

ECHODIDAKTIKA

Transkraniální dopplerovská a barevná duplexní sonografie v intenzivní medicíně

Dobiáš Miloš

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, 1. LF UK a Všeobecná fakultní nemocnice, Praha

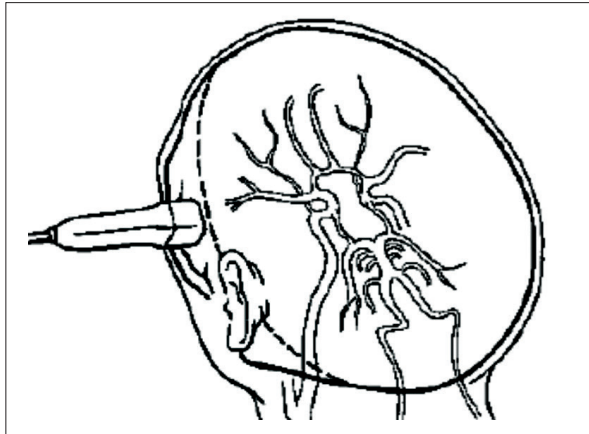
Anest. intenziv. Med., 25, 2014, č. 5, s. 378–382

Cílem tohoto článku je představit možnosti a využití transkraniální sonografie v intenzivní medicíně, zhodnotit morfologické a průtokové parametry a diagnostikovat základní patologie.

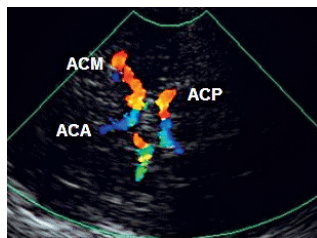
Transkraniální dopplerovská sonografie (TCD) je neurosonologické vyšetření, které umožňuje neinvazivní měření průtoků intrakraniálními tepnami přes intaktní lebku. První reference o této metodě byly publikovány v roce 1982 [1], poté došlo k významnému rozšíření jejích aplikací na pracovištích neurologických, neurochirurgických, ARO i dalších oborů. Při vyšetření TCD se užívá UZ paprsek o nízké frekvenci (1,0–2,5 MHz). Rozšířením TCD o zobrazení intrakraniálních struktur ve dvojrozměrném B-obrazu a zobrazení cév v barevném či energetickém modu (**transkraniální barevná duplexní sonografie – TCCS**) se významně rozšířily UZ možnosti diagnostiky intrakraniálních patologií. Rozvoj této metody začíná v 90. letech 20. století a s dalším rozvojem UZ přístrojů a pulmostabilních echokontrastních látek se dále zvětšuje počet vyšetřitelných pacientů, senzitivita a specifita TCCS. Při TCCS vyšetření používáme duplexní fázové sondy s frekvencemi 2,0–4,0 MHz.

TCCS vyšetření začínáme z **transtemporálního přístupu**, kdy zobrazíme v B-obrazu jednotlivé mozkové struktury. Anatomická zeslabení lebečních kostí vytvářejí v temporální oblasti tři okénka k umístění UZ sondy (zadní před tragem, střední nad zygomatickým obloukem a přední za orbitou, obr. 1). Pro tento přístup je optimální poloha pacienta vleže na zádech, s pozicí vyšetřujícího v záhlaví (eventuálně zepředu z pozice vedle lůžka). Z důvodu kraniální hyperostózy nelze u 5–10 % pacientů získat dostatečně silný UZ signál pro spolehlivé vyhod-

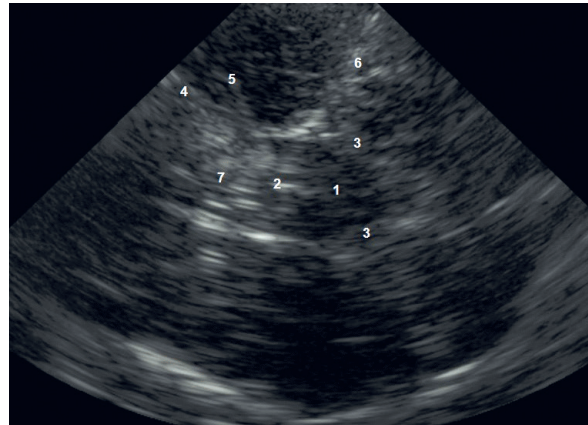
nocení nálezu z intrakraniálních tepen. Kvalita B-obrazu je proto základním kritériem pro hodnocení temporálního okna. Následně zobrazíme v barevném (hodnotíme i směr toku) či energetickém modu intrakraniální tepny – sifon a. carotis interna, a. cerebri media (ACM, M1-M3 úsek), a. cerebri anterior (ACA, A1-A2 úsek), a. cerebri posterior (ACP, P1-P2 úsek, obr. 2) a při dobré vyšetřitelnosti i přední a zadní komunikantu. V hloubce 55–60 mm nalézáme intrakraniální bifurkaci vnitřní karotidy s možností zachycení odstupových úseků M1 segmentu ACM (průtok k sondě) a A1 segmentu ACA (průtok od sondy), směr insonace je mírně rostrálně a kraniálně. Po sklonění sondy dorzálním směrem vyšetříme segmenty P1 (průtok k sondě) a P2 (průtok od sondy) ACP v hloubkách 55–75 mm. Pro standardizaci vyšetření provádíme 4 základní řezy, které zhruba odpovídají transversálním řezům při CT vyšetření – pontinní, mezencefalický (obr. 3), thalamický a řez v úrovni postranních komor (měříme vždy protilehlou postranní komoru, obr. 4). Při dopplerovském vyšetření získáme spektrální průtokovou křivku z jednotlivých mozkových cév (obr. 5) a změříme maximální systolickou rychlost (PSV), konečnou diastolickou rychlost (EDV), rezistenční a pulzatilní indexy ($RI: PSV - EDV/PSV$, $PI: PSV - EDV/V_{mean}$). Díky autoregulaci průtoku v intrakraniálních tepnách jsou průtokové rychlosti a indexy rezistence v těchto tepnách velmi konstantní, závisí však na věku a na pohlaví (tab. 1). Druhým základním přístupem je **transforaminální přístup** přes foramen occipitale magnum (obr. 6). Tímto přístupem zobrazíme vertebrální arterie (AV) distálně od atlasové klíčky, a. basilaris (AB), a. cerebelli inferior posterior (PICA), a. cerebelli inferior anterior (IACA)



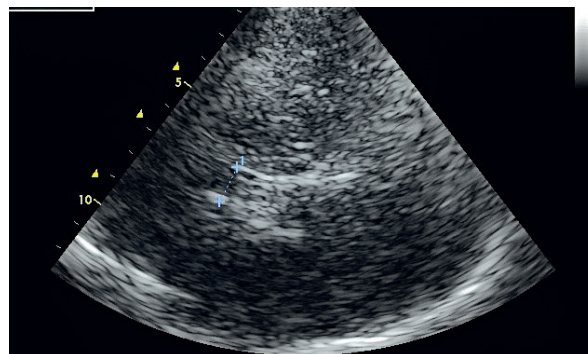
Obr. 1 Transtemporální přístup – přiložení sondy



Obr. 2 Transtemporální přístup – zobrazení hlavních mozkových tepen: a. cerebri anterior (ACA), a. cerebri media (ACM), a. cerebri posterior (ACP)

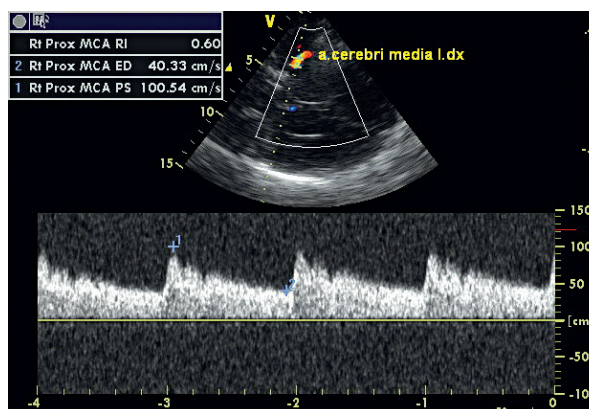


Obr. 3 Zobrazení základních anatomických struktur z transtemporálního okna – mezencefalický transverzální řez: B obraz při TCCS vyšetření
1 – mezencefalon, 2 – III. komora, 3 – bazální cisterny, 4 – malá křídla sfenoidální kosti, 5 – a. cerebri media, 6 – hrana pyramidy, 7 – sella turcica

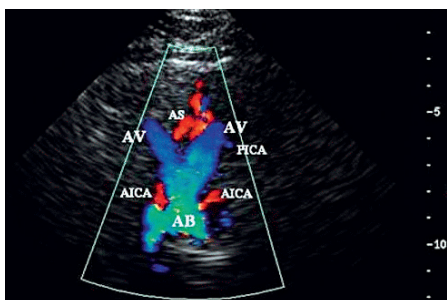


Obr. 4 Transtemporální přístup – zobrazení postranní komory

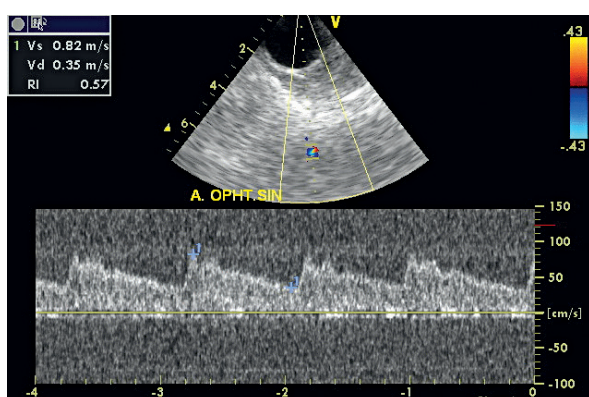
a a. spinalis anterior (AS). Vyšetření zahajujeme z hloubky 65-70mm, kde zpravidla nalézáme konvergující segmenty V4 obou AV. Fyziologický průtok v AV je vždy od sondy. Průtok bazilární tepnou lze zachytit v hloubce 85-115mm, fyziologický průtok je také od sondy. Pro zobrazení oftalmické cirkulace je využíván **transorbitální přístup**. Před zahájením vyšetření je nutné snížit výkon sondy na minimum (10-15 %) a vyšetřovat co nejkratší dobu pro nebezpečí poškození čočky a sítnice. Při tomto přístupu klademe sondu na oční bulbus (při zavřených očích blízko středu víčka) a zobrazujeme kmen a. ophthalmica (v hloubce 35-55mm), při nastavení větší hloubky (60-80mm) lze zachytit části sifonu a. carotis interna. Za normálních okolností směřuje tok v a. ophthalmica k sondě (ortográdně, obr. 7). Kromě intrakraniálních tepen lze zobrazit i hluboké mozkové cévy a mozkové splavy, které jsou ale obtížněji detekovatelné než tepny pro nízké průtokové rychlosti. Nejčastěji zobrazitelné jsou v. basalis, v. cerebri media profunda, v. cerebri magna a sinus sigmoideus [2].



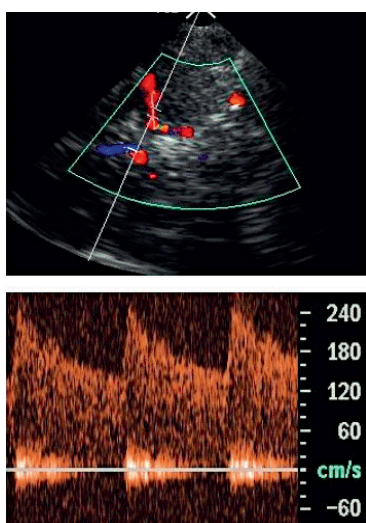
Obr. 5 Detekce průtoku a. cerebri media vpravo, hodnocení rezistenčního indexu



Obr. 6 Transforaminální přístup – zobrazení a. vertebralis (AV), a. basilaris (AB), a. cerebelli inferior posterior (PICA), a. cerebelli inferior anterior (AICA), a. spinalis anterior (AS)



Obr. 7 Transorbitální přístup – zobrazení a. ophtalmica sin.



Obr. 8 TCCS – vazospasmus a. cerebri media

Výhodou TCCS oproti klasickému TCD je přímé zobrazení vyšetřovaných cév a intrakraniálních struktur, změření úhlově korigovaných průtokových rychlostí, rychlá identifikace tepen s malou možností záměny tepen a nutností užití kompresivních testů, nevýhodou pak vyšší cena přístroje. Fyziologickým TCCS nálezem na všech mozkových tepnách jsou průtokové křivky kontinuálního charakteru, s laminárním charakterem průtoku a bez turbulencí. Periferní rezistence je v mezích obvyklých pro magistralní mozkové tepny (tab. 1). Je zachována funkční vazoreaktivita na adekvátní podnět a změny pCO_2 . Pro správné posouzení nálezu v intrakraniálních tepnách je důležitá znalost stavu extrakraniálního tepenného řečiště, dále také základní hemodynamické parametry, protože v případě závažné arytmie, hypotenze, anémie či změnách pCO_2 lze předpokládat zkreslení průtokové křivky a je poté nutno postupovat individuálně.

Význam TCD a TCCS v intenzivní péči je zejména v diagnóze a monitorování vazospasmů u pacientů se subarachnoidálním krvácením (SAH), v detekci intrakraniálních stenóz či diagnostice akutní ischemické CMP, v měření vazoreaktivity na změny ventilace, dále v detekci zvýšeného intrakraniálního tlaku (ICP) a v diagnóze mozkové smrti.

Při výskytu **vazospasmů** je při TCD dominujícím nálezem zvýšení průtokových rychlostí v postižené tepně (obr. 8). Riziko klinických komplikací narůstá při vyšším počtu postižených tepen a při výraznějších spasmech. Jako kritické hodnoty jsou uváděny rychlosti $V_{mean} > 160 \text{ cm/s}$ pro ACM a $V_{mean} > 150 \text{ cm/s}$ pro ACA. Vazospasmus se vyskytuje až u 40 % pacientů s aneurysmatickým SAH a asociuje se s 15–20 % rizikem mozkové ischemie a smrti [3]. TCD obvykle vyšetřujeme druhý den po SAH pro získání referenčních parametrů. Vazospastická ACM má obvykle rychlosti $> 120 \text{ cm/s}$ [4], rychlosti $> 200 \text{ cm/s}$ asociují s průměrem ACM pod 1 mm (normální průměr ACM je 3 mm). Nižších rychlostí pro diagnózu je třeba pro ACA, pro AV a AB již nad 80–95 cm/s. TCD má senzitivitu 38–91 % a specifitu 94–100 % pro detekci vazospasmu na ACM. Extrakraniální vyšetření průtoku a. carotis interna (ACI) je důležité pro stanovení Lindegaardova indexu zohledňujícího průtok mozkovými tepnami vůči průtoku extrakraniálnímu. Lindegaardův index [4] je normálně $1,7 \pm 0,4$ [5] a s ohledem na anatomické odchylky v populaci je důležité stanovit individuální výši tohoto indexu před obdobím vazospasmů. $ACM / ACI \text{ index} > 3$ implikuje středně významný proximální ACM vazospasmus, $\text{index} > 6$ asociuje již s těžkým vazospasmem. U AB je těžký vazospasmus již při indexu (vůči extrakraniální části AV) > 3 .

Aterosklerotické postižení intrakraniálních tepen patří k častým příčinám mozkové ischemie.

Tab. 1 Průměrné průtokové rychlosti v hlavních mozkových tepnách v cm/s a rezistenční indexy v závislosti na věku

Tepna	Průtokové rychlosti (PSV, EDV) rezistenční index (RI)	Věk		
		20 - 40 let	40 - 60 let	nad 60 let
ACM	PSV (cm/s)	91-126	84-120	78-109
	EDV (cm/s)	37-70	35-61	28-48
	RI	0,48-0,59	0,47-0,58	0,5-0,65
ACA	PSV (cm/s)	67-102	62-96	49-91
	EDV (cm/s)	31-50	30-46	25-39
	RI	0,5-0,59	0,48-0,57	0,51-0,6
ACP	PSV (cm/s)	50-78	45-73	41-73
	EDV (cm/s)	21-37	21-35	17-31
	RI	0,48-0,56	0,48-0,56	0,49-0,66
AV	PSV (cm/s)	46-76	38-74	38-62
	EDV (cm/s)	23-43	18-40	14-29
	RI	0,44-0,57	0,44-0,57	0,48-0,63
AB	PSV (cm/s)	48-80	49-82	37-65
	EDV (cm/s)	26-43	19-40	13-25
	RI	0,46-0,56	0,46-0,56	0,5-0,62

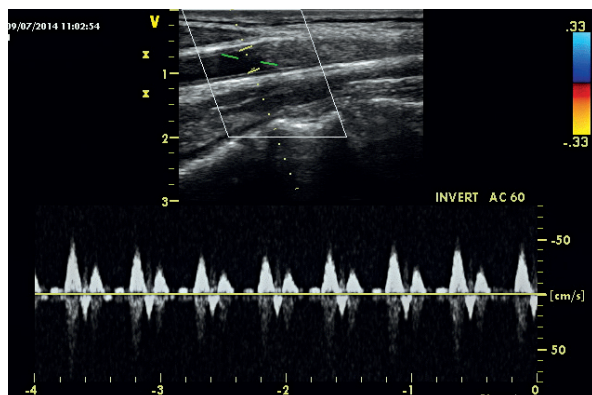
TCCS je jednou z diagnostických metod ke zhodnocení intrakraniální stenózy. Hlavním kritériem pro UZ detekci stenózy je lokální zrychlení průtoku > 30 %. Vedlejšími kritérii jsou turbulentní tok, aliasing fenomén, nálezy v B-obrazu a zúžení detekovatelné v energetickém modu. Senzitivita a specifita vyšetření je srovnatelná s MR angiografií, CT angiografií či digitální subtrakční angiografií [6]. TCCS a TCCS využíváme také při akutní cévní ischemické mozkové příhodě, nejenom v diagnostice uzávěru mozkových tepen, ale také díky vlastnostem ultrazvuku, který umožňuje potencovat destrukci trombu, čehož se využívá k potencování trombolýzy (**sonotrombolýza**). Sonotrombolýza je nadějná metoda léčby akutní ischemické CMP pro možnost urychlení rekanalizace tepny, dobrou dostupnost, bezpečnost a nízkou cenu. Přestože proběhl velký počet studií, není zatím prokázáno, jaké frekvence, intenzita a charakter UZ vlnění jsou v procesu sonotrombolýzy nejúčinnější a nejbezpečnější. Základními limity této léčby jsou v současnosti kvalita temporálního kostního okna [7].

Dalším z možných využití TCD je vyšetření **reakivity na změny ventilace**. Zhoršení reaktivity na změny $p\text{CO}_2$ a ztráta tlakové autoregulace asociuje se špatným neurologickým výsledkem po kraniocerebrálním poranění [8]. TCD lze použít k měření reaktivity na změny CO_2 reaktivity a tlakové autoregulace, což může intenzivistům umožnit upravit CPP a UPV pro pacienta.

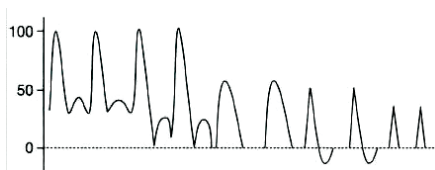
Zvýšený intrakraniální tlak působí negativně na mozkový průtok, v TCD záznamu dochází k poklesu nejdříve diastolických rychlostí v mozkových tepnách, později i systolických. Zvyšuje se periferní rezistence, která je velmi senzitivním ukazatelem a zvýšení indexu rezistence > 0,8 je spojeno se špatnou klinickou prognózou, není-li promptně zahájena účinná antiedematózní terapie či dekomprese [9]. Pomocí B-obrazu sledujeme možný přesun středočárových struktur, za fyziologických okolností není větší než 1 mm. U mozkového edému v rámci kraniocerebrálního poranění byl při hodnotách CPP pod 70 mm Hg nalezen vzestup v TCD indexu pulsatility. Podobně byl nacházen vztah umožňující odvodit CPP z TCD vyšetření [10], jehož přesnost závisí na korelaci ACM průtoků a celkových průtoků mozkem. Zhoršení reaktivity na změny $p\text{CO}_2$ a ztráta tlakové autoregulace asociuje se špatným neurologickým výsledkem po kraniocerebrálním poranění [11].

Klasická dopplerovská sonografie je schopna prokázat charakteristické změny průtokových křivek extrakraniálních mozkových tepen v případě **mozkové smrti** (obr. 9). Dochází k redukci systolického průtoku a objevení se časně retrográdní komponenty v diastolickém průtoku. Reverberační průtokový profil je známkou střídavého ortográdního a retrográdního pohybu krevního sloupce a ukazuje na zástavu průtoku. TCD se velmi rychle po zavedení Aaslidem do klinické praxe také začala uplatňovat v diagnostice mozkové smrti.

POSTGRADUÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 9 Redukce systolického průtoku a časně retrográdní komponenta diastolického průtoku – průtok a. carotis communis



Obr. 10 Zástava mozkové cirkulace

Při rozvoji intrakraniální hypertenze dochází při detekci průtoku mozkovými tepnami k zostření systolických vrcholů a výraznému poklesu konečné diastolické rychlosti. Existují tři základní průtokové vzorce (obr. 10). Prvním typem je oscilující, bifázický, reverberační průtokový vzorec (vysokorezistenční typ podobný průtoku v končetinových tepnách), druhým typem je obraz systolických hrotů o velmi nízké rychlosti, nepřesahující 30–40 cm/s a třetím typem je vymizení průtokové křivky, které dokážeme stanovit při monitorování pacienta, proto u rizikových pacientů je vhodné při prvním vyšetření a dobré zobrazitelnosti v B-obrazu zaznamenat průtoky hlavními mozkovými tepnami pro možné sledování v čase. Při nepřítomnosti křivky je vhodné vyšetřit průtok v extrakraniálním řečišti. TCD má pro diagnózu mozkové smrti specifitu 98% a senzitivitu 75% [12].

ZÁVĚR

TCD a TCCS se jako další UZ metody stávají vhodnou neinvazivní a dostupnou metodou pro vyšetření a monitorování pacientů na lůžkách intenzivní péče. Hlavní využití je v detekci vazospasmů, vyšetření v akutní fázi CMP, v hodnocení intrakraniálních stenóz, vazoreaktivity,

v neinvazivním měření změn intrakraniálního tlaku a v detekci mozkové smrti.

LITERATURA

1. Aaslid, R., Markwalder, T. M., Nornes, H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J. Neurosurg.*, 1982, 57, p. 769–774.
2. Školoudík, D., Škoda, O., Bar, M., Václavík, D., Brozman, M. *Neurosonologie*. Praha: Galén, 2003, s. 147–198.
3. Bleck, T. P. Rebleeding and vasospasm after SAH: New strategies for improving outcome. *J. Crit. Illn.*, 1997, 12, p. 572–582.
4. Lindegaard, K. F., Nornes, H., Bakke, S. J. et al. Cerebral vasospasm diagnosis by means of angiography and blood velocity measurements. *Acta Neurochir. (Wien)*, 1989, 100, p. 12–24.
5. Aaslid, R., Markwalder, T. M., Nornes, H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J. Neurosurg.*, 1982, 57, p. 769–774.
6. Školoudík, D., Herzig, R. Stenózy intrakraniálních tepen – možnosti diagnostiky pomocí transkraniální duplexní sonografie. *Neurol. pro praxi*, 2007; 8, 4, p. 208–212.
7. Kuliha, M., Roubec, M., Školoudík, D. Sonotrombolýza – mechanismus účinku a její využití v léčbě ischemické cévní mozkové příhody. *Cesk. Slov. Neurol. N.*, 2012, 75/108, 1, p. 23–29.
8. Lee, J. H., Kelly, D. F., Oertel, M. et al. Carbon dioxide reactivity, pressure autoregulation, and metabolic suppression reactivity after head injury: A transcranial Doppler study. *J. Neurosurg.*, 2001, 95, p. 222–232.
9. Klingelhöfer, J., Dander, D., Holzgraefe, M., Bischoff, C., Conrad, B. Cerebral vasospasm evaluated by transcranial Doppler ultrasonography at different intracranial pressures. *J. Neurosurg.*, 1991, 75, 5, p. 752–758.
10. Steiner, L. A., Balestreri, M., Johnston, A. J. et al. Sustained moderate reductions in arterial CO₂ after brain trauma time-course of cerebral blood flow velocity and intracranial pressure. *Intensive Care Med.*, 2004, 30, p. 2180–2187.
11. Lee, J. H., Kelly, D. F., Oertel, M. et al. Carbon dioxide reactivity, pressure autoregulation, and metabolic suppression reactivity after head injury: A transcranial Doppler study. *J. Neurosurg.*, 2001, 95, p. 222–232.
12. Dosemeci, L., Dora, B., Yilmaz, M. et al. Utility of transcranial Doppler ultrasonography for confirmatory diagnosis of brain death: Two sides of the coin. *Transplantation*, 2004, 77, p. 71–75.

Adresa pro korespondenci:

MUDr. Miloš Dobiáš

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny

1. LF UK a Všeobecná fakultní nemocnice

U Nemocnice 2

128 08 Praha 2

email: milos.dobias@vfn.cz