

DOI: 10.26693/jmbs06.05.423

УДК 612.13+612.213+612.223.11

Питель А. А., Коваленко С. О.

## ВПЛИВ ПРОБ ІЗ ЗАТРИМКОЮ ДИХАННЯ НА $\text{PetCO}_2$ ТА ОКСИГЕНАЦІЮ АРТЕРІАЛЬНОЇ КРОВІ У ЧОЛОВІКІВ

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,  
Черкаси, Україна

**Мета** - проаналізувати динаміку змін рівня  $\text{PetCO}_2$  та оксигенації артеріальної крові упродовж проб із затримкою дихання з та без попередньої гіпервентиляції у здорових молодих чоловіків.

**Матеріал та методи.** Проводили записи рівня  $\text{CO}_2$  в боковому потоці на капнографі Datex Normocap (Datex, Finland). Реєстрували цей показник 5 хвилин у спокої лежачи, 5 хвилин після затримки дихання на напіввдиху, упродовж 5 хвилинного регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину, 5 хвилин після затримки дихання на напіввдиху. За капнограмою, рівнем атмосферного тиску та вологістю повітря оцінювали рівень  $\text{CO}_2$  в кінці видиху ( $\text{PetCO}_2$ ), частоту дихання (ЧД), співвідношення тривалості вдиху до тривалості видиху ( $R_{\text{e}}$ ). За методом сигмального відхилення виділяли три групи осіб за рівнем  $\text{PetCO}_2$ : I –  $\text{PetCO}_2 < 32,7$  мм рт. ст. II –  $\text{PetCO}_2 = 32,7\text{--}36,2$  мм рт. ст., III –  $\text{PetCO}_2 > 36,2$  мм рт. ст.

**Результати.** Затримка дихання при проведеної проби після гіпервентиляції була значно більшою, ніж при першій спробі ( $62,99 \pm 3,31$  с та  $33,78 \pm 2,24$  с,  $p < 0,001$ ). При проведенні візуального якісного та кількісного аналізу капнограм та графіків оксигенації артеріальної крові виявили суттєві між індивідуальними особливостями реакцій цих показників на проби. Тому порівнювали зміни  $\text{PetCO}_2$  в залежності від його вихідного рівня. Після проби затримки дихання рівень  $\text{PetCO}_2$  в середньому під час 5 хвилинного відновлення вірогідно знижувався у II та III групах у порівнянні з I. Упродовж проби з гіпервентиляцією реєстрували закономірне суттєве зростання його рівня реактивності, найбільш виражене у III групі ( $-13,48$  мм рт. ст.,  $p < 0,001$ ). Після другої затримки дихання, відбувалось зменшення  $\text{PetCO}_2$  у порівнянні з рівнем після першої затримки у всіх групах. Разом з цим рівень  $\text{HbO}_2$  при пробах різнився тільки у II групі. Таким чином після проби з затримкою дихання в осіб із відносно малим  $\text{PetCO}_2$  не відбувалось його зниження на відміну від осіб із відносно середнім та високим рівнем  $\text{PetCO}_2$ . Застосування гіпервентиляції перед затримкою дихання потенціює ці реакції та, через віддалений період відновлення, нівелює їх рівень у різних групах.

**Висновки.** Дослідження показало, що проби із затримкою дихання без та після гіпервентиляції

суттєво впливають на рівень напруження  $\text{CO}_2$  та оксигенації артеріальної крові, проба з затримкою дихання після гіпервентиляції потенціює зменшення  $\text{PetCO}_2$  та  $\text{HbO}_2$  в артеріальній крові за рахунок збільшення часу затримки дихання. Існують суттєві індивідуальні особливості в реактивності таких фізіологічних показників.

**Ключові слова:** карбон (IV) оксид,  $\text{HbO}_2$ , гіпервентиляція, затримка дихання,  $\text{PetCO}_2$ .

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до зведених планів науково-дослідної роботи Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького, а також вона є фрагментом теми «Вплив гіпо- та гіперкапнії на функціональний стан серцево-судинної системи людини», № держ. реєстрації 0116U003829.

**Вступ.** Проби із затримкою дихання широко застосовуються у медицині та біології для визначення функціонального стану серцево-судинної та дихальної системи людини [1, 2, 3] і відображають стійкість та регуляторні перебудови в організмі при гіпоксії [4]. Затримка дихання також є елементом професійної та спортивної діяльності [5]. При затримках дихання під час занурення серцево-судинні перебудови сприяють зміщенню крові до серця та судин грудної клітки [6, 7].

З'ясовані основні закономірності таких впливів на газовий склад крові [8], артеріальний тиск та частоту серцевих скорочень [3, 9], гемодинаміку у малому колі кровообігу [10]. Разом з тим досліджень змін напруження  $\text{CO}_2$  в альвеолярному повітрі при цьому та у період відновлення після проби недостатньо.

Останніми роками збільшилась цікавість до дослідження впливу затримки дихання на кровообіг після попередньої гіпервентиляції.

Відомо, що гіпервентиляція призводить до вимивання  $\text{CO}_2$  з організму та зниження рівня  $\text{PetCO}_2$  [3]. Втрата  $\text{CO}_2$  при гіпервентиляції веде до зсуву кислотно-лужної рівноваги в бік газового алкалозу та викликає звуження коронарних і периферичних судин, судин мозку, кишечника, печінки, нирок і розширення судин скелетних м'язів. Відбувається перерозподіл регіонального кровообігу, в той час спостерігається зниження коронарного і мозково-

го кровотоку. Більшість досліджень розглядає, що більша частина пацієнтів з гострим інсультом є гіпокапнічними [11, 12]. Встановлено, що коронарний кровотік лінійно корелює з  $\text{PaCO}_2$  у широкому діапазоні значень (10 – 90 мм рт. ст.). Разом з тим доведено, що  $\text{CO}_2$  здійснює збуджуючий вплив на симпатичну систему як за відсутності ритмічної дихальної активності, так і незалежно від підпорогової тонічної інспіраторної активності у котів [10]. Було проведено дослідження на немовлятах з різним рівнем  $\text{PetCO}_2$  (30 – 50 мм рт. ст.), які перенесли операцію міжшлункової перегородки, не мали суттєвої різниці гемодинамічних показників. Показано, що існують типологічні особливості за рівнем цього показника у стані спокою у здорових молодих чоловіків та його реактивності на гіпервентиляцію [10, 13].

За сучасними даними, основним рушієм оксигенації є саме кровотік, а не вміст кисню у крові. Так як складна взаємодія  $\text{HbO}_2$  з киснем,  $\text{CO}_2$  та оксидом азоту – це тригазовий дихальний цикл, який забезпечує достатню доставку кисню та поживних речовин для задоволення місцевих потреб у метаболізмі [14]. Зниження концентрації  $\text{CO}_2$  у крові приводить до збільшення спорідненості кисню до  $\text{HbO}_2$ , а отже до розвитку гіпоксії з її наслідками. Пороговою гіпоксією вважають, коли при вдиханні газової суміші, що містить 17-13% кисню, насичення крові киснем падає до 85% [11].

Втім досліджень індивідуальної динаміки  $\text{HbO}_2$  та  $\text{PetCO}_2$  в період відновлення після проби з затримкою дихання і тим більше такого впливу з попередньою гіпервентиляцією не проводили.

Однак досліджень впливу проб із затримкою дихання на  $\text{PetCO}_2$  надзвичайно мало.

Тому метою нашого дослідження було встановити індивідуальні особливості функціонування стану в положенні лежачи під час регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину відразу після якого виконується затримка дихання у здорових молодих чоловіків.

**Мета роботи** - проаналізувати динаміку змін рівня  $\text{PetCO}_2$  та оксигенації артеріальної крові упродовж проб із затримкою дихання з та без попередньої гіпервентиляції у здорових молодих чоловіків.

**Матеріал та методи дослідження.** Дослідження проведено 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 76 здорових молодих чоловіках віком 18 – 23 роки (в середньому  $19,87 \pm 0,15$  років) за умов наближених до стану основного обміну. Дослідження проведені в лабораторії фізіології, кровообігу та дихання Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. 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 і змісту тестових навантажень, дали письмовий дозвіл на проведення дослідження та наукове використання їх результатів. За добу до проведення обстежень досліджувані не вживали алкоголь, каву, стимулятори чи транквілізатори, не мали особливого емоційного та фізичного навантаження.

Дослідження виконані з дотриманням основних положень «Правил етичних принципів проведення наукових медичних досліджень за участю людини», затверджених Гельсінською декларацією (1964-2013 рр.), ICH GCP (1996 р.), Директиви ЄЕС № 609 (від 24.11.1986 р.), наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 944 від 14.12.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р.

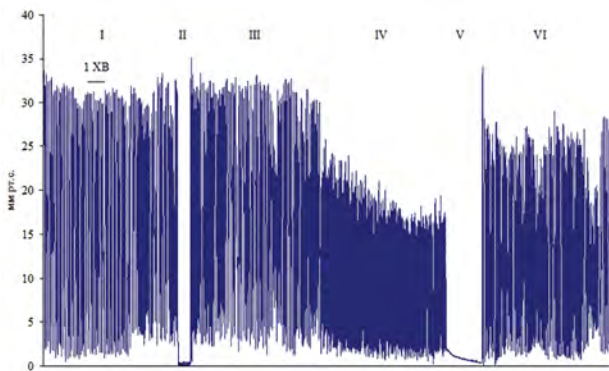
Проводили записи капнограми дихання, 5 хвилин у спокої лежачи, після затримки дихання на напіввдиху, упродовж 5 хвилин регламентованого дихання з частотою 30 циклів за хвилину, 5 хвилин після затримки дихання на напіввдиху.

Капнограму реєстрували – у боковому потоці на капнографі Datex Normocap (Datex, Finland), рівень сатурації кисню в капілярній крові реєстрували пульсоксиметром Finger pulse oximeter.

За капнограмою, рівнем атмосферного тиску та вологістю повітря оцінювали рівень  $\text{CO}_2$  в кінці видиху ( $\text{PetCO}_2$ ), частоту дихання (ЧД), співвідношення тривалості вдиху до тривалості видиху ( $R_{\text{тв}}$ ).

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 [15].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Проведення експериментальних впливів призвело до суттєвих зрушень  $\text{PetCO}_2$  у вимірюваних осіб. На **рис. 1** представлений фрагмент оригінального запису напруження  $\text{CO}_2$  у здорового молодого чоловіка віком 19 років. Так у спокої лежачи на видиху його рівень в середньому складав 31,2 мм рт. ст. та після проби затримки дихання майже



**Рис. 1** – Фрагмент оригінального запису (№ 56) капнограми дихання під час спокою (I), затримки дихання (II), відновлення (III), проби з регламентованим диханням (частота дихання – 30 циклів за хвилину) (IV), затримки дихання (V) та відновного періоду (VI)

не змінювався. При пробі гіпервентиляції спостерігали закономірне суттєве зниження рівня PetCO<sub>2</sub> до 18,3 мм рт. ст. Після другої затримки дихання, що тривала значно більше ніж перша, відбувалось зниження PetCO<sub>2</sub> у порівнянні з рівнем після першої затримки. Амплітуда та динаміка змін рівня CO<sub>2</sub> у різних осіб при якісному аналізі капнограм відрізнялась у різних осіб.

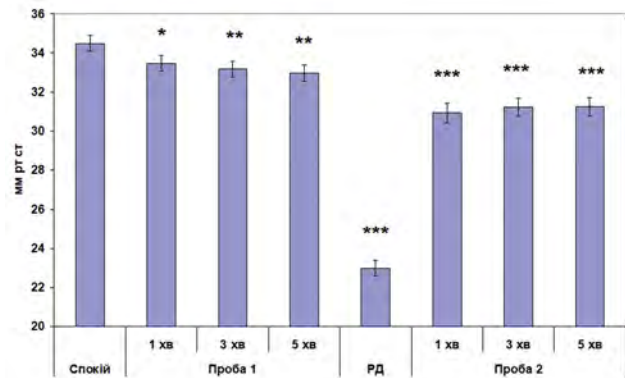
Аналізували кількісні показники змін капнограми після затримок дихання. Так зміни ЧД та R<sub>т</sub> упродовж відновлення як після першої затримки дихання так і другої вірогідно не відрізнялись від їх значень у спокої лежачи. Більш суттєвими були зрушення PetCO<sub>2</sub> (рис. 2). У спокої цей показник склав 34,48±0,40 мм рт. ст., після першої затримки дихання вірогідно знижувався максимально на 5 хвилині відновлення до 32,96±0,43 мм рт. ст. (p<0,01). Гіпервентиляція призводила до його зниження до 22,97±0,40 мм рт. ст. (p<0,001). Після другої затримки дихання до 5 хвилини відновлення рівень PetCO<sub>2</sub> був нижчим ніж у спокої (31,23±0,46 мм рт. ст., p<0,001) та у порівнянні з відповідним часовим періодом відновлення після першої проби. Реактивність цього показника у ці часові періоди склала відповідно 1,57±0,23 мм рт. ст. та -3,21±0,30 мм рт. ст. (p<0,001).

Таким чином проба із затримкою дихання після гіпервентиляції потенціює зменшення рівня вуглекислого газу в артеріальній крові.

Звертає на себе увагу значна девіантність змін PetCO<sub>2</sub> на проби у різних осіб (сV від 81% до 182%), наявність реакцій як збільшення так і зменшення (у значно більшій амплітуді).

Рівень оксигенації крові в спокої склав 98,43±0,08%. Під час затримок дихання рівень цього показника вірогідно знижувався відповідно до 97,64±0,20% (p<0,001) та 96,84±0,28% (p<0,001). Амплітуда реактивності на другу пробу була більшою ніж на першу (відповідно -0,80±0,18% та

-1,59±0,29%, p<0,01). Тривалість затримок дихання дорівнювала під час першої проби 33,78±2,24 с та була значно меншою ніж друга (62,99±3,31 с, p<0,001).



**Рис. 2** – Динаміка PetCO<sub>2</sub> при проведенні проб із затримкою дихання

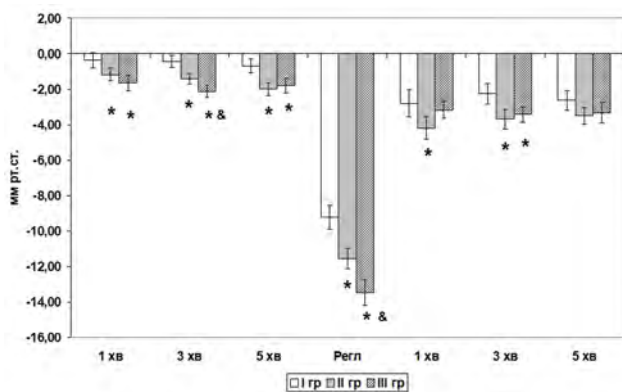
**Примітки:** \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001 у порівнянні з рівнем у спокої.

Отже проби із затримкою дихання суттєво впливають як на рівень CO<sub>2</sub> у артеріальній крові так і в певній мірі знижують оксигенацію крові. Гіпервентиляція перед затримкою дихання потенціює ці реакції. Існують суттєві індивідуальні особливості в реактивності таких фізіологічних показників.

Одним із можливих факторів, що обумовлюють девіантність реакцій при затримках дихання може бути вихідний рівень PetCO<sub>2</sub> у стані спокою. Як було показано у дослідженнях В. А. Завгородньої [3] цей показник є відтворюваний та існують типологічні групи.

Візуальний аналіз гістограми розподілу та визначення його нормальності за критерієм χ<sup>2</sup>, показала, що показник PetCO<sub>2</sub> розподілений нормально. Тому визначили три групи, межами котрих були значення M±б (I група до 32,7 мм рт. ст.; II група від 32,7 до 36,2 мм рт. ст.; III група більше 36,2 мм рт. ст.).

На рис. 3 представлено реактивність PetCO<sub>2</sub> при затримках дихання у осіб з різним його вихідним рівнем. Так після проби затримки дихання його рівень в середньому під час 5 хвилинного відновлення вірогідно знижувався у II та III групи у порівнянні з I. Амплітуда цього зниження у III групі на 3-й хвилині було більшим ніж у II. У продовж проби з гіпервентиляцією реєстрували закономірне суттєве зростання рівня реактивності PetCO<sub>2</sub>, найбільш виражене у III групі (-13,48 мм рт. ст., p<0,001). Після другої затримки дихання, відбувалось зменшення PetCO<sub>2</sub> у порівнянні з рівнем після першої затримки у всіх групах. На 5-й хвилині відновлення відмінності у реактивності цього показника у групах нівелювались.



**Рис. 3** – Реактивність PetCO<sub>2</sub> при затримках дихання у осіб з різним його вихідним рівнем. I – PetCO<sub>2</sub> < 32,7 мм рт. ст., II - PetCO<sub>2</sub> – 32,7–36,2 мм рт. ст., III – PetCO<sub>2</sub> > 36,2 мм рт. ст.

**Примітки:** \* – p<0,05 у порівнянні з I; & – p<0,05 у порівнянні з II.

Таким чином після проби з затримкою дихання у осіб з відносно малим PetCO<sub>2</sub> не відбувалось його зниження на відміну від осіб з відносно середнім та високим рівнем. Застосування гіпервентиляції перед затримкою дихання потенціює ці реакції та через віддалений період відновлення нівелює їх рівень у різних групах.

Аналіз ЧД у осіб різних типологічних груп за рівнем PetCO<sub>2</sub> у стані спокою лежачи показав наступне (табл. 1). В стані спокою лежачи у представників I групи цей показник був вищим ніж у II та III (p<0,001). Це може пояснюватись більш низькою чутливістю дихального центру до карбон IV діоксиду у осіб з відносно високим його рівнем у спокої [3, 16]. При відновленні після дихальних проб ЧД не змінювалась за винятком її підвищення у III групі на 3-й хвилині відновлення після 2-ї проби. Разом з цим зберігались відмінності характерні для стану спокою лежачи між групами, з'являлись відмінності між II та III групами на 5-й хвилині відновлення після 1-ї проби та 1-й хвилині відновлення після 2-ї проби.

Цілкові ймовірно у осіб з різним вихідним рівнем PetCO<sub>2</sub> існують особливості чутливості ди-

**Таблиця 1** – Частота дихання (цикли·хв<sup>-1</sup>) в чоловіків у спокої та після дихальних проб

Умови	Час	I група, n=21	II група, n=32	III група, n=23
Спокій		19,82±1,13	15,57±0,66***	14,38±0,76***
Відновлення 1	1 хв	19,06±1,07	15,47±0,74**	14,56±0,58***
	3 хв	19,13±1,04	15,65±0,75**	15,04±0,58***
	5 хв	19,01±0,97	15,70±0,64**&	14,19±0,59***
Відновлення 2	1 хв	18,04±1,09	15,76±0,57*&	13,77±0,77***
	3 хв	19,24±1,39	15,56±0,65**	15,55±0,67**
	5 хв	19,76±0,92	15,33±0,67***	15,78±0,74***

**Примітки:** \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001 порівняно з I; & – p<0,05 у порівнянні з III.

хального центру до карбон IV діоксиду, котрі проявляються в регуляції частоти дихання як у спокої, так і в період відновлення після проб з затримкою дихання.

Це припущення підтверджується і результатами співвідношення тривалостей інспіраторної та експіраторної фаз (табл. 2). У осіб I групи цей показник був вірогідно вищим ніж у II та III (p<0,001), що є свідчення більш високого «центрального впливу» на паттерн дихання. Такі впливи у цій групі потенціуються при затримці дихання після гіпервентиляції. При відновленні після дихальних проб співвідношенням тривалості вдиху до тривалості видиху не змінювалась за винятком її підвищення у II групі на 1-й хвилині відновлення після 2-ї проби. В той час зберігались відмінності характерні для стану спокою лежачи між групами, з'являлись відмінності між II та III групами на 1-й та 3-й хвилині відновлення після 1-ї проби та 1-й, 3-й хвилинах відновлення після 2-ї проби.

**Таблиця 2** – Співвідношення тривалості вдиху до тривалості видиху в чоловіків із різним рівнем PetCO<sub>2</sub> у спокої та після дихальних проб

Умови	Час	I група, n=21	II група, n=32	III група, n=23
Спокій	5 хвилини	1,00±0,06	0,81±0,05**&	0,69±0,04***
Відновлення 1	1 хвилини	0,98±0,07	0,82±0,05*&	0,71±0,05***
	3 хвилини	1,03±0,07	0,84±0,05*&	0,74±0,04***
	5 хвилини	1,06±0,08	0,83±0,05*	0,75±0,05***
Відновлення 2	1 хвилини	1,13±0,11	0,81±0,05***&	0,69±0,05***
	3 хвилини	1,05±0,08	0,83±0,05**&	0,70±0,05***
	5 хвилини	1,09±0,07	0,85±0,06**	0,73±0,06***

**Примітки:** \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001 порівняно з I; & – p<0,05 у порівнянні з III.

Аналіз рівнів оксигенації артеріальної крові в стані спокою показав, що їх значення в осіб різних груп не відрізнялися (табл. 3). В той же час, при першій пробі з затримкою дихання НbO<sub>2</sub> у осіб з відносно низьким рівнем PetCO<sub>2</sub> та особливо у осіб з високим його рівнем були вірогідно нижчими ніж у осіб середнім рівнем PetCO<sub>2</sub>. Реактивність складала відповідно -0,67±0,21%, -0,39±0,14%, -1,50±0,51%. Час затримки дихання при цьому був

**Таблиця 3** – Рівень оксигенації артеріальної крові та час затримки дихання у здорових чоловіків із різним рівнем PetCO<sub>2</sub> в стані спокою

Умови	I група, n=21	II група, n=32	III група, n=23
Спокій	98,48±0,13	98,45±0,11	98,36±0,17
Проба 1, %	97,81±0,21	98,06±0,18**&	96,86±0,55
Проба 2, %	96,10±0,60	97,39±0,40*	96,77±0,49

**Примітки:** \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001 порівняно з I; & – p<0,01 у порівнянні з III.

вищий у осіб I групи ( $37,78 \pm 4,77$  с.) в порівнянні з II ( $30,17 \pm 2,41$  с.,  $p < 0,05$ ).

Виконання попередньої гіпервентиляції суттєво вплинуло на час затримки дихання (відповідно з I по III групи  $71,56 \pm 7,07$  с,  $57,32 \pm 4,39$  с,  $62,78 \pm 6,20$  с). При цьому зберігаються відмінності у цьому показнику між I та II групами ( $p < 0,05$ ). Амплітуда реактивності  $\text{HbO}_2$  при такій пробі була найвищою в I групі ( $-2,38 \pm 0,60\%$ ), а найнижчою в II групі ( $-1,06 \pm 0,41\%$ ). Порівняння реактивності  $\text{HbO}_2$  у 2-й пробі у порівнянні з 1-ю показало, що амплітуда цього показника вірогідно зростала в I та II групі, була не змінною в III групі.

Отже, вихідний рівень  $\text{PetCO}_2$  у стані спокою суттєво впливає на час затримки дихання та оксигенацію артеріальної крові при цьому, після гіпервентиляції спостерігається потенціювання реакції зниження  $\text{HbO}_2$  у осіб з відносно низьким його рівнем. Це може бути обумовлено зниженням чутливості дихального центру до карбон IV діоксиду внаслідок гіпокапнії дихання.

**Висновки.** Проби із затримкою дихання без та після гіпервентиляції суттєво впливають на рівень напруження  $\text{CO}_2$  та оксигенації артеріальної крові, проба з затримкою дихання після гіпервентиляції

потенціює зменшення  $\text{PetCO}_2$  та  $\text{HbO}_2$  в артеріальній крові за рахунок збільшення часу затримки дихання. Існують суттєві індивідуальні особливості в реактивності таких фізіологічних показників.

Після проби із затримкою дихання в осіб з відносно малим  $\text{PetCO}_2$  не відбувалось його зниження на відміну від осіб з відносно середнім та високим рівнем. Застосування гіпервентиляції перед затримкою дихання потенціює ці реакції та через віддалений період відновлення нівелює їх рівень у різних групах.

Частота дихання у осіб з низьким вихідним рівнем  $\text{PetCO}_2$  була вища ніж у групах з середнім та високим його рівнем, що можливо обумовлено особливостями чутливості дихального центру до карбон IV діоксиду.

Вихідний рівень  $\text{PetCO}_2$  у стані спокою суттєво впливає на час затримки дихання та оксигенацію артеріальної крові при цьому, після гіпервентиляції спостерігається потенціювання реакції зниження  $\text{HbO}_2$  у осіб з відносно низьким його рівнем.

**Перспективи подальших досліджень.** Полягають у з'ясуванні судинних механізмів отриманих в нашому дослідженні феноменів при пробах із затримками дихання без та після гіпервентиляції.

## References

1. Adhikari Y, Jin X. Intraperitoneal injection of lipopolysaccharide prevents seizure-induced respiratory arrest in a DBA/1 mouse model of SUDEP. *Epilepsia Open*. 2020 Jul; 5(3): 386-96. PMID: 32913947. PCMCID: PMC7469803. doi: 10.1002/epi4.12410
2. Lysenko O. Vplyv kontsentratsiyi  $\text{SO}_2$  i  $\text{O}_2$  na strukturu dykhalnoyi reaktsiyi za umov fizychnykh navantazhen riznogo kharakteru [Influence of the concentration of  $\text{SO}_2$  i  $\text{O}_2$  on the structure of the respiratory response under the conditions of physical activity of various characters]. *Vestnyk Kyevskogo natsyonalnogo unyversyteta im Tarasa Shevchenko. Seriya: Biologiya*. 2012; 2: 52-55. [Ukrainian]
3. Zavgorodnya VA. *Indyvidualni osoblyvosti funktsionuvannya gemodynamiky pry gipokapniyi dykhannya u cholo-vikiv* [Individual features of the functioning of hemodynamics in the hippocaption of breathing in men]. Abstr. PhD. (Biol.). Cherkasy; 2020. 20 s. [Ukrainian]
4. Dujic Z, Breskovic T. Impact of breath holding on cardiovascular respiratory and cerebrovascular health. *Sports Med*. 2012 Jun; 42(6): 459-72. PMID: 22574634. doi: 10.2165/11599260-000000000-00000
5. D'Amato G, Vitale C, Lanza M, Sanduzzi A, Molino A, Mormile M, et al. Near fatal asthma: treatment and prevention. *Eur Ann Allergy Clin Immunol*. 2016 Jul; 48(4): 116-22. PMID: 26765082. doi: 10.1111/cea.12709
6. Fitz-Clarke JR. Breath-Hold Diving. *Compr Physiol*. Mar 2018; 8(2):585-30. PMID: 29687909. doi: 10.1002/cphy.c160008.
7. Patrician A, Dujic Ž, Spajic B, Drvis I, Ainslie PN. Breath-Hold Diving – The Physiology of Diving Deep and Returning. *Front Physiol*. 2021 May; 12: 639-47. PMID: 34093221. PCMCID: PMC8176094. doi: 10.3389/fphys.2021.639377
8. Zavgorodnya VA, Kovalenko SO, Kudiy LI. Vplyv giperventilyatsiyi na dynamiku rivnya karbon (IV) oksydu v alveolyarnomu povitri [Influence of hyperventilation on the dynamics of the level of carbon (IV) of oxide in the alveolar air]. *Visnyk Cherkaskogo unyversytetu. Seriya: Biologichni nauky*. 2018; 2: 34-39. [Ukrainian]. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-2-34-39
9. Ogoh S, Shibata S, Ito G, Miyamoto T. Dynamic characteristics of cerebrovascular reactivity or ventilatory response to change in carbon dioxide. *Exp Physiol*. 2020 Sep; 105(9): 1515-523. PMID: 32700812. doi: 10.1113/EP088800
10. Drogovoz SM, Shtrygol SYu, Kononenko AV, Zupanets MV, Shtroblya AL. Mekhanyzm deystviya karboksyterapiyy [The mechanism of action of carboxyterapia]. *Farmakologiya ta likarska toksykologiya*. 2016; 6(51): 12-20. [Russian]. doi: 10.24959/ubphj.18.192

11. Gryshyn OV, Averko NN, Zhylyna YG, Gryshyn VG, Kovalenko YuV. Psykhogennaya odyshka y gypokapnyya u bolnykh yshemycheskoy boleznyu serdtsa do y posle koronarnogo shuntyrovanyya. Angyologyya y sosudystaya khyrurgyya [Psychogenic shortness of breath and hinders in patients with ischemic heart disease before and after coronary shunting. Angiology and vascular surgery]. *Patologyya krovoobrashchenyya y kardyokhyrurgyya*. 2012; 1: 39-42. [Russian]
12. Salinet ASM, Minhas JS, Panerai RB, Bor-Seng-Shu E, Robinson TG. Do acute stroke patients develop hypocapnia? A systematic review and meta-analysis. *J Neurolog Sci*. 2019; 402: 30-39. PMID: 31102829. doi: 10.1016/j.jns.2019.04.038
13. Lyzogub VG, Savchenko AV, Zapeka JS, Baytser MS. Rol vuglekyslogo gazu v organizmi lyudyyny [The role of vugpsy gas in organismism people]. *Pershyy nezalezhnyy naukovyy visnyk*. 2015; 4: 29-32. [Ukrainian]
14. Premont RT, Reynolds JD, Zhang R, Stamler JS. Role of nitric oxide carried by hemoglobin in cardiovascular physiology: developments on a three-gas respiratory cycle. *Circ Res*. 2020; 126(1): 129-58. PMID: 31590598. PCMID: PMC7034631. doi: 10.1161/circresaha.119.315626
15. Glantz S. *Primer of biostatistics*. 7th ed. NY: McGraw-Hill Medical; 2012. 320 p.
16. Iwata E, Hasegawa T, Ueha T, Takeda D, Saito I, Kawamoto T, et al. Transcutaneous carbon dioxide enhances the antitumor effect of radiotherapy on oral squamous cell carcinoma. *Oncol Rep*. 2018; 40(1): 434-42. doi: 10.3892/or.2018.6444

УДК 612.13+612.213+612.223.11

### ВЛИЯНИЕ ПРОБ С ЗАДЕРЖКОЙ ДЫХАНИЯ НА PetCO<sub>2</sub> И ОКСИГЕНАЦИЮ АРТЕРИАЛЬНОЙ КРОВИ У МУЖЧИН

**Питель А. А., Коваленко С. А.**

**Резюме.** Цель - проанализировать динамику изменения уровня PetCO<sub>2</sub> и оксигенации артериальной крови в течение проб с задержкой дыхания с и без предварительной гипервентиляции у здоровых молодых мужчин.

**Материалы и методы.** Проводили записи уровня CO<sub>2</sub> в боковом потоке на капнографии Datex Normocap (Datex, Finland). Регистрировали этот показатель 5 минут в покое лежа, 5 минут после задержки дыхания на полувдохе, в течение 5 минут регламентированного дыхания с частотой 30 циклов в минуту, 5 минут после задержки дыхания на полувдохе. По капнограмме, уровнем атмосферного давления и влажности воздуха оценивали уровень CO<sub>2</sub> в конце выдоха (PetCO<sub>2</sub>), частоту дыхания (ЧД), соотношение продолжительности вдоха к продолжительности выдоха (Rie). По методу сигмального отклонения выделяли три группы лиц по уровню PetCO<sub>2</sub>: I – PetCO<sub>2</sub> < 32,7 мм рт. ст., II – PetCO<sub>2</sub> – 32,7– 36,2 мм рт. ст., III – PetCO<sub>2</sub> > 36,2 мм рт. ст.

**Результаты.** Задержка дыхания при проведении пробы после гипервентиляции была значительно больше, чем при первой попытке (62,99±3,31 с и 33,78±2,24 с, p<0,001). При проведении визуального качественного и количественного анализа капнограм и графиков оксигенации артериальной крови обнаружили существенные между индивидуальными особенностями реакций этих показателей на пробы. Поэтому сравнивали изменения PetCO<sub>2</sub> в зависимости от его исходного уровня. После пробы задержки дыхания уровень PetCO<sub>2</sub> в среднем во время 5минутного восстановления достоверно снижался во II и III группе по сравнению с I. В течение пробы с гипервентиляцией регистрировали закономерный существенный рост его уровня реактивности, наиболее выраженный в III группе (-13,48 мм рт. ст., p<0,001). После второй задержки дыхания, происходило уменьшение PetCO<sub>2</sub> по сравнению с уровнем после первой задержки в каждой группе. Вместе с этим уровень HbO<sub>2</sub> при пробах отличался только во II группе. Таким образом после пробы с задержкой дыхания у лиц с относительно малым PetCO<sub>2</sub> не происходило его снижение в отличие от лиц с относительно средним и высоким уровнем. Применение гипервентиляции перед задержкой дыхания потенцирует эти реакции и через отдаленный период восстановления нивелирует их уровень в разных группах.

**Выводы.** Исследование показало, что пробы с задержкой дыхания без и после гипервентиляции существенно влияют на уровень напряжения CO<sub>2</sub> и оксигенации артериальной крови, проба с задержкой дыхания после гипервентиляции потенцирует уменьшения PetCO<sub>2</sub> и HbO<sub>2</sub> в артериальной крови за счет увеличения времени задержки дыхания. Существуют значительные индивидуальные особенности в реактивности таких физиологических показателей.

**Ключевые слова:** карбон (IV) оксид, HbO<sub>2</sub>, гипервентиляция, задержка дыхания, PetCO<sub>2</sub>.

UDC 612.13+612.213+612.223.11

**Effects of Breath-Holding Tests on PetCO<sub>2</sub> and Arterial Blood Oxygenation in Men****Pytel A. A., Kovalenko S. O.**

**Abstract.** To evaluate the state of external respiration system, breath-holding tests are usually used. However, there are few studies of the peculiarities of the gas exchange in breath-holding with previous hyperventilation.

*The purpose of the study* was to analyze the dynamics of changes in the PetCO<sub>2</sub> level and arterial blood oxygenation during breath-holding tests with and without previous hyperventilation in healthy young men.

*Materials and methods.* The CO<sub>2</sub> level was recorded in the side stream on the Datex Normocap capnograph (Datex, Finland). This value was recorded for 5 minutes at rest, 5 minutes after half-breath hold, for 5 minutes of regulated breathing with a frequency of 30 cycles per minute, 5 minutes after half-breath hold. The capnogram, atmospheric pressure level and humidity were used to assess the level of CO<sub>2</sub> at the end of exhalation (PetCO<sub>2</sub>), respiratory rate, the ratio of inspiratory duration to expiratory duration (R<sub>ie</sub>). Statistical processing of the results was performed by parametric methods. According to the method of sigmoid deviation, three groups of individuals were distinguished by the PetCO<sub>2</sub> level: I – PetCO<sub>2</sub> < 32.7 mmHg, II – PetCO<sub>2</sub> – 32.7–36.2 mmHg, III – PetCO<sub>2</sub> > 36.2 mmHg.

*Results and discussion.* Breath-holding during the test after hyperventilation was significantly greater than in the first attempt (62.99±3.31 s and 33.78±2.24 s, p <0.001). Visual qualitative and quantitative analysis of capnograms and graphs of arterial blood oxygenation revealed significant inter-individual features of the reactions of these indicators to tests. Therefore, changes in PetCO<sub>2</sub> were compared depending on its initial level. After the breath-holding test, the PetCO<sub>2</sub> levels on average during the 5-minute recovery reliably decreased in groups II and III compared with I. During the test with hyperventilation, a natural significant increase in its level of reactivity was registered, most pronounced in group III (-13.48 mmHg, p <0.001). After the second breath-holding, there was a decrease in PetCO<sub>2</sub> compared to the level after the first breath-holding in all groups. However, the level of HbO<sub>2</sub> in the tests differed only in group II. Thus, after a breath-holding test, individuals with relatively low PetCO<sub>2</sub> did not have its decrease in contrast to those with relatively medium and high levels. The use of hyperventilation potentiates these reactions before breath-holding, and aligns their level after a long recovery period in different groups.

*Conclusion.* The study shows that breath-holding tests without and after hyperventilation significantly affect the level of CO<sub>2</sub> stress and arterial blood oxygenation; the breath-holding test after hyperventilation potentiates the decrease in PetCO<sub>2</sub> and HbO<sub>2</sub> in arterial blood by increasing breath-holding time. There are significant individual features in the reactivity of such physiological parameters.

**Keywords:** carbon (IV) oxide, HbO<sub>2</sub>, hyperventilation, breath-holding, PetCO<sub>2</sub>.

**ORCID and contributionship:**Alyna A. Pytel : 0000-0002-7082-3008 <sup>ABCD</sup>FStanislav O. Kovalenko : 0000-0002-4631-0464 <sup>ABCD</sup>F

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis,

C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article,

E – Critical review, F – Final approval of the article

**CORRESPONDING AUTHOR****Alyna A. Pytel**

Cherkasy National University Named after Bohdan Hmelnytskyi,

Anatomy, Physiology and Physical Rehabilitation Department

81, Shevchenko Boulevard, Cherkasy 18031, Ukraine

tel: +380673292984, e-mail: tymchialina@ukr.net

*The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.*

Стаття надійшла 03.08.2021 р.

*Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування*