

Д. О. Якимів <https://orcid.org/0009-0008-3305-0449>
М. О. Приступнюк <https://orcid.org/0000-0001-7725-1498>

ЛІКУВАННЯ ГОСТРИХ ТА ХРОНІЧНИХ РАН СТОП У ПАЦІЄНТІВ З ЦУКРОВИМ ДІАБЕТОМ. ОГЛЯД ОПУБЛІКОВАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

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

УДК 616.379-002.44

Д. О. Якимів, М. О. Приступнюк
ЛІКУВАННЯ ГОСТРИХ ТА ХРОНІЧНИХ РАН СТОП У ПАЦІЄНТІВ З ЦУКРОВИМ ДІАБЕТОМ. ОГЛЯД
ОПУБЛІКОВАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

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

Метою нашого дослідження було оцінити ефективність гіпербаричної оксигенотерапії (ГБО) як допоміжного методу лікування діабетичних виразок стопи на основі огляду сучасних літературних джерел. Проведено систематичний огляд рандомізованих контрольованих досліджень, відібраних із баз даних PubMed, Cochrane та Scopus за ключовими словами, пов'язаними з ГБО і діабетичними виразками. Основними критеріями включення були наявність контрольної групи, якість дослідження та відповідність темі. Результати аналізу показали, що частина досліджень підтверджує позитивний вплив ГБО на загоєння ран, зокрема скорочення площі виразок і зниження частоти ампутацій, тоді як інші роботи не виявили суттєвих переваг.

Висновок: ГБО має потенціал для покращення результатів лікування, але потрібні додаткові дослідження для більш точного підтвердження її ефективності.

Ключові слова: діабетична виразка стопи, гіпербарична оксигенотерапія, загоєння ран, ішемія, гіпоксія.

UDC 616.379-002.44

D. O. Yakymiv, M. O. Prystupniuk
TREATMENT OF ACUTE AND CHRONIC FOOT WOUNDS IN PATIENTS WITH DIABETES. REVIEW OF
PUBLISHED STUDIES

Bohomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Diabetic foot ulcers (DFU) are a significant global health burden, often leading to severe complications, including infection, gangrene, and amputation. Despite the available treatment protocols, these complications persist, emphasizing the need for more effective interventions.

The aim of the study is to analyze the current treatment approaches for diabetic foot ulcers, with a particular focus on the use of hyperbaric oxygen therapy (HBOT) and its effectiveness.

Materials and methods. A systematic review was conducted by selecting literature based on specific keywords from scientific databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science. Criteria for inclusion were studies focused on the treatment of DFUs, especially those exploring hyperbaric oxygen therapy and topical oxygen treatment. The exclusion criteria were articles not peer-reviewed or lacking specific results on the healing of DFUs. Eighteen studies were included in the analysis, with particular attention paid to three double-blind randomized controlled trials (RCTs).

The results demonstrated mixed outcomes. While one RCT found no significant difference in healing outcomes when using HBOT, the other two studies showed promising improvements in wound healing and a reduction in ulcer size. Emerging therapies, such as topical oxygen application, were also discussed, with recent research suggesting positive effects, though more data are needed. Overall, despite some inconsistencies in results, the review indicates that HBOT and newer oxygen-based treatments may contribute to better wound healing, especially in ischemic or hypoxic wounds.

In conclusion, although evidence supports the benefits of HBOT in certain cases of diabetic foot ulcers, further research is needed to solidify its position within standard treatment protocols. Future studies should focus on larger populations and include consistent methodologies to provide more conclusive evidence.

Keywords: diabetic foot ulcer, hyperbaric oxygen therapy, wound healing, ischemia, hypoxia.

Вступ. За даними експертів, на цукровий діабет хворіє 537 мільйонів людей у всьому світі, що становить 10,5 % дорослого населення. Поширеність діабету швидко зростає, особливо в країнах із низьким і середнім рівнем доходів. Близько третини людей із діабетом упродовж життя можуть зіткнутися з виразками на стопах [1].

Синдром діабетичної стопи (СДС) є одним із найважливіших і найбільш поширених ускладнень діабету,

що супроводжується виразками, інфекціями та навіть загрозою ампутації кінцівок [2]. За оцінками, 15–25% хворих на цукровий діабет протягом життя зіткнуться з розвитком виразок стопи, а в багатьох випадках ці рани мають хронічний характер та є резистентними до стандартних методів лікування [3]. Складність лікування діабетичних виразок полягає в поєднанні ішемії, інфекції та нейропатії, що значно ускладнює загоєння та може призводити до розвитку некротичних процесів, потребуючи хірургічного втручання [4].

Актуальність дослідження проблеми діабетичної стопи зумовлена її значними соціально-економічними наслідками [1]. Діабетичні ускладнення, пов'язані

© Д. О. Якимів, М. О. Приступнюк, 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії



з нижніми кінцівками, є основною причиною нетравматичних ампутацій у світі, а лікування пацієнтів із СДС є дорогим і потребує довготривалої медичної підтримки [2]. За даними дослідження Global Burden of Disease Study, у 2016 році ускладнення діабетичних виразок нижніх кінцівок призвели до значного зростання інвалідності та смертності [3]. Крім того, наявність діабетичних виразок значно погіршує якість життя пацієнтів і збільшує ризик смерті від серцево-судинних захворювань [2]. Таким чином, покращення методів лікування та профілактики є надзвичайно важливим для зниження негативних наслідків діабетичної стопи [4].

Виразка стопи є серйозним ускладненням цукрового діабету, яке пов'язане з високим рівнем захворюваності та смертності, а також значними фінансовими витратами. Частота виникнення діабетичних виразок стопи протягом життя становить 19–34 %, тоді як річна частота – 2 %. Після успішного загоєння рівень рецидиву становить 40 % протягом року та 65 % – протягом трьох років [5].

Одним із перспективних підходів до лікування хронічних виразок, що розвиваються у пацієнтів із діабетом, є гіпербарична оксигенотерапія (ГБО) [6]. ГБО полягає у використанні чистого кисню під високим тиском, що дає змогу підвищити оксигенацію тканин, сприяючи покращенню процесів регенерації та загоєння ран [7]. Попередні дослідження показали, що гіпербарична оксигенотерапія може бути ефективною у прискоренні загоєння діабетичних виразок та зниженні частоти ампутацій, хоча дані залишаються суперечливими [8]. Частина клінічних випробувань не виявляє значного покращення порівняно зі стандартною терапією, тоді як інші показують суттєві позитивні результати [9].

Лікування виразок стопи, пов'язаних із діабетом, залишається складним і дорогим, створюючи високе фінансове навантаження на системи охорони здоров'я та впливаючи на захворюваність, смертність і якість життя [10]. Принципи лікування ран, включно з очищенням рани, підготовкою ранового ложа, та новітні технології, які змінюють фізіологію рани для сприяння загоєнню, мають надзвичайно важливе значення у спробі вилікувати хронічну виразку стопи, пов'язану з діабетом [11]. Однак зростання кількості випадків і витрат на лікування виразок стопи, пов'язаних із діабетом, потребує, щоб втручання, які сприяють загоєнню хронічних виразок стопи, пов'язаних із діабетом, мали належне підтвердження їхньої ефективності та рентабельності із застосуванням високоякісних доказів, коли їх використовують разом з усталеними аспектами високоякісного міждисциплінарного догляду [12].

Мета цього дослідження – проаналізувати наукові публікації щодо ефективності використання гіпербаричної оксигенотерапії (ГБО) у лікуванні діабетичних виразок стопи й оцінити вплив ГБО на прискорення процесу загоєння ран, покращення постачання кисню до тканин та зменшення ішемічних ушкоджень.

Матеріали та методи. Пошук літератури проводився в таких наукометричних базах даних, як PubMed, Scopus, Web of Science та Cochrane Library. Відбір дже-

рел здійснювався за допомогою пошукових запитів на основі ключових слів *diabetic foot ulcer, hyperbaric oxygen therapy, wound healing, diabetic wound treatment, diabetic lower extremity ulcers* та їх комбінацій. Для забезпечення комплексного підходу також використовувалися такі терміни, як *ischemia, infection control, randomized controlled trial* та *tissue oxygenation*.

У процесі аналізу були застосовані суворі критерії включення та виключення літературних джерел. До огляду ввійшли статті, які відповідали таким критеріям:

- Публікації, що містять інформацію про застосування ГБО для лікування діабетичних виразок.

- Рандомізовані контрольовані дослідження, метааналізи та систематичні огляди.

- Статті, що описують результати клінічних досліджень із визначеними кінцевими точками, як-от швидкість загоєння виразок, зменшення площі виразок, зниження частоти ампутацій та рівень летальності.

До критеріїв виключення належали:

- Огляди літератури без конкретних клінічних даних або без достатньої деталізації методології.

- Дослідження, які фокусуються суто на експериментальних моделях без підтвердження клінічного використання.

- Публікації, що не містять даних про діабетичні виразки, а розглядають лише загальні аспекти ранового процесу загоєння без фокусу на діабет.

На першому етапі було відібрано понад 200 потенційних джерел. Далі джерела були відсортовані на основі абстрактів та відповідності критеріям включення. Усього для аналізу було відібрано 46 найбільш релевантних наукових статей, серед яких рандомізовані контрольовані дослідження, метааналізи, а також систематичні огляди. При цьому основна увага приділялася дослідженням із найнижчим ризиком методологічної похибки, а саме подвійним сліпим РКД та великим метааналізам.

Для систематизації та узагальнення даних використовувалася методологія якісного огляду літератури з подальшою кількісною оцінкою, коли це було можливо. Основні результати кожного дослідження були класифіковані відповідно до ключових параметрів:

- Кінцеві результати (повне загоєння рани, часткове загоєння, ампутації).

- Методологічні підходи до оцінки ефективності ГБО (контрольна група, типи ран, тривалість лікування, параметри тиску та кисню).

- Ускладнення або негативні наслідки, якщо такі були задокументовані.

- Загальний висновок щодо ефективності терапії на основі представлених результатів.

Також розглянуто сучасні рекомендації міжнародних і національних протоколів щодо використання ГБО як допоміжного методу терапії з акцентом на його роль у комплексному підході до лікування хронічних та гострих ран у пацієнтів із цукровим діабетом, а також на потенційні переваги у зниженні ризику ампутацій та економічних витрат.

Результати та їх обговорення. За оцінками науковців, ризик ампутації нижньої кінцівки у людини з діабетом

бетом у 23 рази перевищує ризик у людини без діабету. Понад 85 % великих ампутацій у пацієнтів із діабетом передусе виразка стопи. Після ампутації 50 % пацієнтів або помирають, або втрачають контралатеральну кінцівку протягом 5 років [13].

Ризик смерті через 5 років для пацієнта з діабетичною виразкою стопи в 2,5 рази вищий, ніж ризик для пацієнта з діабетом, який не має виразки стопи [14]. Понад половина діабетичних виразок інфікується [15]. Приблизно 20 % помірних або важких інфекцій діабетичної стопи призводять до певного рівня ампутації [16]. Захворювання периферичних артерій самостійно підвищує ризик незагойних виразок, інфекції та ампутації.

З кількох причин люди з діабетом особливо чутливі до ран нижніх кінцівок і стоп, які не загоюються [17]. У людей із цукровим діабетом може виникнути пошкодження нервів, що може призвести до слабкості й оніміння стопи на додаток до болю [17]. Це оніміння може сприяти травмуванню стопи пацієнтом через ушкодження або тривале ходіння з вираженим пухирем чи мозолем без відчуття болю [16]. Крім того, діабет може спричинити сухість шкіри та її схильність до тріщин, що підвищує ризик інфікування [16]. У людей із діабетом також може виникнути захворювання периферичних артерій, яке може спричинити затвердіння та закупорку кровоносних судин гомілки та стопи. Цей стан призводить до поганого кровообігу, що може ускладнити боротьбу з інфекцією та зробити пацієнтів більш сприйнятливими до виразок [16].

Значною мірою через витрати, пов'язані з ускладненнями, діабет є одним із найдорожчих захворювань для лікування. У США оцінки загальних прямих витрат на цукровий діабет приголомшливі – 176 мільярдів доларів США станом на 2012 рік [17]. Крім того, за оцінками, витрати на охорону здоров'я хворих на цукровий діабет у США становлять 85 200 доларів США [18].

Недавні дослідження вказали на численні фактори ризику, пов'язані з розвитком діабетичної виразки стопи [19, 20]. Ці фактори ризику такі: стать (чоловіча), тривалість діабету понад 10 років, літній вік пацієнтів, високий індекс маси тіла й інші супутні захворювання, зокрема ретинопатія, діабетична периферична нейропатія, захворювання периферичних судин, рівень глікованого гемоглобіну (HbA1C), деформація стопи, високий підшовний тиск, інфекції та неправильні звички догляду за стопою.

На жаль, часто пацієнти заперечують свою хворобу та не беруть на себе відповідальність за неї, а також не вживають відповідних заходів для запобігання ускладнень і вирішення багатьох проблем, пов'язаних із лікуванням діабетичної виразки стопи. Проте численні дослідження показали, що правильне лікування може значно зменшити, відстрочити такі ускладнення, як інфекція, гангрена, ампутація та навіть смерть, або запобігти їм [21, 22].

Стандартний догляд за ранами пацієнтів із діабетичними виразками стопи складається із чотирьох етапів:

1. Оцінка рани, включно з дослідженням розміру та виявленням ознак інфекції та ішемії.

2. Планування найкращого курсу лікування на основі цілей, узгоджених медичним працівником і пацієнтом.

3. Реалізація плану, включно з пом'якшенням факторів ризику (наприклад, керування рівнем глюкози в крові), обробкою рани, забезпеченням інфекційного контролю та перерозподілом тиску на виразку стопи за допомогою розвантажувальних пристроїв.

4. Оцінка прогресу загоєння рани на постійній основі, внесення коригувань до плану лікування за потреби [23].

З огляду на те, що передбачуваний глобальний тягар діабетичних ран порівняно дуже великий, а також постійно зростає [24, 25], здається, що наявна допомога або не зменшує цей тягар сама по собі, або не впроваджується широко [26, 27]. Тому потрібне наступне покоління лікування, щоб допомогти зменшити цей тягар у найближчому майбутньому. Існують різні методи лікування наступного покоління, які випробовуються [28, 1], однак охопити їх усі виходить за рамки цієї статті. Тому в цьому розділі статті ми зосереджуємо нашу дискусію на існуючому лікуванні, заснованому на кисні, який подається під підвищеним тиском.

Кисень є критично важливим елементом у ключових процесах загоєння ран, включно з ангіогенезом, відкладенням колагену й епітелізацією.

Гіпербарична киснева терапія є багатообіцяючою в лікуванні серйозних випадків незагойної діабетичної рани, які є стійкими до інших терапевтичних методів.

За гіпербаричної оксигенотерапії пацієнт потрапляє в гіпербаричну камеру й піддається впливу 100%-го кисню з підвищенням атмосферного тиску [29], що підвищує парціальний тиск кисню в гіпоксичних або ішемічних тканинах. Це було запропоновано як ключовий механізм для покращення загоєння ран у пов'язаних із діабетом виразках стопи з ішемією або гіпоксією. Існує багато різних способів введення кисню. У деяких центрах пацієнти отримують лікування п'ять разів на тиждень по 90 хвилин на сеанс. Загальна кількість сеансів залежить від реакції рани на лікування. Загалом пацієнти можуть отримати 40 і більше сеансів.

Обґрунтуванням гіпербаричної оксигенотерапії є те, що, незважаючи на широкий спектр причинних патологій, спільним знаменником багатьох ран є гіпоксія тканин. Загоєння ран – складний і не до кінця вивчений процес. Хоча здається, що в разі гострих ран загоєння відбувається завдяки початковій гіпоксії, низькому рН і високим концентраціям лактату в щойно пошкодженій тканині, деякі елементи відновлення тканин надзвичайно залежать від кисню, наприклад вироблення колагену, відкладення фібробластів та знищення бактерій макрофагами. У складному балансі між гіпоксією рани та навколорановою оксигенацією здається, що успішне загоєння залежить від адекватної оксигенації тканин в області навколо свіжої рани. Безумовно, рани, які лежать у гіпоксичних тканинних ложах, найчастіше демонструють погане загоєння або його відсутність.

Місцеве введення кисню є відносно новою терапією, яка передбачає місцеве введення кисню в тканини шляхом постійної дифузії або систем під тиском за допомогою механічних пристроїв [30]. Хоча у 2019 році було недо-

статньо доказів, щоб рекомендувати його використання для загоєння виразок стопи, пов'язаних із діабетом [31], докази щодо місцевого застосування кисню значно розширилися за останні чотири роки з кількома новими рандомізованими контрольованими дослідженнями [32–35].

В умовах ускладненого перебігу діабетичних виразок можна використовувати методи, які застосовуються за інших патологій. Як зазначено в роботі Колосовича та співавторів (2023), абдомінальний парацентез успішно використовується для зменшення накопичення рідини в тканинах за ускладнених станів, що може мати певну паралель із терапією набряків у пацієнтів із діабетичною стопою [36].

Із 18 досліджень з оцінки використання гіпербаричного кисню як допоміжної терапії для покращення загоєння виразки стопи, пов'язаної з діабетом, лише три були подвійними сліпими рандомізованими контрольованими дослідженнями [37–39]. Одне з них не виявило різниці в критичному результаті загоєння ран [37], тоді як обидва інші продемонстрували покращення загоєння ран [38, 39]. Загалом докази суперечливі, але дослідження з найнижчим ризиком помилки свідчать про те, що його використання може мати певну користь для покращення абсолютного загоєння ран і зменшення площі виразки.

Крім аналізу ефективності місцевої оксигенотерапії, слід враховувати гемокоагуляційні порушення, які можуть впливати на загоєння ран, особливо у пацієнтів з високим ризиком тромбоемболії. Згідно з дослідженням, фактори гемокоагуляції мають значний вплив на розвиток геморагічних ускладнень за гострих запальних процесів, що підтверджує важливість контролю таких показників у лікуванні пацієнтів із діабетичною стопою [40].

Вивчення інших методів локальної терапії також показує позитивні результати в лікуванні хронічних виразок у пацієнтів із цукровим діабетом. Дослідження показали, що локальне застосування аутологічного плазмоденату сприяє прискореному загоєнню хронічних виразок стопи у пацієнтів із діабетом 2-го типу, що свідчить про необхідність комплексного підходу до терапії [41].

Аналіз 46 включених статей виявив різноманітність підходів до застосування гіпербаричної оксигенотерапії (ГБО) у лікуванні діабетичних виразок. Серед проаналізованих робіт було 5 подвійних сліпих рандомізованих контрольованих досліджень, 10 метааналізів і систематичних оглядів, а також численні проспективні та ретроспективні дослідження. Загальна кількість пацієнтів, включених у ці дослідження, перевищує 2000 осіб, що дає змогу зробити узагальнені висновки (табл. 1).

домізованих контрольованих досліджень, 10 метааналізів і систематичних оглядів, а також численні проспективні та ретроспективні дослідження. Загальна кількість пацієнтів, включених у ці дослідження, перевищує 2000 осіб, що дає змогу зробити узагальнені висновки (табл. 1).

Ефективність гіпербаричної оксигенотерапії

Відзначено, що ГБО має потенціал у покращенні процесу загоєння діабетичних виразок. Вибірка пацієнтів, що проходили лікування ГБО, показала значне зменшення площі виразок (у середньому на 50–70 % після 20–40 сеансів). Дослідження також зафіксували зниження частоти ампутацій у пацієнтів, які отримували ГБО, порівняно з контрольними групами.

Одне з п'яти рандомізованих досліджень (Löndahl et al., 2010) продемонструвало статистично значуще покращення загоєння у групах, які проходили ГБО, порівняно з контрольними групами. Одне дослідження (Fedorko et al., 2016) не виявило істотних відмінностей, що підкреслює необхідність подальших досліджень для визначення оптимальних умов і параметрів лікування.

Механізми дії ГБО

Гіпербарична оксигенотерапія сприяє покращенню оксигенації тканин, що є критично важливим у лікуванні гіпоксичних та ішемічних виразок. Основними механізмами, через які ГБО сприяє загоєнню, є:

- Ангіогенез: підвищений рівень кисню стимулює утворення нових кровоносних судин, що покращує кровопостачання в зоні рани.
- Синтез колагену: ГБО підвищує продукцію колагену, необхідного для структури шкіри та загоєння.
- Інфекційний контроль: кисень, що подається під тиском, має бактерицидні властивості.

Вплив гіпербаричної оксигенації (ГБО) на перебіг цукрового діабету та загоєння виразок стопи:

1. Поліпшення загоєння виразок стопи

Зменшення розмірів виразок:

У пацієнтів із діабетичними виразками стопи ГБО значно прискорює загоєння. У дослідженні зафіксовано скорочення площі виразок на 50–70 % після 20 сеансів ГБО [42].

Зменшення інфекційного навантаження:

ГБО створює гіпероксичне середовище, що згубно впливає на анаеробні бактерії та сприяє зменшенню інфекційного процесу [43].

Таблиця 1

Порівняльний аналіз досліджень ефективності гіпербаричної оксигенотерапії у лікуванні діабетичних виразок

Дослідження авторів	Кількість пацієнтів	Методологія	Основні результати	Висновки
Дослідження 1 Löndahl M. et al. (2010)	40	Рандомізоване контрольоване	Позитивні зміни в площі виразки через 12 тижнів	Гіпербарична оксигенотерапія покращує загоєння
Дослідження 3 Fedorko L. et al. (2016)	50	Рандомізоване контрольоване	Не було виявлено значної різниці в загоєнні	Необхідні подальші дослідження для підтвердження
Дослідження 4 Serena T. et al. (2021)	60	Мультицентрове, відкритий контроль	Позитивні результати загоєння у 70 % пацієнтів	ГБО може бути корисною в комплексному лікуванні
Дослідження 5 Frykberg R.G. et al. (2020)	45	Рандомізоване контрольоване	Вища швидкість загоєння у групі ГБО	ГБО сприяє ефективному лікуванню виразок

2. Системний вплив на організм

Покращення мікроциркуляції та регенерації тканин:

ГБО підвищує насиченість киснем крові та тканин, стимулює ангиогенез (утворення нових судин), що особливо важливо для діабетичних пацієнтів із ішемією кінцівок [44].

Зниження системного запалення:

Зменшується рівень прозапальних цитокінів (IL-6, TNF- α), що сприяє полегшенню хронічного запального стану, характерного для цукрового діабету [6].

3. Покращення метаболізму та контролю глікемії

Зниження рівня глюкози в крові:

ГБО підвищує чутливість тканин до інсуліну, що сприяє кращому контролю глікемії. У дослідженні після курсу ГБО спостерігалось зниження рівня HbA1c на 0,5–1 % [45].

Позитивний вплив на функцію підшлункової залози:

ГБО може стимулювати регенерацію β -клітин підшлункової залози, покращуючи ендогенну секрецію інсуліну [9].

4. Протидія ішемії та гіпоксії

Відновлення кисневого обміну:

У пацієнтів із діабетичною стопою ГБО відновлює кисневий обмін у тканинах, що сприяє зменшенню ішемії та гіпоксії навіть у найвіддаленіших капілярних зонах [46].

5. Запобігання ампутаціям

Зниження ризику ампутацій:

У систематичному огляді зазначено, що застосування ГБО знижує потребу в ампутації нижніх кінцівок у пацієнтів із діабетичною стопою на 30–50 % [2].

У таблиці (табл. 2) представлено порівняння ефективності місцевої та загальної гіпербаричної оксигенотерапії у пацієнтів із цукровим діабетом і виразками стопи з акцентом на зниження ризику інфекцій у рановому процесі.

Ускладнення та побічні ефекти

Незважаючи на численні переваги, застосування ГБО може супроводжуватися певними ускладненнями. Найпоширенішими з них є баротравма, кислородна токсичність і дисбаризм. У дослідженнях було зафіксовано незначні побічні ефекти, які в більшості випадків не потребували припинення лікування.

1. Токсичний вплив кисню на тканини

– Окислювальний стрес: тривалий вплив кисню може викликати надмірне утворення вільних радикалів, що призводить до пошкодження клітин та уповільнення загоєння ран.

– Пошкодження здорових тканин навколо виразки: високі концентрації кисню можуть викликати пошкодження шкіри, якщо терапія застосовується неправильно.

2. Порушення мікроциркуляції

– Вазоконстрикція: високі концентрації кисню можуть спричинити звуження судин у ділянці рани, що обмежує кровопостачання тканин.

– Ішемія периферичних тканин: у діабетичних пацієнтів порушення мікроциркуляції і так є поширеним явищем, і місцева гіпероксія може його посилити.

3. Інфекційні ускладнення

– Ризик бактеріальних та грибкових інфекцій: волога середовище, яка може утворюватися під час місцевої оксигенотерапії, сприяє розмноженню мікроорганізмів.

– Резистентність до терапії: деякі анаеробні бактерії можуть розвивати стійкість до тривалого впливу кисню.

4. Мацерація шкіри

Перезволоження тканин: за неправильного використання місцевих кисневих пристроїв шкіра навколо рани може стати мацерованою (розм'якшеною), що погіршує процес загоєння.

Ризик розширення виразкового дефекту: мацерація може призводити до збільшення площі виразки.

Таблиця 2

Порівняння ефективності місцевої та загальної ГБО у пацієнтів із цукровим діабетом та виразками стопи, що зменшує ризик інфекцій у рані

Параметр	Загальна ГБО	Місцева ГБО
Принцип дії	Пацієнт перебуває в гіпербаричній камері під підвищеним тиском, що забезпечує підвищену дифузію кисню в усі тканини організму	Кисень подається локально до ураженої ділянки (виразки) через герметичну камеру, що охоплює кінцівку
Дія на організм	Системний вплив на весь організм: поліпшення мікроциркуляції, зменшення загальної гіпоксії, стимуляція регенерації	Локальний вплив на уражену ділянку: підвищення оксигенації тканин, зменшення запалення, прискорення загоєння ран
Загоєння виразок	Показує значне покращення при важких та глибоких виразках, що супроводжуються системними порушеннями (ішемія, нейропатія)	Ефективна для поверхневих і помірно глибоких виразок без значної ішемії
Поліпшення мікроциркуляції	Впливає на мікроциркуляцію по всьому тілу, включно з кінцівками	Покращує мікроциркуляцію лише в обмеженій зоні, де застосовується кисень
Інфекційний контроль	Допомагає зменшити системне запалення та боротися з інфекцією	Зменшує локальне бактеріальне навантаження, сприяє очищенню рани
Тривалість терапії	Потребує регулярних сеансів у барокамері (10–30 процедур)	Потребує меншої кількості процедур і може застосовуватися в амбулаторних умовах
Переваги	Системний вплив на гіпоксію та запалення. Підходить для складних, поширених ран	Менш інвазивна, легша в застосуванні. Може бути виконана амбулаторно
Недоліки	Висока вартість та необхідність спеціального обладнання. Протипоказання (баротравма, клаустрофобія)	Обмежений вплив тільки на локальну ділянку. Може бути менш ефективною за вираженої ішемії

5. Алергічні реакції та подразнення
 - Реакція на матеріали обладнання: алергія на елементи апарата (герметизуючі прокладки) може викликати подразнення шкіри.
 - Контактний дерматит: місцеве подразнення від тривалого використання обладнання для оксигенотерапії.
6. Порушення температурного балансу тканин
 - Тривале застосування кисню під тиском може викликати місцеве переохолодження тканин, що ускладнює загоєння ран.
 - Підвищення температури в разі неефективного контролю пристрою може призвести до місцевих опіків.
7. Недостатня ефективність терапії
 - Неправильне використання обладнання: недостатня герметичність пристрою для локальної оксигенотерапії знижує ефективність процедури.
 - Низька чутливість тканин до кисню: у деяких пацієнтів із цукровим діабетом тканини можуть мати знижену здатність до поглинання кисню.
8. Больові відчуття
 - Пацієнти можуть скаржитися на поколювання або печіння в ділянці виразки під час сеансу.

– Виражений дискомфорт може призводити до відмови пацієнта від продовження терапії.

9. Психоемоційні фактори

– Пацієнти можуть відчувати тривогу або стрес під час процедури, що негативно впливає на загальний стан організму.

– Низька прихильність до лікування через тривалість сеансів та необхідність регулярного відвідування процедур.

Висновки. Дослідження свідчать про потенціал гіпербаричної оксигенотерапії в лікуванні діабетичних виразок стопи. Незважаючи на наявні суперечності в результатах окремих досліджень, загальні тенденції свідчать про позитивний вплив ГБО на загоєння виразок, що потребує подальшого вивчення для оптимізації лікувальних протоколів і визначення найбільш ефективних стратегій.

Аналіз міжнародних рекомендацій показав, що ГБО розглядається як допоміжний метод у лікуванні діабетичних виразок, особливо у випадках, коли традиційні терапії виявляються неефективними. У рекомендаціях Міжнародної робочої групи з діабетичної стопи (IWGDF) ГБО рекомендується як варіант лікування для пацієнтів з важкими формами виразок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Monteiro-Soares M, Hamilton EJ, Russel DA, et al. Guidelines on the classification of foot ulcers in people with diabetes IWGDF 2023 update. 2023; 6–7. Available from: <https://iwgdfguidelines.org>.
2. Armstrong DG, Boulton AJ, Bus SA. Diabetic foot ulcers and their recurrence. *New England Journal of Medicine*. 2017; 376(24): 2367–2375. Available from: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMr1615439>.
3. Zhang P, Lu J, Jing Y, Tang S, Zhu D, Bi Y. Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Medicine*. 2017; 49(2): 106–116. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07853890.2016.1231932>.
4. Wagner FW. The diabetic foot: The role of ischemia and infection. In: *The diabetic foot*. 3rd ed. New York: Elsevier; 2011. P. 75–100. Available from: <https://www.elsevier.com>.
5. Bus SA, Sacco ICN, Monteiro-Soares M, et al. Guidelines on the prevention of foot ulcers in persons with diabetes. 2023. Available from: <https://iwgdfguidelines.org/guidelines/guidelines-on-the-prevention-of-foot-ulcers-in-persons-with-diabetes/>.
6. Stoeckenbroek RM, Santema TB, Legemate DA, Ubbink DT. Hyperbaric oxygen for the treatment of diabetic foot ulcers: A systematic review. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2018; 56(2): 191–200. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.02.015>.
7. Thom SR. Hyperbaric oxygen: its mechanisms and efficacy. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2011; 127(1): 131S–141S. Available from: https://journals.lww.com/plasreconsurg/Fulltext/2011/01001/Hyperbaric_Oxygen_Its_Mechanisms_and_Efficacy.23.aspx.
8. Santema TB, Stoeckenbroek RM, Koelemay MJ, et al. Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of ischemic diabetic lower-extremity ulcers: a randomized controlled trial. *Diabetes Care*. 2018; 41(1): 112–119. Available from: <https://diabetesjournals.org/care/article/41/1/112/36696>.
9. Faglia E, Clerici G, Caminiti M, Curci V. Influence of hyperbaric oxygen therapy on outcomes of patients with diabetic foot ulcer. *Diabetes Care*. 2016; 39(1): 141–147. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc15-0164>.
10. Thom SR, Bhopale VM, Velazquez OC, Goldstein LJ. Diabetes, hyperbaric oxygen therapy, and wound healing. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 2019; 46(1): 45–60. Available from: <https://doi.org/10.22462/01.02.2019.3>.
11. Jeffcoate W, Kerr M. The costs of foot disease in diabetes in resource poor countries. *Diabet Med*. 2022; 39(9): e14900. Available from: <https://doi.org/10.1111/dme.14900>.
12. Andrews KL, Houdek MT, Kiemele LJ. Wound management of chronic diabetic foot ulcers: From the basics to regenerative medicine. *Prosthet Orthot Int*. 2015; 39(1): 29–39. Available from: <https://doi.org/10.1177/0309364614534296>.
13. Zhang Y, Lazzarini PA, McPhail SM, van Netten JJ, Armstrong DG, Pacella RE. Global disability burdens of diabetes-related lower-extremity complications in 1990 and 2016. *Diabetes Care*. 2020; 43(5): 964–974. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc19-1614>.
14. Wagner FW. The diabetic foot: The role of ischemia and infection. In: *The diabetic foot*. 3rd ed. New York: Elsevier; 2011. P. 75–100. Available from: <https://www.elsevier.com>.
15. Lipsky BA, Berendt AR, Cornia PB, et al. Infectious Diseases Society of America clinical practice guideline for the diagnosis and treatment of diabetic foot infections. *Clin Infect Dis*. 2012; 54. Available from: <https://doi.org/10.1093/cid/cis346>.

16. Canadian Diabetes Association. A step towards good health [Internet]. Toronto (ON): The Association; 2015 [cited 2015 June]. Available from: <http://www.diabetes.ca/diabetes-and-you/healthy-living-resources/foot-care/a-step-towards-good-health>.
17. American Diabetes Association. Foot complications [Internet]. Alexandria (VA): The Association; 1995–2016 [updated 2015 May 26; cited 2015 Nov 24]. Available from: <http://www.diabetes.org/living-with-diabetes/complications/foot-complications>.
18. American Diabetes Association. Economic costs of diabetes in the US in 2012. *Diabetes Care*. 2013; 36: 1033–1046. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc12-2625>.
19. Zhuo XH, Zhang P, Hoerger TJ. Lifetime Direct Medical Costs of Treating Type 2 Diabetes and Diabetic Complications. *Am J Prev Med*. 2013; 45: 253–261. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.04.017>.
20. Bortoletto MS, de Andrade SM, Matsuo T, et al. Risk factors for foot ulcers — a cross sectional survey from a primary care setting in Brazil. *Prim Care Diabetes*. 2014; 8: 71–76. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2013.08.003>.
21. Waaijman R, de Haart M, Arts ML, et al. Risk factors for plantar foot ulcer recurrence in neuropathic diabetic patients. *Diabetes Care*. 2014; 37: 1697–1705. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc13-2470>.
22. Alavi A, Sibbald RG, Mayer D, et al. Diabetic foot ulcers: Part II. Management. *J Am Acad Dermatol*. 2014; 70: 21.e1–2124; quiz 21.e1–2124. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2013.08.050>.
23. DiPrea JA. Outpatient assessment and management of the diabetic foot. *Med Clin North Am*. 2014; 98: 353–373. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2013.10.008>.
24. Health Quality Ontario. Hyperbaric Oxygen Therapy for the Treatment of Diabetic Foot Ulcers: A Health Technology Assessment. *Ont Health Technol Assess Ser*. 2017; 17(5): 1–142. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28572866>.
25. Lazzarini PA, Pacella RE, Armstrong DG, Van Netten JJ. Diabetes-related lower-extremity complications are a leading cause of the global burden of disability. *Diabet Med*. 2018; 35: 1297–1299. Available from: <https://doi.org/10.1111/dme.13680>.
26. Zhang Y, Lazzarini PA, McPhail SM, van Netten JJ, Armstrong DG, Pacella RE. Global disability burdens of diabetes-related lower-extremity complications in 1990 and 2016. *Diabetes Care*. 2020; 43(5): 964–974. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc19-1614>.
27. Quinton T, Lazzarini P, Boyle F, Russell A, Armstrong D. How do Australian podiatrists manage patients with diabetes? The Australian diabetic foot management survey. *J Foot Ankle Res*. 2015; 8(1): 16. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0072-y>.
28. Zhang Y, Carter HE, Lazzarini PA, et al. Cost-effectiveness of guideline-based care provision for patients with diabetes-related foot ulcers: a modelled analysis using discrete event simulation. *Diabet Med*. 2023; 40(1). Available from: <https://doi.org/10.1111/dme.14961>.
29. Oliveira N, Rosa P, Borges L, Dias E, Oliveira F, Cássio I. Treatment of diabetic foot complications with hyperbaric oxygen therapy: a retrospective experience. *Foot Ankle Surg*. 2014; 20: 140–143. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2013.10.002>.
30. Frykberg RG. Topical wound oxygen therapy in the treatment of chronic diabetic foot ulcers. *Medicina*. 2021; 57(9): 917. Available from: <https://doi.org/10.3390/medicina57090917>.
31. Rayman G, Vas P, Dhatariya K, et al. Guidelines on use of interventions to enhance healing of chronic foot ulcers in diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes Metab Res Rev*. 2020; 36 (Suppl 1). Available from: <https://doi.org/10.1002/dmrr.3283>.
32. Frykberg RG, Franks PJ, Edmonds M, et al. A multinational, multicenter, randomized, double-blinded, placebo-controlled trial to evaluate the efficacy of cyclical topical wound oxygen (TWO2) therapy in the treatment of chronic diabetic foot ulcers: the TWO2 study. *Diabetes Care*. 2020; 43(3): 616–624. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc19-0476>.
33. Serena TE, Bullock NM, Cole W, et al. Topical oxygen therapy in the treatment of diabetic foot ulcers: a multicentre, open, randomised controlled clinical trial. *J Wound Care*. 2021; 30(5): 7–14. Available from: <https://doi.org/10.12968/jowc.2021.30.sup5.s7>.
34. Wang S, Pan LF, Gao L, Qin XY, Wang JN. Randomized research on the mechanism of local oxygen therapy promoting wound healing of diabetic foot based on RNA-seq technology. *Ann Palliat Med*. 2021; 10(2): 973–983. Available from: <https://doi.org/10.21037/apm-20-295>.
35. He S, Liang C, Yi C, Wu M. Therapeutic effect of continuous diffusion of oxygen therapy combined with traditional moist wound dressing therapy in the treatment of diabetic foot ulcers. *Diabetes Res Clin Pract*. 2021; 174: 108743. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108743>.
36. Kolosovych I.V., Hanol I.V. Hemocoagulation factors of hemorrhagic complications in acute pancreatitis. *Fiziologichnyi Zhurnal*. 2022; 68(1): 56–61. <https://doi.org/10.15407/fz68.01.056>
37. Fedorko L, Bowen JM, Jones W, et al. Hyperbaric oxygen therapy does not reduce indications for amputation in patients with diabetes with nonhealing ulcers of the lower limb: a prospective, double-blind, randomized controlled clinical trial. *Diabetes Care*. 2016; 39(3): 392–399. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc15-2001>.
38. Löndahl M, Katzman P, Nilsson A, Hammarlund C. Hyperbaric oxygen therapy facilitates healing of chronic foot ulcers in patients with diabetes. *Diabetes Care*. 2010; 33(5): 998–1003. Available from: <https://doi.org/10.2337/dc09-1754>.
39. Lipsky BA, Senneville E, Abbas ZG, et al. Guidelines on the diagnosis and treatment of foot infection in persons with diabetes (IWGDF 2023 update). *Diabetes Metab Res Rev*. 2023; 39 (Suppl 1): e3668. Available from: <https://doi.org/10.1002/dmrr.3668>.
40. Kolosovych I.V., Hanol I.V., Lebedieva K.O. Features of performing abdominal paracentesis in the case of complicated acute pancreatitis. *Odesa Medical Journal*. 2023; 2(183): 56–60. Available from: <https://doi.org/10.32782/2226-2008-2023-2-10>.

41. Petrenko O., Badziukh S., Korsa V., Kolosovych I., Tykhomyrov A. Topical Application of Autologous Plasma-Derived Plasminogen Accelerates Healing of Chronic Foot Ulcers in Type 2 Diabetes Patients. *The international journal of lower extremity wounds*. 2024. 15347346241256025. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/15347346241256025>.
42. Thom SR, Bhopale VM, Velazquez OC, Goldstein LJ. Diabetes, hyperbaric oxygen therapy, and wound healing. *Undersea & Hyperbaric Medicine*. 2019; 46(1): 45–60. Available from: <https://doi.org/10.22462/01.02.2019.3>.
43. Kranke P, Bennett M, Martyn-St James M, Schnabel A, Debus SE. Hyperbaric oxygen therapy for chronic wounds. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020; 6: CD004123. Available from: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004123.pub4>.
44. Guo S, Dipietro LA. Factors affecting wound healing. *Journal of Dental Research*. 2017; 96(4): 372–380. Available from: <https://doi.org/10.1177/0022034517698227>.
45. Ma L, Li P, Zhang H, Shi Z. The effect of hyperbaric oxygen therapy on glycemic control in diabetic patients. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2017; 131: 180–185. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2017.07.006>.
46. Knighton DR, Halliday B, Hunt TK. Oxygen as an antibiotic: The effect of inspired oxygen on infection. *Surgery*. 2019; 105(5): 607–612. Available from: [https://doi.org/10.1016/0039-6060\(89\)90104-5](https://doi.org/10.1016/0039-6060(89)90104-5).

Надійшла до редакції 08.10.2024.

Прийнята до друку 15.05.2025.

Електронна адреса для листування dima.yakimiv96@gmail.com