

МОРЕНКО А.М.^{1,2}, ДУБРОВ С.О.^{1,2}

ІНТРАОПЕРАЦІЙНА ГІПЕРКАПНІЯ: ФАКТОРИ РИЗИКУ ТА ЯК ВЧАСНО РОЗПІЗНАТИ ПРОБЛЕМУ? ВПЛИВ ГІПЕРКАПНІЇ НА ПОСТОПЕРАЦІЙНЕ ПРОБУДЖЕННЯ ПАЦІЄНТА

¹ КНП «Київська міська клінічна лікарня №17»² Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ

Резюме: в статті висвітлене питання інтраопераційного розвитку гіперкапнії, кореляція гіперкапнії та пізнього пробудження пацієнта після проведеної внутрішньовенної седативної із збереженим спонтанним диханням. Проведений короткий огляд літератури з питання розвитку, патогенезу гіперкапнії, адекватності моніторингу пацієнтів під час внутрішньовенної анальгоседативної із збереженим спонтанним диханням. В ході аналізу літератури з приводу даного питання нами було виявлено, що питання адекватності моніторингу є недостатньо вивченим, а кореляція сатурації та рівня вуглекислого газу (CO_2) в артеріальній крові не завжди є рівнопропорційним у пацієнтів, які перебувають на глибокій процедурній седативній із збереженим самостійним диханням (ЗСД), тому ми хочемо представити власний клінічний досвід.

Ключові слова: гіперкапнія, постопераційне пробудження, аналіз газового складу артеріальної крові - arterial blood gas, дексметомедин, пропофол, седативна.

ВСТУП

Молекулярний кисень (O_2) і вуглекислий газ (CO_2) є первинним газоподібним субстратом і продуктом окисного фосфорилування в організмі, що дихають, відповідно. Відхилення рівнів будь-якого з цих газів за межі фізіологічного діапазону становить серйозну загрозу виживанню клітин, тканин і організму. Тому важливо, щоб ендogenous рівні контролювалися та підтримувалися у відповідних концентраціях для підтримки стану гомеостазу та адекватного функціонування людського організму. Якщо рівень CO_2 падає занадто низько (гіпокапнія) або підвищується занадто високо (гіперкапнія), це призводить до патологічних змін у клітинному кислотно-лужному балансі та, відповідно, до серйозних патологічних наслідків [1]. Патологічні механізми гіперкапнії включають зменшення хвилинного об'єму та збільшення мертвого простору, що, в свою чергу, має ще більший негативний вплив на дихальний центр та серцево-судинну систему (ССС) [2]. Тривала гіперкапнія призводить до вагомого пригнічення дихальної моторики, що є критичним показником в пацієнтів на довготри-

валій внутрішньовенній (в/в) седативній із збереженим спонтанним диханням.

МЕТА

Провести огляд інформаційних джерел з приводу розвитку та впливу гіперкапнії у пацієнтів, які перебувають на довготривалій в/в седативній із збереженим самостійним диханням, та вивчити питання доцільності виконання газового складу артеріальної крові в даній категорії пацієнтів інтраопераційно.

ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ

Найчастіше рівні парціального тиску вуглекислого газу (PaCO_2) змінюються у відповідь на зміни у вентиляції, пригнічення дихання, що найчастіше відбувається під час в/в седативній із ЗСД і прямо корелює із глибиною седативної. Нижче представлена таблиця (Таб. 1), в якій описана залежність адекватності спонтанної вентиляції та інших вітальних показників від рівня глибини анестезії.

Звідси можна зробити висновок, що більш глибокий рівень седативної має прямий вплив на дихальну функцію пацієнта, а, отже, недостатню елімінацію CO_2 з організму, що в свою чергу впливає на швид-

Для кореспонденції:

МОРЕНКО АНАСТАСІЯ МИКОЛАЇВНА, лікар-анестезіолог КНП КМКЛ №17, м.Київ, anastasiamoreno93@gmail.com., контактний телефон +380508037193

Таблиця 1. Continuum of Depth of Sedation: Definition of General Anesthesia and Levels of Sedation/Analgesia (дані American Society of Anesthesiologist) [3].

	Minimal Sedation Anxiolysis	Moderate Sedation/ Analgesia («Conscious Sedation»)	Deep Sedation/ Analgesia	General Anesthesia
Responsiveness	Normal response to verbal stimulation	Purposeful** response to verbal or tactile stimulation	Purposeful** response following repeated or painful stimulation	Unarousable even with painful stimulus
Airway	Unaffected	No intervention required	Intervention may be required	Intervention often required
Spontaneous Ventilation	Unaffected	Adequate	May be inadequate	Frequently inadequate
Cardio-vascular Function	Unaffected	Usually maintained	Usually maintained	May be impaired

Таблиця 2. Comparison of the efficacy and safety of sedation protocols with the use of dexmedetomidine-remifentanyl and propofol-remifentanyl [5].

	D–R group (n = 29)	P–R group (n = 30)	Difference (95% CI)	P value
Baseline				
pH	7.42 ± 0.02	7.42 ± 0.03	- 0.002 (- 0.013 to 0.009)	0.722
PaO ₂ (mmHg)	79.2 ± 4.43	80.33 ± 6.11	- 1.12 (- 3.92 to 1.66)	0.422
PaCO ₂ (mmHg)	35.8 ± 3.30	35.70 ± 4.24	0.13 (- 1.86 to 2.11)	0.898
At the end of the procedure				
pH	7.36 ± 0.02	7.34 ± 0.02	0.017 (0.006 to 0.029)	0.003
PaO ₂ (mmHg)	130.03 ± 4.99	125.70 ± 7.01	4.33 (1.15 to 7.52)	0.008
PaCO ₂ (mmHg)	41.52 ± 4.22	44.70 ± 5.31	- 3.18 (- 5.68 to - 0.69)	0.013
Hypercapnia, n (%)	4 (13.8%)	13 (43.3%)	29.5% (7.8 to 51.2%)	0.012

кість пробудження пацієнта в післяопераційному періоді, тривалість його перебування у відділенні інтенсивної терапії (ІТ) та можливий розвиток післяопераційного делірію. Крім цього, збільшення тривалості перебування пацієнта в палаті післяопераційного спостереження чи палаті інтенсивної терапії потребує постійного нагляду з боку медичного персоналу та подовженого моніторингу, що в свою чергу має негативний вплив з точки зору економіки та навантаження на медичний персонал.

Пацієнти травматологічного профілю, особливо пацієнти з мінно-вибуховою травмою, потребують більш глибокої седатії на момент проведення таких оперативних втручань, як первинна хірургічна обробка (ПХО) ран, металоостеосинтез (МОС) кінцівок (поєднання регіонарної анестезії з в/в седатцією), постановка та заміна ВАС-пов'язок. Зазвичай в/в седатія зі збереженим самостійним диханням (далі – седатія із ЗСД) в даній категорії пацієнтів проводиться за допомогою наступних препаратів: пропофол або дексмететомідин з додатковою анальгезією опіатними анальгетиками (в даному випадку фентаніл). Так, в лютому 2023 року групою науковців було проведено дослідження з приводу розвитку післяопераційного делірію та подовженим перебуванням пацієнтів в стаціонарі після інтраопераційної в/в седатії із ЗСД на таких препаратах як дексмететомідин та пропофол, що в результаті дало наступні висновки: пропофол частіше спричинював розвиток післяопераційного делірію та подовжував

термін перебування пацієнтів травматологічного профілю в стаціонарі [4].

Також проводився моніторинг газового складу артеріальної крові в контрольованих групах: дексмететомідин-ремифентаніл та пропофол-ремифентаніл, з якого можемо бачити, що розвиток гіперкапнії спостерігався частіше в групі пацієнтів пропофол-ремифентаніл [5].

Згідно рекомендацій, стандартний моніторинг під час процедурних седатій має в себе включати наступне: неінвазивний моніторинг артеріального тиску (АТ), сатурації крові (SpO₂), ЕКГ та капнографію, якщо має місце глибокий рівень седатії для контролю рівня гіперкапнії [6].

Практичні рекомендації рекомендують використовувати капнографію для полегшення раннього виявлення гіперкапнії.

Однак капнографія під час процедурних седатій із ЗСД не є точним методом виявлення гіперкапнії, оскільки відбувається значне змішування кімнатного повітря у зразках, коли не використовується ендотрахеальна трубка. До того ж, на території України капнографія, як рутинний моніторинг, застосовується досить рідко згідно опитування. Пульсоксиметрію застосовують у 99,2 % випадків, капнографію лише в 12,9 % випадків [7].

Золотим стандартом оцінки респіраторного статусу залишається газовий аналіз артеріальної крові [8]. Так, у 2021-му році було проведено дослідження серед пацієнтів, що перебували на процедурній

Таблиця 3. Blood gas analyses throughout PSA [8].

	Start PSA	30 min	60 min	end PSA	30 min after end PSA
pH	7.43 +/- 0.06	7.29 +/- 0.03	7.29 +/- 0.04	7.30 +/- 0.04	7.40 +/- 0.04
pCO ₂ (kPa)	4.81 +/- 0.66	7.13 +/- 0.84	7.06 +/- 0.87	7.16 +/- 0.86	5.28 +/- 0.39
pO ₂ (kPa)	13.08 +/- 1.75	18.59 +/- 8.69	19.85 +/- 8.22	16.77 +/- 5.66	11.56 +/- 1.95
Lactate (mmol/l)	1.08 +/- 0.43	0.85 +/- 0.46	0.66 +/- 0.33	0.83 +/- 1.14	0.66 +/- 0.30
BE (mmol/l)	-1.18 +/- 1.91	-1.28 +/- 2.45	-0.90 +/- 2.57	-0.89 +/- 2.11	-0.67 +/- 1.68
HCO ₃ (mmo/l)	23.73 +/- 2.24	25.50 +/- 2.34	25.62 +/- 2.45	26.13 +/- 2.75	24.64 +/- 2.25

анальгоседації із ЗСД та моніторинг газового складу артеріальної крові. В дослідженні взяло участь 20 пацієнтів, час процедури становив 80 хв. або менше, проте в 3-х пацієнтів час процедури значно подовжувався (122-290 хв.). Протягом всієї процедури у пацієнтів зберігалось самостійне дихання та не виникало стійкого апное [8].

Аналіз газового складу артеріальної крові даних пацієнтів представлений у Табл.3.

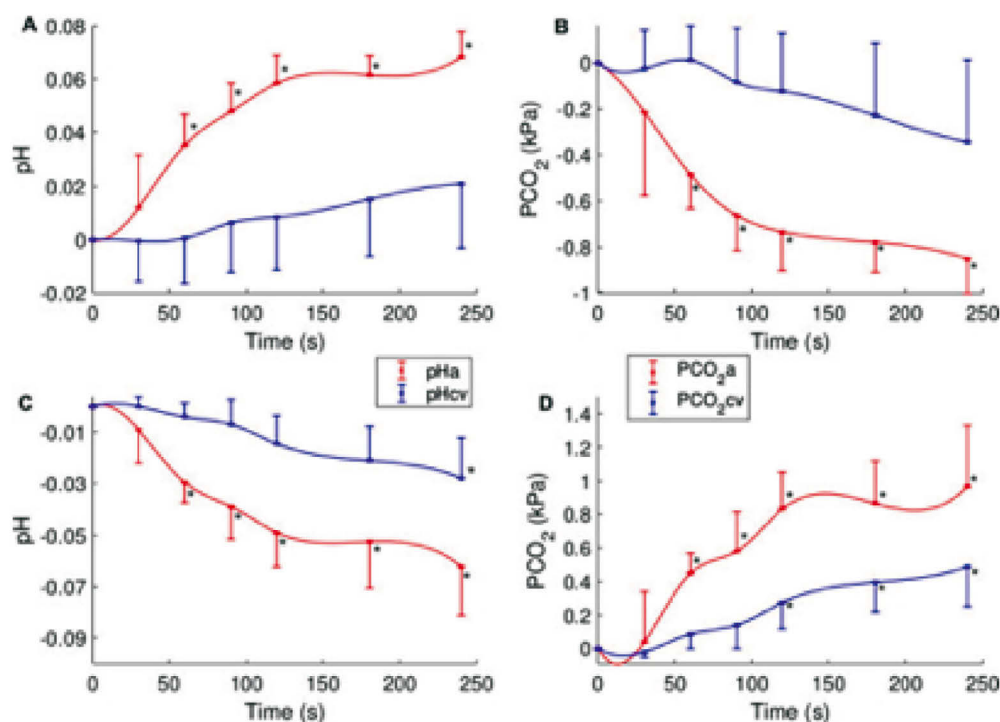
Нормальний рівень парціального напруження газів крові відновлювався в даній категорії пацієнтів через 30 хвилин після відключення інфузії пропофолу.

Також в умовах обмежених ресурсів, коли немає можливості рутинно використовувати транскутанну капнографію (наявність відповідних датчиків та монітору), або ж вона не є досить інформатив-

ною через неправильне та незручне встановлення канюлі під лицеву маску пацієнта, який перебуває на самостійному диханні, єдиним орієнтиром залишається моніторинг SpO₂, рівень якого не завжди вірно корелює зі справжніми значеннями pO₂ та pCO₂ артеріальної крові пацієнта, що, в свою чергу, ускладнює раннє розпізнавання гіперкапнії в пацієнта та подовжує термін перебування під наглядом в постпроцедурний період.

Будь-які зміни вентиляторного патерну пацієнта відразу відслідковуються у відхиленнях кривих значень pO₂ та pCO₂ в артеріальній крові [9].

В даній таблиці ми можемо відслідковувати відповідь парціального напруження газів крові на гостру гіповентиляцію (рисунк 1C, D) зі швидкою та статистично значущою різницею в значеннях pH і PCO₂, що спостерігалися через 60 с після зміни вен-

Рисунок 1. Changes in arterial and central venous pH and pCO₂ (kPa) following an acute change in ventilation.

тиляції ($p < 0,005$). Оксигенація не змінювалась протягом усього дослідження, де також були стабільні та постійні показники FiO_2 та SpO_2 [9].

Враховуючи проаналізований матеріал з доступних інформаційних джерел, недостатньо вивчене питання з приводу доцільності інтраопераційного визначення газового складу артеріальної крові для ранньої діагностики гіперкапнії, пропонуємо на розгляд два клінічні випадки з власного досвіду, де висвітлена проблема розвитку гіперкапнії в пацієнтів під час проведення процедурної в/в седації із ЗСД та кореляція SpO_2 та pCO_2 артеріальної крові.

Опис кожного клінічного випадку поданий в тексті нижче, газометрія артеріальної крові зведена в порівняльну таблицю для візуальної зручності. Газометрія артеріальної крові обох пацієнтів контролювалась на початку оперативного втручання, через 30 хв. та 60 хв. від початку оперативного втручання.

КЛІНІЧНИЙ ВИПАДОК №1

Пацієнт А., 45 років, 72 кг. Госпіталізований в клініку з приводу перелому лівої стегнової кістки. Життєвий та алергологічний анамнез не обтяжений, соматично здоровий пацієнт. Операція, яка проводилась: Блокуючий інтрамедулярний остеосинтез (БІОС) лівої стегнової кістки. Метод анестезії, що застосовувався: субарахноїдальна анестезія (СМА) + в/в седація зі ЗСД. Для СМА використаний розчин Бупівакаїну 0,5% 15 мг. Для седації використовувався розчин Дексметомідину в дозі 0.7-1.0 мкг/кг/год. Протягом всієї тривалості оперативного втручання у пацієнта зберігалось самостійне дихання, та не виникало стійкого апное. Гемодинамічно пацієнт був стабільним, вітальні показники інтраопераційно: АТ 100/60-115/65 мм.рт.ст., ЧСС 60-67/хв, SpO_2 97-98%. Як додаткове джерело оксигенації застосовувалась інсуфляція зволоженого кисню (O_2) через лицеву маску 5 л/хв. Тривалість оперативного втручання становила 110 хв. По закінченню оперативного втручання пацієнт повністю прокинувся через 10 хв (інфузія Дексметомідину була зупинена за 15 хв до закінчення оперативного втручання), явищ делірію, підвищеної сонливості, нудоти не спостерігалось. Пацієнт відразу переведений до профільного травматологічного відділення.

КЛІНІЧНИЙ ВИПАДОК №2

Пацієнт В., 32 років, 98 кг. Госпіталізований в клініку з приводу варикозної хвороби вен правої нижньої кінцівки. Життєвий та алергологічний анамнез не обтяжений, соматично здоровий пацієнт. Оперативне втручання: венектомія. Метод анестезії, що застосовувався: субарахноїдальна анестезія (СМА) + в/в седація зі ЗСД. Для СМА використаний розчин Бупівакаїну 0,5% 17,5 мг. Для седації використовувався розчин Пропофолу 1 % в дозі 3.5-5.1 мкг/кг/год. Протягом всієї тривалості оперативного

втручання у пацієнта зберігалось самостійне дихання, та не виникало стійкого апное. Гемодинамічно пацієнт був стабільним, вітальні показники інтраопераційно: АТ 110/70-125/75 мм.рт.ст., ЧСС 68-75/хв, SpO_2 96-98%. Як додаткове джерело оксигенації застосовувалась інсуфляція зволоженого кисню (O_2) через лицеву маску 5 л/хв. Тривалість оперативного втручання 180 хв. По закінченню оперативного втручання пацієнт прокинувся через 15 хв (інфузія пропофолу відключена за 15 хв до закінчення оперативного втручання). Зберігалась підвищена сонливість та легка дезорієнтація протягом наступних 20 хв, пацієнт перебував в кімнаті постопераційного спостереження протягом першої години, після чого переведений до профільного хірургічного відділення.

Виходячи з даних, поданих вище, можемо проаналізувати, що, незважаючи на вітальні показники в референтних значеннях протягом всієї тривалості оперативного втручання, у пацієнта В., якому застосовувалась інфузія розчину 1 % пропофолу для забезпечення помірної седації мав місце розвиток помірної гіперкапнії, що в свою чергу призвело до тривалішого пробудження пацієнта після закінчення оперативного втручання та легких побічних явищ. Звертаємо вашу увагу, що SpO_2 протягом всього періоду зберігалась також в межах норми.

Висновки. Питання раннього розпізнавання інтраопераційної гіперкапнії за допомогою стандартного моніторингу у пацієнтів, що перебувають на довготривалій в/в седації із ЗСД залишається відкритим через недостатню кількість достовір-

Таблиця 4. Порівняння газометрії пацієнта А та пацієнта В.

показник	Пацієнт А *	Пацієнт В **
Початок операції		
pH	7.35	7.34
pCO ₂	42	45
pO ₂	87	90
SpO ₂	99	98
Інсуфляція O ₂ , лицева маска, потік (л/хв)	0	0
Через 30 хв від початку операції		
pH	7.44	7.40
pCO ₂	33	48
pO ₂	87	116
SpO ₂	97	98
Інсуфляція O ₂ , лицева маска, потік (л/хв)	5	5
Через 60 хв від початку операції		
pH	7.40	7.31
pCO ₂	44	60
pO ₂	138	199
SpO ₂	98	98
Інсуфляція O ₂ , лицева маска, потік (л/хв)	5	5

них досліджень з масштабною вибіркою пацієнтів. Також залишається відкритим питання з приводу можливості та доцільності використання рутинної капнографії в даній категорії пацієнтів. Нормальні показники сатурації периферичної крові пацієнта під час проведення седації не є достовірним показником адекватного вентиляторного патерну та нормокапнії.

Фінансування / Funding

Немає джерела фінансування / There is no funding source.

Конфлікт інтересів / Conflicts of interest

Усі автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів /

All authors report no conflict of interest

Етичне схвалення / Ethical approval

Це дослідження було проведено відповідно до Гельсінської декларації та за-

тверджено місцевим комітетом з етики досліджень /

This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was

approved by the local research ethics committee.

Надійшла до редакції / Received: 30.04.2023

Після доопрацювання / Revised: 02.05.2023

Прийнято до друку / Accepted: 23.06.2023

Опубліковано онлайн / Published online: 30.06.2023

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Cummins, E. P., Strowitzki, M. J., & Taylor, C. T. (2019). *Mechanisms and consequences of oxygen- and carbon dioxide-sensing in mammals. Physiological Reviews.* doi:10.1152/physrev.00003.2019.
2. *Hypercapnia from Physiology to Practice. Int J Clin Pract.* 2022; 2022: 2635616. Published online 2022 Sep 23. doi: 10.1155/2022/2635616.
3. *Continuum of Depth of Sedation: Definition of General Anesthesia and Levels of Sedation/Analgesia. Developed By: Committee on Quality Management and Departmental Administration. Last Amended: October 23, 2019 (original approval: October 13, 1999)*
4. *Postoperative Delirium after Dexmedetomidine versus Propofol Sedation in Healthy Older Adults Undergoing Orthopedic Lower Limb Surgery with Spinal Anesthesia: A Randomized Controlled Trial. Anesthesiology February 2023, Vol. 138, 164–171.* https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004438.
5. Chen, XL., Huang, WH., Zheng, YH. et al. *Comparison of the efficacy and safety of sedation protocols with the use of dexmedetomidine–remifentanyl and propofol–remifentanyl during percutaneous closure of atrial septal defects: a randomized clinical trial. J Cardiothorac Surg 17, 100 (2022).* https://doi.org/10.1186/s13019-022-01834-6.
6. Klein, A. A., Meek, T., Allcock, E., Cook, T. M., Mincher, N., Morris, C. Young, P. (2021). *Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021. Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021. Anaesthesia.* doi:10.1111/anae.15501
7. *Моніторинг пацієнта під час процедурної седації: чи до-тримуємось ми сучасних стандартів безпеки? Бєлка К.Ю., Франк М.С., Кучин Ю.Л., Діденко М.П., Семенко Н.М. УДК 378.147:614.23:004.771:616-036.21 DOI: 10.25284/2519-2078.1(102).2023.278303*
8. Twan T.J. Aalbers1*, Laurens C. Vroon1, Sjoerd W. Westra2, Gert Jan Scheffer1, Lucas T. van Eijk1, and Michiel Vaneker. *Respiratory Acidosis during Procedural Sedation and Analgesia for Pulmonary Vein Isolation: A Prospective Observational Study.* DOI: 10.36648/2471-8157.7.12.164
9. Lisha Shastri, Benedict Kjærgaard, Stephen Edward Rees, Lars Pilegaard Thomsen. *Changes in central venous to arterial carbon dioxide gap (PCO2 gap) in response to acute changes in ventilation.* doi: 10.1136/bmjresp-2021-000886

MORENKO A.M., DUBROV S.O.

INTRAOPERATIVE HYPERCAPNIA, RISK FACTORS AND HOW TO RECOGNIZE THE PROBLEM IN TIME? THE INFLUENCE OF HYPERCAPNIA ON THE POSTOPERATIVE AWAKENING OF THE PATIENT

Summary: This article addresses the issue of intraoperative development of hypercapnia and its correlation with delayed patient awakening following intravenous (IV) sedation with preserved spontaneous respiration. A brief literature review was conducted on the development, pathogenesis of hypercapnia, and adequacy of patient monitoring during IV analgosedation with preserved spontaneous respiration. Through the analysis of literature on this topic, we have found that the adequacy of monitoring is insufficiently studied, and the correlation between saturation and carbon dioxide (CO₂) levels in arterial blood is not always proportional in patients undergoing deep procedural sedation with preserved spontaneous respiration (PSR). Therefore, we aim to present our own clinical experience.

Key words: hypercapnia, postoperative awakening, arterial blood gas, sedation, propofol, dexmedetomidine.

УЧАСТЬ АВТОРІВ В ПІДГОТОВЦІ СТАТТІ:

МОРЕНКО А.М. – дизайн статті, науковий інтерес, аналіз та збір даних, участь у лікуванні пацієнтів
ДУБРОВ С.О. – дизайн статті, науковий інтерес, аналіз та збір даних, участь у лікуванні пацієнтів, рецензування