



САДОВИЙ В.Ю

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ НЕМЕХАНІЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ В МАНЖЕТІ ЕНДОТРАХЕАЛЬНОЇ ТРУБКИ

Кафедра хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО НМУ імені О.О. Богомольця,  
м. Київ, Україна

### РЕЗЮМЕ

Травми трахеї є рідкістю, але становлять значний ризик в анестезіології та інтенсивній терапії. Ці пошкодження в основному виникають внаслідок прямого механічного впливу, часто пов'язаного з надмірним тиском з боку манжети інтубаційної трубки. Це дослідження спрямоване на оцінку фактичного тиску в манжеті у інтубованих пацієнтів під час операцій, вивчення того, як ці вимірювання співвідносяться з суб'єктивними оцінками анестезіологів, і порівняння різних методів накачування манжети.

**Методи.** Дослідження включало 90 пацієнтів, розділених на дві групи, по 45 осіб у кожній. Для експериментальної групи манжету накачували за допомогою методу «мінімального витоку», тоді як для контрольної групи використовували пальпацію для вимірювання необхідного тиску. Фактичний тиск в манжеті для обох груп визначали за допомогою механічного манометра, підключеного до манжети. **Результати.** Середній тиск в експериментальній групі становив  $30,7 \pm 4,4$  см  $H_2O$ , значно нижче, ніж у контрольній групі –  $67,4 \pm 23,5$  см  $H_2O$ . У контрольній групі лише 2 пацієнти були в безпечному діапазоні тиску, порівняно з 23 в експериментальній групі. **Висновки.** Метод пальпації для оцінки тиску в манжеті у інтубованих пацієнтів часто не відображає фактичних значень тиску. Дослідження підкреслює ефективність техніки мінімального об'єму оклюзії як немеханічного методу для більш точного вимірювання та контролю тиску в манжеті.

**Ключові слова:** пошкодження трахеї, інтубація, безпека операційної, техніка мінімального об'єму оклюзії.

### ВСТУП

Постінтубаційний розрив трахеї (ПРТ) є не дуже поширеним ускладненням, але досить загрозливим і потенційно летальним [2, 3]. Частота постінтубаційних розривів трахеї, як і рівень смертності, варіює в залежності від авторів дослідження і, на жаль, не має системної інформаційної бази чи великих метааналізів про частоту таких випадків. За різними даними, частота цього ускладнення може коливатися від 1:20 000 до 1:75 000 при інтубації однопросвітною трубкою [4]. Найчастіше ці дані засновані або на дослідженнях, проведених в 70-х роках минулого століття, або на окремих описах випадків. Найбільш частими клінічними проявами можна вважати підшкірну емфізему, пневмомедіа-

стинум і одно- або двобічний пневмоторакс. Іноді ПРТ може відбуватися без значних видимих проявів, що, в свою чергу, ускладнює діагностику [5].

Фактори ризику цього ускладнення можна розділити на анатомічні та механічні. До анатомічних факторів різні автори відносять вроджені аномалії трахеї; слабкість перетинчастої частини трахеї; ХОЗЛ та інші запальні ураження трахео-бронхіального дерева; захворювання, що змінюють положення трахеї (збільшення лімфатичних вузлів середостіння або пухлина; прийом кортикостероїдів; похилий вік; жіноча стать; низький зріст. До анатомічних факторів також окремо відносять незадовільні результати фізикального обстеження дихальних шляхів. Мнемонічна шкала LEMON

Для кореспонденції: САДОВИЙ ВАЛЕНТИН ЮРІЙОВИЧ,  
м. Київ, пр. Т. Шевченка, 13; тел. +38(050)2136399,  
e-mail: sadovyiv@gmail.com ORCID: 0009-0003-1993-0291

Таблиця 1. Причини ушкоджень трахеї з описом захворюваності.

Причини ушкодження трахеї	Частота (%)	Контекст
Травматичне трахеобронхіальне ушкодження (ЧМТ), включаючи тупу або проникаючу травму.	0.4 %	Зустрічається у пацієнтів з політравмою у 84,0 % внаслідок тупої травми. Летальність хворих на ТТУТ була вищою (24,6 %) порівняно з контролем (13,7 %).
Розрив трахеї у гемодинамічно стабільних пацієнтів.	Немає даних	Пропонується консервативне лікування у випадках без ознак гострих ускладнень, підкреслюючи низьку захворюваність через високу смертність до прибуття в лікарню.
Постінтубаційні ушкодження та розриви трахеї.	Немає даних	Часто включають поздовжні розриви; ППТІ Часто супроводжують важкі травми. Рання хірургічна корекція показана для повного, важкого розриву трахеї; консервативне лікування розглядається у стабільних пацієнтів.
Ятрогенні ушкодження трахеї.	0.005-0.2 %	Для двопросвітної або екстреної однопросвітної інтубації та до 0,7 % після черезшкірної трахеостомії. Ендоскопічне лікування, включаючи стентування дихальних шляхів, стало ефективною альтернативою хірургічному лікуванню.
Травми трахеї, пов'язані з інтубацією COVID-19.	Немає даних	Висока частота ураження трахеї на всю товщину та/або трахеостравохідних норниць у пацієнтів із COVID-19 після тривалої інвазивної штучної вентиляції легенів, що свідчить про необхідність профілактичних заходів та швидкого розпізнавання, щоб уникнути небезпечних для життя ускладнень.
Пошкодження пов'язані з трахеостомією.	10.6 %	Впровадження стандартизованого протоколу догляду за трахеостомією значно знизило показники TRPI з 10,6 % до 0 % після протоколу, підкреслюючи ефективність міждисциплінарних протоколів догляду за трахеостомією після операції.

є більш прогностично цінною в цьому сенсі [4, 6]. Механічні фактори включають багаторазові спроби інтубації; недосвідченість анестезіолога; провідник, що виступає з кінчика трубки; надмірне надування манжети; неправильне розташування кінчика трубки; зміна позиції трубки без здуття манжети; невідповідного розміру трубки; сильного кашлю та рухів голови та шиї під час інтубації, які найчастіше пов'язані з недостатньою релаксацією пацієнтів [7, 8].

Високий тиск в манжеті може викликати не тільки такий загрозливий стан, як ПРТ, але й інші ускладнення: кашель, ішемію трахеї, біль у горлі, рецидивний параліч гортанного нерву, стеноз трахеї [9]. З іншого боку, недостатній тиск в манжеті може призвести до дислокації трубки, неефективної вентиляції, а також мікроаспірації виділень з ротоглотки. Тому оптимальним тиском в манжеті інтубаційної трубки вважається тиск від 20 см H<sub>2</sub>O до 30 см H<sub>2</sub>O. Цей діапазон забезпечує надійний захист від аспірації, фіксації ЕТТ і значно не підвищує ризик ятрогенного пошкодження трахеї [9–11].

Існує багато методів вимірювання тиску в манжеті ЕТТ. Мабуть, найпоширенішою технікою є пальпація контрольної манжети, але вона, в першу чергу, базується на суб'єктивних відчуттях анестезіолога і не завжди відображає реальний тиск

у манжеті [12]. Ця методика ненадійна порівняно з механічними методами вимірювання тиску. Використання цифрових або аналогових манометрів дозволяє точніше вимірювати тиск в манжеті, тим самим запобігаючи надмірному та недостатньому надуванню манжети. Незважаючи на це, у країнах, що розвиваються, можливості контролю тиску в манжеті обмежені. Лише 3,1 % (6/196) медичних працівників, залучених до опитування, визнали, що коли-небудь використовували манометр для трахеальної манжети, тоді як 31,1 % знали рекомендований тиск у трахеальній манжеті. Загальнодержавне телефонне опитування студентів факультету анестезіології показало, що трахеальний манжетний манометр не доступний і ніколи не використовувався в жодній із 13 опитуваних лікарень третинного рівня. «Пілотний метод пальпації балону» і «фіксований об'єм повітря зі шприца» були найбільш часто використовуваними методами оцінки тиску в манжеті медичними працівниками, 64,3 % і 28,1 % опитуваних відповідно [13, 15]. Особливої уваги заслуговують методи накачування манжети та контролю тиску, які не вимагають додаткового обладнання чи витратних матеріалів, але набагато більше корелюють із рекомендованим діапазоном тиску. До таких методів відноситься методика «мінімального витоку» або «мінімального оклюзійного об'є-

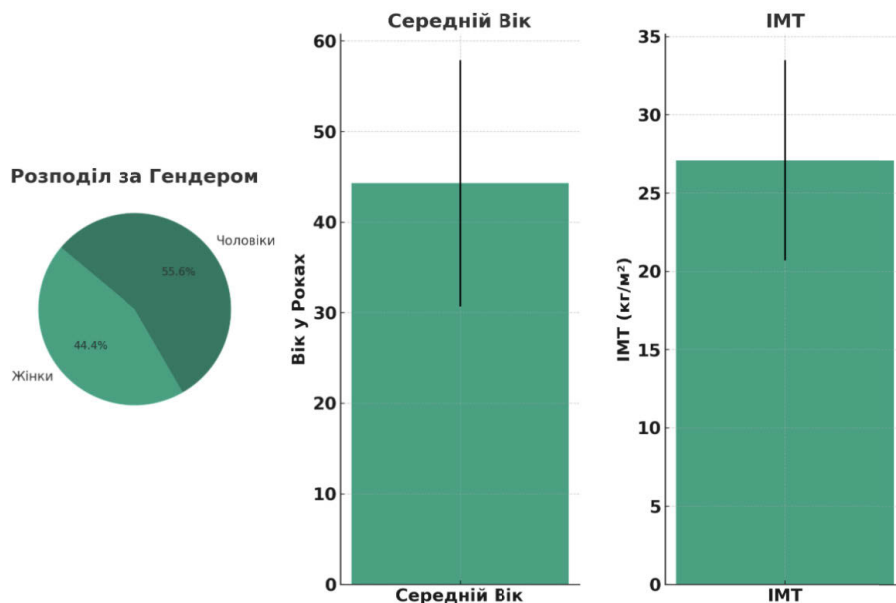


Рис. 1. Характеристика вибірки дослідження.

му». Його суть полягає в поступовому накачуванні манжети тим об'ємом повітря, який мінімально необхідний для досягнення герметичності контуру. Дана методика дозволяє домогтися прийнятних результатів тиску без використання вимірювальних приладів, тим самим істотно зменшивши кількість можливих ускладнень. При цьому дана методика не призводить до подорожчання анестезії, що особливо актуально для країн, що розвиваються.

### МЕТА РОБОТИ

Вимірювання тиску в манжеті є ключовим кроком для запобігання проблемам, пов'язаним з інтубацією трахеї. Це дослідження було спрямоване на аналіз реального тиску в манжеті у пацієнтів після хірургічних втручань, використовуючи для цього аналоговий манометр. Окрім того, додатково метою було порівняти ефективність різних методів надування манжети інтубаційної трубки.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

На базі гінекологічного відділення 5 пологового будинку м. Києва та Національного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» обстежено 90 пацієнтів, розподілених на 2 групи. Пацієнтам виконувалися неургентні оперативні втручання, переважно на органах черевної порожнини та малого тазу. Критеріями виключення були важкі дихальні шляхи в анамнезі або багаторазові спроби інтубації, ІМТ понад 35 кг/м<sup>2</sup>. Методом знеболювання у всіх випадках був загальний низькопоточковий інгаля-

ційний наркоз. Використовували ендотрахеальну трубку розміром 8,0 для чоловіків і 7,0 для жінок. В обох групах після стандартної індукції анестезії та ШВЛ проводили інтубацію трахеї. Роздування манжети в основній групі (n=45) проводили за методом «мінімального виток», після чого реєстрували показники тиску манометром. У контрольній групі (n=45) анестезіолог надув манжету та оцінив пальпацію балона манжети. Після того, як тиск отримав задовільну суб'єктивну оцінку, тиск було виміряно за допомогою манометра, підключеного до манжети. Вимірювання проводили в см водяного стовпа протягом декількох хвилин після інтубації. Письмова інформована згода була отримана від усіх пацієнтів. Дослідження відповідало всім вимогам Гельсінкської декларації.

Категоріальні змінні представлені як середнє і стандартне відхилення, тоді як безперервні змінні представлені як медіана з мінімально-максимальним рівнями. Категоріальні дані аналізуються за допомогою точного критерію Фішера. Обидві групи були розділені на «нормальний» або «перевищений» рівні тиску, у яких розраховується відношення шансів (OR), його стандартна помилка та 95 % довірчий інтервал (CI).  $P < 0,05$  вважали статистично значущим.

### РЕЗУЛЬТАТИ

У дослідженні взяли участь 40 жінок і 50 чоловіків із середнім віком  $44,3 \pm 13,6$ . Значення  $t$  для розміру вибірки становить 10,42574 ( $p < 0,00001$ ). ІМТ становив  $27,1 \pm 6,4$  кг/м<sup>2</sup> ( $P < 0,0001$ ).



Рис. 1. Характеристика вибірки дослідження.

Середній тиск у досліджуваній групі, де роздували манжету методом мінімального оклюзійного об'єму, становив  $30,7 \pm 4,4$  см вод. ст. Тоді як у контрольній групі цей показник становив  $67,4 \pm 23,5$  см вод. ст. ( $p < 0,00001$ ). При цьому критерієм ступеня роздування манжети в контрольній групі була саме суб'єктивна оцінка тиску анестезіологом, і в усіх випадках ця оцінка була задовільною. Але насправді цей показник у декілька разів перевищував рекомендовані норми. Максимальний тиск, зареєстрований у контрольній групі, становив 109 см  $H_2O$ .

Випадків недостатнього тиску (менше 20 см  $H_2O$ ), 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.

## ОБГОВОРЕННЯ

Підтримання безпечного діапазону тиску в манжеті ЕТТ, безумовно, є важливим фактором у запобіганні розвитку різноманітних ускладнень інтубації трахеї [11]. Але певні фактори перешкоджають застосуванню такого підходу в повсякденній практиці. Сільванус Кампо та ін. [12] зазначають у своєму дослідженні, що манжети, що тиснуть, залишаються недоступними для багатьох анестезіологів, особливо в країнах із середнім і низьким рівнем доходу. Не зважаючи на те, що на ринку вже давно представлена велика кількість цифрових і аналого-

вих пристроїв, в умовах обмеженої кількості ресурсів вони доступні не всім. За словами авторів, вони не помітили значної різниці тиску в манжеті між пальпацією та вимірюванням манометром, у середньому різниця була вище 10 см  $H_2O$ . Але кількість ускладнень у групі емпіричного визначення досягла 86 % проти 0,8 % у групі з контрольованим тиском. У наших дослідженнях у деяких випадках тиск був у 4,5 рази вищий за рекомендований. Такі розбіжності можуть бути зумовлені різними підходами у підготовці анестезіологів, недостатнім висвітленням проблеми тощо.

У свою чергу, результати роботи підлягають подальшому обговоренню, адже дослідження проводилося на базі акушерського відділення Tamale Teaching Hospital. У матеріалах і методах зазначено, що дослідження проведене за участю 389 жінок, яким була протипоказана спинномозкова анестезія або була невдала нейроаксіальна блокада. Ми вважаємо, що такі фактори, як швидка послідовна індукція, а також обставини, які були протипоказаннями до спінальної анестезії, могли загалом збільшити ризик постінтубаційних ускладнень.

Як інший приклад, у дослідженні Souza et al. [10], де проаналізовано 25 випадків інтубації та тривалої ШВЛ у пацієнтів у відділенні інтенсивної терапії. Вибірка пацієнтів була більш однорідною. Але автори порівняли децю інші методи вимірювання: ручне вимірювання манометром з методикою «мінімально необхідного об'єму». Цей метод полягає у введенні найменшого необхідного об'єму повітря або рідини, необхідного для запобігання



витоку в контурі. Це не завжди співвідноситься з безпечним інтервалом 20-30 см H<sub>2</sub>O, хоча, безумовно, також є «емпіричним» за своєю суттю. Але, як було зазначено в результатах нашої роботи, техніка мінімального оклюзійного об'єму має однозначно набагато більшу кореляцію з безпечним інтервалом тиску, ніж інші методики, які покладаються на суб'єктивну оцінку спеціаліста. Такі альтернативи заслуговують на увагу, особливо як перехідний етап впровадження безпечних стандартів анестезії в країнах з низьким і середнім рівнем доходу.

Не зважаючи на відмінності у вищевказаних дослідженнях, їх результати передбачувано схожі: використання вимірювальних приладів для визначення тиску в манжеті інтубаційної трубки призводить до зменшення постінтубаційних ускладнень. Але, на жаль, незважаючи на відомі проблеми, регулярне вимірювання тиску в манжеті не є рутинним і проводиться час від часу.

Актуальність методів вимірювання тиску в манжеті інтубаційних трубок тільки зростає на тлі поширення різноманітних моделей інтубаційних трубок на ринку медичного обладнання. Вони можуть відрізнятися за структурою, розмірами, матеріалами, способами застосування тощо.

Застосування таких апаратів жодним чином не скасовує контроль тиску в попереку, а навпаки, підкреслює його важливість. Різноманітні дослідження доводять, що як використання надмірного тиску, створюваного звичайними манжетами, так і наднизького тиску в манжетах малого об'єму, може призвести до різноманітних ускладнень. Наприклад, в свою чергу останні мають підвищений ризик розвитку аспіраційної пневмонії.

Не зважаючи на те, що попередні дослідження відзначають незаперечну перевагу Low-Volume Low-Pressure Cuff, новіші огляди ставлять під сумнів такі тези та вимагають подальшого обговорення. Стаття Коельо та ін. [14] містить вичерпний нарративний огляд використання дихальних шляхів і респіраторних пристроїв для профілактики пневмонії, пов'язаної з апаратною вентиляцією легенів (ВАП), що викликає значне занепокоєння у відділеннях інтенсивної терапії через зв'язок із збільшенням захворюваності, смертності, тривалості ШВЛ, і споживання антибіотиків. В огляді підкреслюється критична роль спеціалізованих штучних дихальних шляхів і пристроїв у зниженні частоти ВАП. Однак він також визнає дискусію щодо ефективності цих втручань та їхніх потенційних несприятливих наслідків. Ця дискусія підкреслює багатогранність профілактики ВАП, наголошуючи на важливості збалансованого підходу, який враховує як переваги, так і обмеження технологічних рішень у контексті комплексних стратегій догляду за пацієнтами.

## ВИСНОВКИ

Фактичний тиск в манжеті, виміряний аналого-виметром у інтубованих пацієнтів, значно відрізняється від суб'єктивної оцінки анестезіологів. Використання емпіричних методів визначення тиску, таких як пальпація балона манжети ЕТТ, є ненадійним методом, який за своєю ефективністю не корелює з механічним вимірюванням. Техніка мінімального об'єму оклюзії може бути життєздатною альтернативою у випадках, коли механічне вимірювання тиску в манжеті недоступне.

1. Фінансова та спонсорська допомога: немає.
2. Конфлікти інтересів: немає.

Фінансування / Funding

Немає джерела фінансування / There is no funding source.

Конфлікт інтересів / Conflicts of interest

Усі автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів /

All authors report no conflict of interest

Етичне схвалення / Ethical approval

Це дослідження було проведено відповідно до Гельсінської декларації та затверджено місцевим комітетом з етики досліджень / This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the local research ethics committee.

Надійшла до редакції / Received: 18.02.2024

Після доопрацювання / Revised: 28.02.2024

Прийнято до друку / Accepted: 29.02.2024

Опубліковано онлайн / Published online: 30.03.2024

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yu, Y., Sambol, J. T., & Shakir, H. A. (2021). Conservative Management of Large Tracheal Perforation due to Traumatic Intubation. *American Surgeon*, 02 December, 000313482110610.
2. Jesani, S., Elkatawy, S., Ayad, S., El-Feki, I., Chapla, R., Patel, H., et al. (2021). A Rare Yet Morbid Complication of Endotracheal Intubation: Tracheal Rupture. *European Journal of Case Reports in Internal Medicine*, 26 July, 7.
3. Russo, E., Caronia, F. P., & Guggino, G. (2022). Management of post intubation tracheo-esophageal fistula. how, when and why to face off a potentially fatal injury. *Diseases of the Esophagus*, 24 September, 35(Supplement 2), doac051.506.
4. Opanasenko, M. S., Levanda, L. I., & Kshanovskiy, O. E. (2019). Iatrogenic postintubation ruptures of the trachea. *Ukrainian Pulmonology Journal*, 1(3), 76–82.
5. Passera, E., Orlandi, R., Calderoni, M., Cassina, E. M., Cioffi, U., Guttadauro, A., et al. (2023). Post-intubation iatrogenic tracheobronchial injuries: The state of the art. *Frontiers in Surgery*, 13 February, 10:1125997.
6. Katsantonis, N. G., Kabagambe, E. K., Wootten, C. T., Ely, E. W., Francis, D. O., & Gelbard, A. (2019). Height is an independent risk factor for postintubation laryngeal injury: Height Related to Intubation Laryngeal Injury. *The Laryngoscope*, December, 128(12), 2811–2814.
7. Frost, A., Ruszkay, N., Steinberg, T. B., Atkins, J., & Mirza, N. (2021). Iatrogenic Tracheal Injuries: Case Series and Review of the Literature. *ORL*, 83(2), 123–126.
8. Oo, S., Chia, R. H. X., Li, Y., Sampath, H. K., Ang, S. B. L., Paranjothy, S., et al. (2021). Bronchial rupture following endobronchial blocker placement: a case report of a rare, unfortunate complication. *BMC Anesthesiology*, December, 21(1), 208.
9. Turner, M. A., Feeney, M., & Deeds, L. J. L. (2020). Improving Endotracheal Cuff Inflation Pressures: An Evidence-Based Project in a Military Medical Center. *AANA Journal*, June, 88(3), 203–208.
10. Souza, B. S. S. D., Souza, T. A. G., Santos, C. F. D., Chicayban, P. B., & Chicayban, L. M. (2022). Minimal occlusive volume is a safe and effective method for adjusting cuff pressure in mechanically ventilated patients. *Fisioterapia e Pesquisa*, October, 29(4), 380–385.

11. Kumar, C. M., Seet, E., & Van Zundert, T. C. R. V. (2021). Measuring endotracheal tube intracuff pressure: no room for complacency. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, February, 35(1), 3–10.
12. Kampo, S., Anabah, T. W., Bayor, F., Buunaaim, A. D. B., Hechava, M. E., Osman, S., et al. (2022). Endotracheal tube cuff pressure measurement techniques: safety and reliability among patients undergoing general anesthesia for cesarean section. *A prospective randomized comparative study*. In Review; 2022 Ber [cited for 19 June 2023].
13. Sylvanus, K., Thomas Winsum, A., Fidelis, B., Alexis Db, B., Maite Esquijarosa, H., & Salia, O., et al. (2022). Endotracheal Tube Cuff Pressure Measurement Techniques: Safety and Reliability: A Randomized Comparative Study. *J Clin Anesth Pain Manag*, 31 December; 6(2).
14. Coelho, L., Moniz, P., Guerreiro, G., & Póvoa, P. (2023). Airway and Respiratory Devices in the Prevention of Ventilator-Associated Pneumonia. *Medicina*, 59(2), 199.
15. Nwosu, A. D. G., Ossai, E. N., Onyekwulu, F. A., Amucheazi, A. O., Ewah, R., Onwuasoigwe, O., & Akhideno, I. (2022). Knowledge and practice of tracheal tube cuff pressure monitoring: a multicenter survey of anaesthesia and critical care providers in a developing country. *Patient Safety in Surgery*, 16(1), 1-8.

SADOVY V.YU

### COMPARISON OF METHODS OF NON-MECHANICAL PRESSURE MEASUREMENT IN THE CUFF OF AN ENDOTRACHEAL TUBE

Department of Surgery, Anesthesiology and Intensive Care of the Bogomolet's National Medical University, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** Background: Tracheal injuries are uncommon but pose significant risks in anesthesiology and critical care. These injuries primarily occur due to the direct mechanical impact, often linked to the excessive pressure from the intubation tube's cuff. This study aims to assess the actual cuff pressure in intubated patients during surgeries, examine how these measurements correlate with anesthesiologists' subjective evaluations, and compare various cuff inflation techniques.

**Methods:** The study included 90 patients, divided into two groups of 45 each. For the experimental group, the cuff was inflated using the «minimum leakage» method, while the control group used palpation to gauge the required pressure. The actual cuff pressure for both groups was determined using a mechanical manometer connected to the cuff.

**Results:** The mean pressure in the experimental group was  $30.4 \pm 4.9$  cm H<sub>2</sub>O ( $2.98 \pm 0.48$  kPa), significantly lower than the control group's  $68.9 \pm 23.3$  cm H<sub>2</sub>O ( $6.75 \pm 2.28$  kPa). In the control group, only 2 patients were within the safe pressure range, compared to 23 in the experimental group. **Conclusion:** The palpation method for estimating cuff pressure in intubated patients often does not reflect the actual pressure values. The study highlights the effectiveness of the minimal occlusion volume technique as a non-mechanical method for more accurately measuring and controlling cuff pressure.

**Key words:** tracheal damage, intubation, operating room safety, minimal occlusion volume technique.