Одержані дані посередньо можуть свідчити про те, що загальна дифузійна поверхня для переходу кисню в тканини при виконанні близькограничних статичних зусиль зменшується внаслідок можливих перетискань капілярів напруженими м'язами, тому кількість кисню, що переходить у тканини, виявляється невеликою.

Таблиця 3

Напруження кисню в артеріальній і змішаній венозній крові у підлітків при утриманні штанги вагою 0,7 кг/кг і в найближчому відновному періоді ($M \pm m$)

Показники	Спокій	Статичні зусилля	Перша хвилина відновного періоду
PaO_2 мм рт. ст.	$84,0 \pm 0,97$	$69,8 \pm 0,71$	$84,0 \pm 2,07$
PvO_2 мм рт. ст.	$35,9 \pm 0,43$	$35,5 \pm 0,35$	$36,0 \pm 0,46$

У дорослих кількість кисню, який переходить у тканини, під час утримання однакового за інтенсивністю вантажу виявляється більшою завдяки більшій загальній дифузійній поверхні і вищого артеріо-венозного градієнта pO_2 . Очевидно, тому післяробоче підвищення споживання кисню у дорослих менш виразне, ніж у підлітків.

Висновки

1. При виконанні близькограничних статичних зусиль інтенсивність кровотоку підлітків виявляється більшою, ніж у осіб середнього віку.
2. Посилення кровотоку у підлітків здійснюється більшою мірою, ніж у дорослих осіб, за рахунок почастищення серцевих скорочень, ніж систолічного об'єму.
3. В першу хвилину відновного періоду хвилинний об'єм крові у підлітків підвищується більшою мірою, ніж у дорослих осіб.
4. Збільшення транспорту кисню змішаною венозною кров'ю, незнижуваний вміст і напруження кисню змішаної венозної крові у підлітків приводить до невеликої утилізації кисню з крові, до більшого резерву кисню і свідчить про те, що при статичних зусиллях кровопостачання тканин, тобто тканинний кровотік (а не магістральний), є фактором, що обмежує споживання кисню тканинами.

Література

1. Бирюкович А. А.— Влияние статич. усилий на артер. кров. давл. девочек 8—14 лет. Автореф. дисс., М., 1951.
2. Волькина Т. П.— Матер. к характ. физиол. сдвигов у подростков при различ. физич. нагрузках. Автореф. дисс., Свердловск, 1967.
3. Городниченко Э. А.— Развитие выносл. к статич. мышечн. усилиям у детей школьного возраста в процессе физич. воспитания. Автореф. дис., М., 1965.
4. Колчинская А. З.— В кн.: Кислород. режимы организма ребенка и подростка, К., 1973.
5. Лауер Н. В., Колчинська А. З.— Фізіол. журн. АН УРСР, 1965, 11, 3, 289.
6. Лауэр Н. В., Колчинская А. З.— В кн.: Кислород. режимы организма и его регулир., К., 1966, 3.
7. Летунов С. П., Мотылянская Р. Е.— В кн.: Врач. контроль в физич. воспит., М., 1951, 229.
8. Лукашук Ю. К., Дорофеев В. Ф.— Терапия и практика физ. культуры, 1967, 9, 53.
9. Міщенко В. С., Гуняді Б. К.— Фізіол. журн. АН УРСР, 1970, 16, 6, 774.
10. Могендович М. Р.— Моторно-виспер. и позна-вегет. рефлексy, Пермь, 1965, 5.
11. Навратил М., Кадлец К., Даум С.— Патофизиол. дыхания, М., 1967, 206.

12. Парин В. В.— В кн.: Современ. методы опред. МОК и их примен. в клинике, Свердловск, 1935.
13. Степанов Ю. В.— Физиол. журн. АН УРСР, 1973, 19, 3, 350.
14. Филатова В. Ф.— Возраст. измен. физиол. функций у школьников при различ. сочетаниях статич. усилий и динамич. работы. Автореф. дисс., 1967.
15. Хренов И. И.— В кн.: Минутный объем сердца при воздействии тепла на организм, Свердловск, 1946, 91.
16. Цейтловский С. Х.— К вопросу о диагностич. знач. отрицат. фазы пульса. Автореф. дисс., Пермь, 1965.
17. Черник Е. С.— Развитие выносл. к статич. усилиям детей и подростков (3—17 лет). Автореф. дисс., М., 1962.
18. (Bailey N.) Бейли Н.— Статич. методы в биол., М., 1962.

Надійшла до редакції
10.XII 1973 р.

ON CERTAIN PARAMETERS OF HEMODYNAMICS AND BLOOD OXYGEN TRANSPORT FUNCTION IN TEEN-AGERS UNDER STATIC LOADING

Yu. V. Stepanov

*Institute of Physical Culture, Kiev,
Laboratory of Physiology of Human Respiration, the A. A. Bogomoletz Institute
of Physiology, Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev*

Summary

Changes are shown in the minute and stroke blood volume, peculiarities are found in oxygen transport by arterial and venose blood. The quantitative comparisons between the oxygen transport by blood and its uptake by the tissues are performed for teen-agers under the near-limit static loading and in the next restoration period after it. The studies conducted showed that under the near-limit loading (0.7 kg/kg) blood-flow in teen-agers increases more intensively than in person of middle age. However the efficiency of blood circulation as to the tissue supply with oxygen in the teen-agers drops both under static loading and in the first minute of the restoration period.