

girls of the experimental and control groups. The best energy potential of the body of adolescents with scoliosis in comparison with almost healthy adolescents persists since childhood.

The Robinson index increased while physical activity, with a statistically significantly higher index in the experimental group of girls compared to male adolescents. The same tendency was found both during the first and the second rest.

The highest maximum stroke volume of blood at rest was found in adolescent girls with scoliosis. Moreover, this indicator statistically significantly exceeded both the corresponding value in boys with scoliosis and the stroke volume of blood in almost healthy boys and girls.

The value of minute volume of blood at rest and during the first and second rest was not significantly different among almost healthy children aged 11-14 years compared with their peers with scoliosis. During physical exercises a statistically significant lower value of minute blood volume was observed only in adolescent girls with scoliosis compared to adolescent boys in the study group.

Conclusions. Thus in the result of our study it was found that children with scoliosis are behindhand their almost healthy peers in terms of autonomic nervous function and cardiorespiratory systems. Myocardial oxygen demand at rest, during physical activity and during restitution was lower in scoliosis children than in practically healthy ones. The Kerdo index in children with scoliosis before, during and after exercises was higher than in practically healthy ones. Children with scoliosis had lower Robinson's index.

Prospects for further research were to study the dynamics of autonomic nervous and cardiorespiratory function in adolescents aged 15-17 years with scoliosis compared with their relatively healthy peers from secondary school.

Key words: children 11-14 years old, scoliosis, vegetative nervous system, cardiorespiratory system.

*Рецензент – проф. Міщенко І. В.
Стаття надійшла 30.09.2019 року*

DOI 10.29254/2077-4214-2019-4-1-153-358-363

УДК 612.13+612.213+612.223.11

Завгородня В. А.

ЗМІНИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ПРИ ГІПОКАПНІЇ ДИХАННЯ У МОЛОДИХ ЧОЛОВІКІВ З РІЗНИМ ВИХІДНИМ РІВНЕМ PetCO_2

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького (м. Черкаси)

victoria_myronyuk@ukr.net

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Дана робота є фрагментом НДР за темою «Вплив гіпо- та гіперкапнії на функціональний стан серцево-судинної системи людини», № державної реєстрації 0116U003829.

Вступ. Гіпервентиляція – це стан газообміну, при якому об'єм легеневої вентиляції надлишковий по відношенню до певних потреб організму, що призводить до зниження CO_2 в артеріальній крові – викликає гіпокапнію. У здорових людей вона має виражене пристосувальне значення і є компенсаторною реакцією системи дихання. Останнім часом, у зв'язку зі збільшенням стресового впливу, гіпервентиляція стала одним з факторів, який супроводжує сучасне життя [1]. Є дані про розвиток гіпервентиляції у спортсменів та у людей при фізичних навантаженнях, під впливом фармакологічних препаратів, що викликає ряд супутніх захворювань. Довільну гіпервентиляцію використовують у хірургічній практиці і акушерстві при проведенні анестезії, застосовують в терапевтичних цілях (для лікування бронхіальної астми, реабілітації при захворюваннях серця та судин тощо) [2,3], призначають у процесі психотерапевтичних сеансів холотропного дихання, в професійній діяльності, під час тренувань для підвищення витривалості та розширення меж адаптаційних можливостей в різних видах спорту [4]. Гіпервентиляційна проба має важливе значення для оцінки адаптаційного резерву організму і виявлення патологій [5], при професійному відборі у сфері трудової діяльності, для оцінки системи дихання в спортивній медицині, у клініці.

Втім аналіз наукової літератури показує, що досліджень індивідуальних особливостей змін гемодинамічних показників при пробах з гіпервентиляцією та після них недостатньо.

Мета дослідження. Проаналізувати індивідуальні зміни центральної гемодинаміки упродовж проби регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків залежно від вихідного рівня PetCO_2 .

Об'єкт і методи дослідження. Вимірювання здійснені на 81 практично здоровому чоловікові віком 18-22 роки. Всі особи брали участь у дослідженні добровільно, за даними медичного обстеження були практично здоровими, не мали гострих та хронічних захворювань. Перед виконанням завдань вони інформувались відносно мети та задач вимірювань, послідовності та змісту тестових навантажень, дали письмовий дозвіл на проведення дослідження та наукове використання їх результатів. За добу до проведення обстежень досліджувані не приймали алкогольних напоїв, кави, збуджуючих чи заспокійливих засобів, не мали великих емоційних та фізичних навантажень.

Дослідження здійснено в умовах наближених до стану основного обміну з 8 до 11 години, з дотриманням вимог біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини і біомедицини (1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участі людини (1994-2008 рр.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р.

Реоплетизмограму грудної клітки реєстрували на реографі XAI-медика standard (XAI-medica, Харків, Україна), капнограму – у боковому потоці на капнографі DATEX NORMOCAP (Datex, Finland), кардіоінтервалограму – кардіодатчиком Polar W.I.N.D. Link, приймачем Polar Wearlink W.I.N.D у програмі Polar Protrainer 5.0 (Polar ElectroOY, Finland). Систолічний та діастолічний артеріальний тиск вимірювали аускультативним методом Короткова ртутним тонометром (Riester, Germany).

Вимірювання здійснювали 5 хвилин у спокої сидячи після 10-хвилинного відпочинку, упродовж 10 хвилин регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину та 40 хвилин відновного періоду після тесту.

За капнограмою оцінювали рівень CO₂ в кінці видиху (PetCO₂) [6]. Розрахунок середнього артеріального тиску (AP_m) здійснювали за формулою Niskkam [7]. Показник ударного об'єму крові – за формулою W.G. Kubicek [8]. Тривалість періоду напруження, періоду вигнання, серцевий індекс (CI), загальний периферичний опір (ЗПО) та об'ємну швидкість викиду (ОШВ) розраховували по загальноприйнятих методиках [9]. Індекс напруги (ІНМ) – як співвідношення періоду напруження та періоду вигнання у відсотках.

Реактивність фізіологічних показників оцінювали як різницю між їх рівнем при експериментальних впливах та у фоні. Статистичний аналіз у зв'язку з нормальністю розподілу вибірок здійснювали параметричними методами. Розраховували середні значення та їх помилки. Вірогідність відмінностей оцінювали за t-критерієм Student's для групових та парних порівнянь у програмі Statistica for Windows 5.0 [7].

Результати дослідження та їх обговорення.

При гіпервентиляції спостерігається суттєве зниження PetCO₂ у всіх вимірюваних в середньому з 40,12±0,361 мм рт.ст. до 18,59±0,542 мм рт.ст. (p<0,001). Після закінчення проби цей показник відновлювався, але навіть на 40 хвилині був вірогідно нижчим за фон (37,26±0,404 мм рт.ст., p<0,001). При пробі протягом 10 хвилин вірогідно знижувались тривалість R-R інтервалів (з 886±16,1 до 771±14,9 мс, p<0,001) та загальний периферичний опір судин (з 1821±72,3 до 1559±45,4 дін·с⁻¹·см⁻⁵, p<0,001). Разом з цим збільшувався серцевий індекс (з 2,32±0,07 до 2,64±0,07, p<0,001), що збігається з літературними даними [10]. У період відновлення вірогідним було тільки збільшення тривалості R-R інтервалів максимально на 20-й хвилині (до 959±16,9, p<0,01). Пояснити такі зміни можна впливом як форсованих дихальних рухів на повернення крові до серця [11] та, за рахунок механізму Франка-Старлінга, збільшення серцевого викиду і синхронізацією їх з ЧСС – з одного боку. З іншого – за літературними даними [12] CO₂ впливає на тонус судин двояко: при безпосередній дії на гладком'язові клітини – CO₂ вазодилататор (при гіпокапнії – вазоконстриктор), але на системному рівні – вазоконстриктор (при гіпокапнії спо-

стерігається дилатація). В даному випадку більш вражені при пробі є системні впливи.

При аналізі показників кардіодинаміки виявлено, що для досліджуваних даної вибірки характерна зміна тривалості окремих фаз серцевого циклу: тривалість періоду напруження та вигнання достовірно збільшуються після проби вже на 5 хвилині відновлення, така тенденція простежується до 40 хв (період напруження змінювався з 0,132±0,002 до 0,138±0,002 с; період вигнання – з 0,246±0,006 до 0,269±0,008 с, p<0,01). При аналізі ОШВ та ІНМ статистично значущих даних під час гіпервентиляції не виявлено, хоча спостерігається їх зниження. В період відновлення на 5 і 10 хвилині відповідно зменшення цих показників достовірне (ОШВ: з 243,88±6,54 до 229,58±6,48 мл·с⁻¹ (p<0,05); ІНМ: з 35,27±0,55 до 33,92±0,66 %, p<0,05).

Відомо, що період напруження є дуже важливою та інформативною складовою частиною серцевого циклу. Його тривалість не залежить від ЧСС. Цей період поділяють на дві фази: асинхронного скорочення, що характеризує стан обміну речовин у серцевому м'язі, та, у свою чергу, регулює швидкість поширення деполаризації і величину електромеханічної латентності, й ізометричного скорочення – під час якого м'яз витрачає значну кількість енергії, що не використовується для переміщення крові з камери шлуночка до судинної системи, а тому подовження тривалості цієї фази за нормативні межі вважається нерациональним. Вивчення тривалості періоду напруження серцевого циклу також має важливе теоретичне та практичне значення, оскільки здатність серцевого м'яза в широких межах змінювати швидкість зростання тиску обумовлює швидке та повноцінне пристосування міокарду до діяльності в умовах змінних запитів організму.

Період вигнання також відображає систолічну фазу (яка охоплює фазу швидкого вигнання з викидом максимального об'єму крові та фазу повільного вигнання). Упродовж фази швидкого вигнання серцевий м'яз здійснює максимально ефективну механічну роботу із переміщення крові до судинної системи.

Відмічено, що реактивність (зміна показників у порівнянні з фоном) більшості характеристик гемодинаміки при регламентованому диханні та у період відновлення характеризувалась значними

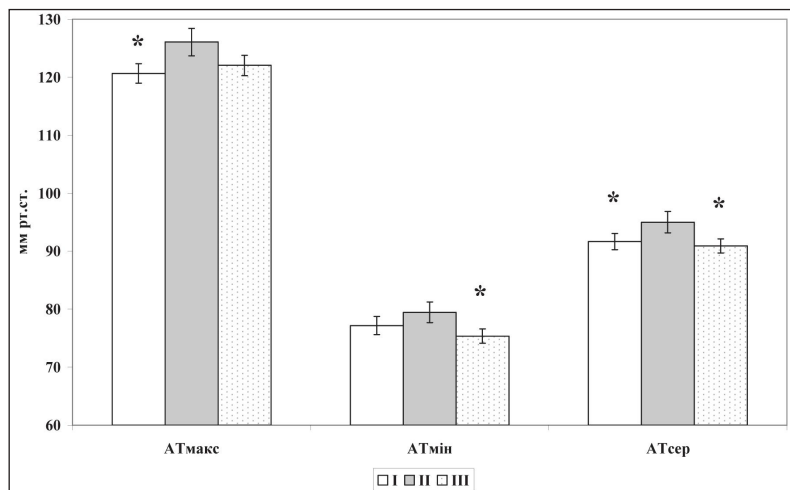


Рисунок – Рівні артеріального тиску у спокої сидячи у осіб з різним рівнем petCO₂ (*- p<0,05 у порівнянні з рівнем II).

Таблиця 1 – Показники центральної гемодинаміки впродовж та після проби регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків при різному вихідному рівні PetCO₂

Групи	Умови				
	Фон	Проба		Відновлення	
		5 хв	10 хв	5 хв	40 хв
t-R-R, мс					
I	848±27,4	740±24,1	754±23,0	897±28,3	895±30,8
II	910±30,7*	745±23,6	781±25,1	954±27,4*	957±32,1
III	890±25,5	717±25,1	769±30,7	924±27,6	916±28,0
VI, мл·м⁻²					
I	32,36±2,42	29,87±1,53	31,45±1,90	31,27±2,20	32,35±2,29
II	37,34±2,89	37,01±2,09	37,53±2,06*	42,33±3,59*	40,62±2,76*
III	34,59±1,84	33,07±1,94	33,59±1,99	33,21±1,68**	35,24±2,30**
CI, л·м⁻²·хв⁻¹					
I	2,23±0,11	2,33±0,10	2,45±0,10	2,05±0,09	2,03±0,09
II	2,40±0,15	2,95±0,16*	2,83±0,14*	2,53±0,17*	2,42±0,13*
III	2,32±0,12	2,71±0,14*	2,65±0,13	2,13±0,11**	2,26±0,13*
ЗПО, дін·с⁻¹·см⁻⁵					
I	1770±90,1	1667±72,6	1596±75,0	1924±100,8	1930±82,6
II	1944±166,6	1513±97,0	1556±90,7	1831±134,4	1849±158,1
III	1739±84,4	1471±61,3*	1504±65,2	1894±74,0	1827±112,7

Примітка: * – p<0,05; ** – p<0,01 у порівнянні з фоном.

індивідуальними особливостями. Одним з чинників цього може бути вихідний рівень PetCO₂. Раніше нами показано, що у досліджуваній групі здорових молодих чоловіків розподіл PetCO₂ в стані спокою був нормальним, тому методом сигмальних відхилень (±0,5σ) виділили три групи: перша група склала 25 осіб, які мали вихідний рівень PetCO₂ до 38,5 мм рт.ст., у II групу ввійшли 28 осіб з фоновим рівнем PetCO₂ 38,5-41,74 мм рт.ст. та III група включала 28 осіб з рівень PetCO₂ у спокої більше 41,74 мм рт.ст. [13].

Дуальність впливу CO₂ на тонус судин може пояснити отримані відмінності у рівнях артеріального тиску у стані спокою в осіб з різним рівнем PetCO₂ (рис.). Так у осіб з середнім рівнем цього показника рівень систолічного, діастолічного і середнього артеріального тиску вищий ніж у осіб крайніх груп.

Виявлено (табл. 1), що найвищі значення досліджуваних показників центральної гемодинаміки спостерігаються у чоловіків II групи. Статистично значущих відмінностей тривалості серцевого циклу при пробі не встановлено. Проте прослідковано незначну тенденцію зменшення t-R-R в усіх групах досліджуваних. Під час відновлення достовірно збільшення цього показника проявляється лише у II групі на 5 хвилині. Можливо, вкорочення t-R-R інтервалів обумовлюється головним чином послабленням імпульсації в гальмуючих серце парасимпатичних нейронах (ефект посилення симпатичної імпульсації приєднається пізніше). Таким чином, при дозованій гіпервентиляції проявляється позитивний хронотропний, що виражається в незначному укороченні періоду напруження на 5 хвилині проби та t-R-R.

При пробі спостерігається зменшення ударного індексу в усіх осіб, однак вкінці тесту виявляється його достовірно збільшення у середній групі, що триває весь період відновлення. Разом з тим CI достовірно збільшується як у II так і у III групі досліджуваних під час проби, а в період відновлення

представники середньої групи показують достовірно збільшення CI, чоловіки III – проявляють його зменшення. Це може свідчити, що досліджувані II групи характеризуються вищою ефективністю роботи серця, так як необхідний рівень хвилинного об'єму крові при гіпервентиляції досягається в більшій мірі за рахунок ударного об'єму, який відображає здатність серцевого м'язу здійснювати корисну роботу, а не за рахунок ЧСС, що є менш економічним [14]. Показано, що під впливом гіпокапнії ЗПО зменшується в усіх обстежуваних, в той час як після тесту не відбувається відновлення цього показника тільки у чоловіків середньої групи навіть до 40 хвилини відновлення. Можливо, збільшення об'єму циркулюючої крові під час навантаження включає компенсаторне зменшення периферичного опору кровотоку.

Один з механізмів зменшення ЗПО при гіпокапнії тісно пов'язаний з оксигенацією тканин і обумовлений ефектом Веріго-Бора, згідно якому зменшення рівня CO₂ в крові посилює енергію зв'язку кисню з гемоглобіном й ускладнює його дифузюю у тканини, що призводить до розширення судин.

За деякими даними [12,15] карбон (IV) оксид впливає на організм двояко: по-перше, безпосередньо діючи на гладком'язові клітини (спостерігається вазодилатація), по-друге, на системному рівні через активацію симпатичної нервової системи – вуглекислий газ є вазоконстриктором. При гіпокапнії спостерігається зниження концентрації йонів H⁺ у плазмі, а оскільки вони з Ca²⁺ конкурентно зв'язуються з білками крові, зниження концентрації H⁺ викликає підвищення кількості зв'язаних йонів Ca²⁺. Вміст їх у плазмі і міжклітинній рідині зменшується, що запобігає констрикції судин та впливає на силу скорочення міокарду [16]. В даній роботі, вважаємо, спостерігаються саме такі механізми.

При аналізі реактивності показників центральної гемодинаміки на початку проби регламентованого дихання було виявлено, що у осіб з середнім та високим вихідним рівнем PetCO₂ реактивність t-R-R та загального периферичного опору була вірогідно більшою ніж у I групі. Так, у чоловіків II групи t-R-R вірогідно знижувалась на 157±23,8 мс (p<0,05), а у досліджуваних III групи на 173±18,8 мс (p<0,05).

При гіпервентиляції найбільше достовірно зниження ЗПО відзначалося у осіб II групи (431±114,9 дін·с⁻¹·см⁻⁵, p<0,05), що простежувалося протягом усього періоду відновлення і наприкінці дослідження становило -95±100,1 дін·с⁻¹·см⁻⁵ (p<0,05). Разом з тим у III групі досліджуваних при пробі спостерігалось зменшення цього показника на 268±71,1 дін·с⁻¹·см⁻⁵ (p<0,05), а на останній хвилині відновлення відбулося вірогідне його збільшення на 88±71,6 (p<0,01).

Під час навантаження виявили також достовірно збільшення реактивності показників серцевого індексу у осіб II групи (на 0,54±0,12 л·м⁻²·хв⁻¹, p<0,05, що простежувалося протягом 40 хв відновлення – 0,02±0,11 л·м⁻²·хв⁻¹, p<0,05) і III групи (0,40±114,9 л·м⁻²·хв⁻¹, p<0,05). Однак у досліджуваних III групи після проби спостерігається достовірно зменшення цього показника на 0,06±0,08 л·м⁻²·хв⁻¹, p<0,05. Найменше

зрушень при вказаних впливах спостерігали у I групі досліджуваних.

Показано (табл. 2), що представники першої групи не мали достовірних відмінностей за досліджуваними показниками кардіодинаміки. У той же час ІНМ та, відповідно, період напруження у чоловіків цієї групи були найвищими. Статистично значуще зменшення ІНМ під час проби та після неї спостерігалось у чоловіків II групи, що можна розцінювати як прояв високих адаптаційних резервів серцево-судинної системи. В крайніх групах виявлялася тенденція до підвищення цього показника.

Об'ємна швидкість викиду у осіб середньої групи достовірно зменшується з 10 хвилини гіпервентиляції та впродовж усього періоду відновлення. Загальновідомим є факт, що при збільшенні ЧСС тривалість серцевого циклу зменшується за рахунок укорочення діастолі, а також загальної паузи. Однак на 5 хвилині гіпервентиляції спостерігається зменшення періоду напруження та вигнання, в той час як на 10 хв проби та після неї збільшення періодів систоли достовірне у II та III групах.

Відмічено, що реактивність більшості характеристик кардіодинаміки при гіпервентиляції характеризувалась груповими відмінностями. Виявлено, що в усіх групах значущих їх змін від фону не спостерігалось за винятком зниження ІНМ в осіб II групи на 1,62±1,05% (p<0,05), що простежується протягом усього періоду відновлення (-2,20±1,02%, p<0,05). Разом з тим вкінці проби та після неї відбувається збільшення цього показника у чоловіків III групи (на 40 хв відновлення реактивність становить 0,03±0,91%, p<0,01), що може свідчити про зменшення функціональних можливостей серця. Після навантаження відмічено достовірне збільшення періоду вигнання у II (0,045±0,015 с, p<0,05) та III (0,008±0,007 с, p<0,01) групах досліджуваних вже на 5 хв відновлення.

Висновки. Реактивність більшості характеристик гемодинаміки при регламентованому диханні характеризувалась значними індивідуальними особливостями, а також залежала від вихідного рівня PetCO₂.

Найвищі значення показників центральної гемодинаміки у фоні спостерігали у чоловіків з вихідним рівнем PetCO₂ 38,5-41,74 мм рт. ст. Так, тривалість R-R інтервалів становила 910±30,7 мс, ударний індекс

Таблиця 2 – Показники кардіодинаміки впродовж та після проби регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків при різному вихідному рівні PetCO₂

Групи	Умови				
	Фон	Проба		Відновлення	
		5 хв	10 хв	5 хв	40 хв
Період напруження, с					
I	0,138±0,004	0,136±0,004	0,139±0,004	0,145±0,005	0,143±0,004
II	0,131±0,003*	0,130±0,003	0,131±0,003*	0,136±0,003*	0,136±0,003*
III	0,128±0,003*	0,127±0,003*	0,130±0,004*	0,137±0,004	0,134±0,003
Період вигнання, с					
I	0,251±0,013	0,233±0,005	0,248±0,010	0,262±0,013	0,259±0,013
II	0,241±0,011	0,242±0,005	0,252±0,005	0,287±0,016	0,280±0,015
III	0,247±0,005	0,240±0,005	0,247±0,005	0,256±0,006**	0,266±0,013
ІНМ, %					
I	35,97±0,96	36,93±0,81	36,04±0,91	36,15±1,07	36,12±1,06
II	35,79±1,14	35,05±0,63*	34,17±0,58*	33,06±1,17*	33,59±1,05*
III	34,14±0,69*	34,74±0,75*	34,53±0,75	34,95±0,79	34,17±1,03
ОШВ, мл·с⁻¹					
I	227,0±9,6	226,5±8,3	223,2±8,3	211,3±8,9	220,0±8,6
II	257,1±12,1*	258,6±13,1*	251,7±12,8*	246,0±12,5*	248,1±11,8*
III	244,6±11,2	240,5±12,0	237,4±12,1	228,3±10,7	231,8±10,7

Примітка: * – p<0,05; ** – p<0,01 у порівнянні з фоном.

дорівнював 37,34±2,89 мл·м⁻², серцевий індекс відповідав 2,4±0,15 л·м⁻²·хв⁻¹, загальний периферичний опір склав 1944±166,6 дін·с⁻¹·см⁵ та об'ємна швидкість викиду – 257,1±12,1 мл·с⁻¹. А також особи цієї групи мали наприкінці проби з гіпервентиляцією найбільшу реактивність параметрів серцевого індексу (0,42±0,10 л·м⁻²·хв⁻¹, p<0,05), загального периферичного опору (388±109,2 дін·с⁻¹·см⁵, p<0,05) та індексу напруження міокарда (1,62±1,05%, p<0,05).

Досліджувані з вихідним рівнем PetCO₂ до 38,5 мм рт. ст. відрізняються найнижчими показниками у фоні: t-R-R інтервалів дорівнювала 848±27,4 мс, ударний індекс становив 32,36±2,42 мл·м⁻², серцевий індекс відповідав 2,23±0,11 л·м⁻²·хв⁻¹ та об'ємна швидкість викиду – 227,0±9,6 мл·с⁻¹. А також у чоловіків цієї групи спостерігається найменше зрушень гемодинамічних показників під впливом гіпокапнії.

Перспективи подальших досліджень. Представлені результати дослідження являються початковою ланкою вивчення впливу гіпокапнії на функціональний стан серцево-судинної системи. В подальшому плануємо визначити її вплив на церебральну гемодинаміку та варіабельність серцевого ритму.

Література

1. Averko NN. Funktsionalnaya serdechno-sosudistaya patologiya. Patologiya krovoobrascheniya i kardiohirurgiya. 2010;2:62-7. [in Russian].
2. Fischer K, Guensch DP, Friedrich MG. Response of myocardial oxygenation to breathing manoeuvres and adenosine infusion. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2015;16(4):395-401. Available from: <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu202>
3. Bisconti AV, Devoto M, Venturelli M, Bryner R, Olfert IM, Chantler PD, et al. Respiratory muscle training positively affects vasomotor response in young healthy women. PLoSOne. 2018;13(9):e0203347. DOI: 10.1371/journal.pone.0203347
4. Tsyunin VV, Drohovor SM, Shtryhol Slu, Shtroblia AL. Bezpechna ta efektyvna alternatyva dopinhu: vykorystannia karboksyterapii v sporti. Farmakolohiia ta likarska toksykolohiia. 2018;1(57):13-20. [in Ukrainian].
5. Hunter CL, Silvestri S, Ralls G, Bright S, Papa L. The sixth vital sign: prehospital end-tidal carbon dioxide predicts in-hospital mortality and metabolic disturbances. Am J Emerg Med. 2014;32(2):160-5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2013.10.049>.
6. Kim KW, Choi HR, Bang SR, Lee JW. Comparison of end-tidal CO₂ measured by transportable capnometer (EMMA™ capnograph) and arterial pCO₂ in general anesthesia. J Clin Monit Comput. 2016;30(5):737-1. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9748-x>
7. Glantz SA. Primer of biostatistics. 7th edition, Mc Graw-Hill: Medical, New York; 2012. 320 p.
8. Kubichek WG, Patterson RP, Wetsol DA. Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1970;2:724-32.
9. Klabunde R. Cardiovascular physiology concepts. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012. 243 p.

10. Oldenburg O, Spießhöfer J, Fox H, Bitter T, Horstkotte D. Cheyne-Stokes respiration in heart failure: friend or foe? Hemodynamic effects of hyperventilation in heart failure patients and healthy volunteers. *Clinical Research in Cardiology*. 2015;104(4):328-33.
11. Zavhorodnia VA, Kovalenko SO, Rybalko AV, Tokar SI. Vplyv dykhannia na kolyvannia trvalosti intervalu RR ta sertsevoho vykydu. *Visnyk Cherkaskoho universytetu*. 2016;1:41-50. [in Ukrainian].
12. Kulykov VP, Kuznetsova DV, Zaria AN. Tserebrovaskuliarnaia y kardiovaskuliarnaia SO₂-reaktyvnost v patoheneze arterialnoi hypertenzyy. *Arterialnaia hypertenziya*. 2017;23(5):433-46. Dostupno: <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2017-23-5-433-446>.-50. [in Russian].
13. Zavhorodnia VA, Kovalenko SO, Kudiy LI. Influence of hyperventilation on the dynamic of Carbon (IV) Oxide in alveolar air. *Cherkasy University Bulletin*. 2018;2:34-9.
14. Kovalenko SO. Rehuliatorni rytmy hemodynamiky ta yikh indyvidualni osoblyvosti u liudei [dysertatsiia]. Cherkasy: Cherk. nats. univ; 2009. 372 s. [in Ukrainian].
15. Yoon SH, Zuccarello M, Rapoport RM. PCO₂ and pH regulation of cerebral blood flow. *Front. Physiol*. 2012;3:365. Available from: <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00365>
16. Makarenkova EA, Malahov MV, Melnikov AA, Vilkul AD. Sravnitelnyy analiz vliyaniya proizvolnoy giperventilyatsii i fizicheskoy nagruzki na funktsiyu ravnovesiya cheloveka. *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik*. 2012;3(4):145-8. [in Russian].

ЗМІНИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ПРИ ГІПОКАПНІЇ ДИХАННЯ У МОЛОДИХ ЧОЛОВІКІВ З РІЗНИМ ВИХІДНИМ РІВНЕМ PetCO₂

Завгородня В. А.

Резюме. Гіпервентиляція – інтенсивне дихання, яке перевищує потреби організму та є причиною виникнення гіпокапнії. Досліджень індивідуальних особливостей змін гемодинамічних показників при пробах з гіпервентиляцією та після них недостатньо, тому проаналізовано зміни центральної гемодинаміки упродовж проби регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків.

У 81 чоловіка визначили рівень PetCO₂ на капнографі Datex Normosar, гемодинамічні показники за допомогою реографа ХАІ-медика (Україна) протягом 5 хвилин у спокої сидячи, упродовж 10 хвилин регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину та 40 хвилин відновного періоду після тесту.

Відмічено, що реактивність більшості характеристик гемодинаміки при регламентованому диханні характеризувалась значними індивідуальними особливостями, а також залежала від вихідного рівня PetCO₂. Найвищі значення показників центральної гемодинаміки у фоні спостерігали у чоловіків з вихідним рівнем PetCO₂ від 38,5 до 41,74 мм рт. ст., також вони мали найбільшу реактивність серцевого індексу та загального периферійного опору при пробі. Досліджувані з низьким вихідним рівнем PetCO₂ до 38,5 мм рт. ст. відрізняються найнижчими показниками та реактивністю.

Урахування індивідуально-типологічних відмінностей чоловіків може підвищити діагностичну цінність методів аналізу та оцінки серцево-судинної системи, а також визначити нові напрямки в профілактичній медицині й медичному страхуванні.

Ключові слова: гіпервентиляція, гіпокапнія, PetCO₂, центральна гемодинаміка, кардіодинаміка.

ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ГИПОКАПНИИ ДЫХАНИЯ У МОЛОДЫХ МУЖЧИН С РАЗНЫМ ИСХОДНЫМ УРОВНЕМ PetCO₂

Завгородня В. А.

Резюме. Гипервентиляция – интенсивное дыхание, которое превышает потребности организма и является причиной возникновения гипоксии. Исследования индивидуальных особенностей изменений гемодинамических показателей при пробах с гипервентиляцией и после них недостаточно, поэтому проанализированы изменения центральной гемодинамики в течение пробы регламентированного дыхания с частотой 30 циклов в минуту у здоровых молодых мужчин.

У 81 человека определили уровень PetCO₂ на капнографе Datex Normosar, гемодинамические показатели с помощью реографа ХАИ-медика (Украина) в течение 5 минут в покое сидя, в течение 10 минут регламентированного дыхания с частотой 30 циклов в минуту и 40 минут восстановительного периода после теста.

Отмечено, что реактивность большинства характеристик гемодинамики при регламентированном дыхании характеризовалась значительными индивидуальными особенностями, а также зависела от исходного уровня PetCO₂. Высокие значения показателей центральной гемодинамики у фоне наблюдали у мужчин с исходным уровнем PetCO₂ от 38,5 до 41,74 мм рт. ст., также они имели наибольшую реактивность сердечного индекса и общего периферического сопротивления при пробе. Исследуемые с низким исходным уровнем PetCO₂ до 38,5 мм рт. ст. отличаются низкими показателями и реактивностью.

Учет индивидуально-типологических различий мужчин может повысить диагностическую ценность методов анализа и оценки сердечно-сосудистой системы, а также определить новые направления в профилактической медицине и медицинском страховании.

Ключевые слова: гипервентиляция, гипоксия, PetCO₂, центральная гемодинамика, кардиодинамика.

CHANGES IN CENTRAL HAEMODYNAMICS IN RESPIRATORY HYPOCAPNIA IN YOUNG MEN WITH DIFFERENT BASELINE PetCO₂

Zavhorodnia V. A.

Abstract. Hyperventilation is an intense breathing that exceeds the needs of the body and causes hypocapnia. There are insufficient studies of the individual features of haemodynamic parameter changes when testing for hyperventilation and after it; therefore, the changes of the central haemodynamics are analyzed while testing the regulated respiration at a rate of 30 cycles per minute in healthy young men.

PetCO₂ level was determined in 81 men on Datex Normocap capnograph; haemodynamic indicators were found with KHAI-medica rheography (Ukraine) for 5 minutes at rest, for 10 minutes of the regulated respiration at a rate of 30 cycles per minute and 40 minutes of recovery period after the test.

The reactivity of most haemodynamics features with the regulated respiration were characterized with significant individual features and depended on baseline PetCO₂.

The highest values of central hemodynamics in the background were observed in the men with baseline PetCO₂ from 38.5 to 41.74 mm Hg. Thus, the duration of the R-R intervals was 910 ± 30.7 ms, the stroke index was 37.34 ± 2.89 ml·m⁻², the cardiac index corresponded to 2.4 ± 0.15 l·m⁻²·min⁻¹, total peripheral resistance was 1944 ± 166.6 dy·s⁻¹·cm⁻⁵ and volumetric emission rate was 257.1 ± 12.1 ml·s⁻¹. At the end of the test with hyperventilation, the persons of this group had the highest reactivity of the parameters of the cardiac index (0.42 ± 0.10 l·m⁻²·min⁻¹, p < 0.05), the total peripheral resistance (388 ± 109.2 dy·s⁻¹·cm⁻⁵, p < 0.05) and myocardial tension index (1.62 ± 1.05%, p < 0.05).

Investigated with an initial level of PetCO₂ up to 38.5 mm Hg. differ in the lowest values in the background: t-R-R intervals were equal to 848 ± 27.4 ms, the shock index was 32.36 ± 2.42 ml·m⁻², the cardiac index corresponded to 2.23 ± 0.11 l·m⁻²·min⁻¹ and the volumetric emission rate is 227.0 ± 9.6 ml·s⁻¹. And also in men of this group the least shifts of hemodynamic parameters under the influence of a hypocapnia are observed.

Thus, the individual and typological differences of the men can increase the diagnostic value of the methods of analysis and evaluation of cardiovascular system and determine new approaches in preventive medicine and health insurance.

Key words: hyperventilation, hypocapnia, PetCO₂, central haemodynamics, cardiodynamics.

*Рецензент – проф. Міщенко І. В.
Стаття надійшла 30.09.2019 року*

DOI 10.29254/2077-4214-2019-4-1-153-363-366

УДК 612.143 + 612.16 + 611.1

Калабухова А. С.

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Сумской государственной педагогический университет имени А. С. Макаренко (г. Сумы)

annakat2000@ukr.net

Связь публикации с плановыми научно-исследовательскими работами. Исследование является частью диссертационной работы и выполнена в рамках научно-исследовательской работы кафедры биологии человека и животных Сумского государственного педагогического университета имени А. С. Макаренко «Адаптационные реакции организма к эндогенным и экзогенным факторам окружающей среды» (№ государственной регистрации 0116U008030).

Вступление. В детском возрасте происходит непрерывный рост и функциональное совершенствование сердечно-сосудистой системы и аппарата ее регуляции.

Изменения ССС характеризуются равномерностью, относительно более медленными темпами увеличения объема сердца по сравнению с суммарным просветом сосудов. Особенно энергичный рост и совершенствование сердце приобретает с 2 до 6 лет. Только к 10-14 годам сердце приобретает такую же форму, что и у взрослого человека [1-3].

Просвет сосудов у детей раннего возраста широк. По ширине артерии равны венам, которые также меняются. У новорождённых стенки сосудов тонкие, в них слабо развиты мышечные и эластические волокна. До 5 лет быстро растет мышечный слой, в 5-8 лет равномерно развиты все оболочки сосудов, к 12 годам структура сосудов у детей такая же, как у взрослых [4].

С возрастом нарастает систолическое артериальное давление, имеется тенденция к повышению диастолического давления. При этом одной из при-

чин сравнительно низкого артериального давления в возрасте 7-10 лет является относительно большой просвет прекапиллярной и капиллярной сети.

Ветви блуждающего нерва заканчивают свое развитие к 3-4 годам. До этого возраста сердечная деятельность регулируется симпатической системой, что объясняет физиологическое учащение сердечного ритма у детей первых 3 лет жизни [2-5].

Так, сердечно-сосудистая система в возрасте 7-10 лет находится в оптимальных условиях: структурное дифференцирование опорной ткани закончено, кровоснабжение вполне удовлетворяет потребности организма, масса сердца растет равномерно [4].

Состояние сердечно-сосудистой системы при различных заболеваниях исследовали: Медведева О. А. (2011), Антонова Ю. О. (2018) [6,с.58], Т. С. Подлевских, И. В. Попова, В. А. Беляков (2010) [7].

Непосредственно состояние сердечно-сосудистой системы у детей изучали О. А. Сытник (2013) [8], Шиян А. В. (2005), Стадник О. С. (2006) [9], Быструшкин С. К. (2006) [10], Тимошенко О. Д. [11], Кузнецов В. И. (2010) [12].

Цель исследования – изучить состояние сердечно-сосудистой системы детей младшего школьного возраста, исследовать их адаптационный потенциал.

Объект и методы исследования. Проведено исследование 1003 детей с первого по пятые классы на базе средней общеобразовательной школы I-III ступеней № 12, 6, 1, 15, 13 и учебно-воспитательного комплекса «Гармония» г. Северодонецк.

Состояние сердечно-сосудистой системы определяли с помощью таких показателей: частота сер-