

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗМІНИ ЦЕРЕБРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ПРИ ГІПОКАПНІЇ ДИХАННЯ У МОЛОДИХ ЧОЛОВІКІВ

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. Церебральний кровотік суворо контролюється, щоб задовольнити високу швидкість метаболізму мозку. Забезпечення авторегуляції головного мозку покладається на стійку цереброваскулярну реакційну здатність, яка відповідає дилатацією та констрикцією на різні зрушення. Так, наприклад, зміни напруження вуглекислого газу, перфузійного тиску, різний вегетативний тонус, вік, фізичні, медичні, неврологічні чи фізіологічні стани однозначно будуть впливати на регуляцію мозкового кровотоку [1,2,3,4].

Відомо про генетичну детермінованість гомеостатичного діапазону цереброваскулярної реактивності. Досліджувалися граничні значення індивідуальної норми, що мають певні генетично встановлені коливання. За літературними даними параметри мозкової гемодинаміки у дорослих віком 21-35 років мають значну індивідуальність [5].

Для визначення цереброваскулярного резерву у наш час застосовують найбільш інформативні функціональні проби: з двоокисом вуглецю (гіперкапнічна проба), з діамоксом та з нітрогліцерином [6]. Проба з двоокисом вуглецю набула найбільшого поширення: найпростіший її варіант – затримка дихання, а більш ускладнений – це інгаляція газовою сумішшю з 5–7 % CO₂. Велике значення в діагностиці уражень мозку має функціональна проба з посиленням глибоким диханням протягом 2-3 хв. (гіпервентиляція) [1,4,5,6]. Є дані про використання посиленої гіпервентиляції у психотерапевтичній практиці [7]. Однак досліджень

впливу гіпервентиляції протягом 10 хвилин на церебральну гемодинаміку надзвичайно мало.

Тому **метою дослідження** було дослідити індивідуальні особливості функціонування стану церебральної гемодинаміки під час регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків.

Об'єкт і методи дослідження. Дослідження проводили серед студентів Черкаського національного університету імені Б. Хмельницького з дотриманням основних біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (від 04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових медичних досліджень за участю людини (1994-2008 рр.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 року. Вимірювання здійснені на 78 чоловіках віком 18-22 роки. Всі особи за даними медичного обстеження були практично здоровими, не мали гострих та хронічних захворювань. За добу до проведення дослідження чоловіки не приймали алкогольних напоїв, кави, збуджуючих чи заспокійливих засобів, не піддавалися впливу великих емоційних та фізичних навантажень.

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

Реоенцефалограму реєстрували на реографі XAI-медика standard (XAI-medica, Харків, Україна) у фронто-мастоїдальному відведенні. При даному розміщенні електродів, реєструються пульсові коливання в басейні внутрішньої сонної артерії. Іншими авторами з'ясовано, що реакції мозкових судин на гіпокапнію у цій зоні більш виражені, ніж у окципіто-мастоїдальній [8].

У програмі автоматично проставляли критичні точки на географічних сигналах. На **рис. 1** показані маркери на сигналі реограми правого фронто-мастоїдального відведення.

Розраховували амплітуду систолічної хвилі реограми (АСХ, маркер С), максимальну швидкість кровонаповнення (Vm), середню швидкість кровонаповнення (Va) та амплітудно-частотний показник (АЧП).

Статистичний аналіз отриманого матеріалу проводили в електронних таблицях Excel-2003. Оскільки спостерігався непараметричний розподіл – розраховували медіани та їх квартилі з визначенням міжгрупових відмінностей за U критерієм Манна-Уїтні та парним W критерієм Вілкоксона. Реактивність фізіологічних показників визначали як зміни у % між їх

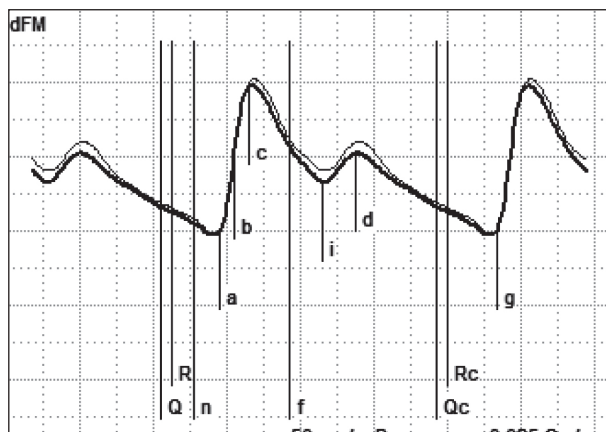


Рисунок 1 – Постановка маркерів на сигналі реограми правого фронто-мастоїдального відведення.

рівнем при експериментальних впливах у порівнянні з фоном.

Результати дослідження та їх обговорення. *Зміни показників реоенцефалограми здорових молодих чоловіків у спокої, при регламентованому диханні з частотою 30 циклів за хвилину та протягом 40 хвилин відновлення.*

Значення показників мозкового кровотоку в спокої у фронтомастоїдальній зоні, отримані нами, подібні до їх рівнів за літературними даними та для даної вікової групи відповідають нормі (табл. 1) [2].

У наших попередніх дослідженнях виявлено [9], що при диханні з частотою 30 циклів за хвилину упродовж 10 хвилин рівень $PetCO_2$ знижується з $40,12 \pm 0,361$ мм рт. ст. до $18,59 \pm 0,542$ мм рт. ст., тобто відмічена виражена гіпокапнія під час проби. Вона проявляється вже при аналізі самопочуття обстежуваних: наприкінці гіпервентиляції всі досліджувані скаржилися на важкість у голові, запаморочення, отерпність кінцівок, головний біль, сонливість, але указані симптоми швидко регресували після припинення гіпокапнії. Втім рівень оксигенації гемоглобіну в артеріальній крові практично не змінювався.

Запис реоенцефалограм здійснювали у положенні сидячи, досліджено, що у такому положенні тіла гомеостатичний діапазон реактивності мозкових судин під час функціональних навантажень є значно ширшим, ніж при дослідженнях у горизонтальному положенні [5].

Проведений аналіз фронтомастоїдальних реоенцефалограм дозволяє установити, що досліджувані показники мозкового кровотоку під час гіпокапнії знижуються, що відповідає літературним даним [3]. Зменшення амплітуди систолічної хвилі (АСХ) свідчить про зниження кровонаповнення судин головного мозку при низькому рівні CO_2 у крові. Це може бути наслідком збільшення тонузу церебральних артерій та зменшення величини ударного об'єму крові. Втім після припинення впливу спостерігається фаза збільшення кровонаповнення у досліджуваних осіб на 20 хвилині відновлення. Звертає на себе увагу широкий розкид АСХ за таких умов (рис. 2). Це може

Таблиця 1 – Зміни показників реоенцефалограми у фронтомастоїдальному відведенні при пробі дихання з частотою 30 циклів за хвилину та у період відновлення після неї (Me, 25%, 75%)

Умови		Показники			
		АСХ, Ом	Vm, Ом·с ⁻¹	Va, Ом·с ⁻¹	АЧП, Ом·с ⁻¹
Фон		0,031 0,023; 0,037	0,634 0,479; 0,736	0,365 0,279; 0,429	0,326 0,266; 0,426
Проба	5'	0,024*** 0,02; 0,029	0,500*** 0,405; 0,611	0,301*** 0,229; 0,354	0,335 0,261; 0,401
	10'	0,024*** 0,019; 0,032	0,500*** 0,399; 0,652	0,285*** 0,213; 0,381	0,307 0,235; 0,437
Відновлення	5'	0,025*** 0,019; 0,032	0,490*** 0,388; 0,626	0,277*** 0,21; 0,353	0,261*** 0,2; 0,332
	10'	0,029 0,024; 0,036	0,590 0,491; 0,706	0,334 0,256; 0,421	0,289*** 0,233; 0,388
	20'	0,032*** 0,025; 0,039	0,659** 0,525; 0,784	0,374** 0,29; 0,447	0,323 0,268; 0,433
	40'	0,031 0,024; 0,039	0,633 0,501; 0,766	0,353 0,268; 0,405	0,328 0,256; 0,41

Примітка. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ у порівнянні з фоном за парними порівняннями за критерієм Wilcoxon.

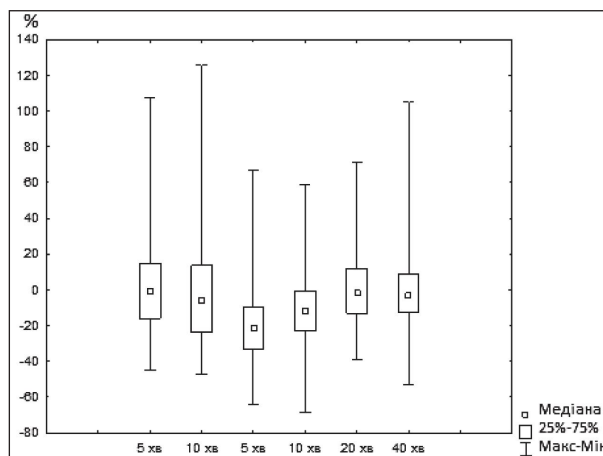


Рисунок 2 – Діаграма розмаху реактивності АСХ при пробі та відновленні.

свідчити про індивідуальні особливості реактивності та відновлення після гіпокапнічної проби.

Максимальна швидкість кровонаповнення судин (Vm) – відношення амплітуди швидкого наповнення до тривалості цього періоду – є показником тонузу, зокрема пружноеластичних властивостей великих магістральних артерій. Зміна цього показника при гіпервентиляції та після неї подібна за динамікою до змін АСХ та свідчить про констрикцію мозкових артерій при зниженні напруження $PetCO_2$. Відновлення їх тонузу проходить поступово після припинення проби і може мати суттєві індивідуальні особливості.

Середня швидкість повільного кровонаповнення (Va) – відношення амплітуди повільного наповнення до тривалості цього періоду – є показником тонузу дрібних артерій та артеріол. При гіпервентиляції також спостерігається зниження Va внаслідок звуження артеріол.

Амплітудно-частотний показник (АЧП) характеризує рівень кровопостачання тканин ділянки тіла з якої знімається реограма, тобто є показником артеріального притоку крові та індикатором швидкості мозкового кровотоку. АЧП під час гіпервентиляції не змінювався, а відразу після проби відбувалось його суттєве зменшення до 10 хвилини відновлення.

Отже кровотік мозку у басейні сонної артерії при гіпокапнії змінюється більш повільно ніж тонуз судин. Після його зменшення наявна фаза зверх відновлення.

Одним з найінформативніших і фізіологічно обґрунтованих показників реограми є коефіцієнт асиметрії, який відображає асиметрію пульсового кровонаповнення внутрішньомозкових судин для правої та лівої півкуль.

Відмічено, що у досліджуваних чоловіків спостерігається міжпівкульна асиметрія кровообігу у даному судинному басейні (табл. 2), а саме підвищене кровонаповнення та менший тонуз артерій лівої півкулі головного мозку. Наприкінці гіпервентиляції відбувається суттєве збільшення різниці тонузу артерій між півкулями. Через 10 хвилин після гіпокапнії реєстрували зменшення відмінностей рівня кровонаповнення церебральних судин у правій і лівій півкулях, а до 40 хвилини відновлення зберігалася суттєва різниця тільки за показником Vm між півкулями проти фону. Достовірних відмінностей різниці тонузу артеріол не спостерігалось.

Таблиця 2 – Відмінності у рівнях показників реоенцефалограми у фронтостастодальному відведенні між правою та лівою півкулею (%) у спокої, при пробі дихання з частотою 30 циклів за хвилину та у період відновлення після неї (Me, 25%, 75%)

Умови		Показники			
		АСХ	Vm	Va	АЧП
Фон		-9,76 -25,00; 4,00	-10,43 -23,31; 1,52	-10,19 -24,85; 4,46	-10,83 -25,71; 4,07
Проба	5'	-10,53 -21,05; 0,01	-12,58 -22,32; 1,07	-12,11 -20,41; -1,50	-9,63 -21,33; -1,26
	10'	-13,64 -22,50; -4,44	-15,20* -26,50; -4,92	-12,37 -26,37; 2,19	-12,36 -23,08; -4,12
Відновлення	5'	-11,76 -24,24; 2,63	-13,78 -23,82; 0,01	-13,41 -28,06; 2,08	-11,98 -23,12; 1,88
	10'	-8,11* -25,00; 0,02	-13,31** -25,38; -1,61	-12,80 -23,94; -0,78	-9,19* -25,89; 1,84
	20'	-12,50 -24,00; 3,13	-15,26 -24,22; 0,62	-10,93 -25,93; -2,62	-12,21 -24,17; 2,92
	40'	-12,16 -26,92; -1,79	-13,82** -23,47; -2,85	-10,21 -22,22; 3,78	-11,43 -26,04; -2,20

Примітка. * – p<0,05; ** – p<0,01 в порівнянні з рівнем у спокої.

Зміни показників реоенцефалограми при регламентованому диханні з частотою 30 циклів за хвилину у молодих чоловіків з різним вихідним рівнем PetCO₂.

Ранегаї зі співавторами встановлено, що PetCO₂ відіграє ключову роль в регулюванні мозкового кровотоку [1]. Відомо, що індивідуальні показники рівня PetCO₂ у спокої можуть бути обумовлені як генетичними особливостями людини, так і впливом середовища. Раніше нами показано, що у досліджуваній групі здорових молодих чоловіків розподіл PetCO₂ в стані спокою був нормальним, тому методом сигмальных відхилень (±0,5σ) виділили три групи: перша – склала 24 особи, які мали вихідний рівень PetCO₂ до 38,5 мм рт. ст., у II групу ввійшли 27 осіб з фоновим рівнем PetCO₂ 38,5-41,74 мм рт. ст. та III група включала 27 осіб з напруженням PetCO₂ більше 41,74 мм рт. ст. [9].

Цікавим було проаналізувати зміни показників церебральної гемодинаміки у досліджуваних чоловіків між групами. Аналіз даних показав наступне (табл. 3). Достовірні відмінності між групами у спокої спостерігалися лише за показником Va у досліджуваних III групи, що свідчить про нижчий тонус дрібних артерій та артеріол у групі чоловіків із високим рівнем PetCO₂ проти осіб з низьким його рівнем.

Цілком ймовірно, що більше напруження CO₂ у крові чоловіків III групи активує вивільнення оксиду азоту з ендотелію судин. Разом з тим стимулом для активації ендотеліальної NOS може бути мобілізація кальцію внаслідок підвищення концентрації H⁺. Відкриття чутливих до АТФ калієвих каналів (K_{ATP}-каналів) викликає гіперполяризацію клітин гладких м'язів судин. Гіперполяризація гальмує потрапляння Ca²⁺ через залежні від напруги Ca²⁺-канали, що призводить до розширення судин. Досліджено, що оксид азоту впливає на цереброваскулярну реактивність CO₂ [10,11].

Відсутність суттєвих різниць між групами у фоні, можливо, пояснюється тим, що мозковий кровотік характеризується відносною стабільністю, оскільки

Таблиця 3 – Зміни показників реоенцефалограми у фронтостастодальному відведенні у спокої, під час дихання з частотою 30 циклів за хвилину та у період відновлення у здорових молодих чоловіків з різним вихідним рівнем PetCO₂ (Me, 25%, 75%)

Групи	Умови		
	Фон	Проба	Відновлення 40 хв
АСХ, Ом			
I	0,029 0,023; 0,033	0,0205 0,0165; 0,0275	0,032 0,024; 0,039
II	0,031 0,023; 0,036	0,022 0,019; 0,03	0,031 0,026; 0,041
III	0,034 0,0235; 0,041	0,0285** 0,0215; 0,0355	0,031 0,0235; 0,038
Vm, Ом·с ⁻¹			
I	0,550 0,469; 0,658	0,447 0,389; 0,617	0,676 0,491; 0,748
II	0,647 0,507; 0,732	0,497 0,440; 0,637	0,630 0,543; 0,786
III	0,693 0,510; 0,747	0,545* 0,469; 0,734	0,584 0,468; 0,766
Va, Ом·с ⁻¹			
I	0,322 0,271; 0,391	0,237 0,205; 0,320	0,352 0,264; 0,407
II	0,365 0,284; 0,426	0,275 0,198; 0,364	0,370 0,268; 0,402
III	0,402* 0,264; 0,460	0,320* 0,234; 0,422	0,331 0,278; 0,494
АЧП, Ом·с ⁻¹			
I	0,314 0,255; 0,421	0,280 0,235; 0,357	0,319 0,267; 0,414
II	0,324 0,276; 0,400	0,318# 0,226; 0,426	0,324 0,252; 0,390
III	0,343 0,260; 0,499	0,414** 0,279; 0,502	0,342 0,238; 0,424

Примітка. * – p<0,05; ** – p<0,01 у порівнянні з I групою; # – p<0,05 у порівнянні II групи з III-ю.

його головне завдання – мінімізувати відхилення циркуляторного гомеостазу головного мозку [2], а різне напруження CO₂ у крові впливає лише на тонус дрібних артерій за умов спокою. Однак, під час гіпервентиляції виявленні вищі значення усіх параметрів у осіб III групи порівняно з I та більший рівень АЧП у чоловіків III групи проти осіб II. Що свідчить про вищі резервні можливості досліджуваних з вищим вихідним рівнем PetCO₂. Достовірних відмінностей між групами протягом усього 40-хвилинного періоду відновлення не знайдено.

Аналіз асиметрії показників церебральної гемодинаміки у здорових молодих чоловіків з різним вихідним рівнем PetCO₂ показав достовірні відмінності між півкулями під час гіпервентиляції. Так, вищий рівень асиметрії АСХ зареєстровано у III групі на 5 хвилині проби (15,96 [-21,53; -6,35] %) проти II (-8,33 [-16,13; 5,00] %, p<0,05) та на 10 хвилині тесту (-16,95 [-26,47; -9,72] %) в порівнянні з I (-7,29 [-19,64; 5,40] %, p<0,05). Також досліджувані III групи відрізнялися більшою асиметрією Va на 5 хвилині гіпервентиляції (-16,87 [-26,15; -4,64] %) ніж особи I групи (-3,75 [-16,15; 2,57] %, p<0,01) та на 5 хвилині відновлення (-22,04 [-31,36; -5,74] %) проти II групи (-7,64 [-24,52; 12,62] %, p<0,05). За асиметрією АЧП особи з високим рівнем PetCO₂ відрізняються вищими значеннями

ми (-16,51 [-23,25; -5,77] %) проти чоловіків із середнім його рівнем (-8,48 [-17,21; 5,05] %, $p < 0,05$) на 5 хвилині гіпокапнії. Тобто певна різниця між групами у кровонаповненні церебральних судин правої і лівої півкулі виникає тільки при гіпервентиляції та регресує через короткий час після її завершення.

Достовірні відмінності реактивності показників церебральної гемодинаміки між групами відмічено тільки у період відновлення після гіпервентиляції. Так, у чоловіків III групи спостерігалось зменшення АСХ на 4,95 (-13,51; 8,71) %, на відмінно від осіб I та II груп, де відзначено збільшення цього показника на 10,81 (-3,03; 21,95) % і 12,00 (-1,89; 16,67) % відповідно ($p < 0,05$) на 40 хвилині відновлення. Подібна тенденція спостерігається при аналізі реактивності V_m між групами: у досліджуваних з високим рівнем $PetCO_2$ відбувається його зниження на 3,64 (-19,53; 4,98) %, а у I групі зареєстровано підвищення V_m на 13,14 (0,25; 19,40) % за таких же умов ($p < 0,001$). Реактивність V_a зменшувалась на 3,20 (-8,14; 10,50) % у III групі, а у I – спостерігалось її збільшення на 19,45 (-1,49; 25,63) % ($p < 0,01$) тільки на 20 хвилині відновлення. Також у осіб III групи відзначено зменшення АЧП на 10 хвилині відновлення на 14,32 (-28,84; -5,86) % порівняно з II групою (-5,57 [-19,38; 3,09] %, $p < 0,01$).

Зміни показників реоенцефалограми при регламентованому диханні з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків з різним вихідним рівнем вегетативного тонусу.

Відомо, що стан серцево-судинної системи тісно пов'язаний зі станом вегетативної нервової системи. Взаємодія серцево-судинної та нервової систем визначає характер розвитку подальших адаптаційних реакцій. Активність нейровегетативних реакцій відображається функціональним станом серцево-судинної системи, який характеризує адаптаційну активність організму в цілому [12]. Але навіть у сучасних працях впливи вегетативної нервової системи на стан церебрального кровообігу залишаються чітко не визначеними.

Тому виникає питання, які зміни мозкового кровотоку спостерігаються у групах з різним рівнем вегетативного тонусу. Так як за 5-хвилинними записами кардіоінтервалограм у спокої та при експериментальних впливах оцінювали показник нормалізованої потужності спектру в діапазоні 0,15 – 0,4 Гц (HF_{norm}), який відображає рівень вагосимпатичного балансу [13]. За розподілом цього показника у спокої методом сигнальних відхилень виділили три групи осіб: симпатотоніки (I, $n=23$) до 40 у.о., нормотоніки (II, $n=30$) від 40 до 60 у.о. та парасимпатотоніки (III, $n=25$) від 60 у.о.

Так, ще у стані спокою у нормотоніків відмічено вищі значення АСХ, V_m та V_a проти симпатотоніків (табл. 4).

Це свідчить про вищий рівень кровонаповнення та менший опір судин у осіб II групи порівняно з іншими. У ваготоніків також відзначено нижчий опір артерій та артеріол, ніж у симпатотоніків. Достовірних різниць показників між нормотоніками та ваготоніками не виявлено. Як при гіпокапнії, так і під час 40 хв відновлення спостерігалась подібна тенденція – достовірно вищі значення усіх досліджуваних показників відмічено у II групі обстежуваних.

Таблиця 4 – Зміни показників реоенцефалограми у фронтостастодальному відведенні у спокої, під час дихання з частотою 30 циклів за хвилину та у період відновлення у здорових молодих чоловіків з різним вихідним рівнем вегетативного тонусу (Me, 25%, 75%)

Групи	Умови			
	Фон	Проба	Відновлення 20 хв	Відновлення 40 хв
АСХ, Ом				
I	0,024 0,018; 0,034	0,020 0,016; 0,025	0,027 0,018; 0,036	0,025 0,020; 0,033
II	0,031** 0,025; 0,037	0,027** 0,020; 0,035	0,032** 0,029; 0,042	0,033** 0,028; 0,041
III	0,033 0,024; 0,036	0,025* 0,021; 0,032	0,034 0,026; 0,039	0,030 0,026; 0,039
V_m , Ом·с ⁻¹				
I	0,502 0,375; 0,636	0,411 0,375; 0,590	0,542 0,384; 0,678	0,556 0,440; 0,656
II	0,648** 0,507; 0,767	0,534** 0,449; 0,771	0,679* 0,595; 0,846	0,676** 0,559; 0,803
III	0,667* 0,556; 0,739	0,527 0,465; 0,673	0,688 0,502; 0,842	0,668* 0,445; 0,791
V_a , Ом·с ⁻¹				
I	0,290 0,194; 0,367	0,227 0,190; 0,285	0,314 0,232; 0,398	0,303 0,210; 0,404
II	0,387*** 0,297; 0,437	0,298** 0,228; 0,401	0,380*** 0,332; 0,507	0,370 0,288; 0,423
III	0,381* 0,284; 0,429	0,309 0,212; 0,372	0,406 0,285; 0,478	0,365 0,276; 0,419
АЧП, Ом·с ⁻¹				
I	0,300 0,244; 0,426	0,284 0,218; 0,327	0,286 0,232; 0,426	0,280 0,237; 0,387
II	0,359 0,288; 0,446	0,353* 0,242; 0,460	0,347* 0,294; 0,474	0,366* 0,295; 0,429
III	0,312 0,266; 0,395	0,318 0,224; 0,431	0,294 0,249; 0,405	0,317 0,235; 0,402

Примітка. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ у порівнянні з I групою.

Між групами з різним рівнем вегетативного тонусу не виявлено різниці міжпівкульної асиметрії кровонаповнення у даному судинному басейні.

Достовірні відмінності реактивності показників між групами зареєстровано лише за АЧП на 20 хвилині відновлення. Так, у симпатотоніків відбувалося зниження цього показника на 10,41 (-15,90; 11,79) %, а нормотоніки характеризувалися його підвищенням на 2,06 (-6,04; 11,81) % ($p < 0,05$).

Висновки

1. Під впливом гіпокапнії дихання спостерігали збільшення тонусу артеріальних судин та зменшення кровонаповнення басейну сонної артерії головного мозку. Проба з гіпервентиляцією провокує появу міжпівкульної асиметрії, особливо, тонусу артерій.

2. Під час гіпокапнії дихання та у 40-хвилинний період відновлення спостерігали суттєві індивідуальні особливості реакцій мозкового кровообігу у різних осіб.

3. Серед досліджуваних з різним вихідним рівнем $PetCO_2$ виявлено, що особи з високим його рівнем під час гіпокапнії відрізняються вищим рівнем кровонаповнення та нижчим тонусом церебральних судин. Певні відмінності між групами у кровонаповненні церебральних судин правої і лівої півкулі виникають тільки при гіпервентиляції та синхронізм

відновлюється через короткий час після її завершення. Різницю реактивності показників церебральної гемодинаміки між групами відмічено тільки у період відновлення після гіпервентиляції.

4. У осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тонусу відзначено вищі значення кровонаповнення та нижчі показники тонусу судин у нормотоніків у спокої, під час гіпервентиляції та протягом 40-хвилин відновлення. Між групами не виявлено різниці

міжпівкульної асиметрії кровонаповнення у даному судинному басейні.

Перспективи подальших досліджень. Представлені результати дослідження являються частиною вивчення впливу різної концентрації CO₂ на функціональний стан серцево-судинної системи. В подальшому плануємо визначити вплив гіперкапнії на гемодинаміку молодих чоловіків.

Література

1. Panerai RB, Robinson TG, Minhas JS. The upper frequency limit of dynamic cerebral autoregulation. *J Physiol*. 2019;597(24):5821-33. DOI: 10.1113/JP278710
2. Spitsin AP, Kushkova NE, Pershina TA. Pokazateli reoentsefalogrammy u studentov s semeynoy otyagoschennostyu po arterialnoy gipertenzii v usloviyah stressa. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*. 2016;3(51):30-3. [in Russian].
3. Kamanina TV, Zayneeva RSh, Platonov AS, Balyikin MV. Reaktivnost tserebralnykh sosudov pri gipoksii i gipokapnii u lits zrelogo vozrasta. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2012;4:94-101. [in Russian].
4. Kleschenogov SA, Mandrova RR. Giperventilyatsiya kak funktsionalnyy test dlya prognozirovaniya techeniya i ishodov beremennosti (obzor literatury). *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (Tomsk)*. 2012;27(3):28-36. [in Russian].
5. Volianskiy OM. Vyznachennia indyvidualnoi normy tserebralnoi hemodynamiky u liudyny. *Fiziologichnyi zhurnal*. 2004;50(6):101. [in Ukrainian].
6. Sysun LA. Mozhlyvosti transkraniialnoi dopplerohrafii dlia otsinky tserebrovaskuliarnoho rezervu sudyn holovnoho mozku (ohliad literatury ta vlasni dani). *Ukrainskiy radiologichnyi zhurnal*. 2014;22(3):34-7. [in Ukrainian].
7. Grof S, Grof K. Holotropnoe dyhanie. *Novyyi podhod k samoissledovaniyu i terapii*. Litres; 2017. 239 s. [in Russian].
8. Kamanina TV, Zayneeva RSh, Zharkov AV, Balyikin YuM. Vliyaniye preryivistoy normobaricheskoy gipoksii na reaktivnost tserebralnykh sosudov u lits zrelogo vozrasta. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*. 2013;29:131-40. [in Russian].
9. Zavhorodnia VA, Kovalenko SO, Kudii LI. Vplyv hiperventilyatsii na dynamiku rivnia karbon (IV) oksydu v alveoliarnomu povitri. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriya: Biologichni nauky*. 2018;2:34-9. [in Ukrainian].
10. Maron BA, Michel T. Subcellular localization of oxidants and redox modulation of endothelial nitric oxide synthase. *Circulation Journal*. 2012;76(11):2497-512. DOI: 10.1253/circ.cj-12-1207
11. Qian J, Fulton D. Post-translational regulation of endothelial nitric oxide synthase in vascular endothelium. *Front. Physiol*. 2013;4:347. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00347>
12. Borzenkova LM. Kliniko-funktsionalni osoblyvosti riznykh stadii khronichnoho porushennia mozkovoho krovoobihu. *Liky Ukrainy*. 2012;3-4(2):86-8. [in Ukrainian].
13. Malik M, Hnatkova K, Huikuri HV, Lombardi F, Schmidt G, Zabel M. CrossTalk proposal: heart rate variability is a valid measure of cardiac autonomic responsiveness. *J Physiol*. 2019;597(10):2595-8. DOI: 10.1113/JP277500

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗМІНИ ЦЕРЕБРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ПРИ ГІПОКАПНІЇ ДИХАННЯ У МОЛОДИХ ЧОЛОВІКІВ

Завгородня В. А., Вітько С. М., Шестеріна Д. В.

Резюме. Рівень CO₂ відіграє ключову роль в регулюванні мозкового кровотоку. Тому широко досліджуються гіпокапнічні впливи для визначення цереброваскулярної реактивності при гіпервентиляції. Однак досліджень індивідуальних особливостей таких змін мало. Тому метою дослідження було дослідити індивідуальні особливості функціонування стану церебральної гемодинаміки під час регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину у здорових молодих чоловіків.

Було проведено реєстрацію реоентцефалограм на реографі XAI-медика standard (XAI-medica, Харків, Україна) у фронто-мастоїдальному відведенні у 78 чоловіків віком 18-22 роки.

Під впливом гіпокапнії дихання спостерігали збільшення тонусу артеріальних судин та зменшення кровонаповнення у басейні сонної артерії головного мозку. Проба з гіпервентиляцією провокує появу міжпівкульної асиметрії, особливо, тонусу артерій.

Під час тесту та у 40-хвилинний період відновлення спостерігали суттєві індивідуальні особливості реакцій мозкового кровообігу. Серед досліджуваних з різним вихідним рівнем PetCO₂ виявлено, що особи з високим його рівнем під час гіпокапнії відрізняються вищим рівнем кровонаповнення та нижчим тонусом церебральних судин. Певні відмінності між групами у кровообігу правої і лівої півкулі виникають тільки при гіпервентиляції. Різницю реактивності показників церебральної гемодинаміки між групами відмічено лише у період відновлення після гіпокапнії.

У осіб з різним вихідним рівнем вегетативного тонусу відзначено вищі значення кровонаповнення та нижчі показники тонусу судин у нормотоніків у спокої, під час гіпервентиляції та протягом 40-хвилин відновлення.

Отже, зміни у церебральному кровообігу при гіпокапнії дихання та у період відновлення після неї залежать від вихідного рівня PetCO₂ та вегетативного тонусу.

Урахування індивідуально-типологічних відмінностей чоловіків може підвищити діагностичну цінність методів аналізу та оцінки церебрального кровотоку, а також визначити нові напрямки в профілактичній медицині.

Ключові слова: церебральний кровотік, вегетативний тонуc, PetCO₂, гіпервентиляція, гіпокапнія.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ ПРИ ГИПОКАПНИИ ДЫХАНИЯ У МОЛОДЫХ МУЖЧИН

Завгородняя В. А., Витько С. М., Шестерина Д. В.

Резюме. Уровень CO_2 играет ключевую роль в регулировании мозгового кровотока. Поэтому широко исследуются гипокапнические влияния для определения цереброваскулярной реактивности при гипервентиляции. Однако исследований индивидуальных особенностей таких изменений мало. Поэтому целью исследования было установить индивидуальные особенности функционирования состояния церебральной гемодинамики во время регламентированного дыхания с частотой 30 циклов за минуту у здоровых молодых мужчин.

Была проведена регистрация реоэнцефалограмм на реографе XAI-медика standard (XAI-medica, Харьков, Украина) во фронтально-мастоидальном отведении в 78 мужчин возрастом 18-22 года.

Под воздействием гипокапнии дыхания наблюдали увеличение тонуса артериальных сосудов и уменьшение кровенаполнения в бассейне сонной артерии головного мозга. Проба с гипервентиляцией провоцирует появление межполушарной асимметрии, особенно, тонусу артерий.

Во время теста и в 40-минутный период возобновления наблюдали существенные индивидуальные особенности реакции мозгового кровообращения. Среди исследуемых с разным исходным уровнем PetCO_2 выявлено, что лица с высоким его уровнем во время гипокапнии отличаются высшим уровнем кровенаполнения и низким тонусом церебральных сосудов. Определенные отличия между группами в кровообращении правого и левого полушария возникают только при гипервентиляции. Разница реактивности показателей церебральной гемодинамики между группами отмечена лишь в период возобновления после гипокапнии.

У лиц с разным исходным уровнем вегетативного тонуса отмечены высшие значения кровенаполнения и низшие показатели тонуса сосудов у нормотоников в покое, во время гипервентиляции и в течение 40-минут после пробы.

Следовательно, изменения церебрального кровообращения при гипокапнии дыхания и в период возобновления после нее зависят от исходного уровня PetCO_2 и вегетативного тонуса.

Учет индивидуально-типологических различий мужчин может повысить диагностическую ценность методов анализа и оценки церебрального кровотока, а также определить новые направления в профилактической медицине.

Ключевые слова: церебральный кровоток, вегетативный тонус, PetCO_2 , гипервентиляция, гипокапния.

INDIVIDUAL CHANGES IN CEREBRAL HEMODYNAMICS WITH HYPOCAPNIA BREATHING IN YOUNG MEN

Zavhorodnia V. A., Vitko S. M., Shesterina D. V.

Abstract. The level of CO_2 plays a key role adjusting of cerebral blood stream. Therefore, hypocapnic effects are widely studied to determine cerebrovascular reactivity in hyperventilation. However, studies on the individual features of such changes are scarce. Therefore, the purpose of the study was to investigate the individual features of the functioning of the state of cerebral hemodynamics during regular breathing at a rate of 30 cycles per minute in healthy young men. The registration of rheoencephalograms was performed on the xiarograph of the KhAI-medica standard (KhAI-medica, Kharkiv, Ukraine) in the front-mastoid assignment in 78 men aged 18-22 years.

Under the influence of hypocapnia breathing, an increase in the tone of the arterial vessels and a decrease in blood flow in the carotid pool of the brain were observed. The hyperventilation test provokes the appearance of hemispheric asymmetry, especially of the tone of the arteries.

During the test and during the 40-minute recovery period, significant individual features of cerebral circulation reactions were observed. Among subjects with different baseline levels of PetCO_2 , it was found that individuals with high levels of hypocapnia had higher levels of blood filling and lower tone of cerebral vessels. Certain differences between the groups in the circulation of the right and left hemispheres occur only with hyperventilation. The difference in the reactivity of cerebral hemodynamics between groups was observed only during the recovery period after hypocapnia.

In individuals with different baseline autonomic tone levels, higher blood levels and lower vascular tone were observed in normotonic patients at rest, during hyperventilation, and within 40 minutes of recovery.

Therefore, changes in cerebral blood flow during breathing hypocapnia and during recovery thereafter depend on baseline PetCO_2 and autonomic tone.

Taking into account the individual-typological differences of men can increase the diagnostic value of the methods of analysis and evaluation of cerebral blood flow, as well as identify new directions in preventive medicine.

Key words: cerebral blood flow, vegetative tone, PetCO_2 , hyperventilation, hypocapnia.

Рецензент – проф. Міщенко І. В.

Стаття надійшла 02.04.2020 року