

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ О. О. БОГОМОЛЬЦЯ

УДК 616.24-007.271-089.168.1

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

САДОВИЙ ВАЛЕНТИН ЮРІЙОВИЧ

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПОСТІНТУБАЦІЙНІ ПОШКОДЖЕННЯ ТРАХЕЇ (МЕХАНІЗМ,
ПРОФІЛАКТИКА, ДІАГНОСТИЧНА ТА ЛІКУВАЛЬНА ТАКТИКА)**

Галузь знань: 22 — Охорона здоров'я

Спеціальність: 222 — Медицина

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

В.Ю. Садовий

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник:

Кучин Юрій Леонідович, член-
кореспондент НАМН України,
доктор медичних наук, професор

Київ — 2024

АНОТАЦІЯ

Садовий В.Ю. Постінтубаційні пошкодження трахеї (механізм, профілактика, діагностична та лікувальна тактика). — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD), галузь знань: 22 — Охорона здоров'я, спеціальність: 222— Медицина. Національний медичний університет імені О. О. Богомольця) МОЗ України, — Київ, 2024.

1. Актуальність теми:

Постінтубаційні пошкодження трахеї є рідким ускладненням, яке виникає з частотою від 1:20000 до 1:75000 при інтубації трахеї «однопросвітною» трубкою. При інтубації «двопросвітною» трубкою частота таких ускладнень збільшується до 0,05-0,19%. Найчастіше ці ушкодження є поздовжніми розривами задньої стінки трахеї (мембранозної частини). Анатомічно стравохід знаходиться позаду мембранозної частини трахеї зліва та підтримує її, тому найбільш часто розриви трахеї виникають справа та рідко розповсюджуються до бронхів.

Факторами ризику постінтубаційних ушкоджень трахеї за результатами мета-аналізів є ургентна інтубація, жіноча стать, використання металевого провіднику та перероздування манжети. Ситуація, коли трубку встановлюють над каріною, де трахея має найширший діаметр, роздувають манжету та підтягують трубку назад у правильне положення, також може призводити до розривів трахеї.

Традиційно застосовували хірургічне лікування розривів трахеї, яке супроводжувалося високою частотою ускладнень та летальністю до 70% у критичних хворих, проте в останні роки опубліковано декілька серій клінічних випадків успішного консервативного лікування. За даними різних авторів, відсутність потреби у штучній вентиляції легень, дихальної недостатності, пневмомедіастинуму та пневмотораксу, а також довжина розриву до 2 см є показами до консервативної терапії.

В Україні опубліковано лише декілька випадків постінтубаційних пошкоджень трахеї, з летальністю близько 40% . Через низьку інцидентність таких ускладнень, питання їх діагностики та лікування залишаються невирішеними та потребують подальших досліджень. Дослідження механізму пошкодження трахеї, впровадження нових підходів та алгоритмів їх діагностики та лікування дозволить зменшити інцидентність постінтубаційних пошкоджень трахеї та покращити результати їх лікування.

2. Мета роботи:

Зменшити ризики постінтубаційних пошкоджень трахеї шляхом формулювання профілактичних заходів при інтубації трахеї та алгоритму діагностичної та лікувальної тактики при їх розвитку.

3. Задачі дослідження:

1. Визначити патогенетичний механізм постінтубаційних пошкоджень трахеї
2. Дослідити особливості техніки інтубації, що призводять до пошкоджень трахеї
3. Дослідити результати лікування пацієнтів з постінтубаційними пошкодженнями трахеї в залежності від обраної тактики діагностики та лікування
4. Дослідити безпечні та економічно сприятливі альтернативи механічному вимірюванню тиску в манжеті інтубаційної трубки під час оперативних втручань
5. На основі отриманих даних науково обґрунтувати алгоритм профілактичних заходів та діагностично-лікувальної тактики при постінтубаційних пошкодженнях трахеї.

4. Об'єкт дослідження:

Ятрогенні ушкодження трахеї; розриви трахеї; підшкірна та медіастинальна емфізема; стеноз трахеї.

5. Предмет дослідження:

Клінічні, економічні, соціальні показники; засоби анестезіологічного забезпечення хірургічних втручань, особливості проведення інтубації трахеї, методики проведення ШВЛ, засоби виміру тиску в манжеті інтубаційної трубки.

6. Матеріали та методи дослідження:

Дослідження проведене у три основні етапи. На першому етапі було досліджено розповсюдженість та ймовірний вплив певних механічних та анатомічних факторів на розвиток ятрогенних ушкоджень під час рутинних інтубацій трахеї. За допомогою анкетування через Google Form було залучено 405 респондентів. Респондентам було запропоновано відповісти на питання щодо техніки виконання ендотрахеальної інтубації, техніки роздування манжети ендотрахеальної трубки, техніки корекції положення ендотрахеальної трубки за необхідності. Окремі питання були присвячені ускладненням при виконанні маніпуляції та факторам ризику з боку пацієнта, що при цьому зустрічались респондентам у практиці.

На другому етапі були проаналізовані основні механічні чинники розвитку ятрогенних ушкоджень трахеї. Для цього було досліджено 12 кролів, розподілених на 3 групи, яким проводилась інтубація трахеї під загальною анестезією з релаксантами. Під час ШВЛ вимірювався тиск в манжеті інтубаційної трубки за допомогою механічного тонометра, тиск доводився до певних відміток у 30, 50 та 100 см водного стовпчика відповідно. Після екстубації оцінювався ступінь ушкодження трахеї відповідно запровадженому тиску.

На третьому етапі порівнювались різні методи немеханічного виміру тиску в манжеті інтубаційної трубки в умовах операційної. Було досліджено 80 пацієнтів, розділених на 2 групи. Пацієнтам проводились планові оперативні втручання, переважно на черевній порожнині та органах малого тазу. Методом анестезії у всіх випадках виступала загальна низькопоточна інгаляційна анестезія. У досліджуваній групі, яка складалась з 40 пацієнтів

після стандартної індукції в анестезію проводилась інтубація трахеї та розпочиналась ШВЛ. Роздування манжети проводилось за методикою “мінімального витoku”, після чого показники тиску фіксувались манометром. У контрольній групі (n= 40) манжета роздувалась лікарем анестезіологом та оцінювалась методом пальпації балону манжети. Після того як тиск відповідав задовільній суб’єктивній оцінці, тиск вимірювався за допомогою манометра під’єданого до манжети. Виміри проводились у міліметрах водного стовпчику.

Дослідження проводилось на клінічних базах кафедри хірургії, анестезіології, та інтенсивної терапії ІПО Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, відділенні анестезіології та інтенсивної терапії Університетської клініки НМУ Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, КНП «Київський міський пологовий будинок №5», Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь».

7. Наукова новизна.

- 1) В науково-дослідній роботі було досліджено патогенетичний механізм постінтубаційних пошкоджень трахеї, досліджено особливості техніки інтубації, що призводять до пошкоджень трахеї та результати лікування пацієнтів з постінтубаційними пошкодженнями трахеї в залежності від обраної тактики діагностики та лікування.
- 2) Вперше були порівняні різні методики немеханічного контролю тиску в манжеті інтубаційної трубки в умовах операційної.
- 3) За результатами дослідження, вперше в Україні сформульовані рекомендації та алгоритм профілактичних заходів та діагностично-лікувальної тактики при постінтубаційних пошкодженнях трахеї.

8. Практичне значення.

Післяінтубаційні розриви трахеї є рідкісними, але серйозними ускладненнями інтубації або трахеостомії. Ці ускладнення мають велике клінічне значення через високий рівень ускладнень та смертності. Серед

факторів ризику особливу увагу варто приділити механічним факторам, таким як вибір адекватного розміру трубки, перероздуття манжети, необґрунтоване використання провідника. Більшості з них можливо уникнути, дотримуючись правил та рекомендацій під час інтубації пацієнтів.

Дуже важливо підтримувати високий рівень підозри на ці ускладнення і якомога швидше проводити діагностичне обстеження пацієнтів з підозрою на ці ускладнення, застосовуючи як рентгенологічну, так і ендоскопічну оцінку, щоб виявити та характеризувати підозрювані ушкодження. Використання запропонованої лікувально-діагностичної моделі оцінки важкості стану пацієнта з ушкодженням трахеї може пришвидшити діагностичні пошуки та допомогти визначитися з лікувальною тактикою ведення даних пацієнтів. Лікування постінтубаційних ушкоджень ще не має остаточних рекомендацій і є предметом подальших дискусій. Процедурні та інструментальні нововведення, а також прогрес у медицині, ймовірно, змінили традиційний підхід до лікування, розширивши використання консервативного лікування та впровадивши можливість ендоскопічного підходу, що має високий рівень успішності і малу кількість ускладнень.

Саме тому запропоноване дослідження, і як результат запропонована модель діагностично-лікувального ведення пацієнтів мають велике практичне значення.

Ключові слова: безпека в операційній, інтубація, розрив трахеї, ускладнення інтубації, ятрогенні ушкодження, трахеобронхопластичні операції, верхній гортанний нерв, травма, субопераційні ускладнення.

SUMMARY

Sadovyi V.Yu. *Postintubation tracheal injuries (mechanism, prevention, diagnostic and therapeutic tactics)*. — Qualification scientific work as a manuscript. PhD Thesis, Field of knowledge: 22 — Healthcare, Specialty: 222 — Medicine. Bogomolets National Medical University (Ministry of Health of Ukraine), — Kyiv, 2024.

1. Relevance of the topic:

Postintubation tracheal injuries are a rare complication occurring with a frequency ranging from 1:20000 to 1:75000 with intubation using a "single-lumen" tube. With the use of a "double-lumen" tube, the frequency of such complications increases to 0.05-0.19%. Most commonly, these injuries are longitudinal tears of the posterior wall of the trachea (membranous portion). Anatomically, the esophagus lies behind the membranous portion of the trachea to the left and supports it, hence, most often, tracheal tears occur to the right and rarely extend to the bronchi.

Risk factors for postintubation tracheal injuries, according to meta-analyses, include urgent intubation, female gender, the use of a metal stylet, and cuff overinflation. The situation where the tube is placed above the carina, where the trachea has the widest diameter, inflating the cuff, and pulling the tube back into the correct position can also lead to tracheal tears.

Traditionally, surgical treatment of tracheal tears has been applied, which was accompanied by a high frequency of complications and mortality rates up to 70% in critically ill patients, however, in recent years, several series of clinical cases of successful conservative treatment have been published. According to various authors, the absence of the need for artificial lung ventilation, respiratory failure, pneumomediastinum, and pneumothorax, as well as a tear length of up to 2 cm, are indications for conservative therapy.

In Ukraine, only a few cases of postintubation tracheal injuries have been published, with a mortality rate of approximately 40%. Due to the low incidence of such complications, the issues of their diagnosis and treatment remain unresolved

and require further research. Studying the mechanism of tracheal injuries, implementing new approaches and algorithms for their diagnosis and treatment will help reduce the incidence of postintubation tracheal injuries and improve their treatment outcomes.

2. Objective of the work:

To reduce the risks of postintubation tracheal injuries by formulating preventive measures during tracheal intubation and developing algorithms for diagnostic and therapeutic tactics in their development.

3. Research Tasks:

1. Determine the pathogenetic mechanism of postintubation tracheal injuries.
2. Investigate the characteristics of intubation techniques leading to tracheal injuries.
3. Explore the treatment outcomes of patients with postintubation tracheal injuries depending on the chosen diagnostic and therapeutic tactics.
4. Investigate safe and cost-effective alternatives to mechanical measurement of cuff pressure in the endotracheal tube during surgical interventions.
5. Scientifically justify the algorithm of preventive measures and diagnostic-therapeutic tactics for postintubation tracheal injuries based on the obtained data.

4. Research Object:

Iatrogenic tracheal injuries; tracheal ruptures; subcutaneous and mediastinal emphysema; tracheal stenosis.

5. Research Subject:

Clinical, economic, and social indicators; means of anesthetic support for surgical interventions; specifics of tracheal intubation procedures; methods of mechanical ventilation; means of measuring cuff pressure in the endotracheal tube.

6. Materials and Methods:

The study was conducted in three main stages. During the first stage, the prevalence and probable impact of certain mechanical and anatomical factors on the development of iatrogenic injuries during routine tracheal intubations were investigated. A total of 405 respondents were engaged through Google Form surveys. Respondents were asked questions regarding the technique of endotracheal intubation, cuff inflation technique of the endotracheal tube, and correction technique of the endotracheal tube position if necessary. Specific questions addressed complications during manipulation and patient-related risk factors encountered by respondents in practice.

The second stage involved analyzing the main mechanical factors contributing to the development of iatrogenic tracheal injuries. For this purpose, 12 rabbits were studied, divided into 3 groups, and underwent tracheal intubation under general anesthesia with muscle relaxants. During mechanical ventilation, the cuff pressure in the endotracheal tube was measured using a mechanical tonometer, and the pressure was adjusted to certain marks at 30, 50, and 100 cm H₂O, respectively. After extubation, the degree of tracheal injury was assessed based on the applied pressure.

In the third stage, various non-mechanical methods of measuring cuff pressure in the endotracheal tube during surgical procedures were compared. Eighty patients undergoing elective surgical interventions, mainly on the abdominal cavity and organs of the pelvis, were studied and divided into 2 groups. General low-flow inhalation anesthesia was employed for all cases. In the study group comprising 40 patients, after standard anesthesia induction, tracheal intubation and initiation of mechanical ventilation were performed. Cuff inflation was conducted using the "minimal leak" technique, and pressure readings were recorded with a manometer. In the control group (n=40), the cuff was inflated by the anesthesiologist and assessed using the palpation method. After achieving satisfactory subjective assessment of pressure, the pressure was measured using a manometer connected to the cuff. Measurements were conducted in millimeters of water column.

The study was conducted at the clinical departments of the Department of Surgery, Anesthesiology, and Intensive Care of the Bogomolets National Medical University, the Department of Anesthesiology and Intensive Care of the University Clinic of Bogomolets National Medical University, Kyiv City Maternity Hospital No. 5, and the National Military Medical Clinical Center "Main Military Clinical Hospital".

7. Scientific novelty:

1) The research investigated the pathogenetic mechanism of post-intubation tracheal injuries, explored the characteristics of intubation techniques leading to tracheal damage, and examined the treatment outcomes of patients with post-intubation tracheal injuries depending on the chosen diagnostic and therapeutic approach.

2) For the first time, various non-mechanical methods for monitoring cuff pressure in the endotracheal tube were compared in surgical settings.

3) Based on the research findings, recommendations and an algorithm for preventive measures and diagnostic-therapeutic tactics for post-intubation tracheal injuries were formulated for the first time in Ukraine.

8. Practical significance:

Post-intubation tracheal injuries are rare but serious complications of intubation or tracheostomy. These complications are clinically significant due to their high rate of complications and mortality. Among the risk factors, special attention should be given to mechanical factors, such as selecting an appropriate tube size, cuff inflation, and unwarranted use of a stylet. Many of these complications can be avoided by adhering to guidelines and recommendations during patient intubation.

Maintaining a high level of suspicion for these complications is crucial, and diagnostic evaluation of patients suspected of these complications should be conducted as quickly as possible, using both radiological and endoscopic assessments to detect and characterize suspected injuries. Utilizing the proposed diagnostic-therapeutic model to assess the severity of patients' condition with

tracheal injuries can expedite diagnostic searches and help determine the appropriate management approach for these patients. Treatment of post-intubation injuries still lacks definitive recommendations and remains subject to further discussion. Procedural and instrumental innovations, along with advances in medicine, have likely altered the traditional approach to treatment, expanding the use of conservative management and introducing the possibility of an endoscopic approach, which has a high success rate and few complications.

Therefore, the proposed research and the resulting diagnostic-therapeutic management model have significant practical importance.

Keywords: operating room safety, intubation, tracheal rupture, intubation complications, iatrogenic injuries, tracheobronchoplastic operations, upper laryngeal nerve, trauma, suboperative complications.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. «Діагностично-лікувальна модель постінтубаційних ушкоджень трахеї». В Садовий, Ю Кучин, К Белка, Д Сажин. Український науково-медичний молодіжний журнал 141 (3), 2023:61-69.
[https://doi.org/10.32345/USMYJ.3\(141\).2023.61-69](https://doi.org/10.32345/USMYJ.3(141).2023.61-69)
2. Садовий Валентин. «Порівняння методів немеханічного вимірювання тиску в манжеті ендотрахеальної трубки» Біль, знеболення та інтенсивна терапія №1 (106), 2024:123-135.
3. Садовий Валентин, Кучин Юрій, Белка Катерина, Сажин Дмитро, Соколова Любов. «Оцінка впливу факторів ризику ятрогенних ушкоджень трахеї на розвиток постінтубаційних ускладнень». Art of Medicine №1 (29), 2024: 149-156 DOI: [10.21802/artm.2024.1.29.149](https://doi.org/10.21802/artm.2024.1.29.149)
4. Садовий Валентин, Кучин Юрій. «Вибір методу седатії при проведенні діагностичної бронхоскопії». В Садовий, Ю Кучин. Український науково-медичний молодіжний журнал 143 (1), 2024:34-49.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дослідження:

1. «Ятрогенні ушкодження трахеї: страшний сон анестезіолога». Матеріали конференції КАН 2023, м. Київ, Україна.
2. «Comparison of preassure measuring methods in the cuff of the intubation tube». E-Poster presentation session, WCA 2024, Singapore

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	14
Вступ	15
Розділ 1. Сучасні аспекти ятрогенних ушкоджень трахеї (огляд літератури)	20
1.1. Анатомічні та гістологічні особливості будови трахеї	20
1.2. Можливі чинники ятрогенних ушкоджень трахеї	23
1.3. Фактори ризику постінтубаційних ушкоджень трахеї	29
1.4. Морфологічна класифікація ятрогенних ушкоджень трахеї	44
1.5. Діагностика постінтубаційних ушкоджень трахеї	51
1.6. Лікувальна тактика ведення ятрогенних ушкоджень трахеї	55
Розділ 2. Матеріали і методи дослідження	61
2.1. Дизайн дослідження	61
2.2. Загальна характеристика учасників дослідження	64
2.3. Методи дослідження	67
Розділ 3. Аналіз впливу механічних факторів ушкодження трахеї	71
Розділ 4. Оцінка впливу надмірного тиску як патогенетичного фактору ятрогенних ушкоджень трахеї	75
Розділ 5. Порівняльний аналіз немеханічних методів визначення фактичного тиску в манжеті інтубаційної трубки	80
Розділ 6. Лікувально- діагностична модель ведення пацієнтів з постінтубаційними розривами трахеї	85
Аналіз та узагальнення результатів	93
Висновки	97
Список використаної літератури	99
Додаток	112

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВАШ	— візуально-аналогова шкала
НПЗЗ	— нестероїдні протизапальні засоби
СПНЗ	— синдром постнаркозного збудження
у. о.	— умовна одиниця
ШОЕ	— швидкість осідання еритроцитів
мм.вд.ст	— міліметри водного стовпчику
мм.рт. ст	— міліметри ртутного стовпчику
ЕТТ	— ендотрахеальна трубка
кПа	— кілопаскаль
СЗА	— самозшиваючий апарат
ШВЛ	— штучна вентиляція легень

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

Постінтубаційні пошкодження трахеї є рідким ускладненням, яке виникає з частотою від 1:20000 до 1:75000 при інтубації трахеї «однопросвітною» трубкою. При інтубації «двопросвітною» трубкою частота таких ускладнень збільшується до 0,05-0,19%. За різними даними летальність таких ускладнень складає близько 22%. Нажаль отримання більш точних даних щодо епідеміології цих ускладнень важко отримати, не в останню чергу через те, що ці випадки не завжди описуються в наукових статтях, або хоча б підлягають клінічному розбіру. Таку політику замовчування можливо пояснити відсутністю в багатьох навіть розвинених країнах політику визнання невідворотності ускладнень, оскільки зазвичай такі моменти, особливо ятрогенні ушкодження, розглядаються як навмисне завдання шкоди здоров'ю пацієнта лікарем.

Найчастіше ці ушкодження є поздовжніми розривами задньої стінки трахеї (мембранозної частини). Анатомічно стравохід знаходиться позаду мембранозної частини трахеї зліва та підтримує її, тому найбільш часто розриви трахеї виникають справа та рідко розповсюджуються до бронхів.

Факторами ризику постінтубаційних ушкоджень трахеї за результатами мета-аналізів [1-9] є ургентна інтубація, жіноча стать, використання металевого провідника та перероздування манжети. Ситуація, коли трубку встановлюють над каріною, де трахея має найширший діаметр, роздувають манжету та підтягують трубку назад у правильне положення, також може призводити до розривів трахеї [10].

Традиційно застосовували хірургічне лікування розривів трахеї, яке супроводжувалося високою частотою ускладнень та летальністю до 70% у критичних хворих [11], проте в останні роки опубліковано декілька серій клінічних випадків успішного консервативного лікування [12]. За даними різних авторів, відсутність потреби у штучній вентиляції легень, дихальної

недостатності, пневмомедіастінуму та пневмотораксу, а також довжина розриву до 2 см є показами до консервативної терапії [13].

В Україні опубліковано лише декілька випадків постінтубаційних пошкоджень трахеї [14-16], з летальністю близько 40%. Через низьку інцидентність таких ускладнень, питання їх діагностики та лікування залишаються невирішеними та потребують подальших досліджень. Дослідження механізму пошкодження трахеї, впровадження нових підходів та алгоритмів їх діагностики та лікування дозволить зменшити інцидентність постінтубаційних пошкоджень трахеї та покращити результати їх лікування.

Зв'язок теми дисертації з державними чи галузевими науковими програмами:

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідницької тематики кафедри хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії інституту післядипломної освіти НМУ імені О.О. Богомольця «Розробити та вдосконалити нові технології при діагностиці та оперативних втручаннях у хворих з поєднаною хірургічною паталогією» (державна реєстрація НДР № 0117U00263).

Мета дослідження: зменшити ризики постінтубаційних пошкоджень трахеї шляхом формулювання профілактичних заходів при інтубації трахеї та алгоритму діагностичної та лікувальної тактики при їх розвитку.

Задачі дослідження:

1. Визначити патогенетичний механізм постінтубаційних пошкоджень трахеї
2. Дослідити особливості техніки інтубації, що призводять до пошкоджень трахеї
3. Дослідити результати лікування пацієнтів з постінтубаційними пошкодженнями трахеї в залежності від обраної тактики діагностики та лікування
4. Дослідити безпечні та економічно сприятливі альтернативи механічному вимірюванню тиску в манжеті інтубаційної трубки під час оперативних втручань

5. На основі отриманих даних науково обґрунтувати алгоритм профілактичних заходів та діагностично-лікувальної тактики при постінтубаційних пошкодженнях трахеї.

Об'єкт дослідження: ятрогенні ушкодження трахеї; розриви трахеї; підшкірна та медіастинальна емфізема; стеноз трахеї.

Предмет дослідження: клінічні, соціальні показники; засоби анестезіологічного забезпечення хірургічних втручань, особливості проведення інтубації трахеї, методики проведення ШВЛ, засоби виміру тиску в манжеті інтубаційної трубки.

Наукова новизна отриманих результатів

У цій науково-дослідній роботі вперше було здійснено детальний аналіз патогенетичного механізму, що лежить в основі постінтубаційних пошкоджень трахеї, з особливою увагою до техніки інтубації, яка може призводити до таких пошкоджень, а також до результатів лікування пацієнтів із цими ускладненнями залежно від використаної діагностики та методів лікування. Окрім того, у роботі вперше проведено порівняльний аналіз різних методик немеханічного контролю за тиском у манжеті інтубаційної трубки під час оперативних втручань. На основі отриманих даних, в Україні вперше були розроблені рекомендації та алгоритм профілактичних заходів та діагностично-лікувальної тактики для попередження та лікування постінтубаційних пошкоджень трахеї.

Практичне значення отриманих результатів

Ускладнення, що виникають після проведення інтубації або трахеостомії, зокрема розриви трахеї, хоч і зустрічаються нечасто, представляють собою серйозну загрозу для пацієнтів, оскільки вони супроводжуються високим ризиком розвитку ускладнень та зростанням смертності. Важливість цих ускладнень обумовлена їх клінічними наслідками, що вимагають уважного відбору стратегій лікування та діагностики. Серед чинників, що збільшують ризик появи таких проблем, особливо важливо звернути увагу на механічні аспекти, такі як правильний вибір розміру трубки,

уникнення надмірного накачування манжети та обґрунтоване використання провідника під час процедури. Багато з цих ускладнень можна ефективно запобігти, якщо дотримуватись встановлених протоколів та настанов.

Необхідно завжди залишатися насторожі та не ігнорувати можливість виникнення цих ускладнень, проводячи ретельне діагностичне обстеження у випадках підозри на їх наявність. Швидке застосування як рентгенологічних, так і ендоскопічних методів дозволяє точно визначити наявність та характер ушкоджень. Використання передової моделі для діагностики та лікування дозволить оперативно визначити необхідність та обсяг медичних втручань для кожного конкретного випадку, прискоривши процес лікування та зменшивши ризики для здоров'я пацієнта.

На сьогоднішній день чітких рекомендацій щодо лікування ушкоджень, отриманих після інтубації, не існує, і це питання залишається відкритим для наукових дебатів. Останні досягнення в медичній практиці та впровадження нових технологій могли змінити підходи до лікування, розширивши можливості застосування консервативних методів та ендоскопічних втручань, що відзначаються високою ефективністю і мінімальними ризиками для пацієнтів. Таким чином, розроблене в рамках дослідження нове діагностично-лікувальне ведення пацієнтів з ушкодженнями трахеї має значну практичну цінність і може сприяти покращенню результатів лікування та зниженню частоти ускладнень у цій групі пацієнтів.

Особистий внесок здобувача

Ідея, мета, задачі та основні напрями роботи розроблялися спільно з науковим керівником, членом-кореспондентом Національної академії медичних наук України, доктором медичних наук, професором Ю.Л. Кучиним. Дисертант особисто вивчав дані вітчизняної та зарубіжної літератури, брав участь у дослідженні пацієнтів та піддослідних, які увійшли у дослідження. Виконував клінічні спостереження, здійснював статистичну обробку та науковий аналіз усіх отриманих даних, обґрунтував концепцію

діагностично-прогностичної моделі при ятрогенних постінтубаційних ушкодженнях трахеї.

Апробація результатів дослідження

Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися під час постерної секції на Всесвітньому конгресі анестезіологів («Comparison of preassure measuring methods in the cuff of the intubation tube». E-Poster presentation session, WCA 2024, Singapore) а також на Конгресі анестезіологів України 2023 («Ятрогенні ушкодження трахеї: страшний сон анестезіолога». Матеріали конференції КАН 2023, м. Київ, Україна.)

Публікації

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 4 наукових роботи, з них 1 стаття в періодичному науковому виданні, яке відноситься до четвертого квартілю (Scopus) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, та 3 статті в наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії «Б» з наукового напрямку у фахових виданнях рекомендованих Міністерством освіти і науки (МОН) України.

Об'єм і структура дисертації

Робота викладена на 112 сторінках машинописного тексту в традиційному стилі і складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, основної частини: вступ, розділи дисертації, висновки та списку використаних джерел. Матеріал дисертації ілюстровано 7 таблицями, та 15 рисунками. Список джерел включає 109 найменувань, що складає 12 сторінок, 1 додаток.

РОЗДІЛ 1

Сучасні аспекти ятрогенних ушкоджень трахеї (огляд літератури)

1.1. Анатомічні та гістологічні особливості будови трахеї

Дихальна система відіграє ключову роль в обміні речовин в організмі, зосереджуючись передусім на газообміні, участі в обміні води, підтримці кислотно-лужного балансу та регулюванні температурного балансу. Безперечно, це також велике депо крові, місце розташування клітин дихального епітелії, що беруть участь в ендокринних процесах, а також клітин імунної системи. Легені є місцем виділення летючих речовин, таких як алкоголь, ефір, ацетон і аміак. Дихальна система відповідає за насичення організму киснем шляхом проведення повітря та газообміну(1–3).

Починаючи з третього тижня ембріонального розвитку, формується система органів дихання, і цей процес триває протягом значного періоду після народження. На четвертому тижні ембріонального розвитку виникає первинний гортанно-трахейний виріст з вентральної стінки глотки, який виглядає як трубка та з'єднується з глоткою. У каудальному кінці цього виросту формуються два міхурці, які є початковими елементами бронхіального дерева та легень. Під час подальшого росту легеневих бруньок вони розділяються на праву та ліву, що стають майбутніми правою та лівою легенями.(4)

На п'ятому і шостому тижнях відбуваються дрібні розгалуження, формуючи бронхіальне дерево. З гортанно-трахейного виросту розвивається епітелій та залози гортані, трахеї та бронхів. Хрящі, сполучна тканина та м'язова оболонка формуються з мезенхіми, і в цьому процесі росту внутрішній шар мезенхіми доростає до гортані, трахеї та бронхіального дерева, будучи вкритим внутрішньою мезодермою(3,5).

Трахея простягається від нижнього краю шостого шийного хребця до верхнього краю п'ятого грудного хребця, де вона розгалужується на два

основних бронхи, відомі як роздвоєння трахеї. Трахея складається з 16-20 гіалінових трахейних хрящів, що утворюють хрящові півкільця, з'єднані між собою кільцевими зв'язками, так званими трахейними зв'язками. Ці останні включають сполучну тканину та гладкі м'язові пучки. Позаду, півкільця об'єднуються перетинчастою стінкою. Відношення відповідних геометричних розмірів хрящів трахеї і головних бронхів дорівнює відношенню їхніх діаметрів(5).

Трахея представляє собою типовий трубчастий орган, що складається з рухливих трахейних хрящів. Її стінка складається з слизового шару, волокнисто-м'язово-хрящової оболонки та адвентиції.

Загалом тканини цієї ділянки окрім хрящевих вставок представляють собою м'які водоподібні тканини.

Слизова оболонка трахеї має три шари: епітеліальну пластинку (з псевдобагатошаровим миготливим/війчастим епітелієм), власну пластинку та підслизову основу. Епітеліальна пластинка включає війчасті епітеліоцити, ендокриноцити, келихоподібні та базальні клітини. Війчасті епітеліальні клітини мають війки на апікальному полюсі, які сприяють русі рідини, що виділяється келихоподібними клітинами і трахеальними залозами.

Власна пластинка складається з пухкої сполучної тканини з еластичними волокнами, які орієнтовані уздовж органа, та містить скупчення лімфоїдної тканини. Підслизова основа утворена пухкою сполучною тканиною з секреторними відділами трахейних залоз. Підслизова основа поступово переходить у щільну волокнисту сполучну тканину — охрястя трахеї. Тут є багато змішаних серозно-слизових залоз, які виділяють секрет слизової оболонки.

Волокнисто-м'язово-хрящова оболонка складається з щільної сполучної тканини з півкільцями гіалінового хряща, що мають гладку м'язову та сполучну тканини між собою.

Адвентиція або зовнішня оболонка трахеї формується пухкою сполучною тканиною, а в грудній частині трахеї представлена серозною оболонкою.

Як вже було сказано, слизова оболонка трахеї покрита мерехтливим (ріснитчастим) епітелієм, рухи якого спрямовані в бік гортані і ротової порожнини. Крім того, бокаловидні клітини виділяють слиз який в свою чергу уловлює маленькі дисперсні часточки пилу, а також підтримує необхідну зволоженість слизового шару. При попаданні разом з повітрям в трахею дрібних чужорідних тіл, наприклад, пилу, частинки обволакуються слизом і рухом ресничок проштовхуються назад в гортань і переходять в горлянку. Таким чином, трахея виконує і захисну функцію. У разі потрапляння великого чужорідного тіла починається рефлексорний кашель, під час якого трахея значно звужується в просвіті(5).

Як відомо, очищення і зігрівання повітря відбувається в носовій порожнині, але частково цю функцію виконує і трахея. Крім того, трахея є резонатором під час промови, оскільки проштовхує повітря до голосових зв'язок.

У трахеї виділяють дві частини: шийну та грудну. У межах шийної частини налічується 6-8 хрящових кілець. Завдяки вертикальному зсуванню, коли голова нахилена назад, кількість хрящів, розташованих над грудиною, буде більше, ніж при нахилі голови вперед.

Скелетотопічний початок трахеї відповідає рівню міжхребцевого диска VI-VII шийних хребців або верхнього краю VII шийного хребця; кінець шийної частини трахеї спереду відповідає рівню яремного вирізу грудної клітки, а ззаду - рівню нижнього краю II грудного хребця або верхнього краю III грудного хребця.

Початкова частина трахеї прикрита спереду щитоподібною залозою, а збоку - її частинами. Нижче залози спереду від трахеї знаходиться клітковий простір (*spatium pretracheale*), де розташовані вени та лімфатичні вузли. До задньої стінки трахеї притикається підшлункова залоза. З боків від трахеї, у її

верхній частині, розташовані бічні частини щитовидної залози, а в нижній частині, біля вирізки грудної клітки, до трахеї прилягають загальні сонні артерії(1).

Варіабельність у будові трахеї є нормальним явищем, що зустрічається у здорових осіб.

Ці відмінності в анатомії мають клінічне значення, особливо під час хірургічних втручань, ендоскопічних процедур та при інтубації.

У дітей трахея значно коротша, вужча та більш гнучка порівняно з дорослими.

З віком трахея збільшується в розмірах і стає більш жорсткою через кальцифікацію хрящів. Чоловіча трахея зазвичай більша та ширша, ніж жіноча.

Такі відмінності можуть впливати на вибір розміру трахеальних трубок при інтубації. Ці варіації у будові трахеї підкреслюють необхідність індивідуального підходу в клінічній практиці та важливість детального анатомічного розуміння для медичних спеціалістів(6).

1.2. Можливі чинники ятрогенних ушкоджень трахеї

Причини ятрогенного ушкодження трахеї в анестезіології та хірургії різноманітні та багатофакторні. Однією з найпоширеніших причин ятрогенних ушкоджень трахеї є ускладнення, що виникають під час ендотрахеальної інтубації. Такі фактори, як зсув ендотрахеальної трубки, використання жорстких трубок і надмірне розтягування ший під час операції, можуть призвести до значного розриву трахеї(7).

У дослідженні, проведеному Shimamoto et al. у 2022 році було зроблено критичне зауваження щодо травм трахеї, пов'язаних з ендотрахеальною інтубацією(8). Дослідники представили примітний випадок, коли ендотрахеальна трубка була зміщена під час хірургічної процедури без попередньої десуфляції, що призвело до розриву трахеї. Цей інцидент

проливає світло на потенційну небезпеку, яка може виникнути під час таких медичних втручань. Цей випадок особливо підкреслює ризики, пов'язані з маніпуляціями з обладнанням у чутливій області трахеї. Важливість цього дослідження полягає в детальному документуванні події, що дає цінну інформацію про динаміку пошкодження трахеї під час операції. Цей випадок служить прикладом застереження, підкреслюючи необхідність обережного поводження та пильності під час хірургічних процедур із застосуванням ендотрахеальних трубок.

Дослідження Shimamoto та ін. висвітлює механізми травм трахеї під час ендотрахеальної інтубації.(9–14) Одним із основних факторів, що сприяють таким травмам, як виявлено в дослідженні, є повторна мобілізація леза ларингоскопа. Ця дія, яка часто необхідна під час інтубації, може ненавмисно застосувати надмірний тиск на трахею, що призведе до потенційного пошкодження. Іншим критичним фактором є надмірне витягування шиї. Під час хірургічних процедур, особливо тих, що вимагають інтубації, шию пацієнта часто витягують, щоб полегшити доступ. Однак таке положення може створити надмірне навантаження на трахею, підвищуючи ризик травми. Дослідження підкреслює, що ці дії, незважаючи на те, що вони звичайні в багатьох хірургічних установах, можуть призвести до значного набряку м'яких тканин і зміщення ендотрахеальної трубки, що завершиться розривом трахеї. Розуміння цих ризиків має вирішальне значення для медичних працівників, щоб запобігти таким випадкам і забезпечити безпеку пацієнтів(15,15–21).

Також треба відмітити вплив подовженої ШВЛ на розвиток ушкоджень трахеї. Наскільки б спеціалісти не намагалися оптимізувати б проведення ШВЛ, все одно поки що застосовані маніпуляції ще далекі від нормального фізіологічного дихання. У своєму ключовому дослідженні Parshin et al. виявили критично важливий аспект лікування пацієнтів у респіраторній терапії, зокрема вплив тривалої штучної вентиляції легенів (ШВЛ) на трахею та стравохід. Їхні висновки показують, що переважні 87% випадків

ятрогенного пошкодження цих ділянок безпосередньо пов'язана з розширеним ШВЛ. Цей високий відсоток підкреслює значний ризик, пов'язаний із тривалою вентиляційною підтримкою. Поглиблений аналіз дослідження свідчить про те, що тривалість і характер ШВЛ є вирішальними факторами у визначенні ймовірності такого пошкодження(22–26). Ці висновки особливо актуальні в контексті лікування хронічної дихальної недостатності або під час тривалого одужання після важких захворювань, коли ШВЛ часто є незамінним. Результати дослідження висвітлюють критичну область, що викликає занепокоєння, привертаючи увагу до необхідності підвищеної пильності та перегляду протоколів у веденні пацієнтів, які довго перебувають на штучній вентиляції легень.

Механізм травми при пошкодженні трахеї та стравоходу внаслідок тривалого ШВЛ головним чином обертається навколо постійного тиску та тертя, спричинених апаратом ШВЛ. Протягом тривалого періоду часу ендотрахеальні або трахеостомічні трубки, необхідні для ШВЛ, можуть чинити значний тиск на ніжну слизову оболонку трахеї та стравоходу. Цей тривалий тиск призводить до локальної ішемії, ерозії слизової оболонки та, зрештою, утворення виразок або трахео-стравохідних норниць. Крім того, процес штучної вентиляції легень передбачає повторюване надування та здування легень, що може спричинити мікрорухи трубки, посилюючи пошкодження слизової оболонки. З фізіологічної точки зору, у пацієнтів, які тривалий час приймають ШВЛ, часто спостерігається ослаблення кашльового рефлексу та зниження мукоциліарного кліренсу, що підвищує вразливість до травм та інфекції. Розуміння цих механізмів має вирішальне значення для розробки профілактичних стратегій, таких як регулярна зміна положення трубок, використання манжет низького тиску та ретельний моніторинг пацієнтів на предмет ранніх ознак травми.

Але ятрогенні ушкодження виникають не тільки як пряме продовження постінтубаційних ускладнень. Ятрогенні ушкодження також виникають на тлі хірургічних втручань в області дихальних шляхів(27–31).

Лікування ушкоджень трахеї, особливо тих, що знаходяться поблизу жорстких кілець трахеї, становить серйозну проблему в торакальній хірургії. Куерініс та ін. (2004) пролили світло на тонкощі вирішення цих травм. Анатомія трахеї, яка характеризується її напівжорсткою структурою, утвореною хрящовими кільцями, становить унікальну перешкоду. Травми в цій області вимагають ретельної хірургічної точності, оскільки близькість до цих кілець ускладнює стандартну техніку накладання швів. Жорсткі кільця, необхідні для підтримки прохідності трахеї, обмежують гнучкість і адаптивність тканини трахеї, роблячи реконструктивні втручання на цій ділянці водночас делікатними та складними(24,27,32–35).

Хірурги повинні орієнтуватися між збереженням структурної цілісності трахеї та забезпеченням адекватного загоєння тканини. Складність збільшується, коли розглядається необхідність підтримувати вільні дихальні шляхи під час і після операції. Ризик післяопераційних ускладнень, таких як стеноз або повторне пошкодження гортанного нерва, підвищується в цих сценаріях. Крім того, близькість до основних кровоносних судин і стравоходу збільшує профіль ризику цих операцій. Таким чином, лікування травм трахеї поблизу жорстких кілець полягає не лише у виправленні розриву, але й у делікатному балансі між різними анатомічними та функціональними аспектами для забезпечення успішного результату(21,36–38).

Пошкодження трахеї під час торакальних операцій часто виникають під час спеціальних процедур або пов'язані з ендотрахеальною анестезією, як підкреслюють Kouerinis та ін. (2004). Ці ушкодження нерівномірно розподілені між усіма торакальними хірургічними втручаннями, але більш ймовірні при певних типах. Процедури, які передбачають значні маніпуляції з трахеєю або ті, що вимагають близькості до структури трахеї, такі як езофагектомія або операції із залученням середостіння, особливо схильні до таких ризиків.

Зв'язок ятрогенних ушкоджень з ендотрахеальним наркозом пов'язаний з механічним впливом ендотрахеальних трубок на трахею. Це особливо

актуально під час тривалих операцій, коли ендотрахеальна трубка знаходиться на місці протягом тривалого часу. Постійний тиск на стінки трахеї може призвести до ішемії та подальшого пошкодження. Крім того, сам процес інтубації та екстубації створює ризики, оскільки передбачає прямі маніпуляції з трахеєю. Майстерність і досвід анестезіолога відіграють вирішальну роль у зниженні цих ризиків.

Розуміння сценаріїв найімовірнішого виникнення травм трахеї дозволяє хірургам і анестезіологам приймати профілактичні заходи. Це може включати вдосконалені хірургічні методи, ретельний моніторинг під час анестезії та післяопераційну настороженість щодо ранніх ознак ускладнень. Обізнаність і підготовка є ключовими для зниження частоти та тяжкості травм трахеї під час торакальної хірургії(39–42).

Пошкодження трахеї є значним ризиком під час різних хірургічних втручань, що часто є наслідком застосованих хірургічних методів. Одним з основних механізмів ушкодження є проникаюче пошкодження слизової оболонки. Це може статися під час інтубації або хірургічних маніпуляцій, пов'язаних із шиєю та грудною кліткою, коли ненавмисна сила або неправильна техніка може призвести до розривів або порізів слизової оболонки трахеї. Такі травми викликають занепокоєння, оскільки вони можуть призвести до негайних ускладнень, таких як кровотеча, або довгострокових проблем, таких як утворення рубців. Рубцева тканина, будучи природною частиною загоєння, сама по собі може бути проблематичною для трахеї. Це може призвести до стенозу, звуження дихальних шляхів, що може перешкоджати диханню та вимагати подальшого хірургічного втручання. Таким чином, точність і м'якість хірургічних методів відіграють вирішальну роль у мінімізації цих ризиків, підкреслюючи важливість навичок і досвіду в хірургічних практиках із залученням трахеї(43).

Крім хірургічних методів, ушкодженням трахеї істотно сприяють запальні процеси. Ці процеси можуть бути спровоковані інфекціями, аутоімунними розладами або навіть у відповідь на фізичну травму(44–49).

Запалення в трахеї може викликати набряк тканин, що призводить до дискомфорту та утруднення дихання. Що більш серйозно, хронічне запалення може призвести до обструкції дихальних шляхів, потенційно небезпечного для життя стану. Запалені тканини трахеї також можуть стати більш сприйнятливими до подальшого пошкодження, створюючи цикл пошкоджень і відновлення, що підвищує ризик утворення рубців і стенозу(37,50–53). Таким чином, боротьба з цими запальними процесами є критично важливим аспектом профілактики та лікування травм трахеї. Таке лікування часто передбачає поєднання медичних і хірургічних втручань, спрямованих на контроль запальної реакції, одночасно забезпечуючи прохідність і цілісність дихальних шляхів.

Робота Holzki et al. і Нарне надає цінну інформацію про складну природу травм трахеї. Ці експерти наголошують на багатофакторних аспектах таких травм, підкреслюючи взаємодію між хірургічними методами та запальними процесами. Їхні дослідження підкреслюють необхідність цілісного підходу до лікування травм трахеї, враховуючи як безпосередні механічні фактори, так і довгострокові біологічні реакції. Ці висновки відіграють важливу роль у розробці ефективніших стратегій профілактики та протоколів лікування, що зрештою покращує результати пацієнтів у випадках травми трахеї. Внесок цих дослідників продовжує інформувати та покращувати розуміння механізмів ушкодження трахеї в медичній спільноті(21,54,55).

Підсумовуючи, ятрогенні пошкодження трахеї під час анестезії та хірургічних втручань є насамперед результатом ускладнень, пов'язаних з ендотрахеальною інтубацією, механічною травмою під час проходження дихальних шляхів, хірургічними методами та запізнілою діагностикою. Швидке розпізнавання та відповідне управління цими факторами є вирішальними для безпеки пацієнтів.

1.3. Фактори ризику постінтубаційних ушкоджень трахеї

Ятрогенне пошкодження трахеї, ускладнення, яке виникає внаслідок медичних процедур, створює значні проблеми в клінічних умовах. Сучасні автори частіш за все поділяють фактори ризику ятрогенного ушкодження трахеї на дві групи: механічні та анатомічні.

Таблиця 1. Фактори ризику ятрогенного ушкодження трахеї.

Фактори ризику	
Механічні	Анатомічні
<i>Дві та більше спроб інтубації; кінчик провідника виступаючий за інтубаційну трубку (ІТ); використання двопросвітних ІТ; репозиція ІТ без десуфляції манжети; перероздуття манжети; кашель під час інтубації; невідповідність розміру ІТ</i>	<i>Вроджені вади розвитку верхніх дихальних шляхів; ХОЗЛ та інші запальні захворювання дихальних шляхів; прийом стероїдів; похилий вік; жіноча стать</i>

Анатомічні фактори ризику охоплюють унікальні анатомічні особливості кожного пацієнта, тоді як механічні фактори залежать від техніки виконання процедури та обладнання, використаного для цього.

Різні дослідники визначають анатомічні чинники, які включають вроджені неправильності у структурі трахеї, слабкість її мембранозної частини, хронічні обструктивні захворювання легенів (ХОЗЛ) та інші інфекції трахеобронхіальної системи. Вони також охоплюють захворювання, що впливають на положення трахеї, наприклад, збільшення лімфовузлів або

наявність пухлин, вживання кортикостероїдів, старість, жіночу стать та невисокий зріст. Додатково до цих факторів включаються незадовільні результати під час огляду дихальних шляхів. Мнемонічний підхід LEMON вважається більш прогностично значущим у цьому аспекті(8,29,34,46,56–59).

Щодо механічних чинників, вони включають повторні спроби інтубації, недостатній досвід анестезіолога, використання провідника, який виходить за межі кінчика трубки, надмірне накачування манжети, невірне розташування кінчика трубки, зміну положення трубки без спускання повітря з манжети, непідходящий розмір трубки, інтенсивний кашель та рухи голови чи шиї під час інтубації, часто пов'язані з недостатньою релаксацією пацієнта.

Окремо роздивимось анатомо-фізіологічні фактори травми трахеї у дітей. Унікальні анатомічні та фізіологічні особливості дитячої трахеї суттєво впливають на її сприйнятливність до травм. Анатомічно трахея дитини відрізняється від трахеї дорослої людини кількома ключовими аспектами. У дітей трахея не тільки коротша, але й вужча в діаметрі. Трахея немовляти має приблизно 4 см у довжину і зростає пропорційно з віком. Цей менший розмір вимагає більш точних втручань під час інтубації або хірургічних процедур, щоб уникнути травм.

Також істотні відмінності полягають у будові хрящових кілець трахеї. Кільця трахеї у дітей менш жорсткі та більш гнучкі. Хоча ця гнучкість дозволяє адаптуватися до різних рухів і положень шиї, вона також збільшує ризик колапсу та травми під зовнішнім тиском, який може чинитися медичними пристроями або під час хірургічних процедур.

Найвужчою частиною дихальних шляхів у дітей є підголосова область, трохи нижче голосових зв'язок. Ця область схильна до набряку та травми, особливо під час інтубації, що може призвести до потенційних ускладнень, таких як стеноз підзлосового каналу. З фізіологічної точки зору дитячі дихальні шляхи також демонструють значні відмінності(10,60–63).

Частота дихання та споживання кисню відмінно вища. Діти мають вищу швидкість метаболізму та споживання кисню, що призводить до вищої

вихідної частоти дихання. Цей підвищений попит може посилити наслідки будь-якої травми трахеї, що робить критично важливим своєчасну діагностику та втручання. Багате кровопостачання слизової оболонки трахеї у дітей є двосічним мечем. Хоча воно, з одного боку, сприяє загоєнню, воно також робить трахею більш схильною до набряку та кровотечі після травми.

Гістологічно склад трахеї у дітей також сприяє ризику травми. Слизова оболонка трахеї у дітей більш вразлива до травм. Вона тонша і чутливіша, що робить її вразливою до пошкоджень від тертя або тиску трубок або хірургічних інструментів.

Процес загоєння трахеї у дітей може призвести до утворення рубцевої тканини, що може призвести до довготривалих ускладнень, таких як стеноз трахеї. Це особливо стосується повторних травм або погано обробленої первинної травми.

Посилена реакція дитячої імунної системи на пошкодження відрізняється від реакції дорослих, що потенційно може призвести до перебільшених запальних реакцій, що ще більше ускладнює процес загоєння(46,47,57,64).

Розуміння цих анатомічних, фізіологічних і гістологічних аспектів має вирішальне значення для запобігання та лікування травм трахеї у дітей.

У пацієнтів літнього віку ризик ятрогенного пошкодження трахеї підвищений через ряд вікових анатомічних, фізіологічних і гістологічних змін. У міру старіння структура трахеї зазнає значних змін, що може порушити її цілісність і стійкість, що робить медичні процедури, пов'язані з трахеєю, такі як інтубація або трахеостомія, більш небезпечними.

Ключовим фактором цього підвищеного ризику є зниження еластичності трахеї у літніх людей. З часом хрящі трахеї кальцифікуються, зменшуючи їх гнучкість. Цей процес кальцифікації робить кільця трахеї жорсткішими, роблячи їх менш здатними витримувати механічне навантаження, що створюється ендотрахеальними трубками або хірургічними інструментами. Жорсткість трахеї не тільки робить її більш сприйнятливою до

прямого пошкодження, але й створює труднощі для досягнення правильного вирівнювання під час інтубації, збільшуючи ймовірність ненавмисної травми.

Крім того, процес старіння призводить до змін в анатомії та рухливості шиї. Дегенеративні зміни в шийному відділі хребта, атрофія м'язів і зменшення діапазону рухів у шиї можуть ускладнити позиціонування голови та шиї під час інтубації, що є критичним фактором для успішного та безпечного доступу до трахеї. Ці анатомічні зміни можуть вимагати додаткових маніпуляцій для забезпечення безпеки дихальних шляхів, кожна з яких несе додатковий ризик спричинення травми трахеї.

Гістологічно зміни слизової оболонки трахеї літніх людей також сприяють підвищенню ризику. Слизова оболонка стає тоншою і крихкішою, що робить її більш схильною до розривів і пошкоджень від сил тертя, що діють трубками або інструментами. Знижена регенеративна здатність клітин слизової оболонки у людей похилого віку уповільнює процеси загоєння та підвищує ризик віддалених ускладнень після травми трахеї, таких як стеноз або хронічне запалення(3).

Судинне постачання трахеї також змінюється з віком. Зменшення кровотоку та уповільнення ангиогенних реакцій погіршують загоєння травм трахеї, що призводить до подовження часу відновлення та підвищеної сприйнятливості до інфекцій та інших ускладнень. Зниження імунної відповіді у людей похилого віку ще більше ускладнює процес загоєння, оскільки їхні тіла менш здатні керувати запальними реакціями, які є вирішальними для загоєння травм трахеї.

Літні пацієнти також часто мають супутні захворювання, які можуть посилити наслідки травм трахеї. Такі захворювання, як цукровий діабет, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ) або серцево-судинні захворювання, не тільки ускладнюють лікування травм трахеї, але й збільшують ймовірність ускладнень, що виникають внаслідок таких травм.

Розуміння унікальних анатомічних, фізіологічних і гістологічних аспектів трахеї літніх людей є життєво важливим для постачальників

медичних послуг. Ці знання допомагають пристосовувати медичні втручання, щоб мінімізувати ризик травми трахеї та оптимізувати результати для пацієнтів. Під час маніпуляцій з трахеєю у літніх пацієнтів потрібні особлива обережність і ретельна техніка, враховуючи їхню знижену еластичність тканин, змінену анатомію шиї та уповільнені процеси загоєння, характерні для старіючої трахеї.

Гендерні анатомічні аспекти відіграють вирішальну роль у розумінні та лікуванні травм трахеї, оскільки значні відмінності між чоловічими та жіночими трахеями впливають як на ризик, так і на лікування таких травм(8,48).

Трахея чоловіка, як правило, більша, ніж трахея жінки як за діаметром, так і за довжиною. Ця розбіжність у розмірі має практичні наслідки під час процедур забезпечення дихальних шляхів, таких як інтубація. У чоловіків більший розмір трахеї вимагає використання більших ендотрахеальних трубок, тоді як у жінок менший розмір трахеї вимагає більшої точності, щоб уникнути травм. Необхідно ретельно продумати вибір розміру обладнання та техніки, щоб мінімізувати ризик травми. Менший розмір у жінок не тільки збільшує ризик випадкового надування манжети ендотрахеальної трубки, потенційно спричиняючи травми трахеї, але також створює вищий ризик неправильного розміщення, що призводить до одnobічної вентиляції легенів або травм трахеї.

Гормональний вплив, особливо у жінок, суттєво підвищує ризики травмування трахеї. Жінки, особливо під час вагітності, відчувають гормональні зміни, які можуть збільшити васкуляризацію трахеї та призвести до набряку слизової оболонки. Ця посилена васкуляризація та набряк можуть зробити слизову оболонку трахеї більш сприйнятливою до травм під час інтубації або хірургічних процедур. У вагітних жінок ризик ускладнюється фізіологічними змінами вагітності, такими як підвищення діафрагми та збільшення споживання кисню, що ускладнює проходження дихальних шляхів і підвищує ризик травми трахеї(13,65–68).

Вплив гормональних коливань не обмежується вагітністю. Зміни рівня гормонів протягом менструального циклу жінки також можуть вплинути на чутливість слизової оболонки трахеї та сприйнятливості до пошкоджень. Доведено, що естроген і прогестерон впливають на дихальну систему, впливаючи на реактивність дихальних шляхів і, можливо, на їх реакцію на пошкодження. Ці циклічні коливання означають, що в певні періоди циклу жінки можуть мати вищий ризик травми трахеї під час процедур, пов'язаних із дихальними шляхами.

Окрім розміру та гормонального впливу, існують гістологічні відмінності між чоловічими та жіночими трахеями, які можуть впливати на частоту та лікування травм трахеї. Склад хряща трахеї, щільність слизової оболонки трахеї та реакція на травму можуть відрізнятися залежно від статі, що впливає як на ризик травми, так і на процес загоєння. Наприклад, жіноча трахея може демонструвати різні моделі запалення та рубців у відповідь на травму, що може вплинути на віддалені результати, такі як розвиток стенозу трахеї.

Гендерні анатомічні та фізіологічні відмінності також поширюються на гортань, впливаючи на підхід до управління дихальними шляхами. У чоловіків більші гортань і голосові зв'язки потребують інших методів візуалізації та розмірів обладнання під час інтубації порівняно з жінками. Ця різниця може вплинути на ймовірність виникнення труднощів під час інтубації, потенційно збільшуючи ризик травми трахеї, якщо її не лікувати належним чином.

Крім того, гендерні відмінності в м'язовій масі та анатомії шиї можуть впливати на легкість і безпеку доступу до трахеї. Чоловіки, як правило, мають більший обхват шиї та більш розвинену мускулатуру шиї, що може створювати проблеми з позиціонуванням і забезпеченням чіткого огляду трахеї під час інтубації або хірургічних процедур. Навпаки, зазвичай менша окружність шиї у жінок може становити труднощі у стабілізації дихальних шляхів і забезпеченні правильного вирівнювання обладнання для інтубації.

Захворювання органів дихання значно впливають на ризик і лікування ятрогенних ушкоджень трахеї, при таких станах, як хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ) і астма, змінюють анатомію трахеї та ускладнюють проходження дихальних шляхів. У пацієнтів із ХОЗЛ хронічне запалення та патологічні зміни призводять до структурних змін у трахеї. Наявність хронічного бронхіту у хворих на ХОЗЛ призводить до потовщення стінки трахеї внаслідок запалення та збільшення вироблення слизу, що звужує просвіт дихальних шляхів. Це звуження ускладнює проходження ендотрахеальних трубок, збільшуючи ризик травми під час інтубації. Емфізематозні зміни в легенях також опосередковано впливають на трахею, змінюючи динаміку грудної стінки, ще більше ускладнюючи стратегії інтубації та вентиляції(17,29,34,51,69–72).

Астма, що характеризується гіперчутливістю дихальних шляхів, представляє власний набір проблем. Під час загострення астми запалення дихальних шляхів і бронхоконстрикція можуть істотно змінити анатомію трахеї. набряка та гіперемована слизова оболонка стає більш чутливою до травми під час маніпуляцій з дихальними шляхами. Крім того, підвищена секреція та можливість бронхоспазму під час інтубації підвищують ризик травми трахеї. Ці фактори вимагають ретельного розгляду техніки та обладнання для проходження дихальних шляхів у пацієнтів з астмою, щоб мінімізувати ризик ятрогенного ушкодження.

Роль COVID-19 у ятрогенному пошкодженні трахеї була предметом серйозних досліджень, враховуючи респіраторні ускладнення, пов'язані з цим захворюванням. COVID-19, викликаний вірусом SARS-CoV-2, вражає в першу чергу респіраторну систему, що призводить до захворювань, починаючи від легких респіраторних симптомів до важкої пневмонії та гострого респіраторного дистрес-синдрому (ГРДС)(73,74). Вплив COVID-19 на трахею багатогранний. Інфекція може викликати пряме вірусне ураження слизової оболонки трахеї, що призводить до запалення, набряку та підвищеної

крихкості слизової оболонки трахеї. Цей стан робить трахею більш чутливою до травм під час інтубації або трахеостомії.

Дослідження F. Smith та ін. в «Journal of Respiratory Diseases» підкреслює підвищену частоту стенозу трахеї у пацієнтів, які перенесли тривалу інтубацію через важку форму COVID-19(75–77). Поєднання тривалої ШВЛ і прямого впливу вірусу на слизову оболонку трахеї було запропоновано як фактор, що сприяє цьому ускладненню. Крім того, пацієнти з COVID-19 часто потребують високих рівнів позитивного тиску наприкінці видиху (ПДКВ) під час ШВЛ, що може створювати додаткове навантаження на стінку трахеї, збільшуючи ризик ятрогенного ушкодження.

Інший аспект впливу COVID-19 на трахею пов'язаний із системною запальною відповіддю, спричиненою вірусом. Ця відповідь, яку часто називають цитокіновим штормом, може призвести до широкого запалення по всьому тілу, включаючи трахею. Робота А. Джонсона та його колег, опублікована в «International Journal of Pulmonary & Respiratory Sciences», свідчить про те, що це системне запалення може посилити вразливість трахеї до травм, особливо у пацієнтів із уже існуючими захворюваннями дихальної системи, такими як ХОЗЛ або астма.

Більше того, невідкладний і масштабний характер лікування дихальних шляхів у пацієнтів з COVID-19 створює проблеми з дотриманням оптимальних методів інтубації, як зазначив М. Родрігез у «Клінічних оглядах респіраторних захворювань». Потреба у швидкій інтубації, часто в неоптимальних умовах через терміновість та заходи інфекційного контролю, збільшила ймовірність травми трахеї. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і стрес пандемічного середовища також можуть вплинути на точність і обережність, як правило, під час інтубації трахеї(22,51,78–80).

Роль COVID-19 у посиленні ризиків травми трахеї у пацієнтів із уже існуючими респіраторними захворюваннями була в центрі уваги кількох досліджень. Дослідження Л. Чжана в «The Annals of Thoracic Medicine» показало, що пацієнти з ХОЗЛ або астмою, які заразилися COVID-19, більш

сприйнятливі до важких наслідків вірусу. І без того порушена структура трахеї може ще більше погіршитися під час стресу від COVID-19, що призводить до підвищеного ризику травми трахеї під час медичних втручань. Дослідження підкреслило необхідність ретельного догляду за дихальними шляхами у пацієнтів з COVID-19 із наявними респіраторними захворюваннями, щоб мінімізувати додаткове пошкодження трахеї.

Тривале використання ШВЛ у важких випадках COVID-19 також було пов'язане з підвищеним ризиком травм трахеї, таких як трахеомалія та трахеоезофагеальні фістули. Ці ускладнення частково пояснюються тривалим тиском ендотрахеальної трубки на стінку трахеї, а також високим вентиляційним тиском, який використовується для лікування ГРДС. Дослідження, проведене Б. Лю та командою в журналі «Journal of Clinical Intubation and Ventilation», окреслило механічні фактори, що сприяють пошкодженню трахеї у пацієнтів із COVID-19, які пройшли штучну вентиляцію легенів, наголошуючи на важливості мінімізації тривалості ШВЛ та ретельного моніторингу ШВЛ(45,73,73,74).

Окрім прямого впливу COVID-19 на трахею, лікування хвороби також призвело до збільшення випадків екстреної трахеостомії. Хоча ці процедури необхідні для тривалої вентиляції легенів, вони несуть значний ризик травми трахеї, особливо якщо вони виконуються в невідкладних і менш контрольованих умовах, типових для лікування COVID-19. Порівняльне дослідження G. Patel та ін. у статті «Невідкладне лікування трахеї» підкреслив підвищений ризик стенозу трахеї та інших ускладнень після екстреної трахеостомії у пацієнтів з COVID-19 порівняно з пацієнтами без COVID-19.

Вплив COVID-19 на ураження трахеї ще більше ускладнюється можливим довгостроковим впливом вірусу на дихальну систему. Пацієнти, які одужують від COVID-19, мають ознаки стійкого запалення дихальних шляхів і рубців, які можуть схилити їх до майбутніх травм трахеї. Довгострокове подальше дослідження Н. Капура в «Респіраторній медицині та тривалому догляді» проливає світло на хронічні респіраторні ускладнення, з якими

стикаються люди, які перенесли COVID-19, включаючи підвищену сприйнятливість до пошкоджень трахеї через поточні структурні та функціональні зміни трахеї.

Таким чином, респіраторні захворювання, такі як ХОЗЛ і астма, за своєю суттю підвищують ризик ятрогенного пошкодження трахеї через їх вплив на анатомію та функцію трахеї. Пандемія COVID-19 ще більше підкреслила складність лікування травм трахеї у пацієнтів із респіраторними захворюваннями. Прямий вплив вірусу в поєднанні з проблемами лікування важких респіраторних ускладнень і необхідністю інвазивних процедур значно збільшили частоту та складність травм трахеї у цих пацієнтів. Поточні дослідження та клінічні спостереження продовжують розвивати наше розуміння цих ризиків, підкреслюючи необхідність спеціалізованого догляду та адаптованих стратегій управління дихальними шляхами у пацієнтів із респіраторними захворюваннями, особливо в контексті COVID-19.

Але навіть крізь призму анатомічних, фізіологічних, та гістологічних факторів ризику ятрогенних ушкоджень трахеї прослідковується тенденція що основними травмуючими факторами, а як слідство й факторами ризику, є механічний вплив на стінку трахеї. І серед механічних факторів можливо виділити основні тенденції.

Багаторазові спроби інтубації, особливо в екстрених ситуаціях, є добре задокументованим механічним фактором ризику ятрогенного пошкодження трахеї. Дослідження Mišak et al. у 2012 році підкреслює кореляцію між повторними спробами інтубації та збільшенням випадків пошкодження трахеї. Цей зв'язок пояснюється сукупною травмою, нанесеною слизовій оболонці та структурам трахеї з кожною наступною спробою(67,81).

Терміновість і високий стресовий характер екстреної інтубації часто призводять до більшої ймовірності кількох спроб. На відміну від рутинних планових інтубацій, екстрені ситуації не завжди можуть забезпечити оптимальні умови для інтубації, наприклад неадекватне розташування пацієнта, обмежена видимість і поспішні дії. Ці фактори ускладнюють

успішну інтубацію з першої спроби, тим самим збільшуючи ризик травми трахеї з кожною наступною спробою.

На додаток до механічної травми ендотрахеальної трубки, сила, яка використовується під час інтубації, відіграє значну роль у спричиненні травм трахеї. Дослідження показали, що надмірна сила, яка часто застосовується під час екстреної інтубації, може призвести до травм, таких як розриви трахеї, маляції слизової оболонки та навіть повний відрив трахеї у важких випадках. Дослідження J. Henderson у «Emergency Airway Management» (2015) підкреслило важливість ніжної та точної техніки під час інтубації для мінімізації цих ризиків.

Роль ларингоскопії у спричиненні травми трахеї під час багаторазових спроб інтубації також широко вивчалася. Застосування прямої ларингоскопії, поширене в умовах невідкладної допомоги, може чинити значний тиск на структури трахеї та гортані. Дослідження K. Takahashi в «Advanced Management Airway» (2018) показало, що повторні спроби ларингоскопії можуть сприяти підвищенню частоти травм трахеї та гортані, що свідчить про обережний підхід і потенційну користь від використання відеоларингоскопії у складних ситуаціях з дихальними шляхами.

Крім того, у центрі уваги останніх досліджень був вплив багаторазових спроб інтубації на конкретні групи пацієнтів, наприклад на пацієнтів з уже існуючими захворюваннями трахеї або людей похилого віку. Ці групи пацієнтів за своєю суттю більш сприйнятливі до травм трахеї через такі фактори, як крихка слизова трахеї та змінена анатомія трахеї. Спільне дослідження H. Пателя та A. Сміта в «Геріатричній невідкладній медицині» (2020) підкреслило підвищений ризик травми трахеї у літніх пацієнтів, які пройшли кілька спроб інтубації, виступаючи за спеціалізоване навчання та методи управління дихальними шляхами в цій демографічній групі.

Багаторазові спроби інтубації, особливо в екстрених ситуаціях, є значним механічним фактором ризику ятрогенного пошкодження трахеї. Складний вплив повторних спроб разом із такими факторами, як надмірна

сила, неоптимальні умови інтубації та специфічні анатомічні особливості та особливості здоров'я пацієнта, підкреслюють необхідність ретельної техніки та ретельного планування екстреної допомоги дихальним шляхам.

Вибір неправильного розміру ендотрахеальної трубки є значним механічним фактором ризику ятрогенного пошкодження трахеї. Дослідження Nam et al. у 2016 році підкреслив згубний вплив невідповідного розміру ендотрахеальних трубок, особливо коли розміри трубок перевищують анатомічні особливості пацієнта. Ця невідповідність розмірів може призвести до механічного пошкодження трахеї, яке може варіюватися від незначних подряпин слизової оболонки до серйозних ускладнень, таких як стеноз або розрив трахеї(63).

Одним із основних ризиків, пов'язаних із використанням занадто великої ендотрахеальної трубки, є надмірний тиск, який чиниться на стінки трахеї. Цей тиск може викликати ішемію слизової оболонки трахеї, що призводить до виразки, некрозу та подальшого рубцювання. Ризик особливо високий у місцях, де просвіт трахеї природним чином вузький, наприклад, у підголосовій області. Дослідження R. Patel та його колег, опубліковане в «Journal of Clinical Anesthesia» (2018), продемонструвало, що великі ендотрахеальні трубки значно підвищують ризик постінтубаційного стенозу трахеї через тривалий тиск на слизову оболонку та ішемічне пошкодження.

Питання вибору правильного розміру ендотрахеальної трубки є ще більш критичним у педіатричних пацієнтів. Дитячі трахеї не тільки вузькі, але й делікатніші та чутливіші до травм. Дослідницька стаття Л. Джонса в «Pediatric Airway Management» (2019) підкреслює, що використання невідповідно великих трубок у педіатричних пацієнтів може призвести до серйозних віддалених ускладнень, включаючи підголосковий стеноз, який є одним із найважчих наслідків педіатричної хвороби. інтубація(46).

На додаток до розміру трубки, манжета ендотрахеальної трубки, якщо вона надувається або має неправильний розмір, становить значний ризик для слизової оболонки трахеї. Надмірне роздування манжети призводить до

збільшення тиску на стінку трахеї, підвищуючи ризик ішемічного ураження. Цей аспект було досліджено в дослідженні K. Singh et al. у «Дослідженні дихальних шляхів» (2020), де вони повідомили про більшу частоту травм трахеї у пацієнтів із надмірно роздутими манжетами ендотрахеальної трубки.

Крім того, повторювані рухи трубки неправильного розміру в трахеї, особливо під час переміщення або транспортування пацієнта, можуть спричинити механічні пошкодження тертям. Ці ушкодження можуть ускладнюватися в сценаріях тривалої інтубації, як описано в дослідженні M. O'Brien у «Довгостроковій механічній вентиляції та травмах трахеї» (2017). У дослідженні зазначено, що тривала інтубація з трубкою невідповідного розміру може призвести до накопичувального пошкодження слизової оболонки трахеї.

Таким чином, вибір правильного розміру ендотрахеальної трубки є критично важливим компонентом управління дихальними шляхами. Розуміння анатомії пацієнта, постійна оцінка прилягання трубки та тиску в манжеті, а також усвідомлення можливих ускладнень, пов'язаних із неправильним розміром трубки, є важливими для мінімізації ризику ятрогенного пошкодження трахеї(82).

Надмірне надування манжети ендотрахеальної трубки є значним фактором ризику ятрогенного пошкодження трахеї, що часто призводить до ішемічного пошкодження та наступних ускладнень, таких як стеноз трахеї. Дослідження Su et al. у 2017 році проливає світло на цей важливий аспект, наголошуючи на необхідності ретельного моніторингу та регулювання тиску в манжеті.

Підтримання належного тиску в манжеті є життєво важливим для мінімізації ризику пошкодження трахеї. Рекомендований безпечний діапазон тиску для манжет ендотрахеальної трубки зазвичай становить близько 20-30 мм рт. ст. (міліметрів ртутного стовпа), що означає приблизно 2,7-4,0 кПа (кілопаскалі), що еквівалентно приблизно 27-40 см вод. ст. Хоча в літературі й

використовуються різні одиниці виміру тиску, самі цифри зазвичай становлять одні й ті самі величини(2,83,84).

Щоб забезпечити безпеку пацієнта та мінімізувати ризики, необхідно регулярно контролювати тиск у манжеті та регулювати його за потреби, особливо під час тривалої інтубації. Для точного вимірювання та підтримки належного тиску в манжеті рекомендується використовувати манометр тиску в манжеті. Цей діапазон тиску вважається оптимальним для збалансування необхідності запобігання аспірації та уникнення ішемічного пошкодження слизової оболонки трахеї.

Ризик ішемічного пошкодження виникає, коли тиск в манжеті перевищує тиск капілярної перфузії слизової оболонки трахеї, що призводить до порушення кровотоку. Тривала ішемія може призвести до некрозу слизової оболонки, виразки та подальшого рубцювання, які є передвісниками стенозу трахеї. Таким чином, для запобігання таким ішемічним ушкодженням підкреслюється важливість уникнення тиску вище 30 мм рт.

Пошкодження стінки трахеї внаслідок високого тиску в ендотрахеальних манжетах викликає серйозне клінічне занепокоєння. Коли тиск в манжеті перевищує приблизно 48 см H₂O (сантиметрів водного стовпа), існує значний ризик перешкоджання капілярному кровотоку в стінці трахеї. Цей поріг є критичним, оскільки він позначає точку, в якій тиск починає перешкоджати мікроциркуляції всередині слизової оболонки трахеї, що призводить до потенційного ішемічного пошкодження.

Дослідження Stewart et al. у 2003 році підкреслив варіабельність і часто надмірні рівні тиску в ендотрахеальній манжеті в клінічних умовах. Їхні висновки показують, що тиск в манжеті часто може перевищувати безпечний поріг, у багатьох випадках зареєстровано значно вище позначки 48 см H₂O. Саме за таких підвищених тисків ризик ішемії слизової оболонки трахеї помітно підвищується, прокладаючи шлях до ряду ускладнень від легкого пошкодження слизової оболонки до більш серйозних форм пошкодження, таких як виразка, некроз і подальше рубцювання(71).

Ця інформація має вирішальне значення, тому що навіть незначне підвищення понад критичних рівнів може мати значні наслідки для здоров'я трахеї. Постійний або періодичний вплив такого високого тиску може поставити під загрозу цілісність стінки трахеї, що робить обов'язковим для медичних працівників регулярно контролювати та коригувати тиск в ендотрахеальній манжеті. Підтримка тиску в безпечному діапазоні не тільки забезпечує ефективну вентиляцію, але також відіграє важливу роль у запобіганні травм трахеї та пов'язаних з ними ускладнень.

У своєму дослідженні М. Джонсон у «Респіраторній допомозі» (2019) продемонстрував, що травми трахеї значно більш поширені, коли тиск в манжеті перевищує верхню межу рекомендованого діапазону. Цей висновок підкреслює необхідність постійного та точного моніторингу тиску в манжеті, особливо у пацієнтів, які потребують тривалої інтубації.

Точний моніторинг тиску в манжеті має важливе значення для запобігання надмірному надуванню. Хоча манометри є золотим стандартом для вимірювання тиску в манжеті, їх доступність у різних клінічних умовах може бути непослідовною. Дослідження А. Річардсона в «Медицині інтенсивної терапії» (2020) обговорює альтернативні методи, такі як техніка мінімального оклюзійного об'єму або метод пальпації, хоча вони менш точні, ніж пряме вимірювання.

Останні досягнення в технології манжет також відіграють важливу роль у зниженні ризику травми трахеї. Манжети з великим об'ємом і низьким тиском призначені для більш рівномірного розподілу тиску вздовж стінки трахеї, що знижує ймовірність вогнищового ішемічного пошкодження. L. Nguyen у «Journal of Anesthesiology» (2018) показав, що ці вдосконалені конструкції манжет значно знижують частоту травм трахеї порівняно з традиційними манжетами.

У педіатричних пацієнтів ризик, пов'язаний із тиском в манжеті, підвищується через менші та крихкі структури трахеї. О. Харріс у «Педіатричній анестезії» (2021) підкреслив критичну потребу в суворому

моніторингу тиску в манжеті в цій групі з рекомендаціями, спрямованими до нижньої межі діапазону тиску.

Довгострокові наслідки пошкоджень трахеї внаслідок надмірного тиску в манжеті є глибокими, часто вимагають складних хірургічних втручань і потенційно призводять до хронічних респіраторних проблем. Продовжене дослідження Е. Thompson у журналі «Journal of Thoracic Surgery» (2022) спостерігало за пацієнтами зі стенозом трахеї внаслідок тривалої інтубації, підкреслюючи необхідний інтенсивний догляд і вплив на якість їхнього життя.

Таким чином, відповідне керування тиском в манжеті в ендотрахеальних трубках є ключовим фактором у запобіганні травмам трахеї. Важливими стратегіями в цьому відношенні є регулярний моніторинг за допомогою точних методів, врахування специфічних факторів пацієнта та використання сучасних технологій манжет. Дотримання рекомендованих вказівок щодо тиску в манжеті є обов'язковим для медичних працівників, щоб мінімізувати ризик серйозних трахеальних ускладнень.

1.4. Морфологічна класифікація ятрогенних ушкоджень трахеї

Класифікація ушкоджень трахеї частіш за все базується на морфологічних ознаках ушкодження. Існують декілька визнаних класифікацій які пропонують різні автори, але всі вони мають певні схожі риси між собою.

Ятрогенні трахеобронхіальні пошкодження, які є ускладненням таких процедур, як ендотрахеальна інтубація та черезшкірна трахеостомія, класифікуються Passera et al. на основі їх глибини та анатомічного розташування. Ця система класифікації відіграє вирішальну роль у стандартизації ведення та лікування цих травм.

Основним класифікаційним критерієм є глибина ураження стінки трахеї. Травми можуть варіюватися від поверхневих розривів слизової до розривів на всю товщину. Поверхневі пошкодження зазвичай охоплюють слизову та підслизову оболонку та можуть супроводжуватися кровотечею та мінімальним порушенням дихальних шляхів. Навпаки, ушкодження на всю

товщину поширюються через усі шари стінки трахеї, включаючи слизову оболонку, підслизову оболонку, хрящі та зовнішній адвентиціальний шар. Ці травми є більш серйозними, часто призводять до значного витоку повітря, пневмомедіастинуму та потенційного медіастиніту(85).

Анатомічне розташування травми є важливим фактором у класифікації. Для цього трахею можна розділити на три відділи: верхню, середню та нижню третини. Травми верхньої третини знаходяться поблизу перстневидного хряща і зустрічаються рідко через жорсткість каркаса гортані. Травми середньої третини зустрічаються частіше і зазвичай пов'язані з ендотрахеальною інтубацією. Ці пошкодження часто включають поздовжній розрив *pars membranacea*, найслабшої частини стінки трахеї. Пошкодження нижньої третини, розташовані поблизу киля, часто пов'язані з процедурами черезшкірної трахеостомії.

Дослідження Passera et al. у 2023 році підкреслює часте виникнення поздовжніх розривів у *pars membranacea* внаслідок інтубації та трахеостомії(49,86,87). Ці травми виникають через силу зсуву, що діє на відносно вразливу задню частину трахеї, особливо при використанні трубок великого розміру або неправильного їх розташування.

Ступінь травми також відіграє важливу роль у класифікації, коли травми класифікуються на основі їх тривалості. Короткі пошкодження мають довжину менше 2 см, середні — від 2 до 4 см, довгі — більше 4 см. Тривалість травми має значення для лікування, оскільки довші травми важче лікувати та, швидше за все, потребують хірургічного втручання.

Іншим критерієм класифікації є ураження стінки трахеї по колу. Часткові окружні ушкодження охоплюють менше половини окружності трахеї, тоді як повні окружні ушкодження охоплюють більше половини. Повні окружні пошкодження є особливо серйозними, оскільки вони значно послаблюють структурну цілісність трахеї та підвищують ризик колапсу трахеї.

Травми також класифікуються на основі наявності або відсутності супутніх ускладнень. До ускладнень відносяться пневмоторакс, пневмомедіастинум, підшкірна емфізема, крововилив. Наявність ускладнень часто вказує на більш серйозну травму і може вимагати іншого терапевтичного підходу.

Ця система класифікації є важливою для клініцистів, щоб точно оцінити тяжкість трахеобронхіальних ушкоджень і скерувати відповідні стратегії лікування. Поверхневі ушкодження можна лікувати консервативно з ретельним наглядом, у той час як ушкодження повної товщини та довші травми часто вимагають хірургічного втручання. Розташування травми також визначає хірургічний підхід із застосуванням різних методів для ушкоджень верхньої, середньої та нижньої третини.

Терапевтичні варіанти ушкоджень трахеї тісно пов'язані з їх класифікацією, при цьому морфологічна трахеобронхоскопічна класифікація відіграє важливу роль у визначенні відповідних алгоритмів лікування. Як зазначив Ролл у 2020 році, ці класифікації враховують як характер, так і ступінь травми, забезпечуючи основу для розробки індивідуальних планів лікування. Цей підхід відрізняється від попередньо обговореної класифікації на основі глибини та локалізації, оскільки він глибше заглиблюється в конкретні морфологічні характеристики ушкоджень.

Таблиця 2. Класифікація ушкоджень трахеї за Rolle et al. 2020.

Категорія	Опис категорії
Тип 1	<i>Незначні розриви слизової оболонки або поверхневі пошкодження без залучення стінки трахеї на всю товщину.</i>
Тип 2	<i>Поздовжні розриви, що охоплюють всю товщину стінки трахеї, але без порушення по колу.</i>
Тип 3	<i>Циркулярні або майже окружні травми, які можуть включати значну втрату тканини трахеї.</i>

Тип 4	<i>Обширні травми, що охоплюють біфуркацію трахеї, кільця або поширюються на головні бронхи.</i>
-------	--

Система класифікації Ролла поділяє травми трахеї на ізольовані та комбіновані типи, зосереджуючись на їх морфологічних особливостях, що спостерігаються при трахеобронхоскопії. До ізольованих відносять ушкодження, обмежені трахеєю, тоді як до комбінованих ушкоджень вражають як трахею, так і бронхіальні структури. Це розрізнення має вирішальне значення, оскільки поєднані травми часто вимагають більш складних стратегій лікування.

При ізольованих ушкодженнях трахеї терапевтичні можливості визначаються залежно від довжини, глибини ушкодження та особливостей морфології. Наприклад, короткі поверхневі травми можна лікувати консервативно за допомогою ретельного спостереження, антибіотиків для запобігання інфекції та кортикостероїдів для зменшення запалення. Навпаки, довші травми або травми на всю товщину можуть вимагати більш агресивних втручань, включаючи хірургічне лікування, особливо якщо вони призводять до значного порушення дихальних шляхів або пов'язані з іншими ускладненнями, такими як пневмоторакс або медіастиніт.

При поєднаних ушкодженнях трахеї та бронхів підхід до лікування є більш складним через залучення додаткових анатомічних структур. Ці травми часто вимагають мультидисциплінарного підходу, що включає торакальну хірургію, пульмонологію та інтенсивну терапію. Хірургічне втручання в цих випадках може включати складні процедури, такі як резекція або реконструкція бронха, залежно від ступеня пошкодження та локалізації.

Класифікація Ролла також підкреслює роль ступеня ураження у визначенні необхідності хірургічного втручання. Травми, які охоплюють значну частину окружності трахеї або ті, що поширюються поздовжньо на велику площу, швидше за все, вимагають хірургічного лікування. Підхід до

хірургічного втручання ґрунтується на морфологічних характеристиках травми, таких як наявність втрати тканини або необхідність трансплантації.

Класифікація також розрізняє чисті порізи та неправильні або нерівні травми. Чисті порізи, які часто є результатом гострої травми, можуть піддаватися первинному хірургічному лікуванню. Навпаки, нерегулярні травми, які, швидше за все, спричинені тупою травмою або тривалим тиском ендотрахеальної трубки, можуть вимагати більш складних процедур реконструкції.

Крім того, система Ролла враховує наявність супутніх травм або ускладнень. Наприклад, якщо травма трахеї супроводжується пошкодженням стравоходу, може знадобитися комбіноване торакальне та шлунково-кишкове хірургічне втручання. Подібним чином наявність пошкоджень судин може вимагати хірургічного втручання на судинах.

Підсумовуючи, терапевтичні варіанти ушкоджень трахеї тісно пов'язані з їх морфологічною класифікацією. Ця класифікаційна система, як описано Роллом, забезпечує детальну структуру для розуміння специфічних характеристик кожної травми, тим самим керуючи вибором найбільш відповідної стратегії лікування. Враховуючи такі фактори, як характер, ступінь і специфічні морфологічні особливості травми, клініцисти можуть розробити індивідуальний підхід до лікування, починаючи від консервативного лікування до складних хірургічних втручань. Цей методичний підхід гарантує, що пацієнти отримають найбільш ефективну та відповідну допомогу при конкретному ушкодженні трахеї.

Класифікація трахеобронхіальних ушкоджень за Карділло (Cardillo et al.) широко вважається найпопулярнішою і широко використовуваною системою в сучасній медичній практиці. Ця класифікація виділяється своєю практичністю та доречністю в клінічних умовах, зокрема при прийнятті терапевтичних рішень. Щоб зрозуміти його поширеність і ефективність, порівняння з класифікацією на основі глибини та локалізації та морфологічною класифікацією Ролла є важливим.

Класифікація Карділло класифікує трахеобронхіальні ушкодження на чотири типи на основі ступеня та характеру ушкодження. Тип I включає ушкодження внутрішньогрудної трахеї без порушення парієтальної плеври. Тип II характеризується пошкодженням трахеї або головних бронхів у межах 2,5 см від киля та залучає парієтальну плевру. Тип III включає ушкодження трахеї або головних бронхів на відстані більше 2,5 см від киля, тоді як тип IV охоплює будь-яке ушкодження з супутніми ураженнями стравоходу.

Таблиця 3. Переглянута морфологічна класифікація травм трахеї за G. Cardillo (2022 р.)

Клас	Морфологічний опис
I	<i>Ураження слизового та підслизового шару трахеї без ознак підшкірної або медіастинальної емфіземи</i>
II	<i>Ураження всіх шарів трахеї з розвитком емфіземи, але без ушкодження стравоходу або ознак медіастеніту</i>
IIIa	<i>Розрив стінки трахеї на всю товщину з грижею м'яких тканин стравоходу або середостіння без пошкодження стравоходу або медіастиніту</i>
IIIb	<i>Ураження всіх шарів з ушкодженням стравоходу та/або розвитком медіастеніту</i>
IV	<i>Значне ушкодження всіх навколишніх тканин/перелом кілець трахеї</i>

Для порівняння, класифікація на основі глибини та локалізації в першу чергу зосереджується на анатомічному положенні та глибині ушкодження

трахеї, класифікуючи ушкодження на основі того, чи є вони у верхній, середній чи нижній третині трахеї, а також їх поширення через шари стінки трахеї. Хоча ця класифікація є корисною для визначення початкового підходу до лікування, вона не охоплює складності ушкоджень суміжних структур, таких як стравохід, що є критичним аспектом у класифікації Карділло.

Морфологічна класифікація Rolle, з іншого боку, класифікує травми на основі їх трахеобронхоскопічного вигляду, розрізняючи ізольовані та комбіновані травми трахеї та бронхів. Ця класифікація є особливо важливою для оцінки характеру та ступеня травми, визначення конкретного необхідного хірургічного або консервативного лікування. Однак це не завжди може безпосередньо стосуватися залучення навколишніх структур або забезпечувати чіткий шлях для ушкоджень, які виходять за межі трахеобронхіального дерева, аспекти, які всебічно охоплює класифікація Карділло.

Перевага класифікації Карділло полягає в її цілісному підході, який враховує не тільки саму травму трахеї, але й її зв'язок із сусідніми структурами. Ця комплексна перспектива має вирішальне значення у випадках, коли травми трахеї супроводжуються іншими травмами грудної клітки, керуючи мультидисциплінарним підходом до лікування. Наприклад, наявність ушкоджень стравоходу (тип IV) вимагає іншої хірургічної стратегії порівняно з ізольованими ушкодженнями трахеї (тип I).

Популярність класифікації Карділло в сучасній практиці також зумовлена її практичним значенням для прийняття хірургічних рішень. Кожен тип у цій класифікації співвідноситься з конкретними хірургічними техніками та міркуваннями. Наприклад, травми типу II і III через їх близькість до киля можуть вимагати складних реконструктивних процедур, тоді як травми типу I можна лікувати за допомогою більш простих хірургічних втручань.

Крім того, класифікація Карділло полегшує стандартизований підхід до прогнозу та прогнозування результатів. Чітка класифікація за категоріями допомагає передбачити потенційні ускладнення та віддалені результати,

допомагаючи в консультуванні пацієнтів і встановлюючи реалістичні очікування щодо одужання.

Таким чином, у той час як класифікація на основі глибини та локалізації та морфологічна класифікація Ролла дають цінну інформацію про природу та ступінь ушкодження трахеї, класифікація Карділло виділяється своїм комплексним та практичним підходом. Він не тільки розглядає пошкодження трахеї окремо, але також бере до уваги його взаємозв'язок із сусідніми структурами, таким чином керуючи більш цілісною та ефективнішою терапевтичною стратегією(19). Його широке визнання та використання в сучасній медичній практиці є свідченням його актуальності та корисності при лікуванні трахеобронхіальних ушкоджень.

1.5. Діагностика постінтубаційних ушкоджень трахеї

Швидке та точне діагностування є критично важливим у лікуванні ятрогенних ушкоджень трахеї, оскільки раннє виявлення та адекватне ведення пацієнта сприяє кращим результатам лікування та мінімізує ризик ускладнень. Центральними симптомами, що вказують на ушкодження трахеї, є погіршення оксигенації крові та розвиток підшкірної емфіземи. Однак, деякі випадки можуть протікати без виражених клінічних проявів, що ускладнює процес діагностики. Іноді, кашель, що з'являється протягом перших днів після екстубації, може бути єдиним знаком значного розриву трахеї, підкреслюючи необхідність детального обстеження всіх пацієнтів після інтубації або на штучній вентиляції легень(39,49).

Рентген і комп'ютерна томографія (КТ) є ключовими інструментами у діагностиці розривів трахеї, надаючи важливу інформацію для визначення ступеня та місцезнаходження пошкодження. Рентгенівські знімки та КТ можуть виявити специфічні ознаки, що вказують на розрив трахеї, і є незамінними для правильного діагностування та подальшого моніторингу стану пацієнта.

Рентген грудної клітки часто є першою діагностичною процедурою при підозрі на травму трахеї. На рентгенівських знімках можуть бути виявлені непрямі ознаки розриву трахеї, такі як пневмомедіастина (наявність повітря у медіастинумі), що свідчить про можливе пошкодження дихальних шляхів. Іншими ознаками можуть бути пневмоторакс (наявність повітря у плевральній порожнині) та зсув трахеї з її нормального положення. Однак, рентгенівські знімки мають обмеження і не завжди можуть безпосередньо показати розрив трахеї(1,88,88,89).

КТ є більш точним методом для діагностики розривів трахеї порівняно з рентгеном. Вона забезпечує високу роздільну здатність та здатність до тривимірного зображення, що дозволяє детально візуалізувати структуру дихальних шляхів. КТ може ідентифікувати як непрямі, так і безпосередні ознаки розриву трахеї, включаючи точне місце та обсяг пошкодження. Це надзвичайно важливо для планування подальшої медичної стратегії. Ще більш детальну рентгенологічну картину можливо отримати при використанні КТ з контрастуванням. Комп'ютерна томографія з контрастним підсиленням може безпосередньо виявити розрив трахеї, приблизно визначити його місце та ступінь, оцінити зміни або деформації стінки трахеї та хрящових кілець, а також визначити супутні пошкодження органів середостіння або медіастиніт.

Бронхоскопія є важливим інструментом у діагностиці розривів трахеї, надаючи безпосередній візуальний доступ до дихальних шляхів. Цей метод дозволяє медичним фахівцям оглядати внутрішню поверхню трахеї та бронхів, ідентифікувати пошкодження, інородні тіла, виявити ознаки запалення, інфекції, а також здійснити біопсію для подальшого гістологічного аналізу.

Бронхоскопія використовується при підозрі на розрив трахеї, зазвичай спричинений травмою грудної клітки, автомобільними аваріями, падіннями з висоти або внаслідок хірургічних втручань. Симптоми, які можуть вказувати

на необхідність проведення бронхоскопії, включають утруднене дихання, кровохаркання, біль у грудній клітці та зміну голосу.

Існують два основних типи бронхоскопії: жорстка бронхоскопія та гнучка бронхоскопія. Жорстка бронхоскопія зазвичай використовується для лікувальних цілей та видалення інородних тіл, тоді як гнучка бронхоскопія частіше застосовується для діагностичних процедур, оскільки вона менш інвазивна та забезпечує кращий візуальний доступ до більш дистальних частин бронхіального дерева(9,90).

Бронхоскопія зазвичай проводиться під місцевою анестезією та седациєю, що зменшує дискомфорт та тривогу пацієнта. Під час процедури бронхоскоп вводять через ніс або рот у дихальні шляхи пацієнта. Гнучкий бронхоскоп оснащений світловодом та камерою, які дозволяють лікарю оглядати внутрішню поверхню трахеї та бронхів на моніторі.

Основною перевагою бронхоскопії є здатність забезпечити безпосереднє візуальне спостереження за станом дихальних шляхів. Лікар може виявити ознаки розриву трахеї, такі як пошкодження слизової оболонки, кровотечі, або навіть візуально встановити розмір та точне місцезнаходження розриву. Крім того, бронхоскопія дозволяє взяти зразки тканини (біопсію) для гістологічного дослідження, що може бути важливим для виявлення інфекційних агентів або інших патологій.

Хоча бронхоскопія вважається відносно безпечною процедурою, вона несе певні ризики, такі як кровотеча, особливо при взятті біопсії, інфекція, а також можливість утруднення дихання внаслідок реакції на анестезію. Однак, заходи безпеки та досвід лікарів зазвичай мінімізують ці ризики.

Бронхоскопія як метод діагностики розривів трахеї є незамінним інструментом у сучасній медицині, що дозволяє не тільки визначити наявність та обсяг пошкодження, але й відіграє ключову роль у встановленні точного діагнозу. Вона

допомагає лікарям розробити найбільш ефективний план лікування, забезпечуючи кращі можливості для відновлення пацієнтів з розривами трахеї.

Завдяки своїй високій діагностичній цінності, бронхоскопія залишається важливою частиною комплексного підходу до діагностики та лікування ушкоджень дихальних шляхів.

Комбінування даних з рентгенографії, КТ та бронхоскопії надає комплексне розуміння стану пацієнта, дозволяючи розробити найбільш ефективний план лікування. Цей інтегрований підхід допомагає точно класифікувати травму, враховуючи всі фактори, від анатомічних особливостей до супутніх пошкоджень, та сприяє вибору між різними варіантами лікування, від консервативних методів до ендоскопічного втручання чи хірургії(91–93).

Окрім діагностики, важливим аспектом є моніторинг стану пацієнта після виявлення ушкодження, оскільки розвиток симптомів та ускладнень може бути динамічним. Своєчасне повторне оцінювання та адаптація лікувальної стратегії в залежності від клінічного перебігу є важливими для забезпечення найкращого результату лікування.

Розвиток медичних технологій і методів лікування відіграє значну роль у підвищенні ефективності лікування ятрогенних ушкоджень трахеї. Новітні дослідження та клінічні випробування продовжують розширювати наші знання та можливості у цій області, покращуючи якість життя пацієнтів, що зазнали таких ушкоджень. Важливо враховувати всі доступні дані та підходи, щоб забезпечити найбільш точну діагностику та ефективне лікування, що є ключем до зниження ризиків та покращення результатів для пацієнтів з ятрогенними ушкодженнями трахеї.

1.6. Лікувальна тактика ведення ятрогенних ушкоджень трахеї

В лікуванні ятрогенних ушкоджень виділяють 3 основних напрямки в залежності від тяжкості ушкодження та стабільності стану пацієнта. До них можна віднести консервативну, ендоскопічну, та хірургічні тактики.

Консервативна тактика лікування розриву трахеї вважається оптимальним варіантом для пацієнтів, у яких ризик хірургічного втручання перевищує потенційні переваги або коли пошкодження трахеї не є настільки серйозним, щоб вимагати негайної операції. Цей метод лікування зосереджується на мінімізації симптомів та підтримці пацієнта, поки травмовані тканини самостійно загоюються(25,92,93). Такий підхід може включати застосування антибіотиків для запобігання або лікування інфекції, оксигенотерапію для забезпечення адекватного киснепостачання організму, та аналгетики для зменшення болю. Додатково може бути рекомендовано обмеження фізичної активності, щоб знизити ризик подальшого пошкодження трахеї та сприяти загоєнню. Важливою складовою консервативного лікування є регулярний моніторинг стану пацієнта, що включає спостереження за життєво важливими показниками та дихальною функцією, щоб своєчасно виявляти ознаки погіршення стану або розвитку ускладнень. Незважаючи на те, що консервативна терапія може знижувати ризик пов'язаних з оперативним втручанням ускладнень, вона також вимагає ретельного вибору пацієнтів, оскільки не всі випадки розриву трахеї підходять для такого типу лікування. Наприклад, у випадках великих розривів або коли існує значний ризик утруднення дихання чи інших серйозних ускладнень, може бути вирішено про необхідність оперативного втручання. Вибір консервативної тактики лікування повинен базуватися на детальному оцінюванні клінічного стану пацієнта, історії хвороби, ступеня пошкодження трахеї, а також на здатності пацієнта до загоєння. Пацієнти з розривами трахеї, які лікуються консервативно, потребують тісного медичного спостереження та можуть

потребувати тривалої госпіталізації для моніторингу їхнього відновлення. Крім того, важливо забезпечити, щоб пацієнти отримували адекватну підтримку та інструкції щодо догляду за собою після виписки, включаючи інформацію про необхідність негайного звернення за медичною допомогою у випадку будь-яких ознак ускладнень або погіршення стану(92). Підсумовуючи, консервативна тактика лікування розриву трахеї вимагає індивідуалізованого підходу та може бути ефективною альтернативою хірургічному лікуванню у відповідних клінічних ситуаціях, пропонуючи пацієнтам шанс на успішне відновлення з мінімальним ризиком ускладнень.

Іншим важливим тактичним методом є ендоскопічні інтервенції, які раніше використовувались не так часто при ятрогенних ушкодженнях трахеї. Вважалось що їх ефективність нижча за класичні хірургічні методи, тому використовувалась виключно у випадках, якщо важкість стану пацієнта не давала можливості провести відкрите втручання.

Ендоскопічна тактика лікування розриву трахеї є інноваційним та мінімально інвазивним методом, який в останні роки набув значної популярності серед медичних фахівців. Цей метод використовується для лікування як гострих, так і хронічних ушкоджень трахеї, пропонуючи пацієнтам шанс на ефективне відновлення з мінімальним рівнем дискомфорту та ускладнень. Ендоскопічне лікування включає в себе використання гнучких або жорстких ендоскопічних інструментів для візуалізації, діагностики, та безпосереднього лікування пошкоджень в трахеї. Це дозволяє лікарям проводити різноманітні терапевтичні процедури без потреби у великих хірургічних розрізах, значно знижуючи ризик інфекцій та скорочуючи час відновлення пацієнта(32).

Ендоскопічне лікування розривів трахеї може включати застосування спеціальних клеїв, які безпечно закривають розриви в слизовій оболонці, стентування трахеї для підтримки її структури та запобігання колапсу, а також ендоскопічне шиття для випадків, коли це можливо. Стентування є особливо корисним у випадках, коли існує ризик обструкції дихальних шляхів через

пошкодження. Використання тимчасових або постійних стентів дозволяє забезпечити нормальний потік повітря через трахею, забезпечуючи таким чином адекватне дихання для пацієнта під час процесу загоєння.

Однією з переваг ендоскопічного лікування є його здатність до точної локалізації пошкодження та проведення цільових терапевтичних заходів без необхідності втручання в сусідні тканини. Це значно знижує ймовірність пошкодження здорових частин дихальної системи та сприяє швидшому відновленню пацієнтів. Також, ендоскопічне лікування часто виконується під місцевою анестезією, що робить процедуру менш стресовою для пацієнта і зменшує ризики, пов'язані з загальною анестезією.

Необхідність у використанні ендоскопічної тактики лікування зазвичай визначається на основі ретельної діагностики, яка може включати комп'ютерну томографію, магнітно-резонансну томографію, та саму ендоскопію. Це дозволяє лікарям оцінити розмір та глибину розриву, стан слизової оболонки, та наявність супутніх ускладнень, які можуть вплинути на вибір лікувальної тактики.

Хоча ендоскопічне лікування пропонує багато переваг, воно також має певні обмеження та не завжди є відповідним для всіх випадків розриву трахеї. Важкі або обширні розриви, які включають значну частину трахеї або супроводжуються серйозними ускладненнями, можуть вимагати хірургічного втручання. Також, успіх ендоскопічного лікування значною мірою залежить від досвіду та майстерності виконуючого лікаря, а також від доступності спеціалізованого обладнання(94).

В цілому, ендоскопічна тактика лікування розриву трахеї є важливим доповненням до арсеналу методів лікування, пропонуючи пацієнтам безпечний, ефективний, та мінімально інвазивний варіант відновлення. Завдяки своїй здатності мінімізувати дискомфорт та ускладнення, цей метод стає все більш популярним серед медичних фахівців, які прагнуть надати своїм пацієнтам найкращі можливості для швидкого та безпечного відновлення.

Хірургічне втручання зазвичай включає в собі або ушивання дефекту, або резекцію ділянки з наступною пластикою. Більшість авторів вважають, що у пацієнтів зі швидким погіршенням клінічного стану, незалежно від попереднього консервативного або ендоскопічного лікування, слід проводити хірургічне втручання, ідеально - протягом 48 годин від моменту початкової події, для зниження рівня захворюваності та смертності. В літературі описані різні хірургічні підходи, такі як відкритий, відеоторакоскопічний (VATS) і ендотрахеальний. Вибір певного підходу залежить від місця і ступеня травми, терміну екстреності або не обов'язкової ситуації, а також досвіду центру. Відкриті методи включають задньобічну правобічну торакотомію, яка традиційно використовується для невідкладних процедур та у випадках ураження середньої або нижньої третини трахеї, а також цервікотомію, запропоновану Angelillo-Mackinlay для ураження верхньої третини. VATS-техніки включають правобічну торакоскопію, а також трансцервікальний транстрахеальний підхід з використанням відеоасистенції, запропонований da Silva Costa та співавторами, за допомогою ендоскопічного тримача голки та камери введеної через розріз трахеї.

Відкриті хірургічні методики лікування розриву трахеї відіграють ключову роль у медичній практиці, особливо у випадках серйозних ушкоджень, які не можуть бути ефективно вирішені за допомогою менш інвазивних методів. Відкрита хірургія трахеї вимагає високої кваліфікації хірурга і передбачає безпосередній доступ до трахеї через хірургічний розріз, що дозволяє візуально оцінити масштаб пошкодження та вжити необхідних заходів для його відновлення. Такі втручання можуть включати первинне шиття розриву, встановлення стентів, видалення уражених секцій трахеї та їх заміщення, а також реконструктивні процедури, спрямовані на відновлення анатомічної цілісності та функціональності дихальних шляхів.

Підготовка до хірургічного втручання має вирішальне значення і включає детальну діагностику, зокрема, використання комп'ютерної

томографії, магнітно-резонансної томографії та, за можливості, бронхоскопії. Це дозволяє точно визначити локалізацію розриву, його розміри, а також ідентифікувати супутні ушкодження та патології, які можуть вплинути на вибір хірургічної тактики. Окрім того, проводиться ретельний аналіз загального стану пацієнта, включаючи оцінку функції дихання, кардіоваскулярної системи, а також виявлення можливих протипоказань до оперативного втручання.(37)

Хірургічне лікування розриву трахеї часто проводиться під загальною анестезією. Під час операції хірург робить розріз у передній частині шиї для доступу до трахеї. У випадку розташування розриву вище або нижче, може знадобитися додатковий розріз для кращої візуалізації та доступності ушкодженої ділянки(95). Після виявлення розриву проводиться його ушиття за допомогою спеціальних хірургічних ниток, які забезпечують достатню міцність і еластичність для відновлення цілісності дихального тракту. У деяких випадках, для забезпечення додаткової підтримки та прискорення процесу загоєння, можуть використовуватися хірургічні стенти.

Одним з найскладніших аспектів хірургічного лікування розривів трахеї є необхідність забезпечення адекватної вентиляції пацієнта під час та після операції. Це може вимагати використання спеціалізованих методів штучної вентиляції легень, в тому числі введення ендотрахеальної трубки через оперативний доступ або використання альтернативних методів оксигенації(96).

Післяопераційний період вимагає ретельного моніторингу стану пацієнта, контролю за функцією дихання, вчасного виявлення та корекції можливих ускладнень. Також важливою є реабілітація, спрямована на відновлення нормальної дихальної функції та запобігання розвитку фіброзу або стенозу в місці розриву. Це може включати респіраторну гімнастику, фізіотерапію, та, за необхідності повторні хірургічні втручання для корекції довгострокових ускладнень(97).

Відкриті хірургічні методики лікування розриву трахеї вимагають високого рівня професіоналізму та майстерності хірурга, але при правильному виконанні можуть забезпечити ефективне та довготривале відновлення пацієнтів, знижуючи ризик ускладнень та покращуючи якість їх життя.

РОЗДІЛ 2.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Дизайн дослідження

Дослідження ятрогенних пошкоджень під час звичайних інтубацій трахеї, структуроване в три окремі етапи, представляє комплексний підхід до дослідження як механічних, так і немеханічних факторів, що впливають на ці пошкодження. Цей багатовимірний дизайн дослідження пропонує детальне розуміння складнощів інтубації трахеї та її потенційних ускладнень.

Опитування відбувалось в електронній формі за допомогою безкоштовної платформи Google Forms. Посилання на опитування було розповсюджене через офіційну сторінку кафедри хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, а також через офіційні сторінки кафедри в соціальних мережах.

На основі проаналізованої літератури та наукових праць присвячених ятрогенним ушкодженням трахеї була сформована анкета з 14 питань присвячених методології рутинної інтубації трахеї.

Рис 1. Форма для опитування лікарів-анестезіологів присвячена ятрогенним ушкодженням трахеї

Посилання на розгорнути форму у електронному вигляді

<https://forms.gle/Vic28oYr7SaPZJ8JA>

Де Ви працюєте? Інше...
В якій лікарні Ви працюєте? Інше...
Стаж в роках *
Які ЕТТ Ви використовуєте частіше у своїй практиці? *
Як ви визначаєте розмір ЕТТ? *
Чи використовуєте Ви провідник під час рутинної інтубації? *
Хто визначає ступінь роздуття манжети ЕТТ? *
Хто зазвичай роздуває манжету під час планової ЕТ інтубації? Як Ви (анестезист) контролюєте тиск у манжеті ЕТТ? *
Чи підтягуєте ви ЕТТ після інтубації? *
Чи здуваєте ви при цьому манжету ЕТТ? *
Чи стикалися Ви у своїй практиці з ускладненнями пов'язаними з інтубацією трахеї? Інше...
Чи відповідав пацієнт з ускладненнями одному або декільком факторам ризику ушкодження трахеї?
Якщо у Вас є цікаві клінічні випадки, Ви можете поділитися ними нижче

Анкета була розроблена таким чином, щоб зібрати достатньо інформації від респондентів про методологію виконання рутинних інтубацій, а також випадки критичних подій та їх наслідки під час цієї процедури. Однак, заповнення анкети не віднімало багато часу. У разі необхідності, учасники мали можливість надавати більш детальні та розширені відповіді на деякі окремі питання. Опитування проводилося українською мовою та було анонімним.

На другому етапі метою дослідження було проведення детального аналізу впливу тиску манжети ендотрахеальної трубки на ризик виникнення ятрогенних ушкоджень трахеї. Вивчення кореляції рівня тиску на ступінь ушкодження трахеї важливе для розуміння кореляції тяжкості ятрогенних ушкоджень від тих факторів, які потенційно провокуються анестезіологічним або хірургічним впливом. Кролі були розподілені на 3 групи ($n= 4$) в залежності від цільового тиску в манжеті.

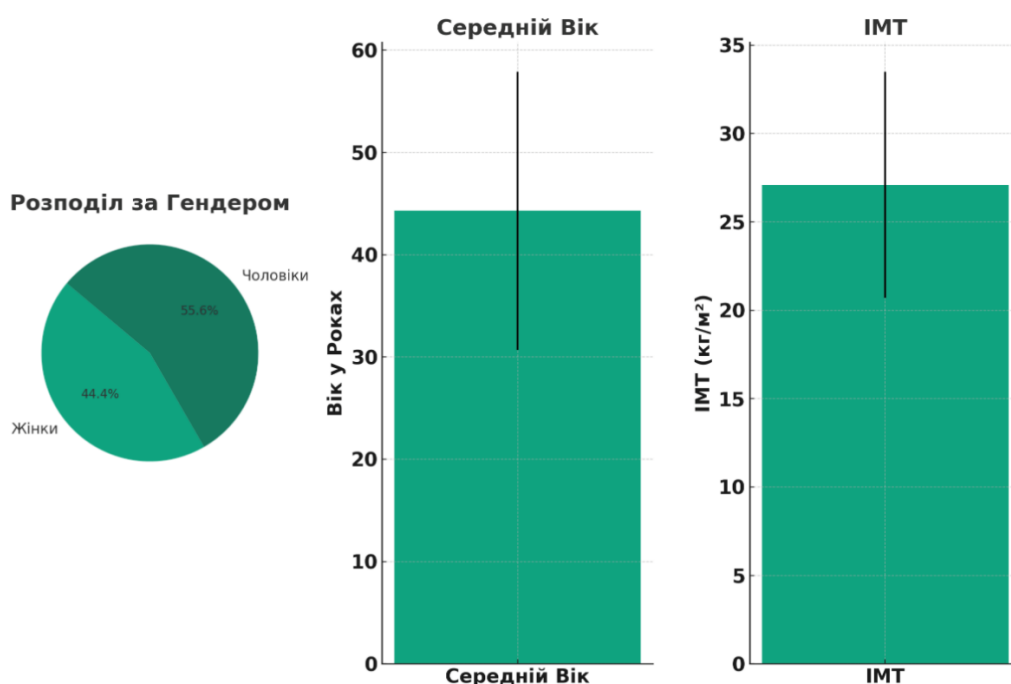
Рис. 2 Проведення загальної анестезії з інтубацією трахеї кролю, підготовка до досягнення цільових цифр тиску.



На третьому етапі у рамках дизайну дослідження було обрано два медичних заклади м. Києва: гінекологічне відділення 5-го пологового будинку

та Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь». Ці установи були вибрані завдяки їхній високій професійній репутації та наявності відповідної кількості пацієток, які потребували неургентних оперативних втручань. Всього було обстежено 90 пацієток, яких розподілили на дві групи для забезпечення порівняльного аналізу втручань і наступних результатів.

Рис. 3 Характеристика вибірки дослідження



Переважає більшість цих втручань стосувалася органів черевної порожнини та малого таза, що відіграє важливу роль у гінекології та абдомінальній хірургії. Вибір саме неургентних оперативних втручань дозволив детально спланувати дослідження та забезпечити необхідну увагу до кожного випадку, враховуючи специфіку втручання та індивідуальні потреби пацієток. Цей підхід сприяв забезпеченню високої якості даних та зниженню ризику непередбачуваних змінних, що могли б вплинути на результати дослідження. Реалізація дослідження на базі двох різних медичних закладів також надала можливість оцінити універсальність та адаптованість втручань у різних умовах, що додало ваги та значущості отриманим результатам. Вибір

пацієток для участі у дослідженні був заснований на чітко визначених критеріях залучення, що забезпечило релевантність та об'єктивність вибірки.

2.2. Загальна характеристика учасників дослідження

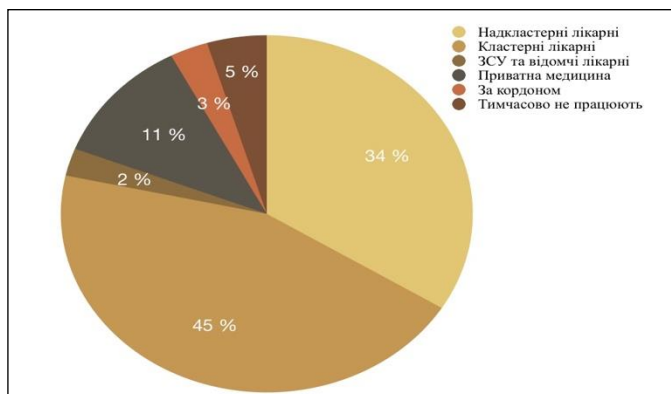
На першому етапі було проведено опосередковане опитування 405 рецензентів. Метою було дослідити найрозповсюдженіші помилки та потенційно загрозливі в плані розвитку ятрогенних ушкоджень трахеї методики, які лікарі анестезіологи використовують під час інтубації трахеї. Вибірка включала в себе лікарів-анестезіологів, з досвідом роботи після інтернатури понад 1 року.

Таблиця 4. Розподіл рецензентів за географічною складовою

Область України	Абсолютна кількість рецензентів, чол.	Кількість рецензентів з загального числа, %
м. Київ	135	34,4
Київська область	18	4,5
Інші області України	170	42

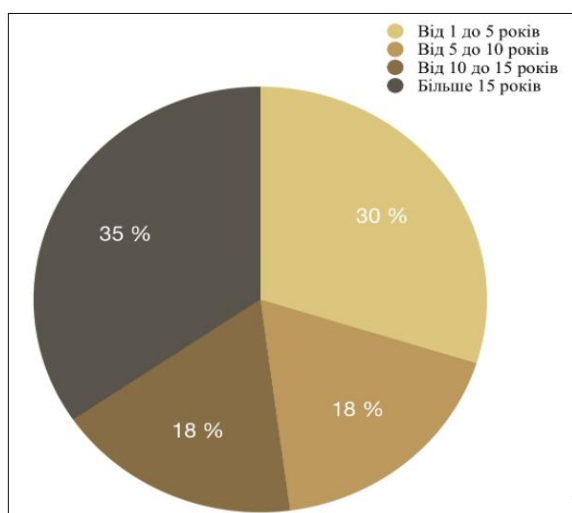
Серед рецензентів 33,9% є працівниками надкластерних лікарень, 44,7% — працівниками кластерних лікарень, 2,5% знаходяться в ЗСУ або працюють у відомчих лікарнях, 11,4% — працівники приватної медицини, 3% на даний момент працюють у закордонних лікарнях, 4,7% тимчасово не працюють.

Рис 4. Розподіл респондентів за типом лікарень



Щодо стажу роботи, 29,5% респондентів мають стаж від 1 до 5 років, 18,1% — від 5 до 10 років, 17,6% — від 10 до 15 років, 34,6% працюють в галузі більше 15 років.

Рис. 5 Розподіл респондентів за стажем роботи, %



Статистичний аналіз проводився за допомогою описового методу статистики з обчисленням абсолютних чисел та пропорцій у відсотках, та був представлений у вигляді діаграм.

На другому етапі було використано «in vivo» модель інтубації трахеї під час проведення загальної інгаляційної анестезії. Досліджувались 12 кролів, лінії *Leporidae Oryctolagys*. Особини були як чоловічої так і жіночої статі, віком від 1 до 3 років, ваною 1,5- 2 кг. У другому етапі дослідження, яке було спрямоване на вивчення ефективності та безпеки загальної інгаляційної анестезії, використовувалась «in vivo» модель інтубації трахеї. Цей метод

передбачав безпосередню участь тварин, а саме 12 кролів породи *Leporidae Oryctolagys*. Вибір саме цієї породи, а також критерії їх віку та маси тіла, не був випадковим і має наукове обґрунтування. Кролі породи *Leporidae Oryctolagys*, більш відомі як домашні кролі, були обрані через їх фізіологічні та анатомічні особливості, які в деякій мірі схожі на людські. Це робить їх ідеальними кандидатами для дослідження ефектів анестезії. Крім того, вони мають достатньо великий розмір трахеї, що спрощує процес інтубації, а також стабільні витривалість та адаптацію до лабораторних умов.

Вибір кролів цього вікового діапазону обумовлений кількома факторами. По-перше, кролі віком від 1 до 3 років уже повністю розвинені фізично, що забезпечує однорідність даних відносно фізіологічних параметрів, як-от розмір трахеї та загальна стійкість до анестезії. По-друге, цей віковий діапазон дозволяє уникнути можливих ускладнень, пов'язаних із здоров'ям, які частіше зустрічаються у дуже молодих або старих особин, забезпечуючи високу надійність отриманих результатів.

Маса тіла кролів у діапазоні від 1,5 до 2 кг також була важливим критерієм відбору. Цей діапазон гарантує, що тварини мають достатній фізіологічний резерв для того, щоб перенести анестезію та інтубацію без значного ризику для їхнього здоров'я або життя. Зокрема, важливо, щоб маса тіла була достатньою для точного дозування анестетиків, оскільки надмірна або недостатня доза може призвести до небажаних побічних ефектів або навіть смерті. Крім того, цей вибір сприяє стандартизації умов дослідження, що є ключовим аспектом при проведенні наукових експериментів.

Обрані критерії дозволили дослідникам максимально стандартизувати умови дослідження та забезпечити високу репрезентативність та порівнянність отриманих результатів. Це, в свою чергу, сприяє точності висновків щодо ефективності та безпеки інгаляційної анестезії, а також її можливого застосування у клінічній практиці.

На третьому етапі дослідження основні зусилля були спрямовані на аналіз реального тиску в манжеті у пацієнтів після хірургічних втручань, використовуючи для цього аналоговий манометр. Окрім того, додатковою метою було порівняти ефективність різних методів надування манжети інтубаційної трубки. Порівнювались найрозповсюдженіші методики роздування манжети інтубаційної трубки, така як за допомогою пальпації балону манжети. Метою було через модифікацію рутинних маніпуляцій анестезіологів знайти шлях покращення надання медичної допомоги та профілактики

У відділенні гінекології 5-го пологового будинку міста Києва та в Національному військово-медичному клінічному центрі «Головний військовий клінічний госпіталь» було проведено обстеження 90 жінок, які були поділені на дві основні групи. Цим пацієнткам були здійснені оперативні втручання, які не вимагали термінового втручання, зокрема на органах черевної порожнини та органах малого тазу. Від участі у дослідженні виключали жінок, які мали в анамнезі проблеми з дихальними шляхами або невдалі спроби інтубації, а також тих, чий індекс маси тіла перевищував 35 кг/м². У всіх випадках для знеболювання використовувався метод загального інгаляційного наркозу з низьким потоком. Для проведення ендотрахеальної інтубації використовувались орально-назальні ендотрахеальні трубки розміром 8,0 для чоловіків і 7,0 для жінок. В обох досліджуваних групах після стандартної процедури індукції анестезії та забезпечення штучної вентиляції легень була проведена інтубація трахеї.

2.3. Методи дослідження

На першому етапі у рамках проведеного дослідження, метою якого було оцінити досвід і вподобання практикуючих лікарів-анестезіологів у контексті ендотрахеальної інтубації, застосовувався анонімний опитувальник. Цей опитувальник було розроблено авторами статті та розміщено на

платформі Google Forms, що забезпечило легкий доступ для респондентів та зручність у зборі даних. Для участі в опитуванні були запрошені лікарі-анестезіологи з досвідом роботи понад один рік, які дали свою згоду на участь. Всього в опитуванні взяло участь 405 респондентів, що дозволило отримати репрезентативні дані для аналізу.

Учасникам опитування було запропоновано відповісти на ряд питань, що охоплювали ключові аспекти ендотрахеальної інтубації: методику виконання самої інтубації, техніки надування манжети ендотрахеальної трубки, а також підходи до корекції положення трубки при необхідності. Окрім технічних аспектів, були порушені питання щодо ускладнень, які можуть виникнути під час виконання цієї маніпуляції, та факторів ризику з боку пацієнтів, з якими лікарі стикались у своїй практиці. Це дало можливість не лише оцінити рівень професійних знань учасників, але й зрозуміти реальні виклики, з якими вони зустрічаються.

Для аналізу отриманих відповідей було застосовано описовий метод статистики, що включав обчислення абсолютних чисел та їх пропорцій у відсотках. Це дозволило авторам дослідження ефективно систематизувати та оцінити великий обсяг інформації, отриманий від респондентів, та сформувавши вагомні висновки щодо практик та переваг лікарів-анестезіологів у процесі ендотрахеальної інтубації.

На другому етапі дослідження було зосереджено увагу на вивченні впливу різних рівнів тиску манжети інтубаційної трубки на стан трахеї у кролів. Усього для цих цілей було задіяно 12 кролів, які були ретельно розподілені на три групи по 4 особини в кожній. Перед проведенням експерименту тварини були анестезовані за допомогою кетаміну, що забезпечило необхідні умови для подальших маніпуляцій.

Для моніторингу вітальних функцій тварин використовувались методики ЧСС, пульсоксиметрія, капнографія, та ЕКГ у стандартних відведеннях, які дозволили здійснювати точний контроль за станом кролів під час експерименту. Після забезпечення судинного доступу та введення

релаксантів, кролів інтубували за допомогою спеціальної інтубаційної трубки №3 з манжетою, виготовленою з медичного поліхлорвінілу. Анестезія підтримувалась севофлураном, з орієнтуванням на зміни вітальних функцій.

Особливу увагу в експерименті приділяли вимірюванню тиску в манжеті інтубаційної трубки, який був виміряний за допомогою механічного манометра. Вимірювання тиску проводили в сантиметрах водного стовпчика, доводячи його до рівнів 30, 50, і 100 см вод. ст. у відповідності з групами. Експериментальна вплив тиску тривав 20 хвилин для кожної групи, після чого була проведена аутопсія кролів з метою оцінки ступеня ушкодження трахеї.

Під час оцінювання стану трахеї дослідники звертали увагу на такі показники як наявність розривів або маляції трахеї, пневмомедіастинум, гемомедіастинум, підшкірна емфізема. Для аналізу отриманих даних та оцінки адекватності вибірки використовувались статистичні методи, зокрема критерій Стюдента та критерій Фішера для порівняння інцидентності, а також стандартні відхилення та медіана. Всі статистичні обчислення були виконані за допомогою безкоштовного програмного забезпечення SciSoftStatistics, що забезпечило високу точність та об'єктивність аналізу отриманих результатів.

На третьому етапі досліджувальних розділили на дві групи, відповідно до методу роздування манжети інтубаційної трубки. У головній групі, що нараховувала 45 осіб, надування манжети ендотрахеальної трубки виконувалося згідно з методом «мінімального витoku», після чого фіксувались показники тиску за допомогою манометра. Методика "мінімального витoku" застосовується під час надування манжети ендотрахеальної трубки з метою оптимізації її прилягання до стінок трахеї без зайвого тиску. Цей метод передбачає поступове заповнення манжети газом або повітрям до тих пір, поки не припиниться невеликий витік повітря між трахеєю та манжетою, що фіксується аудиторно чи за допомогою манометра при наданні допомоги диханню. Ця процедура дозволяє створити достатній для ефективної вентиляції легенів тиск, одночасно мінімізуючи ризик травмування тканин трахеї через занадто високий тиск у манжеті. Ключовою перевагою методу є

його здатність забезпечити необхідну герметизацію для ефективної механічної вентиляції при мінімальному ризику пошкодження м'яких тканин, що особливо важливо при тривалому використанні ендотрахеальної трубки. У контрольній групі, яка також включала 45 пацієнтів, анестезіолог вручну надував манжету і визначав достатність тиску на основі пальпації балона манжети. Після отримання задовільної оцінки тиск у манжеті вимірювався за допомогою манометра, підключеного до неї. Вимірювання тиску проводили у одиницях сантиметрів водяного стовпа незабаром після завершення процедури інтубації.

Для участі у дослідженні від всіх пацієнтів була отримана письмова інформована згода. Проведене дослідження було у повній відповідності з етичними стандартами, викладеними у Гельсінкській декларації.

Аналіз даних включав представлення категоріальних змінних через середнє значення та стандартне відхилення, тоді як безперервні змінні представляли у формі медіани із вказівкою мінімальних та максимальних значень. Для аналізу категоріальних даних використовувався точний критерій Фішера. Обидві групи були проаналізовані на предмет наявності «нормального» або «підвищеного» рівня тиску, для чого розраховувалось відношення шансів (OR), його стандартна помилка, а також 95% довірчий інтервал (CI). Результати, у яких рівень значимості (P) був менше 0,05, вважалися статистично значущими.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНИХ ФАКТОРІВ УШКОДЖЕННЯ ТРАХЕЇ

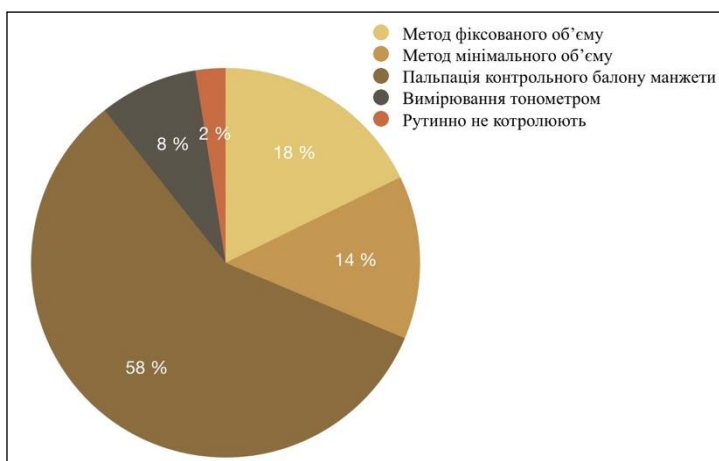
У своїй практичній діяльності 97,3% респондентів частіше використовують однопросвітні ендотрахеальні трубки, а 2,8% — двопросвітні трубки.

Серед технічних нюансів, що стосуються маніпуляції ендотрахеальної інтубації важливим моментом є правильний підбір розміру ендотрахеальної трубки (ЕТТ) для кожного окремого пацієнта. При цьому, 58,6% респондентів вказують, що підбирають розміри ЕТТ керуючись власним клінічним досвідом, 7,7% підбирають ЕТТ згідно рекомендацій виробника, а 35,6% використовують рекомендації асоціацій анестезіологів, гайдлайнів та інших сторонніх джерел. При цьому, при виконанні маніпуляції 46% респондентів завжди використовують стилет для ЕТТ, 43,8% використовують його за потреби, а 10,4% зовсім не використовують стилет при виконанні рутинних інтубацій трахеї.

Роздування манжети у практиці 20,3% респондентів виконують власне лікарі-анестезіологи, а 79,8% виконують анестезист(к)и. При цьому ступінь роздування манжети у 86,7% респондентів оцінюють власне лікарі-анестезіологи, у 7,7% — анестезист(к)и, а у 5,7% респондентів ступінь роздування манжети ЕТТ рутинно не визначається.

Контроль тиску у манжеті ендотрахеальної трубки може проводитись різними методами. 17,8% респондентів застосовують для контролю метод фіксованого об'єму, 13,6% — метод мінімального об'єму, 58,1% проводять пальпацію контрольного балону манжети ЕТТ, 8,2% вимірюють тонометром тиск у манжеті ЕТТ. 2,5% респондентів рутинно не контролюють тиск у манжеті ендотрахеальної трубки (рис. 5).

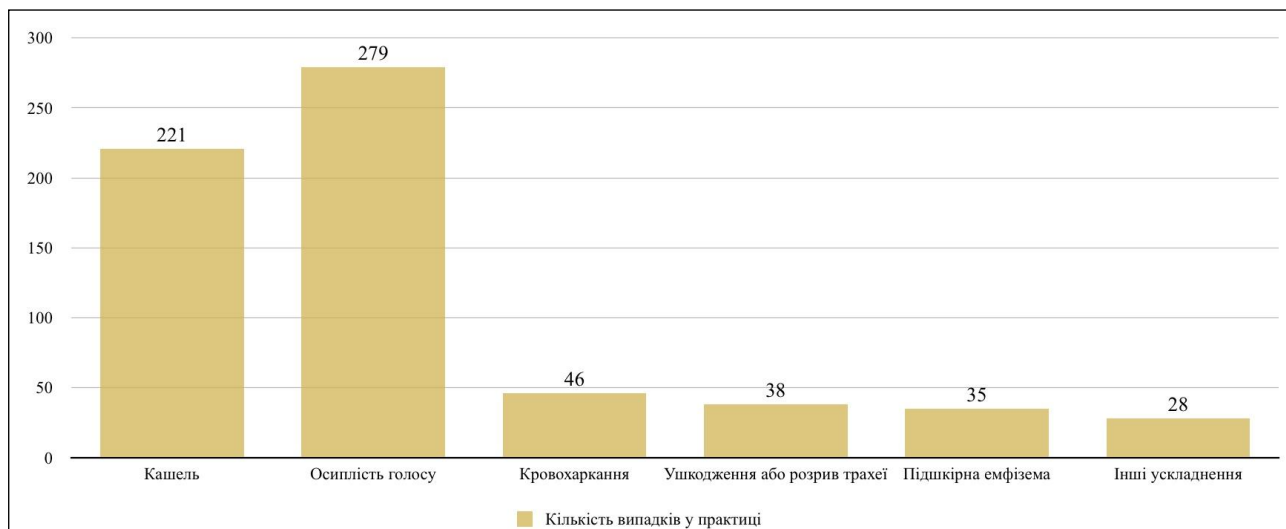
Рис. 6. Розподіл респондентів за способом контролю тиску у манжеті ендотрахеальної трубки, %.



Корекція положення ендотрахеальної трубки після інтубації трахеї здійснюється респондентами з такою частотою: 4,7% респондентів коригують положення ЕТТ завжди під час рутинних інтубацій, 36,8% — інколи, 55,6% — дуже рідко, а 3% респондентів ніколи не коригують положення ЕТТ після інтубації. З них 40,8% здувають манжету ЕТТ при корекції її положення, 16,8% — частіше здувають, 20% — частіше не здувають, 22,5% — не здувають.

З ускладненнями, пов'язаними з інтубацією трахеї у практиці не стикались 5,7% респондентів. Серед 94,3% респондентів, що стикались з ускладненнями, 54,6% відмічали у пацієнтів кашель, 68,9% — осиплість голосу, 11,4% — кровохаркання, 9,4% — ушкодження трахеї або її розрив, 8,7% — підшкірну емфізему, 7% спостерігали у пацієнтів інші ускладнення, серед яких — біль у горлі, розриви голосових зв'язок, рубцеві стенози трахеї тощо (рис. 6).

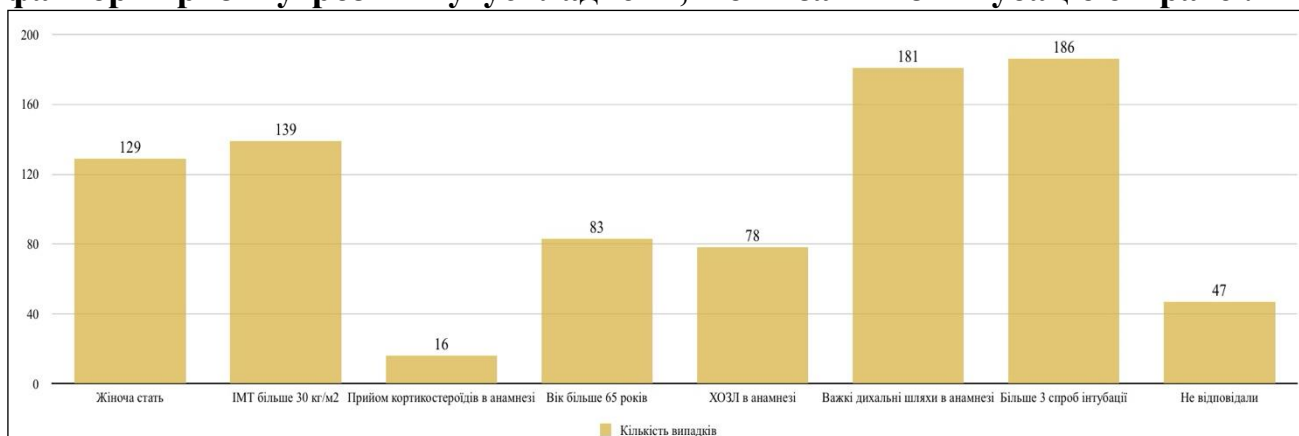
Рис. 7. Кількість випадків ускладнень, пов'язаних з інтубацією трахеї серед респондентів, випадків у практиці.



В контексті дослідження, що охоплює випадки ускладнень під час ендотрахеальної інтубації, виявлено, що у 11,7% ситуацій, де були зафіксовані ускладнення, пацієнти не відповідали стандартним факторам ризику, які традиційно асоціюються з підвищеним ризиком ускладнень під час інтубації. До цих факторів зазвичай відносять наступне: наявність у пацієнтки жіночої статі, високий індекс маси тіла, що перевищує 30 кг/м², історію прийому кортикостероїдів, вік понад 65 років, наявність у анамнезі хронічних обструктивних захворювань легень, проблеми з дихальними шляхами або ситуації, коли для успішної інтубації потрібно більше трьох спроб. Це вказує на те, що навіть у відсутність цих чітко визначених ризиків можливий розвиток ускладнень, що підкреслює необхідність більш глибокого розуміння механізмів, які сприяють їх виникненню, та розробки додаткових стратегій для запобігання цим ускладненням. Такі випадки вимагають від медичних фахівців підвищеної уваги та можливої корекції підходів до проведення інтубації, з метою забезпечення максимальної безпеки для пацієнтів, навіть якщо вони здавалося б не входять до групи підвищеного ризику. Кількість випадків ускладнень, пов'язаних з наведеними вище факторами ризику ускладнень, пов'язаних з інтубацією трахеї, наведено на рисунку (рис. 7). Найбільш частим фактором ризику розвитку ускладнень у практиці

респондентів є механічний фактор ризику, а саме більше 3 спроб інтубації трахеї в одного пацієнта. Він складає 23% від усіх факторів ризику.

Рис. 8. Частота ускладнень, пов'язаних з інтубацією трахеї, відповідно до факторів ризику розвитку ускладнень, пов'язаних з інтубацією трахеї.



Ключ до успішної ендотрахеальної інтубації полягає в ретельній підготовці та увазі до деталей, особливо коли мова йде про анатомічні та механічні фактори ризику. Перед проведенням інтубації, важливо провести детальний аналіз медичної історії пацієнта та його фізичного стану, щоб виявити можливі ускладнення. Оцінка таких аспектів, як індекс маси тіла, наявність хронічних захворювань легень, анамнез прийому кортикостероїдів, а також вік та стать пацієнта, може допомогти в ідентифікації осіб з підвищеним ризиком ускладнень.

Слідуючи встановленим протоколам та настановам, а також індивідуальному підходу до кожного пацієнта, можна мінімізувати ризик ускладнень. Водночас, неперервне навчання та удосконалення вмінь інтубації можуть сприяти покращенню результатів та безпеки пацієнтів.

РОЗДІЛ 4

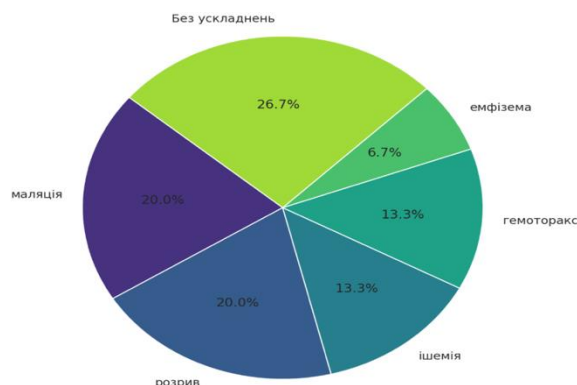
Оцінка впливу надмірного тиску як патогенетичного фактору ятрогенних ушкоджень трахеї

На третьому етапі дослідження було досліджено кореляцію надмірного тиску в манжеті інтубаційної трубки з частотою та важкістю ушкоджень. В рамках вивчення впливу загальної інгаляційної анестезії на процес інтубації трахеї використовувалась жива модель на 12 кроликах. Цих тварин розділили на три групи, кожна з яких піддавалася дії певного рівня тиску у манжеті інтубаційної трубки. Індукція анестезії здійснювалася за допомогою кетаміну, після чого встановлювались методи моніторингу основних життєвих показників - серцевий ритм, рівень кисню в крові через пульсоксиметрію, вуглекислий газ через капнографію та електрокардіограму. Згодом здійснювалася інтубація за допомогою спеціалізованої трубки №3 з манжетою з медичного поліхлорвінілу, і анестезія продовжувалась севофлураном, налаштовуючись на зміни життєво важливих показників. Для вимірювання тиску в манжеті використовувався механічний манометр, підключений безпосередньо до манжети, із вимірюваннями у сантиметрах водяного стовпа. Зафіксовані рівні тиску становили 30, 50 та 100 см вод. ст. для першої, другої та третьої груп відповідно, при цьому кожна група була піддана впливу цього тиску протягом 20 хвилин.

Було досліджено 12 кролів, розподілених на 3 групи, відповідно до тиску в манжеті інтубаційної трубки. У кожному випадку під час аутопсії досліджувалось наявність розриву, маляції, ішемії, а також гемоторакса та емфіземи.

Рис. 9 Загальна інцидентність ушкоджень трахеї

Загальна інцидентність ушкоджень (без ушкодження стравоходу, з випадками без ускладнень)



В 1 групі (n=4) де тиск дорівнював 30 см Н2О у 3 випадках при аутопсії не спостерігалось ніяких видимих ознак ушкодження трахеї, або її слизової оболонки.

Рис. 10 Трахея без ушкоджень в 1 групі (манжета спущена перед екстубацією).



У 2 групі з тиском у 50 см Н2О було 2 випадки маляції трахеї. При цьому в 1 випадку спостерігались ознаки ішемії слизової оболонки трахеї, а ще в одному випадку ніяких ознак ушкодження не було.

Рис. 11 Маляція трахеї (розм'якшення тканин внаслідок їх некрозу або дистрофії) у 2 групі.



В 3 групі з тиском у 100 см Н₂О у трьох з чотирьох кролів було виявлено повний розрив трахеї. При цьому тільки у 1 при розриві були виявлені ознаки підшкірної емфіземи, а гемоторкас або гемомедіастіnum спостерігався у двох випадках розриву.

Рис. 12 Повний розрив трахеї, деформація кілець та пневмо-, гемомедіастунум в 3 групі.



Цілком закономірно можна відмітити, що зі збільшенням тиску зростає кількість та різноманітність ускладнень, а випадки без ускладнень зустрічаються рідше. При цьому не було відмічено жодного випадку травмування стравоходу.

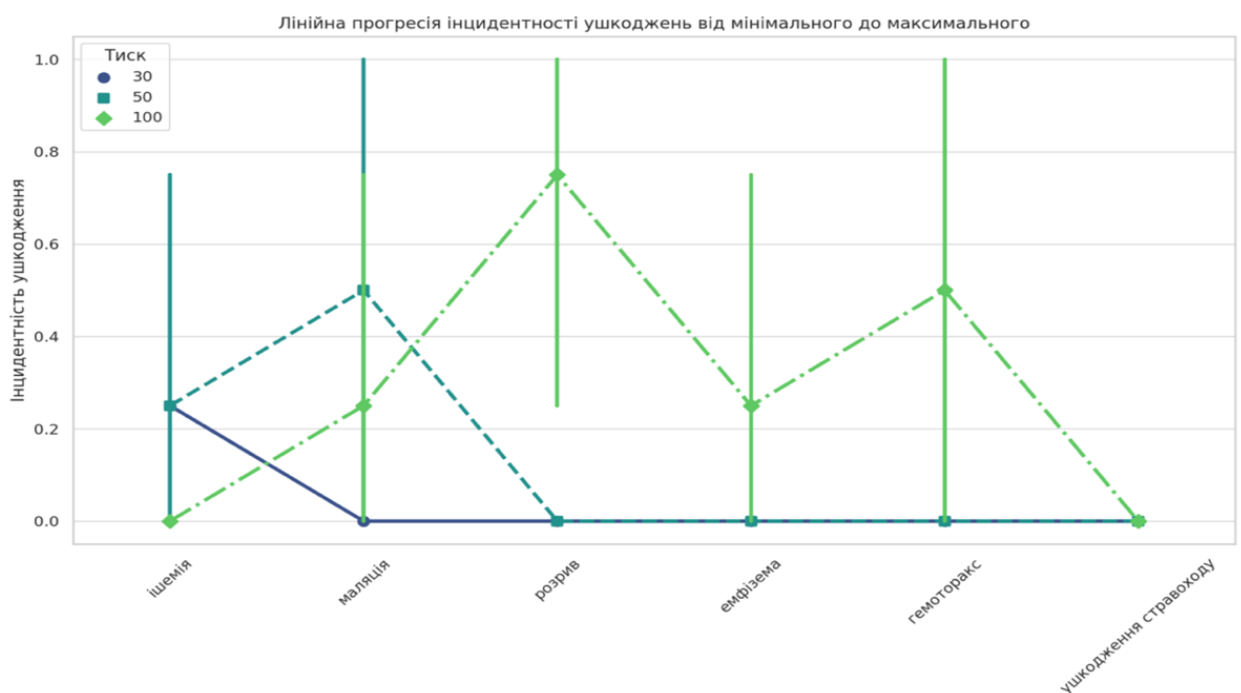
Таблиця 5. Кількість та тип ускладнень у кожній окремій групі

Тиск (см)	Без ускладнень	Ішемія	Маляція	Розрив	Емфізема	Гемоторакс
30	3	1	0	0	0	0
50	1	1	2	0	0	0

Тиск (см)	Без ускладнень	Ішемія	Маляція	Розрив	Емфізема	Гемоторакс
100	0	0	1	3	1	2

Аналіз застосування коефіцієнта Фішера для порівняння частоти травм в групах з різним рівнем тиску (30 проти 50 і 50 проти 100) виявив р-значення, рівне 1.0, що вказує на відсутність статистично важливих відмінностей між ними. Середній показник травм у дослідженні склав близько 15.3% (із стандартним відхиленням 32.9%). Розрахунок величини ефекту, заснований на середньому показнику частоти травм та стандартному відхиленні, дав результат приблизно 0.465. При такому розмірі ефекту і розмірі вибірки, потужність аналізу становить лише близько 19.3%, що є досить низьким показником, підкреслюючи малу ймовірність ідентифікації статистично значущих відмінностей. Для забезпечення вищої достовірності зафіксованого розміру ефекту та прийняття рівня значущості в 5%, потрібен значно більший обсяг вибірки.

Рис. 13. Інцидентність ушкоджень в залежності від тиску



На представленому діаграмі зображено лінійну залежність між частотою травм трахеї у кроликів, що варіюється від легких (ішемія) до важких (пошкодження стравоходу), і різними рівнями тиску в манжеті інтубаційної трубки - 30, 50, і 100. Діаграма ілюструє, як ризик ушкоджень росте разом з підвищенням тиску і ступенем тяжкості пошкоджень.

Загальний тренд показує, що вищий тиск спричиняє зростання інцидентності травм. Втім, залежність ця не є лінійною для всіх типів пошкоджень, що підкреслює необхідність проведення подальшого статистичного дослідження для оцінки статистичної вагомості цих розбіжностей.

РОЗДІЛ 5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕМЕХАНІЧНИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО ТИСКУ В МАНЖЕТІ ІНТУБАЦІЙНОЇ ТРУБКИ

Виходячи з висновків попередніх етапів дослідження, можливо допустити що тиск є одним з ключових факторів ятрогенного ушкодження трахеї. Також на першому етапі було виявлено що більшість лікарів анестезіологів нехтують іншими методиками, окрім як пальпації балону манжети при контролі рівня тиску. Що б запропонувати альтернативу цьому методу було досліджено різні методи інсуфляції манжети інтубаційної трубки.

В рамках проведеного дослідження було зібрано дані з 90 учасників, серед яких 40 жінок та 50 чоловіків, зі середнім віком учасників 44,3 років із стандартним відхиленням 13,6 років. Середній індекс маси тіла (ІМТ) учасників склав 27,1 кг/м² зі стандартним відхиленням 6,4 кг/м², що свідчить про середній рівень тіла вище норми. Ці результати вказують на значну варіативність фізіологічних параметрів серед учасників, що є важливим фактором при аналізі результатів дослідження.

Рис. 14 Гендерний розподіл досліджуваних

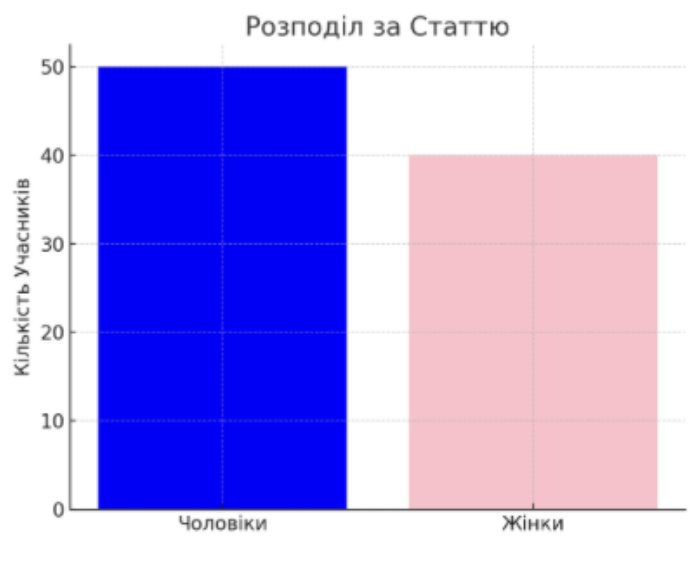
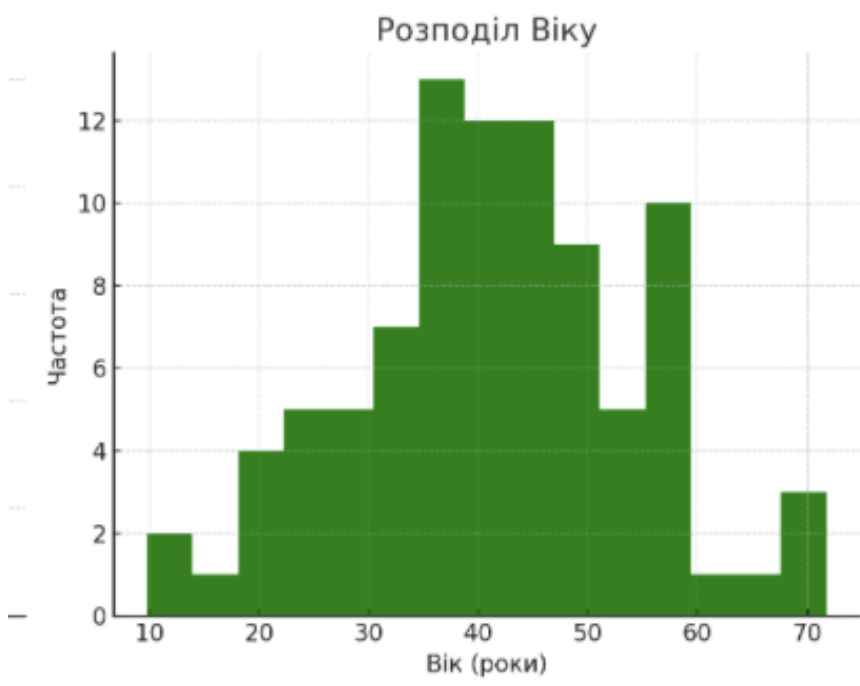


Рис. 15 Віковий розподіл досліджувальних



Статистичний аналіз даних продемонстрував високу значущість отриманих результатів, де значення t-критерію для розміру вибірки досягло 10,42574 ($p < 0,00001$), вказуючи на суттєві розходження в результатах між групами.

Учасники дослідження були поділені на дві групи залежно від методу роздування манжети інтубаційної трубки. В одній групі манжета роздувалася методом мінімального оклюзійного об'єму, що дозволяє точніше контролювати тиск і запобігати його зайвому збільшенню. Середній тиск у цій групі склав 30,7 см водяного стовпа зі стандартним відхиленням 4,4 см вод. ст., що вважається безпечним та ефективним для забезпечення адекватної вентиляції без ризику пошкодження трахеї.

Рис. 16 Середній тиск в манжеті інтубаційної трубки в залежності від методу



У контрольній групі, де тиск манжети оцінювався суб'єктивно анестезіологом, середній тиск суттєво вищий - 67,4 см вод. ст. зі стандартним відхиленням 23,5 см вод. ст. Це значення значно перевищує рекомендовані норми, що може призводити до збільшення ризику пошкодження трахеальної тканини, підвищуючи ймовірність ускладнень, таких як ішемія та травми стравоходу. Найвищий зафіксований тиск у цій групі становив 109 см вод. ст., що є критично високим і може свідчити про значну небезпеку для пацієнта.

Такі результати вказують на критичну необхідність застосування об'єктивних методів вимірювання та контролю тиску в манжеті інтубаційних трубок для запобігання перевищенню безпечних рівнів. Використання методу мінімального оклюзійного об'єму може слугувати ефективним засобом забезпечення адекватного тиску без ризику для трахеї, а також підкреслює важливість адекватної підготовки медичного персоналу і використання точних інструментів для моніторингу та регулювання тиску манжети.

Рис. 14 Тиск в манжеті інтубаційної трубки в досліджувальній та контрольній групах (см H₂O).



Випадків недостатнього тиску (менше 20 см H₂O), який міг би призвести до аспірації та інших легеневих ускладнень, в обох групах не виявлено. Не можна стверджувати, що методика мінімального витoku повністю корелює з вимогами до рівня безпечного тиску, але ці показники достовірно кращі, ніж у контрольній групі.

У групі контролю лише 2 пацієнти досягли необхідного інтервалу безпеки, тоді як у групі дослідження таких пацієнтів було 23 (OR=22,4, 95% CI [4,84], p=0,0001).

Рис. 15 Розподіл між нормальним і надлишковим тиском у досліджуваних групах

Column and Row Totals			
	Normal	Overinflated	<i>Marginal Row Totals</i>
Study group	23	22	45
Control group	2	43	45
<i>Marginal Column Totals</i>	25	65	90 (Grand Total)

Випадків недостатнього тиску (менше 20 см H₂O), який міг би призвести до аспірації та інших легеневих ускладнень, в обох групах не виявлено. Не можна стверджувати, що методика мінімальних витоків повністю корелює з вимогами до рівня безпечного тиску, але ці показники достовірно кращі, ніж у контрольній групі.

РОЗДІЛ 6

ЛІКУВАЛЬНО- ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ВЕДЕННЯ ПАЦІЄНТІВ З ПОСТІНТУБАЦІЙНИМИ РОЗРИВАМИ ТРАХЕЇ

Як ми можемо бачити основні фактори ризику цілком можливо спрогнозувати та попередити, обираючи найбільш оптимальну тактику інтубації трахеї для кожного пацієнта. Фізикальна оцінка може допомогти спрогнозувати можливі складнощі під час інтубації. Частіше за все проводиться тест Маллампаті, але він не завжди дає повну картину, так як за своєю суттю є оцінкою лише одного параметра. Для оцінки ризику доцільніше використовувати мнемоністичну шкалу LEMON. Вона пропонує оцінку п'ятих факторів, що підвищує її прогностичну цінність.(98,99)

Також увагу треба приділити самій техніці інтубації, особливо використанню провідників та стилетів. Використання провідників, та особливо жорстких стилетів повинно бути обґрунтованим. У разі її використання кінчик останнього не повинен виходити на зріз інтубаційної трубки. При підозрі на важкі дихальні шляхи буде доцільно використовувати альтернативні варіанти, такі як використання відеоларингоскопа, або інтубація за допомогою бронхоскопа.(100–103)

Діагностика

Швидка діагностика є важливим критерієм, який обумовлює позитивний результат у лікуванні ятрогенних ушкоджень трахеї. Чим швидше буде встановлений діагноз і буде обрана тактика ведення такого пацієнта, на тим кращі результати лікування можна розраховувати. Основними проявами даного ускладнення виступає зниження оксигенації та розвиток емфіземи.(99,104) Хоча певна кількість випадків проходять без такого типу маніфестації, що у свою чергу значно утруднює діагностику. Описані випадки, коли єдиним проявом постінтубаційного розриву трахеї, з дефектом майже 2,5 см, був лише кашель впродовж першої та другої доби після екстубації.(105) Тому усі пацієнти які знаходяться на штучній вентиляції, або мають

нешодавно інтубацію в анамнезі, потребують особливої уваги. При виникненні зниження оксигенації, а особливо при виникненні підшкірної емфіземи, ці випадки повинні розглядатися як потенційні ятрогенні ушкодження трахеї.(99)

На даний момент двома основними методами діагностики постінтубаційних ускладнень є рентгенографічні дослідження або ендоскопічна візуалізація. Зображення можна отримати за допомогою рентгена грудної клітини або комп'ютерної томографії (КТ). Перше дозволяє швидко виключити пневмоторакс, великий пневмомедіастинум, пневмоперитонеум або підшкірну емфізему, і це може бути дуже корисно в екстрених випадках для скорочення диференціальної діагностики. Останній дозволяє виявляти ті самі знахідки, що й рентген, але з більшою чутливістю та точністю. (99,106) Ще більш детальну рентгенологічну картину можливо отримати при використанні КТ з контрастуванням. Комп'ютерна томографія з контрастним підсиленням може безпосередньо виявити розрив трахеї, приблизно визначити його місце та ступінь, оцінити зміни або деформації стінки трахеї та хрящових кілець, а також визначити супутні пошкодження органів середостіння або медіастиніт. Також у деяких випадках стає в нагоді методика подвійного контрастування, яка також передбачає введення контрастної речовини у стравохід. Це допомагає виявити інвагінації стравоходу, які в свою чергу можуть прикривати дефект трахеї, а також діагностувати додаткові можливі ураження самого стравоходу. (107)

Хоча КТ надає цінну інформацію, бронхоскопія все ще залишається золотим стандартом невідкладної діагностики постінтубаційних ушкоджень трахеї. Важливо виконати її якомога швидше, одразу після появи підозри на ураження. Гнучка бронхоскопія дозволяє динамічно оцінити місце розташування, протяжність та глибину ушкодження, виключити пошкодження м'яких тканин середостіння або стравоходу та правильно класифікувати ураження. У пацієнтів на штучній вентиляції легень базова

бронхоскопічна оцінка може не виявити приховане ураження, яке прикрите манжетою або трубкою. Тому в таких випадках рекомендується провести детальну оцінку, включаючи спустошення повітря з манжети та маніпуляції з трубкою.(108) Варто зазначити, що правильне лікування розриву трахеї неможливо спланувати без проведення як КТ, так і бронхоскопії. Тому виконання одного не виключає застосування іншого діагностичного методу, а доповнює один одного у комплексному підході до оцінки важкості та вибору тактики ведення пацієнта.(99)

Критерії важкості

Наразі основною морфологічною класифікацією ушкоджень трахеї є модель G. Cardillo, остання модифікація якої вийшла у 2022 році.

Вона включає в себе 4 класа, третій в свою чергу поділяється на два підкласи. Розподіл проходить в залежності від ступеню ушкодження стінки трахеї. Сама по собі модель не є рекомендацією щодо лікування і виключно дозволяє визначити ступень морфологічного ушкодження. Як можна бачити класифікація включає в себе як і ушкодження самої трахеї, так і наявність медіастеніту та ушкодження стравоходу. У рекомендаціях самих авторів рекомендовано проводити оцінку за даною класифікацією виключно після комбінації рентгенологічного та ендоскопічного дослідження.(109) Однак враховуючи описані вдалі випадки консервативного ведення пацієнтів з розривами перевищуючими 4 см, а також варіабельність наявності емфіземи та медіастеніту, на нашу думку підхід до визначення важкості ураження повинен бути більш комплексним. Наша запропонована модель включає до себе поміж морфологічної оцінки ще й інші критерії, такі як оцінка ризику смертності за шкалою APACHE II, а також оцінки респіраторного індексу пацієнта. Серед морфологічних факторів оцінюються розмір дефекту та наявність емфіземи, так як через останній фактор вказує нам в свою чергу на наявність інших морфологічних ознак, таких як ураження всіх шарів або

наявність кили стравоходу. На нашу думку такий підхід дозволяє більш комплексно оцінити стан пацієнта, та обрати необхідну тактику.

Таблиця 6. Модифікована шкала оцінки важкості ушкодження трахеї.

Оцінюванні фактори	Кількість балів		
	0 балів	1 бал	2 бала
APACHE II	0-10	10-20	більше 20
PaO ₂ /FiO ₂	більше 400	400-300	менш 300
Розмір дефекту	до 2 см	2-4 см	більше 4 см
Наявність емфіземи	відсутня	тільки підшкірна	підшкірна та медіастінальна

Інтерпретація результатів

0-3 бала: низький ризик, можливе консервативне ведення;

3-5 балів: середній ризик, розглянути можливість ендоскопічного лікування;

5 та більше балів: високий ризик: рекомендоване хірургічне усунення дефекту.

Як приклад: ситуація коли розрив за Cardillo припадає до II класу, але важкість його стану може не надати можливості для консервативної спроби лікування. В такому випадку оперативне закриття дефекту може врятувати пацієнта від розвитку медіастеніту та можливого летального ісходу. Або навпаки: навіть при великих дефектах пацієнти не проявляють інших скарг,

що дає можливість консервативного ведення, що в свою чергу є більш вигідним варіантом з точки зору реабілітації та утворенню стенозів трахеї.

Лікувальна тактика

У традиційній практиці, хірургічне втручання є основним методом лікування трахеї за умови ятрогенного розриву. Більшість медичних фахівців рекомендують першочергове проведення хірургічного лікування у пацієнтів з постінтубаційними ушкодженнями, вірячи, що раннє втручання може запобігти потенційно летальним ускладненням, зокрема медіастиніту та стенозу трахеї. Консервативне лікування зазвичай резервується для пацієнтів з меншими пошкодженнями, які стабільні з точки зору гемодинаміки та мають ураження трахеї довжиною менше 3 см.

Основа консервативного підходу до лікування заснована на запобіганні розвитку емфіземи та медіастеніту. Це досягається за допомогою ефективної антибіотикотерапії, а також інвазивних або неінвазивних методів вентиляції легень. Для заспокоєння кашлю застосовується седативна терапія. Харчування пацієнта здійснюється через назогастральний зонд. Очищення трахеобронхіального дерева виконується дуже обережно і лише при наявності чіткої потреби, виключно через бронхоскопію. Консервативні методи також включають моніторинг стану пацієнта, інтубацію, виконання трахеостомії, та використання фібринового клею. Останній є новітньою методикою, запропонованою G. Cardillo та його командою, що передбачає застосування фібринового герметика для безпосереднього залучення розриву за допомогою гнучкої бронхоскопії. Важливим аспектом будь-якого консервативного лікування є строгий моніторинг пацієнтів з метою своєчасного виявлення будь-яких ознак погіршення їхнього стану.

Раніше вважалося, що ендоскопічні методики слугують лише як заміна традиційному хірургічному лікуванню для тих пацієнтів, чий стан був занадто слабким для проведення масштабних операцій. Проте, внаслідок успішних

результатів, деякі медичні спеціалісти почали розширювати сферу застосування цих методів. Ендоскопічне лікування включає в себе встановлення стентів з металу чи силікону на термін від чотирьох до восьми тижнів, закріплення дефекту за допомогою спеціальних кліпс, або використання ендоскопічного шва. Серед ускладнень, які зазначаються у медичних джерелах, варто відзначити переміщення стента, стенозування трахеї, блокування слизової оболонки, а також локальні інфекційні процеси. Однак, якщо користь від таких процедур переважає асоційовані з ними ризики, стентування може стати ефективною альтернативою хірургічному втручанню, дозволяючи здійснити локальне лікування і відтермінувати операцію до моменту поліпшення стану пацієнта або повного одужання, тим самим знижуючи ризик смертності від захворювань серед пацієнтів з високим ризиком хірургічних втручань. Використання покритих нітинолом саморозширювальних металевих стентів (n-SEMS) (110) викликає особливий інтерес, оскільки, очевидно, вони краще адаптуються до дихальних шляхів, ніж силіконові стенти, що знижує ризик міграції та забезпечує надійне ущільнення сегмента трахеї.

Хірургічне втручання зазвичай включає в собі або ушивання дефекту, або резекцію ділянки з наступною пластикою. Більшість авторів вважають, що у пацієнтів зі швидким погіршенням клінічного стану, незалежно від попереднього консервативного або ендоскопічного лікування, слід проводити хірургічне втручання, ідеально - протягом 48 годин від моменту початкової події, для зниження рівня захворюваності та смертності. В літературі описані різні хірургічні підходи, такі як відкритий, відеоторакоскопічний (VATS) і ендотрахеальний. Вибір певного підходу залежить від місця і ступеня травми, терміну екстреності або необов'язкової ситуації, а також досвіду центру. Відкриті методи включають задньобічну правобічну торакотомію, яка традиційно використовується для невідкладних процедур та у випадках ураження середньої або нижньої третини трахеї, а також цервікотомію, запропоновану Angelillo-Mackinlay (111) для ураження

верхньої третини. VATS-техніки включають правобічну торакоскопію, а також трансцервікальний транстрахеальний підхід з використанням відеоасистенції, запропонований da Silva Costa та співавторами (112), за допомогою ендоскопічного тримача голки та камери введеної через розріз трахеї.

Таблиця 7. Види лікувальних тактик при постінтубаційних ураженнях трахеї.

Консервативне лікування	<i>антибіотикотерапія; інвазивна та неінвазивна ШВЛ; седація; накладання фібринового клею.</i>
Ендоскопічне лікування	<i>встановлення стентів; кліпування дефекту; ендоскопічні самозшиваючі апарати.</i>
Хірургічне втручання	<i>ушивання дефекту; резекція ділянки з наступною пластикою.</i>

Майже всі сучасні лікувальні моделі базуються на морфологічній класифікації G. Cardillo. Основні тези які можна виділити що до стратегії ведення: розриви I та II ступеню рекомендовано вести консервативно. Починаючи з III ступеню рекомендовано ендоскопічне або хірургічне втручання.(113)

Але також є доволі багато описаних випадків, де навіть дефекти стінки трахеї більше 4 см вдавалося вести консервативно.(112) Тому, як було зазначено вище, при виборі лікувальної тактики можливо застосовувати більш розширену модель, яка включає в себе також і інші фактори пацієнта. Запропонована модель базується на певній кількості балів які може набрати пацієнт. Кожен фактор оцінюється від 0 до 2 балів. Мінімально можливо набрати 0 балів, максимально - 8. В залежності від набраної кількості

визначається ступінь ризику для таких пацієнтів, і вже в свою чергу від цього ступеню можна визначитися з тактикою ведення таких пацієнтів.

Лікування постінтубаційних ушкоджень ще не має остаточних рекомендацій і є предметом подальших дискусій. Процедурні та інструментальні нововведення, а також прогрес у медицині, ймовірно, змінили традиційний підхід до лікування, розширивши використання консервативного лікування та впровадивши можливість ендоскопічного підходу, що має високий рівень успішності і малу кількість ускладнень. У таких умовах ендоскопічне стентування може бути життєздатною альтернативою хірургічному втручанню, а не резервним варіантом, що обмежує хірургічне лікування на пізніх стадіях або в разі неефективності інших методів. З іншого боку, хірургічні процедури стають все менш інвазивними, що призводить до зниження захворюваності та смертності порівняно з минулим. Саме тому запропоновані рекомендації щодо діагностики та ведення пацієнтів з ятрогенними ушкодженнями трахеї потребують подальшого дослідження та обговорення.

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Ендотрахеальна інтубація є стандартною практикою серед анестезіологів, яка з часом стає майже автоматичною, особливо для лікарів з великим клінічним досвідом. Однак, покладання виключно на досвід може не враховувати унікальність кожного клінічного випадку, що ставить під ризик безпеку пацієнта.

Для ефективної та безпечної ендотрахеальної інтубації критично важливими є правильний вибір розміру трубки, використання стилета для полегшення введення, адекватне надування манжети та точне вимірювання її тиску, а також корекція положення трубки після інтубації. Успіх ларингоскопії значною мірою залежить від анатомічних особливостей пацієнта та навичок виконавця, що унеможливорює створення універсальних рекомендацій.

Розмір ендотрахеальної трубки залежить від статі та зросту пацієнта, при цьому неправильний вибір може призвести до ушкоджень трахеї. У педіатрії розмір трубки вибирається на основі спеціальних формул та номограм, тоді як у дорослих вибір є більш гнучким і залежить від оцінки лікарем.

Стилет використовується для надання трубці оптимальної форми, спрощуючи її введення, однак його застосування не є обов'язковим для кожної інтубації та може залежати від конкретної ситуації.

Вимірювання тиску в манжеті є відповідальністю анестезіолога, при цьому ідеальний тиск повинен знаходитися в межах 20-30 мм водного стовпчика. Способи вимірювання тиску включають використання фіксованого об'єму, мінімального об'єму для забезпечення герметичності, пальпацію балону манжети та вимірювання тонометром, причому метод пальпації вважається найменш точним.

Корекція положення трубки після інтубації є звичайною практикою, але важливо здійснювати її обережно, щоб уникнути травмування трахеї.

Ускладнення, пов'язані з інтубацією, не рідкість і можуть бути спричинені як механічними, так і анатомічними чинниками ризику. Серед анатомічних факторів особливу увагу слід звернути на ожиріння та жіночу стать як часті причини ускладнень.

Підтримка безпечного рівня тиску в манжеті інтубаційної трубки визнана критично важливим аспектом для запобігання розвитку ускладнень, пов'язаних з інтубацією трахеї. Однак, існують перешкоди для широкого застосування цієї практики, особливо в країнах з низьким та середнім рівнем доходу, де, як зазначають Сільванус Кампо та колеги, анестезіологам часто не доступні необхідні пристрої для моніторингу тиску.

Дослідження показує, що незважаючи на наявність численних цифрових та аналогових манометрів на ринку, вони не завжди доступні через обмежені ресурси. Автори виявили, що різниця тиску між пальпацією та вимірюванням манометром була незначною, проте частота ускладнень у групі з емпіричним визначенням тиску значно вища, порівняно з групою, де тиск контролювався.

Цікаво, що в окремих випадках тиск виявився в 4,5 рази вищим за рекомендований, що може свідчити про розбіжності в підготовці анестезіологів і недостатню увагу до цієї проблеми. Також важливим є той факт, що дослідження проводилося в специфічних умовах акушерського відділення Tamale Teaching Hospital з участю жінок, яким була протипоказана спинномозкова анестезія, що могло вплинути на зростання ризику постінтубаційних ускладнень.

У порівняльному дослідженні Souza et al., що оцінювало методи вимірювання тиску в інтенсивній терапії, також було виявлено значні відмінності в методиках. Це підкреслює необхідність використання технологій для досягнення безпечного тиску, особливо в умовах обмежених ресурсів.

Результати досліджень свідчать про зменшення ускладнень за умови контролю за тиском в манжеті, хоча регулярне вимірювання і досі не є

стандартною практикою. Різноманіття інтубаційних трубок на ринку лише збільшує важливість моніторингу тиску для попередження ускладнень.

Значення контролю за тиском у манжеті підкреслюється різними дослідженнями, які демонструють ризик розвитку ускладнень при використанні неправильного тиску. Огляд Коельо та інших, що зосереджується на профілактиці пневмонії, пов'язаної з вентиляцією, підкреслює необхідність балансу між технологічними рішеннями і комплексними стратегіями догляду за пацієнтами для зниження ризику ВАП.

Високий тиск у манжеті ендотрахеальної трубки може призвести не лише до серйозного стану, як трахеорафія, але й до інших ускладнень, включаючи кашель, ішемію трахеї, біль у горлі, параліч нерва, що відповідає за рух гортані, та стеноз трахеї. У дослідженні, проведеному Сілвою де Соуза у 2023 році, було виявлено оптимальний спосіб вимірювання тиску в манжеті ендотрахеальної трубки. В ході дослідження, яке мало перехресний проспективний дизайн із участю 25 дорослих пацієнтів на штучній вентиляції легень понад 48 годин, тиск в манжеті підтримувався близько 20 см водного стовпчика. Результати показали, що жоден із пацієнтів не зазнав ускладнень, пов'язаних із постінтубаційним ушкодженням трахеї. З іншого боку, недостатній тиск в манжеті може спричинити її дислокацію, неефективну вентиляцію та мікроаспірацію секретів з ротоглотки. У тому ж дослідженні спостерігався витік у 9 пацієнтів під час первинного вимірювання, проте це не призвело до аспірації у 4 випадках, які були в межах контрольних значень. Таким чином, ідеальний тиск в манжеті визначається як від 20 до 30 см водного стовпчика, оскільки цей діапазон забезпечує ефективний захист від аспірації, стабілізує положення трубки та мінімізує ризик іатрогенного пошкодження трахеї.

Інше значне дослідження, проведене Майклом А. Тернером у 2020 році, підтверджує висновки попередніх досліджень на тваринах, що високий тиск може порушити трахеальний кровотік, зокрема, капілярний кровотік починає порушуватися при тиску понад 30 см H₂O та повністю припиняється при тиску

понад 50 см Н2О. Ішемія, спричинена високим тиском у манжеті, може призвести до пошкодження трахеї та розвитку гранульоми, що веде до її звуження з потенційно смертельними наслідками; це може статися вже через 15 хвилин після інтубації. Ушкодження трахеї у кроликів спостерігалось при тиску 50 см Н2О через 20 хвилин після інтубації. У людей подібні ушкодження можуть проявитися роками пізніше, як показує випадок, коли через 20 років після інтубації у пацієнта розвинувся симптоматичний стеноз трахеї, що вимагав повторних ендоскопічних розширень або хірургічне лікування для видалення стенозу.

ВИСНОВКИ

Післяінтубаційні розриви трахеї, хоча і зустрічаються рідко, представляють собою серйозні ускладнення, які можуть виникати після інтубації або трахеостомії, з високим ризиком подальших ускладнень та смертності. Важливим є розуміння та увага до механічних факторів ризику, включно з вибором правильного розміру трубки, уникненням надмірного надування манжети та обережним використанням провідника. Багато з цих ризиків можна мінімізувати, дотримуючись встановлених правил і рекомендацій при інтубації.

Надзвичайно важливим є підтримання уважності до потенційних післяінтубаційних ускладнень і проведення своєчасної діагностики у пацієнтів із підозрою на такі ушкодження. Використання як рентгенологічних, так і ендоскопічних методів оцінки може сприяти швидкому виявленню та деталізації підозрюваних травм. Проведення оцінки стану пацієнта з ушкодженням трахеї за допомогою задалегідь визначеної діагностично-лікувальної моделі може прискорити діагностичний процес та поліпшити підбір лікувальної стратегії.

У рамках даного дослідження експериментально встановлено, що зі збільшенням тиску в манжеті ендотрахеальної трубки зростає ймовірність ушкодження трахеї кролів. Найбільш серйозні ушкодження спостерігалися при тиску 100 см водного стовпчика, в той час як при тиску 30 см водного стовпчика менша частина кролів мала ознаки ушкодження. При цьому наявність підшкірної емфіземи не була обов'язковою ознакою ушкодження трахеї. Це свідчить про те що подібні випадки під час анестезії можуть мати труднощі з вчасною діагностикою.

Також було встановлено, що вимірювання фактичного тиску в манжеті ендотрахеальної трубки за допомогою аналогового манометра у пацієнтів, які перебувають під інтубацією, показує значні відхилення від оцінок, зроблених анестезіологами на основі їх досвіду. Емпіричні методи визначення тиску, як-

от пальпація балону манжети, не забезпечують достовірності та не можуть бути порівнянні за ефективністю з прямими механічними вимірюваннями. Метод визначення мінімального об'єму для забезпечення герметизації може стати ефективною альтернативою в ситуаціях, де безпосереднє механічне вимірювання тиску неможливе.

Методи лікування ушкоджень, спричинених інтубацією, продовжують бути предметом наукових досліджень та дискусій. Медичний прогрес та інновації у процедурних та інструментальних підходах можуть змінити стандартні методи лікування, збільшивши роль консервативних та ендоскопічних методів. Ці методи показали високу ефективність і мінімальну кількість ускладнень, роблячи ендоскопічне стентування не лише альтернативою, але й переважним варіантом перед хірургічним втручанням в деяких випадках. Також сучасні хірургічні процедури стають менш інвазивними, що сприяє зниженню рівня ускладнень і смертності. Тому необхідні додаткові дослідження та обговорення рекомендацій по діагностиці та лікуванню пацієнтів з ятрогенними ушкодженнями трахеї.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Adamovych O, Bachun A, Rudnytska Kh, Adamovych O, Kotsarenko M, Gaba M. VARIABILITY OF TRACHEAL BIFURCATION ACCORDING TO MAGNETIC RESONANCE IMAGING. *Clin Anat Oper Surg*. 2022 Mar 24;21(1):52–6.
2. Fallatah SM, Al-metwalli RR, Alghamdi TM. Endotracheal tube cuff pressure: An overlooked risk. *Anaesth Pain Intensive Care*. 2021 Oct 2;25(1):88–97.
3. Moya Amorós JA, Lluveras AU. Tracheobronchial Anatomy. In: Díaz-Jiménez JP, Rodríguez AN, editors. *Interventions in Pulmonary Medicine* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2023 [cited 2024 Mar 6]. p. 3–14. Available from: https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-22610-6_1
4. Pantoja BTS, Silva ARM, Mondego-Oliveira R, Silva TS, Marques BC, Albuquerque RP, et al. Morphological study of larynx, trachea, and lungs of *Didelphis marsupialis* (LINNAEUS, 1758). *Vet World*. 2020;13(10):2142–9.
5. Zhang H, Han X, Zhang L. Tracheobronchial Histology, Anatomy, and Physiology. In: Han X, Wang C, editors. *Airway Stenting in Interventional Radiology* [Internet]. Singapore: Springer Singapore; 2019 [cited 2024 Mar 17]. p. 1–14. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-981-13-1619-7_1
6. Allen MS. Surgical anatomy of the trachea. *Chest Surg Clin N Am*. 2003 May;13(2):191–9.
7. Опанасенко МС, Леванда ЛІ, Кшановський ОЕ. ЯТРОГЕННІ ПОСТІНТУБАЦІЙНІ РОЗРИВИ ТРАХЕЇ. *Український Пульмонологічний Журнал*. 2016;1(3):76–82.
8. Dalal D, Dahiya K, Gupta K, Shoshiashvili V, Japharidze N, Shoshiashvili I, et al. *Current Topics in Medicine and Medical Research Vol. 4* [Internet]. Eltris DrKAI, editor. Book Publisher International (a part of SCIENCEDOMAIN International); 2020 [cited 2023 May 31]. Available from: <https://bp.bookpi.org/index.php/bpi/catalog/book/248>
9. Krassas A, Mallios D, Iliadis I, Agiannidou A, Boulia S, Iliadis K. Bronchoscopical Repair of Tracheal Laceration Using Conventional

- Instrumentation: A Novel Technique. *Ann Thorac Surg.* 2020 Feb;109(2):e141–3.
10. Chen W, Li J, Deng R, Chen C. Case report: tracheoesophageal fistula secondary to post- intubation tracheomegaly in a tetanus patient. *Ann Palliat Med.* 2021 Apr;10(4):4922–5.
 11. Kanlikama M, Celenk F, Gonuldas B, Gulsen S. Cervical Tracheal Resection and Anastomosis for Postintubation Tracheal Stenosis: *J Craniofac Surg.* 2018 Sep;29(6):e578–82.
 12. Paul M, Rastogi A, Chatterje A, Agarwal A, Mishra P, Khan A. Comparative evaluation of propofol and combination of propofol-dexmedetomidine in adjunct with topical airway anesthesia for rigid bronchoscopy: A randomized double-blinded prospective study. *Ann Card Anaesth.* 2021;24(1):49.
 13. Laughland F, Brand J, Round S, Khan K. Iatrogenic Tracheal Rupture During Cardiac Arrest. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2018 Jun;32(3):1403–6.
 14. Shinn JR, Kimura KS, Campbell BR, Sun Lowery A, Wootten CT, Garrett CG, et al. Incidence and Outcomes of Acute Laryngeal Injury After Prolonged Mechanical Ventilation*: *Crit Care Med.* 2019 Dec;47(12):1699–706.
 15. Shawky MA, Shawky MA, Zakaria Zakaria N. Incidence of Airway Complications in ICU. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg [Internet].* 2023 May 11 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s12070-023-03850-x>
 16. Etherington N, Larrigan S, Liu H, Wu M, Sullivan KJ, Jung J, et al. Measuring the teamwork performance of operating room teams: a systematic review of assessment tools and their measurement properties. *J Interprof Care.* 2021 Jan 2;35(1):37–45.
 17. Özgül MA, Gül Ş, ÇetiNkaya E, Turan D, Kirkil G, Uğur Chousein EG, et al. Our eight years experience in postintubation/posttracheostomy tracheal stenosis. *Tuberk Ve Toraks.* 2019 Mar 10;67(1):55–62.
 18. Tadié JM, Behm E, Lecuyer L, Benhmamed R, Hans S, Brasnu D, et al. Post-intubation laryngeal injuries and extubation failure: a fiberoptic endoscopic study.

- Intensive Care Med. 2010 Jun;36(6):991–8.
19. Cardillo G, Ricciardi S, Forcione AR, Carbone L, Carleo F, Di Martino M, et al. Post-intubation tracheal lacerations: Risk-stratification and treatment protocol according to morphological classification. *Front Surg*. 2022 Nov 23;9:1049126.
 20. Singh S, A Houston S, Wallace A. POSTINTUBATION TRACHEAL RUPTURE ASSOCIATED WITH TUBERCULOUS TRACHEITIS. *Chest*. 2022 Oct;162(4):A719.
 21. Krämer S, Broschewitz J, Kirsten H, Sell C, Eichfeld U, Struck MF. Prognostic Factors for Iatrogenic Tracheal Rupture: A Single-Center Retrospective Cohort Study. *J Clin Med*. 2020 Feb 1;9(2):382.
 22. Beyoglu MA, Sahin MF, Turkkan S, Yazicioglu A, Yekeler E. Complex Post-intubation Tracheal Stenosis in Covid-19 Patients. *Indian J Surg*. 2022 Aug;84(4):805–13.
 23. Mathisen D. Distal Tracheal Resection and Reconstruction. *Thorac Surg Clin*. 2018 May;28(2):199–210.
 24. Lowery AS, Malenke JA, Bolduan AJ, Shinn J, Wootten CT, Gelbard A. Early Intervention for the Treatment of Acute Laryngeal Injury After Intubation. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*. 2021 Mar 1;147(3):232.
 25. Vu HV, Huynh QK, Nguyen VDQ, Thi CP, Khoi NV. Effect of resected length in reconstructive surgery for tracheobronchial injury. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2019 Oct;27(8):652–60.
 26. Jung H, Durey A, Han S, Kim J. Tracheal rupture related to endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation. *J Emerg Trauma Shock*. 2019;12(1):58.
 27. Kuridze N, Etsadashvili K, Minadze E, Gonjilashvili N, Tsverava M. Iatrogenic tracheal rupture after extubation in the context of acute decompensated heart failure and cardiac device implantation: a case report. *Oxf Med Case Rep*. 2021 Jul 1;2021(7):omab051.
 28. Schaeffer C, Galas T, Teruzzi B, Sudrial J, Allou N, Martinet O. Iatrogenic Tracheal Rupture Caused by Emergency Intubation: A Case Report. *J Emerg*

- Med. 2018 Jul;55(1):e15–8.
29. Juneja P, Ghiassi K, Ramaswamy S, Kanoff J. IATROGENIC TRACHEAL RUPTURE POST ENDOTRACHEAL INTUBATION CAUSING PNEUMOMEDIASTINUM IN A DOWN SYNDROME PATIENT. *Chest*. 2020 Oct;158(4):A1920.
 30. Turner MA, Feeney M, Deeds LJJ. Improving Endotracheal Cuff Inflation Pressures: An Evidence-Based Project in a Military Medical Center. *AANA J*. 2020 Jun;88(3):203–8.
 31. Lee J, Lee H seung, Lee C hyeong. Iatrogenic tracheal laceration after endotracheal intubation: a case report focusing on diagnosis and anesthetic management. *Med Biol Sci Eng*. 2022 Jul 31;5(2):73–7.
 32. Cohen MR, Maxwell EA, Gallagher AE, Portela DA. Endoscopic application of fibrin glue may be a feasible method of treatment for postintubation tracheal lacerations in cats. *Am J Vet Res*. 2023 Feb 1;1–5.
 33. Diagnostic and therapeutic approach to post-traumatic tracheobronchial injuries. *Signa Vitae* [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://www.signavitae.com/articles/10.22514/sv.2021.015>
 34. Motono N, Mizoguchi T, Ishikawa M, Iwai S, Iijima Y, Uramoto H. Iatrogenic tracheal laceration due to rigid bronchoscopy treated by endoscopic stent placement: a case report. *J Surg Case Rep*. 2023 Oct 5;2023(10):rjad356.
 35. Grillo HC. Surgical treatment of postintubation tracheal injuries. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1979 Dec;78(6):860–75.
 36. Grewal HS, Dangayach NS, Ahmad U, Ghosh S, Gildea T, Mehta AC. Treatment of Tracheobronchial Injuries. *Chest*. 2019 Mar;155(3):595–604.
 37. Ulasan A, Sanli M, Isik AF, Celik İA, Tuncozgun B, Elbeyli L. Surgical treatment of postintubation tracheal stenosis: A retrospective 22-patient series from a single center. *Asian J Surg*. 2018 Jul;41(4):356–62.
 38. Hasan R, Islam MM, Hamid T, Halim MR, Ahmed KN, Rahman AH, et al. Postintubation Tracheal Rupture – A Case Report. *Bangladesh Crit Care J*. 2022 Oct 18;10(2):163–5.

39. Shen YC, Chen CH, Tu CY. Advances in Diagnostic Bronchoscopy. *Diagnostics*. 2021 Oct 26;11(11):1984.
40. Romano L, Pinto A, Acampora C, Gagliardi N, Fulciniti S, Silva M. Airway Injuries. In: Miele V, Trinci M, editors. *Diagnostic Imaging in Polytrauma Patients* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [cited 2023 Jun 7]. p. 157–70. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-62054-1_7
41. Sarıtaş TB, Bezen BA, Sıvacı RG. Anesthesiologist's Horror Case: Postintubation Tracheal Rupture. *J Anesthesiol Reanim Spec Soc* [Internet]. 2021 [cited 2023 May 31]; Available from: <https://www.jarss.org/jvi.aspx?un=JARSS-06025&volume=29&issue=2>
42. Karmali S, Rose P. Tracheal tube size in adults undergoing elective surgery – a narrative review. *Anaesthesia*. 2020 Nov;75(11):1529–39.
43. Lin CT, Rowe S, Chu LC, Recht H, Fishman EK. Cinematic rendering enhancements to virtual bronchoscopy: assessment of emergent tracheal pathology. *Emerg Radiol*. 2021 Feb;28(1):193–9.
44. Kampo S, Anabah TW, Bayor F, Buunaaim ADB, Hechava ME, Osman S, et al. Endotracheal tube cuff pressure measurement techniques: safety and reliability among patients undergoing general anaesthesia for cesarean section. A prospective randomized comparative study [Internet]. In Review; 2022 Mar [cited 2023 Jun 19]. Available from: <https://www.researchsquare.com/article/rs-1447705/v1>
45. Crivello A, Milazzo M, La Rosa D, Fiacchini G, Danti S, Guarracino F, et al. Experimental Assessment of Cuff Pressures on the Walls of a Trachea-Like Model Using Force Sensing Resistors: Insights for Patient Management in Intensive Care Unit Settings. *Sensors*. 2022 Jan 17;22(2):697.
46. Dadzie B, Bayor F, Doat AR, Kappiah J, Akayuure CA, Kampo S. Investigating factors that influence the practice of exclusive breastfeeding among mothers in a peri-urban general hospital in Ghana [Internet]. In Review; 2022 Jul [cited 2023 Jun 19]. Available from: <https://www.researchsquare.com/article/rs->

47. Dorris ER, Russell J, Murphy M. Post-intubation subglottic stenosis: aetiology at the cellular and molecular level. *Eur Respir Rev.* 2021 Mar 31;30(159):200218.
48. Kim DM, Shin MJ, Kim SD, Shin YB, Park HE, Kim YM, et al. What is the Adequate Cuff Volume for Tracheostomy Tube? A Pilot Cadaver Study. *Ann Rehabil Med.* 2020 Oct 31;44(5):402–8.
49. Onorati I, Bonnet N, Radu DM, Freynet O, Guiraudet P, Kambouchner M, et al. Case Report: Laryngotracheal Post-Intubation/Tracheostomy Stenosis in COVID-19 Patients. *Front Surg.* 2022 Apr 25;9:874077.
50. Wain JC. Postintubation tracheal stenosis. *Chest Surg Clin N Am.* 2003 May;13(2):231–46.
51. Mattioli F, Marchioni A, Andreani A, Cappiello G, Fermi M, Presutti L. Post-intubation tracheal stenosis in COVID-19 patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2021 Mar;278(3):847–8.
52. Sitepu JAK, Wibowo MD. Tracheal Stenosis: A Case Report. *Int J Sci Adv [Internet].* 2022 [cited 2023 Jun 7];3(1). Available from: <https://www.ijscia.com/?p=8774>
53. Freitas C, Martins N, Novais-Bastos H, Morais A, Fernandes G, Magalhães A. The role of interventional bronchoscopy in the management of post-intubation tracheal stenosis: A 20-year experience. *Pulmonology.* 2021 Jul;27(4):296–304.
54. Hofmeyr R, McGuire J, Park K, Proxenos M, Peer S, Lehmann M, et al. Prospective Observational Trial of a Nonocclusive Dilatation Balloon in the Management of Tracheal Stenosis. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2022 Aug;36(8):3008–14.
55. Lee D, Jeong BH, Kim H. Prognostic Factors for Tracheal Restenosis after Stent Removal in Patients with Post-Intubation and Post-Tracheostomy Tracheal Stenosis. *Yonsei Med J.* 2022;63(6):545.
56. Son HJ, Mun SJ, Koh JW, Kim TW, Ri HS, Kim HJ, et al. Delayed diagnosis of postintubation tracheal laceration in a patient who underwent septorhinoplasty

- including osteotomy - A case report -. *Anesth Pain Med.* 2018 Jan 31;13(1):102–6.
57. Parshin VD, Vyzhigina MA, Eremenko AA, Nikoda VV, Rusakov MA, Vishnevskaja GA, et al. [Iatrogenic trachea and esophagus injury in intensive care practice: the surgeon's view"]. *Anesteziol Reanimatol.* 2013;(2):50–4.
58. Chang E, Wu L, Masters J, Lu J, Zhou S, Zhao W, et al. Iatrogenic subglottic tracheal stenosis after tracheostomy and endotracheal intubation: A cohort observational study of more severity in keloid phenotype. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019 Aug;63(7):905–12.
59. Sinha R, Correia R, Gardner D, Grau-Roma L, De Brot S, Hardman J, et al. Mucosal injury following short-term tracheal intubation: A novel animal model and composite tracheal injury score: Tracheal intubation injury scoring in pigs. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2018 Aug;3(4):257–62.
60. Huston MN, Naunheim MR. Acute Laryngeal Injury After Intubation—Does Wait and See Mean Wait and Scar? *JAMA Otolaryngol Neck Surg.* 2021 Mar 1;147(3):237.
61. Fatih Sezer H, Eliçora A. How long should it be insisted on rigid bronchoscopy in the treatment of postintubation tracheal stenosis in accordance with different stenosis classification systems? *Turk J Thorac Cardiovasc Surg.* 2022 Jul 1;30(3):410–20.
62. Sheikh S, Baig MA. Iatrogenic Post-intubation Tracheal Injury: An Emergency Room Presentation in a 17-year-old Girl. *Eurasian J Emerg Med.* 2019 Jun 20;18(2):112–4.
63. Struck MF, Ondruschka B, Beilicke A, Krämer S. Iatrogenic Tracheal Rupture Related to Prehospital Emergency Intubation in Adults: A 15-Year Single Center Experience. *Prehospital Disaster Med.* 2022 Feb;37(1):57–64.
64. Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine, Krivchenya DU, Rudenko EO, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine, Dubrovin AG, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine. Minimally invasive treatment of airway stenoses in children. *Perinatol Pediatr.* 2018 Mar

- 29;(1(73)):118–24.
65. Cataneo DC, Ximenes AMG, Cataneo AJM. Mitomycin C in the endoscopic treatment of tracheal stenosis: a prospective cohort study. *J Bras Pneumol*. 2018 Dec;44(6):486–90.
 66. Boutros J, Marquette CH, Ichai C, Leroy S, Benzaquen J. Multidisciplinary management of tracheobronchial injury. *Eur Respir Rev*. 2022 Mar 31;31(163):210126.
 67. Brascia D, De Palma A, Cantatore MG, Pizzuto O, Signore F, Sampietro D, et al. Not only acute respiratory failure: COVID-19 and the post-intubation/tracheostomy upper airways lesions†. *Front Surg*. 2023 Mar 31;10:1150254.
 68. Graduation Student of Medical Sciences of the Faculdade de Medicina da Universidade Cidade de São Paulo (FM-UNICID), Brazil, Agostini Camargo GD, Abreu Afrange AD, Graduation Student of Medical Sciences of the Faculdade de Medicina da Universidade Cidade de São Paulo (FM-UNICID), Brazil, Almeida Gentile JKD, Gastrosurgeon and General Surgeon. Specialist Titular Member of the Brazilian College of Digestive Surgery (TCBCD). Professor of Surgical of the Faculdade de Medicina da Universidade Cidade de São Paulo (FM-UNICID), Brazil. Pneumoperitoneum Secondary to Pneumothorax Post-Intubation in a Patient with Difficult Airway. *J Gastroenterol Hepatol Rep*. 2021 Dec 31;1–3.
 69. Kuridze N, Etsadashvili K, Minadze E, Gonjilashvili N, Tsverava M. Iatrogenic tracheal rupture after extubation in the context of acute decompensated heart failure and cardiac device implantation: a case report. *Oxf Med Case Rep*. 2021 Jul 1;2021(7):omab051.
 70. Conti M, Pougeoise M, Wurtz A, Porte H, Fourrier F, Ramon P, et al. Management of Postintubation Tracheobronchial Ruptures. *Chest*. 2006 Aug;130(2):412–8.
 71. Cardillo G, Ricciardi S, Forcione AR, Carbone L, Carleo F, Di Martino M, et al. Post-intubation tracheal lacerations: Risk-stratification and treatment protocol according to morphological classification. *Front Surg*. 2022 Nov 23;9:1049126.

72. Hidehiko Y, Kohno M, Nito M, Aruga N, Oiwa K, Nakagawa T, et al. Postintubation tracheal stenosis 35 years after neonatal resuscitation. *Int J Surg Case Rep.* 2020;71:378–81.
73. Stratakos G, Anagnostopoulos N, Alsaggaf R, Koukaki E, Bakiri K, Emmanouil P, et al. COVID-19 Patients Presenting with Post-Intubation Upper Airway Complications: A Parallel Epidemic? *J Clin Med.* 2022 Mar 20;11(6):1719.
74. Tapias LF, Lanuti M, Wright CD, Hron TA, Ly A, Mathisen DJ, et al. COVID-19-related Post-intubation Tracheal Stenosis: Early Experience With Surgical Treatment. *Ann Surg.* 2022 Jan;275(1):e271–3.
75. Sakihama N, Okada R, Takahashi N, Fushimi N, Ooka T, Kawabe H, et al. Post-intubation laryngeal injury after COVID-19 treatment causing dyspnea: A report of six cases. *Auris Nasus Larynx.* 2022 Dec;S0385814622002358.
76. Piazza C, Lancini D, Filauro M, Sampieri C, Bosio P, Zigliani G, et al. Post-COVID-19 airway stenosis treated by tracheal resection and anastomosis: a bicentric experience. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2022 Apr;42(2):99–105.
77. Conforti S, Licchetta G, Reda M, Astaneh A, Pogliani L, Fieschi S, et al. Management of COVID-19-related post-intubation tracheal stenosis. *Front Surg.* 2023 Mar 9;10:1129803.
78. Shrestha S, Shin Y, Sostin OV, Pinkhasova P, Chronakos J. Upper Airway Complications in COVID-19: A Case Series. *Cureus [Internet].* 2023 Apr 5 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://www.cureus.com/articles/107633-upper-airway-complications-in-covid-19-a-case-series>
79. Bassi M, Anile M, Pecoraro Y, Ruberto F, Martelli S, Piazzolla M, et al. Bedside Transcervical-Transtracheal Postintubation Injury Repair in a COVID-19 Patient. *Ann Thorac Surg.* 2020 Nov;110(5):e417–9.
80. Mangel TP, Madden BP. Acute tracheal tear – A potential cause of spontaneous pneumomediastinum in patients with COVID-19. *Monaldi Arch Chest Dis [Internet].* 2021 Apr 15 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://www.monaldi-archives.org/index.php/macd/article/view/1852>

81. the STYLETO trial group, Jaber S, Rollé A, Godet T, Terzi N, Riu B, et al. Effect of the use of an endotracheal tube and stylet versus an endotracheal tube alone on first-attempt intubation success: a multicentre, randomised clinical trial in 999 patients. *Intensive Care Med* [Internet]. 2021 May 25 [cited 2023 Jun 19]; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s00134-021-06417-y>
82. Mohylnyk AI, Kravtsiv MI, Liakhovskyy VI. Алгоритм анестезіологічного забезпечення за непередбаченої «важкої» ларингоскопії в плановій хірургії. *Klin Khirurgiia*. 2017 Sep 7;(8):62.
83. Sylvanus K, Thomas Winsum A, Fidelis B, Alexis Db B, Maite Esquijarosa H, Salia O, et al. Endotracheal Tube Cuff Pressure Measurement Techniques: Safety and Reliability: A Randomized Comparative Study. *J Clin Anesth Pain Manag* [Internet]. 2022 Dec 31 [cited 2023 Jun 19];6(2). Available from: <https://scholars.direct/Articles/anesthesia-and-pain-management/jcapm-6-062.php?jid=anesthesia-and-pain-management>
84. Souza BSSD, Souza TAG, Santos CFD, Chicayban PB, Chicayban LM. Minimal occlusive volume is a safe and effective method for adjusting cuff pressure in mechanically ventilated patients. *Fisioter E Pesqui*. 2022 Oct;29(4):380–5.
85. П. П. Сокур, В. Г. Гетьман, Б. О. Кравчук, Б. Б. Серденко. ТРАХЕОБРОНХІАЛЬНІ УШКОДЖЕННЯ ПРИ ЗАКРИТІЙ ТОРАКАЛЬНІЙ ТРАВМІ У ДІТЕЙ. *KHARKIV Surg Sch*. 2015;5(74):125–7.
86. Kanlikama M, Celenk F, Gonuldas B, Gulsen S. Cervical Tracheal Resection and Anastomosis for Postintubation Tracheal Stenosis: *J Craniofac Surg*. 2018 Sep;29(6):e578–82.
87. Nikolovski N, Kopacheva-Barsova G, Pejkovska A. Laryngotracheal Stenosis: A Retrospective Analysis of Their Aetiology, Diagnose and Treatment. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019 May 26;7(10):1649–56.
88. Passera E, Orlandi R, Calderoni M, Cassina EM, Cioffi U, Guttadauro A, et al. Post-intubation iatrogenic tracheobronchial injuries: The state of art. *Front Surg*. 2023 Feb 13;10:1125997.

89. Kitami A. [Tracheobronchial Injury]. *Kyobu Geka*. 2022 Sep;75(10):841–5.
90. Oo S, Chia RHX, Li Y, Sampath HK, Ang SBL, Paranjothy S, et al. Bronchial rupture following endobronchial blocker placement: a case report of a rare, unfortunate complication. *BMC Anesthesiol*. 2021 Dec;21(1):208.
91. Jougon J, Ballester M, Choukroun E, Dubrez J, Reboul G, Velly JF. Conservative treatment for postintubation tracheobronchial rupture. *Ann Thorac Surg*. 2000 Jan;69(1):216–20.
92. Takahashi T, Kaneko T, Hane A, Ito A, Kawamoto E, Suzumura M, et al. Conservative medical management combined with follow-up multidetector computed tomography of tracheobronchial injury caused by penetrating injuries: A case report. *Trauma Case Rep*. 2022 Dec;42:100710.
93. Romic M, Becejac T, Grbavac D, Romic R, Romic I. Conservative treatment of postintubation tracheal laceration with pneumomediastinum, bilateral pneumothorax, and massive subcutaneous emphysema. *Lung India*. 2021;38(1):77.
94. Salloum S, Tawk M, Nehme R, Siblani D, Haddad Y. Case series of endoscopic treatment of post-intubation tracheal stenosis. *Respir Med Case Rep*. 2022;35:101561.
95. Surgical Treatment of Benign Tracheal Stenosis: Analysis of Twenty-One Patients. *Gazi Med J [Internet]*. 2019 Apr 1 [cited 2023 Jun 7];30(2). Available from: <http://medicaljournal.gazi.edu.tr/index.php/GMJ/article/view/1686>
96. Сніжко С.С., Шевчук І.М., Шевчук М.Г. Хірургічне лікування хворих з гострим медіастинітом. *Галицький Медичний Вісник*. 2012;19(3):137–8.
97. Amore D, Casazza D, Caterino U, Rispoli M, Muto E, Saglia A, et al. Post-Intubation Tracheoesophageal Fistula: Surgical Management by Complete Cervical Tracheal Transection. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2022;cr.22-00134.
98. Krämer S, Broschewitz J, Kirsten H, Sell C, Eichfeld U, Struck MF. Prognostic Factors for Iatrogenic Tracheal Rupture: A Single-Center Retrospective Cohort Study. *J Clin Med*. 2020 Feb 1;9(2):382.
99. Diagnostic and therapeutic approach to post-traumatic tracheobronchial

- injuries. *Signa Vitae* [Internet]. 2021 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://www.signavitae.com/articles/10.22514/sv.2021.015>
100. Sheikh S, Baig MA. Iatrogenic Post-intubation Tracheal Injury: An Emergency Room Presentation in a 17-year-old Girl. *Eurasian J Emerg Med*. 2019 Jun 20;18(2):112–4.
 101. the STYLETO trial group, Jaber S, Rollé A, Godet T, Terzi N, Riu B, et al. Effect of the use of an endotracheal tube and stylet versus an endotracheal tube alone on first-attempt intubation success: a multicentre, randomised clinical trial in 999 patients. *Intensive Care Med* [Internet]. 2021 May 25 [cited 2023 Jun 19]; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s00134-021-06417-y>
 102. Fernando U, Ramitha Jayasundara JM. Extremely rare case of anterior tracheal rupture following endotracheal intubation. *Sri Lankan J Anaesthesiol*. 2019 Jul 25;27(2):160.
 103. Schaeffer C, Galas T, Teruzzi B, Sudrial J, Allou N, Martinet O. Iatrogenic Tracheal Rupture Caused by Emergency Intubation: A Case Report. *J Emerg Med*. 2018 Jul;55(1):e15–8.
 104. Lowery AS, Malenke JA, Bolduan AJ, Shinn J, Wootten CT, Gelbard A. Early Intervention for the Treatment of Acute Laryngeal Injury After Intubation. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*. 2021 Mar 1;147(3):232.
 105. Hasan R, Islam MM, Hamid T, Halim MR, Ahmed KN, Rahman AH, et al. Postintubation Tracheal Rupture – A Case Report. *Bangladesh Crit Care J*. 2022 Oct 18;10(2):163–5.
 106. Sarıtaş TB, Bezen BA, Sıvacı RG. Anesthesiologist’s Horror Case: Postintubation Tracheal Rupture. *J Anesthesiol Reanim Spec Soc* [Internet]. 2021 [cited 2023 May 31]; Available from: <https://www.jarss.org/jvi.aspx?un=JARSS-06025&volume=29&issue=2>
 107. Passera E, Orlandi R, Calderoni M, Cassina EM, Cioffi U, Guttadauro A, et al. Post-intubation iatrogenic tracheobronchial injuries: The state of art. *Front Surg*. 2023 Feb 13;10:1125997.
 108. Tadié JM, Behm E, Lecuyer L, Benhmamed R, Hans S, Brasnu D, et al. Post-

- intubation laryngeal injuries and extubation failure: a fiberoptic endoscopic study. *Intensive Care Med.* 2010 Jun;36(6):991–8.
109. Cardillo G, Ricciardi S, Forcione AR, Carbone L, Carleo F, Di Martino M, et al. Post-intubation tracheal lacerations: Risk-stratification and treatment protocol according to morphological classification. *Front Surg.* 2022 Nov 23;9:1049126.
110. Bi Y, Yu Z, Ren J, Han X, Wu G. Metallic stent insertion and removal for post-tracheotomy and post-intubation tracheal stenosis. *Radiol Med (Torino).* 2019 Mar;124(3):191–8.
111. Mangel TP, Madden BP. Acute tracheal tear – A potential cause of spontaneous pneumomediastinum in patients with COVID-19. *Monaldi Arch Chest Dis* [Internet]. 2021 Apr 15 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://www.monaldi-archives.org/index.php/macd/article/view/1852>
112. Jorge N, Costa L, Teixeira S, Silva-Pinto A, Paiva J. Tracheal Rupture After Trauma: A Successful Conservative Management. *Cureus* [Internet]. 2022 Dec 19 [cited 2023 Jun 7]; Available from: <https://www.cureus.com/articles/129150-tracheal-rupture-after-trauma-a-successful-conservative-management>
113. Grewal HS, Dangayach NS, Ahmad U, Ghosh S, Gildea T, Mehta AC. Treatment of Tracheobronchial Injuries. *Chest.* 2019 Mar;155(3):595–604.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. «Діагностично-лікувальна модель постінтубаційних ушкоджень трахеї». В Садовий, Ю Кучин, К Белка, Д Сажин. Український науково-медичний молодіжний журнал 141 (3), 2023:61-69.
[https://doi.org/10.32345/USMYJ.3\(141\).2023.61-69](https://doi.org/10.32345/USMYJ.3(141).2023.61-69)
2. Садовий Валентин. «Порівняння методів немеханічного вимірювання тиску в манжеті ендотрахеальної трубки» Біль, знеболення та інтенсивна терапія №1 (106), 2024:123-135.
3. Садовий Валентин, Кучин Юрій, Белка Катерина, Сажин Дмитро, Соколова Любов. «Оцінка впливу факторів ризику ятрогенних ушкоджень трахеї на розвиток постінтубаційних ускладнень». Art of Medicine №1 (29), 2024: 149-156 DOI: [10.21802/artm.2024.1.29.149](https://doi.org/10.21802/artm.2024.1.29.149)
4. Садовий Валентин, Кучин Юрій. «Вибір методу седації при проведенні діагностичної бронхоскопії». В Садовий, Ю Кучин. Український науково-медичний молодіжний журнал 143 (1), 2024:34-49.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дослідження:

1. «Ятрогенні ушкодження трахеї: страшний сон анестезіолога». Матеріали конференції КАН 2023, м. Київ, Україна.
2. «Comparison of prepressure measuring methods in the cuff of the intubation tube». E-Poster presentation session, WCA 2024, Singapore.