

Використання вуглекислого газу як альтернативної контрастної речовини при ангіографії в пацієнтів із критичною ішемією нижньої кінцівки та хронічною нирковою недостатністю



І. Л. Савон¹, П. А. Гиндич¹, С. Ю. Денисов²,
М. О. Приступюк³, О. О. Максимова¹

¹ ДНП «Український науково-практичний центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин Міністерства охорони здоров'я України», Київ

² Клінічна лікарня «Феофанія» ДУС, Київ

³ Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, Київ

Захворювання периферичних артерій (ЗПА) — хронічне захворювання артерій нижніх кінцівок унаслідок атеросклерозу. Наявність цукрового діабету (ЦД) підвищує частоту виникнення ЗПА, прискорює прогресування та погіршує тяжкість захворювання [1—3]. Зі збільшенням тривалості життя зростає кількість пацієнтів із хронічними захворюваннями, зокрема із ЗПА та ЦД [4, 5].

Залежно від клінічної стадії ЗПА, наявності трофічних виявів, больового синдрому лікування може бути консервативним або хірургічним. Хірургічне лікування полягає в усуненні артеріальної оклюзії з використанням «відкритої» хірургії, ендovasкулярного втручання або поєднання цих методик [6, 7].

Ендovasкулярні методи ревааскуляризації є мало-травматичними, супроводжуються меншою кількістю ускладнень порівняно з відкритою хірургією, а безпосередні та віддалені результати лікування порівнянні. Діагностичну ангіографію для виявлення характеру ураження судин і лікувальну ангіографію традиційно проводять із використанням йодовмісної контрастної речовини [8, 9].

Багато пацієнтів мають хронічну хворобу нирок (ХХН), що підвищує ризик розвитку контраст-індукованої нефропатії (КІН) після внутрішньосудинного введення йодовмісної рентгеноконтрастної речовини. Частота виникнення КІН після контрастної комп'ютерної томографії становить близько 6%, після периферичної ангіографії — 9% [10, 11].

У пацієнтів із ХХН, а також з алергією на йодовмісний контраст, використання CO₂ як контрастної речовини вважають єдиною альтернативою [12—14].

Про CO₂ як безпечну діагностичну контрастну речовину відомо з 1914 р. З 1950-х років CO₂ використовують в ангіографії для виявлення перикардіального випоту. У 1980-х роках, коли для візуалізації судин була розроблена цифрова субтракційна ангіографія (DSA), CO₂ як контрастна речовина знову набула актуальності [15—17].

Мета роботи — оцінити безпечність та ефективність візуалізації при використанні CO₂ як контрастної речовини для проведення ангіографії в пацієнтів із критичною ішемією кінцівки та хронічною нирковою недостатністю.

Савон Ігор Леонідович, д. мед. н., зав. відділення інтервенційної кардіології та радіології. E-mail: dr.savon.il@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8038-3731>;

Гиндич Павло Андрійович, лікар, судинний хірург, відділення інтервенційної кардіології та радіології. E-mail: p.gindich@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6203-245X>;

Денисов Святослав Юрійович, лікар, інтервенцій кардіолог, керівник центру невідкладної та інтервенційної кардіології. E-mail: denisovsu84@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3214-8208>;

Приступюк Максим Олександрович, к. мед. н., доцент кафедри хірургії з курсом абдомінальної хірургії. E-mail: maksym.prystupiuk@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7725-1498>;

Максимова Ольга Олегівна, к. мед. н., доцент, зав. відділення малоінвазивної та реконструктивної хірургії. E-mail: zmapo3@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1152-1528>

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У 2023—2025 рр. у ДНП «Український науково-практичний центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин МОЗ України» (Київ) проведено порівняння двох груп пацієнтів з критичною ішемією кінцівки та супутньою нирковою недостатністю. В основній групі (n = 32) під час ендоваскулярного лікування як контрастну речовину використовували CO₂, у контрольній групі (n = 35) — йодовмісну контрастну речовину йогексол («Томогексол» розчин для ін'єкцій (350 мг йоду), «Фармак», Україна). Комплексне обстеження та лікування проводили згідно з міжнародними рекомендаціями та протоколами, затвердженими в Центрі. Від пацієнтів отримана згода на проведення діагностичних і лікувальних процедур.

За віковими показниками, співвідношенням статей, масою тіла, рівнем ішемії за Фонтейном (1954), переважним ураженням артеріального русла нижніх кінцівок групи статистично значущо не відрізнялися (p > 0,05) (табл. 1).

При порівнянні основної та контрольної групи за наявністю ішемічної хвороби серця, гіпертонічної

хвороби, хронічного обструктивного захворювання легень, ЦД і куріння статистично значущих відмінностей не виявлено (p > 0,05).

В основній групі вміст креатиніну значно перевищував показник контрольної групи ((189,21 ± 5,57) і (86,23 ± 4,84) мкмоль/л, p < 0,0001), швидкість клубочкової фільтрації (ШКФ) була майже втричі меншою ((37,19 ± 2,75) та (97,78 ± 3,54) мл/(хв · 1,73 м²), p < 0,0001).

Показанням до виконання CO₂-ангіографії було порушення функції нирок (рівень креатиніну > 130 мкмоль/л і ШКФ < 59 мл/(хв · 1,73 м²)).

Статистичну обробку отриманих результатів проводили з використанням методів описової та порівняльної статистики. Кількісні показники перевіряли на відповідність нормальному розподілу. За відповідності дані наведено як середнє арифметичне значення та стандартну похибку середнього (M ± m). Для порівняння кількісних показників між двома незалежними групами використовували t-критерій Стьюдента. Якісні показники наведено у вигляді абсолютних і відносних величин. Для оцінки відмінностей між

Таблиця 1

Клінічна характеристика пацієнтів

Показник	Основна група (n = 32)	Контрольна група (n = 35)	p
Вік, роки	62,25 ± 2,06	63,08 ± 2,27	0,12 (t = 1,57)
Чоловіки	15 (46,9%)	19 (54,3%)	0,54
Жінки	17 (53,1%)	16 (45,7%)	
Маса тіла, кг	73,18 ± 2,17	72,42 ± 2,01	0,14 (t = 1,48)
Ішемічна хвороба серця	28 (87,5%)	30 (85,7%)	0,83
Гіпертонічна хвороба	24 (75,1%)	27 (77,1%)	0,84
ХОЗЛ	5 (15,6%)	6 (17,1%)	1,00
Куріння	7 (21,8%)	12 (34,2%)	0,27
Цукровий діабет	32 (100%)	35 (100%)	1,00
ХХН	32 (100%)	0	< 0,0001
Креатинін, мкмоль/л	189,21 ± 5,57	86,23 ± 4,84	< 0,0001
ШКФ, мл/(хв · 1,73 м ²)	37,19 ± 2,75	97,78 ± 3,54	< 0,0001
Рівень ішемії за Фонтейном			
IIб	4 (12,5%)	5 (14,3%)	1,00
III	5 (15,6%)	7 (20,0%)	0,77
IV	23 (71,9%)	23 (65,7%)	0,61
Анатомічне розташування ураженої ділянки			
Стегнова артерія	6 (18,7%)	6 (17,1%)	1,00
Підколінна артерія	16 (50,0%)	18 (51,5%)	1,00
Артерії гомілки та стопи	10 (31,3%)	11 (31,4%)	1,00

Примітка. ХОЗЛ — хронічне обструктивне захворювання легень; ШКФ — швидкість клубочкової фільтрації.

Таблиця 2

Порівняння використаного об'єму контрастної речовини, виду анестезії, тривалості та дози опромінення

Показник	Основна група (n = 32)	Контрольна група (n = 35)	p
Об'єм CO ₂ , мл	441,87 ± 21,77	–	
Об'єм йодгексолу, мл	17,21 ± 0,62	175,71 ± 7,96	< 0,0001
Тривалість флюороскопії, хв	28,18 ± 1,72	27,42 ± 1,59	0,07 (t = 1,87)
Кумулятивна доза опромінення, мГр	431,11 ± 1,87	430,91 ± 2,54	0,71 (t = 0,37)
Блокада периферичних нервів нижньої кінцівки	32 (100 %)	17 (48,5 %)	< 0,0001

групами за категоріальними змінними застосовували χ^2 -критерій Пірсона, а у випадках малих вибірок — двобічний точний критерій Фішера. Рівень статистичної значущості вважали вірогідним при $p < 0,05$. Усі статистичні тести були двобічними.

РЕЗУЛЬТАТИ

Ендоваскулярні процедури з використанням йодовмісного контрасту проводили за стандартною методикою за допомогою ангиографа «Philips Allura Xper CV20» (Нідерланди). При виконанні карбоксидангіографії подачу CO₂ в артеріальне русло здійснювали за допомогою «AngioSet» (Optimed, Німеччина).

Дані щодо використаного об'єму контрастної речовини наведено в табл. 2.

Для моніторингу опромінення пацієнта визначали тривалість флюороскопії та кумулятивну дозу.

За тривалістю флюороскопії групи вірогідно не відрізнялися ($t = 1,87$; $p = 0,066$).

Кумулятивна доза опромінення пацієнтів основної групи статистично значущо не відрізнялася від показників контрольної групи ($431,11 \pm 1,87$) і ($430,91 \pm 2,54$) мГр, $t = 0,37$; $p = 0,71$).

У всіх пацієнтів основної групи процедуру з використанням CO₂ супроводжували блокадою периферичних нервів нижньої кінцівки, тоді як у контрольній групі — лише в 17 (48,5 %) випадках ($p < 0,0001$).

На відміну від рідкого контрасту, який змішується з кров'ю, CO₂ рухається в потоці крові як ізольований міхур. CO₂-рентгенонегативний контраст має низьку щільність і меншою мірою поглинає рентгєнівські промені, ніж навколишні кровоносні судини та стінка судини.

Міхур CO₂ має характерну параболу потоку вздовж передньої (верхньої) частини судини, тоді як задня (нижня) частина залишається заповненою кров'ю та вільною від CO₂. Якість зображення артерій нижніх кінцівок при використанні CO₂ можна отримати, подолавши обмеження плавучості, що

досягається шляхом розміщення пацієнта в положенні Тренделенбурга, внутрішньоартеріального введення нітрогліцерину та дистальної ін'єкції.

Використана нами система складається з трьох основних компонентів: балона з медичним газом (CO₂), редуктора та системи подачі. На балоні установлений редуктор із манометрами високого та низького тиску, що дає змогу встановлювати необхідний тиск на виході та запобігає стрімкій подачі газу. Крізь фільтр і подовжувач газ подається до шприца, на якому виставляють необхідний для введення об'єму газу (від 20 до 100 мл). Кран спеціальної конструкції перемикає подачу газу від балона до шприца та від шприца до пацієнта для запобігання прямому потоку газу в кров. Спеціальний 1,5-метровий подовжувач під'єднують до інтродюсера або діагностичного катетера.

У пацієнтів, яким виконували CO₂-ангіографію, спостерігали незначну частоту нениркових ускладнень (більш у кінцівках, нудота), інших побічних ефектів, пов'язаних із CO₂, не зареєстровано.

CO₂ як газ добре розчинюється в крові, не спричиняючи токсичного впливу. Коли розчинений у крові CO₂ потрапляє до легень, він виділяється з організму при видиху. При введенні CO₂ в артерії або вени нижче за діафрагму, кров 100 % очищується, і газ видихається, перш ніж потрапити до коронарного або мозкового кровообігу, що запобігає емболії.

При введенні в артеріальне русло газу пацієнти відзначали тимчасовий дискомфорт або помірний біль, мимоволі рухалися, що погіршувало якість ангіографії. Ці явища усували шляхом знеболювання пацієнта: перед процедурою виконували провідникову анестезію сідничого та стегового нервів.

Комбінація CO₂ та мінімального використання йодовмісного контрасту зменшує об'єм йодованої контрастної речовини, забезпечуючи необхідну якість зображення. У нашому дослідженні цю методику використали в 12 (37,5 %) пацієнтів основної групи. Ускладнень не зареєстрували.

ОБГОВОРЕННЯ

У пацієнтів із ХХН значно підвищується ризик розвитку КІН, що може привести до тривалої втрати функції нирок, виникнення серцево-судинних подій (інфаркту міокарда) та смерті.

Порушення функції нирок, пов'язане з КІН, визначають як підвищення рівня креатиніну в сироватці крові на $\geq 25\%$, або $\geq 0,5$ мг/дл, упродовж трьох днів після введення контрастної речовини. Вміст креатиніну в сироватці крові досягає піку через 3—5 днів, і знижується до початкового рівня або менше протягом 1—3 тиж.

Патогенез виникнення КІН складний. У ньому залучено кілька чинників (шкідливий вплив контрастної речовини, оксидативний стрес, вазоконстрикція та ішемія).

Після введення контрастної речовини запускається тимчасове вивільнення оксиду азоту, що викликає ендотеліозалежну вазодилатацію, яка призводить до тимчасової реноваскулярної дилатації та збільшення кровотоку в ниркових судинних аркадах. Контрастна речовина фільтрується через фенестрований ендотелій клубочка, потрапляє в капсулу Боумена, сечовивідну порожнину та каналцеві епітеліальні клітини, де повторно абсорбується. Контрастна речовина є цитотоксичною для каналцевих епітеліальних клітин. Підсилення зворотного зв'язку між каналцями й клубочками є одним із механізмів зростання вазоконстрикції та гіпоксії.

Також спостерігається порушення балансу вазоактивних медіаторів — вазоконстрикторних (аденозин, ендотелін) і вазодилаторних (оксид азоту, простагліцин), що додатково призводить до вазоконстрикції та гіпоксії. Зовнішній шар мозкової речовини особливо вразливий до гіпоксії, тоді як збільшення надходження натрію до товстої висхідної ніжки збільшує його метаболічну потребу в кисні, що ще більше підсилює відносну гіпоксію в цій ділянці.

Зниження ниркового кровотоку також призводить до накопичення контрастної речовини в мозковій речовині нирок. Унаслідок цього клітини ниркових каналців піддаються впливу контрастної речовини протягом тривалого періоду часу, що призводить до більшого пошкодження клітин і провокує вивільнення шкідливих вазоактивних медіаторів (активні форми кисню), що спричиняють тривалу вазоконстрикцію, апоптоз й оксидативне пошкодження.

Контраст-індукована нефропатія є третьою за частотою причиною набуті гострої ниркової недостатності та найпоширенішою причиною гострого

ураження нирок у госпіталізованих пацієнтів. У загальній популяції частота КІН становить $> 2\%$, у підгрупах із ХХН — зростає до 30% .

Підвищений ризик розвитку КІН мають пацієнти з ХХН, діабетом, серцевою недостатністю, анемією, віком ≥ 75 років. Знижена функція нирок і підвищена доза контрастної речовини є чинниками ризику розвитку КІН, тому їх вважають інструментом прогнозування розвитку КІН. Величину співвідношення об'єму контрасту до кліренсу креатиніну ($V/CrCl$) використовують як незалежний предиктор КІН.

Значення $V/CrCl > 6,15$ було незалежно пов'язане з підвищеним ризиком КІН. При $V/CrCl \geq 6,15$ КІН виникала в $25,1\%$ випадків, при $V/CrCl < 6,15$ — у $9,7\%$. Цей прогноз підтверджувався незалежно від наявності або відсутності діабету.

У 2014 р. Європейське товариство кардіологів розробило рекомендації з профілактики КІН. Пацієнтів слід адекватно гідратувати до виконання процедури, а пацієнтам із групи ризику — проводити внутрішньовенну гідратацію ізотонічним розчином до, під час та після процедури. Підвищена гідратація протидіє нирковій вазоконстрикції, запобігає гіпоксії ниркової речовини шляхом збільшення ниркового кровотоку через нефрони, розбавляє контрастну речовину та зменшує нефротоксичний вплив на каналцевий епітелій шляхом зменшення тривалості контакту контрасту з ниркою.

Пацієнтам із діабетом рекомендують припинити використання будь-яких нефротоксичних препаратів перед процедурою, а лікарям — використовувати найменший можливий об'єм контрастної речовини.

Додаткові профілактичні методи лікування — використання N-ацетилцистеїну та високих доз статинів.

Використання CO_2 -ангіографії значно знизило частоту виникнення КІН та дало змогу проводити ендovasкулярні процедури в пацієнтів із ХХН, зокрема в термінальній стадії.

Зменшити об'єм йодовмісного контрасту також допомагає проведення якісного та деталізованого доплерівського обстеження перед втручанням для локалізації ураження (стеноз, оклюзія, протяжність ураження, стан артерій голілки та стопи).

Протипоказанням для використання CO_2 -ангіографії є артеріографія, виконана вище за діафрагму, що може привести до повітряної емболії головного мозку в пацієнтів із дефектом серцевої перегородки або кардіопульмональним шунтом зліва направо.

У пацієнтів із ХОЗЛ, які мають високий вихідний рівень CO₂, може спостерігатися затримка всмоктування CO₂.

ВИСНОВКИ

Використання CO₂ як контрастної речовини забезпечує достатню роздільну здатність при проведенні діагностичних і лікувальних ендоваскулярних процедур. Застосування цього газу є основним профілактичним засобом виникнення КІН.

Сучасні системи доставки CO₂ та поліпшені технології візуалізації розширили можливості використання CO₂-ангіографії в пацієнтів із захворюванням периферичних артерій і нирковою недостатністю як безпечної альтернативи використанню йодовмісної контрастної речовини.

Комбінована ангіографія, що використовує CO₂ та невелику кількість йодовмісного контрасту, дає змогу уникнути небажаних явищ та отримати добру якість зображення.

Конфлікту інтересів немає.

Етичні аспекти. Дослідження проведено з дотриманням етичних принципів і правових норм, визначених статутом Української асоціації з біоетики, а також згідно з міжнародними стандартами GCP (1992) та GLP (2002). Дотримано вимоги Гельсінської декларації щодо захисту прав людини, Конвенції Ради Європи про права людини і біомедицину. Виконання дослідження погоджено комісією з етики та біоетики ДНП «Український науково-практичний центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин МОЗ України».

Участь авторів: концепція і дизайн дослідження — І. Л. Савон; збір матеріалу — П. А. Гундич, С. Ю. Денисов; опрацювання матеріалу — І. Л. Савон, П. А. Гундич, С. Ю. Денисов; написання тексту — О. О. Максимова; редагування — М. О. Приступюк

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Wittig T, Fischer S, Winther B, Schmidt A, Scheinert D, Hoffmann A, Steiner S. Acute kidney injury after peripheral interventions using carbon dioxide angiography—risk factors beyond iodinated contrast media. *Life (Basel)*. 2025 Jun 30;15(7):1046. doi: 10.3390/life15071046. PMID: 40724548.
2. Afsharirad A, Javankiani S, Noparast M. Comparing the accuracy and safety of automated CO₂ angiography to iodine angiography in peripheral arterial disease with chronic limb ischemia: a prospective cohort study. *Ann Med Surg (Lond)*. 2024 Feb;87(2):527-534. doi: 10.1097/MS9.0000000000002955. PMID: 40110329.
3. Jakobi T, Meyborg M, Freisinger E, Gebauer K, Stella J, Engelbertz C, Reinecke H, Malyar NM. Feasibility and impact of carbon dioxide angiography on acute kidney injury following endovascular interventions in patients with peripheral artery disease and renal impairment. *J Nephrol*. 2021 Jun;34(3):811-820. doi: 10.1007/s40620-020-00909-8. PMID: 33555574.
4. Lee SR, Ali S, Cardella J, Turner J, Guzman RJ, Dardik A, Ochoa Chaar CI. Carbon dioxide angiography during peripheral vascular interventions is associated with decreased cardiac and renal complications in patients with chronic kidney disease. *J Vasc Surg*. 2023 Jul;78(1):201-208. doi: 10.1016/j.jvs.2023.03.029. PMID: 36948278.
5. Scalise F. Carbon Dioxide Automated Angiography in Patients With a High Risk of Contrast-Induced Nephropathy Who Undergo Percutaneous Interventions for Critical Limb Ischemia. *J Endovasc Ther*. 2016 Feb;23(1):49-51. doi: 10.1177/1526602815620870. PMID: 26694695.
6. Olszewski M, Dziwiszek G, Świtaj D, Brzostek Z, Olszewska J, Czupryniak L, Nawrot I. The role of percutaneous balloon angioplasty in the treatment of critical limb ischemia in diabetic patients. *Curr Top Diabetes*. 2022 May;2(2):135-144. doi: 10.5114/ctd/149844.
7. Kishino M, Nakaminato S, Kitazume Y, Miyasaka N, Kudo T, Saida Y, Tateishi U. Balloon-occluded carbon dioxide gas angiography for internal iliac arteriography and intervention. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2018 Jul;41(7):1106-1111. doi: 10.1007/s00270-018-1957-5. PMID: 29774371.
8. Diamantopoulos A, Patrone L, Santonocito S, Theodoulou I, Ilyas S, Dourado R, Game D, Karunanithy N, Pate S, Zayed H, Katsanos K. Carbon dioxide angiography during peripheral angioplasty procedures significantly reduces the risk of contrast-induced nephropathy in patients with chronic kidney disease. *CVIR Endovasc*. 2020;3:9. doi: 10.1186/s42155-020-0103-z. PMID: 32064543.
9. Rossi PL, Bianchini D, Lombi A, Sapignoli S, Zanzi M, Corazza I. Radiological aspects of CO₂ peripheral DSA: Preliminary analysis on the dedicated protocols. *Indian J Radiol Imaging*. 2020 Oct 15;30(3):372-375. doi: 10.4103/ijri.IJRI_247_20. PMID: 33487854.
10. Cho KJ. Carbon dioxide angiography: scientific principles and practice. *Vasc Specialist Int*. 2015 Sep 30;31(3):67-80. doi: 10.5758/vsi.2015.31.3.67.
11. Wagner G, Glechner A, Persad E, Klerings I, Gartlehner G, Moertl D, Steiner S. Risk of contrast-associated acute kidney injury in patients undergoing peripheral angiography with carbon dioxide compared to iodine-containing contrast agents: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2022 Dec 4;11(23):7203. doi: 10.3390/jcm11237203. PMID: 36498777.
12. Sharafuddin MJ, Marjan AE. Current status of carbon dioxide angiography. *J Vasc Surg*. 2017 Aug;66(2):618-637. doi: 10.1016/j.jvs.2017.03.446. PMID: 28735955.
13. Vaccarino R, Karelis A, Singh B, Marinko E, Tasopoulou KM, Resch T, Sonesson B, Dias NV. Assessment of carbon dioxide angiography in iliac branched repair. *J Endovasc Ther*. 2024 Oct 22;15266028241289012. doi: 10.1177/15266028241289012. PMID: 39438018.
14. Karanam LSP, Baddam SR, Ravikanti SP, Kumar KSS. Role of CO₂ Angioplasty as a Safe Option in Endovascular Treatment of Peripheral Arterial Disease in High-Risk Patients Using Dedicated Automated Optimized CO₂ Delivery System. *Indian J Vasc Endovasc Surg*. 2021 Oct-Dec;8(4):332-336. doi: 10.4103/ijves.ijves_20_21.

15. Taha AG, Saleh M, Ali H. Safety and efficacy of hybrid angiography in chronic lower extremity ischemia patients at risk of contrast-induced acute kidney injury. *Vasc Endovascular Surg.* 2022 Feb;56(2):180-189. doi: 10.1177/15385744211055908. PMID: 34747668.
16. Wawer Matos Reimer RP, Reimer P, et al. Safety and evidence of CO₂ as a vascular contrast agent as an alternative to iodine-based contrast media in vascular procedures: a systematic review by the ESUR Contrast Medium Safety Committee. *Eur Radiol.* 2025 Dec;35(12):7680-7687. doi: 10.1007/s00330-025-12001-5.
17. Caridi JG. Vascular imaging with carbon dioxide: confidence in a safe, efficacious, user-friendly system. *Semin Intervent Radiol.* 2015 Dec;32(4):339-342. doi: 10.1055/s-0035-1564813. PMID: 26622105.

РЕЗЮМЕ

Захворювання периферичних артерій — хронічне захворювання артерій нижніх кінцівок унаслідок атеросклерозу. Хірургічне лікування полягає в усуненні артеріальної оклюзії шляхом проведення «відкритої» хірургії, ендovasкулярного втручання або поєднання цих методик. Ендovasкулярні методи реvascularизації є малотравматичними, супроводжуються меншою кількістю ускладнень порівняно з відкритою хірургією, а безпосередні та віддалені результати лікування порівнянні. Багато пацієнтів із захворюваннями периферичних артерій мають хронічну хворобу нирок, що підвищує ризик розвитку контраст-індукованої нефропатії, яка виникає після внутрішньосудинного введення йодовмісної рентгеноконтрастної речовини. Використання CO₂ як контрастної речовини вважають альтернативою.

Мета роботи — оцінити безпечність та ефективність візуалізації при використанні CO₂ як контрастної речовини для проведення ангіографії в пацієнтів із критичною ішемією кінцівки та хронічною нирковою недостатністю.

Матеріали та методи. У 2023—2025 рр. проведено порівняння двох груп пацієнтів із критичною ішемією кінцівки та супутньою нирковою недостатністю, яким проводили ендovasкулярне лікування. В основній групі (n = 32) під час ендovasкулярного лікування як контрастну речовину використовували CO₂, у контрольній групі (n = 35) — йодовмісну контрастну речовину йогексол («Томогексол» розчин для ін'єкцій (350 мг йоду), «Фармак», Україна). Комплексне обстеження та лікування проводили згідно з міжнародними рекомендаціями та протоколами, затвердженими в Центрі. За віковими показниками, співвідношенням статей, масою тіла, рівнем ішемії за Фонтейном (1954), переважним ураженням артеріального русла нижніх кінцівок групи статистично значущо не відрізнялися (p > 0,05). В основній

групі вміст креатиніну значно перевищував показник контрольної групи ((189,21 ± 5,57) і (86,23 ± 4,84) мкмоль/л, p < 0,0001), швидкість клубочкової фільтрації була майже втричі меншою ((37,19 ± 2,75) та (97,78 ± 3,54) мл/(хв · 1,73 м²), p < 0,0001). Показанням до виконання CO₂-ангіографії було порушення функції нирок (рівень креатиніну > 130 мкмоль/л і швидкість клубочкової фільтрації < 59 мл/(хв · 1,73 м²)).

Результати. Ендovasкулярні процедури з використанням йодовмісного контрасту проводили за стандартною методикою за допомогою ангіографа «Philips Allura Xper CV20» (Нідерланди). При виконанні карбоксіангіографії подачу CO₂ в артеріальне русло здійснювали за допомогою «Angioset» (Optimed, Німеччина). Об'єм використаного CO₂ в основній групі становив (441,87 ± 21,77) мл, йогексолу — (17,21 ± 0,62) мл, йогексолу в контрольній групі — (175,71 ± 7,96) мл (p < 0,0001). Для моніторингу опромінення пацієнта визначали тривалість флюороскопії та кумулятивну дозу. За тривалістю флюороскопії групи вірогідно не відрізнялися ((28,18 ± 1,72) і (27,42 ± 1,59) хв, p = 0,066). Кумулятивна доза опромінення пацієнтів основної групи статистично значущо не відрізнялася від показників контрольної групи ((431,11 ± 1,87) і (430,91 ± 2,54) мГр, t = 0,37; p = 0,71). У всіх пацієнтів основної групи процедуру з використанням CO₂ супроводжували блокадою периферичних нервів нижньої кінцівки, тоді як у контрольній групі — лише в 17 (48,5%) випадках (p < 0,0001). У пацієнтів, яким виконували CO₂-ангіографію, спостерігали незначну частоту нениркових ускладнень (більш у кінцівках, нудота), інших побічних ефектів, пов'язаних із CO₂, не зареєстровано.

Висновки. Використання CO₂ як контрастної речовини забезпечує достатню роздільну здатність при проведенні діагностичних і лікувальних ендovasкулярних процедур. Застосування цього газу є основним профілактичним засобом виникнення контраст-індукованої нефропатії. Сучасні системи доставки CO₂ та поліпшені технології візуалізації розширили можливості використання CO₂-ангіографії в пацієнтів із захворюваннями периферичних артерій і нирковою недостатністю як безпечної альтернативи використанню йодовмісної контрастної речовини. Комбінована ангіографія, що використовує CO₂ та невелику кількість йодовмісного контрасту, дає змогу уникнути небажаних явищ та отримати добру якість зображення.

Ключові слова: ендovasкулярне лікування захворювань периферичних артерій, хронічна ниркова недостатність, профілактика контраст-індукованої нефропатії.

ABSTRACT

Use of carbon dioxide as an alternative contrast agent for angiography in patients with critical limb ischemia and chronic kidney diseaseI. L. Savon¹, P. A. Hyndych¹, S. Y. Denysov², M. O. Prystupiyuk³, O. O. Maksymova¹¹ State Non-Commercial Enterprise «Ukrainian Scientific and Practice Center of Endocrine Surgery, Transplantation of Endocrine Organs and Tissues under MoH of Ukraine», Kyiv² Clinical Hospital Feofaniya, Kyiv³ Bogomolets National Medical University, Kyiv

Peripheral artery disease is a chronic disease of the lower limb arteries due to atherosclerosis. Surgical treatment involves eliminating arterial occlusion by performing «open» surgery, endovascular intervention, or a combination of these methods. Endovascular revascularization methods are minimally invasive, are associated with fewer complications compared to open surgery, and both short- and long-term outcomes are comparable. Many patients with peripheral artery disease have chronic kidney disease, which increases the risk of developing contrast-induced nephropathy, which occurs after intravascular administration of iodinated radiocontrast agents. The use of CO₂ as a contrast agent is considered an alternative.

Objective. To evaluate the safety and effectiveness of imaging using CO₂ as a contrast agent for angiography in patients with critical limb ischemia and chronic renal failure.

Materials and methods. In 2023—2025, a comparison was made between two groups of patients with critical limb ischemia and concomitant renal failure who underwent endovascular treatment. In the main group (n = 32), CO₂ was used as a contrast agent during endovascular treatment, while in the control group (n = 35), an iodine-containing contrast agent, iohexol («Tomogexol» solution for injection (350 mg iodine), «Farmak», Ukraine), was used. Comprehensive examination and treatment were carried out in accordance with international recommendations and protocols approved at the Center. The groups did not differ significantly in age, sex distribution, body weight, Fontaine classification stage (1954), or predominant localization of lower extremity arterial lesions (p > 0.05).

In the main group, creatinine levels significantly exceeded those in the control group (189.21 ± 5.57 and 86.23 ± 4.84 μmol/L, p < 0.0001), and the glomerular filtration rate was almost three times lower (37.19 ± 2.75 and 97.78 ± 3.54 mL/(min · 1.73 m²), p < 0.0001). The indication for CO₂-angiography was impaired kidney function (creatinine level > 130 μmol/L and glomerular filtration rate < 59 mL/(min · 1.73 m²)).

Results. Endovascular procedures using iodine-containing contrast were performed according to standard methodology using a «Philips Allura Xper CV20» angiograph (Netherlands). During carboxyangiography, CO₂ was delivered into the arterial bed using «Angioset» (Optimed, Germany). The volume of CO₂ used in the main group was 441.87 ± 21.77 mL, iohexol was 17.21 ± 0.62 mL, and iohexol in the control group was 175.71 ± 7.96 mL (p < 0.0001). To monitor patient exposure, fluoroscopy duration and cumulative dose were determined. The groups did not differ significantly in fluoroscopy duration (28.18 ± 1.72 and 27.42 ± 1.59 min, p = 0.066). The cumulative radiation dose in the main group did not differ significantly from that in the control group (431.11 ± 1.87 and 430.91 ± 2.54 mGy, t = 0.37; p = 0.71). In all patients of the main group, the procedure using CO₂ was accompanied by peripheral nerve blockade of the lower limb, while in the control group, it was only in 17 (48.5 %) cases (p < 0.0001). In patients who underwent CO₂-angiography, a low frequency of non-renal complications (limb pain, nausea) was observed; no other CO₂-related side effects were reported.

Conclusions. The use of CO₂ as a contrast agent provides sufficient resolution for diagnostic and therapeutic endovascular procedures. The use of this gas represents an effective preventive measure against contrast-induced nephropathy. Modern CO₂ delivery systems and improved imaging technologies have expanded the possibilities of using CO₂-angiography in patients with peripheral artery disease and renal failure as a safe alternative to using iodinated contrast agents. Combined angiography, which uses CO₂ and a small amount of iodine-containing contrast, helps avoid adverse events and obtaining good image quality.

Keywords: endovascular treatment of peripheral artery diseases, chronic kidney disease, prevention of contrast-induced nephropathy.

Дата надходження до редакції 12.03.2026 р.

Дата рецензування 04.04.2026 р.

Дата підписання статті до друку 09.05.2026 р.

Опубліковано 30.06.2026 р.