

УДК 616.24-008.6-089.5-085.835-053.2-036

В.Р. Міщук^{1,2}, А.А. Переяслов², Ф.Б. Юрочко¹

Високопоточна назальна оксигенація як метод анестезіологічного менеджменту пацієнтів зі «складними дихальними шляхами»: опис клінічних випадків

¹КНП ЛОР «Клінічний центр дитячої медицини», м. Львів, Україна²Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2025. 1(86): 131-136. doi: 10.15574/PS.2025.1(86).131136

For citation: Mishchuk VR, Pereyaslov AA, Yurochko FB. (2025). High-flow nasal oxygenation as a method of anesthetic management of patients with «difficult airways»: clinical cases. Paediatric Surgery (Ukraine). 1(86): 131-136. doi: 10.15574/PS.2025.1(86).131136.

Операції в дітей із патологією ротової порожнини та верхніх дихальних шляхів створюють труднощі як для хірурга, так і для анестезіолога.

Мета – на основі наведених клінічних випадків показати ефективність високопоточної назальної оксигенації в запобіганні гіпоксії у пацієнтів зі «складними дихальними шляхами» при оперативних втручаннях у ділянці ротової порожнини.

Клінічні випадки. Наведено 2 клінічні випадки: перший пацієнт із посттравматичним анкілозом скронево-нижньощелепного суглоба, другий із макрогловією на тлі синдрому Beckwith-Wiedemann, яким проведено оперативні втручання в ротовій порожнині. Враховуючи анатомічні особливості пацієнтів, класична інтубація трахеї під прямою ларингоскопією в них була неможливою. Обом пацієнтам виконано фіброоптичну інтубацію трахеї під методикою STRIVE hi (Spontaneous Respiration Using Intravenous Anesthesia and High-Flow Nasal Oxygen) анестезії. Основним методом респіраторної підтримки обрано високопоточну назальну оксигенацію. Попри тривалий час гіповентиляції та апное, обоє пацієнтів мали задовільні показники оксигенації та вентиляції (SpO_2 – 99–98%, $EtCO_2$ – 47–48 mm Hg).

Висновки. Високопоточна назальна оксигенація є ефективною методикою оксигенації і попередження гіпоксії під час анестезіологічного менеджменту «складних дихальних шляхів» у дітей. Більш раннє виникнення десатурації, а також гіперкапнії в дітей пов'язане з малим віком і меншою функціональною залишковою ємністю легень.

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. На проведення дослідження отримано інформовану згоду батьків пацієнтів.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: діти, високопоточна назальна оксигенація, складні дихальні шляхи.

High-flow nasal oxygenation as a method of anesthetic management of patients with «difficult airways»: clinical cases

V.R. Mishchuk^{1,2}, A.A. Pereyaslov², F.B. Yurochko¹¹CNE of Lviv Regional Council clinical Centre of children's healthcare, Ukraine²Danylo Halytsky National Medical University, Lviv, Ukraine

Surgical treatment of children with pathologies of the oral cavity and upper respiratory tract creates difficulties for both the surgeon and the anesthesiologist.

Aim – to show the effectiveness of high-flow nasal oxygenation in preventing hypoxia in patients with «difficult airway» during surgical interventions in the oral cavity.

Clinical case

Clinical cases. Two clinical cases are presented: the first patient with post-traumatic ankylosis of the temporomandibular joint, the second with macroglossia on the background of Beckwith-Wiedemann syndrome, who underwent oral surgery. Given the anatomical features of the patients, classical intubation of the trachea under direct laryngoscopy was impossible for them. Both patients underwent fiberoptic intubation of the trachea under the STRIVE Hi (Spontaneous Respiration Using Intravenous Anesthesia and High-Flow Nasal Oxygen) anesthesia technique. High-flow nasal oxygenation was used as the main method of respiratory support. Despite the long period of hypoventilation and apnea, both patients had normal oxygenation and ventilation parameters (SpO_2 99–98%, EtCO_2 47–48 mm Hg).

Conclusions. High-flow nasal oxygenation is an effective method of oxygenation and prevention of hypoxia during the anesthetic management of «difficult airways» in children. Earlier onset of desaturation and hypercapnia in children is associated with young age and smaller functional residual lung capacity.

The research was carried out in accordance with the principles of the Helsinki Declaration. The informed consent of the patients was obtained for the study.

The authors declare no conflict of interest.

Keywords: children, high-flow nasal oxygenation, difficult airways.

Вступ

Операції в дітей із патологією ротової порожнини і верхніх дихальних шляхів створюють труднощі як для хірурга, так і для анестезіолога, оскільки виникає ситуація, коли ділянка операції є спільним місцем зацікавлення оператора й анестезіолога. Це спричинило появу терміну «shared airway» – «спільні дихальні шляхи». Забезпечення прохідності дихальних шляхів і запобігання гіпоксії є основним пріоритетом для анестезіолога в гарантуванні безпеки пацієнта. Водночас наявність надгортанних або ендотрахеальних трубок створює для хірурга незручності у візуалізації, а також часто унеможливає ефективне проведення операції. Це стосується насамперед таких нозологій, як папіломатоз гортані, пухлини гортані та ротової порожнини, рубцеві стенози підв'язкового відділу трахеї тощо.

Окрему групу становлять пацієнти з генетичними синдромами, що супроводжуються мікрогнатією, та іншими аномаліями розвитку верхньої й нижньої щелеп (Syndrome of Pierre–Robin, Goldenhar, Treacher–Collins, Beckwith–Wiedemann), а також посттравматичні ушкодження кісток лицевого скелета. Забезпечення прохідності дихальних шляхів у таких пацієнтів супроводжується значними технічними труднощами і потребує застосування таких технік, як відеоларингоскопія, фіброоптична інтубація трахеї, а в окремих випадках – накладення трахеостомії. Найбільш грізним ускладненням під час цих маніпуляцій є розвиток гострої гіпоксії і неможливість проведення ефективної штучної вентиляції легень (ШВЛ).

Мета дослідження – на підставі наведених клінічних випадків показати ефективність високопоточної назальної оксигенації в запобіганні гіпоксії у пацієнтів зі «складними дихальними шляхами» при оперативних втручаннях в ділянці ротової порожнини.

Поява технології високопоточної назальної оксигенації (High-Flow Nasal Oxygen – HFNO) створила певні «революційні» зміни в керуванні «складними дихальними шляхами». HFNO забезпечує транспортування киснево-повітряної суміші, зволоженої та підігрітої до 37–38°C зі швидкістю 2–60 л/хв через спеціальні носові канюлі. Фракцію кисню, що вдихається, можна регулювати в межах 0,21–1,0. Пристрій HFNO забезпечує сталий потік із високим вмістом кисню, що досягає альвеол завдяки вищій швидкості потоку (2–60 л/хв) порівняно з низьким потоком (1–15 л/хв), який досягає переважно анатомічного мертвого простору [1].

Клінічне застосування HFNO базується на концепції апноетичної оксигенації (АО). Фізіологічна суть АО полягає в тому, що метаболічне споживання O_2 і виробництво CO_2 тілом дорослої людини вагою приблизно 70 кг становить у середньому 250 мл/хв і 200 мл/хв, відповідно. Під час апное вироблення CO_2 залишається незмінним, однак виведення CO_2 майже повністю припиняється, і CO_2 дифундує в альвеолярний простір зі швидкістю приблизно 10 мл/хв. Різниця парціальних тисків O_2 і CO_2 призводить до скерування потоку O_2 зі швидкістю 240 мл/хв з альвеол у кров, створюючи негативний градієнт тиску в дихальних шляхах. Негативний тиск, який створюється внаслідок дифузії O_2 , викликає залучення навколишніх газів у легені і описаний як феномен потоку негентильованих мас – *avalatory mass flow* (AVMF). За умови, що дихальні шляхи є прохідними, інсуфляція O_2 у глотку збільшує кисневий резервуар, що дає змогу здійснювати постійну оксигенацію без вентиляції [2,13].

Серед інших позитивних ефектів HFNO можна зазначити створення позитивного тиску в альвеолах і нижніх дихальних шляхах, що сприяє рекрутуванню альвеол і запобігає утворенню ателектазів під час

апноетичної оксигенації. Створення позитивного середнього тиску в дихальних шляхах обумовлене високим потоком киснево-повітряної суміші і підтверджене в ряді досліджень [9,10,14].

Також доведено, що високий турбулентний потік газу при HFNO, діючи в поєднанні з кардіогенними коливаннями, які передаються на дрібні бронхи і бронхіоли, посилює елімінацію вуглекислого газу під час апное, пояснюючи таким чином газообмін при апное [5].

HFNO вперше введено в анестезію як допоміжний засіб, що забезпечує апноетичну оксигенацію під час ларингоскопії в дорослих зі «складними дихальними шляхами» та значними супутніми захворюваннями при спробі інтубації трахеї. Його вперше описано у 2015 р. як трансназальний зволожений швидкий інсуфляційний вентиляційний обмін (Transnasal Humidified Rapid Insufflation Ventilatory Exchange – THRIVE) і показано успішне подовження безпечного часу апное з додатковою перевагою елімінації вуглекислого газу [12].

В анестезії дорослих пацієнтів застосування як HFNO під час спонтанного дихання, так і THRIVE у релаксованих пацієнтів успішно описано як техніку оксигенації, яка забезпечує безперешкодний огляд під час складних процедур на дихальних шляхах, а також при оперативних втручаннях у ділянці гортані і суттєво подовжує безпечний час апное. При цьому найчастіше використовують потоки газу 50–70 л/хв. Останнім часом HFNO все частіше застосовують у педіатричній хірургії верхніх дихальних шляхів, хоча на сьогодні ще не має результатів великих багатоцентрових досліджень із цього питання, деякі переконливі серії випадків показують багатообіцяючі результати [3,4].

У цих дослідженнях діти зазвичай отримували потік HFNO 2 л/кг/хв зі 100% киснем. Автори оцінюють це як нескладну техніку оксигенації під час анестезії з потенційним скороченням хірургічних перерв для рятувальної оксигенації за допомогою вентиляції з позитивним тиском.

Введення в анестезію може бути інгаляційним або внутрішньовенним. Після встановлення внутрішньовенного доступу слід перейти на повну внутрішньовенну анестезію (TIVA). Серед препаратів для внутрішньовенної анестезії зазвичай обирають пропופол із сильнодіючим опіоїдом короткої дії. Як приклад описують техніку болюсного введення пропофолу 1–5 мг/кг із подальшою інфузією 200–500 мкг/кг/хв із реміфентанілом 0,1–0,2 мкг/кг/хв. Реміфентаніл можна титрувати з кроком 0,05 мкг/кг/хв для підтримання частоти



Рис. 1. Апарати для HFNO

дихання відповідно до віку дитини. Ларингоскопія з топікалізацією надглоткових та інтратрахеальних структур із застосуванням 4 мг/кг 4% лідокаїну за допомогою розпилювача слизової оболонки під прямим оглядом є дуже важливим доповненням до успішної анестезії. Для ефективності методики слід протягом усієї процедури контролювати прохідність дихальних шляхів.

Для HFNO потрібно спеціальне розроблене обладнання, оскільки потік кисню має відбуватися за достатньо високих температур і рівнів вологості, що запобігає відчуттю сухості в носовій порожнині пацієнтів і сприяє толерантності до високої швидкості потоку. Крім того, зволожений і нагрітий кисень, що вдихається, зменшує витрати енергії, пов'язані з кондиціонуванням газу, запобігає мукоциліарному пошкодженню і полегшує мукоциліарний кліренс. Без зволоження високий потік холодного сухого газу викликає гостру травму та запалення епітеліальних клітин слизової оболонки носа з відшаруванням, а потім субендотеліальним застоєм. Це, своєю чергою, призводить до набряку дихальних шляхів із припиненням мукоциліарного кліренсу і спричиняє затримку секрету. Титрування концентрації O_2 має значення у випадку застосування хірургом діатермії або лазера, щоб уникнути опіків ротової порожнини. На сьогодні в Україні є декілька моделей апаратів для HFNO (рис. 1).

Дослідження виконано відповідно до принципів Гельсінської декларації. На проведення дослідження отримано інформовану згоду пацієнтів.

Клінічний випадок 1

Пацієнт віком 11 років, масою тіла 28 кг. Діагноз – «Посттравматичний анкілоз скронево-нижньощелепного суглоба». Заплановано оперативне втручання – пластику правого скронево-нижньощелепного суглоба. Головна анестезіологічна проблема полягає

Clinical case



Рис. 2. Фіброоптична інтубація трахеї із застосуванням HFNO

ла в забезпеченні прохідності дихальних шляхів, оскільки інтубація трахеї під прямою ларингоскопією через рот була неможливою. Як альтернативний варіант розглянуто інтубацію за допомогою фібро-скопа через ніс (фіброоптична інтубація) або трахеостомію. Пацієнтові виконано фіброоптичну інтубацію трахеї з використанням методики «STRIVEHi» анестезії, що передбачала внутрішньовенну анестезію зі спонтанним диханням і HFNO зі швидкістю потоку 50 л/хв, фракція кисню у газовій суміші (FiO_2) – 100%. Загальна тривалість процедури інтубації – 12 хв, за стабільної оксигенації, сатурація артеріальної крові (SpO_2) становила 98–99% (рис. 2).



а



б



в

Рис. 3. Анатомічні характеристики ротової порожнини пацієнта до (а), під час (б) і після операції (в)

Відстань між верхніми і нижніми різцями становила 0,7 см (рис. 3). Після інтубації трахеї виміряно парціальний тиск видихуваного CO_2 (EtCO_2) через ендотрахеальну трубку, який становив 47 мм Hg (норма – 35–45 мм Hg). Після закінчення операції пацієнт потребував пролонгованої ШВЛ протягом 27 годин і був успішно екстубований. Анатомічні характеристики пацієнта до і після операції наведено на рисунку 3.

Клінічний випадок 2

Пацієнт віком 11 місяців, масою тіла 15 кг. Діагноз – «Beckwith–Wiedemann синдром». Основною анатомічною особливістю дитини була виражена макрогловія, що супроводжувалася стридором і труднощами у вигодовуванні дитини (рис. 4). Іншими симптомами, що асоціювалися з генетичним синдромом, були гепатоспленомегалія, надмірний зріст і маса тіла, транзиторна гіпоглікемія.

Дитині заплановано оперативне втручання – часткову резекцію язика. Враховуючи великі розміри язика і «відносно» малий просвіт ротової порожнини, пацієнтові вирішено провести фіброоптичну інтубацію трахеї через ніс для створення комфорту для роботи хірургів, а також для уникнення дислокації ендотрахеальної трубки (ЕТ) під час тракцій язика. Проведено фіброоптичну інтубацію трахеї із застосуванням STRIVEhi анестезії. HFNO проведено зі швидкістю потоку 30 л/хв через носовий повітровід, FiO_2 – 100%. Загальна тривалість процедури інтубації становила 15 хв, за стабільної оксигенації, SpO_2 – 97–99%. EtCO_2 після інтубації становив 48 мм Hg (рис. 5).

Після виконання часткової резекції язика (рис. 6) пацієнт був на пролонгованій ШВЛ 48 годин і був успішно екстубований.



Рис. 4. Макрогловія пацієнта із синдромом Beckwith–Wiedemann



Рис. 5. Фіброоптична інтубація трахеї пацієнта із синдромом Beckwith–Wiedemann із застосуванням HFNO



Рис. 6. Операція: часткова резекція язика

Діти, особливо немовлята, мають нижчу толерантність до апное порівняно з дорослими. Це пов'язано з більшим споживанням кисню дітьми і меншою залишковою функціональною ємністю легень [4,11]. Це зумовлює швидший розвиток гіпоксії і фатальних ускладнень при непрогнозовано тривалому апное. На сьогодні користь від апноетичної оксигенації в дорослих доведена в багатьох дослідженнях [7]. Водночас у дітей ще дискутуються методи, які можуть пролонгувати безпечний час апное (час від оптимізації запасів кисню до десатурації оксигемоглобіну – <90%). У рандомізованому контрольованому дослідженні S. Humphreys зі співавт. показують, що HFNO принаймні удвічі подовжує час апное в дітей без десатурації [6]. В іншому метааналізі S. George зі співавт. йдеться, що HFNO є багатообіцяючим методом, здатним попереджувати гіпоксію в дітей зі «складними дихальними шляхами» [3].

Питаннями дискусії залишається, чи здатна HFNO забезпечувати елімінацію вуглекислого газу в дітей. S. Humphreys зі співавт. у дослідженні показують, що HFNO здатна забезпечувати ефективну оксигенацію в дітей, натомість майже не впливає на вентиляцію та елімінацію CO₂ [6]. Своєю чергою, E.H. Kim зі співавт. зазначають, що гіперкапнія, яка потребувала конверсії на ШВЛ, розвинулася тільки у 2 із 27 дітей, яким застосовували STRIVEhi при операціях на гортані [8].

В описаних нами клінічних випадках обом дітям застосовано HFNO швидкістю потоку 2 л/кг/хв та FiO₂ 100%. До моменту візуалізації голосової щі-

лини обом пацієнтам проведено STRIVEhi-анестезію зі збереженими дихальними рухами дитини (5–6 дих./хв). Після візуалізації голосової щілини обом пацієнтам введено міорелаксant і проведено інтубацію трахеї. Незважаючи на тривалість процедури (12 і 15 хв) і різко знижену хвилинну вентиляцію легень, обоє пацієнтів мали задовільну оксигенацію (SpO₂ – 98–99%), а рівень EtCO₂ не значно перевищував показник норми (EtCO₂ – 47 і 48 мм Hg).

Потреба в переведенні на ШВЛ, як правило, асоціюється з малим віком дітей і відповідно малою функціональною ємністю легень. У своїй роботі E.H. Kim зі співавт. показують, що серед пацієнтів, які потребували рятівної ШВЛ, більшість становили діти віком 8–10 місяців [8].

Висновки

HFNO є ефективною методикою оксигенації і попередження гіпоксії під час анестезіологічного менеджменту «складних дихальних шляхів» у дітей. Більш раннє виникнення десатурації, а також гіперкапнії в дітей пов'язане з малим віком і меншою функціональною залишковою ємністю легень.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Drake MG. (2018). High-flow nasal cannula oxygen in adults: an evidence-based assessment. *Ann Am Thorac Soc.* 15(2): 145-155. doi: 10.1513/AnnalsATS.201707-548FR.
2. Fayed M, Maroun W, Patel N, Galusca D. (2023). Apneic oxygenation: a summarized review and stepwise approach. *Cureus.* 15(12): e50916. doi: 10.7759/cureus.50916.

Clinical case

3. George S, Humphreys S, Williams T et al. (2019). Transnasal Humidified Rapid Insufflation Ventilatory Exchange in children requiring emergent intubation (Kids THRIVE): a protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open*. 9(2): e025997. doi: 10.1136/bmjopen-2018-025997.
4. George S, Wilson M, Humphreys S et al. (2022). Apnoeic oxygenation during paediatric intubation: A systematic review. *Front Pediatr*. 10: 918148. doi: 10.3389/fped.2022.918148.
5. Hermez L, Spence C, Payton M et al. (2019). A physiological study to determine the mechanism of carbon dioxide clearance during apnoea when using transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE). *Anaesthesia*. 74(4): 441-449. doi: 10.1111/anae.14541.
6. Humphreys S, Lee-Archer P, Reyne G et al. (2017). Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE) in children: a randomized controlled trial. *Br J Anaesth*. 118(2): 232-238. doi: 10.1093/bja/aew401.
7. Jaber S, Monnin M, Girard M et al. (2016). Apnoeic oxygenation via high-flow nasal cannula oxygen combined with non-invasive ventilation preoxygenation for intubation in hypoxaemic patients in the intensive care unit: the single-centre, blinded, randomised controlled OPTINIV trial. *Intensive Care Med*. 42(12): 1877-1887. doi: 10.1007/s00134-016-4588-9.
8. Kim EH, Ji SH, Lee JH et al. (2022). Use of high-flow nasal oxygen in spontaneously breathing pediatric patients undergoing tubeless airway surgery A prospective observational study. *Medicine (Baltimore)*. 101(27): e29520. doi: 10.1097/MD.00000000000029520.
9. Parke RL, Bloch A, McGuinness SP. (2015). Effect of very-high-flow nasal therapy on airway pressure and end-expiratory lung impedance in healthy volunteers. *Respir Care*. 60(10): 1397-1403. doi: 10.4187/respcare.04028.
10. Parke RL, Eccleston ML, McGuinness SP. (2011). The effects of flow on airway pressure during nasal High-Flow Oxygen therapy. *Respir Care*. 56(8): 1151-1155. doi: 10.4187/respcare.01106.
11. Patel R, Lenczyk M, Hannallah RS, McGil WA. (1994). Age and the onset of desaturation in apnoeic children. *Can J Anaesth*. 41(9): 771-774. doi: 10.1007/BF03011582.
12. Patel A, Nouraei SA. (2015). Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE): a physiological method of increasing apnoea time in patients with difficult airways. *Anaesthesia*. 70(3): 323-329. doi: 10.1111/anae.12923.
13. Pratt M, Miller AB. (2016). Apneic oxygenation: a method to prolong the period of safe apnea. *AANA J*. 84(5): 322-328.
14. Renda T, Corrado A, Iskandar G et al. (2018). High-flow nasal oxygen therapy in intensive care and anaesthesia. *Br J Anaesth*. 120(1): 18-27. doi: 10.1016/j.bja.2017.11.010.

Відомості про авторів:

Мишук Володимир Ростиславович – к.мед.н., доц. каф. анестезіології та інтенсивної терапії ЛНМУ ім. Д. Галицького. Адреса: м. Львів, вул. Лисенка, 31. <https://orcid.org/0000-0003-0542-0891>.

Переяслов Андрій Анатолійович – д.мед.н., проф., проф. каф. дитячої хірургії ЛНМУ ім. Д. Галицького. Адреса: м. Львів, вул. Лисенка, 31. <https://orcid.org/0000-0002-1225-0299>.

Юрочко Федір Богданович – PhD, керівник Клініки дитячої оториноларингології КНП ЛОР КЦДМ. Адреса: м. Львів, вул. Лисенка, 31. <https://orcid.org/0000-0002-2668-2922>.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2024 р., прийнята до друку 18.03.2025 р.