

Transkraniální Dopplerovská sonografie – národní standard vyšetření v rámci funkční specializace v neurosonologii – odborná příloha

Škoda O., Mikulík R.. Neurosonologická komise cerebrovaskulární sekce České neurologické společnosti J.E.P.

1. TCD – Fyziologický nálezu

Fyziologickým TCD nálezem na všech mozkových tepnách jsou průtokové křivky kontinuálního charakteru, s laminárním průtokem, bez turbulencí a nízkofrekvenčních šelestů. Nejsou přítomny tranzitorní signály s vysokou intenzitou. Periferní rezistence je v mezích obvyklých pro magistrální mozkové tepny (PI pro ACM je 0,75 +/- 0,15). Je zachována funkční vazoreaktivita na adekvátní podnět a změny pCO₂.

Poznámka: Fyziologickým podnětem pro zvýšení průtoku a snížení periferní rezistence v povodí vyšetřované mozkové tepny je stimulace mozkových center, která se v daném povodí nacházejí. Příkladem je zvýšení průtoku v a.cerebri posterior při fotostimulačním testu, kterého se běžně využívá při detekci této tepny.

Referenční údaje o fyziologických hodnotách velikostí průtokových rychlostí, směrech průtoku a obvyklých insonačních hloubkách pro TCD vyšetření mozkových tepen jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1: TCD - Fyziologické průtoky a hloubky insonace základních mozkových tepen

Tepna	Vmean (cm/s)	Směr průtoku	Hloubka insonace (mm)	Základní přístup
ACM	65 +/- 17	K sondě (M1)	M1: 40 – 60, M2: 30 - 45	Transtemporální
ACA	51 +/- 12	Od sondy	A1: 60 – 75	Transtemporální
ACI	Variabilní (< ACM)	K sondě	C1, C2: 55 - 70	Transtemporální
ACP	44 +/- 11	P1 k sondě, P2 od sondy	P1, P2: 55 - 75	Transtemporální
AV	36 +/- 10	Od sondy (V4)	V3: 55 – 60, V4: 65 - 85	Subokcipitální
AB	39 +/- 9	Od sondy	85 – 115	Subokcipitální
PICA	Variabilní	K sondě	55 – 75	Subokcipitální

2. Kritéria hodnocení TCD nálezů

Před vlastním hodnocením TCD nálezů je potřebné orientační posouzení všech faktorů, které mohou ovlivnit naměřené základní hemodynamické parametry a způsobit technické artefakty u individuálního pacienta: Vzhledem k nemožnosti vizuální korekce úhlu insonace je nutno počítat se zkreslením hodnot průtokových rychlostí v případě, že nelze dosáhnout oboustranně stejného přístupu insonace.

Poznámka: V 5 – 10% případů je kraniální hyperostosa příčinou špatné kvality okének především v temporální oblasti. Jsou-li na každé straně nalezena okénka v jiné lokalizaci, je nutno posuzovat nálezy při stranovém porovnání s velkou opatrností. Případné anomálie průběhu tepen mohou zkreslení nálezů ještě zvýraznit. Při nekvalitním okénku doporučujeme zvážit aplikaci echokontrastní látky.

Dále je třeba vyloučit závažné změny pCO₂ (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.

Při vlastním hodnocení TCD nálezu jsou významnějším kritériem relativní diference mezi jednotlivými tepnami či v průběhu jedné tepny oproti absolutním hodnotám průtokových rychlostí nebo dalších hemodynamických parametrů

Za patologické nálezy lze obecně považovat:

1. Nízkofrekvenční šelesty, turbulence
2. Relativní změny průtokových rychlostí (Vmean):
 - o ACA > 125% ACM
 - o ACP > ACM
3. Změny směru průtoku tepnou (ACA, AV, AB)
4. Patologické změny indexů ve smyslu výrazného zvýšení i výrazného snížení: RI > 0,8, PI < 0,6.
5. Tranzitorní jednosměrné signály s vysokou intenzitou (HITS).
6. Vyčerpanou funkční rezervní kapacitu nebo paradoxní vazoreakci při změnách pCO₂.
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.

3. TCD – Základní patologické nálezy

3.1. Důsledky obstrukcí extrakraniálních tepen

Kritéria: Snížení rychlostí průtoku, snížení pulzatility (PI, RI) v povodí postižené magistralní 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 intrakraniálních tepen

Kritéria: Zvýšení rychlostí v místě stenózy (Vs > 120 cm/s nebo stranový rozdíl Vs > 50%, případně Vmean > 80 cm/s nebo stranový rozdíl Vmean > 30%), turbulence a nízkofrekvenční šelesty. Za stenózou zpomalení průtoku se snížením pulzatility. Posouzení poměru rychlostí v místě stenózy (Vs1) a distálně za stenózou (Vs2): Vs1/Vs2 > 3 pro stenózu nad 60%. Diagnóza okluze ACM je založena na absenci signálu (musí být zachyceny toky v ostatních tepnách k vyloučení neprostupnosti temporálního okna) nebo na přítomnosti signálu charakteru systolických hrotů s nulovými diastolickými rychlostmi.

Využití: Zjištění a sledování vývoje stenóz či uzávěrů intrakraniálních tepen, možnost korekce léčby, monitorování efektu trombolýzy.

3.3. Akutní ischemická CMP, TIA

Kritéria: Mohou být přítomny nálezy odpovídající extra i intrakraniálním obstrukcím, zvyšování periferní rezistence (PI, RI) může svědčit o narůstajícím edému mozku. Absence funkční reaktivity ve všech složkách je známkou porušené integrity CNS. Zjištění nedostatečné rekanalizace postižené tepny a absence známek rozvoje dostatečného kolaterálního průtoku přes prováděnou léčbu jsou prognosticky nepříznivé.

Využití: Vstupní kategorizace pacienta a monitorování léčby na JIP, zvážení možností intervencí, příspěvek ke stanovení prognózy.

3.4. Chronická cerebrovaskulární onemocnění

Kritéria: Distální angiopatie se projeví zvýšením periferní rezistence (PI > 1,0) a sníženou reaktivitou na změny pCO₂ (hyper i hypokapnii). U vaskulárních demencí je funkční reaktivita alterována výrazněji než v případě Alzheimerovy nemoci.

Využití: Informace o stavu distální části cévního systému mozku, využití jako pomocné kritérium při diferenciální diagnostice demencí, zejména v počátečních stadiích.

3.5. Cévní malformace

Kritéria: Přívodné tepny malformace s AV zkratem („feeders“) mají zvýšené průtokové rychlosti (Vmean = 110 – 200 cm/s) a výrazně sníženou periferní rezistenci (PI > 0,55). Účelné je posouzení relace indexů PI mezi patologickou (PI1) a kontralaterální (PI2) tepnou, kdy byla zjištěna prediktivní

hodnota 93% pro $PI1/PI2 > 0,65$. V zásobující tepně AVM chybí funkční vazoreaktivita. **Využití:** Identifikace podílu mozkových tepen na zásobení malformace, sledování úspěšnosti terapeutických zásahů (endovaskulární léčby, ozáření gama nožem atd.)

3.6. Vazospazmy

Kritéria: Při vazospazmu dochází ke zvýšení průtokových rychlostí v postižené tepně, zpravidla se zvyšuje i periferní rezistence. Význam má sledování nejen absolutních hodnot rychlostí, ale i dynamiky nárůstu po 24 hodinách. Za kritické hodnoty je považována $V_{mean} < 160$ cm/s pro ACM (150 cm/s pro ACA) nebo nárůst větší než o 50 cm/s za 24 hodin nebo nárůst větší než o 25% za 24 hodin. Riziko vzniku klinických komplikací (pozdní ischemie) stoupá při vyšším počtu postižených tepen.

Využití: Identifikace a monitorování vazospazmů po SAH, dále i po chirurgických výkonech, traumatech mozku (zvláště u dětí), možnost řízené terapie.

3.7. Mozková smrt

Kritéria: Obrazem mozkové smrti je rezistentní průtok, s alternujícím směrem a s rychlostmi $V_{mean} < 4$ cm/s na obou ACM a bazilárním kmeni, nebo signál charakteru „systolických hrotů“, nakonec úplná absence průtoku („TCD ticho“). Prediktivní hodnota je 100% za předpokladu zachování systémového systolického tlaku nad 100mm Hg a vyloučení významně patologických pCO_2 . Již při $V_{mean} < 10$ cm/s s absencí evokovaných změn průtoku je prognóza infaustní.

Využití: Sledování pacientů s těžkým poškozením mozku na ARO a JIP, správné načasování angiografického vyšetření a možnost organizace programu dárcovství orgánů.

3.8. Zvýšený intrakraniální tlak

Kritéria: S nárůstem intrakraniálního tlaku dochází ke snižování průtokových rychlostí mozkovými tepnami – nejdříve diastolických (V_d), později i systolických. Zvyšuje se periferní rezistence ($RI > 0,8$ bývá spojen již se špatnou prognózou). Nezbytné je monitorování více modalit (TK, pCO_2 , vnitřní prostředí). Jsou vyvinuty matematické modely, schopné ze souhrnu všech hodnot simulovat neinvazivně změny intrakraniálního tlaku. Idiopatická intrakraniální hypertenze mívá sníženou periferní rezistenci!

Využití: Monitorování pacientů na ARO a JIP, sledování hydrocefalů. Příspěvek při indikacích dekompresních výkonů.

3.9. Migréna

Kritéria: V paroxysmu migrény lze zjistit zóny hypoperfúze se snížením průtokových rychlostí v systole i diastole. Mezi paroxysmy jsou v nálezech kolísající stranové asymetrie průtoků, které se často mění i v průběhu vyšetření. Bývá labilita periferních rezistencí a zvýšená funkční vazoreaktivita i na minimální podněty („overshooting“).

Využití: TCD je přínosem v diferenciální diagnostice bolestí hlavy. Především přispívá k vyloučení závažnější cévní etiologie, ale i sledování migreniků je užitečné, s možností posuzování efektu preventivní léčby.

3.10. Detekce pravolevého zkratu

Kritéria: Jedná se o registraci signálů s vysokou intenzitou („kontrastních mikroembolů“) nad a. cerebri media po podání kontrastní látky i.v. (cca 2 – 5 sekund po aplikaci) se současným provedením Valsalvova manévru. Je nutno aplikovat echoktrast s většími částicemi, které neprocházejí plicními kapilárami – např. směs fyziologického roztoku se vzduchem v poměru 9 : 1 po protřepání).

Využití: K identifikaci pravolevého zkratu, zejména v diferenciální diagnostice kryptogenních mozkových příhod, především u mladších osob.

3.11. TCD monitoringy – speciální indikace

3.11.1. Peroperační monitorování

Kritéria: Jedná se o kontinuální sledování průtoku vybranými mozkovými tepnami při výkonech na magistralních cévách nebo při kardiokirurgických operacích. Záznam je hodnocen především v kritických úsecích výkonu (naložení a odstranění svorek, shuntování atd.). Hodnotí se průtokové rychlosti v průběhu výkonu i v jeho závěru, zachycené mikroembolizace či jiné patologické změny hemodynamiky.

Využití: Příspěvek k rozhodování o selektivním použití shuntu při karotické endarterektomii (při poklesu V_{mean} v ACM po naložení svorky pod 40% původní průtokové rychlosti nebo pod 30 cm/s), dále hodnocení nežádoucích událostí charakteru embolizací, časné reokluze operované tepny nebo hyperperfúze a selhání vazomotorických regulačních mechanismů. Možnost řízené terapie

medikamentosní nebo intervenční. TCD monitoringu lze využít i v průběhu angioplastik a stentování, při kardiochirurgických výkonech nebo operacích s mimotělním oběhem.

3.11.2. Detekce mikroembolizací

Kritéria: V průběhu speciálního TCD monitoringu, probíhajícího většinou po dobu 15 – 60 min., jsou registrovány tranzitorní signály s vysokou intenzitou (HITS). Mikroembolické signály jsou unidirekcionální (jednosměrné), se zvukovým doprovodem, v trvání do 300 ms a s amplitudou > 3dB nad pozadím. Registrace a vyhodnocení s odlišením od artefaktů vyžaduje speciální softwarové vybavení. V režimu Power M-mode lze sledovat průběh mikroembolu formou stopy („*track*“).

Využití: Údaje o množství a charakteru mikroembolů slouží ke stanovení rizika, přispívají k identifikaci a sanaci jejich zdroje. Dále je možné sledování efektu zavedené antiagregační nebo antikoagulační léčby.

Literatura:

1.	Aaslid R, Eden A, Ringelstein EB, Lindegaard KF, Harders A, et al. Transcranial Doppler Sonography. Springer – Verlag, Wien, 1986, 177.
2.	Ringelstein EB. A Practical Guide to Transcranial Doppler Sonography. Noninvasive Imaging of Cerebrovascular Disease, Alan R. Liss, Inc., 1989: 75 – 121.
3.	Babikian VL, Wechsler LR. Transcranial Doppler Ultrasonography. Butterworth – Heinemann, Woburn, MA, 1999, 512.
4.	The Intersocietal Commission for The Accreditation of Vascular Laboratories. Essentials And Standards for Accreditation in Noninvasive Vascular Testing. Intracranial Cerebrovascular Testing. 1/2000.
5.	Klingerhofer J, Bartels E, Ringelstein EB, et al. New Trends in Cerebral Hemodynamics And Neurosonology. Elsevier Science B.V., Amsterdam 1997, 845.
6.	Frima-Verhoeven PAW, et al. Basilar Artery Blood Flow on Vertebrobasilar Ischaemia in the Subclavian Steal Phenomenon. Cerebrovasc.Dis. 1992, 2: 293 – 296 .
7.	Giller CA. A Bedside Test for Cerebral Autoregulation Using Transcranial Doppler. Acta Neurochir. 1991, 108: 7 – 14 .
8.	Jorgensen LG, Schroeder TV. Transcranial Doppler for Detection of Cerebral Ischaemia During Carotid Endarterectomy. Eur.J.Vasc.Surg. 1992, 6: 142 – 147.
9.	Kushner MJ, et al. Transcranial Doppler in Acute Hemispheric Brain Infarction. Neurology 1991, 41: 109 – 112.
10.	Provinciali L, et al. Transcranial Doppler As Diagnostic Tools in Vascular Dementia. Eur. Neurol. 1990, 30: 109 – 112 .
11.	Sbarigia E, Speziale F, Giannoni MF, Colonna M, Panico MA, Fioriani P. Post-carotid Endarterectomy Hyperperfusion Syndrome: Preliminary Observations for Identifying at Risk Patients by Transcranial Doppler Sonography And the Acetazolamide Test. Eur.J.Vasc.Surg. 1993, 7: 252 – 256 .
12.	Sloan MA, et al. Sensitivity And Specificity of Transcranial Doppler in the Diagnosis of Vasospasm Following SAH. Neurology, 1989, 39: 1514 – 1518.
13.	Spencer MP, Thomas GI, Moehring ME. Relation Between Middle Cerebral Artery Blood Flow Velocity And Stump Pressure During Carotid Endarterectomy. Stroke, 1992, 23: 1439 – 1445.

14.	Teague SM, et al. Detection of Paradoxical Cerebral Embolisation by Transcranial Doppler. Stroke 1991, 22: 740 – 745.
15.	Widder B, Kleiser B, Krapf H. Course of Cerebrovascular Reactivity in Patients with Carotid Artery Occlusions. Stroke 1994, 25: 1963 – 1967.
16.	Nagai Y, Kemper MK, Earley CJ, Metter EJ. Blood Flow Velocities And Their Relationships in Carotid And Middle Cerebral Arteries. Ultrasound in Med.Biol. 1998, 8: 1131 – 1136.