

Дослідження транскутанної напруги кисню в пацієнтів із цукровим діабетом та захворюванням периферичних артерій після реваскуляризації нижньої кінцівки для визначення оптимального часу хірургічного оброблення рани



**І. Л. Савон¹, М. В. Свиридов¹, А. Є. Голодніков¹,
К. В. Седойкіна¹, О. О. Максимова²**

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

² Запорізький державний медико-фармацевтичний університет

У пацієнтів із цукровим діабетом (ЦД) та без нього захворювання периферичних артерій (ЗПА) значно відрізняється за клінічними виявами, динамікою перебігу хвороби та розвитком ускладнень. Ішемія кінцівки перебігає без попередніх типових больових скарг, а причиною звернення до лікаря є візуальні трофічні вияви у вигляді некрозу шкіри, гангрени або виразки [1, 2].

На ранньому етапі ЗПА можна діагностувати за допомогою визначення литково-плечового індексу (ЛПІ) та пальце-плечового індексу (ППІ). Використовуючи комп'ютерну томографію та цифрову субтракційну ангіографію можна отримати інформацію про анатомію, прохідність судин, визначити рівень і поширеність стено-оклюзійного ураження, ефективність хірургічної чи ендоваскулярної реваскуляризації [3, 4]. Основним недоліком цих обстежень є те, що вони не дають змоги визначити мікроперфузію тканин, яка впливає на загоєння тканин [5, 6].

Черезшкірне визначення рівня кисню, або оксиметрія (transcutaneous oxugen, $TcPO_2$), є неінвазивним методом вимірювання локального виділення кисню з капілярної мережі крізь шкіру, що відображує локальний метаболічний стан тканин [7].

Оцінку $TcPO_2$ використовують як засіб діагностики ЗПА у хворих на ЦД із кальцифікованими артеріями або раніше проведеною ампутацією на рівні стопи, коли кальциновані судини або відсутність пальців роблять неможливими використання інших неінвазивних методик [8, 9].

У кількох дослідженнях показано, що визначення $TcPO_2$ є точнішим методом діагностики артеріальної патології в пацієнтів із ЦД, ніж визначення ЛПІ та вимірювання артеріального тиску на пальцях стопи [10].

Останнім часом інтерес до $TcPO_2$ зростає у зв'язку з можливістю визначення зон із низькою перфузією, контролем оксигенації тканин при лікуванні, пошуком життєздатних тканин із найвищою ймовірністю

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>; **Свиридов Микола Васильович**, д. мед. н., зав. відділення діабетичної стопи. E-mail: sviridovdoc@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-4324-2084>; **Голодніков Андрій Євгенович**, лікар хірург відділення діабетичної стопи. E-mail: golodnikov1977@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-0325-0734>; **Седойкіна Катерина Вікторівна**, лікар анестезіолог відділення інтервенційної кардіології та радіології. E-mail: sedojkina.kavi@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-4662-3695>; **Максимова Ольга Олегівна**, к. мед. н., доцент кафедри хірургії №2. E-mail: zmapo3@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1152-1528>

загоєння при ампутації або визначення ймовірності загоєння після ревазуляризації [11, 12].

Хірургічне очищення рани (debridement), що є важливим етапом у лікуванні ран, має бути досить агресивним, щоб видалити всі нежиттєздатні некротичні тканини. Це дасть змогу грануляціям продовжити процес загоєння. Однак за наявності критичної ішемії кінцівки спроби видалити некротичні тканини можуть призвести до ще більшого пошкодження тканин і підсилення некрозу тканин. Тому за наявності ішемії тканин хірургічне очищення рани слід відкласти до відновлення адекватного кровотоку [13, 14].

Зазвичай перед проведенням хірургічної обробки виконують процедуру ревазуляризації [15, 16]. Дані літератури щодо часу, необхідного після відновлення кровотоку для досягнення адекватної перфузії кисню в шкірі навколо рани, відрізняються [17, 18].

Мета роботи — провести моніторинг $TcPO_2$ у пацієнтів із цукровим діабетом і захворюванням периферичних артерій після ревазуляризації та медикamentозного лікування для визначення оптимального часу хірургічного оброблення рани нижньої кінцівки.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У 2024—2025 рр. проведено обстеження та лікування 87 пацієнтів із приводу трофічних розладів у ділянці нижньої кінцівки у відділенні діабетичної стопи та відділенні інтервенційної кардіології та

радіології ДНП «Український науково-практичний центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин МОЗ України».

Основний діагноз — ЦД і ЗПА, супутній — ішемічна хвороба серця, гіпертонічна хвороба, хронічна хвороба нирок, хронічне обструктивне захворювання легень.

Обстеження та лікування проводили згідно з міжнародними стандартами й протоколами, затвердженими в закладі. Від пацієнтів отримано згоду на проведення діагностичних і лікувальних процедур.

Пацієнтів розподілили на групи: 43 проведена пряма ревазуляризація (ПР), 25 — непряма ревазуляризація (НР), 19 — без ревазуляризації (БР). Характеристика пацієнтів представлена в табл. 1.

Пацієнти отримали процедуру з ревазуляризації, яка залежно від технічної складності й судинних уражень була прямою або непрямою. Група пацієнтів, яким з певних причин не проведено ревазуляризації, отримали консервативне лікування. Пацієнтам усіх груп призначали антибактеріальні препарати, антиагреганти, інфузійну, дезінтоксикаційну терапію, проводили корекцію вуглеводного й ліпідного обміну речовин, місцеве хірургічне лікування та перев'язки.

Рівень ішемії нижньої кінцівки оцінювали шляхом визначення $TcPO_2$. Моніторинг $TcPO_2$ проводили при госпіталізації, на 7, 14, 21, 28 і 35-ту добу. Термін обстеження — 2—3 доби.

Таблиця 1

Характеристика пацієнтів із цукровим діабетом та захворюванням периферичних артерій

Показник	Без ревазуляризації (n = 19)	Пряма ревазуляризація (n = 43)	Непряма ревазуляризація (n = 25)
Чоловіки	11 (57,9 %)	24 (55,81 %)	14 (56,00 %)
Жінки	8 (42,1 %)	19 (44,19 %)	11 (44,00 %)
Середній вік, роки	63,5 ± 7,38	65,3 ± 8,24	64,8 ± 8,91
Куріння	8 (42,00 %)	19 (44,18 %)	11 (40,00 %)
ЦД 1 типу	3 (15,78 %)	5 (11,62 %)	4 (16,00 %)
ЦД 2 типу	16 (84,22 %)	38 (88,37 %)	21 (84,00 %)
Гіпертонічна хвороба	14 (73,68 %)	35 (81,39 %)	19 (76,00 %)
Ішемічна хвороба серця	15 (78,95 %)	33 (76,74 %)	18 (72,00 %)
ХХН	8 (42,10 %)	16 (37,20 %)	10 (40,00 %)
ХОЗЛ	4 (21,05 %)	9 (20,93 %)	6 (24,00 %)
Ожиріння	7 (36,84 %)	13 (30,23 %)	10 (40,00 %)

Примітка. ХХН — хронічна хвороба нирок; ХОЗЛ — хронічне обструктивне захворювання легень. При порівнянні груп статистичної різниці не виявлено ($p > 0,005$).

Методика визначення $TcPO_2$ полягає в тому, що електрод нагріває підлеглу шкіру та створює локальну гіперемію, за рахунок чого відбувається дилатація артеріол, підсилення кровопостачання й збільшення концентрації кисню в капілярній крові. Залежно від кількості кисню, що дифундує з капілярної крові крізь судинний епідерміс до електрода, розміщеного на поверхні шкіри, визначають тиск кисню.

Визначення рівня $TcPO_2$ проводили за допомогою приладу TCM4 (Radiometer, Швеція). Використовували оригінальні датчики/електроди, які прикріплювали до дослідної ділянки на дорзальній та плантарній поверхні стопи, в ділянках навколо трофічних змін. Під час дослідження пацієнти перебували в положенні лежачи.

Рівень ішемії визначали за критеріями класифікації захворювань нижніх кінцівок, яким загрожує втрата через ампутацію: рана, ішемія та інфекція стопи (WIFI) [19].

Стадії ішемії: 0 — $TcPO_2 \geq 60$ мм рт.ст., 1 — 40—59 мм рт.ст.; 2 — 30—39 мм рт.ст.; 3 — < 30 мм рт.ст.

Усі пацієнти мали ЦД і ЗПА, ішемічні вияви на стопі у вигляді хронічних ран або виразок без тенденції до загоєння, інфекційні ускладнення у вигляді абсцесу або флегмони, початкові вияви гангрени дистальної частини стопи або пальців.

Успішним лікуванням вважали збереження нижньої кінцівки та опорної здатності стопи (без потреби в протезі для забезпечення ходьби), а також довгострокову виживаність пацієнтів.

Упродовж лікування 4 пацієнтам із групи БР проведено високу ампутацію (на рівні стегна), 3 із групи НР — ампутацію на рівні гомілки.

На 28-й день обстеження проводили перед випискою пацієнтів зі стаціонару. На 35-ту добу 7 пацієнтів із різних груп не змогли прибути на обстеження і тому були вилучені з дослідження. Летальних наслідків не було.

Статистичне опрацювання виконували з використанням ANOVA (аналіз варіації) для перевірки рівності дисперсії та t-критерію Стюдента для порівняння середніх значень. Показники наведено як середнє арифметичне значення й стандартне відхилення ($M \pm SD$). Для вивчення взаємозв'язків застосовували мультифакторний регресійний аналіз, обчислювали відношення шансів (ВШ) із 95 % довірчим інтервалом (ДІ). Для множинних порівнянь використовували критерій χ^2 Пірсона, з апостеріорними порівняннями за допомогою z-тесту з порівняння пропорцій стовпчиків та з урахуванням поправки Бонферроні. Значущість вважали вірогідною при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

За клінічними виявами, співвідношенням статей, середнім віком, шкідливими звичками, основним захворюванням і супутньою патологією групи були порівнянні. Хворі мали ЦД тривалістю понад 12 років, ЗПА, підтверджене за даними доплерівського обстеження або комп'ютерної томографії.

На початковому етапі лікування при госпіталізації рівень $TcPO_2$ у групах становив у середньому ($28,95 \pm 1,11$), ($28,76 \pm 1,52$) і ($27,76 \pm 1,79$) мм рт.ст. без статистично значущої різниці між групами ($p > 0,05$) і відповідав третій стадії ішемії (табл. 2).

На 7-му добу реваскуляризація в групах ПР і НР майже на 100 % поліпшила показники $TcPO_2$ порівняно з вихідними. Показники статистично значущо

Таблиця 2

Моніторинг $TcPO_2$ у пацієнтів із цукровим діабетом і захворюванням периферичних артерій після реваскуляризації та медикаментозного лікування, мм рт.ст.

Період обстеження, доба	Без реваскуляризації (n = 19)	Пряма реваскуляризація (n = 43)	Непряма реваскуляризація (n = 25)
0	$27,76 \pm 1,79$	$28,95 \pm 1,11$	$28,76 \pm 1,52$
7	$32,57 \pm 1,60$	$52,60 \pm 1,62^*$	$50,48 \pm 1,36^{**}$
14	$37,10 \pm 0,67$	$54,69 \pm 1,30^*$	$52,72 \pm 1,04^{**}$
21	$31,15 \pm 3,01$	$54,95 \pm 1,31^*$	$53,00 \pm 0,91^{**}$
28	$26,63 \pm 2,49$	$55,11 \pm 1,24^*$	$53,04 \pm 0,79^{**}$
35	$33,09 \pm 3,76$	$55,51 \pm 1,54^*$	$53,01 \pm 1,16^{**}$

Примітка. * Різниця щодо показників пацієнтів без реваскуляризації статистично значуща ($p = 0,001$).

** Різниця щодо показників пацієнтів, яким проведено пряму реваскуляризацію, статистично значуща ($p < 0,05$).

відрізнялись від таких у групі БР (ПР-БР $t = 15,197$; $p = 0,001$, НР-БР $t = 17,717$; $p = 0,001$). Медикаментозна терапія сприяла поліпшенню рівня $TcPO_2$ у групі БР до $(32,57 \pm 1,60)$ мм рт.ст., що підтверджує ефективність призначеної терапії.

На 14-ту добу тенденція до підвищення рівня $TcPO_2$ зберігалася в усіх групах. У групах ПР і НР показники статистично значущо перевищували такі в групі БР (ПР-БР $t = 17,634$; $p = 0,001$, НР-БР $t = 24,196$; $p = 0,001$).

На 21-шу добу рівень $TcPO_2$ у групах ПР та НР не змінився, тоді як у групі БР зареєстровано його зниження щодо даних на 14-ту добу з $(37,10 \pm 0,67)$ до $(31,15 \pm 3,01)$ мм рт.ст. (ПР-БР $t = 17,556$; $p = 0,001$, НР-БР $t = 16,256$; $p = 0,001$).

На 28-му добу дослідження $TcPO_2$ у групах ПР і НР показники не змінилися, а в групі БР тенденція до зниження $TcPO_2$ зберігалася $((26,63 \pm 2,49)$ мм рт.ст.). Показники в групах ПР і НР статистично значущо перевищували показники в групі БР (ПР-БР $t = 23,467$; $p = 0,001$, НР-БР $t = 23,524$; $p = 0,001$).

На 35-ту добу запрошували пацієнтів на follow-up огляд та обстеження. Приїхати змогла більшість пацієнтів. Показники в групах ПР, НР і БР становили $(55,51 \pm 1,54)$, $(53,01 \pm 1,16)$ та $(33,09 \pm 3,76)$ мм рт.ст. відповідно. У групах ПР і НР показники майже не змінилися, а в групі БР відбулося незначне підвищення показників до рівня 7-ї доб, за рахунок вилучення пацієнтів із негативною динамікою. Рівень $TcPO_2$ у групах ПР і НР статистично значущо перевищував показники у групі БР (ПР-БР $t = 13,872$; $p = 0,001$, НР-БР $t = 13,168$; $p = 0,001$).

ОБГОВОРЕННЯ

При хронічній загрозливій ішемії видалення некротичних тканин або ампутацію бажано проводити після реваскуляризації в умовах поліпшення місцевого кровотоку. Це відбувається при сформованій демаркаційній лінії, дає змогу не видаляти життєздатні тканини, провести пластичне закриття ранового дефекту, сформувати опороздатну куксу.

Відсутність нормального кровообігу призводить до подальшого омертвіння тканин. Етапні некретомії на тлі ішемії на деякий час утримують від ампутації на вищому рівні. Рана може існувати певний час, але без тенденції до загоєння.

Процедура з реваскуляризації нижньої кінцівки має бути спрямована на відновлення прямого кровотоку до ураженої ділянки принаймні по одній з артерій стопи. За відсутності можливостей

відновлення кровотоку внаслідок пролонгованої облітерації артерій гомілки як варіант реваскуляризації можна розглянути відновлення артерій, через які відбудеться поліпшення кровопостачання необхідної ділянки по дрібних колатеральних судинах.

Пряма реваскуляризація поліпшує результати загоєння хронічних ран, ран після некектомії та ампутації. Непряма ендovasкулярна реваскуляризація демонструє добрі результати. При цьому можливе збільшення часу до повного загоєння, але результат буде позитивний.

Триває дискусія щодо ефективності прямої реваскуляризації порівняно з непрямою для запобігання ампутації. Доведено, що непряма реваскуляризація з добрими колатераліями сприяє загоєнню рани та порятунку кінцівки, так само, як і пряма реваскуляризація.

Упродовж лікування пацієнтів із ЦД та ЗПА проводили моніторинг $TcPO_2$ для визначення рівня перфузії в ділянках ішемії нижньої кінцівки при різних варіантах лікування з метою визначення оптимального періоду для хірургічного оброблення рани, видалення некротичних тканин, «економної» ампутації пальців або переднього відділу стопи (рисунок).

Дослідження рівня $TcPO_2$ засвідчило поліпшення показників у групі ПР, на 7-му добу після реваскуляризації. В інші терміни обстеження цей показник залишався на стабільному рівні.

Показник $TcPO_2$ після непрямої реваскуляризації також статистично значущо ($p < 0,05$) підвищувався на 7-му добу, але не так швидко, як у групі ПР. На 14-ту добу рівень $TcPO_2$ продовжував підвищуватися.

У групі БР на тлі медикаментозної терапії рівень $TcPO_2$ максимально підвищувався на 14-ту добу, потім відбувалося його зниження.

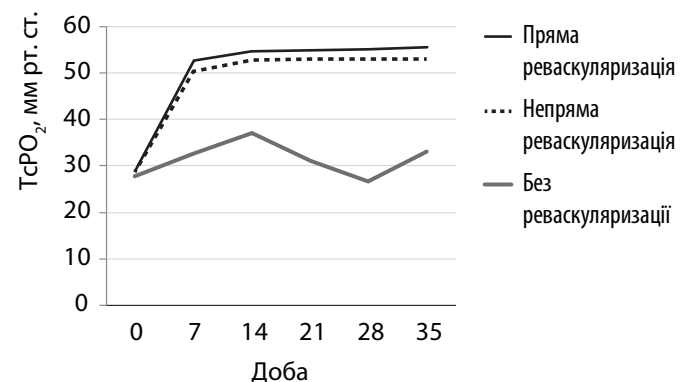


Рисунок. Динаміка $TcPO_2$ упродовж періоду спостереження

Показник $TcPO_2$ демонструє швидке початкове поліпшення одразу після відновлення артеріального кровотоку, майже однакове як при прямій, так і при непрямій реваскуляризації.

Рівень $TcPO_2$ досягає 40—59 мм рт.ст. (перший ступінь ішемії за WIFI), що вважається оптимальним для загоєння рани, через 1 або 2 тиж після ендovasкулярної реваскуляризації. Цей період слід вважати найкращим часом для проведення агресивнішої хірургічної обробки в пацієнтів із ЦД і ЗПА.

Після реваскуляризації в пацієнтів із ЦД і ЗПА адаптація місцевого мікроциркуляторного русла потребує більшого часу після реперфузії. При реперфузійному синдромі відбувається вивільнення кисневих радикалів, що спричинює набряк та пошкодження тканин. Ще однією можливою причиною повільного підвищення рівня $TcPO_2$ після ендovasкулярного втручання може бути ангіоспазм унаслідок процедури балонної ангіопластики.

Повна нормалізація мікроциркуляторного русла може тривати кілька тижнів після реваскуляризації, тому моніторинг $TcPO_2$ може бути корисним для визначення строків хірургічного втручання на стопі.

ВИСНОВКИ

Дослідження рівня $TcPO_2$ у пацієнтів із ЦД та ЗПА показало, що навіть у пацієнтів, яким виконана пряма реваскуляризація, для досягнення оптимального рівня загоєння рани потрібно не менш тижня.

Якщо хірургічне втручання на стопі можна відкласти, то найкращий час для проведення агресивнішої санації рани або дистальної ампутації становить 1—2 тиж після прямої або непрямой реваскуляризації.

Максимальний ефект від медикаментозної терапії спостерігали на 14-ту добу, з подальшим регресом до початкових значень.

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, опрацювання матеріалу — І.Л. Савон; збір матеріалу — А.Є. Голодніков, К.В. Седойкіна; написання тексту — О.О. Максимова; редагування — М.В. Свиридов.

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Armstrong DG, Tan TW, Boulton AJM, Bus SA. Diabetic Foot Ulcers: A Review. JAMA. 2023 Jul 3;330(1):62-75. doi: 10.1001/jama.2023.10578. PMID: 37395769; PMCID: PMC10723802.
2. Chuter V, Schaper N, Hinchliffe R, Mills J, Azuma N, Behrendt CA, Boyko EJ, Conte MS, Humphries M, Kirksey L, McGinagle KC, Nikol S, Nordanstig J, Rowe V, David R, van den Berg JC, Venermo M, Fitridge R. Performance of non-invasive bedside vascular testing in the prediction of wound healing or amputation among people with foot ulcers in diabetes: A systematic review. Diabetes Metab Res Rev. 2024 Mar;40(3):e3701. doi: 10.1002/dmrr.3701. Epub 2023 Jul 26. PMID: 37493206.
3. Ren B, Li B, Pan T, Zhao E, Ju S, Li X, Li X, Zhu Y, Cai Y, Huang L, Fu W, Dong Z. Risk factors for at-risk foot and peripheral artery disease among the population with diabetes: A multicommunity-based cross-sectional study. Diabetes Res Clin Pract. 2023 Sep;203:110869. doi: 10.1016/j.diabres.2023.110869. Epub 2023 Aug 8. PMID: 37562660.
4. Настанови 2023 року Міжнародної робочої групи з діабетичної стопи, Європейського товариства судинної хірургії, Товариства судинної хірургії щодо захворювання периферичних артерій у пацієнтів із цукровим діабетом і виразкою стопи». Clinical Endocrinology and Endocrine Surgery. 2024;(3):46-78. doi: 10.30978/CEES-2024-3-46.
5. Giurato L, Andrea P, Meloni M, Pecchioli C, D'Ambrogi E, Uccioli L. Risk factors for ulcer recurrence in diabetic patients managed by an integrated foot care protocol. Int J Low Extrem Wounds. 2023;15347346231191583. doi: 10.1177/15347346231191583.
6. Leenstra B, Wijnand J, Verhoeven B, Koning O, Teraa M, Verhaar MC, de Borst GJ. Applicability of Transcutaneous Oxygen Tension Measurement in the Assessment of Chronic Limb-Threatening Ischemia. Angiology. 2020 Mar;71(3):208-216. doi: 10.1177/0003319719866958. Epub 2019 Aug 6. PMID: 31387360; PMCID: PMC6987479.
7. Van GH, Amouyal C, Bourron O, Aubert C, Carlier A, Mosbah H, Fourniols E, Cluzel P, Couture T, Hartemann A. Diabetic foot ulcer management in a multidisciplinary foot centre: one-year healing, amputation and mortality rate. J Wound Care. 2021 Jun 1;30(Sup6):S34-S41. doi: 10.12968/jowc.2021.30.Sup6.S34. PMID: 34120465.
8. Sun HY, Wu YC, Sung LC, Lin XY, Tsai FC, Lin YK, Tam KW, Wang FY, Chang SC. Use of consecutive transcutaneous oxygen measurement when assessing the need for revascularization and association with the outcomes of ischemic diabetic ulcers. Int Wound J. 2024 Jan;21(1):e14635. doi: 10.1111/iwj.14635. PMID: 38272805; PMCID: PMC10789651.
9. Catella J, Mahé G, Leftheriotis G, Long A. Reference probe for $TcPO_2$ at rest: a systematic review. Diagnostics. 2023;13(1):77. doi: 10.3390/diagnostics13010077.
10. Rahul M, Vikram P, Rishi D, et al. $TcPO_2$ as a predictor of limb salvage or amputation in patients of critical limb ischemia. Indian Journal of Vascular and Endovascular Surgery. 2024;11(4):249-55. doi: 10.4103/ijves.ijves_79_24.

11. López-Moral M, García-Madrid M, Molines-Barroso RJ, García-Álvarez Y, Tardáguila-García A, Lázaro-Martínez JL. Analyses of transcutaneous oxygen pressure values stratified for foot angiosomes to predict diabetic foot ulcer healing. *J Tissue Viability*. 2023 Nov;32(4):480-6. doi: 10.1016/j.jtv.2023.10.003.
12. Armstrong DG, Swerdlow MA, Armstrong AA, Conte MS, Padula WV, Bus SA. Five year mortality and direct costs of care for people with diabetic foot complications are comparable to cancer. *J Foot Ankle Res*. 2020;13(1):16. doi: 10.1186/s13047-020-00383-2.
13. Zhang H, Huang C, Bai J, Wang J. Effect of diabetic foot ulcers and other risk factors on the prevalence of lower extremity amputation: a meta-analysis. *Int Wound J*. 2023;20(8):3035-47. doi: 10.1111/iwj.14179.
14. Schramm KM, DeWitt PE, Dybul S, Rochon PJ, Patel P, Hieb RA, Rogers RK, Ryu RK, Wolhauer M, Hong K, Trivedi PS. Recent Trends in Clinical Setting and Provider Specialty for Endovascular Peripheral Artery Disease Interventions for the Medicare Population. *J Vasc Interv Radiol*. 2020 Apr;31(4):614-621. e2. doi: 10.1016/j.jvir.2019.10.025. Epub 2020 Feb 29. PMID: 32127322.
15. Gerke A, Sigl M, Israel E, Weiß C, Reißfelder C, Schwenke K. The effect of revascularization on lower limb circulation parameters in symptomatic peripheral arterial disease. *J Clin Med*. 2024;13(13):3991; doi: 10.3390/jcm13133991.
16. Forsythe RO, Apelqvist J, Boyko EJ, Fitridge R, Hong JP, Katsanos K, Mills JL, Nikol S, Reekers J, Venermo M, Zierler RE, Hinchliffe RJ, Schaper NC. Effectiveness of revascularisation of the ulcerated foot in patients with diabetes and peripheral artery disease: A systematic review. *Diabetes Metab Res Rev*. 2020 Mar;36 Suppl 1:e3279. doi: 10.1002/dmrr.3279. PMID: 32176439.
17. Chen Z, Tan TW, Zhao Y, Jiang C, Zeng Q, Fan G, Zhang W, Li F. Wifl Classification Based Analysis of Risk Factors for Outcomes in Patients with Chronic Limb Threatening Ischaemia after Endovascular Revascularisation Therapy. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2023 Apr;65(4):528-536. doi: 10.1016/j.ejvs.2022.12.027. Epub 2022 Dec 30. PMID: 36592652.
18. Ruemenapf G, Morbach S, Sigl M. Therapeutic alternatives in diabetic foot patients without an option for revascularization: a narrative review. *J Clin Med*. 2022;11:2155. doi: 10.3390/jcm11082155.
19. Zhan LX, Branco BC, Armstrong DG, Mills JL. The Society for Vascular Surgery lower extremity threatened limb classification system based on Wound, Ischemia, and foot Infection (Wifl) correlates with risk of major amputation and time to wound healing. *J Vasc Surg*. 2015 Apr;61(4):939-44. doi: 10.1016/j.jvs.2014.11.045.

РЕЗЮМЕ

У пацієнтів із цукровим діабетом (ЦД) та захворюванням периферичних артерій (ЗПА) хірургічне очищення рани є важливим етапом у лікуванні трофічних розладів у ділянці стопи. Перед хірургічним обробленням виконують процедуру ревазуляризації для відновлення кровопостачання. Дані літератури щодо часу, потрібного після відновлення кровотоку для досягнення адекватної перфузії кисню

в шкірі навколо рани, відрізняються. Черезшкірне визначення рівня кисню $TcPO_2$ є неінвазивним методом вимірювання локального виділення кисню з капілярної мережі крізь шкіру, що відображує локальний метаболічний стан тканин.

Мета роботи — провести моніторинг $TcPO_2$ у пацієнтів із ЦД та ЗПА після ревазуляризації та медикаментозного лікування для визначення оптимального часу хірургічного оброблення рани нижньої кінцівки.

Матеріали та методи. У 2024—2025 рр. проведено обстеження та лікування 87 пацієнтів із приводу трофічних розладів у ділянці нижньої кінцівки та стопи в ДНП «Український науково-практичний центр ендокринної хірургії, трансплантації ендокринних органів і тканин МОЗ України». Пацієнтів розподілили на три групи: 43 проведена пряма ревазуляризація, 25 — непряма ревазуляризація, 19 — без ревазуляризації. У перших двох групах пацієнтам виконано процедуру з ендоваскулярної ревазуляризації, залежно від технічної складності та судинних уражень це була пряма або непряма ревазуляризація. Пацієнти третьої групи отримували лише консервативне лікування. Дослідження проводили при госпіталізації, на 7, 14, 21, 28 і 35-ту добу.

Результати. При госпіталізації середній рівень $TcPO_2$ у трьох групах становив ($28,95 \pm 1,11$), ($28,76 \pm 1,52$) і ($27,76 \pm 1,79$) мм рт.ст., відповідав 3-й стадії ішемії та статистично значущо не відрізнявся між групами. На 7-му добу в групах, де була проведена ревазуляризація, показники $TcPO_2$ поліпились майже на 100 % порівняно з вихідними, що відповідало 1-й стадії ішемії. На 28-му добу в групах із ревазуляризацією показники залишилися на високому рівні, а в групі без ревазуляризації тенденція до зниження $TcPO_2$ тривала.

Висновки. Дослідження $TcPO_2$ у пацієнтів із ЦД та ЗПА показало, що навіть у пацієнтів, яким виконана пряма ревазуляризація, для досягнення оптимального рівня загоєння рани потрібно не менш тижня. Якщо хірургічне втручання на стопі можна відкласти, то найкращий час для проведення агресивнішої санації рани або дистальної ампутації становить 1—2 тижні після прямої або непрямої ревазуляризації. Максимальний ефект від медикаментозної терапії спостерігали на 14-ту добу з подальшим зменшенням до початкових значень.

Ключові слова: цукровий діабет, захворювання периферичних артерій, ендоваскулярна ревазуляризація, транскутанна напруга кисню $TcPO_2$.

ABSTRACT

Study of transcutaneous oxygen pressure in patients with diabetes and peripheral artery disease after lower limb revascularization to determine the optimal time for surgical wound treatment

**I. L. Savon¹, M. V. Sviridov¹, A. E. Golodnikov¹,
K. V. Sedoykina¹, O. O. Maksimova²**

¹ State Non-Profit Enterprise «Ukrainian Scientific and Practical Center of Endocrine Surgery, Transplantation of Endocrine Organs and Tissues of the Ministry of Health of Ukraine», Kyiv

² Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University

In patients with diabetes mellitus (DM) and peripheral arterial disease (PAD), surgical wound debridement is an important step in the treatment of trophic disorders in the foot. Before surgical treatment, a revascularization procedure is performed to restore blood supply. The amount of time after restoration of blood flow to achieve adequate oxygen perfusion in the skin around the wound varies according to the literature. Transcutaneous oxygen measurement TcPO₂ is a non-invasive method for measuring local oxygen release from the capillary network through the skin, which reflects the local metabolic state of the tissues.

Objective is to monitor TcPO₂ in patients with DM and PAD after revascularization and medical treatment to determine the optimal time for surgical treatment of the lower limb wound.

Materials and methods. During 2024—2025, 87 patients were examined and treated for trophic disorders in the lower limb and foot at the Ukrainian Scientific and Practical Center for Endocrine Surgery, Transplantation of Endocrine Organs and Tissues

of the Ministry of Health of Ukraine. Patients were divided into groups: 43 patients — underwent direct revascularization; 25 — indirect revascularization; 19 — without revascularization. In the first two groups, patients received an endovascular revascularization procedure, depending on the technical complexity and vascular lesions, it was direct or indirect revascularization. Patients in the third group received only conservative treatment. The study was conducted during hospitalization, on days 7, 14, 21, 28, 35.

Results. At hospitalization, the TcPO₂ level in the three groups was 28.95 ± 1.11 , 28.76 ± 1.52 , 27.76 ± 1.79 mm Hg. did not differ statistically between the groups, corresponding to stage 3 ischemia. On the 7th day in the two groups where revascularization was performed, TcPO₂ indicators improved by almost 100% from the initial indicators, which corresponded to stage 1 ischemia. On the 28th day of the study, the indicators remained at a high level in the groups with revascularization, while in the group without revascularization, the tendency to decrease TcPO₂ continued.

Conclusions. The study of TcPO₂ in patients with diabetes and PAD showed that even in patients who underwent direct revascularization, it takes at least a week to achieve the optimal level of wound healing. If foot surgery can be postponed, the best time to perform more aggressive wound debridement or distal amputation is 1 to 2 weeks after direct or indirect revascularization. The maximum effect of medical therapy was observed at day 14, with subsequent regression to baseline values.

Keywords: diabetes mellitus, peripheral arterial disease, endovascular revascularization, transcutaneous oxygen pressure TcPO₂.

Дата надходження до редакції 02.06.2025 р.

Дата рецензування 20.08.2025 р.

Дата підписання статті до друку 28.08.2025 р.