

# Transkraniální barevná duplexní sonografie – národní standard vyšetření v rámci funkční specializace v neurosonologii – odborná příloha

*Školoudík D., Václavík D. Neurosonologická komise cerebrovaskulární sekce České neurologické společnosti J.E.P.*

## 1. Transkraniální barevná duplexní sonografie (TCCS) – Fyziologický nálezn

**Základní útvary v B-obrazu a zobrazitelné tepny z jednotlivých přístupů:**

### A) Transtemporální přístup

rozlišujeme zde 4 základní **transverzální řezy**:

#### 1) mezencefalický řez

Přístroj nastavíme tak, aby maximální hloubka zobrazení byla 15-16cm, tedy aby se na nejvzdálenější straně obrazu zachytila hyperechogenita kontralaterální lebeční kosti. V B-obrazu se orientujeme podle hypoechogenního mesencefala ve střední části UZ obrazu a kontralaterální lebeční kosti. V B-obrazu (B-modu) se zobrazí obvykle také třetí komora. V tomto řezu můžeme zobrazit následující tepenné úseky: M1 úsek a.cerebri media - ACM (průtok k sondě), A1 a A2 úseky a.cerebri anterior - ACA (průtok od sondy), P1 a P2 úsek a.cerebri posterior - ACP (průtok k sondě), přední komunikantu (ACoA) a zadní komunikantu (ACoP).

#### 2) pontinní řez

Dosáhneme jej mírným sklopením sondy kaudálně. Ve středu B-obrazu zobrazíme hypoechogenní mesencefalon a horní pons, vetrolaterálně od něj hyperechogenní křídlo kosti klínové a dorsolaterálně hyperechogenní pyramidu. V tomto řezu zobrazíme karotický sifon (průtok k sondě).

#### 3) thalamický řez

Dosáhneme jej mírným sklopením sondy z mesencefalické úrovně směrem kraniálně. V B-obrazu zobrazíme ve střední části hypoechogenní III.komoru, ohraničenou 2 hyperechogenními proužky ependymu, laterálně od nich je hypoechogenní thalamus. Základní zobrazitelné tepenné úseky: větvení ACM na M2 úseky (průtok k sondě), A2 úsek ACA (průtok od sondy).

#### 4) řez v úrovni postranních komor

Dosáhneme jej dalším kraniálním sklopením sondy z thalamické úrovně. V B obrazu je paramediálně hypoechogenní thalamus, frontálně hypoechogenní rohy postranních komor mezi nimi echogenní septum pellucidum, laterálně hypoechogenní asymetrické postranní komory (asymetrie je v důsledku velkého sklopení sondy). Zobrazené tepny : M3 větve ACM (průtok k sondě) - tři základní **koronární řezy**:

Jedná se o řezy ve frontální rovině, které získáme otočením sondy z transverzálního řezu o 90 stupňů. Hodnotíme řez přední (v úrovni optického chiasmatu), střední (v úrovni mozkového kmene) a zadní (v úrovni distální části a.basilaris). Zobrazíme frontální rohy postranních komor a hyperechogenní kostěné struktury v okolí tureckého sedla. Z cév zde zobrazíme ve středním řezu karotický sifon (průtok k sondě), odstupy ACM (průtok k sondě) a ACA (průtok od sondy), dále pak v zadním řezu ACP a distální část a.basilaris (průtok od sondy).

### B) Transforaminální přístup

Poloha pacienta je vleže na boku nebo vsedě s anteflexí hlavy. Sondou umístíme 3 prsty pod protuberantia occipitalis externa a je směřována na kořen nosu. V B obrazu zobrazíme hypoechogenní foramen occipitale magnum, hyperechogenní kostěné okraje foramen occipitale a processus transversus atlasu. Tímto přístupem zobrazíme vertebrální arterie distálně od atlasové klíčky (průtok od sondy), a.basilaris (průtok od sondy). Při dobrých zobrazovacích podmínkách můžeme zobrazit a.spinalis anterior, PICA, SCA a AICA.

### C) Transfrontální přístup

Sondu umístíme na frontální kost kraniálně od nadočnicového oblouku 2-3 prsty laterálně od střední čáry. Tento přístup je využíván ke zobrazení A2 úseku ACA (průtok k sondě) a přední komunikanty.

#### D) Transoccipitální přístup

Sondu klademe na occipitální kost 1-2 prsty laterálně od střední čáry. Tímto přístupem lze zobrazit hluboký žilní systém mozku, především v. Galeni a sinus rectus (průtok k sondě).

#### E) Transorbitální přístup

Při tomto přístupu klademe sondu na oční bulbus. Je nutno snížit energii ultrazvukového vlnění (gain) na co nejnižší úroveň pro nebezpečí vzniku katarakty. Z tohoto přístupu zobrazujeme karotický sifon s odstupem a. ophthalmica, event. další odstupující větve této tepny.

#### F) Submandibulární přístup

Sondu klademe těsně pod mandibulu na ventrolaterální stranu krku. Vhodnou orientací sondy docílíme zobrazení vnitřní karotidy v barevném či energetickém modu (C mode, E mode) v podélném řezu.

Fyziologickým TCCS nálezem na všech mozkových tepnách jsou průtokové křivky kontinuálního charakteru, s laminárním charakterem průtoku, bez turbulencí a nízkofrekvenčních šelestů. Nejsou přítomny tranzitorní signály s vysokou intenzitou. Periferní rezistence je v mezích obvyklých pro magistralní mozkové tepny. Je zachována funkční vasoreaktivita na adekvátní podnět a změny pCO<sub>2</sub>. Při hodnocení průtokových rychlostí je nutná korekce dopplerovského úhlu, po které jsou naměřené hodnoty rychlostí o 5-30 % vyšší než u TCD vyšetření. Je prokázán postupný pokles průtokových rychlostí a vzestup rezistenčního indexu v závislosti na věku.

Tabulka 1. Průměrné průtokové rychlosti v cm/s a rezistenční index v jednotlivých tepnách +/- 1 směrodatná odchylka (SD)

Tepna	Průtokové rychlosti a rezistenční index	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

## 2. Kritéria hodnocení TCCS nálezu

Před vlastním hodnocením TCCS nálezu je potřebné orientační posouzení všech faktorů, které mohou ovlivnit naměřené základní hemodynamické parametry a způsobit technické artefakty u individuálního pacienta.

V 5 – 10% případů je kraniální hyperostóza příčinou špatné kvality okének především v temporální oblasti. Při nekvalitním okénku doporučujeme zvážit aplikaci echokontrastní látky. Z praktického hlediska lze hodnotit kvalitu temporálního kostního okna v pěti stupních:

1. úplné chybění - nelze zobrazit v B-obraze žádná intrakraniální struktura (především (nelze rozlišit) mozkový kmen)
2. velmi špatné temporální okno - lze hodnotit jen oblast mozkového kmene v B-obraze, nelze zobrazit intrakraniální cévy ani z nich získat průtokovou křivku.
3. špatné temporální okno - lze zobrazit některé intrakraniální struktury v B-obraze a alespoň jedna základní tepna (jednu základní tepnu) Willisova okruhu (obvykle ACM či ACP) a získat z ní dostatečně kvalitní průtokovou křivku.
4. méně kvalitní temporální okno - lze zobrazit intrakraniální struktury v B-obraze, ale mohou být místa s horší echogenitou, lze zobrazit většinu (minimálně 2) tepen Willisova okruhu a získat z nich kvalitní průtokovou křivku.
5. velmi kvalitní temporální okno - lze dobře rozlišit všechny intrakraniální struktury v B-obraze, lze zobrazit všechny tepny Willisova okruhu a získat z nich kvalitní průtokovou křivku.

Kvalita kostního okna je rozhodující pro senzitivitu a specifitu TCCS vyšetření u jednotlivých diagnóz.

Dále je třeba vyloučit závažné změny pCO<sub>2</sub> (respirační insuficience, spontánní hyperventilace), významné poruchy oběhového systému a krevního tlaku (arytmie, hypotenze), pokročilá stadia krevních chorob (výrazná anemie). V těchto případech lze předpokládat zkreslení průtokové křivky a při hodnocení je nutno postupovat přísně individuálně. Z hlediska správného posouzení nálezu na intrakraniálních tepnách je rovněž nezbytná znalost stavu extrakraniálního tepenného řečiště u individuálního pacienta.

Za patologické nálezy lze obecně považovat:

1. Nízkofrekvenční šelesty, turbulence
2. Změny průtokových rychlostí o více než 2 směrodatné odchylky, a to jak zrychlení, tak zpomalení průtoku.
3. Změny rezistenčního a event. pulzatilního indexu o více než jednu směrodatnou odchylku ve smyslu plus i mínus.
4. Změny směru průtoku tepnou (ACA, AV, AB, prekomunikantním úsekem ACP)
5. Tranzitorní jednosměrné signály s vysokou intenzitou (HITS)
6. Vyčerpanou funkční rezervní kapacitu nebo paradoxní vazoreakci při změnách pCO<sub>2</sub>.

*Poznámka: Funkční reaktivita se snižuje zpravidla dříve pro hyperkapnii a později pro hypokapnii. Při základním testu BH/HV (hyperventilace 30 – 40 s po krátkém zadržení dechu) by se měla Vmean v ACM snížit minimálně o 20%. Při poklesu menším než 15% až nulovém lze popsat vyčerpání funkční rezervní kapacity, extrémním případem je paradoxní (obrácená) reakce.*

7. Hyperechogenní léze v neobvyklé lokalizaci - tumory, abscesy, krvácení, v této oblasti může být zobrazitelná patologická vaskularizace.
8. Abnormně zvýšenou vaskularizaci a patologickou průtokovou křivku v těchto cévách - cévní malformace
9. Abnormní morfologii cévy - aneurysma, stenóza, spasmus

## 3. TCCS – Základní patologické nálezy

### 3.1. Důsledky obstrukcí extrakraniálních tepen

**Kritéria:** Snížení rychlostí průtoku, snížení pulzatility (PI, RI) v povodí postižené magistrální tepny, změny směru a zvýšení průtoků v případě kolaterálního oběhu (ACA, AV). Snížení až vyčerpání

funkční reaktivity je závažným příznakem selhávání kompenzačních mechanismů.  
**Využití:** Posouzení hemodynamických důsledků stenóz a okluzí extrakraniálních tepen, indikace revaskularizačních výkonů.

### 3.2. Stenózy a spazmy intrakraniálních tepen

**Kritéria:** Jako nejlepší diagnostické kritérium intrakraniální stenózy je lokální zrychlení průtoku minimálně o 50 % s určením poměru maximálních průtokových rychlostí ve stenóze a před stenózou či za ní (PSV poměr). Kritéria pro detekci a klasifikaci stenóz jsou v tabulce 2. Za nepřímé známky jsou považovány turbulence a „aliasing“ fenomén. Při hodnocení vazospazmů lze vycházet ze stejných kritérií. Pro odlišení od stenózy je důležitá změna v nálezu (tíži spazmu) v odstupu několika dní až 1 měsíce.

Tabulka 2: Hodnocení intrakraniálních stenóz

	PSV poměr
lehká stenóza (do 40%)	(1.3 - ) 1.5 – 1.99
středně těžká stenóza (40-59%)	2.0 - 2.99
těžká stenóza (60% a více)	> 3.0

**Využití:** Vysoká specifita a senzitivita spolu s neinvazivitou vyšetření činí z TCCS metodu první volby pro zjištění a sledování vývoje stenóz a spazmů intrakraniálních tepen, možnost korekce léčby, monitorování efektu trombolýzy.

### 3.3. Okluze intrakraniálních tepen

**Kritéria:** Okluzi tepny lze hodnotit z nepřítomnosti průtokového signálu v dané tepně při dobré zobrazitelnosti ostatních tepen. U okluze a.cerebri media se využívá i přímého hodnocení B obrazu, v němž lze tuto tepnu zobrazit, ale její echogenita bývá vyšší, tepna nepulzuje a nezobrazí se průtok v barevném ani energetickém módu. Senzitivita a specifita tohoto vyšetření je závislá především na kvalitě zobrazení intrakraniálních struktur.

**Využití:** Diagnostika akutních uzávěrů, monitorování průběhu trombolýzy.

### 3.4. Aneurysmata mozkových tepen a AV malformace

**Kritéria:** Tepenné aneurysma se zobrazuje v barevném či energetickém módu jako kulovitý přívěšek vedle u tepny. V barevném módu je viditelná vtoková a výtoková část (zobrazena červeně a modře), oddělená černou separační zónou. Dopplerovským vyšetřením zobrazíme vtokovou a výtokovou průtokovou křivku. Zobrazitelná jsou aneurysmata nad 4 mm. Senzitivita a specifita TCCS vyšetření při použití echokontrastní látky je 85-95%. U arteriovenózních malformací lze pomocí TCCS zobrazit nidus složený z konvolutu cév, přívodné tepny a odvodné žíly. V B obraze se nidus zobrazuje jako heterogenní hyperechogenní, dobře ohraničený útvar, v barevném a energetickém módu pak vidíme výraznou vaskularizaci. Přívodnou tepnu lze detekovat pomocí zrychleného průtoku se sníženou rezistencí. Při použití echokontrastní látky lze lépe zobrazit nidus i odvodné žíly.

**Využití:** V diagnostice aneurysmat a cévních malformací TCCS doplňuje další diagnostické metody (angiografii, MR angiografii, CT angiografii). Hlavními výhodami TCCS vyšetření jsou kromě zobrazení aneurysmatu či cévní malformace i rychlé získání informací o cévním zásobení mozku (tepenné stenózy a okluze), tepenných spazmech či charakteristice průtoku v přívodné tepně.

### 3.5. Trombózy venózních splavů

**Kritéria:** Při okluzi splavu dochází vlivem kolaterálního oběhu ke zrychlení venózního průtoku v hlubokých mozkových vénách ( nad 40 cm/s ). Toto zrychlení však může být i kongenitální při hypoplaziích nebo anatomických variantách venózního systému.

**Využití:** Uplatnění TCCS je v monitorování rekanalizace trombóz diagnostikovaných pomocí MRI, kdy normalizace průtokových křivek v hlubokých mozkových vénách je známkou probíhající rekanalizace.

### 3.6. Postižení drobných mozkových tepen

**Kritéria:** Při postižení drobných mozkových tepen (arteriol), zodpovídajících za cerebrovaskulární reaktivitu, dochází ke zvyšování rezistenčního a pulzatilního indexu (RI,PI). Pro angiopatii svědčí symetrické zvýšení RI v ACM (podle vlastní práce nad 0,62 se senzitivitou 70 % a specifitou 80 %),

při vyloučení zvýšeného intrakraniálního tlaku, stenóz přírodních mozkových tepen, srdečních arytmii. Současně lze detekovat i porušenou funkční reaktivitu na změny pCO<sub>2</sub>.

**Využití:** Vhodný pomocný diagnostický nástroj při zjišťování postižení drobných mozkových tepen, diagnostice lakunárních infarktů a vaskulárních subkortikálních demencí.

### 3.7. Intrakraniální tumor a absces

**Kritéria:** Mozkové nádory a abscesy lze detekovat přímo v B-obraze, a to jako hyperechogenní, obvykle heterogenní léze, jež mohou být dobře ohraničené (meningeom, absces, některé metastázy) nebo neostře ohraničené (astrocytom, glioblastom, některé metastázy). V Barevném nebo energetickém modu je u některých tumorů zobrazitelná patologická vaskularizace (high-grade tumory, meningeom), u ostatních tumorů lze často zachytit patologickou vaskularizaci po aplikaci echokonstrastní látky. Z oblasti patologické vaskularizace lze získat abnormní průtokové křivky. Patologickou vaskularizaci lze zachytit i u abscesů. Nepřímou známkou intrakraniální expanze je přesun střední čáry, event. nárůst rezistenčního indexu.

**Využití:** Diagnostika a diferenciální diagnostika intrakraniálních expanzí. Peroperační monitorování extirpace tumoru a abscesu a pooperační sledování s možností časného zachytu recidivy tumoru. Sledování růstu tumoru při konzervativní léčbě.

### 3.8. Intrakraniální krvácení

**Kritéria:** Intrakraniální krvácení se zobrazuje jako patologická hyperechogenní léze v B obraze, v akutním stádiu dobře ohraničená. Pomocí TCCS lze zobrazit intracerebrální krvácení, subdurální a epidurální krvácení. Nepřímou známkou u expanzivně se chovajících krvácení je přetlak střední čáry, event. nárůst rezistenčního indexu. U hemocefalu je přítomná hyperechogenita v komorovém systému v B obraze. Krev v subarachnoidálním prostoru nelze s jistotou detekovat. U subarachnoidálního krvácení lze pomocí TCCS detekovat aneuryzma a vazospazmy (viz 3.2, 3.4).

**Využití:** Diagnostika a sledování vývoje intrakraniálního krvácení.

### 3.9. Parkinsonova choroba a vaskulární parkinsonský syndrom

**Kritéria:** Pro diagnostiku Parkinsonovy choroby se využívá semikvantitativní hodnocení echogenity substantia nigra v mezencefalu. Hodnocení viz tabulka 3. Pro Parkinsonovu chorobu svědčí echogenita substantia nigra více než stupeň III. Pro vaskulární parkinsonský svědčí echogenita substantia nigra méně než stupeň III a rezistenční index v ACM nad 0.62, popřípadě aterosklerotické změny v extrakraniálních a intrakraniálních tepenách. Další možností je měření obsahu substantia nigra, která u Parkinsonovy choroby je větší než 0.2 cm<sup>2</sup>.

Tabulka 3: Hodnocení echogenity substantia nigra

stupeň I	anechogenní - nelze odlišit od anechogenní struktury mozkového kmene
stupeň II	lehce echogenní - lze s obtížemi odlišit od anechogenní struktury mozkového kmene
stupeň III	echogenní - jasně odlišitelná od anechogenního kmene, ale nedosahuje echogenity perimezencefalických cisteren
stupeň IV	hyperechogenní - echogenita odpovídá echogenitě perimezencefalických cisteren
stupeň V	vysoce hyperechogenní - echogenita odpovídá kalcifikaci (např. v epifýze)

**Využití:** Pomocná vyšetřovací metoda v diferenciální diagnostice parkinsonského syndromu.

### 3.10. Hydrocefalus

**Kritéria:** U pacientů s podezřením na hydrocefalus měříme šíři třetí komory a postranních komor. Normální šíře 3.komory je do 8mm, 8-10mm je hraniční nález, nad 10mm lze nález hodnotit jako hydrocefalus. Pro rozlišení normotenzního a hypertenzního hydrocefalu se používá "shake test", při němž se detekuje pohyblivost septum pellucidum v M-modu. Při normotenzním hydrocefalu je pohyblivost septa normální.

**Využití:** Diagnostika a diferenciální diagnostika hydrocefalu.

### 3.11. Přetlak střední čáry

**Kritéria:** U pacientů s podezřením na expanzivní proces supratentoriálně provádíme měření přesunu střední čáry. Měření provádíme z obou stran změřením vzdálenosti středu 3.komory od protilehlé

lebeční kosti. Polovina rozdílu naměřených hodnot je skutečnou vzdáleností přesunu střední čáry.  
**Využití:** Pomocné vyšetření u expanzivních supratentoriálních lézí s možností monitorování vývoje.

#### Literatura:

1.	<b>Aaslid R, Eden A, Ringelstein EB, Lindegaard KF, Harders A, et al.</b> Transcranial Doppler Sonography. Springer – Verlag, Wien, 1986, 177.
2.	<b>Ringelstein E.B.:</b> A Practical Guide to Transcranial Doppler Sonography. Noninvasive Imaging of Cerebrovascular Disease, Alan R. Liss, Inc., 1989: 75 – 121.
3.	<b>Babikian VL, Wechsler LR.</b> Transcranial Doppler Ultrasonography. Butterworth – Heinemann, Woburn, MA, 1999, 512.
4.	<b>Provinciali L. et al.:</b> Transcranial Doppler As Diagnostic Tools In Vascular Dementia. Eur. Neurol. 1990, 30: 109 – 112.
5.	<b>Giller CA.</b> A Bedside Test For Cerebral Autoregulation Using Transcranial Doppler. Acta Neurochir. 1991, 108: 7 – 14.
6.	<b>Widder B, Kleiser B, Krapf H.</b> Course Of Cerebrovascular Reactivity In Patients With Carotid Artery Occlusions. Stroke 1994, 25: 1963 – 1967.
7.	<b>Martin PJ, Evans D, Naylor AR.</b> Transcranial Color Coded Sonography of the Basal Cerebral Circulation, Reference Data from 115 Volunteers. Stroke 1994;25:390-396.
8.	<b>Postert T, Meves S, Bornke C, Przuntek H, Butner T :</b> Power Doppler Compared to Color -Coded Duplex Sonography in the Assessment of the Basal Cerebral Circulation. J Neuroimag 1997;7:221-226.
9.	<b>Václavík D, Školoudík D, Majvald Č.</b> Duplexní transkraniální sonografie – průtokové rychlosti v intrakraniálních tepnách. Čes Slov Neurol Neurochir 2000;2:92-96.
10.	<b>Krejza J, Mariak Z, Walecki J, Szydlík P, Lewko J, Usztymowitz A.:</b> Transcranial Color Doppler Sonography of Basal Cerebral Arteries in 182 Healthy Subjects: Age and Sex Variability and Normal Reference Values for Blood Flow Parameters. American J Radiol 1999;172:213-218.
11.	<b>Školoudík D, Chudoba V. :</b> Možnosti neinvazivní diagnostiky intrakraniálních stenóz pomocí transkraniální duplexní sonografie a MR angiografie. Čes Radiol 1999;suppl 1:42-46.
12.	<b>Baumgartner R, Mattle H, Kothbauer K, Schroth G.</b> Transcranial Color Coded Duplex Sonography in Cerebral Aneurysm. Stroke 1994;25:2429-2434.
13.	<b>Bogdahn U, Becker G, Schlachetzki F, et al.</b> Echoenhancers and Transcranial Color Duplex Sonography. Berlin-Viena: Blackwell Science, 1998.
14.	<b>Becker G, Bogdahn U, Frölich T, Hofmann E, Schliep R.</b> Transcranial Color-Coded Real-Time Sonography of Intracranial Veins: Normal Values of Blood Flow Velocities in Superior Sagittal Sinus Thrombosis. J Neuroimag 1995;5:87-94.
15.	<b>Ries S, Steinke W, Neff KW, Hennerici M.</b> Echocontrast Enhanced Transcranial Color Coded Sonography for the Diagnosis of Transverse sinus Venous Thrombosis. Stroke 1997;28:696-70.
16.	<b>Baumgartner RW, Mattle HP, Schroth G.</b> Assessment of $\geq 50\%$ and $< 50\%$ intracranial stenoses by transcranial color-coded duplex sonography. Stroke 1999;30:87-92.

17.	<b>Školoudík D, Majvald Č, Chudoba V.</b> Možnosti diagnostiky tkáňových lézí mozku pomocí ultrazvuku. Čes Slov Neurol Neurochir 1999;5:253-258.
18.	<b>Školoudík D, Majvald Č, Chudoba V, Václavík D.</b> Možnosti neinvazivní dignostiky intrakraniálních stenóz pomocí transkraniální duplexní sonografie a MR angiografie. Čes Radiol 1999;suppl 1:42-46.
19.	<b>Seidel G, Gerriets T, Kaps M, Missler U.</b> Dislocation of the Third Ventricle Due to Space Evaluated by Transcranial Duplex Sonography. J Neuroimag 1996;6:227-230.