

Submitted: 25.03.2015
Accepted: 03.06.2015

Usefulness of ultrasound examination in the evaluation of a neonate's body fluid status

Przydatność badania ultrasonograficznego w ocenie stanu nawodnienia noworodka

Joanna Kieliszczyk¹, Wojciech Baranowski², Wojciech Kosiak³

¹ Department of Pediatrics, Dr. Alfred Sokołowski Specialist Hospital in Wałbrzych, Poland

² Ultrasound Laboratory, Dr. Alfred Sokołowski Specialist Hospital in Wałbrzych, Poland, Department of Neonatal Physiology and Pathology with an Intensive Care Sub-Unit, Regional Specialist Hospital "Latawiec" in Świdnica, Poland

³ Ultrasound and Biopsy Diagnostics Laboratory, Department of Pediatrics, Hematology and Oncology, Medical University of Gdańsk, Poland

Correspondence: Joanna Kieliszczyk, Department of Pediatrics, Dr. Alfred Sokołowski Specialist Hospital in Wałbrzych, Batorego 4, 58-300 Wałbrzych, Poland, e-mail: joannakieliszczyk@interia.pl

DOI: 10.15557/JoU.2016.0014

Key words

ultrasound,
inferior vena cava,
dehydration,
body fluid status
evaluation,
neonate

Abstract

Appropriate hydration is a very important prognostic factor for the patient's health. Ultrasonographic assessment of hydration status is rarely used in pediatric medicine and it is not used at all in neonates due to the fact that no reference values have been established for this age group. The aim of the paper was to establish reference values for neonates. **Material and methods:** The study included 50 neonates from two hospitals in the Lower Silesia region of Poland; 25 of them were healthy patients (full-term newborns with no perinatal complications) and 25 were sick patients (newborns with heart defects such as ostium secundum atrial septal defect, ventricular septal defect, permanent foramen ovale and patent ductus arteriosus as well as newborns with neonatal jaundice or pneumonia that occurred during the first days of life). The ultrasound scans were conducted during the first days of the children's life. For every child inferior vena cava diameter was measured in the substernal area, longitudinal plane, M-mode in two respiratory phases: inhalation and exhalation. In addition, abdominal aorta diameter was determined (substernal area, transverse plane). **Results:** The study demonstrated a statistically significant difference in the calculated inferior vena cava collapsibility index between both groups. Two other indices included the ratio of the inferior vena cava diameter during the expiratory phase to the diameter of the aorta and the ratio of the inferior vena cava diameter during the inspiratory phase to the diameter of the aorta; a statistically significant difference between both groups was found only for the measurements in the inspiratory phase. **Conclusions:** Based on the study results normal ranges for hydration indices in neonates were established. The need for the measurement of the abovementioned parameters in the inspiratory phase was determined. In addition, the usefulness of the ultrasound examination for the evaluation of body fluid status in this pediatric age group, particularly in preterm newborns, was noted due to its painless and non-invasive nature as well as easy access to equipment at neonatology wards.

Słowa kluczowe

ultrasonografia,
żyła główna dolna,
odwodnienie,
ocena stanu nawodnienia,
noworodek

Streszczenie

Prawidłowe nawodnienie jest bardzo istotnym czynnikiem rokowniczym stanu zdrowia pacjenta. Ultrasonograficzna ocena nawodnienia w pediatrii jest używana bardzo rzadko, a u noworodków nie jest stosowana ze względu na brak wyznaczonych wartości referencyjnych dla tej grupy wiekowej. Celem pracy było wyznaczenie wartości referencyjnych dla noworodków. **Materiał i metody:** W badaniu uczestniczyło 50 noworodków z dwóch dolnośląskich szpitali: 25 pacjentów zdrowych (noworodki urodzone o czasie, bez powikłań okresu okołoporodowego) oraz 25 pacjentów chorych (noworodki z wadami serca, takimi jak ubytek przegrody międzyprzedsionkowej typu otworu drugiego, ubytek przegrody międzykomorowej, przetrwały otwór owalny, przetrwały przewód tętniczy, oraz noworodki, u których w pierwszych dniach życia wystąpiła żółtaczką noworodkowa lub zapalenie płuc). Badania wykonywano w pierwszych dobach życia. U każdego dziecka dokonywano pomiaru średnicy żyły głównej dolnej w okolicy podmostkowej, w projekcji podłużnej, w prezentacji M-mode w dwóch fazach oddechowych: wdech i wydech. Dodatkowo wyznaczano średnicę aorty brzusznej (okolica podmostkowa, projekcja poprzeczna). **Wyniki:** W pracy wykazano istotną statystycznie różnicę między wyliczonymi współczynnikami zapadalności żyły głównej dolnej w obu grupach. Natomiast w ocenie dwóch kolejnych współczynników (stosunek średnicy żyły głównej dolnej w fazie wydechu do średnicy aorty i stosunek średnicy żyły głównej dolnej w fazie wdechu do średnicy aorty) istotną statystycznie różnicę stwierdzono tylko w przypadku pomiarów w fazie wdechowej. **Wnioski:** Na podstawie przeprowadzonego badania wyznaczono wartości referencyjne współczynników oceniających nawodnienie w grupie noworodków. Stwierdzono konieczność pomiarów wyżej wymienionych parametrów w fazie wdechowej. Dodatkowo zwrócono uwagę na przydatność metody ultrasonograficznej do oceny nawodnienia w tej grupie wiekowej, a w szczególności wcześniaków, ze względu na bezbolesność, bezinwazyjność i dostęp do sprzętu na oddziałach neonatologicznych.

Introduction

In their everyday work pediatricians and neonatologists nearly always assess the body fluid status of small patients during physical examination (for example, routine examination of the throat includes the evaluation of oral mucosa moisture level). The majority of pediatric conditions (upper respiratory tract infections, gastroenteritis, pyrexia) cause a change in body fluid status, usually dehydration. The evaluation of fluid status determines further management of the disease, i.e. the decision on the method of treatment (possible hospitalization) and hydration measures (oral or intravenous route). Unfortunately, no ideal diagnostic tool that could meet the expectations of clinicians has been found to date^(1,2).

Material and method

In 2013 fifty neonates were examined. The authors based their study on the paper "Usefulness of ultrasound examination in evaluation of body fluid status"⁽¹⁾. The aim of the study was to establish reference values for this age group. The study was conducted in two hospitals in the Lower Silesia region of Poland and included two groups: 25 healthy newborns from the Department of Neonatal Physiology and Pathology with an Intensive Care Sub-Unit of the Regional Specialist Hospital "Latawiec" in the city of Świdnica and 25 sick newborns from the Department of Neonatal and Infant Pathology of Dr. Alfred Sokołowski Specialist Hospital in Wałbrzych, Poland. The group of healthy neonates included full-term newborns with no perinatal complications and with a mean birth weight of 3425 g. The group of sick neonates included newborns with heart defects in the form of

Wprowadzenie

W codziennej pracy lekarzy pediatrów czy neonatologów w czasie badania fizykalnego niemal zawsze oceniane jest nawodnienie małego pacjenta (choćby przy rutynowym badaniu gardła dokonuje się tego poprzez ocenę wilgotności błony śluzowej jamy ustnej). Większość stanów chorobowych u dzieci (infekcje układu oddechowego, niezżyty żołądkowo-jelitowy, gorączka) powoduje zmianę nawodnienia organizmu – zazwyczaj jego odwodnienie. Ocena stanu nawodnienia rzutuje na dalsze postępowanie, tj. decyzję o sposobie leczenia (ewentualna hospitalizacja) i nawodnienia (droga doustna czy dożylna). Niestety do tej pory nie znaleziono idealnego narzędzia diagnostycznego mogącego spełnić oczekiwania klinicystów^(1,2).

Materiał i metoda

Wzorując się na badaniach autorów pracy *Przydatność badania ultrasonograficznego w ocenie stopnia nawodnienia pacjenta*⁽¹⁾, przeprowadzonych na grupie dorosłych ochotników, w 2013 r. przebadano 50 noworodków. Celem pracy było wyznaczenie wartości referencyjnych dla tej grupy wiekowej. Badania przeprowadzono w dwóch dolnośląskich szpitalach: na grupie 25 noworodków zdrowych z Oddziału Fizjologii i Patologii Noworodka z Pododdziałem Intensywnej Terapii z Regionalnego Szpitala Specjalistycznego „Latawiec” w Świdnicy oraz na grupie 25 noworodków chorych z Oddziału Patologii Noworodka i Niemowlęcia ze Specjalistycznego Szpitala im. dr. A. Sokołowskiego w Wałbrzychu. Do grupy zdrowych noworodków włączono noworodki urodzone o czasie, bez powikłań okresu okołoporodowego; średnia waga urodzeniowa w tej grupie wynosiła 3425 g.

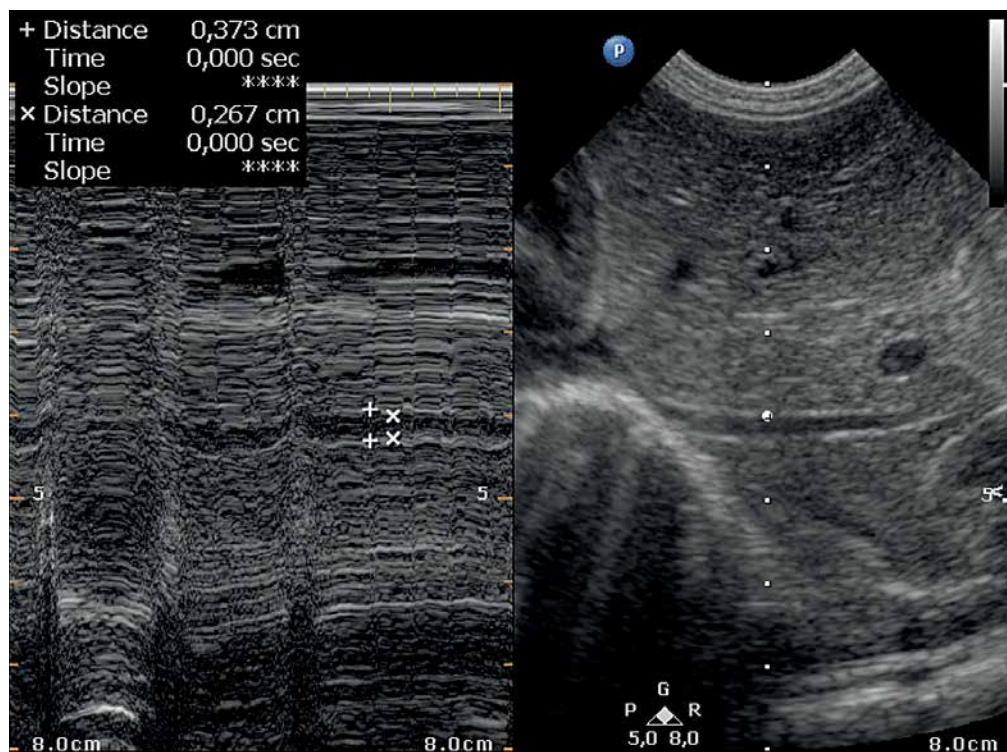


Fig. 1. Measurement of the inferior vena cava diameter during the inspiratory and expiratory phase

Ryc. 1. Pomiar średnicy żyły głównej dolnej w fazie wdechu i wydechu

ostium secundum atrial septal defect (ASD II), ventricular septal defect (VSD), permanent foramen ovale (PFO) and patent ductus arteriosus (PDA) as well as newborns with complications that occurred during the first days or weeks of life in the form of neonatal jaundice or pneumonia. Mean birth weight in this group was 3067 g.

Before the study consent for ultrasound examination was obtained from the patients' parents and from the heads of both neonatal units. The following ultrasound devices were used:

- in Świdnica – Siemens Acuson X300 P 8–4 MHz, Korea 2012;
- in Wałbrzych – Philips HD15 C 8–5 MHz, USA 2012.

The measurements of the inferior vena cava (IVC) were conducted according to the method described in the work cited above – in the intrahepatic section below the confluence of hepatic veins, where the anterior and posterior walls of IVC run parallel to each other⁽¹⁾. The ultrasound probe was placed in the substernal area in the longitudinal plane in M-mode in the breathing phase and the largest (expiration) and the smallest (inspiration) dimensions of the vein (its two diameters) were measured (Fig. 1).

The diameter of the abdominal aorta (*aorta abdominalis*, AAB) was measured 5–10 mm above the origin of the celiac trunk with the probe placed in the substernal area in the transverse plane (Fig. 2).

Subsequently three parameters were calculated for each patient. The IVC/AAB index was divided into two indices: IVC_1/AAB and IVC_2/AAB , where IVC_1 was the diameter of the in-

Do grupy noworodków chorych włączono noworodki urodzone z wadami serca pod postacią ubytku przegrody międzyprzedsionkowej typu otworu drugiego (*ostium secundum atrial septal defect*, ASD II), ubytku przegrody międzykomorowej (*ventricular septal defect*, VSD), przetrwałego otworu owalnego (*permanent foramen ovale*, PFO), przetrwałego przewodu tętniczego (*patent ductus arteriosus* PDA), a także noworodki, u których w pierwszych dniach lub tygodniach życia wystąpiły powikłania pod postacią żółtaczki noworodkowej czy zapalenia płuc; średnia waga urodzeniowa w tej grupie to 3067 g.

Przed rozpoczęciem badań uzyskano zgodę na badania ultrasonograficzne od rodziców pacjentów, a także kierowników obu oddziałów neonatologicznych. Badania wykonywano przy użyciu ultrasonografów:

- w Świdnicy – Siemens Acuson X300 P8–4 MHz, Korea 2012;
- w Wałbrzychu – Philips HD15 C8–5 MHz, USA 2012.

Pomiary średnicy żyły głównej dolnej (*inferior vena cava*, IVC) wykonywano zgodnie z metodą opisaną w ww. pracy – w odcinku wewnątrzwartrobowym w miejscu poniżej spływu żył wątrobowych, gdzie przednia i tylna ściana żyły głównej dolnej biegną równolegle do siebie⁽¹⁾. Głowicę przykładano w okolicy podmostkowej, w projekcji podłużnej, w prezentacji M-mode, w fazie oddechu i wyznaczano największy (wydech) i najmniejszy (wdech) wymiar żyły (jej dwie średnice) (ryc. 1).

Pomiaru średnicy aorty brzusznej (*aorta abdominalis*, AAB) dokonywano 5–10 mm powyżej odejścia pnia trzew-

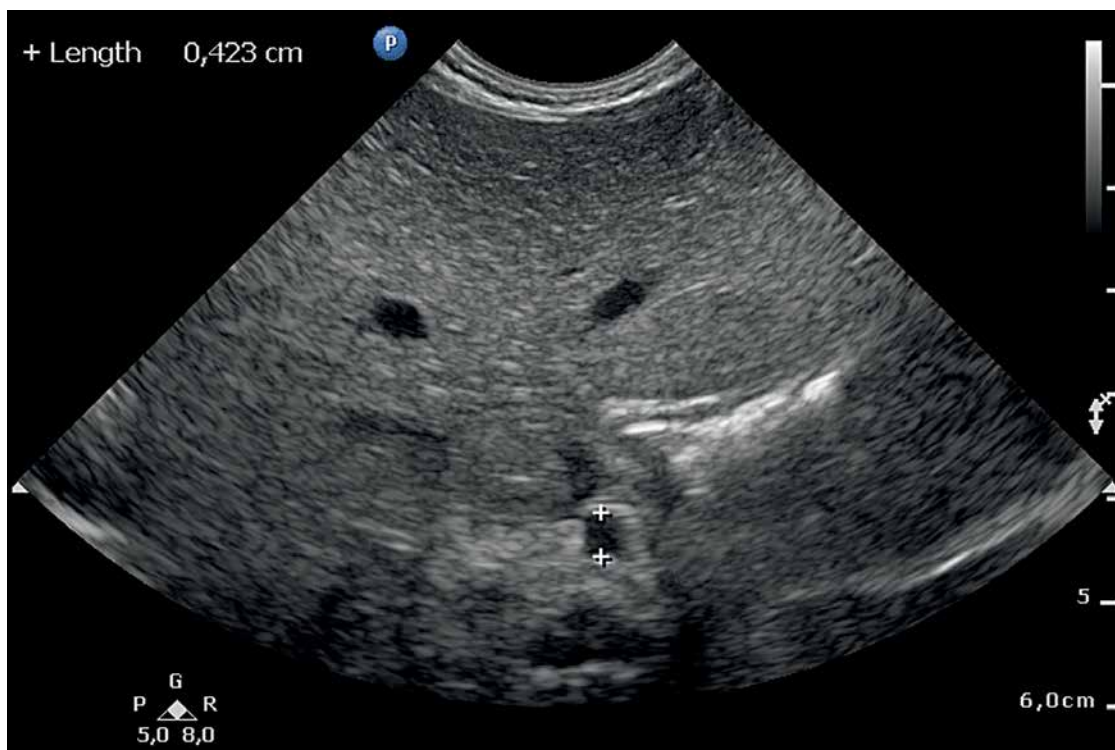


Fig. 2. Measurement of the abdominal aorta diameter

Ryc. 2. Pomiar średnicy aorty brzusznej

ferior vena cava in the expiratory phase and IVC_2 was the diameter in the inspiratory phase. The third parameter – inferior vena cava collapsibility index (CI) was calculated as the ratio of the difference in the diameter of the inferior vena cava measured during expiration and inspiration ($IVC_1 - IVC_2$) to the diameter of the vein during expiration (IVC_1).

Statistical calculations were conducted on a group of 50 patients (25 sick patients – the study group, 25 healthy patients – the control group). The results with $p < 0.05$ were considered statistically significant. Statistical analysis was carried out using the StatSoft, Inc. (2011) STATISTICA version 10 package.

The normality of the data distribution was checked using the Shapiro-Wilk test. The distribution of CI values in the group of healthy patients was consistent with a normal distribution, while in the group of sick patients it deviated from it. Therefore, the non-parametric Mann-Whitney U test was used. Medians with quartiles as well as minimum and maximum values are presented on the diagram. The distribution of the IVC_1/AAB and IVC_2/AAB values in the groups of healthy and sick patients met the conditions of a normal distribution. Therefore, the parametric Student t -test was applied. Mean values, standard error, outliers and extreme values are presented on the diagram.

Results

In the population under analysis the difference between CI in healthy neonates and CI in sick neonates is statistically significant: $p = 0.001$ (Fig. 3). Mean CI value in

nego, ustawiając głowicę w okolicy podmostkowej w projekcji poprzecznej (ryc. 2).

Następnie dla każdego pacjenta wyliczono trzy parametry. Współczynnik IVC/AAB rozdzielono na dwa: IVC_1/AAB i IVC_2/AAB , gdzie za IVC_1 przyjęto średnicę żyły głównej dolnej w fazie wydechu, a za IVC_2 – w fazie wdechu. Trzeci parametr, czyli współczynnik zapadalności (*collapsibility index*, CI) żyły głównej dolnej, liczony był jako iloraz różnicy średnicy żyły głównej dolnej mierzonej na wydechu i wdechu ($IVC_1 - IVC_2$) do średnicy żyły w fazie wydechu (IVC_1).

Obliczenia statystyczne przeprowadzone na grupie 50 pacjentów (25 chorych – grupa badana, 25 zdrowych – grupa kontrolna). Wyniki obliczeń z $p < 0,05$ uznano za statystycznie istotne. Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą pakietu StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA, version 10.

Normalność rozkładu danych sprawdzano testem Shapiro-Wilka. Rozkład wartości CI w grupie osób zdrowych był zgodny z rozkładem normalnym, zaś w grupie chorych odbiegał od niego. Wobec powyższego stosowano test nieparametryczny U Manna-Whitneya, a na wykresie przedstawiono mediany z kwartylami i wartościami minimalnymi oraz maksymalnymi. Rozkład wartości IVC_1/AAB i IVC_2/AAB w grupie osób zdrowych i chorych spełniał warunki rozkładu normalnego. Wobec tego stosowano parametryczny test t -Studenta, a na wykresie przedstawiono średnie, błąd standardowy, wartości odstające i ekstremalne.

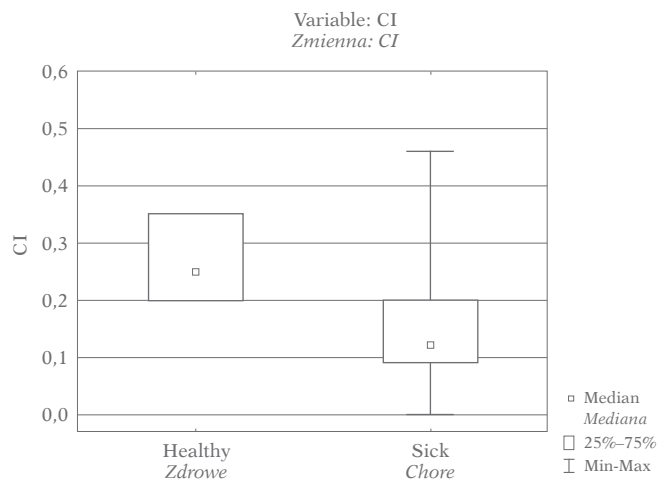


Fig. 3. Box plot: whiskers for the groups of healthy and sick neonates for CI values

Ryc. 3. Wykres ramka: wąsy dla grupy noworodków zdrowych i chorych dla wartości CI

the studied healthy newborns is 0.28 (standard deviation: 0.13). In the group of sick neonates, on the other hand, CI is 0.16 (standard deviation: 0.13). The range of values between the 10th and 90th percentile in the group of healthy newborns is considered to be the reference range: 0.12–0.46 (Fig. 4).

Another index calculated in the study is the ratio of the inferior vena cava diameter during the expiratory phase to the diameter of the aorta (IVC_1/AAB). Statistical analysis revealed that this index is not significantly different ($p = 0.393$ – statistically insignificant difference) between the groups of sick and healthy children. Higher values are observed in sick neonates (Fig. 5). In the group of healthy newborns the mean IVC_1/AAB value is 0.73 (standard deviation 0.17) and in the group of sick neonates the figures are 0.79 and 0.22, respectively. The analysis allows for establishing the following norm determined by the 10th and 90th percentile for the group of healthy neonates: 0.51–0.96 (Fig. 6).

Finally, the ratio of the inferior vena cava diameter during the inspiratory phase to the diameter of the aorta (IVC_2/AAB) was calculated. The difference between the two study groups is statistically significant: $p = 0.018$ (Fig. 7). In the group of healthy newborns the mean IVC_2/AAB value is 0.53 (standard deviation 0.17) and in the group of sick neonates the figures are 0.67 and 0.23, respectively. The values of extreme percentiles for the healthy neonates are: 0.34–0.77 (Fig. 8).

Discussion

Fluid balance disorders in neonates

Children, including newborns, are particularly sensitive to fluctuations in the fluid volume in the body associated with

Wyniki

W grupie przebadanych noworodków różnica między CI w grupie osób zdrowych a w grupie osób chorych jest istotna statystycznie $p = 0,001$ (ryc. 3). Wartość średnia CI w przebadanej grupie noworodków zdrowych wynosi 0,28, odchylenie standardowe 0,13. Natomiast w grupie noworodków chorych CI wynosi 0,16, a odchylenie standardowe 0,13. Jako zakres wartości referencyjnych uznano przedział między 10. a 90. percentylem w grupie noworodków zdrowych: 0,12–0,46 (ryc. 4).

Kolejnym współczynnikiem wyliczonym w badaniu jest stosunek średnicy żyły głównej dolnej w fazie wydechu do średnicy aorty (IVC_1/AAB). Po przeanalizowaniu metodami statystycznymi okazało się, że współczynnik ten nie różni się znacząco ($p = 0,393$ – różnica nieistotna statystycznie) między grupą dzieci chorych i zdrowych. Obserwuje się wyższe wartości u chorych noworodków (ryc. 5). W grupie zdrowych noworodków średnia wartość IVC_1/AAB wynosi 0,73, odchylenie standardowe 0,17, a w grupie chorych noworodków – odpowiednio 0,79 i 0,22. Analiza pozwala na zaproponowanie normy wyznaczonej przez 10. i 90. percentyl dla grupy noworodków zdrowych: 0,51–0,96 (ryc. 6).

Ostatnim współczynnikiem oznaczonym w badaniu jest stosunek średnicy żyły głównej dolnej w fazie wdechu do średnicy aorty (IVC_2/AAB) – różnica między obiema grupami badawczymi jest istotna statystycznie: $p = 0,018$ (ryc. 7). W grupie zdrowych noworodków średnia wartość IVC_2/AAB wynosi 0,53, odchylenie standardowe 0,17, a w grupie chorych noworodków odpowiednio – 0,67 i 0,23. Wartości skrajnych percentyli dla grupy noworodków zdrowych wynoszą: 0,34–0,77 (ryc. 8).

Dyskusja

Zaburzenia równowagi płynowej u noworodków

Dzieci, w tym noworodki, są szczególnie wrażliwe na wahania objętości płynów w organizmie w przebiegu różnych

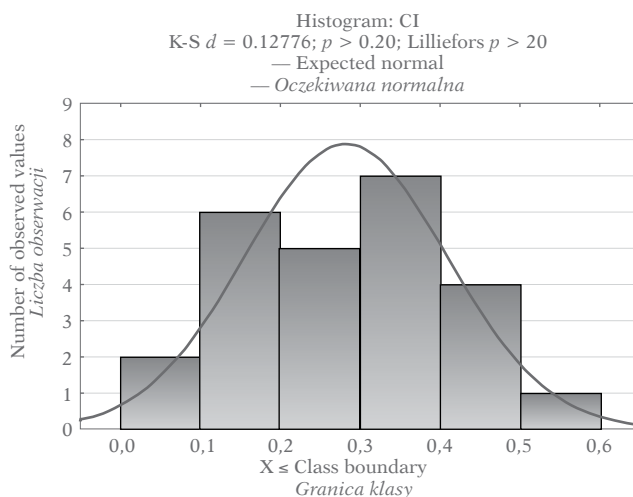


Fig. 4. Histogram for the group of healthy neonates for CI values

Ryc. 4. Histogram dla grupy noworodków zdrowych dla wartości CI

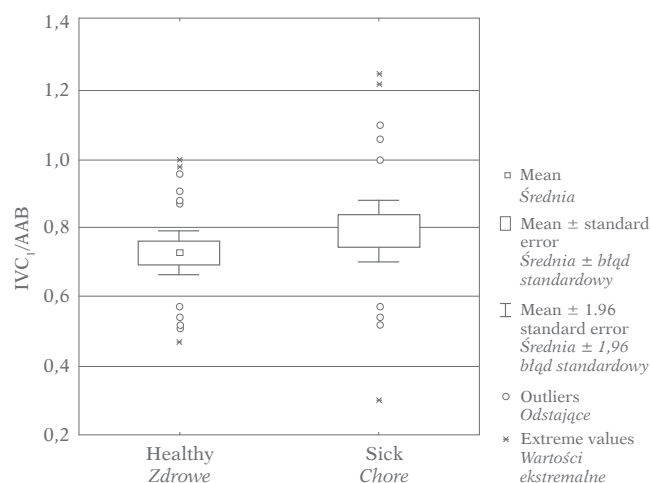


Fig. 5. Box plot: Whiskers for the groups of healthy and sick neonates for IVC_1/AAB values

Ryc. 5. Wykres ramka: Wąsy dla grupy noworodków zdrowych i chorych dla wartości IVC_1/AAB

various disease processes. The total body water (TBW) is divided into extracellular fluid (ECF), which accounts for 1/3 of the TBW and intracellular fluid (ICF), which accounts for 2/3 of the TBW. The ECF space includes a few compartments such as plasma volume, interstitial fluid (it surrounds all cells except for blood cells and includes lymph) and transcellular fluid (fluid located in the lumen of epithelium-covered structures; it includes gastrointestinal tract secretions, perspiration, cerebrospinal, pleural, pericardial, peritoneal and synovial fluid, aqueous humour of the eyes, bile as well as intestinal, thyroid and cochlear fluid). The daily fluid exchange in a neonate is as high as 25% of the TBW, while in an adult individual this proportion is close to 6%⁽³⁾. It should be noted that in adults the extracellular fluid accounts for 33% of the total body water while in newborns this proportion is 53%. As a result, the clinical picture of dehydration in neonates is more spectacular. Increased water demand is caused by diarrhea, vomiting, respiratory tract infections with accompanying fever, tachypnea, diseases with polyuria (diabetes mellitus, diabetes insipidus), light therapy, the use of open incubators, the use of a tracheostomy, a nasogastric tube, surgical drains as well as burn treatment. Decreased water demand is found in hypothyroidism, diseases with accompanying oliguria or anuria (renal insufficiency, syndrome of inappropriate antidiuretic hormone secretion [SIADH]) and when humidifiers are used in ventilators⁽⁴⁾.

Methods of hydration assessment

A dehydrated newborn always looks sick. The child may sometimes have a reduced level of consciousness, which, however, is difficult to assess since it sleeps almost all day. Mild dehydration may only manifest itself with increased thirst. A common symptom of dehydration is dry oral mucosa, although it may also occur in other pathological conditions (e.g. in acidosis). Another symptom which suggests dehydration is decreased elasticity of tissues on the

procesów chorobowych. Całkowita woda w organizmie (*total body water*, TBW) dzieli się na płyn zewnątrzkomórkowy (*extracellular fluid*, ECF), który stanowi 1/3 TBW, oraz płyn wewnątrzkomórkowy (*intracellular fluid* ICF), który stanowi 2/3 TBW. Przestrzeń ECF obejmuje kilka przedziałów: objętość osocza, płyn śródmiąższowy (otacza wszystkie komórki poza krwinkami i obejmuje limfę) oraz płyn transkomórkowy (płyn zawarty w świetle struktur pokrytych nabłonkiem; obejmuje wydzieliny przewodu pokarmowego, pot, płyny mózgowo-rdzeniowy, opłucnowy, osierdziowy, otrzewnowy, maź stawową, ciecz wodnistą gałek ocznych, żółć, a także płyny wypełniające jelita, tarczycę i ślimak). Dobowa wymiana wody u noworodka sięga 25% TBW, podczas gdy u dorosłego człowieka odsetek ten zbliżony jest do 6%⁽³⁾. Należy zauważyć, że płyn zewnątrzkomórkowy u dorosłych stanowi 33% całkowitej wody w organizmie, podczas gdy u noworodków jest to 53%. Dlatego obraz kliniczny odwodnienia u noworodków jest bardziej spektakularny. Do przyczyn zwiększonego zapotrzebowania na wodę należą: biegunka, wymioty, choroby infekcyjne dróg oddechowych przebiegające z gorączką, *tachypnoe*, choroby z poliurią (cukrzyca, moczówka prosta), fototerapia, stosowanie inkubatorów otwartych, użycie tracheostomii, sondy nosowo-żołądkowej, drenów chirurgicznych, leczenie oparzeń. Zmniejszone zapotrzebowanie na wodę występuje w niedoczynności tarczycy, chorobach przebiegających z oligurią lub anurią (niewydolność nerek; zespół niewłaściwego uwalniania wazopresyny – *syndrome of inappropriate antidiuretic hormone secretion*, SIADH), a także przy stosowaniu nawilżaczy w respiratorach⁽⁴⁾.

Metody oceny stopnia nawodnienia

Odwodniony noworodek sprawia zawsze wrażenie chorego. Bywa, że ma zmniejszony poziom świadomości, który trudno jednak ocenić, bo przesypia niemal całą dobę. Łagodne odwodnienie może objawiać się jedynie wzmocnionym pragnieniem. Często stwierdzanym objawem odwod-

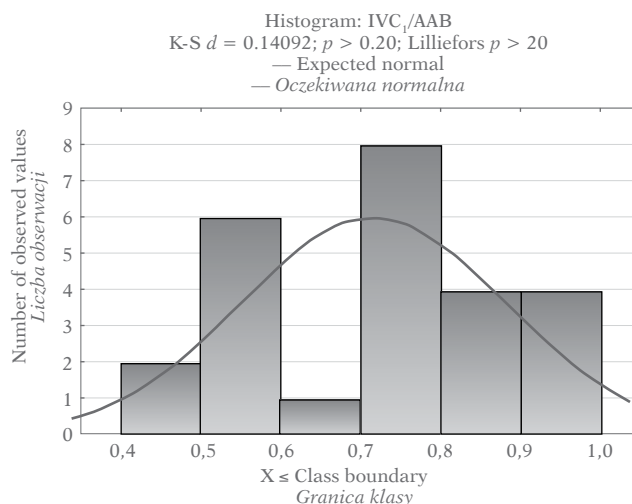


Fig. 6. Histogram for the group of healthy neonates for IVC_1/AAB values

Ryc. 6. Histogram dla grupy noworodków zdrowych dla wartości IVC_1/AAB

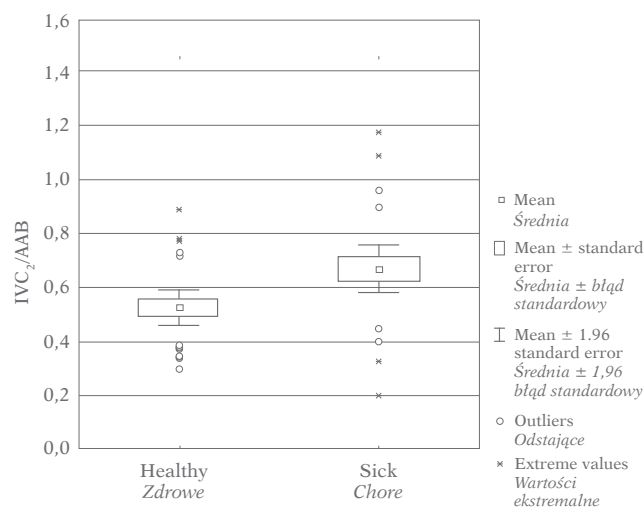


Fig. 7. Box plot: Whiskers for the groups of healthy and sick neonates for IVC_2/AAB values

Ryc. 7. Wykres ramka: Wąsy dla grupy noworodków zdrowych i chorych dla wartości IVC_2/AAB

abdomen, chest and thigh (although the assessment of the skin and muscle fold exclusively on the abdomen may be misleading, since the abdomen is often distended). Sunken eyes, lack of tears during crying and depressed anterior fontanelle are also clinical signs of dehydration; however, they do not seem to be fully reliable. Also, the child's body mass may be measured every day and the volume of passed urine may be observed, but these methods are time-consuming. With a growing water deficit signs of circulatory failure also occur, such as peripheral vasoconstriction (the skin becomes cold and marble-like) and a slow refill of cutaneous capillary bed following pressure on the earlobe and nail plate – the capillary refill time becomes longer. These signs, however, may also be affected by the ambient temperature, therefore, they must be interpreted with caution. Severe dehydration is accompanied by shock and tachycardia, low tension, thready pulse and low arterial pressure. Fluid deficit of 50 ml/kg causes tachycardia, which occurs during an infection or fever⁽³⁾.

Laboratory tests may help assess body fluid status. For example, significant dehydration causes urine specific gravity to be elevated and once fluids are replenished, it decreases. Urinalysis in dehydrated patients shows the presence of hyaline and granular casts, single white and red blood cells as well as proteinuria at the level of 30–100 mg/dL. Blood count reveals elevated hemoglobin and hematocrit levels (although in patients with anemia these parameters may be within reference ranges). Protein concentration assay is of doubtful utility, especially in hypotrophic neonates. Creatinine and urea levels increase in dehydrated neonates; however, these parameters are not useful for the assessment of body fluid status in patients with renal insufficiency. Another method involves determination of plasma electrolyte levels combined with ECG examination (hyper- and hypokalemia)⁽⁴⁾. Echocardiography may also be used, but it requires a high level of experience from the examiner as well as specialist equipment.

nienia jest suchość błony śluzowej jamy ustnej, chociaż sucha błona śluzowa może również występować w innych stanach patologicznych (np. w kwasicy). Kolejnym objawem sugerującym odwodnienie jest zmniejszona elastyczność tkanek na brzuchu, klatce piersiowej i udzie (niemniej ocena fałdu skórno-mięśniowego wyłącznie na brzuchu może być myląca, gdy brzuch często jest wzdęty). Zapadnięte gałki oczne, brak łez przy płaczu, zapadnięte ciemiączko przednie to inne cechy kliniczne nawodnienia, które jednak nie do końca wydają się wiarygodne. Można też stosować codzienny pomiar masy ciała czy obserwację objętości oddawanego moczu, lecz są to metody czasochłonne. Przy narastającym stopniu odwodnienia dołączają się objawy niewydolności krążenia: obkurczanie naczyń obwodowych (skóra staje się zimna, marmurkowa), wolne wypełnianie łożyska skórnych naczyń włosowatych przy ucisku płaska ucha i płytki paznokcia – wydłuża się czas powrotu włóśniczki. Jednak na te objawy ma wpływ również temperatura otoczenia, więc z ich interpretacją trzeba być ostrożnym. Natomiast ciężkiemu odwodnieniu towarzyszy wstrząs z tachykardią, słabo napiętym, nitkowatym tętnem i niskim ciśnieniem tętniczym. Niedobór płynów sięgający 50 ml/kg powoduje tachykardię, która występuje podczas infekcji czy gorączki⁽³⁾.

W ocenie nawodnienia można posiłkować się badaniami laboratoryjnymi. Na przykład przy znacznym odwodnieniu ciężar właściwy moczu jest podwyższony, a obniża się po nawodnieniu. W badaniu ogólnym moczu pacjentów odwodnionych stwierdza się obecność wałeczków szklanych i ziarnistych, pojedynczych leukocytów i erytrocytów oraz proteinurię rzędu 30–100 mg/dl. W morfologii krwi obserwuje się wzrost hemoglobiny i hematokrytu (jednak u chorych z niedokrwistością parametry te mogą być w zakresie wartości referencyjnych). Oznaczanie stężenia białka ma wątpliwą wartość, zwłaszcza u noworodków hipotroficznym. Stężenie kreatyniny czy mocznika u odwodnionych noworodków wzrasta, lecz przydatność oceny tych para-

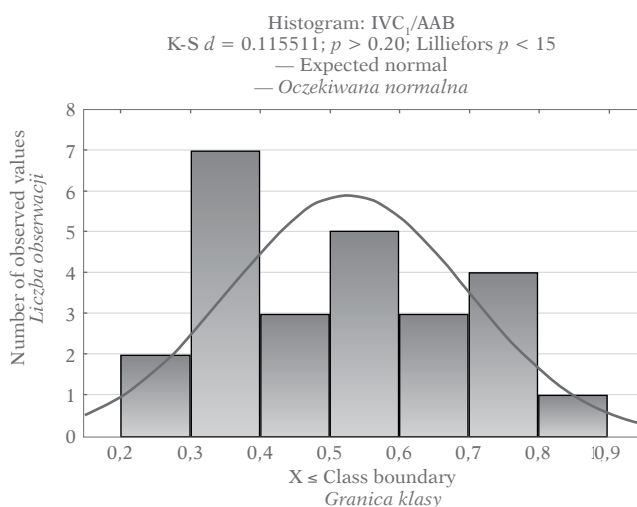


Fig. 8. Histogram for the group of healthy neonates for IVC_2/AAB values

Ryc. 8. Histogram dla grupy noworodków zdrowych dla wartości IVC_2/AAB

Sonography in the evaluation of body fluid status

According to reports by doctors from the Medical University of Gdańsk of 2006⁽¹⁾ ultrasound examination may be useful for the assessment of body fluid status in the pediatric population as well. This method consists in the measurement of the diameter of the inferior vena cava and abdominal aorta. The aorta was chosen for two reasons. Firstly, its diameter depends on the age, sex and body surface, but does not depend on the level of hydration. Secondly, the inferior vena cava and aorta develop at the same time during fetal life^(5,6). The results of this study were presented at the 18th European ultrasound meeting Euroson 2006 in Bologna, Italy⁽¹⁾. The study was subsequently printed in the *American Journal of Emergency Medicine*⁽⁷⁾. Another element presented in this study is inferior vena cava collapsibility index, which is calculated based on the measurement of the diameter of the vein in two states – the inspiratory phase and the expiratory phase⁽¹⁾. Unlike the resilient aortic wall, the wall of the vein changes shape during respiration. During inhalation the dome of the diaphragm is lowered (flattens), which causes chest volume to expand. As a result of these changes abdominal pressure increases and the wall of the inferior vena cava becomes compressed (collapses), thus creating the smaller dimension of the vessel. Exhalation involves the opposite – the diaphragm relaxes, abdominal pressure decreases, the wall of the inferior vena cava returns to its original shape and its dimension becomes larger. In the past Cheriex established a normal range for the diameter of the vein in relation to body surface. He also determined a reference value range for the inferior vena cava collapsibility index for the adult population of 0.4–0.75^(1,8). Natori also studied body fluid status assessment using ultrasound in 1979 r. He observed a relationship between the change of the inferior vena cava diameter and pressure in the right atrium of the heart^(1,9). In 2007 a study was published in the *Academic Emergency Medicine* on a pediatric population in which the usefulness of the aorta/inferior vena cava index was evaluated⁽¹⁰⁾. In November 2014 another paper concerning this issue was published. In this work the results of measurements of hydration performed by experienced and inexperienced examiners were assessed. The paper shows that the measurement of the inferior vena cava/aorta index is a quick test that is easy to master for individuals who do not have a particularly large experience in working with the ultrasound device⁽¹¹⁾. In 2014 in the *Critical Ultrasound Journal* a paper was published in which the authors demonstrated that the inferior vena cava/aorta index was not a very reliable indicator of significant dehydration in children; in addition, the inferior vena cava collapsibility index and physical examination were not helpful in the assessment of body fluid status in this age group⁽¹²⁾.

Summary

There is no single, perfect method of the assessment of body fluid status in neonates. Many different symptoms and parameters should be taken into account. Therefore, it seems especially justified to use imaging to this end in the

metry w ocenie nawodnienia nie ma znaczenia w grupie pacjentów z niewydolnością nerek. Kolejną metodą jest oznaczanie stężenia elektrolitów w osoczu uzupełnione o ocenę EKG (hiper- i hipokaliemia)⁽⁴⁾. Można również wykorzystać badanie echokardiograficzne, jednak niezbędne jest do tego duże doświadczenie badającego oraz specjalistyczny sprzęt.

Ultrasonografia w ocenie stopnia nawodnienia

Według doniesień lekarzy z Uniwersytetu Medycznego w Gdańsku z roku 2006⁽¹⁾ badanie USG może być użyteczne w ocenie stanu nawodnienia również w populacji pediatrycznej. Metoda polega na pomiarze średnicy żyły głównej dolnej i średnicy aorty brzusznej. Aortę wybrano z dwóch względów – po pierwsze, jej średnica zależy od wieku, płci i powierzchni ciała, natomiast nie zależy od stanu nawodnienia organizmu, a po drugie, żyła główna dolna i aorta w życiu płodowym rozwijają się w tym samym czasie^(5,6). Wyniki tego badania przedstawiono na XVIII Europejskim Zjeździe Ultrasonograficznym w Bolonii (Euroson 2006)⁽¹⁾. Następnie praca ukazała się drukiem w „*American Journal of Emergency Medicine*”⁽⁷⁾. Kolejnym elementem przedstawionym w powyższej pracy jest współczynnik zapadalności żyły głównej dolnej, liczony na podstawie dwóch pomiarów średnicy żyły w fazie wdechu i wydechu⁽¹⁾. W odróżnieniu od sprężystej ściany aorty ściana żyły w czasie oddychania zmienia swój kształt. Podczas wdechu kopuła przepony obniża się (spłaszcza), co powoduje zwiększenie objętości w klatce piersiowej; pod wpływem tych zmian wzrasta ciśnienie w jamie brzusznej i ściana żyły głównej dolnej zostaje uciśnięta (zapada się) – jest to mniejszy wymiar żyły. Odwrotnie dzieje się przy wydechu – przepona się rozluźnia, maleje ciśnienie w jamie brzusznej, ściana żyły głównej dolnej wraca do swojego kształtu sprzed wdechu, wymiar jej się zwiększa. W przeszłości Cheriex wyznaczył normy dotyczące średnicy żyły w stosunku do powierzchni ciała, a także normę współczynnika zapadalności żyły głównej dolnej dla populacji dorosłych, określając zakres wartości referencyjnych na poziomie 0,4–0,75^(1,8). Zagadnieniem oceny nawodnienia przy użyciu USG zajmował się też Natori, który w 1979 r. zaobserwował związek między zmianą średnicy żyły głównej dolnej a ciśnieniem w prawym przedsionku serca^(1,9). W 2007 r. w „*Academic Emergency Medicine*” ukazała się praca dotycząca populacji dziecięcej, w której oceniono przydatność współczynnika aorta/żyły głównej dolnej u pacjentów pediatrycznych⁽¹⁰⁾. W listopadzie 2014 r. została opublikowana kolejna praca poświęcona temu zagadnieniu. Oceniono w niej wyniki pomiarów stopnia nawodnienia wykonywanych przez doświadczonych i niedoświadczonych badaczy. Praca pokazuje, że pomiar współczynnika żyła główna dolna/aorta jest badaniem szybkim i łatwym do opanowania nawet dla osób niemających zbyt dużego doświadczenia w pracy z ultrasonografem⁽¹¹⁾. Natomiast w „*Critical Ultrasound Journal*” w 2014 r. opublikowano pracę, w której wykazano, że współczynnik żyła główna dolna/aorta jest mało przydatnym wykładnikiem istotnego odwodnienia u dzieci, ponadto współczynnik zapadalności żyły głównej dolnej i badanie fizykalne nie były pomocne w ocenie nawodnienia w tej grupie wiekowej⁽¹²⁾.

form of ultrasound assessment of the inferior vena cava. The use of ultrasound for the measurement of the inferior vena cava diameter seems to be a very good method for the youngest of patients – neonates, including preterm newborns. Even though the usefulness of this examination has already been proven many times, it has not widely entered everyday clinical practice yet. It seems that further prospective studies are needed to evaluate the usefulness of diagnostic ultrasound imaging for the assessment of body fluid status in this patient group.

Conclusions

1. Normal ranges have been established for neonates for the following indices:
 - CI: 0.12–0.46;
 - IVC_1/AAB : 0.51–0.96;
 - IVC_2/AAB : 0.34–0.77.
2. The difference in the IVC_1/AAB index between the groups of healthy and sick children is not statistically significant ($p > 0.05$). This means that it is necessary to measure the inferior vena cava diameter in the inspiratory phase (when the diameter of the vein is the smallest, the vein is most collapsed). Therefore, the IVC_2/AAB index and CI are useful for the assessment of body fluid status.
3. Due to the short duration of the measurement, non-painful and non-invasive course of the examination and relatively easy access to equipment, this procedure may be used in the everyday practice of neonatologists.

Conflict of interest

Authors do not report any financial or personal connections with other persons or organizations, which might negatively affect the contents of this publication and/or claim authorship rights to this publication.

References / Piśmiennictwo

1. Kosiak W, Świętoń D, Czarniak P, Kujawa M, Piskunowicz M: Usefulness of ultrasound examination in evaluation of body fluid status. *Ultrasonografia* 2008; 8: 12–14.
2. Ritz P, Berrut G: The importance of good hydration for day-to-day health. *Nutr Rev* 2005; 63 (Suppl. 1): S6–S13.
3. Behrman R, Kliegman R, Nelson W, Vaughan V: *Nelson Textbook of Pediatrics*. PWN, Warszawa 1996.
4. Marcidante K, Kliegman R, Jenson H, Behrman R: *Nelson Essentials of Pediatrics*. Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2012.
5. Pearce WH, Slaughter MS, LeMaire S, Salyapongse AN, Feinglass J, McCarthy WJ *et al.*: Aortic diameter as a function of age, gender, and body surface area. *Surgery* 1993; 114: 691–697.

Podsumowanie

Nie ma jednej doskonałej metody oceny stanu nawodnienia noworodków. W ocenie tej należy kierować się wieloma różnymi objawami i parametrami. Tym bardziej wydaje się pożądane wykorzystanie do tego celu badania obrazowego, jakim jest ultrasonograficzna ocena żyły głównej dolnej. Wykorzystanie badania ultrasonograficznego do pomiaru średnicy żyły głównej dolnej wydaje się bardzo dobrą metodą dla najmłodszych pacjentów, czyli noworodków, także w ich szczególnej grupie – wcześniaków. Przydatność tego badania została już niejednokrotnie udowodniona, mimo to nie weszło ono jeszcze powszechnie do codziennej praktyki klinicznej. Wydaje się, że konieczne są dalsze prospektywne badania oceniające przydatność diagnostyki ultrasonograficznej w ocenie stanu nawodnienia w tej grupie pacjentów.

Wnioski

1. Wyznaczono normy dla grupy noworodków dotyczące współczynników:
 - CI: 0,12–0,46;
 - IVC_1/AAB : 0,51–0,96;
 - IVC_2/AAB : 0,34–0,77.
2. Różnica między współczynnikiem IVC_1/AAB w grupie chorych i zdrowych osób nie jest istotna statystycznie ($p > 0,05$), co świadczy o konieczności pomiarów średnicy żyły głównej dolnej w fazie wdechowej (gdy średnica żyły jest najmniejsza, żyła jest najbardziej zapadnięta). Zatem przydatny do oceny stanu nawodnienia jest współczynnik IVC_2/AAB i CI.
3. Ze względu na krótki czas wykonywania pomiaru, bezbolesny i bezinwazyjny przebieg badania oraz stosunkowo łatwy dostęp do sprzętu badanie to może być wykorzystywane w codziennej praktyce neonatologów.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

9. Natori H, Tamaki S, Kira S: Ultrasonographic evaluation of ventilatory effect on inferior vena cava configuration. *Am Rev Respir Dis* 1979; 120: 421–427.
10. Chen L, Kim Y, Santucci KA: Use of ultrasound measurement of the inferior vena cava diameter as an objective tool in the assessment of children with clinical dehydration. *Acad Emerg Med* 2007; 14: 841–845.
11. Durajska K, Januszkiewicz E, Szmygel Ł, Kosiak W: Inferior vena cava/aorta diameter index in the assessment of the body fluid status – a comparative study of measurements performed by experienced and inexperienced examiners in a group of young adults. *J Ultrason* 2014; 14: 273–279.
12. Jauregui J, Nelson D, Choo E, Stearns B, Levine AC, Liebmann O *et al.*: The BUDDY (Bedside Ultrasound to Detect Dehydration in Youth) study. *Crit Ultrasound J* 2014; 6: 15.