

Marcin LUBERDA
Krzysztof STACHURA
Marek MOSKAŁA

Badanie ultrasonograficzne nerwów wzrokowych jako metoda nieinwazyjnej oceny ciśnienia śródczaszkowego

nerw wzrokowy
intraoculna
ciężar

Klinika Neurochirurgii i Neurotraumatologii
CM UJ w Krakowie
Kierownik Kliniki:
Prof. dr hab. n. med. Marek Moskała

Dodatkowe słowa kluczowe:

ciśnienie wewnątrzczaszkowe (ICP)
szerokość pochewki nerwu wzrokowego (ONSD)
badanie ultrasonograficzne (USG)

Additional key words:

intracranial pressure (ICP)
optic nerve sheath diameter (ONSD)
ultrasonography (USG)

Nadciśnienie śródczaszkowe jest stanem zagrażającym życiu, związanym z różnymi schorzeniami zarówno neurologicznymi jak i nieneurologicznymi. Poszerzenie pochewki nerwu wzrokowego zostało opisane u chorych ze wzmożonym ciśnieniem wewnątrzczaszkowym. Badanie ultrasonograficzne nerwów wzrokowych oferuje szybką przyłóżkową ocenę rozmiaru kompleksu nerwu wzrokowego i w ostatnich czasach zyskało uznanie jako metoda nieinwazyjna. Praca przedstawia aktualny pogląd na patofizjologię poszerzenia kompleksu nerwu wzrokowego towarzyszącą nadciśnieniu wewnątrzczaszkowemu, opisuje technikę badania oraz jego kliniczną przydatność.

Wprowadzenie

Ocena zmian ciśnienia śródczaszkowego stanowi istotny element, a zarazem problem, w leczeniu chorych zarówno w oddziałach intensywnej terapii neurochirurgicznych, gdzie szereg schorzeń może prowadzić do zmian jego wartości. Postawiona diagnoza udaru mózgu, pourazowego uszkodzenia mózgu, czy guza mózgu, wiąże się z nieodzownością z naruszeniem śródczaszkowej równowagi objętościowo - ciśnieniowej. Od wielu lat znanym i niepodważalnym jest fakt, że szybka diagnoza i leczenie nadciśnienia śródczaszkowego są niezmiennie związane z lepszym rokowaniem klinicznym. Implantowanie różnego typu czujników wewnątrzczaszkowych do pomiaru ciśnienia śródczaszkowego (ICP), jako metoda inwazyjna, nie zawsze jest wskazane. Koagulopatie, trombocytopenia, skazy naczyniowe, a w ośrodkach poza neurochirurgicznych, brak neurochirurga stanowi istotną przeszkodę w stosowaniu tej metody. Przy braku inwazyjnego monitoringu, ocena objawów wzmożonego ICP w badaniu tomografii komputerowej i rezonansie magnetycznym jest podstawą do podejmowania decyzji o konieczności i sposobie leczenia. Zarówno badanie tomografii komputerowej jak i rezonansu magnetycznego jest metodą czasochłonną, wymaga transportu pacjentów, często w stanie krytycznym, i dostępności wysokospecjalistycznego sprzętu. Badanie oftalmoskopowe – ocena tarczy nerwu wzrokowego – aby było obiektywne wymaga sporego doświadczenia i zwykle pozwala na ocenę długotrwałych skutków trwającego

Intracranial hypertension is a common life-threatening syndrome caused by a variety of neurological and non-neurological diseases. Enlargement of the optic nerve sheath has been described in patients with raised intracranial pressure (ICP). Optic nerve sonography offers rapid bedside assessment of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and has recently been introduced for the noninvasive detection of raised ICP. This study explains the pathophysiology of optic nerve sheath enlargement as a result of intracranial hypertension, describes the technique and clinical use of optic nerve sonography.

nadciśnienia wewnątrzczaszkowego. Przeważnie badanie USG Dopplerowskie, które również wymaga znacznego doświadczenia, może być niemożliwe do wykonania u około 10% pacjentów z powodu warunków anatomicznych dyskwalifikujących ich, z braku odpowiednich okien sonograficznych. Dokładne i wiarygodne narzędzie oceny ICP, a przy tym nieinwazyjne, ma istotne znaczenie w sytuacjach klinicznych podejrzenia nadciśnienia śródczaszkowego, przy jednoczesnym braku dostępności metod inwazyjnych lub znaczącym ryzyku ich zastosowania. Aby badanie mogło być użyteczne i ekonomiczne, nie powinno wymagać wysokospecjalistycznego sprzętu i jednocześnie powinno być dostępne przy łóżku pacjenta. Warunki te wydaje się spełniać badanie ultrasonograficzne nerwów wzrokowych. Zwiększenie wymiaru pochewki nerwu wzrokowego (ONSD), w ustalonej odległości od siatkówki oka, jest możliwe do stwierdzenia w badaniu USG i stanowi podstawę do przyjęcia tego badania jako nieinwazyjnej metody oceny zmian ciśnienia wewnątrzczaszkowego.

Anatomia pochewki nerwu wzrokowego (ONS)

Kompleks nerwu wzrokowego składa się z samego nerwu, który stanowi pasmo istoty białej będące wypustką ośrodkowego układu nerwowego oraz struktur okołonerwowych, w skład których wchodzi przestrzeń podpajęczynówkowa, będąca kontynuacją przestrzeni podpajęczynówkowej wewnątrzczaszkowej, jak i opona otaczająca nerw do

Adres do korespondencji:

Marcin Luberdą

Klinika Neurochirurgii i Neurotraumatologii,
ul. Botaniczna 3, 31-503 Kraków

tel. 12 424 86 62

e-mail: luma@su.krakow.pl

poziomu gałki ocznej. Długość nerwu wzrokowego wynosi około 40 mm, przy średniej jego szerokości 4 mm wraz z pochewką, a 3 mm bez niej. Średnia szerokość samej pochewki wynosi 0,4 mm i obejmuje 0,1 mm szerokości przestrzeni podpajęczynówkową między nerwem wzrokowym a strukturami opon mózgowych. Przestrzeń podpajęczynówkowa wypełniona jest objętością ok. 0,1 ml płynu mózgowo-rdzeniowego (CSF – cerebrospinal fluid) i ma złożoną konstrukcję, składającą się z licznych beleczek, przegród i grubych słupków, rozpiętych pomiędzy pajęczynówką a oponą miękką otaczającą nerw wzrokowy. Struktura ta jest gęściej upakowana proksymalnie a bardziej transparentna dystalnie, co prowadzi do powstania wielokomorowego rurowego systemu, ślepo zakończonych za gałką oczną. Przez cały ten system przenika i krąży płyn mózgowo-rdzeniowy, a jego dystrybucja zależy od wielu czynników. Uważa się, że przy prawidłowych warunkach płyn mózgowo-rdzeniowy przepływa w kierunku gałki ocznej, a na skutek jej ruchów dochodzi do ściskania pochewki nerwu wzrokowego co prowadzi do zmiany kierunku przepływu wzdłuż nerwu [11]. Udokumentowano bezpośrednią komunikację pomiędzy przestrzenią podpajęczynówkową otaczającą nerw wzrokowy, a zbiornikami skrzyżowania nerwów wzrokowych [10]. Komunikacja ta umożliwia bezproblemowy przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego pomiędzy dwoma przestrzeniami płynowymi. Inni autorzy wykazali, że wspomniana komunikacja przyczynia się do wchłaniania płynu mózgowo-rdzeniowego przez naczynia limfatyczne opon nerwu wzrokowego [4]. Dzięki temu połączeniu możliwe jest również utrzymanie jednakowego ciśnienia płynu w dwu różnych przedziałach przestrzeni podpajęczynówkowej, a ewentualne różnice są niwelowane swobodnym przepływem CSF (Rycina 1).

Nadciśnienie wewnątrzczaszkowe a poszerzenie pochewki nerwu wzrokowego

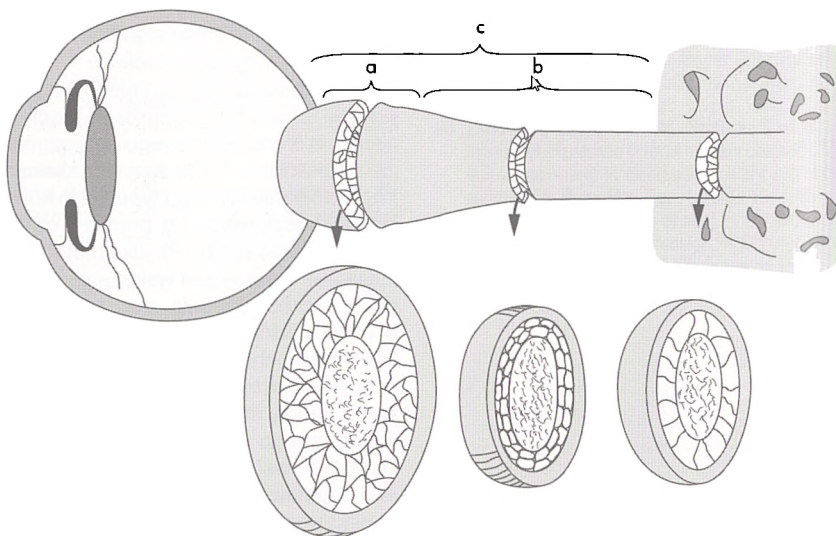
Wzrost ICP przynosi się w okolicy początku nerwu wzrokowego prowadząc do obrzęku tarczy nerwu wzrokowego [7]. O ile rozwój obrzęku tarczy nerwu wzrokowego może trwać od kilku godzin do wielu dni, to poszerzenie zagalkowe pochewki nerwu wzrokowego pojawia się w przeciągu sekund [6,8]. Średnica pochewki nerwu wzrokowego ma stałą wartość, która nie ulega zmianom przy wartościach ICP, utrzymujących się w granicach normy. W momencie wzrostu ciśnienia śródczaszkowego, płyn mózgowo-rdzeniowy przepływa do przestrzeni podpajęczynówkowej pochewki powodując wzrost ciśnienia wokół nerwu wzrokowego. Jednocześnie dochodzi do poszerzenia przestrzeni oponowej i wzrostu ONSD. Poszerzenie to głównie dotyczy dystalnego odcinka pochewki - 3 mm za gałką oczną, podczas gdy proksymalny odcinek ulega niewielkim zmianom rozmiarów lub wręcz nie obserwuje się tam tego zjawiska. Liu i Kahn, w trakcie badań na zwłokach, obserwowali gradient ciśnień w obrębie pochewki nerwu wzrokowego w korelacji z ICP oraz budową anatomiczną przestrzeni wokół nerwów wzrokowych. Zauważyli, że utkanie

beleczkowe pochewki nerwu jest najgęstsze dystalnie, a w miarę zbliżania się do strefy zagalkowej pochewka staje się cieńsza i bardziej elastyczna. Pomimo, że nie mierzyli zmian ONSD zauważyli, że „... u wszystkich zwłok, zagalkowa część nerwu wzrokowego ulegała rozdęciu w momencie wytworzenia nadciśnienia wewnątrzczaszkowego, podczas gdy nie obserwowano jednoznacznych zmian wyglądu na przebiegu pozostałej części nerwu...” [11]. W 1996 Helmke i Hansen w badaniach na zwłokach wykazali, że ONSD wzrasta w 60% w odległości 3 mm za gałką oczną przy 35% wzroście w odległości 10 mm, co potwierdziło obserwację Liu i Kahna [8,9,11]. Dowodzi to, że zwiększenie ONSD jest czułym parametrem oceny ciśnienia śródczaszkowego. Co więcej poszerzenie pochewki nerwu wzrokowego nie jest parametrem stałym ale zmiennym w czasie w zależności od wahań ICP.

Ultrasonografia nerwów wzrokowych

Bezpośrednie obrazowanie nerwów wzrokowych jest możliwe za pośrednictwem USG, które jest metodą szeroko dostępną, tanią, nieinwazyjną, szybką do oceny przy łóżku pacjenta. Pionierem metody był Ossolinig, który w latach 70-tych wprowadził tryb badania USG zwany prezentacją A (ang. „A-mode”) do różnicowania nerwu wzrokowego ze strukturami tkanek otaczających [13]. Wprowadzony w kolejnej dekadzie tryb badania USG zwany prezentacją B (ang. „B-mode”) uległ standaryzacji i zaadoptowany został głównie w okulistyce do oceny schorzeń oczu. Nowoczesne głowice USG umożliwiają dokładną ocenę przestrzeni zagalkowej i precyzyjne pomiary ONSD z rozdzielczością przestrzenną poniżej 0,4 mm. Badanie odbywa się przy użyciu liniowej głowicy o częstotliwości powyżej 7,5 MHz z wybraną opcją oceny struktur powierzchniowych. Pacjent ułożony jest

na wznak z głową w neutralnej pozycji z zamkniętymi oczami. Po nałożeniu żelu i ustawieniu głębokości penetracji na 5-8cm głowica przykładana jest delikatnie do górnej powieki w płaszczyźnie osiowej. Umożliwia to uzyskanie widoku poprzecznego przekroju gałki ocznej i przestrzeni zagalkowej. Kulista struktura gałki ocznej z nisko-echową komorą ciała szklonego i wysoko-echogeniczną tarczą nerwu wzrokowego na tylnej ścianie, stanowi główną część obrazu generowanego w USG. Następnie, wiązka fal USG skupiona na przestrzeni pozagalkowej, wymaga wyregulowania celem uzyskania optymalnego poziomu różnicowania między wewnątrzczaszkową tkanką tłuszczową a nisko-echogenicznym kompleksem pochewki nerwu wzrokowego. Ukazuje się ona jako ostro odgraniczona nisko-echogeniczna pasmowata struktura, odchodząca ku tyłowi od tylnej ściany gałki ocznej. Poprawność metody wymaga obrazowania nerwu wzrokowego w płaszczyźnie osiowej, co niejednokrotnie zmusza do korekcji i ustawienia kątownego głowicy USG. W celu wykonania pomiaru kursory ustawiane są obustronnie na zewnętrznej granicy kompleksu nerwu wzrokowego, w odległości 3 mm od tarczy nerwu wzrokowego. ONSD stanowi prostopadła do osi pionowej, pozioma odległość między dwoma kursorami. Wybrany do oceny segment charakteryzuje się, oprócz największej rozciągliwości, również największym ultrasonograficznym kontrastem i największą powtarzalnością oceny. Ponieważ wykonywane pomiary dotyczą niewielkich wartości tryb zoom może być pomocny w precyzyjnym umieszczeniu kursorów i tym samym daje możliwość dokładniejszej oceny ONSD. Dodatkowe pomiary ONSD można uzyskać w płaszczyźnie strzałkowej poprzez rotację głowicy zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a pomiary w przekroju czołowym poprzez



Rycina 1

Schematyczny rysunek nerwu wzrokowego przedstawiający rozkład (a) część opuszkowa (zawierającego beleczki), (b) część śród-oczdolowa (zawierającego przegrody i słupki), oraz (c) części kanalikową (zawierającej słupki). Część opuszkowa i śród-oczdolowa tworzy część oczodolową nerwu (zmodyfikowane wg Liu i Kahn [11]).

Źródło ryciny [10]

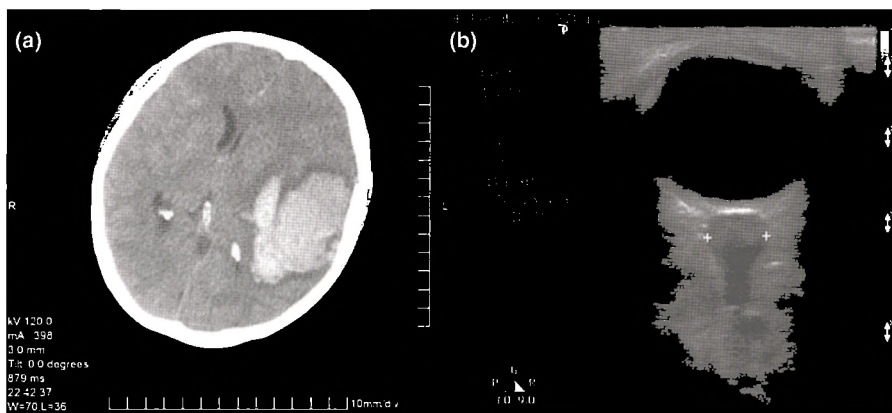
Schematic drawing of the optic nerve demonstrating the location of the (a) bulbar segment (containing trabeculae), (b) mid-orbital segment (containing septae and pillars), and (c) canalicular portion (containing pillars). The bulbar segment and the mid-orbital segment together form the orbital portion (modified according to Liu and Kahn [11]).

przyłożenie głowicy do kąta zewnętrznego powiek kierując wiązkę donosowo ku tyłowi do gałki ocznej. Pomiar w innych niż płaszczyna osiowa nie przyjęty się w praktyce klinicznej. Większości autorów rekomenduje jako górną granicę normy wartość ONSD 4,5 mm u chorych w wieku poniżej 1 r. ż. oraz 5,0 mm dla chorych w wieku powyżej 1 r.ż. [2,5,14,15]. Ostatnie badania sugerują, że wartością ONSD, która stanowi o dokładności w przewidywaniu nadciśnienia śródczaszkowego (przyjętego jako ICP większe niż 20 mm Hg) jest 5,7–6,0 mm, a pomiary ONSD powyżej tych wartości przekraczają próg ostrzegawczy w diagnostyce wzmożonego ciśnienia śródczaszkowego [5,14]. Pomimo istnienia symetrii w ocenie ONSD u konkretnego chorego, publikowane przypadki jednostronnego obrzęku tarczy nerwu wzrokowego, czy jednostronnego poszerzenia pochewki nerwowej sprawiają, iż aby uzyskać odpowiednią wiarygodność badania, w praktyce klinicznej konieczne jest wykonanie obustronnych pomiarów ONSD (Rycina 2).

Ograniczenie techniczne i względy bezpieczeństwa

Ograniczenia w ocenie ultrasonograficznej nerwów wzrokowych mogą być spowodowane urazami, jaki i innymi stanami chorobowymi mogącymi wpływać na oceniany kompleks nerwu wzrokowego. Pourazową neuropatię obserwuje się u pacjentów po urazach głowy. Jednocześnie poszerzenie nerwu wzrokowego może wynikać wtórnie z licznych schorzeń takich, jak guzy, stany zapalne, guzy przerzutowe oraz krwotoki do i okolonnerwowe.

Aktualne dostępne piśmiennictwo na temat możliwego uszkodzenia tkanek w wyniku rozgrzewania i kawitacji podczas wykonywania USG nie podważa bezpieczeństwa metody. W 2001 Food and Drug Administration (FDA) wprowadziło ograniczenie ekspozycji gałek ocznych na ultradźwięki, do wartości 50 mW/cm², a w Europie w 2006r. European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology (EFSUMB) zweryfikowało stan bezpieczeństwa klinicznego i ustaliło, że podjęta musi być szczególna ostrożność celem zredukowania termicznych i nietermicznych efektów niepożądanych w trakcie badania USG. Aby zapobiec potencjalnym uszkodzeniom oczu ultrasonografisci zobowiązani są do stosowania jak najniższych mocy fal USG. Standaryzacja badania ma niezmiernie duże znaczenie, ponieważ dokonywane pomiary ONSD dotyczą niewielkich wartości, a ograniczenia wynikające z jakości i jednocześnie dokładności aparatury mogą mieć istotny wpływ na uzyskiwane wyniki. Nieodpowiednia technika badania może generować istotne błędy i jednocześnie niwelować korzyści płynące z zastosowania tej metody. Do typowych błędów należą: niewłaściwe zobrazowanie nerwu wzrokowego w płaszczyźnie osiowej, niedokładne wyznaczenie konturów pochewki, oraz błędne umieszczenie kursorów pomiarowych [1]. Biorąc to pod uwagę, należy opierać



Rycina 2

Diagnostyka obrazowa chorego po urazie mózgowym. (a) Tomografia komputerowa mózgowia chorego pokazująca przemieszczenie struktur linii środkowej o więcej niż 5mm i ognisko krwotoczne o objętości większej niż 25ml. (b) Badanie ultrasonograficzne przezgałkowe tego samego chorego pokazujące zwiększony wymiar pochewki nerwu wzrokowego.

Źródło ryciny: Soldatos et al. Optic nerve sonography in the diagnostic evaluation of adult brain injury. *Critical Care* 2008; 12:R67

Imaging findings of a brain-injured adult. (a) Brain computed tomography (CT) scan of a patient showing a midline shift of more than 5 mm and a nonevacuated lesion of more than 25 ml. (b) Transorbital sonography of the same patient documenting increased optic nerve sheath diameter.

się wyłącznie na badaniach wykonywanych przez doświadczonego diagnostę.

Podsumowanie

Nadciśnienie śródczaszkowe jest stanem klinicznym wymagającym szybkiej diagnostyki i podjęcia terapeutycznych decyzji. Problem pacjentów niestabilnych hemodynamicznie, niewydolnych oddechowo, których transportowanie do pracowni diagnostycznej stanowi istotne ryzyko, powoduje, iż dostępność nieinwazyjnych metod oceny ICP staje się szczególnie cenna. Ultrasonografia nerwów wzrokowych jest taką metodą. Co więcej jest szybka, powtarzalna, dostępna przy łóżku chorego. W porównaniu do badania oftalmoskopowego czy Dopplera przezczaszkowego jest też łatwiejsza do opanowania i wykonania. Co więcej, nie jest ograniczona koniecznością obecności okna sonograficznego i znacznie wcześniej wykazuje zmiany ICP niż ocena obrzęku tarczy nerwu wzrokowego [3,12]. Wymagany sprzęt jest szeroko dostępny i badanie charakteryzuje się niskim kosztem. Wcześniej wskazuje na obecność wzmożonego ciśnienia śródczaszkowego, co umożliwia modyfikację leczenia lub skierowanie pacjenta do ośrodka specjalistycznego. Metoda może być stosowana jako dodatkowe narzędzie diagnostyczne w Szpitalnym Oddziale Ratunkowym (SOR), jak i Oddziale Intensywnej Terapii (OIT), szczególnie u pacjentów u których inwazyjne monitorowanie ICP jest przeciwwskazane, lub brak jest takich możliwości.

Piśmiennictwo

- Ballantyne S.A., O'Neill G., Hamilton R. et al.: Observer variation in the sonographic measurement of optic nerve sheath diameter in normal adults. *Eur. J. Ultrasound* 2002, 15, 145.
- Blaivas M., Theodoro D., Sierzenski P.R.: Elevated intracranial pressure detected by bedside emergency ultrasonography of the optic nerve sheath. *Acad. Emerg. Med.* 2003, 10, 376.

- Gangemi M., Cennamo G., Maiuri F. et al.: Echographic measurement of the optic nerve in patients with intracranial hypertension. *Neurochirurgia (Stuttg)* 1987, 30, 53.
- Gausas R.E., Gonnering R.S., Lemke B.N. et al.: Identification of human orbital lymphatics. *Ophthalm. Plast. Reconstr. Surg.* 1999, 15, 252.
- Girisgin A.S., Kalkan E., Kocak S. et al.: The role of optic nerve ultrasonography in the diagnosis of elevated intracranial pressure. *Emerg. Med. J.* 2007, 24, 251.
- Hansen H.C., Helmke K.: Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *J. Neurosurg.* 1997, 87, 34.
- Hayreh S.S.: Pathogenesis of oedema of the optic disc (papilloedema), a preliminary report. *Br. J. Ophthalmol.* 1964, 48, 522.
- Helmke K., Hansen H.C.: Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. I. Experimental study. *Pediatr. Radiol.* 1996, 26, 701.
- Helmke H., Hansen H.C.: Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. II Patient study. *Paediatr. Radiol.* 1996, 26, 706.
- Killer H.E., Laeng H.R., Flammer J. et al.: Architecture of arachnoid trabeculae, pillars, and septa in the subarachnoid space of the human optic nerve: anatomy and clinical considerations. *Br. J. Ophthalmol.* 2003, 87, 777.
- Liu D., Kahn M.: Measurement and relationship of subarachnoid pressure of the optic nerve to intracranial pressures in fresh cadavers. *Am. J. Ophthalmol.* 1993, 116, 548.
- Malayeri A.A., Bavarian S., Mehdizadeh M.: Sonographic evaluation of optic nerve diameter in children with raised intracranial pressure. *J. Ultrasound. Med.* 2005, 24, 143.
- Ossoinig K.C.: Standardized echography: basic principles, clinical applications, and results. *Int. Ophthalmol. Clin.* 1979, 19, 127.
- Tayal V.S., Neulander M., Norton H.J. et al.: Emergency department sonographic measurement of optic nerve sheath diameter to detect findings of increased intracranial pressure in adult head injury patients. *Ann. Emerg. Med.* 2007, 49, 508.
- Tsung J.W., Blaivas M., Cooper A. et al.: A rapid noninvasive method of detecting elevated intracranial pressure using bedside ocular ultrasound: application to three cases of head trauma in the pediatric emergency department. *Pediatr. Emerg. Care* 2005, 21, 94.