

ARTYKUŁ ORYGINALNY/ORIGINAL PAPER

Otrzymano/Submitted: 08.08.2014 • Poprawiono/Corrected: 28.08.2014 • Zaakceptowano/Accepted: 11.09.2014

© Akademia Medycyny

Czy dodatkowe monitorowanie parametrów oddechowych jest potrzebne podczas znieczulania małych dzieci nowoczesnym aparatem do znieczulenia?***Is any additional monitoring of respiratory parameters necessary when anaesthetizing young children with a modern anaesthesia machine?*****Dorota Komorowska¹, Bogumiła Wołoszczuk-Gębicka^{2,3}**¹ II Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Warszawski Uniwersytet Medyczny² Instytut Położnictwa i Ratownictwa Medycznego, Wydział Medyczny, Uniwersytet Rzeszowski³ Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej, Warszawski Uniwersytet Medyczny**Streszczenie**

Wstęp. Nieprawidłowe dopasowanie parametrów oddechowych do potrzeb znieczulanego pacjenta lub niewystarczające monitorowanie może nieść ze sobą ryzyko wystąpienia poważnych powikłań. Nowoczesne aparaty do znieczulenia kompensują wprawdzie podatność układu anestetycznego, co zwiększa dokładność pomiarów mechaniki oddychania, ale są one zbudowane przede wszystkim z myślą o pacjentach dorosłych. W prezentowanej pracy wykorzystano dane pochodzące z większego opracowania, w którym mierzono parametry wymiany gazowej i mechaniki oddychania podczas znieczulenia u dzieci. **Materiał i metody.** W badaniu uczestniczyło 16 ogólnie zdrowych dzieci (I i II grupa stanu fizycznego wg ASA) w wieku 1-11 lat i masie ciała 10-30 kg, znieczulanych ogólnie do zabiegów chirurgicznych bez otwarcia jam ciała. Wentylację płuc prowadzono na przemian w trybie wentylacji ciśnieniowo-zmiennej (PCV) i objętościowo-zmiennej (VCV) oraz porównywano parametry wentylacji mechanicznej tj. szczytowe ciśnienie wdechu (PIP), objętość wdechową (V_{ti}), wydechową (V_{texp}), końcowo-wydechowe ciśnienie CO_2 ($PeCO_2$), mierzone przez urządzenia monitorujące stanowiące standardowe wyposażenia aparatu do znieczulenia Datex Ohmeda Avance CS2 (GE, UE), a także przez dodatkowy monitor NICO (Phillips-Respironics, Murrysville, PaUSA), którego czujnik przepływu i kapnometr umieszczone były bezpośrednio przy pacjencie. **Wyniki.** PIP, objętości oddechowe: wdechowa V_{ti} i wydechowa V_{texp} oraz $PeCO_2$ mierzone za pomocą NICO były wyższe, niż mierzone za pomocą aparatu do znieczulenia niemal we wszystkich pomiarach, zarówno w trybie wentylacji VCV jak i PCV. **Wnioski.** Pomiar parametrów mechaniki oddychania bezpośrednio przy pacjencie, a nie w aparacie do znieczulenia, u pacjentów pediatrycznych wysokiego ryzyka wydaje się uzasadniony, zwłaszcza że aparat do znieczulenia Datex Ohmeda CS2 ma dodatkowe wyposażenie w postaci modułu Pedi-Lite, który to umożliwia. *Anestezjologia i Ratownictwo 2014; 8: 299-309.*

Słowa kluczowe: anestezja, dzieci, wentylacja ciśnieniowo-zmienna, wentylacja objętościowo-zmienna, monitorowanie

Abstract

Background. Inappropriate setting or insufficient monitoring of respiratory parameters during anaesthesia may carry a risk of serious complications. Modern anaesthesia machines compensate for the compliance of the anaesthetic circuit, but they are built primarily for the adult patients. In the presented paper we have used data from

a bigger study on the gas exchange and respiratory mechanics in anaesthetized children. **Material and methods.** The study included 16 generally healthy children (I and II group ASA) aged 1-11 years and weighing 10-30 kg, who had surgery without opening of the body cavities under general anesthesia. The lungs were ventilated using pressure controlled ventilation (PVC) and volume controlled ventilation (VCV), and the parameters of respiratory mechanics and gas exchange ie. peak inspiratory pressure (PIP), inspiratory tidal volume (V_{ti}), expiratory tidal volume (V_{exp}), end-expiratory pressure of CO_2 ($PeCO_2$), were monitored using the standard equipment built in modern machine Datex Ohmeda Avance CS2 (GE, EU) and by an additional monitor NICO (Phillips-Respironics, Murrysville, Pa, USA), which had its capnometer and flow sensor placed in the vicinity of the patients' airways. **Results.** PIP, tidal volumes: inspiratory V_{ti} and expiratory V_{exp} , as well as $PeCO_2$ measured by NICO were greater than those measured by the standard monitoring equipment of the anesthesia machine in almost all measurements, both during ventilation VCV, and PCV. **Conclusion.** It seems fully justified to measure the parameters of the respiratory mechanics and $PeCO_2$ with the sensor placed close to the patients' airways in all high-risk paediatric patients, especially that the Datex Ohmeda CS2 is equipped with the Pedi-Lite sensor and gas sampler, that makes this task possible. *Anestezjologia i Ratownictwo 2014; 8: 299-309.*

Keywords: anaesthesia, children, ventilation, pressure controlled, volume controlled, monitoring

Wstęp

Rurka T Ayre'a w modyfikacji Jacksona-Reesa była i jest nadal powszechnie używana podczas znieczulania niemowląt i małych dzieci [1-2]. W przeszłości używano tego typu układów podczas całego znieczulenia. Obecnie jego zastosowanie ograniczone jest raczej do fazy indukcji. W Wielkiej Brytanii, układ bezzastawkowy stosowany jest nadal do wprowadzenia do znieczulenia u dzieci o masie ciała < 20 kg przez 74% anestezjologów (przez 86% w przypadku niemowląt i przez 97% w przypadku noworodków [3]). Jego używanie wymaga doświadczenia; w niewprawnych rękach wentylacja przez maskę twarzową powoduje wypełnienie żołądka powietrzem i pogorszenie warunków wymiany gazowej [4]. Na ogół dochodzi również do zanieczyszczenia sali operacyjnej, ponieważ skuteczne usuwanie gazów anestetycznych jest trudne. Wszystkie te czynniki, jak również względy ekonomiczne, tj. duże zużycie wziewnych anestetyków sprawiły, że układ bezzastawkowy został w fazie podtrzymania znieczulenia zastąpiony układem okrężnym, jednak sprężanie gazów w samym respiratorze i w układzie rur aparatu tworzących obieg okrężny podczas wdechu (oraz w nawilżaczu cieplnym, jeśli taki jest używany), może mieć wpływ na sprawność wentylacji płuc u dzieci. Efekt sprężania jest tym istotniejszy, im wyższe jest ciśnienie szczytowe wdechu (PIP) i im większa jest podatność materiału, z którego zbudowane są rury. Ma to szczególne znaczenie u niemowląt i małych dzieci, u których objętość pojedynczego

oddechu V_i jest mała w porównaniu z objętością układu anestetycznego. Coté i wsp. zmierzili w warunkach laboratoryjnych objętość gazów sprężanych w układzie D Maplesona oraz w obiegu okrężnym dla dzieci i dla dorosłych i wykazali, że najmniejsze sprężanie zachodzi w układzie Maplesona D, a objętość gazów sprężanych w pediatrycznym obiegu okrężnym z wąskimi rurami o małej podatności jest mniejsza niż w obiegu okrężnym dla dorosłych [5]. Można przyjąć, że wynik ten ma znaczenie historyczne, ponieważ nowoczesne aparaty do znieczulenia wyposażone są w czujniki przepływu na ramieniu wdechowym oraz wydechowym i wbudowane mają algorytmy kompensujące zarówno wpływ podatności układu anestetycznego, jak i wpływ przepływu świeżych gazów na dokładność pomiarów parametrów oddechowych [6]. Zgodnie z tym założeniem rutynowe monitorowanie parametrów oddechowych i parametrów wymiany gazowej u dzieci prowadzi się tak samo jak u dorosłych, wykorzystując urządzenia monitorujące wbudowane w aparat do znieczulenia. Zaobserwowaliśmy jednak *ex post*, że tak parametry mierzone za pomocą urządzeń monitorujących wbudowanych w aparat do znieczulenia różniły się od parametrów zmierzonych za pomocą dodatkowego monitora, którego przepływomierz i kapnometr umieszczone były w bezpośrednim sąsiedztwie dróg oddechowych pacjenta.

Celem pracy było przedstawienie i analiza znaczenia klinicznego różnic zaobserwowanych podczas monitorowania parametrów oddechowych i parame-

trów wymiany gazowej za pomocą urządzeń wbudowanych w aparat do znieczulenia Datex Ohmeda Avance CS2 (GE, UE) oraz za pomocą dodatkowego monitora (NICO, Philips-Respironics, Murrsville, Pa, USA), którego czujnik przepływu i kapnometr znajdowały się w bezpośrednim sąsiedztwie łącznika rurki intubacyjnej lub maski krtaniowej.

Materiał i metody

Dane wykorzystane w prezentowanej pracy stanowią część większego opracowania, w którym badano mechanikę oddychania podczas znieczulenia ogólnego u dzieci (DK, niepublikowane dane). Analizie poddano dane pochodzące od wszystkich dzieci, które znieczulane były przy użyciu aparatu do znieczulenia GE Datex Ohmeda Avance CS2.

Po uzyskaniu zgody Komisji Bioetycznej i świadomej zgody rodziców, do udziału w badaniu zakwalifikowano 16 ogólnie zdrowych dzieci (I i II grupa stanu fizycznego wg ASA), w wieku od 1 do 11 lat i masie ciała od 10 do 30 kg, znieczulanych ogólnie do zabiegów chirurgicznych bez otwarcia jam ciała. Z udziału w badaniu wyłączono dzieci, u których przewidywano trudności w zapewnieniu drożności dróg oddechowych (z nieprawidłową budową górnych dróg oddechowych), z chorobami układu oddechowego, kręgosłupa szyjnego, przełyku (chorobą refluksową) lub przewodu pokarmowego (niedrożnością), z opóźnieniem rozwoju psychoruchowego, oraz nadwrażliwością na stosowane leki w wywiadzie.

▪ Znieczulenie

Dzieci otrzymywały w premedykacji 0,3 mg.kg-1 m.c. midazolamu doustnie (dawka maksymalna 7,5 mg). Po wprowadzeniu kaniuli dożylniej (po uprzednim znieczuleniu skóry kremem EMLA), do indukcji znieczulenia podawano dożylnie propofol 3 mg.kg-1 m.c., fentanyl 3 µg.kg-1 m.c., a następnie wekuronium 0,1 mg.kg-1 m.c. Dzieci przypisywano losowo do jednej z dwóch grup. W grupie ETT tchawicę intubowano rurkami ustno-tchawiczymi (ETT) bez mankietu uszczelniającego, w grupie LMA wprowadzano „klasyczną” maskę krtaniową (LMA), w rozmiarze odpowiednim dla wieku. Fazę podtrzymującą znieczulenia prowadzono sewofluranem w stężeniu około 0,8 MAC, w mieszaninie tlenu z powietrzem ($FiO_2 \approx 0,4$) oraz frakcjonowanymi dawkami fentanylu 1-2 µg.kg-1 m.c. i wekuronium 0,025-0,05 mg.kg-1 m.c., tak aby utrzymać zwiotczenie na poziomie 2 odpowiedzi na

stymulację ciągiem czterech. Po zakończeniu zabiegu operacyjnego i wybudzeniu się dziecka, usuwano rurkę intubacyjną lub maskę krtaniową. W razie konieczności skrócenia czasu trwania bloku przewodnictwa nerwowo-mięśniowego, podawano 0,05 mg.kg-1 m.c. neostygminy z 0,02 mg.kg-1 m.c. atropiny.

▪ Monitorowanie czynności życiowych

Monitorowanie czynności życiowych podczas znieczulenia obejmowało pomiar częstości akcji serca (HR), ciśnienia tętniczego metodą nieinwazyjną (NIBP) i wysycenia krwi tętniczej tlenem (SpO_2) za pomocą monitora MP5 (Phillips, USA) oraz pomiar końcowo-wydechowego ciśnienia CO_2 ($PeCO_2$) i stężenia sewofluranu za pomocą standardowego modułu gazowego aparatu do znieczulenia E-CAiOV (pobór gazów do próbkowania 200 ml /min), a także przewodnictwa nerwowo-mięśniowego (TOF) za pomocą monitora TOF-Watch, Organon, Ireland).

▪ Wentylacja

Analizowane w prezentowanej pracy dane pochodzą z większego opracowania, którego przedmiotem była mechanika oddychania podczas znieczulenia. Dzieci biorące udział w badaniu były w sposób losowy przydzielane do jednej z dwóch grup. W grupie ETT (n = 8) znieczulenie prowadzone było z użyciem rurki ustno-tchawiczej bez mankietu uszczelniającego. W grupie LMA (n = 8) znieczulenie przeprowadzono z użyciem maski krtaniowej. Zarówno rurka ustno-tchawicza (ETT) jak i maska krtaniowa (LMA), stosowane były w rozmiarach odpowiednich do wieku dziecka. Porównanie parametrów oddechowych u dzieci, które oddychały przez rurkę intubacyjną i przez maskę krtaniową nie wchodzi w skład prezentowanej pracy.

Przeanalizowano dane opisujące parametry wentylacji zarejestrowane za pomocą urządzeń monitorujących aparatu do znieczulenia oraz za pomocą monitora NICO u wszystkich dzieci uczestniczących we wspomnianym wyżej badaniu, u których znieczulenie prowadzono za pomocą aparatu do znieczulenia Datex Ohmeda Avance CS2. Używano standardowego pochłaniacza CO_2 oraz zestawu „pediatrycznych” rur silikonowych wielokrotnego użytku, o małej średnicy i małej podatności. Pomiędzy łącznikiem Y, a rurką intubacyjną (ETT) lub maską krtaniową (LMA), podłączony był pediatryczny filtr przeciwbakteryjny/przeciwvirusowy (Barrierbac S DAR, Covidien, USA).

Dopływ świeżych gazów do układu wynosił 3,0 l min⁻¹, FiO₂ ≈ 0,4. Częstość oddechów mechanicznych wynosiła 25 min⁻¹ u dzieci poniżej 2 roku życia, 24 min⁻¹ u pacjentów w wieku 2-3 lat i o jeden oddech mniej na każdy rok powyżej 3 r.ż.

Początkowy tryb wentylacji: wentylację czasowo-zmienną z kontrolowanym ciśnieniem (PCV) lub czasowo-zmienną z kontrolowaną objętością (VCV) wybierano losowo, a po 10 min zmieniano na kolejny. Podczas wentylacji w trybie VCV wstępne nastawienia objętości wdechowej V_{ti} wynosiły 7 ml.kg⁻¹, a szczytowe ciśnienia wdechowe PIP w trybie PCV – 15 cm H₂O, wg wskazań aparatu do znieczulenia. Ciśnienie końcowo-wydechowe (PEEP) ustawiano na + 4 cm H₂O, a stosunek czasu wdechu do wydechu (I:E) wynosił 1:2.

PeCO₂ utrzymywano w zakresie 35-43 mmHg (4,67-5,73 kPa), kierując się wskazaniem kapnomieteru wbudowanego w aparat do znieczulenia. W przypadku przekroczenia wartości granicznych modyfikowano odpowiednio V_{ti} o 10 ml lub PIP o 2 cm H₂O. U każdego ze znieczulanych dzieci dążono do utrzymania tych samych wartości V_{texp} podczas wentylacji w trybie VCV i PCV.

▪ **Pomiary parametrów mechaniki oddychania i wymiany gazowej**

Parametry oddechowe monitorowano w sposób ciągły za pomocą czujników przepływu na ramieniu wdechowym i wydechowym aparatu do znieczulenia Datex Ohmeda Avance CS2 (GE, UE) i dodatkowego monitora (NICO, Phillips-Respironics, Murrysville, Pa, USA). Czujnik przepływu monitora NICO umieszczony był przy łączniku rurki intubacyjnej lub maski krtaniowej.

Gazy do analizy w module gazowym aparatu do znieczulenia E-CAiOV (pobór gazów do próbkowania – 200 ml/min) pobierane były z portu filtra. Czujnik przepływu i kapnomieter monitora NICO umieszczony był pomiędzy filtrem, a łącznikiem Y układu anestetycznego. Pomiar kapnometryczny w aparacie do znieczulenia (kapnometria z bocznego strumienia), przerywany był na czas dokonywania badania przez kapnomieter NICO (kapnometria z centralnego strumienia) tak, aby pobieranie gazów przez pompę modułu gazowego aparatu nie zakłócało pomiaru.

Po 5 min od rozpoczęcia wentylacji, a następnie co 2,5 min, rejestrowane były następujące parametry:

- za pomocą monitora wbudowanego w aparat do znieczulenia i NICO:
 1. wysycenie krwi tętniczej tlenem (SpO₂ – mierzone pulsoksymetrem),
 2. ciśnienie parcjalne CO₂ w gazach wdychanych i wydychanych,
 3. częstość oddychania (liczba oddechów z respiratora na minutę),
 4. objętość wdechowa V_{ti} (ml),
 5. objętość wydechowa V_{texp} (ml),
 6. szczytowe ciśnienie wdechu PIP (cm H₂O),
 - tylko za pomocą NICO
 7. objętość oddechowa V_t/kg (ml.kg⁻¹),
 8. opór dróg oddechowych (airways resistance, Raw, cm H₂O/l/s),
 9. podatność dynamiczna układu oddechowego pacjenta (dynamic compliance, C_{dyn}, ml/cm H₂O).

U każdego z dzieci uczestniczących w badaniu, rejestrację wymienionych parametrów powtórzono 5-krotnie w czasie wentylacji w trybie PCV i 5-krotnie w czasie wentylacji w trybie VCV, a więc łącznie uzyskano 160 pomiarów.

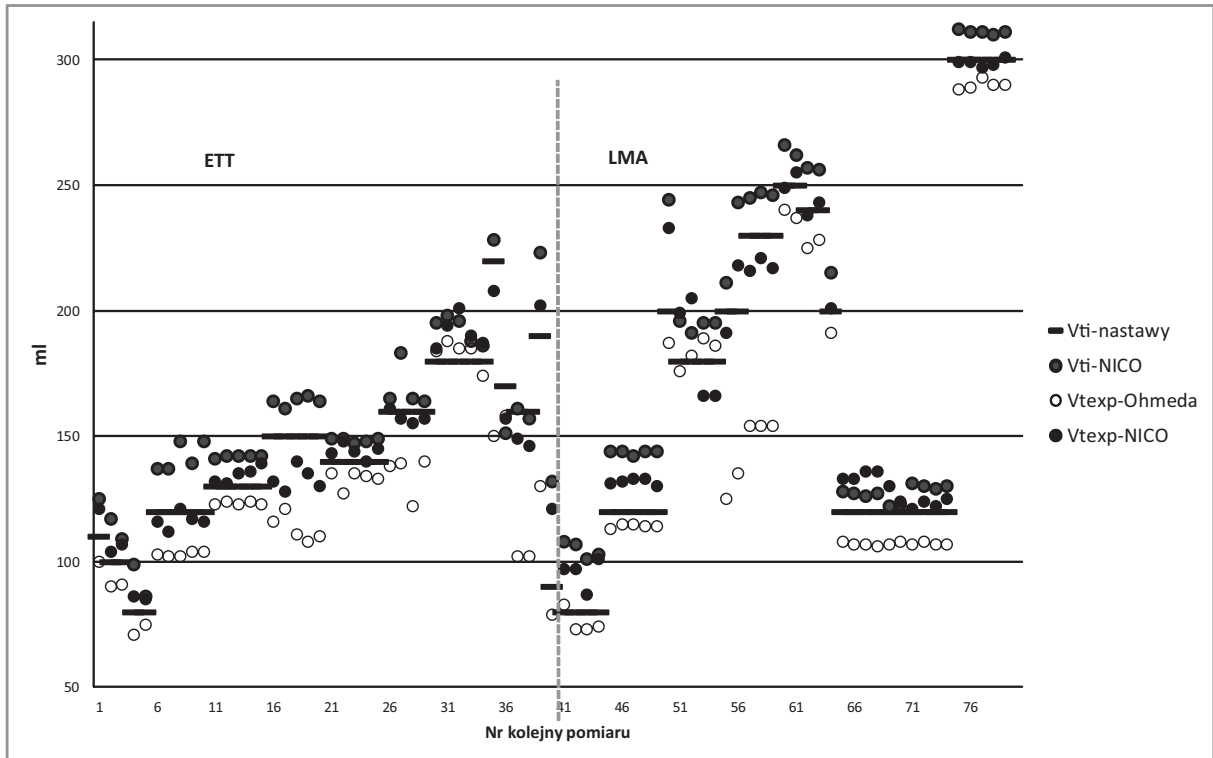
Do analizy statystycznej zastosowano test t-studenta i test t-studenta dla pomiarów powtarzalnych.

Wyniki

Wszystkie dzieci (11 chłopców, 5 dziewczynek) ukończyły badanie bez powikłań. Wiek badanych dzieci wynosił 3,7 ± 2,5 l, a masa ciała 16,3 ± 6,0 kg. Dzieci operowano z powodu: przepukliny pachwinowej, wnetrostwa, stulejki, spodziectwa, konieczności dokonania rewizji rany i plastyki napletka, plastyki przepukliny pępkowej, usunięcia portu naczyniowego z przedniej ściany klatki piersiowej, konieczności pobrania węzła chłonного z okolicy pachowej, zabiegów cystoskopii z ostrzykiwaniem ujść moczowodów preparatem Vantris (PPC – polyacrylate polyalcohol copolymer, Vantris, Promedon, Cordoba, Argentyna).

▪ **Pomiary objętości**

Niezależnie od trybu wentylacji objętości oddechowe: wdechowa (V_{ti}) i wydechowa (V_{texp}) mierzone za pomocą NICO były większe niż V_{ti} i V_{texp} mierzone za pomocą aparatu do znieczulenia, niemal we wszystkich pomiarach (Ryciny: 1 i 2). Wartości zmierzone zebrane zostały w tabeli (Tabela I). U dzieci wentylowanych



Rycina 1. Wentylacja w trybie VCV

Objętość oddechowa podczas wdechu (V_{ti}): nastawiona (V_{ti} – nastawy), mierzona za pomocą NICO (V_{ti} -NICO) oraz wydechowa (V_{texp}) mierzona za pomocą aparatu do znieczulenia (V_{texp} -Ohmeda) i za pomocą NICO (V_{texp} -NICO).

ETT – wentylacja przez rurkę intubacyjną, LMA – wentylacja przez maskę krtaniową.

Figure 1. Volume-controlled ventilation (VCV)

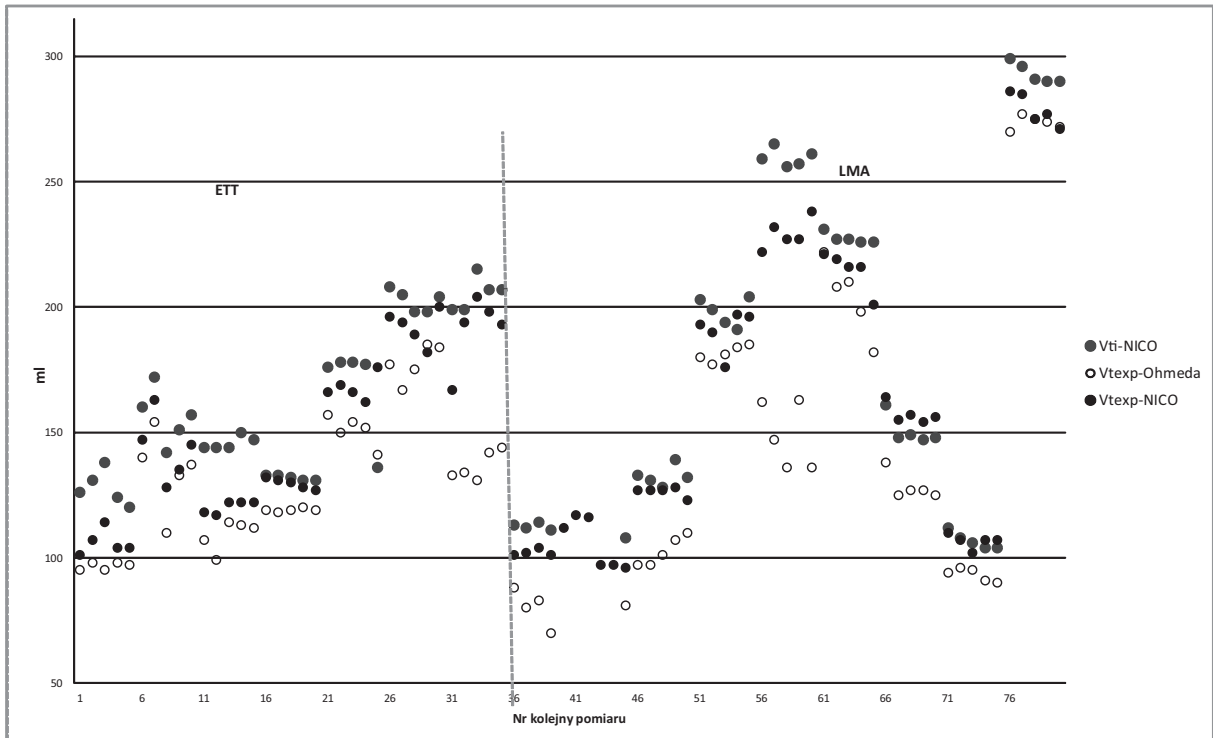
Tidal volume at inspiration: preset on the anaesthesia machine (V_{ti} -nastawy), measured with the NICO monitor (V_{ti} -NICO), and on expiration, measured with the anaesthesia machine (V_{texp} -Ohmeda) and with the NICO monitor (V_{texp} -NICO).

ETT – ventilation through the endotracheal tube, LMA – ventilation through the laryngeal mask.

Tabela I. Objętość oddechowa mierzona w fazie wdechu (V_{ti}) i w fazie wydechu (V_{texp}) za pomocą aparatu do znieczulenia i za pomocą monitora NICO u dzieci wentylowanych przez rurkę dotchawiczą ETT i przez maskę krtaniową LMA

Table I. Tidal volume measured at inspiration (V_{ti}) and on expiration (V_{texp}) – with the anaesthesia machine and the NICO monitor; ventilation through the endotracheal tube (ETT) and through the laryngeal mask (LMA)

Pomiar		VCV				PCV	
		V_{ti}	P	V_{texp}	P	V_{texp}	P
ETT	Ohmeda	144 ± 30	0,08	153 ± 30	0,009	132 ± 26	< 0,0001
	NICO	156 ± 30		143 ± 30		150 ± 33	
LMA	Ohmeda	173 ± 71	< 0,0001	156 ± 69	0,06	159 ± 61	< 0,0001
	NICO	189 ± 70		179 ± 66		183 ± 58	



Rycina 2. Wentylacja w trybie PCV

Objętość oddechowa: wdechowa, mierzona za pomocą NICO (V_{ti} -NICO) oraz wydechowa mierzona za pomocą aparatu do znieczulenia (V_{texp} -Ohmeda) i za pomocą NICO (V_{texp} -NICO).

ETT – wentylacja przez rurkę intubacyjną, LMA – wentylacja przez maskę krtaniową.

Figure 2. Pressure-controlled ventilation (PCV)

Tidal volume measured at inspiration with the NICO monitor (V_{ti} -NICO), and on expiration, measured with the anaesthesia machine (V_{texp} -Ohmeda) and with the NICO monitor (V_{texp} -NICO).

ETT- ventilation through the endotracheal tube, LMA – ventilation through the laryngeal mask.

w trybie VCV, V_{ti} mierzona za pomocą NICO wynosiła: $9,3 \pm 1,0$ ml kg⁻¹ u dzieci wentylowanych przez rurkę dotchawiczą i $9,5 \pm 1,0$ ml kg⁻¹ u dzieci wentylowanych przez maskę krtaniową, a więc była wyższa niż nastawiona, która wynosiła 7 ml kg⁻¹.

Prędkość CO₂ mierzona za pomocą NICO była we wszystkich pomiarach wyższa niż wartość zmierzona przez moduł gazowy aparatu do znieczulenia (Rycina 3), a różnice wynosiły od 3 do 10 mmHg.

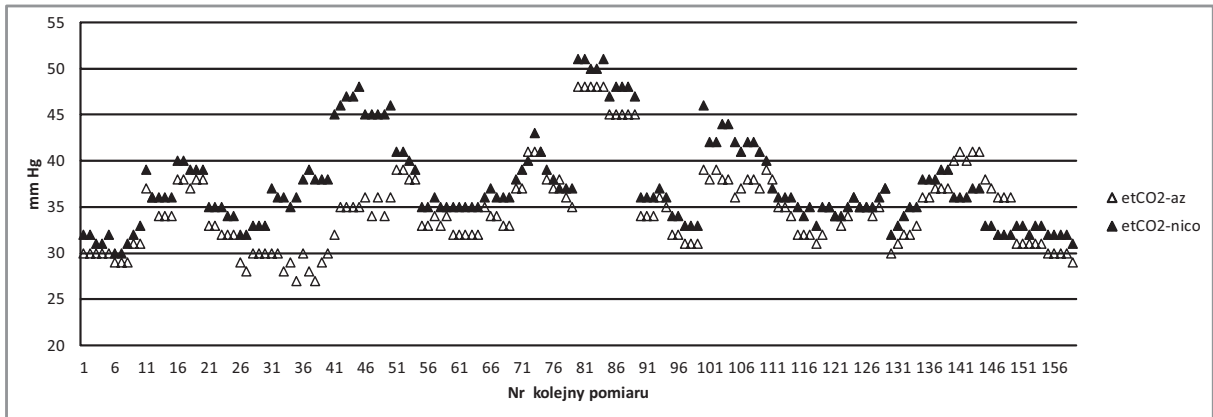
▪ Pomiar ciśnień

U wszystkich badanych dzieci ciśnienia szczytowe (PIP) w drogach oddechowych mierzone przez system monitorujący aparatu do znieczulenia i przez NICO były podobne, niezależnie od trybu wentylacji i od tego,

czy wentylacja prowadzona była przez rurkę intubacyjną, czy przez maskę krtaniową. Różnica mierzonych wartości nie przekraczała 1 cm H₂O.

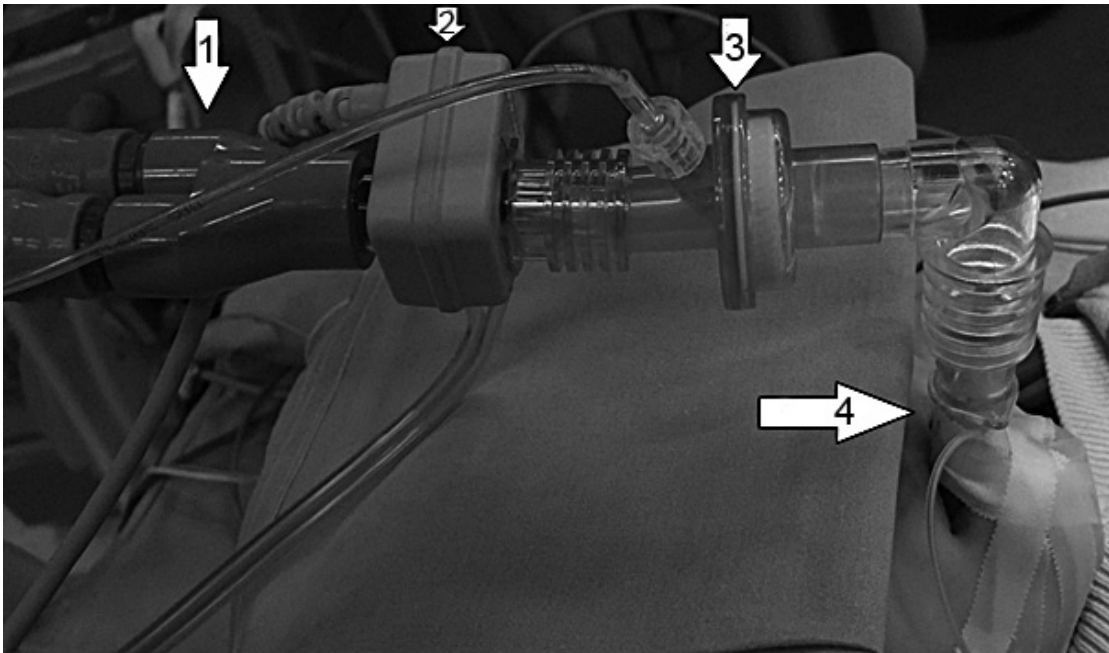
W czasie wentylacji kontrolowanym ciśnieniem (PCV), ciśnienie szczytowe (PIP), mierzone przy łączniku rurki intubacyjnej lub maski krtaniowej, było o 3-4 cm H₂O wyższe niż nastawy respiratora. Dotyczyło to wszystkich pacjentów i wszystkich pomiarów. Nastawiona wartość szczytowego PIP wynosiła $12,3 \pm 1,9$ cm H₂O, a wartość mierzona za pomocą NICO $16,1 \pm 1,9$ cm H₂O ($P < 0,001$).

Podczas wentylacji kontrolowaną objętością (VCV) PIP wynosiło $18,1 \pm 3,2$ cm H₂O i było wyższe niż podczas wentylacji PCV, przy zbliżonych wartościach objętości oddechowej ($P = 0,0001$). Najwyższe



Rycina 3. Ciśnienie parcjalne CO_2 w powietrzu końcowo-wydechowym (PeCO_2) mierzone za pomocą kapnometru aparatu do znieczulenia (z bocznego strumienia – $\text{ETCO}_2\text{-az}$) i monitora NICO (z centralnego strumienia – $\text{ETCO}_2\text{-NICO}$)

Figure 3. End-tidal CO_2 measured using sidestream technique in the anaesthesia machine ($\text{ETCO}_2\text{-az}$) and using the NICO monitor and central stream (technique $\text{ETCO}_2\text{-NICO}$)



Zdjęcie 1. Wentylacja prowadzona przez maskę krtaniową (LMA)

Photo 1. Ventilation with laryngeal mask air (LMA)

1. Łącznik Y układu anestetycznego; 2. Czujnik przepływu i kapnometr monitora NICO (kapnometria z centralnego strumienia); 3. Filtr przeciwbakteryjny/przeciwwirusowy (kapnometria z bocznego strumienia); 4. Wentylacja prowadzona przez maskę krtaniową (LMA). Pomiędzy łącznikiem Y układu anestetycznego, a maską krtaniową znajdował się filtr przeciwbakteryjny/przeciwwirusowy, z którego portu pobierane były gazy do analizy w module gazowym aparatu do znieczulenia (kapnometria z bocznego strumienia). Czujnik przepływu i kapnometr monitora NICO umieszczony był pomiędzy filtrem, a łącznikiem Y (kapnometria z centralnego strumienia).

obserwowane wartości PIP sięgały 29 cm H₂O. Różnice wartości PIP zaobserwowane u tego samego pacjenta wentylowanego VCV i PCV wynosiły 3-10 cm H₂O. Dotyczyło to wszystkich pacjentów, poza jednym, u którego V_{exp} podczas wentylacji VCV była wyraźnie (o 30 ml) mniejsza niż podczas wentylacji PCV, (a więc założenie, że V_{exp} jest taka sama, niezależnie od trybu wentylacji, nie było spełnione).

Ciśnienie końcowo-wydechowe PEEP u wszystkich pacjentów było nastawione na 4 cm H₂O. Wartość mierzona wynosiła 4 cm H₂O, u wszystkich pacjentów i we wszystkich pomiarach.

▪ Pomiar końcowo-wydechowego ciśnienia CO₂

Prężność CO₂ mierzona za pomocą NICO była we wszystkich pomiarach wyższa niż wartość zmierzona przez moduł gazowy aparatu do znieczulenia (Rycina 3), a różnice wynosiły od 3 do 10 mmHg.

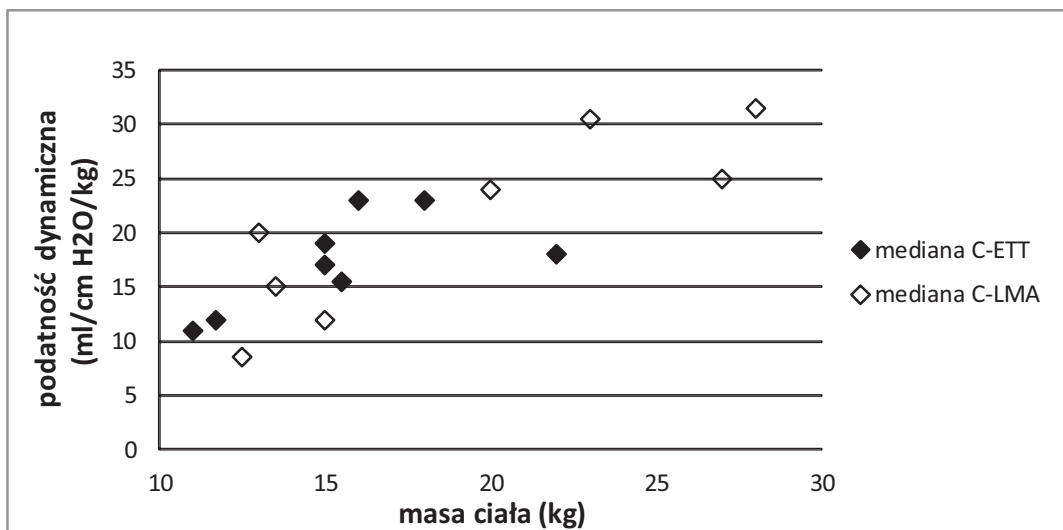
Omówienie wyników

Jak wspomniano we wstępie, przedstawione dane są efektem obserwacji poczynionych *ex post* w trakcie analizy wyników badań nad mechaniką oddychania u dzieci znieczulanych z użyciem maski krtaniowej lub

rukry intubacyjnej, a nie w wyniku badania zaplanowanego w celu porównania parametrów oddechowych i kapnometrycznych uzyskanych za pomocą różnych urządzeń monitorujących. Z tego faktu wynikają dwa istotne ograniczenia pracy: nie przeprowadzono kalibracji porównawczej obu czujników przepływu, a przy pomiarze PeCO₂ polegano jedynie na standardowej kalibracji kapnometrów.

Podstawowe monitorowanie parametrów wentylacji w trakcie znieczulenia ogólnego zapewnia monitor wbudowany w aparat do znieczulenia. Pomiary objętości i przepływu w aparacie do znieczulenia Datex Ohmeda Avance CS² dokonywane są za pomocą czujników przepływu, umieszczonych w module czujników przepływu na ramieniu wdechowym i wydechowym układu anestetycznego. Respirator wykorzystuje dane z czujników przepływu dla wyliczenia parametrów numerycznych związanych z wentylacją [7].

Prezentowane badanie wykazało, że dodatkowy monitor, umieszczony w bezpośrednim sąsiedztwie pacjenta może być przydatny, potwierdzając tym samym tezę, że parametry oddechowe powinny być u małych dzieci mierzone jak najbliżej dróg oddechowych.



Rycina 4. Podatność dynamiczna (C_{dyn}) układu oddechowego u dzieci wentylowanych przez maskę krtaniową (C-LMA) lub rurkę intubacyjną (C-ETT)

Na rycinie przedstawiono medianę wartości uzyskanych u poszczególnych pacjentów.

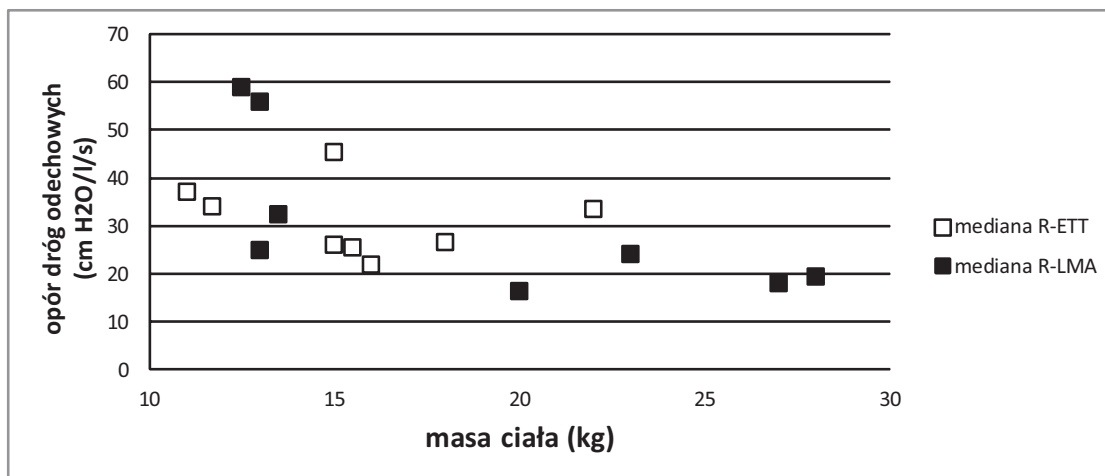
Figure 4. Dynamic compliance (C_{dyn}) in children ventilated through laryngeal mask (C-LMA) or endotracheal tube (C-ETT)

The figure presents the median C_{dyn} registered in each patient.

Wykorzystany w prezentowanej pracy monitor NICO (Phillips-Respironics, Murraysville, Pa, USA) można zastosować do nieinwazyjnego pomiaru pojemności minutowej serca (u pacjentów o masie ciała > 30 kg) i do pomiaru parametrów wentylacji. Wzajemne relacje parametrów wentylacji, takie jak: ciśnienie, objętość, przepływ, podatność płuc i opór w drogach oddechowych oraz eliminacja CO₂ dostarczają szereg informacji na temat układu oddechowego i układu krążenia, a badanie ich jest użyteczne zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia [8-11].

Wydaje się, że zaobserwowane rozbieżności w wartościach ciśnień, objętości i stężenia CO₂, mierzone przez monitor wbudowany w aparat do znieczulenia i przez monitor umieszczony przy pacjencie, należy wiązać z mechaniką oddychania u dzieci. Całkowita podatność dynamiczna u badanych dzieci była podobna, jak u dorosłych, u których wynosi ona 0,6-2,4 l/cm H₂O, tj. ok. 10-40 ml/cm H₂O/kg m.c. (Rycina 4), natomiast opór dróg oddechowych był kilkakrotnie większy niż u dorosłych (Rycina 5), nawet wówczas, gdy wentylacja prowadzona była przez maskę krtaniową, która nie zwęża dróg oddechowych, a nie przez rurkę intubacyjną.

Nowoczesne aparaty do znieczulenia kompensują zarówno wpływ objętości świeżych gazów, jak i wpływ podatności układu rur na dokładność pomiarów parametrów oddechowych [6]. Jeśli jednak przyjąć, że pomiary przepływu i PeCO₂ zależą od miejsca próbkowania, a pomiary dokonywane w bezpośrednim sąsiedztwie pacjenta są dokładniejsze niż pomiary w aparacie do znieczulenia, to używanie dodatkowego monitora podczas znieczulenia małych dzieci wydaje się uzasadnione. Aparat do znieczulenia Datex Ohmeda Avance CS2 może być wyposażony w dodatkowy czujnik, umożliwiający dokonanie pomiarów bezpośrednio przy pacjencie, zarówno u dorosłych (D-Lite Flow Sensor and Gas Sampler), jak i u dzieci, których V_t wynosi od 15 do 300 ml (Pedi-Lite Flow Sensor and Gas Sampler). Umożliwiają one pomiar ciśnień i objętości oraz pobieranie gazów w celu analizy stężeń O₂, CO₂ i gazów anestetycznych z bocznego strumienia w bezpośrednim sąsiedztwie łącznika rurki intubacyjnej, czy maski krtaniowej. Przepływ gazów przez czujnik obliczany jest, podobnie jak w NICO, na podstawie różnicy ciśnień w proksymalnej i dystalnej części czujnika (manometr różnicowy). Umożliwia to obliczenie objętości gazów przepływających przez czujnik w fazie wdychu i wydechu (V_{ti} oraz V_{texp}).



Rycina 5. Opór dróg oddechowych (Raw) u dzieci wentylowanych przez maskę krtaniową (R-LMA) lub rurkę intubacyjną (R-ETT)

Na rycinie przedstawiono medianę wartości uzyskanych u poszczególnych pacjentów.

Figure 5. Respiratory resistance (Raw) in children ventilated through laryngeal mask (R-LMA) or endotracheal tube (R-ETT)

The figure presents the median Raw registered in each patient.

W prezentowanej pracy zaobserwowano, że zarówno V_{ti} , jak V_{texp} mierzone przez czujnik znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie dróg oddechowych są większe niż V_{ti} i V_{te} mierzone w aparacie do znieczulenia. Wydaje się, że zjawisko to można wiązać z dodawaniem do gazów podawanych przez respirator, gazów sprężonych w układzie anestetycznym, zwłaszcza, że ciśnienia szczytowe podczas wentylacji w trybie VCV były wysokie (średnio PIP $18,1 \pm 3,2$ cm H_2O). Wyższe wartości PIP podczas wentylacji VCV można tłumaczyć różnym kształtem krzywej ciśnienia w czasie wdechu podczas wentylacji VCV i PCV.

Zbyt wysokie wartości PIP, które obserwujemy częściej podczas wentylacji w trybie VCV, mogą przyczynić się do wystąpienia barotraumaty. Ocenę ryzyka wystąpienia tego powikłania dodatkowo komplikuje fakt, że ciśnienia mierzone w tchawicy są niższe niż ciśnienia mierzone przy łączniku rurki intubacyjnej [13-15]. Wg Muñoz i wsp., wzrost PIP, zwłaszcza w pierwszej fazie wdechu [15], ma związek z pokonywaniem oporu rur tworzących układ anestetyczny i rurki intubacyjnej. Wyniki własne wydają się przeczyć tej tezie, ponieważ PIP mierzone przy łączniku rurki intubacyjnej było wyższe niż PIP mierzone w module czujników aparatu do znieczulenia, a więc opór układu anestetycznego był nieistotny, a poza tym zjawisko to występowało również u dzieci, które miały maskę krtańową, a nie rurkę intubacyjną. Uzasadnione wydaje się więc przypuszczenie, że istotny jest opór dróg oddechowych pacjenta, a nie układu anestetycznego czy rurki intubacyjnej.

Nasze wyniki pokrywają się z wynikami Piotrowskiego i wsp. [12], którzy wykazali, że podczas wentylacji VCV średnia wartość PIP była o 31% wyższa niż podczas wentylacji w trybie PCV, a średnia wartość $PeCO_2$ zaledwie o 7% niższa przy V_{texp} wyższym średnio o 14%.

Znaczenie zaobserwowanych różnic parametrów mechaniki oddychania i wymiany gazowej zależy od sytuacji klinicznej. U zdrowych dzieci wentylacja objętościami oddechowymi ok. 9 ml kg^{-1} zapewnia prawidłową wymianę gazową [12]. U dziecka z ARDS w przebiegu sepsy, taka wentylacja płuc podczas kilkugodzinnego zabiegu operacyjnego może powodować dalsze, poważne uszkodzenie płuc [13]. W takiej sytuacji niezbędne jest używanie jak najniższych objętości V_t oraz wiarygodne monitorowanie parametrów wentylacji.

U zdrowego dziecka zaniżenie pomiaru $PeCO_2$ o kilka mmHg jest prawdopodobnie bez znaczenia. U dziecka z podwyższonym ciśnieniem śródczaszkowym, taki sam błąd pomiaru może powodować niebezpieczne narastanie ciasnoty śródczaszkowej.

Pewnym ograniczeniem prezentowanego badania, było dokonywanie pomiarów w trakcie zabiegu operacyjnego, jednakże zabiegi wykonywane były bez otwarcia jam ciała np. w obrębie dolnej połowy ciała, oraz w pozycji na plecach, więc wpływ operacji na parametry oddechowe wydaje się niewielki.

Wydaje się, że dalsze badania powinny być ukierunkowane na ocenę przydatności czujnika Pedi-Lite, umożliwiającego pomiar ciśnień i próbkowanie gazów bezpośrednio przy pacjencie. Nowsze tryby wentylacji (np. PCV-VG) automatycznie regulują PIP, tak aby dostarczyć zaplanowaną objętość, co niewątpliwie jest korzystne w porównaniu do trybu PCV, w którym wartość V_t zależy od podatności płuc i oporu oddechowego, a anestezjolog kontroluje bezpośrednio lub pośrednio (poprzez $PeCO_2$) dostarczanie objętości [12].

Wprowadzenie nowych trybów wentylacji, które dotychczas dostępne były jedynie w oddziałach intensywnej terapii, ułatwia prowadzenie wentylacji mechanicznej podczas znieczulenia i można przypuszczać, że zmniejszy ryzyko powikłań oddechowych u pacjentów wysokiego ryzyka.

Dalsze badania powinny dotyczyć dokładności monitorowania parametrów oddechowych, podczas stosowania trybów wentylacji innych niż standardowa wentylacja VCV czy PCV, takich jak:

- wentylacja czasowo-zmienna z kontrolowanym ciśnieniem i gwarancją objętości (PCV-VG),
 - synchroniczna, przerywana wentylacja obowiązkowa z kontrolowanym ciśnieniem i gwarancją objętości (SIMV PCV-VG),
- a także podczas
- wentylacji ze wspomaganie ciśnieniem i wentylacją rezerwową w razie bezdechu (PSVPro),
 - wentylacji ze stałym ciśnieniem dodatnim + ze wspomaganie ciśnieniowym (CPAP+PSV),
- u pacjentów oddychających samodzielnie.

Wnioski

Objętość oddechowa V_t , szczytowe ciśnienie wdechu PIP i końcowo-wydechowe ciśnienie parcjalne $PeCO_2$, mierzone przez układ monitorujący aparatu do znieczulenia u dzieci o masie ciała od 10 do 30 kg, są

niecو niższe niż V_t , PIP i $PeCO_2$ mierzone za pomocą monitora usytuowanego w bezpośrednim sąsiedztwie dróg oddechowych. Praktyczne znaczenie zaobserwowanych rozbieżności, zależy od sytuacji klinicznej. Rozszerzenie monitorowania parametrów wymiany gazowej i mechaniki oddychania o dodatkowy monitor, usytuowany przy pacjencie, w przypadku dzieci z poważnymi schorzeniami układu oddechowego (NICO Philips Respironics, Murrysville, Pa, USA lub czujnika Pedi-Lite, stanowiącego dodatkowe wyposażenie aparatu do znieczulenia GE Datex Ohmeda Avance), wydaje się w pełni uzasadnione.

Konflikt interesów / Conflict of interest

Brak/None

Adres do korespondencji:

✉ Bogumiła Wołoszczuk-Gębicka
Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej
ul. Marszałkowska 24; 00-576 Warszawa
☎ (+48 22) 629 94 18
✉ bogumila.gebicka@wum.edu.pl

Piśmiennictwo

- Jackson-Rees G. Anaesthesia in the newborn. *Br Med J* 1950;2:1419-22.
- Holzki J. Role of the T-piece. *Paediatr Anaesth* 2008;8:92.
- Marsh DF, Mackie P. National Survey of pediatric breathing systems use in the UK. *Paediatr Anaesth* 2009;19:477-80.
- Von Ungern-Sternberg BS, Saudan S, Regli A, Schaub E, Erb TO, Habre W. Should the use of modified Jackson-Rees T-piece breathing system be abandoned in preschool children? *Paediatr Anaesth* 2007;17:654-60.
- Coté C, Petkau AJ, Ryan JF, Welch J. Wasted ventilation measured in vitro with eight anesthetic circuits with and without inline humidification. *Anesthesiology* 1983;59:442-6.
- Rotchiller JL, Uejima T, Dsida RM, Cote CJ. Evaluation of a new operating room ventilator with volume-controlled ventilation: the Ohmeda 7900. *Anesth Analg* 1999;88:39-42.
- Instrukcja obsługi Avance CS2 – Datex-Ohmeda: 11-22 – 11-24.
- Feldman BJ, Pierry AT, Wohltmann WJ, Triunfo JA. Method and apparatus for conveniently setting a predetermined volume for re-breathing; US6408848 B1, numer zgłoszenia- US 09/537,028 2002.
- Calkins JM, Drzewiecki TM. Non-invasive cardiac output and pulmonary function monitoring using respired gas analysis techniques and physiological modeling; US Patent 6,402,697, 2002.
- EEC de Waal, Wappler F, Buhre WF. Cardiac output monitoring. *Curr Opin Anaesthesiol* 2009;22:71-7.
- Badal JJ, Loeb RG, Trujillo DK. A Simple method to determine mixed exhaled CO₂ using a standard circle breathing circuit. *Anesth Analg* 2007;105:1048-52.
- Piotrowski A, Arkuszyński P, Lipczyński D, Fendler W, Fudala T1. Porównanie metod wentylacji ciśnieniowo-zmiennej i objętościowo-zmiennej z różnym stosunkiem wdechu do wydechu podczas znieczulenia ogólnego u dzieci. *Anest Intens Ter* 2005;37:226-31.
- Piotrowski A, Fendler W, Czech P, Sobala W. Zmiany ciśnienia w tchawicy podczas wentylacji czasowo-zmiennej z kontrolowanym ciśnieniem, kontrolowaną objętością oraz wentylacji z regulowanym ciśnieniem i kontrolowaną objętością u niemowląt. *Anest Intens Ter* 2006;38:134-9.
- Warters RD, Allen SJ, Tonnesen AS. Intratracheal pressure monitoring during synchronized intermittent mandatory ventilation and pressure controlled-inverse ratio ventilation. *Critical Care Med* 1997;25:227-30.
- Muñoz J, Guerrero JE, Escalante JL, Palomino R, De La Calle B. Pressure-controlled ventilation versus controlled mechanical ventilation with decelerating inspiratory flow. *Crit Care Med* 1993;21:1143-8.
- Cruz RH, Banner MJ, Weldon C. Intratracheal pressure: a more accurate reflection of pulmonary airway pressure in pediatric patients with respiratory failure. *Pediatr Crit Care Med* 2005;6:175-81.
- The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000;342:1301-8.