

УДК 616.314.163–085.28

DOI <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2025.3.12>**М.Ю. Гончарук-Хомин,**

PhD, доктор філософії, доцент,

доцент кафедри терапевтичної стоматології,

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський

національний університет»,

академічний редактор *Pesquisa Brasileira em**Odontopediatria e Clínica Integrada*,

вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,

індекс 88000, myroslav.goncharuk-khomyu@uzhnu.edu.ua**І.В. Ноєнко,**

PhD-здобувач,

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський

національний університет»,

Президент Всеукраїнської спілки ендодонтистів,

вул. Новопольова, 36, м. Київ, Україна, індекс 03061,

nickmess1@gmail.com**В.В. Федак,**

приватна практика,

стоматологічна клініка «Вівадент»,

голова осередку Всеукраїнської спілки ендодонтистів

у Чернівецькій області,

вул. Білоусова, 8, м. Чернівці, Україна, індекс 58000,

fedakvova@gmail.com**М.М. Бойчук,**

PhD, доцент кафедри ортопедичної стоматології,

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський

національний університет»,

вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,

індекс 88000, mykola.boichuk@uzhnu.edu.ua**Л.В. Мельник,**

старший викладач кафедри хірургічної стоматології

та клінічних дисциплін, Державний вищий навчальний

заклад «Ужгородський національний університет»,

вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна,

індекс 88000, dr.lesia.melnyk@gmail.com

ПІДШКІРНА ЕМФІЗЕМА ПІД ЧАС ЕНДОДОНТИЧНОГО ЛІКУВАННЯ: ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ, ФАКТОРИ РИЗИКУ ТА ПІДХОДИ ДО МЕНЕДЖМЕНТУ

Мета дослідження. Систематизувати дані щодо основних причин та механізмів розвитку підшкірної емфіземи в ході або ж після проведення стоматологічних втручань загалом та ендодонтичних маніпуляцій зокрема, оцінити значущість різних факторів ризику асоційованих з розвитком підшкірної емфіземи під час лікування кореневих каналів та подальшою міграцією інфільтрованого обсягу повітря у різні міжтканинні простори, проаналізувати підходи до менеджменту випадків підшкірної емфіземи на стоматологічному

прийомі та умови, котрі обґрунтовують доцільність госпіталізації пацієнтів під час виникнення та/або прогресування даного типу ускладнень.

Методи дослідження. В якості основних методів дослідження були використані ретроспективний огляд літературних даних та контент-аналіз відібраних публікацій, які стосувалися питань причин, факторів ризику та підходів до лікування/надання допомоги у випадках реєстрації ознак підшкірної емфіземи під час або ж після стоматологічного лікування в цілому та ендодонтичних втручань зокрема. Для максимізації обсягу вихідної вибірки наукових публікацій цільової спрямованості пошук таких був реалізований через систему Google Scholar із активним залученням можливостей розширеного пошуку. Додатковий аналіз первинно відібраних наукових робіт додатково проводився із залученням пошукових можливостей сервісу Connected Papers.

Наукова новизна. Симптоми підшкірної емфіземи, яка може розвинути під час лікування кореневих каналів, є типовими та характерними і для інших видів лицевої емфіземи, та включають кренітацію при пальпації, наростаючий набряк без суттєвої зміни кольору м'яких тканин, чутливість/больові відчуття в залежності від перерозтягу тканин обсягом повітря. Розмір апікального отвору тотожний 25-ому за ISO за даними попередніх лабораторних досліджень збільшує ризик розвитку підшкірної емфіземи під час лікування кореневих каналів при тривалому впливу потоку повітря відповідної швидкості та тиску. Менеджмент випадків емфіземи, які розвиваються в ході або ж після лікування кореневих каналів, є переважно емпіричним та залежить від вираженості симптомів ураження. Призначення антибіотиків аргументовано необхідністю попередження інфекційних ускладнень. Госпіталізація пацієнта із ознаками повітряної емфіземи показана при значній поширеності набряку в ділянці голови та шиї, при міграції обсягу повітря з розвитком ознак диспное та дисфагія, або у випадках емфіземи у пацієнтів з компрометованим соматичним статусом

Висновки. Дані, агреговані та проаналізовані в ході проведеного огляду літератури, дозволили встановити, що частка випадків розвитку підшкірної емфіземи під час проведення специфічно ендодонтичних втручань серед усіх випадків емфіземи, повідомлених в літератури, котрі мали місце в ході або ж після стоматологічного лікування, є незначною, і сягає до 10%. При цьому випадки підшкірної емфіземи, яка виникла специфічно по ходу виконання ендодонтичних втручань, характеризується певними особливостями, відмінними від загальних характеристик розвитку емфіземи під час інших видів стоматологічного лікування: більшість випадків відмічаються при роботі з зубами верхньої щелепи, в основному при спробі висушування кореневих каналів пастером або ж при застосуванні ірригантів, котрі характеризуються ефектом лібрації кисню, і для розвитку даного типу ускладнення необхідним є залучення додаткових факторів впливу (порушення цілісності стінки кореня при перфоратії, резорбції, стан несформованого кореня, наявність периапікального вогнища, перерозширення ділянки апікального отвору).

Ключові слова: підшкірна емфізема, ендодонтичне лікування, ускладнення.

M.Yu. Goncharuk-Khomyn,

PhD, Associate Professor at the Department
of Restorative Dentistry,
Academic Editor of *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
16a Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, myroslav.goncharuk-khomyn@uzhnu.edu.ua

I.V. Noenko,

PhD-student,
State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
President of All-Ukrainian Association of Endodontists,
36 Novopolyova street, Kyiv, Ukraine, postal code 03061,
nickmess1@gmail.com

V.V. Fedak,

Private practice, Dental Clinic «Vivadent»,
Head of Chernivtsi Regional Department of All-Ukrainian
Association of Endodontists,
8 Bilousova street, Chernivtsi, Ukraine, postal code 58000,
fedakvova@gmail.com

M.M. Boichuk,

PhD,
Associate Professor at the Department
of Prosthetic Dentistry,
State High Educational Institution «Uzhhorod National
University»,
16a Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, mykola.boichuk@uzhnu.edu.ua

L.V. Melnyk,

Senior Teaching Assistant of Department of Surgical
Dentistry and Clinical Disciplines,
State High Educational Institution
«Uzhhorod National University»,
16a Universitetska street, Uzhhorod, Ukraine, postal code
88000, dr.lesia.melnyk@gmail.com

SUBCUTANEOUS EMPHYSEMA DURING ENDODONTIC TREATMENT: CAUSES, RISK FACTORS AND MANAGEMENT APPROACHES

Purpose of the study. To systematize data on the main causes and mechanisms of subcutaneous emphysema development during or after dental procedures in general and endodontic manipulations particularly; to assess the significance of various risk factors associated with the development of subcutaneous emphysema during root canal treatment and the subsequent migration of infiltrated air volume into different interstitial spaces; to analyze management approaches for cases of subcutaneous emphysema during dental treatment and to outline the conditions that justify the need for patient hospitalization in the event of the occurrence and/or progression of this type of complication.

Research methods. The main research methods used were a retrospective review of literature data and a content-analysis of selected publications related to the causes, risk factors, and approaches to the treatment/management of cases with reported signs of subcutaneous emphysema during or after dental procedures in general and endodontic interventions in particular. To maximize the initial sample of scientific publications relevant to the aim of the study, the search was performed through the Google Scholar system using the advanced search options. Additional analysis of the initially selected scientific works was also carried out using the search capabilities of the Connected Papers service.

Scientific novelty. The symptoms of subcutaneous emphysema that may develop during root canal treatment are typical and characteristic of other types of facial emphysema as well. They include crepitus on palpation, progressive swelling without significant changes in the color of the soft tissues, and tenderness/pain depending on the degree of tissue overstretching caused by the volume of air. According to previous laboratory studies, an apical foramen size equivalent to ISO size 25 or greater during root canal treatment increases the risk of emphysema development during prolonged exposure to air flow of certain speed and pressure. Management of cases of emphysema that develop during or after root canal treatment is mostly empirical and depends on the severity of the symptoms. The prescription of antibiotics is justified by the need to prevent infectious complications. Hospitalization of a patient with signs of air emphysema is indicated in cases of significant swelling in the head and neck area, migration of air volume with the development of dyspnea or dysphagia, or in cases of emphysema in patients with compromised general health status.

Conclusions. The data aggregated and analyzed in this literature review showed that the proportion of cases of subcutaneous emphysema occurring specifically during endodontic interventions among all reported cases of emphysema arising during or after dental treatment is low and does not exceed 10%. At the same time, cases of subcutaneous emphysema that occur specifically during endodontic procedures are characterized by certain features that distinguish them from the general characteristics of emphysema development during other dental treatments: most cases are observed during the treatment of maxillary teeth, mainly during attempts to dry root canals with an air syringe or when using irrigants with oxygen-releasing effects, and the development of this type of complication requires the involvement of additional contributing factors (root wall integrity loss due to perforation or resorption, immature root formation condition, presence of a periapical lesion, or over-enlargement of the apical foramen area).

Key words: subcutaneous emphysema, endodontic treatment, complications.

Постановка проблеми. Підшкірна емфізема шийно-лицевого відділу (цервікофасціальна емфізема, лицева емфізема) представляє собою відносно рідкісне ускладнення, яке може виникати під час стоматологічного лікування, в тому числі і при ендодонтичних втручаннях, і котре

пов'язане з форсованою інфільтрацією повітря у підшкірні простори обличчя та шиї через порушення цілісності слизової оболонки або шкіри, або ж через наявність патологічних сполучень між такими та зовнішнім середовищем чи середовищем ротової порожнини, з ризиком подальшої міграції інфільтрованого обсягу в міжтканинні простори [1, 2, 3, 4, 5, 6].

У розрізі генезу розвитку емфізематозних ускладнень в стоматологічній практиці такі можуть бути класифіковані на ятрогенні, травматичні, інфекційні та спонтанні, при цьому кожна із даних категорій при відповідних умовах може мати відношення до процедури лікування кореневих каналів [5, 6, 7, 8]. Проте, травматичні підшкірні емфіземи, як правило, розвиваються внаслідок травми кісток лицевого скелету чи при внутрішньоротовій травмі у разі, якщо такі спровокували порушення цілісності м'яких тканин з потраплянням повітря у структуру клітковинних просторів. Інфекційні емфіземи щелепно-лицевої ділянки виникають у разі розвитку патологічних процесів за участі мікроорганізмів, які під час своєї життєдіяльності передбачають виділення газів. Спонтанні емфіземи відмічаються серед осіб з обтяженим соматичним статусом, у котрих в анамнезі спостерігаються легеневі порушення асоційовані або ж з підвищеним інтра-альвеолярним тиском, або з послабленим станом стінки альвеоли легень. Ятрогенні підшкірні емфіземи є різновидом емфізематозних ускладнень, які розвиваються в процесі реалізації різного роду втручань терапевтичного чи діагностичного характеру при використанні інструментарію, який провокує форсування повітря, або ж під час процедур, які асоційовані з ризиком чи в окремих випадках потребою порушення цілісності шкіри або ж слизової [2, 3, 7, 9].

Стоматологічними маніпуляціями, які найчастіше пов'язані із розвитком підшкірної емфіземи є екстракція зуба, реставраційні процедури (особливо у випадках реставрації каріозних дефектів V класу за Блемом чи аналогічних їм некаріозних пришийкових уражень в проекції дистальних зубів нижньої щелепи), повітряабразивні маніпуляції (особливо у пацієнтів з компрометованим станом структур пародонту), ендодонтичні втручання, процедури із застосуванням лазера (в структурі дизайну апарату котрих передбачено аплікацію потоку повітря для охолодження ділянки втручання), та будь-які хірургічні маніпуляції, які передбачають роботу в проекції повітрявмісних просторів, або ж контрольоване

порушення цілісності слизової через формування розрізу [3, 7, 8, 9, 10].

Перший випадок підшкірної емфіземи, асоційованої із реалізацією стоматологічних втручань, у доступній науковій літературі датується 1900 роком [3, 6, 7]. За даними систематичного огляду Jones A. від 2021 року середня частота реєстрації випадків підшкірних емфізем, які розвинулися в результаті чи по ходу реалізації стоматологічного втручання за доступними для аналізу опублікованими клінічними даними зросла з 2,6 випадків на рік в період 1993-2006 років до 7,1 випадків на рік в період 2007-2020 років [3]. Зрозуміло, що зазначена авторами частота стосується лише кількості клінічних випадків, представлених в науковій літературі, і, очевидно, є меншою за фактичну поширеність випадків розвитку повітряної емфіземи в стоматологічній практиці.

Потребує уваги той факт, що преваліююча етіологія виникнення випадків підшкірної емфіземи в ході або ж після виконання стоматологічних маніпуляцій змінилася в середині 20-го століття з переважаюче неятрогенного походження на переважно ятрогенного, що було обумовлене критичним зростанням частоти використання у клінічній практиці сучасних турбінних наконечників в ході реалізації різних стоматологічних процедур [1, 10].

Наразі тематика підшкірної емфіземи як ускладнення, котре може розвинути в ході або після проведення стоматологічного лікування та ендодонтичних втручань зокрема, в наукометричних базах даних представлена лише декілька цільовими систематичними оглядами, котрі в своїй більшості за дизайном дослідження відповідають критеріям комплексних оглядів літератури, та публікаціями, які первинно категоризовані як літературні огляди, а також понад 60 описаними клінічними випадками [3, 6, 7, 9]. В структурі окремих вищезазначених публікацій представлені поодинокі рекомендації та алгоритми менеджменту випадків підшкірної емфіземи в стоматології, однак такі характеризуються варіативним рівнем обґрунтування та категоризації, і не можуть бути інтерпретовані у якості доказово-аргументованих клінічних настанов чи консенсусних протоколів, які окреслюють тактику та чітку послідовність дій при розвитку емфізематозних ускладнень.

У доступних вітчизняних наукових джерелах відмічається виражений дефіцит клінічно-орієнтованих напрацювань дотичних до тематики підшкірної емфіземи та ефективних варіантів її

менеджменту в ході стоматологічного прийому, а використання словосполучень «емфізема» та «стоматологія» у пошуковій системі Google Scholar дозволило верифікувати тільки поодинокі україномовні публікації, в яких підшкірна емфізема згадується як варіант ускладнення після проведення хірургічних стоматологічних втручань.

Приймаючи до уваги вищенаведені факти систематизація релевантних даних щодо причин, механізмів та факторів ризику, а також аналіз можливих підходів до менеджменту, профілактики та купірування наслідків випадків підшкірної емфіземи, які характеризуються ймовірністю розвитку під час або після проведення стоматологічних процедур в принципі та ендодонтичних втручань зокрема, можуть бути інтерпретовані у якості завдань, реалізація котрих представляє клінічно-значущий та науково-практичний інтерес, а також сприятиме зростанню загального рівня проінформованості практикуючих лікарів-стоматологів щодо особливостей розвитку емфізематозних ускладнень в стоматологічній практиці та можливих терапевтичних та превентивних підходів, які можуть бути імplementовані у разі ятрогенної інфільтрації обсягу повітря в підшкірні простори ділянки голови та шиї.

Мета дослідження. Систематизувати дані щодо основних причин та механізмів розвитку підшкірної емфіземи в ході або ж після проведення стоматологічних втручань загалом та ендодонтичних маніпуляцій зокрема, оцінити значущість різних факторів ризику асоційованих з розвитком підшкірної емфіземи під час лікування кореневих каналів та подальшою міграцією інфільтрованого обсягу повітря у різні міжтканинні простори, проаналізувати підходи до менеджменту випадків підшкірної емфіземи на стоматологічному прийомі та умови, котрі обґрунтовують доцільність госпіталізації пацієнтів під час виникнення та/або прогресування даного типу ускладнень.

Матеріали та методи. В якості основних методів дослідження були використані ретроспективний огляд літературних даних та контент-аналіз відібраних публікацій, які стосувалися питань причин, факторів ризику та підходів до лікування/надання допомоги у випадках реєстрації ознак підшкірної емфіземи під час або ж після стоматологічного лікування в цілому та ендодонтичних втручань зокрема. Для максимізації обсягу вихідної вибірки наукових публікацій цільової спрямованості та відповідності поставленій меті дослідження пошук таких був реалізований через систему Google Scholar ([\[scholar.google.com/\]\(https://scholar.google.com/\)\) із активним залученням можливостей розширеного пошуку та за наступними ключовими словами: «subcutaneous emphysema» та «endodontics». Додатковий аналіз первинно відібраних наукових робіт додатково проводився із залученням пошукових можливостей сервісу Connected Papers \(<https://www.connectedpapers.com/>\), котрий дозволяє ідентифікувати зв'язки із публікаціями тотожної спрямованості, які з різних причини потенційно могли бути пропущені при використанні пошукової системи Google Scholar.](https://</p></div><div data-bbox=)

Публікації, які представляли собою систематичні огляди та огляди літератури, котрі були верифіковані під час первинного пошуку, було проаналізовано додатково з екстракцією усіх включених до їх вмісту посилань та подальшим опрацюванням таких у випадках, якщо ці публікації не було включено у якості незалежних одиниць контент-аналізу вихідної вибірки. Такий підхід також забезпечував можливість процесингу специфічної інформації, яка через сформульований дизайн, цільовий запит чи специфічні критерії включення систематичних оглядів чи оглядів літератури, могла бути не представлена у основному тексті таких, проте могла представляти суттєвий клінічний інтерес.

Категоріями контент-аналізу відібраних наукових публікацій виступали наступні:

- основні маніпуляції, причини та механізми, пов'язані із розвитком підшкірної емфіземи під час стоматологічного лікування в цілому та реалізацією ендодонтичних втручань зокрема;
- фактори ризику та чинники, які можуть бути інтерпретовані у якості контрибутивних та/або асоційованих зі змінами відносного ризику чи навіть ймовірності розвитку підшкірної емфіземи під час стоматологічного лікування в цілому та реалізації ендодонтичних втручань зокрема;
- особливості клінічних проявів та критерії диференційної діагностики випадків підшкірної емфіземи серед стоматологічних пацієнтів;
- клінічні рекомендації, алгоритми, підходи та обґрунтовані спостереження щодо надання допомоги, купірування, менеджменту та профілактики наслідків у випадках розвитку емфізематозних ускладнень під час стоматологічного лікування.

Масиви текстових даних, екстрагованих з попередніх публікацій, котрі представляли собою унікальну неповторювану та клінічно-значиму інформацію, у відповідності до сформульованих категорій контент-аналізу та мети даного

дослідження, були структуровані у програмному забезпеченні Microsoft Excel 2019 (Microsoft Office 2019, Microsoft). Такий підхід оптимізував можливості для якісно-кількісного опрацювання текстової інформації та подальшої побудови структурно-логічних схем на основі встановлених взаємозв'язків між досліджуваними категоріями, інтерпретація котрих в подальшому була представлена у формі наукової публікації.

Результати дослідження та їх обговорення.

Комплексний огляд цільової літератури, який охоплював період з 2010 по 2020 роки, дозволив ідентифікувати 33 публікації, в структурі котрих було проаналізовано випадки підшкірної емфіземи, яка мала місце після або під час проведення стоматологічних втручань. За даними цього огляду в 48,5% випадків розвиток емфіземи був пов'язаний із проведення процедури екстракції, тоді як в 51,5% – із виконанням інших стоматологічних маніпуляцій [11]. Neuman S. та Babayof I. засвідчили аналогічні дані: у 44% зареєстрованих авторами випадках підшкірної емфіземи такі мали місце як ускладнення після екстракції, і в 33% – як ускладнення після реставраційних втручань [9]. Лише в 12% випадків підшкірна емфізема відмічалася в ході проведення ендодонтичного втручання [9]. Rao M. та колеги провівши комплексний огляд наукових праць, опублікованих в період 1965-2020 років, в свою чергу зазначили про те, що специфічно в період 2010-2020 рр. 25% повідомлених випадків підшкірної емфіземи в стоматології мали місце при видаленні зуба, тоді як 18% – при реставраціях V класу за Блемом, препаруванні коронок, використанні ретракційної нитки, 7% – при реалізації ендодонтичних втручань, 7% – при застосуванні повітряно-абразивних систем та лазерів [10]. Jones A. та колеги констатували, що з повідомлених випадків підшкірної емфіземи, які мали місце на стоматологічному прийомі, 51,1% були пов'язані із використанням турбінних наконечників з порушенням в ході маніпуляції цілісності слизової; з усіх повідомлених випадків 62% розвивалися при екстракції зубів, 28% – при виконанні реставраційних маніпуляцій, в 10% – при проведенні ендодонтичних втручань [3]. В 10,4% зареєстрованих випадків дане ускладнення відмічалася внаслідок дій пацієнта в післяопераційних період (надування повітряних кульок, надто сильне видування носа, виконання сильного фізичного навантаження, гра на духових інструментах) [3]. Розвиток емфіземи по причині дії струменя стиснутого повітря з пуста відмічався

в 9,6% випадків, третина з котрих мала місце під час ендодонтичного лікування, третина – під час реставраційних маніпуляцій, і ще третина – в ході препарування зуба чи екстракції зуба. Підшкірні емфіземи внаслідок дії повітряабразивних систем та апаратів складали лише 3,7% з усіх випадків емфізем, половина з яких стосувалася випадків обробки періімплантатної ділянки. 3% емфізем відмічених на стоматологічному прийомі розвивалися на фоні лікування із залученням загальної анестезії пацієнта і ще 3% підшкірних емфізем, які розвивалися в ході виконання стоматологічних втручань, були пов'язані із застосуванням лазера [3].

Систематизувавши дані періоду 2001-2012 років Mitsunaga S. та дослідники повідомили про 13 випадків виникнення підшкірної цервікофасіальної емфіземи в умовах застосування лазера: 5 випадків – під час надрізу абсцесу та дренивання, 2 випадки – в ході френектомії у дітей, 2 випадки – під час ендодонтичного лікування, і по одному випадку в умовах субгінгівального скейлінгу, сепарації клаптя та гінгіопластики [12, 13]. В більшості випадків розвитку підшкірної емфіземи під час застосування лазера були використані CO₂ та Er:YAG апарати. В 9 з 12 детально описаних випадків розвитку емфіземи при застосуванні лазера в стоматології повітря поширювалось в ділянку середостіння [12]. Базуючись на цих даних, автори резюмували, що частота розвитку середостінної емфіземи внаслідок міграції повітря з ділянки втручання, є набагато вищою при застосуванні лазерів, аніж в умовах інших стоматологічних втручань (екстракції, реставрації та ін.) [12, 13]. Дослідники пов'язують таку частоту розвитку емфіземи при застосуванні лазера з тим, що відбувається некоректне використання апаратів з включеними системами проектування форсованого повітря для охолодження [12, 13]. В окремих системах лазерів швидкість охолоджуючого повітряного потоку сягає 6-9 л/хвилину. Окремі системи лазерів передбачають припинення дії повітряного потоку в умовах виконання розрізу тканин, проте певний рух повітря все ж може мати місце хоча б для мінімальної елімінації ефекту перегріву. У випадках лазерів провокуючим фактором розвитку емфіземи є не тиск потоку повітря, а тривалість дії такого потоку [12, 13].

Поодинокі випадки повітряної емфіземи у стоматологічній практиці можуть мати місце через недотримання пацієнтом рекомендацій лікаря, або ж по причині реалізації власних звичок, незважаючи на постопераційні обмеження (наприклад,

надто сильне видудання носа, чхання, форсована ірригація ротової порожнини після екстракції, гра на духових музичних інструментах), однак дані ситуації в основному стосуються умов після реалізації хірургічних втручань, а тому в розрізі зв'язку із ендодонтичним лікуванням можуть відмічатися після резекції верхівки кореня, ампутації кореня, гемісекції [2, 3, 5, 7].

В ендодонтичній практиці значна частина випадків розвитку підшкірної емфіземи пов'язана із спробою лікаря-стоматолога висушити кореневий канал із використанням пюстера, направляючи потік повітря безпосередньо в просвіт кореневого каналу [7]. В таких випадках розвивається ефект Вентурі – фізичне явище, при якому при проходженні повітря через звужену частину каналу швидкість потоку повітря зростає, а тиск у зоні звуження відповідно знижується, і через різницю тиску утворюється всмоктувальний/клапанний ефект, через який відбувається «втягування» ще більшого об'єму повітря, яке в подальшому «вивільняється» у заапикальний простір (рис. 1) [3, 7, 14, 15].

При цьому тиск повітря при його виході із стоматологічного пюстера може сягати 20-25 psi (фунтів на квадратний дюйм), чого достатньо для розвитку не тільки емфіземи, але й повітряної емболії [15].

Підшкірна емфізема також може мати місце при проникненні обсягу повітря через патологічний дефект стінки кореня (перфорацію) спочатку в простір структур пародонту, а надалі – і в міжфасціальні простори [6, 7].

В розрізі зв'язку зі специфікою ендодонтичних втручань підшкірна емфізема може мати місце при використанні у якості ірриганту перекису водню, якщо такий був виведений в заапикальний простір, або ж і без екструзії такого [16]. Такі наслідки, зазвичай, мають місце при нівелюванні апікальної констрикції, перерозширенні фізіологічного апікального простору, та при відсутності контролю робочої довжини в ході ірригації. З іншої сторони надто форсоване уведення ірриганту також може спровокувати його вихід в заапикальний простір. Після взаємодії з органічною складовою розчин перекису водню виділяє вільний кисень, який потому може потрапляти в тканинні простори. Tokuda M. та колеги описали випадок підшкірної емфіземи в ході ендодонтичного лікування, яка розвинулася внаслідок взаємодії розчину гіпохлориту натрію та агента RC-Prep (Premier Dental Products Company, США), внаслідок чого утворився газ хлориту та кисень, який і потрапив в міжтканинний простір з апексу зуба (ускладнення розвинулося через

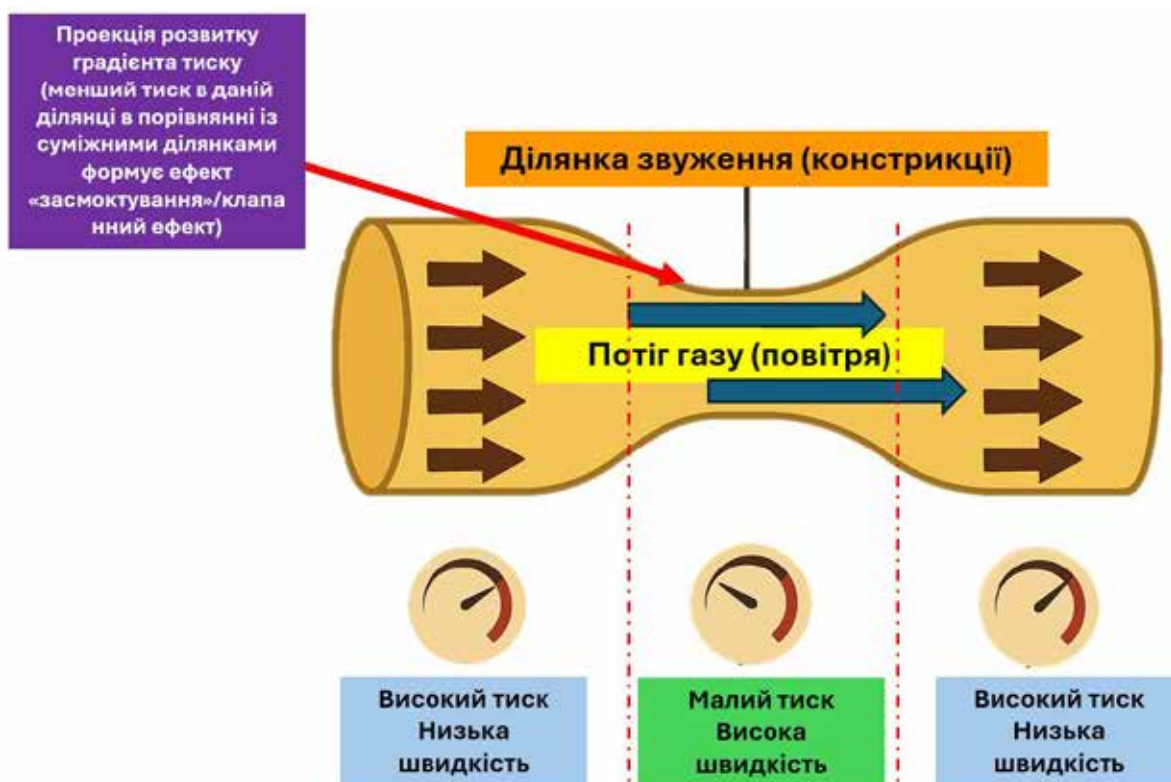


Рис. 1. Схематичне зображення ефекту Вентурі, асоційованого з ризиком розвитку підшкірної емфіземи при проведенні ендодонтичних втручань

хімічну реакцію взаємодії перекису сечовини, яка входить до складу RC-Prep, та гіпохлориту натрію) [17].

Shovelton D. провівши аналіз випадків повітряної емфіземи в стоматології класифікував їх на чотири можливі типи [4, 6, 7]:

- емфіземи, котрі розвиваються, після певного впливу на пацієнта (після маніпуляції), однак спровоковані самим пацієнтом (при надто сильному видуванні носа, наприклад, після виконання стоматологічної процедури);

- емфіземи, котрі розвиваються після безпосереднього потрапляння повітря в тканини (наприклад, при задуванні пистером чи турбінним наконечником);

- емфіземи, котрі розвиваються після пролонгованої процедури (коли тривалість дії потенційно провокуючого фактора розцінюється більш значущим чинником впливу, аніж сам потенційно провокуючий фактор);

- емфіземи, котрі розвиваються без видимої на те причини [4, 6, 7, 18].

При потраплянні певного об'єму повітря через один із «вхідних» просторів (дефект слизової, шкіри, через простір кореневого каналу) можливе формування так званої «повітряної пастки», в якій повітря може залишатися без подальшої міграції, і з часом елімінується природним чином газообміну через судинну стінку (пасивна дифузія газів за градієнтом парціальних тисків через стінки капілярів) [18]. З іншої сторони рух повітря може мати і реверсивний характер, тобто гіпотетично обсяг повітря може «вийти» через ділянку входу, якщо просвіт такої є прохідним. Однак міграція повітря може мати і прогресивний характер, тоді повітря мігрує у міжтканинні простори. Найгірший варіант розвитку подій представлений умовами, коли при достатньому тиску та об'єму повітря таке може потрапити в кровоносну судину в кількості достатній, щоб викликати обструкцію коронарного кровотоку, кардіальну емболію або ж церебральну ішемію [10].

Простори щелепно-лицевої ділянки, котрі може заповнювати повітря у разі його проникнення через порушену цілісність шкіри чи слизової, або ж через кореневий канал, включають такі, що сформовані між фасціями та кістковими структурами, між фасціями та м'язами, а також між різними шарами фасцій [6]. При потраплянні повітря всередину підшкірної оболонки порція газу починає мігрувати по шляху найменшого опору і так відповідно досягає інфраорбітального, шийного та інших просторів, включаючи ретро-

фаренгіальний простір, який є основним порталом комунікації з середостінням [6]. В цілому Liegbott B., на роботи котрого часто реферують іноземні автори, повідомляючи про випадки підшкірної емфіземи в стоматології, виокремив сім ділянок голови та ший, які можуть містити простори, куди може поширюватися повітря, та які включають наступні [6, 19]:

- поверхнева ділянка з можливим поширенням повітря в щоку, нижню губу та інфраорбітальну ділянку;

- ділянка верхньої привушної слинної залози з можливим поширенням повітря по ходу протоки в структуру залози;

- піднижньощелепна ділянка з можливим поширенням повітря в поверхневий простір, під'язикову ділянку, привушну слинну залозу, ділянку жувального м'язу;

- під'язикова ділянка з можливим поширенням повітря в піднижньощелепну область, проекцію жувального м'язу, парафарингеальний простір;

- тонзиллярна ділянка з можливим поширенням повітря в підслизову м'якого піднебіння, піднижньощелепну та під'язикову ділянки;

- ділянка жувального м'язу з можливим поширенням повітря у парафарингеальний простір, паротидну ділянку, під'язикову та піднижньощелепну ділянки, кавернозний синус через овальний отвір, орбіту через інфраорбітальну щілину;

- парафарингеальна ділянка з можливим поширенням повітря в каротидну ділянку (таблиця 1) [6, 19].

Rao M. та колеги описали три шляхи поширення обсягу повітря з ділянки ший в ділянку середостіння:

- 1) передтрахейний шлях – до переднього середостіння;

- 2) латеральний фарингеальний шлях – до середнього середостіння;

- 3) ретрофарингеальний-ретровісцеральний шлях – до заднього середостіння [10].

Одразу у низці наукових робіт було відмічено, що корені нижніх молярів характеризуються інтимним зв'язком із сублінгвальним та субмандибулярним просторами, а ті в свою чергу характеризуються комунікаціями з птеригомандибулярним, парафарингеальним та ретрофарингеальним просторами, котрими може мігрувати болюс повітря (рис. 2) [4, 5, 6, 7, 15].

Battrum D. та Gutmann J. відмічають, що у випадках розвитку підшкірної емфіземи,

Таблиця 1

Короткий опис просторів, між котрими може відбуватися міграція обсягу повітря у випадках підшкірної емфіземи

Простір	Розташування / межі	Сполучення
Щічний	Між щічним м'язом і шкірою	З підщелепним, під'язиковим, парафарингеальним
Підщелепний	Під тілом нижньої щелепи	З під'язиковим і парафарингеальним
Під'язиковий	Між дном ротової порожнини і язиком	З підщелепним і парафарингеальним
Парафарингеальний	Латерально від глотки, медіально до внутрішньої сонної артерії	З підщелепним, ретрофарингеальним, крилоподібним
Ретрофарингеальний	Між глоткою і передхребтовою фасцією	З парафарингеальним і «небезпечним простором»
"Небезпечений простір"	Між крилоподібною фасцією та превертебральною фасцією	З ретрофарингеальним та прямо в заднє середостіння
Передтрахейний	Навколо трахеї	Униз у переднє середостіння

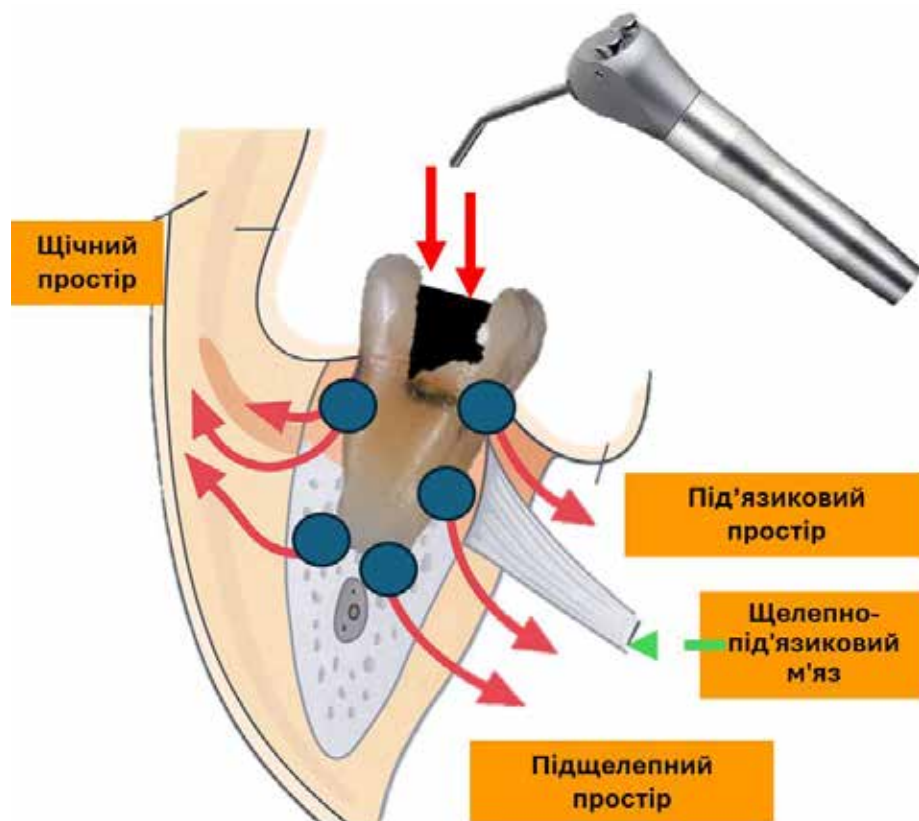


Рис. 2. Схематичне зображення сполучень нижніх молярів з суміжними просторами щелепно-лицевої ділянки

пов'язаної з проведенням ендодонтичного втручання, окрім ранніх симптомів локалізованого набряку, дискомфорту та крепітусу, у відстрочений період можуть відмічатися розлитий набряк, еритема, пірексія, біль [6]. Крепітус («сніжний хрускіт» при пальпації) в умовах емфіземи безболісний, на відміну від запальних інфільтратів, не супроводжується підвищенням температури шкіри, швидко поширюється, якщо повітря мігрує фасціальними просторами [6, 7]. Крепітус при

підшкірній емфіземі виникає через рух і лопання повітряних бульбашок у пухкій підшкірній клітковині під час пальпації. У випадках підшкірної емфіземи набряк може розвинутися негайно, або ж через декілька годин після втручання. 30,8% випадків підшкірної емфіземи характеризувалися негайним розвитком симптомів, 38,5% – розвитком ознак через 1-2 години після втручання, 23% – розвитком симптомів через 5-10 хвилин після втручання, і в 7,7% – через декілька днів [2].

При достатньо великих об'ємах повітря в ділянці шиї може відмічатися компресія дихальних шляхів асоційована з труднощами ковтання, мовлення та дихання. При проникненні повітря у середостіння можуть відмічатися болі в проекції грудної клітки, ознаки респіраторного дистресу, та у разі середостінної емфіземи – ознака Хаммана (звук потріскування, синхронний із серцевими скороченнями, а не з диханням) [20]. Враховуючи, що повітря яке мігрувало в ділянку середостіння не є стерильним, ймовірний розвиток послідоючих ускладнень у формі медіастиніту та некротизуючого фасциїту [10].

10 з 75 проаналізованих пацієнтів після виникнення емфіземи в ході стоматологічних втручань отримали некоректне лікування, оскільки дане порушення було інтерпретовано як алергічна реакція в 7 випадках, і як інфекційне ураження, гематома та міокардіальна ішемія ще в трьох окремих клінічних випадках за даними огляду Neuman S. та Babyof I. [9]. Rao M. та колеги вказують на потребу коректної диференційної діагностики підшкірної емфіземи, і загалом усіх випадків розвитку раптового набряку, із такими станами як інфекційні ураження, гематома, локальна ін'єкція анестетика в міжм'язовий простір, алергічні реакції, газова гангрена, ангіоневротичний набряк, гострий контактний дерматит, синдромом Мелькерсона-Розенталя [10].

Під час диференційної діагностики повітряної емфіземи доцільно провести легку пальпацію в ході котрої можна верифікувати рух повітря у підшкірних просторах із характерним «пухирчастим хрустом» (крепітус) [6, 7, 9]. На відміну від підшкірної емфіземи ангіоедематозні прояви алергічного характеру як правило демонструють кардіальні та дихальні ускладнення більш швидко, тоді як при неускладнених випадках підшкірної емфіземи вони є майже невираженими [6, 7, 9]. В ході диференційної діагностики підшкірної емфіземи з ангіоедемою остання також характеризується, як правило, більш щільною консистенцією, відсутністю крепітуса, вираженою еритемою та суміжними системними симптомами. Набряки інфекційного генезу, спровоковані целюлітом або некротизуючим фасциїтом, супроводжуються і вираженими системними порушеннями, а також змінам показників загального аналізу крові. При набряку при емфіземі, на відміну від набряку при гематомі, шкіра загалом не змінює свого забарвлення, відсутня еритема та надмірна чутливість [10]. Проте у випадках відстроченої підшкірної емфіземи може відмічатися еритема. Аналогічно відстрочені випадки

емфіземи в більшій мірі пов'язані із розвитком помірної пірексії, диспное, дисфагії, дисфонії та болю у грудях, хоча більшість із цих симптомів пов'язані радше із значним обсягом повітря, яке потрапило в міжтканинний простір. Однак при пальпації ділянки емфізематозного набряку відчувається крепітація, або ж так званий звук Велкро, чого немає при інших ускладненнях [15]. Відчуття місцевого дискомфорту у пацієнта, як правило, викликане напруженістю тканин та тризмом через тиск повітря зсередини.

Важливою є диференційна діагностика випадків підшкірної емфіземи із випадками гіпохлоритної аварії та синдромом Ніколау в ендодонтичній практиці. В попередніх роботах Гончарук-Хомин М. Ю. та колег було констатовано, що гіпохлоритна аварія характеризується швидким розвитком гострих больових відчуттів та набряку, при цьому розвиток різкої больової симптоматики відмічається незалежно від типу виконаної перед проведенням ендодонтичного втручання анестезії, а набряк характеризується загально поширеним патерном [21]. У випадках підшкірної емфіземи больові відчуття є переважно помірними або незначними та залежать від перерозтягу тканин та тиску, спровокованого обсягом інфільтрованого повітря. В 38,89% гіпохлоритних аварій реєструються набряк та екхімози, тоді як при підшкірній емфіземі ознаки крововиливів відсутні, або ж слабо виражені у відстрочений період. У випадках потрапляння гіпохлориту натрію у простір верхньощелепового синусу пацієнти скаржаться на відчуття запаху та присмаку хлору, печіння в даній ділянці, іноді – розвивається носова кровотеча, чого ніколи не відмічається у випадках підшкірної емфіземи [21]. Зуб, в ході ендодонтичного лікування якого розвинулась гіпохлоритна аварія, як правило, характеризується больовою чутливістю на пальпацію та перкусію, часто відмічається кровотеча з зуба, чого відповідно не спостерігається у випадках підшкірної емфіземи. Часто набряк та екхімози/крововиливи при гіпохлоритній аварії мають специфічну первинну локалізацію: в інфраорбітальній області та в області кута рота, що спричинено тим, що поширення екхімозів при гіпохлоритній аварії відповідає ходу поверхневих венозних судин [21]. При повітряній емфіземі специфічного патерну поширення набряку не відмічається, оскільки повітря може мігрувати по траєкторії найменшого опору серед міжтканинних просторів.

У випадках синдрому Ніколау з метою диференційної діагностики необхідно враховувати,

що дане ускладнення відмічається при форсованому введенні в простір кореневого каналу паст на основі кальцій-гідроксиду [22, 23]. Крім того при розвитку синдрому Ніколау в ендодонтії внаслідок потрапляння кальцій-гідроксидного матеріалу в судинне русло у пацієнтів одразу розвивається виражена больова симптоматика, яка супроводжується розвитком еритематозної ретикулярної плями, що в подальшому прогресує до некротичної виразки та скарифікаційних змін [22, 23]. Виразкування та утворення рубця можуть відмічатися не безпосередньо в проекції зуба, а в проекції термінальних закінчень судинної сітки [22, 23]. При підшкірній емфіземі відсутній факт форсованого внесення кальцій-гідроксиду в простір кореневого каналу, а також не відмічається розвитку еритематозних змін з подальшим виразкуванням та скарифікацією. Больові відчуття при синдромі Ніколау є значно вираженішими та критичнішими, ніж при підшкірній емфіземі, крім того лише в умовах останньої відмічається крепітація.

Рентгенологічно підшкірна емфізема представлена формуванням ділянок рентгенпроsvітлення в просторах між тканинами, де вони, зазвичай, відсутні, або ж повинні бути меншого розміру, крім того, рентгенологічні ознаки у випадках емфіземи, як правило, односторонні.

Парестезія на фоні підшкірної емфіземи може відмічатися протягом певного часу і ще в період від 4 тижнів до 9 місяців після первинної появи ускладнення.

Варто відмітити, що у огляді літератури D'Agostino S. та Dolci M. випадки емфіземи частіше відмічалися серед осіб жіночої статі (75%) та при середньому віку пацієнта 55,5 років [2]. За даними літератури підшкірна емфізема специфічно при ендодонтичному лікуванні частіше виникає у жінок, аніж у чоловіків з усередненим співвідношення 2:1 [7]. При цьому, однак, випадки підшкірної емфіземи з проникненням в глибокі тканинні простори, грудну клітку та черевну порожнину корелювали із факторами чоловічої статі пацієнтів, виконанням маніпуляцій на нижній щелепі та втручанням на молярах [9].

З усіх зубів за даними дослідження Neuman S. та Babyof I. підшкірна емфізема найчастіше мала місце при роботі з третіми та другими молярами [9]. Spille J. також зазначив, що 63,6% випадків підшкірної емфіземи відмічалися при лікуванні зубів саме нижньої щелепи, в 76% – при лікуванні специфічно нижніх молярів [11]. На відміну від попередніх досліджень у роботі D'Agostino S. та

Dolci M. більшість випадків емфіземи були відмічені при втручаннях на зубах верхньої щелепи. Аналогічні спостереження також були відмічені в роботі Jeong C.-H., в якій автор описав аналіз 11 випадків підшкірної емфіземи, яка мала місце після стоматологічних втручань, з яких частка виникнення таких від проекції верхніх зубів була вдвічі більшою, ніж нижніх [24].

Фокусуючись на випадках розвитку підшкірної емфіземи в ході лікування корневих каналів Fasoulas A. та колеги зазначили, що більшість таких випадків все ж мали місце при втручаннях на зубах верхньої щелепи (71%) [7]. В 36 з 65 випадків емфізема відмічалася при спробах лікарів висушити кореневий канал пастером, і ще 10 випадків – при ірригації корневих каналів розчином перекису водню [7]. У двох випадках було повідомлено про розвиток емфіземи на фоні озонування корневих каналів [7].

D'Agostino S. та Dolci M. зазначили, що частіше підшкірні емфіземи в стоматології мають місце у випадках, коли функціонує «клапанний» механізм, тобто повітря має змогу потрапити в міжтканинний простір, проте немає можливості з нього самовільно елімінуватися [2]. Частково «клапанний» механізм може бути забезпечений ефектом Вентурі, описаним вище, коли градієнт тиску формується у звуженій частині каналу, в проекції котрої швидкість руху повітря зростає, а тиск падає, проте знову відновлюється уже в заапикальній ділянці, що провокує ефект «засмоктування» [2].

За даними систематичного огляду Fasoulas A. та колег частина випадків розвитку підшкірної емфіземи в ході проведення ендодонтичного лікування, які мали місце в умовах некрозу пульпи, рентгенологічно верифікованої резорбції, неповністю сформованого кореня була більшою, ніж частина при лікуванні корневих каналів з вітальною пульпою [7]. Розмір розпрацьованого апікального отвору в випадках розвитку емфіземи в ході/після лікування корневих каналів був в межах 45-60, при цьому конусність не була деталізована у більшості досліджень [7]. Хоча більш ранні публікації засвідчують, що розмір апікальної частини більше 25-го за ISO уже провокує критичне зростання ризику розвитку ускладнення з феноменом «інтрепінгу» повітря [7].

Liatiri S. виокремлює три варіанти розвитку подій при потраплянні повітря в міжтканинний простір: 1) ретенція в первинному просторі до повної абсорбції кровотоком; 2) вихід через вхідний отвір/дефект; 3) потрапляння в кровотік

у достатньо великому об'ємі для блокування кра-
ніального чи кардіального кровопостачання (роз-
виток повітряного емболізму) [18].

Більшість випадків повітряної емфіземи, які
розвиваються в стоматологічній практиці, не
загрожують життю пацієнта, і, як правило, роз-
рішуються протягом 3-10 днів [3, 6, 7]. Для попе-
редження інфікування просторів, в котрі проник
болюс повітря, доцільним є призначення пацієн-
там з повітряною емфіземою антибактеріальних
препаратів широкого спектру дії [6, 7]. Однак при
великих обсягах повітря емфізема може прово-
кувати розвиток патологічних станів, котрі ста-
новлять загрозу для життя пацієнта, на кшталт,
компартмент-синдрому, трахеальної компресії,
некрозу тканин [9, 10, 11].

У випадках розвитку емфіземи в ході про-
ведення стоматологічних маніпуляцій шийне
поширення болюсу повітря відмічалось в 94,46%
випадків, периорбітальне – в 45,33% випадків,
ретрофарингеальне – в 8% випадків, середос-
тінне – в 33,33% випадків.

Найбільш поширеними ускладненнями під-
шкірної емфіземи в стоматології були пневмо-
медіастеніт (52%), ретрофарингеальна емфіземи
(17%), пневмоторакс (14%), периорбітальна
емфізема (11%), пневмоперикардіум (2%), пнев-
мопаротит (2%), фатальний емболізм (1%) [10].

Steiner M. та колеги описали випадок одонто-
генної інфекції, яка була пов'язана з розвитком
шийної емфіземи, та подальшим фатальним ура-
женням середостіння з розвитком медіастиніту
[25].

Одним з критичних наслідків підшкірної емфі-
земи, котрий може мати місце, є повна або част-
кова втрата зору в залежності від вираженості
гіпоперфузії центральної артерії сітківки, викли-
каної компресією [26, 27]. Крім того орбітальна
емфізема може бути пов'язана із оклюзією очних
артерій, ішемією оптичного нерва та прямою
компресією оптичного нерва, що може призвести
до втрати зору [26, 27]. Потрапляння повітря в інф-
раорбітальний простір також є небезпечним по
причині близькості такого до кавернозного синусу,
а відтак – зростання ризику розвитку повітряної
емболії або септичного тромбозу кавернозного
синусу. Відтак скарги пацієнта на порушення зору
повинні бути ретельно прийняті до уваги [26, 27].

North L. та Sulman C. описали клінічний випа-
док розвитку парезу голосових зв'язок після
розвитку емфіземи внаслідок стоматологічного
втручання [28]. Емфізема характеризувалась про-
гресуванням у формі вираженого пневмомедіас-

тиніту, що в свою чергу спровокувало компре-
сійну травму поворотного гортанного нерва, або
ж з більшою ймовірністю скарифікацію на фоні
обширного пневмомедіастиніту в проекції каро-
тидного та вісцерального просторів, що була афі-
лійована із травмою нерва [28].

Magni G. та колеги зазначили, що болюс газу
(повітря), який може потрапити в венозну сис-
тему, потенційно може досягти і артеріальної цир-
куляції, нівелюючи механізму захисту від артері-
альної повітряної емболії [29, 30]. Дослідження
на тваринах продемонстрували, що достатньо
великий болюс газу більше 20 мл, або менші,
але постійно індуковані тиском порції повітря
(зі швидкістю в 11 мл/хв), можуть провокувати
виникнення бульбашок повітря в артеріальному
кровотоці. Butler B. та Hill B. запропонували кон-
цепцію «критичної швидкості інфузії повітря»:
якщо швидкість інфузії менше 0,30 мл/кг/хв, то
венозні повітряні емболи елімінуються легене-
вими судинами, однак перевищення цієї швидко-
сті провокує зрив легеневої фільтрації, і міграцію
бульбашок повітря в артеріальний кровотік [31].
Зрозуміло, що за наявності дефективних з'єднань
між венозною та артеріальною системою ризик
міграції бульбашок газу між такими зростає.

Rickles N. та Joshi B. на досліджуваній моделі
собак довели, що продовжувана подача повітря
в структуру кореневих каналів може бути відпо-
відальною за формування повітряного емболу
достатнього обсягу, щоби спровокувати летальні
наслідки: на аутопсії повітряна емболія була під-
тверджена в правому передсерді, великих суди-
нах грудної клітки та коронарних судинах [32].
В ході аналітичних опрацювань Rickles N. та Joshi
B. резюмували, що обсяг повітря у 37,5 мл, уведе-
ного в легеневу вену, є смертельним [32].

Обрахунки проведені Bradford C. та колегами
продемонстрували наступні залежності [33]:

– за даними Chien P. та колег капілярний тиск
крові складає в середньому 25 мм рт. ст., і для про-
никнення повітря у капіляри аргументованим
є необхідність тиску повітря ззовні аналогічного,
або ж трохи вищого за зазначений (при цьому при
конверсії величин було встановлено, що 25 мм рт. ст.
складає в середньому 0,48 psi [34], тоді як за даними
Mishra L. тиск повітря при його виході із стоматоло-
гічного пустера може сягати 20-25 psi [15]);

– Rickles N. та Joshi B. визначали фатальну
дозу подачі повітря через кореневий канал в 8 мл/
кг на досліджуваній моделі тварин, при цьому
при 5 psi через голку 23-го розміру забезпечу-
ється потік в 1,5 літри на хвилину [32];

– відтак для фатального болюсу повітря для 70-кг пацієнта необхідно спровокувати формування потокового струменю повітря в кореневий канал з досягненням периапікальних капілярів протягом всього лише 20 секунд, щоб перевищити поріг «критичної швидкості інфузії повітря».

Ті ж такі Bradford C. та колеги зазначили, що розмір апікального отвору понад 25-го розміру за ISO та підгинання голки асоційовані з критичним зростанням тиску повітря в ділянці апексу, що може спровокувати формування повітряного ембола [33]. У дослідженні Eleazer P. та колег було підтверджено цю думку, і дослідники відмітили, що розробка ділянки апексу до більш, ніж 25-го розміру провокує декількакратне зростання тиску повітря, яке може бути форсоване в периапікальну область [35]. Так середній рівень апікального тиску при розробці кореневого каналу до 15-го розміру за ISO при використанні пустера складав 5 мм. рт. ст., а при використанні шприца Stropko – 0 мм. рт. ст.; при розробці каналу до 20-го розміру за ISO – 19 мм рт. ст. при використанні пустера, та 0 мм. рт. ст. при використанні шприца Stropko; при розробці каналу до 25-го розміру файлу – 91 мм. рт. ст. при використанні пустера, та 8 мм. рт. ст. при застосуванні шприца Stropko; при розробці до 30-го розміру файлу – 84 мм.рт. ст. при використанні пустера, та 9 мм. рт. ст. при застосуванні шприца Stropko; при розробці каналу до 35-го розміру файлу – 119 мм.рт. ст. при використанні пустера, та 9 мм. рт. ст. при використанні шприца Stropko; при розробці каналу до 40-го розміру файлу – 114 мм. рт. ст. при використанні пустера, та 12 мм. рт. ст. при застосуванні шприца Stropko [35]. Форсування руху повітря пустером, а не шприцем Stropko провокувало при більшості розмірів апексу (більших за 25 розмір за ISO) 10-кратно вищі показники тиску повітря в периапікальній області.

У 2025 році в журналі Legal Medicine був описаний випадок смерті від підшкірної емфіземи, яка розвинулася в ході реставраційного лікування нижньої правого другого моляра [36]. Під час аутопсії повітря було виявлено не тільки в шийній області, а й по ходу нижньощелепового каналу, крім того у померлої було діагностовано розширення правої субпідборідної вени, яке поширювалося до правої верхньої яремної вени. В літературі відомі випадки летальних наслідків повітряної емфіземи після стоматологічних втручань, однак такі переважно пов'язані із реалізацією хірургічних процедур [27].

Випадок зупинки серця внаслідок потрапляння повітряного ембола, сформованого під час процедури лікування кореневих каналів, описаний у науковій роботі Parekh A. та колег [38]. Механізм венозної повітряної емболії має місце, коли повітря потрапляє у венозну систему і з кровотоком досягає правих камер серця та системи легеневої циркуляції [38]. Наявність повітряного ембола в правому шлуночку, який продовжує функціонувати, провокує утворення «піни», що ще більше ускладнює крововідтік з правої частини серця [32, 38]. Звичайно, що наслідок такого ускладнення також багато в чому залежить і від функціонального стану серця та вираженості пульмонарної гіпертензії. При наявності повітряного ембола в правому шлуночку можна виконати спробу припинення його міграції по кровотоку, для цього пацієнт повинен зайняти положення Дюранта лежачи на лівому боці, голова опущена вниз. При положенні Дюранта повітряний ембол, який потрапив до правої частини серця під дією сили тяжіння піднімається до верхівки правого шлуночка, не потрапляє в легеневу артерію і менше перешкоджає серцевому викиду крові [32]. Таким чином, знижується ризик повної обструкції вихідного тракту правого шлуночка і фатальної зупинки кровообігу. Подальші дії повинні проводитися бригадою екстреної медичної допомоги чи реанімаційного відділення для аспірації повітряного вмісту із серця.

Щодо варіантів менеджменту підшкірної емфіземи в стоматологічній практиці, то Rao M. та колеги вказують на можливості проведення розрізів при неглибокому заляганні повітряного об'єму при необхідності полегшення больових відчуттів і надмірного натягу тканин [10]. Процедура дренажу повітря може мати різну ефективність, враховуючи, що елімінація повітря по дренажу можлива лише за достатнього градієнту тиску. В окремих випадках дренажу повітря можна стимулювати через відкритий стан вхідного отвору/дефекту при легкому масажі проблемної ділянки, однак у разі відсутньої прохідності вхідного отвору масаж проблемної ділянки може спровокувати подальшу глибоку міграцію повітря. В окремих випадках для купірування симптомів може застосовуватися прийом голкової декомпресії [10].

Варіанти реалізації різних заходів менеджменту з огляду на ступінь важкості підшкірної емфіземи, котра може розвинути в ході проведення стоматологічних маніпуляцій, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Варіанти менеджменту випадків підшкірної емфіземи на стоматологічному прийомі,
систематизовані з наукових публікацій Rao M. та колег [10],
Mascarenhas R. та колег [39], Spille J. та колеги [11]**

Ступінь важкості	Менеджмент	Діагностика
Випадки з легким клінічним перебігом (ділянка незначного набряку з ознаками крепітації у пацієнта без обтяженого соматичного статусу)	Інформування пацієнта про ускладнення, оцінка стану та заспокоєння Холодні компреси до ділянки ураження Анальгетики протягом 3 днів Антибіотики перорально протягом 5 днів Антигістамінні препарати Вітаміни групи В 6-12 вдихів-видихів у паперову торбинку для зниження рівня гіпервентиляції або ж використання 100% кисню Рекомендації пацієнту щодо уникнення активностей, які призводять до підвищення інтрамурального тиску Утримання ділянки голови та шиї вище рівня інших частини тіла для попередження міграції повітря Постійний моніторинг зі сторони сім'ї або друзів протягом 48 годин У разі розвитку диспное чи дисфагії – викликати карету швидкої допомоги Моніторинг у лікаря кожні 24 години (або за потреби)	Рентгенологічні дослідження для оцінки обсягу і поширеності повітря (окремих частин тіла з потенційним поширенням та цільових ділянок голови та шиї в передньозадній та латеральній шийній проекціях) М'якотканинна сонографія
Випадки помірної важкості (дифузний набряк з ознаками крепітації у пацієнта з коморбідними станами)	Всі заходи, котрі перелічені вище Хірургічний розріз та встановлення дренажу за потреби, або ж голкова декомпресія Антибіотики широко спектру дії перорально або ж внутрішньовенно протягом 5-7 днів Метилпреднізолон 400 мг внутрішньом'язево Використання 100% кисню через маску для зниження парціального тиску азоту в крові та пришвидшення реабсорбції такого з ділянки емфіземи Спостереження та моніторинг	Загальний аналіз крові на виключення суміжних запальних уражень Оцінка функціонування черепних нервів для виключення потенційного дефіциту Рентгенографія грудної клітки КТ ділянки голови та шиї
Особливо важкі випадки (значна поширеність набряку ділянки голови та шиї, диспное, дисфагія, пацієнт з компрометованим соматичним статусом)	Використання 100% кисню через маску Госпіталізації та реанімаційні заходи Трахеостомія при потребі	Усі заходи, описані вище

Призначення анальгетиків, на зразок ібупрофену, парацитамолу показане для мінімізації больових відчуттів та дискомфорту протягом 2-5 днів [10]. Призначення антибіотиків широкого спектру дії аргументовано необхідністю попередження інфекційних ускладнень [7]. Госпіталізація пацієнта із ознаками повітряної емфіземи показана при значній поширеності набряку в ділянці голови та шиї, при міграції обсягу повітря з розвитком ознак диспноє та дисфагія, або у випадках емфіземи у пацієнтів з компрометованим соматичним статусом [10].

Mascarenhas R. систематизував наступний список рекомендацій щодо профілактики, менеджменту та діагностики ознак, котрі можуть бути використані у випадках емфіземи стоматологічного генезу [39]:

1. Профілактика:

a. використання ретракційних ниток меншого розміру, або ж політетраетиленових стрічок замість них, виконання процедури ретракції більш щадно;

b. реалізація альтернативних підходів замість процедури ретракції (лазерна хірургія, електрохірургія);

c. застосування кофердаму для ізоляції;

d. уникнення форсування повітря в апікальному напрямку зуба після вилучення ретракційної нитки.

2. Діагностика ознак та симптомів:

a. набряк обличчя з наявним крепітусом при пальпації;

b. дисфагія;

c. диспноє та порушення дихання;

d. порушення мовлення;

e. біль у грудях.

3. Додаткові дослідження:

a. перевірка загального аналізу крові для виключення уражень інфекційного чи первинно-запального генезу;

b. оцінка функціонування нервових закінчень для виключення ймовірності наявності неврологічного дефіциту;

c. рентгенологічне дослідження для оцінки обсягу наявного повітря:

- бокова шийна та постеріоантеріальна проекції для дослідження ділянки шиї при відсутності симптомів кардіо-респіраторних порушень;
- рентгенографія грудної клітки при наявності кардіореспіраторних симптомів.

4. Менеджмент:

a. скерування до стаціонару та контроль прохідності дихальних шляхів у випадках підозри

розвитку пневмодіастиніту та/або пневмотораксу;

b. призначення антибіотиків широкого спектру;

c. застереження щодо уникнення ситуацій, які можуть спровокувати зростання тиску в структурі ротової порожнини;

d. призначення 100% високопоточного кисню та системних кортикостероїдів (тільки у важких клінічних випадках);

e. хірургічні втручання та дренаж [39].

Spille J. та колеги описали специфічний алгоритм діагностики та менеджменту середостінної емфіземи, яка може розвинути після стоматологічних маніпуляцій [11]:

1. Збір анамнезу та ідентифікація умов або впливу факторів, які можуть бути пов'язані з розвитком емфіземи (факт проведення хірургічних чи інших стоматологічних маніпуляцій за останні дні, травматичні ушкодження щелепно-лицевої ділянки, наявні супутні ураження структур шлунково-кишкового тракту чи верхніх дихальних шляхів)

2. Клінічний огляд (наявність зовнішніх змін шкіри або слизової, стан роботи дихальної та серцево-судинної системи, оцінка наявності крепітації під час пальпації в ділянці голови та шиї)

3. Рентгенологічні дослідження (рентгенологічний контроль стану грудної кліки, аналіз показників крові на наявність ознак запалення).

4. Деталізована діагностика (сонографія ділянки голови та шиї, грудної клітки та черевної порожнини, гастроскопія, бронхоскопія, комп'ютерна томографія голови та шиї)

5. Лікування (амбулаторне лікування з моніторингом та призначенням антибіотиків; або ж стаціонарне лікування в залежності від вираженості симптомів порушення)

6. Втручання у разі погіршення стану пацієнтів (хірургічні втручання у разі зростання обсягу емфіземи чи розвитку стану суперінфекції, декомпресія, введення дренажів, прогресивне введення антибіотиків для попередження розвитку сепсису; інтенсивний медичний моніторинг з забезпеченням прохідності дихальних шляхів) [11].

Заходи менеджменту підшкірної емфіземи під час проведення ендодонтичних втручань за Battrum D. та Gutmann J. включають наступні [6]:

1. Припинення процесу лікування кореневих каналів

2. Оцінка стану пацієнта

3. Спроба визначення причини розвитку ускладнення

4. Якщо підшкірна емфізема спровокована використанням перекису водню, обережно без надмірного тиску промити зону втручання дистильованою водою

5. Якщо причину розвитку симптомів підшкірної емфіземи встановити не вдається – запідозрити алергічну реакцію, або ж ангіоедему, які потребують відповідного лікування

6. Призначення антибіотиків тривалістю на 5 днів для попередження розвитку ускладнень, пов'язаних з нестерильним станом повітря, яке потрапило в міжтканинні простори

7. При потребі призначення анальгетиків, оскільки больові симптоми можуть мати місце по причині розтягнення м'яких тканин та запального набряку

8. У випадках утрудненого дихання чи ковтання скерувати та супроводити пацієнта до реанімаційного відділення, викликавши карету швидкої допомоги [6].

Лікування із застосуванням високопоточного кисню є одним із підходів, який застосовується при реабілітації пацієнтів з вираженою підшкірною емфіземою різного генезу [7]. Доцільність застосування 100% високопоточного кисню при лікуванні підшкірної емфіземи, котра має місце після ендодонтичного лікування, обґрунтована досвідом такого підходу у пацієнтів з пневмотораксом. Повітря, котре потрапляє в міжфасціальний простір під час виникнення емфіземи характеризується значним вмістом азоту [2, 7, 10]. Більшість кисню із болюсу повітря і так абсорбується судинною стінкою, залишаються значущий резидуальний обсяг азоту, який необхідно метаболізувати, і саме 100% кисень сприяє зменшенню тиску нітрогену як газу в плевральних капілярах, і промоції резорбції нітрогену з ділянки емфіземи.

Battrum D. та Gutmann J. відмічали, що важкість порушень соматичного стану у разі виникнення повітряної емфіземи навіть у короткостроковій перспективі є непрогнозованою, відтак пацієнт потребує ретельного постійного нагляду [6].

Сукупність заходів, орієнтованих на попередження розвитку підшкірної емфіземи за Battrum D. та Gutmann J. при реалізації специфічно ендодонтичних маніпуляцій включає наступні:

1. Використанням кофердаму
2. Уникнення застрягання голки під час ірригації, рух голки в кореновому каналі має бути вільний та з урахуванням обмеження робочої довжини

3. Нефорсоване проведення ірригації

4. Відмова від використання перекису водню під час ірригації, особливо, у випадках ендодонтичного лікування зубів з незавершеним формуванням кореня або ж наявними дефектами стінки кореня

5. Відмова від використання перекису водню для зупинки кровотечі з кореневого каналу

6. Висушування простору кореневого каналу з використанням паперових пінів чи засобів для аспірації

7. Відмова від використання спресованого повітря під тиском для висушування кореневого каналу

8. Використання наконечників з боковим виводом для повітря, або ж електричних наконечників, особливо у випадках проведення маніпуляції резекції верхівки кореня

9. Застосування звукових та ультразвукових інструментів при препаруванні апікальної частини кореня [6].

Висушування кореневих каналів необхідно проводити без використання пустера, однак все ж при застосуванні такого, струмінь повітря не потрібно орієнтувати аксіально в кореневий канал, а перпендикулярно до нього, тобто паралельно до оклюзійної площини, відтак завдяки ефекту Вентурі також забезпечуватиметься висушування, оскільки вхід в кореневий канал є вужчим за середовище навколо нього, відтак швидкість руху навіть непрямого потоку повітря в такому буде більшою, ніж в середовищі поза ним [15], але тиск при цьому буде меншим. Ця зона низького тиску «всмоктує» залишки вологи, води або ірригаційного розчину з глибини каналу без прямого вдуння повітря всередину, волога піднімається капілярним шляхом до устя каналу і евакуюється потоком повітря. Таким чином, повітря не задувається під тиском у канал, а лише створює зону негативного тиску, що оберігає від розвитку екструзії повітря та підшкірної емфіземи (рис. 3).

Інший підхід до безпечного висушування кореневих каналів полягає у знову ж таки горизонтальному розміщенні струменю повітря (перпендикулярно до довгої осі зуба), з уведенням в кореневий канал паперових пінів. Такий прийом дозволяє мінімізувати кількість використовуваних паперових пінів для висушування кореневого каналу, а апікальні отвори завдяки пінам залишаються заблоковані для попередження подальшого прогресування струменю повітря в апікальному напрямку.

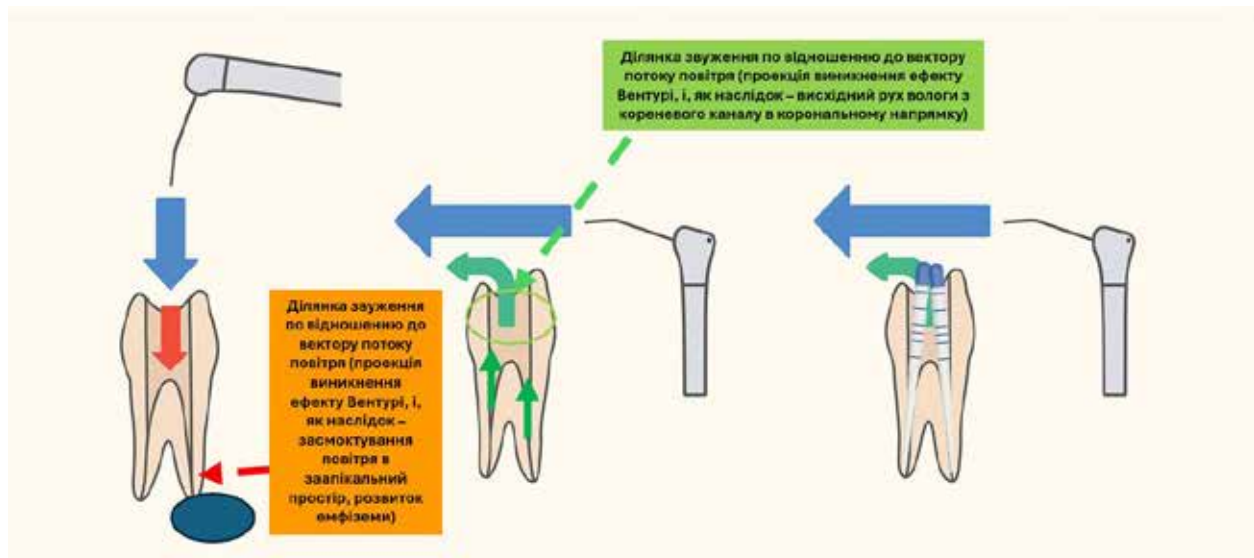


Рис. 3. Практичний підхід до висушування кореневих каналів, який попереджає розвиток підшкірної емфіземи

Одразу у декількох рекомендаціях дослідників було зазначено, що у випадках, коли підшкірна цервікофасціальна емфізема розвинулась після застосування пероксиду водню та гіпохлориту натрію, доцільним буде промивання ділянки втручання дистильованою водою.

У систематичному огляді Fasoulas A. та колег було відмічено, що пацієнти з ознаками підшкірної емфіземи, яка розвинулась в ході ендодонтичного лікування, і які отримали спеціалізовану медичну допомогу в стаціонарі, характеризувались довшим періодом реабілітації, ніж ті, які не отримали жодної спеціалізованої допомоги [7]. Даний ефект може бути пов'язаний з тим, що пацієнти, які були скеровані до спеціалізованих відділень у вихідній ситуації характеризувались вищою складністю порушення та більш об'ємним поширенням повітря з його глибокою інфільтрацією по міжтканинним просторам. Повна резолюція симптомів повітряної емфіземи варіювала в діапазоні 1-17 днів (медіана – 6 днів) [7]. За даними систематичного огляду Jones A. та колег середня тривалість госпіталізації пацієнтів з підшкірною емфіземою, яка розвинулась під час або ж після проведення стоматологічних маніпуляцій, складала $4 \pm 4,7$ днів, при цьому повне розрішення симптомів відмічалось через $7,3 \pm 4,8$ днів. Емфіземи, які розвивалися під час втручання на зубах нижньої щелепи, характеризувалися потребою в трохи тривалішому перебуванні в стаціонарі, в порівнянні з емфіземами, які розвивалися під час втручання на зубах верхньої щелепи (3,45 днів проти 2,5 днів) [3].

Висновки. Дані, агреговані та проаналізовані в ході проведеного огляду літератури, дозволили

встановити, що частка випадків розвитку підшкірної емфіземи під час проведення специфічно ендодонтичних втручаннях серед усіх випадків емфіземи, повідомлених в літературі, котрі мали місце в ході або ж після стоматологічного лікування, є незначною, і сягає до 10%. При цьому випадки підшкірної емфіземи, яка виникла специфічно по ходу виконання ендодонтичних втручаннях, характеризується певними особливостями, відмінними від загальних характеристик розвитку емфіземи під час інших видів стоматологічного лікування: більшість випадків відмічаються при роботі з зубами верхньої щелепи, в основному при спробі висушування кореневих каналів пустером або ж при застосуванні ірригантів, котрі характеризуються ефектом ліберації кисню, і для розвитку даного типу ускладнення необхідним є залучення додаткових факторів впливу (порушення цілісності стінки кореня при перфорації, резорбції, стан несформованого кореня, наявність периапікального вогнища, перерозширення ділянки апікального отвору). Симптоми підшкірної емфіземи, яка може розвинути під час лікування кореневих каналів, є типовими та характерними і для інших видів лицевої емфіземи, та включають крепітацію при пальпації, наростаючий набряк без суттєвої зміни кольору м'яких тканин, чутливість/больові відчуття в залежності від перерозтягу тканин обсягом повітря. Розмір апікального отвору тотожний 25-ому за ISO за даними попередніх лабораторних досліджень збільшує ризик розвитку підшкірної емфіземи під час лікування кореневих каналів при тривалому впливу потоку повітря відповідної швидкості та тиску. Менеджмент випадків емфіземи, які розви-

ваються в ході або ж після лікування кореневих каналів, є переважно емпіричним та залежить від вираженості симптомів ураження. Призначення антибіотиків аргументовано необхідністю попередження інфекційних ускладнень, враховуючи нестерильний стан болюсу повітря, котрий утворився в міжтканинних просторах. Госпіталізація пацієнта із ознаками повітряної емфіземи показана при значній поширеності набряку в ділянці голови та шиї, при міграції обсягу повітря з розвитком ознак диспное та дисфагія, або у випадках емфіземи у пацієнтів з компрометованим соматичним статусом

Література:

1. Sun J., Zhang L., Zhang C. [et al.]. Etiology, Diagnosis, and Treatment Strategy of Dental Therapy-related Subcutaneous Emphysema. *Dental Hypotheses*. 2024. Vol. 15(3). P. 48-51. URL: https://doi.org/10.4103/denthyp.denthyp_29_24
2. D'Agostino S., Dolci M. Subcutaneous craniofacial emphysema following endodontic treatment: case report with literature review. *Oral*. 2021. Vol. 1(2). P. 153-158. URL: <https://doi.org/10.3390/oral1020015>
3. Jones A., Stagnell S., Renton T. [et al.]. Causes of subcutaneous emphysema following dental procedures: a systematic review of cases 1993-2020. *British dental journal*. 2021. Vol. 231(8). P. 493-500. URL: <https://doi.org/10.1038/s41415-021-3564-0>
4. Saito Y., Kawai T., Kogi S. [et al.]. Clinical evaluation of subcutaneous emphysema caused by dental treatments. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*. 2022. Vol. 34(6). P. 813-816. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1483938/v1>
5. Shimizu R., Sukegawa S., Sukegawa Y. [et al.]. Subcutaneous emphysema related to dental treatment: a case series. *Healthcare*. 2022. Vol. 10(2). P. 290. URL: <https://doi.org/10.3390/healthcare10020290>
6. Batrum D. E., Gutmann J. L. Implications, prevention and management of subcutaneous emphysema during endodontic treatment. *Dental Traumatology*. 1995. Vol. 11(3). P. 109-114. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1995.tb00470.x>
7. Fasoulas A., Boutsoukis C., Lambrianidis T. Subcutaneous emphysema in patients undergoing root canal treatment: a systematic review of the factors affecting its development and management. *International Endodontic Journal*. 2019. Vol. 52(11). P. 1586-1604. URL: <https://doi.org/10.1111/iej.13183>
8. Pais E. S. The causes of subcutaneous emphysema of relevance to dental practitioners?. *Evidence-Based Dentistry*. 2019. Vol. 20(4), 111-112. URL: <https://doi.org/10.1038/s41432-019-0065-y>
9. Heyman S. N., Babayof I. Emphysematous complications in dentistry, 1960-1993: an illustrative case and review of the literature. *Quintessence international*. 1995. Vol. 26(8) P. 535-543. PMID: 8602428
10. Melkote D. R., Rao N. R. Subcutaneous Emphysema of Dental Origin—Two Case Reports with a Comprehensive Review of Literature from 1965 to 2020, with an Emphasis on Timely Management. *Indian Journal of Dental Sciences*. 2022. Vol. 14(3). P. 144-153. URL: https://doi.org/10.4103/ijds.ijds_50_21
11. Spille J., Wagner J., Spille D. C. [et al.]. Pronounced mediastinal emphysema after restorative treatment of the lower left molar—a case report and a systematic review of the literature. *Oral and maxillofacial surgery*. 2023. Vol. 27(3). P. 533-541. URL: <https://doi.org/10.1007/s10006-022-01088-5>
12. Mitsunaga S., Iwai T., Kitajima H. [et al.]. Cervicofacial subcutaneous emphysema associated with dental laser treatment. *Australian Dental Journal*. 2013. Vol. 58(4). P. 424-427. URL: <https://doi.org/10.1111/adj.12119>
13. Mitsunaga S., Iwai T., Aoki N. [et al.]. Cervicofacial subcutaneous and mediastinal emphysema caused by air cooling spray of dental laser. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. 2013. Vol. 115(6). P. e13-e16. URL: <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2011.10.037>
14. McKenzie W. S., Rosenberg M. Iatrogenic subcutaneous emphysema of dental and surgical origin: a literature review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2009. Vol. 67(6). P. 1265-1268. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joms.2008.12.050>
15. Mishra L., Patnaik S., Patro S. [et al.]. Iatrogenic subcutaneous emphysema of endodontic origin—case report with literature review. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. 2014. Vol. 8(1). P. 279. URL: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/6909.3876>
16. Kaufman E., Leviner E., Galili D. [et al.]. Subcutaneous air emphysema—a rare condition (four case reports). *Journal of oral medicine*. 1984. Vol. 39(1). P. 47-50. PMID: 6371199
17. Tokuda M., Kawakami Y., Morimoto-Yamashita Y. [et al.]. Subcutaneous emphysema caused by sodium hypochlorite plus RC-prep. *Open Journal of Stomatology*. 2014. Vol. 4(12). P. 527-532. URL: <https://doi.org/10.4236/ojst.2014.412070>
18. Liatiri S. Subcutaneous emphysema after root canal therapy. *Balkan Journal of Stomatology*. 2012. Vol. 16(1). P. 10-15.
19. Liebgott B. *The Anatomical Basis of Dentistry-E-Book: The Anatomical Basis of Dentistry-E-Book*. Elsevier Health Sciences. 2023. 496 p.
20. Yang S. C., Chiu T. H., Lin T. J. [et al.]. Subcutaneous emphysema and pneumomediastinum secondary to dental extraction: a case report and literature review. *The Kaohsiung journal of medical sciences*. 2006. Vol. 22(12). P. 641-645. URL: [https://doi.org/10.1016/S1607-551X\(09\)70366-3](https://doi.org/10.1016/S1607-551X(09)70366-3)

21. Гончарук-Хомин М. Ю., Носенко І. В., Федак, В. В. [та ін.]. Гіпохлоритна аварія під час ендодонтичного лікування: причини виникнення, фактори ризику та протокол дій. *Інновації в стоматології*. 2023. № 2. С. 36-50. URL: <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2023.2.7>
22. Kang Q., Huang Z., Qian W. Nicolau syndrome with severe facial ischemic necrosis after endodontic treatment: a case report. *Journal of Endodontics*. 2024. Vol. 50(5). P. 680-686. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.02.010>
23. Al-Sheeb F., Al Mannai G., Tharupeedikayil S. Nicolau Syndrome after endodontic treatment: a case report. *Journal of endodontics*. 2022. Vol. 48(2). P. 269-272. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.10.006>
24. Jeong C.H., Yoon S., Chung S.W. [et al.]. Subcutaneous emphysema related to dental procedures. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. 2018. Vol. 44(5). P. 212-219. URL: <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2018.44.5.212>
25. Steiner M., Grau M. J., Wilson D. L. [et al.]. Odontogenic infection leading to cervical emphysema and fatal mediastinitis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1982. Vol. 40(9). P. 600-604. URL: [https://doi.org/10.1016/0278-2391\(82\)90293-2](https://doi.org/10.1016/0278-2391(82)90293-2)
26. An G. K., Zats B., Kunin M. Orbital, mediastinal, and cervicofacial subcutaneous emphysema after endodontic retreatment of a mandibular premolar: a case report. *Journal of endodontics*. 2014. Vol. 40(6). P. 880-883. URL: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.09.042>
27. Fleischman D., Davis R. M., Lee L. B. Subcutaneous and periorbital emphysema following dental procedure. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery*. 2014. Vol. 30(2). P. e43-e45. URL: <https://doi.org/10.1097/IOP.0b013e318295f982>
28. North L., Sulman C. Subcutaneous emphysema and vocal fold paresis as a complication of a dental procedure. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2019. Vol. 124. P. 76-78. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.05.033>
29. Rehman K. U., Monaghan A. M., Tong J. L. Air Penetration into the Tissues During Oral Surgery. *Anesthesia & Analgesia*. 2008. Vol. 107(3). P. 1085. URL: <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e31818259c2>
30. Magni G., Imperiale C., Rosa G. [et al.]. Nonfatal cerebral air embolism after dental surgery. *Anesthesia & Analgesia*. 2008. Vol. 106(1). P. 249-251. URL: <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000289634.24785.04>
31. Hills B. A., Butler B. D. A method of producing calibrated microtubules for air embolism studies. *Journal of Applied Physiology*. 1981. Vol. 51(2). P. 524-528. URL: <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.2.524>
32. Rickles N. H., Joshi B. A. Death from air embolism during root canal therapy. *The Journal of the American Dental Association*. 1963. Vol. 67(3). P. 397-404. URL: <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1963.0291>
33. Bradford C. E., Eleazer P. D., Downs K. E. [et al.]. Apical pressures developed by needles for canal irrigation. *Journal of endodontics*. 2002. Vol. 28(4). P. 333-335. URL: <https://doi.org/10.1097/00004770-200204000-00019>
34. Chien P. H. Iatrogenic subcutaneous facial emphysema secondary to a class V dental restoration: a case report. *Australian Dental Journal*. 2019. Vol. 64(1). P. 43-46. URL: <https://doi.org/10.1111/adj.12657>
35. Eleazer P. D., Eleazer K. R. Air pressures developed beyond the apex from drying root canals with pressurized air. *Journal of endodontics*. 1988. Vol. 24(12). P. 833-836. URL: [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80013-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80013-7)
36. Fukuda H., Fukushima K., Takahashi Y. [et al.]. Unexpected death from air embolism during routine dental Procedure: A case report. *Legal Medicine*. 2025. Vol. 2025. P. 102674. URL: <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2025.102674>
37. Davies J., Campbell L. A. Fatal air embolism during dental implant surgery: a report of three cases. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie*. 1990. Vol. 37(1). P. 112-121. URL: <https://doi.org/10.1007/BF03007491>
38. Parekh A., McCormick J., Hussain-Amin A. [et al.]. A Case of Cardiac Arrest Caused by Air Embolism from Routine Root Canal Procedure. *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*. 2022. Vol. 18(1). P. 68. URL: <https://doi.org/10.14797/mdcvj.1067>
39. Mascarenhas R. J. Management of subcutaneous facial emphysema secondary to a class V dental restoration. *Clinical Case Reports*. 2019. Vol. 7(5). P. 1025. URL: <https://doi.org/10.1002/ccr3.2141>

References:

1. Sun, J., Zhang, L., Zhang, C., & Hou, B. (2024). Etiology, Diagnosis, and Treatment Strategy of Dental Therapy-related Subcutaneous Emphysema. *Dental Hypotheses*, 15(3), 48-51. Retrieved from https://doi.org/10.4103/denthyp.denthyp_29_24
2. D'Agostino, S., & Dolci, M. (2021). Subcutaneous craniofacial emphysema following endodontic treatment: case report with literature review. *Oral*, 1(2), 153-158. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/oral1020015>
3. Jones, A., Stagnell, S., Renton, T., Aggarwal, V. R., & Moore, R. (2021). Causes of subcutaneous emphysema following dental procedures: a systematic review of cases 1993-2020. *British dental journal*, 231(8), 493-500. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41415-021-3564-0>
4. Saito, Y., Kawai, T., Kogi, S., Onodera, K., Obara, M., Takeda, K., ... & Yamada, H. (2022). Clinical evaluation of subcutaneous emphysema caused by dental treatments. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*, 34(6), 813-816. Retrieved from <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1483938/v1>

5. Shimizu, R., Sukegawa, S., Sukegawa, Y., Hasegawa, K., Ono, S., Fujimura, A., ... & Furuki, Y. (2022). Subcutaneous emphysema related to dental treatment: a case series. *Healthcare*, 10(2), 290. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/healthcare10020290>
6. Battrum, D. E., & Gutmann, J. L. (1995). Implications, prevention and management of subcutaneous emphysema during endodontic treatment. *Dental Traumatology*, 11(3), 109-114. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1995.tb00470.x>
7. Fasoulas, A., Boutsoukis, C., & Lambrianidis, T. (2019). Subcutaneous emphysema in patients undergoing root canal treatment: a systematic review of the factors affecting its development and management. *International Endodontic Journal*, 52(11), 1586-1604. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/iej.13183>
8. Pais, E. S. (2019). The causes of subcutaneous emphysema of relevance to dental practitioners?. *Evidence-Based Dentistry*, 20(4), 111-112. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41432-019-0065-y>
9. Heyman, S. N., & Babayof, I. (1995). Emphysematous complications in dentistry, 1960-1993: an illustrative case and review of the literature. *Quintessence international (Berlin, Germany: 1985)*, 26(8), 535-543. PMID: 8602428
10. Melkote, D. R., & Rao, N. R. (2022). Subcutaneous Emphysema of Dental Origin—Two Case Reports with a Comprehensive Review of Literature from 1965 to 2020, with an Emphasis on Timely Management. *Indian Journal of Dental Sciences*, 14(3), 144-153. Retrieved from https://doi.org/10.4103/ijds.ijds_50_21
11. Spille, J., Wagner, J., Spille, D. C., Naujokat, H., Gülses, A., Wiltfang, J., & Kübel, P. (2023). Pronounced mediastinal emphysema after restorative treatment of the lower left molar—a case report and a systematic review of the literature. *Oral and maxillofacial surgery*, 27(3), 533-541. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10006-022-01088-5>
12. Mitsunaga, S., Iwai, T., Kitajima, H., Yajima, Y., Ohya, T., Hirota, M., ... & Tohnai, I. (2013). Cervicofacial subcutaneous emphysema associated with dental laser treatment. *Australian Dental Journal*, 58(4), 424-427. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/adj.12119>
13. Mitsunaga, S., Iwai, T., Aoki, N., Yamashita, Y., Omura, S., Matsui, Y., ... & Tohnai, I. (2013). Cervicofacial subcutaneous and mediastinal emphysema caused by air cooling spray of dental laser. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 115(6), e13-e16. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ooral.2011.10.037>
14. McKenzie, W. S., & Rosenberg, M. (2009). Iatrogenic subcutaneous emphysema of dental and surgical origin: a literature review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67(6), 1265-1268. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.joms.2008.12.050>
15. Mishra, L., Patnaik, S., Patro, S., Debnath, N., & Mishra, S. (2014). Iatrogenic subcutaneous emphysema of endodontic origin—case report with literature review. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 8(1), 279. Retrieved from <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/6909.3876>
16. Kaufman, E., Leviner, E., Galili, D., & Garfunkel, A. A. (1984). Subcutaneous air emphysema—a rare condition (four case reports). *Journal of oral medicine*, 39(1), 47-50. PMID: 6371199
17. Tokuda, M., Kawakami, Y., Morimoto-Yamashita, Y., & Torii, M. (2014). Subcutaneous emphysema caused by sodium hypochlorite plus RC-prep. *Open Journal of Stomatology*, 4(12), 527-532. Retrieved from <https://doi.org/10.4236/ojst.2014.412070>
18. Liatiri, S. (2012). Subcutaneous emphysema after root canal therapy. *Balkan Journal of Stomatology*, 16(1), 10-15.
19. Liebgott, B. (2023). *The Anatomical Basis of Dentistry-E-Book: The Anatomical Basis of Dentistry-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
20. Yang, S. C., Chiu, T. H., Lin, T. J., & Chan, H. M. (2006). Subcutaneous emphysema and pneumomediastinum secondary to dental extraction: a case report and literature review. *The Kaohsiung journal of medical sciences*, 22(12), 641-645. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S1607-551X\(09\)70366-3](https://doi.org/10.1016/S1607-551X(09)70366-3)
21. Goncharuk-Khomyn, M. Yu., Noienko, I. V., Fedak, V. V., Bilei, A. M., Rak, Yu. V., & Melnyk, L. V. (2023). Hipokhlornytna avariia pid chas endodontychnoho likuvannia: prychny vynyknennia, faktory ryzyku ta protokol dii [Sodium hypochlorite accident during endodontic treatment: causes, risk factors and protocol of measures]. *Innovatsii v stomatologii – Innovation in Stomatology*, 2, 36-50. Retrieved from <https://doi.org/10.35220/2523-420X/2023.2.7> [in Ukrainian].
22. Kang, Q., Huang, Z., & Qian, W. (2024). Nicolau syndrome with severe facial ischemic necrosis after endodontic treatment: a case report. *Journal of Endodontics*, 50(5), 680-686. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.02.010>
23. Al-Sheeb, F., Al Mannai, G., & Tharupeedikayil, S. (2022). Nicolau Syndrome after endodontic treatment: a case report. *Journal of endodontics*, 48(2), 269-272. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.10.006>
24. Jeong, C. H., Yoon, S., Chung, S. W., Kim, J. Y., Park, K. H., & Huh, J. K. (2018). Subcutaneous emphysema related to dental procedures. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 44(5), 212-219. Retrieved from <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2018.44.5.212>
25. Steiner, M., Grau, M. J., Wilson, D. L., & Snow, N. J. (1982). Odontogenic infection leading to cervical emphysema and fatal mediastinitis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 40(9), 600-604. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0278-2391\(82\)90293-2](https://doi.org/10.1016/0278-2391(82)90293-2)

26. An, G. K., Zats, B., & Kunin, M. (2014). Orbital, mediastinal, and cervicofacial subcutaneous emphysema after endodontic retreatment of a mandibular premolar: a case report. *Journal of endodontics*, 40(6), 880-883. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.09.042>
27. Fleischman, D., Davis, R. M., & Lee, L. B. (2014). Subcutaneous and periorbital emphysema following dental procedure. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery*, 30(2), e43-e45. Retrieved from <https://doi.org/10.1097/IOP.0b013e318295f982>
28. North, L., & Sulman, C. (2019). Subcutaneous emphysema and vocal fold paresis as a complication of a dental procedure. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 124, 76-78. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.05.033>
29. Rehman, K. U., Monaghan, A. M., & Tong, J. L. (2008). Air Penetration into the Tissues During Oral Surgery. *Anesthesia & Analgesia*, 107(3), 1085. Retrieved from <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e31818259c2>
30. Magni, G., Imperiale, C., Rosa, G., & Favaro, R. (2008). Nonfatal cerebral air embolism after dental surgery. *Anesthesia & Analgesia*, 106(1), 249-251. Retrieved from <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000289634.24785.04>
31. Hills, B. A., & Butler, B. D. (1981). A method of producing calibrated microtubules for air embolism studies. *Journal of Applied Physiology*, 51(2), 524-528. Retrieved from <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.2.524>
32. Rickles, N. H., & Joshi, B. A. (1963). Death from air embolism during root canal therapy. *The Journal of the American Dental Association*, 67(3), 397-404. Retrieved from <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1963.0291>
33. Bradford, C. E., Eleazer, P. D., Downs, K. E., & Scheetz, J. P. (2002). Apical pressures developed by needles for canal irrigation. *Journal of endodontics*, 28(4), 333-335. Retrieved from <https://doi.org/10.1097/00004770-200204000-00019>
34. Chien, P. H. (2019). Iatrogenic subcutaneous facial emphysema secondary to a class V dental restoration: a case report. *Australian Dental Journal*, 64(1), 43-46. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/adj.12657>
35. Eleazer, P. D., & Eleazer, K. R. (1998). Air pressures developed beyond the apex from drying root canals with pressurized air. *Journal of endodontics*, 24(12), 833-836. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(98\)80013-7](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(98)80013-7)
36. Fukuda, H., Fukushima, K., Takahashi, Y., Hayakawa, A., Tokue, H., Obana, Y., ... & Sano, R. (2025). Unexpected death from air embolism during routine dental Procedure: A case report. *Legal Medicine*, 102674. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2025.102674>
37. Davies, J., & Campbell, L. A. (1990). Fatal air embolism during dental implant surgery: a report of three cases. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie*, 37(1), 112-121. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF03007491>
38. Parekh, A., McCormick, J., Hussain-Amin, A., Barnosky, B., & Edwards, M. (2022). A Case of Cardiac Arrest Caused by Air Embolism from Routine Root Canal Procedure. *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*, 18(1), 68. Retrieved from <https://doi.org/10.14797/mdcvj.1067>
39. Mascarenhas, R. J. (2019). Management of subcutaneous facial emphysema secondary to a class V dental restoration. *Clinical Case Reports*, 7(5), 1025. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/ccr3.2141>