

# Primjena transkranijuskog doplera u cerebrovaskularnim bolestima

## Transcranial doppler applications in cerebrovascular disease diagnosis

Ines Strenja-Linić

**Sažetak.** Transkranijuski dopler (TCD) i transkranijuski obojeni dopler (engl. *transcranial color coded doppler sonography*; TCCD) neinvazivne su dijagnostičke metode za ispitivanje intrakranijske hemodinamike u realnom vremenu. TCD pruža uvid u cijeli niz intrakranijskih i ekstrakranijskih vaskularnih patoloških stanja te njihov utjecaj na intrakranijsku hemodinamiku na način na koji to nije moguće prikazati niti jednom drugom dijagnostičkom metodom. TCD je široko dostupna neinvazivna metoda dijagnosticiranja te kvantificiranja intrakranijskih stenoza koju možemo provoditi uz bolesničku postelju. U novije vrijeme TCD je sve zastupljeniji u perioperativnom i postoperativnom praćenju bolesnika s karotidnim stenozama, u detekciji moždanih mikroembolijskih signala, dijagnosticiranju otvorenog *foramena ovale* (PFO) odnosno lijevo-desnog šanta te za procjenu intrakranijskog vazospazma. Upotreba TCD-a u jedinicama intenzivnog liječenja omogućava neinvazivno praćenje intrakranijskog tlaka, kao i razvoj cerebralnog cirkulatornog aresta, odnosno potvrdu moždane smrti. S obzirom na odličnu vremensku rezoluciju TCD je neinvazivna tehnika idealna za ocjenu moždane cirkulatorne rezerve funkcionalnim testovima, upotrebljavajući različite podražaje – hipo i hiperkapnije, povećan ili smanjen sistemski arterijski tlak i hipoksije. Daljim usavršavanjem ove visokosofisticirane tehnologije očekuju se sve šire primjene TCD-a u neurološkim kao i drugim patološkim stanjima.

**Ključne riječi:** intrakranijske stenozе, moždana cirkulacija, moždana cirkulatorna rezerva, transkranijuski dopler, transkranijuski obojeni dopler, vazospazam

**Abstract.** Transcranial doppler (TCD) and transcranial color doppler are non-invasive diagnostic methods for investigating real time intracranial hemodynamics. TCD provides us with a number of intracranial and extracranial vascular pathological conditions as well as an insight into their intracranial hemodynamics in a way that is not possible when using other diagnostic methods. TCD is a widely available non-invasive method used to diagnose and quantify intracranial stenosis and can be conducted beside a hospital bed. Recently TCD is more and more acknowledged in perioperative as well as postoperative carotid stenosis patient follow up, detection of brain microembolic signals, diagnosis of *patent foramen ovale* (PFO) or a left-right shunt and to assess intracranial vasospasm. The use of TCD in intensive care units enables us to non-invasively monitor intracranial pressure as well as the development of cerebral circulatory arrest and to consequently confirm brain death. Considering TCD's excellent temporal resolution it is an ideal non-invasive technique to be used in cerebral circulatory reserve functional testing, by using different stimuli – hypo and hypercapnia, hypoxia and increased or reduced system arterial pressure. By further improvements in this highly sophisticated technology we expect a wider use of TCD to be implemented in neurological as well as other pathological conditions.

**Key words:** brain circulation, cerebral circulatory reserve, intracranial stenosis, transcranial color doppler, transcranial Doppler, vasospasm

Zavod za cerebrovaskularne i ekspanzivne bolesti, Klinika za neurologiju, KBC Rijeka, Rijeka

Primljeno: 20. 12. 2012.

Prihvaćeno: 30. 4. 2013.

Adresa za dopisivanje:

\*Dr. sc. Ines Strenja-Linić, dr. med.

Zavod za cerebrovaskularne i kompresivne bolesti

Klinika za neurologiju, KBC Rijeka

Cambierijeva 17/8, 51 000 Rijeka

e-mail: medines4@yahoo.com

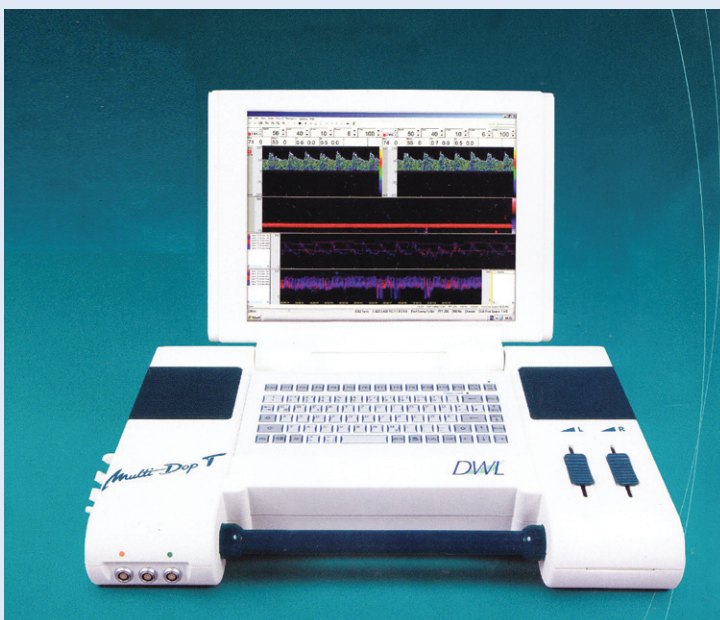
<http://hrcak.srce.hr/medicina>

## UVOD

Transkranijuski dopler (TCD) i transkranijuski obojeni dopler (engl. *transcranial color codes doppler sonography*; TCCD) neinvazivna je dijagnostička metoda za ispitivanje intrakranijske hemodinamike u realnom vremenu (slika 1). Ultrazvučni dopler prikaz ekstrakranijskih krvnih žila, osnaženi dopler (engl. *power doppler*), TCD i TCCD danas imaju značajnu ulogu u pravodobnom otkrivanju bolesnika s poremećenom intrakranijskom hemo-

Dijagnostika moždane cirkulacije neinvazivnim ispitivanjem TCD-om metoda je izbora jer omogućuje brzu procjenu cerebrovaskularnog statusa, jeftina je i jednostavna za upotrebu, te predstavlja imperativ u dijagnostici, zbrinjavanju, praćenju i terapiji bolesnika s cerebrovaskularnim poremećajima, kao i u preventivnom praćenju bolesnika koji spadaju u riskantnu skupinu za poremećaj moždane cirkulacije.

dinamikom, odnosno visokim rizikom za razvoj moždanog udara<sup>1</sup>. Razvoj TCD-a omogućio je sigurnu, široko dostupnu, neinvazivnu i brzu pretragu protoka krvi u krvnim žilama mozga uz bolesnički krevet, kojom se mogu dobiti značajni podaci o stanju krvnih žila mozga<sup>2,3</sup>.



Slika 1. Transkranijuski dopler (TCD)  
Figure 1 TCD equipment

Danas se smatra da je i do 10 % tranzitornih ishemičkih ataka (TIA) i moždanih udara uzrokovano intrakranijskom aterosklerozom<sup>4,5</sup>. Senzitivnost, specifičnost i pozitivna prediktivna vrijednost TCD-a veća je pri dijagnosticiranju stenookluzivnih promjena intrakranijskih arterija prednje moždane cirkulacije u odnosu na vertebrobazilarnu cirkulaciju, jer su u posljednjih anatomske varijacije češće prisutne i može biti otežana njihova insonacija<sup>6</sup>.

## PROTOKOL ISPITIVANJA TCD-A I INSONACIJSKI KRITERIJI ZA ARTERIJE WILLISOVA KRUGA

Ultrazvučno ispitivanje ekstrakranijskog dijela karotidnih arterija 1965. godine prvi put su opisali Miyazaki i Kato<sup>7</sup>. Usprkos brzom razvoju ultrazvučnih tehnika u ekstrakranijskom dijelu cirkulacije, one se gotovo dva desetljeća uopće nisu primjenjivale u intrakranijskoj cirkulaciji zbog pretpostavke da su kosti glave potpuno nepropusne za ultrazvučne zrake. Rune Aaslid i suradnici 1982. godine prikazali su originalan pristup ispitivanju intrakranijskog krvotoka TCD-om, koje je prije bilo moguće provesti samo kod djece s otvorenom fontanelom ili za vrijeme neurokirurških zahvata, s obzirom na to da su kosti glave bile ozbiljna prepreka neinvazivnom ispitivanju doplerom, jer su znatno otežavale prolaz ultrazvučnog snopa<sup>8</sup>. Aaslid i suradnici prevladali su taj problem uporabom pulsirajućeg doplera niskih frekvencija od 2 MHz, stavljajući sondu na najtanji dio temporalne kosti odmah iznad zigomatičnog luka. Navedena frekvencija se pokazala dovoljno jakom u prodiranju kroz kosti glave i registriranju zadovoljavajućih reflektiranih ultrazvučnih signala iz bazalnih arterija mozga<sup>8</sup>.

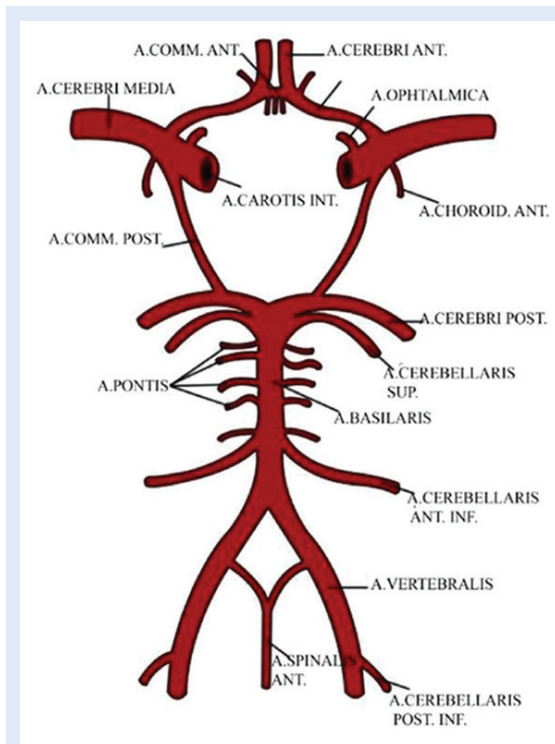
TCD omogućuje ispitivanje hemodinamike svih žila Willisova kruga i vertebrobazilarnog sliva (slika 2). S obzirom na to da je to „slijepa” metoda jer detektiramo samo doplerski signal krvne struje, identifikacija krvnih žila temelji se na dubini na kojoj je žila insonirana, smjeru i srednjoj brzini strujanja krvi (SBSK) (tablica 1). Prilikom ispitivanja intrakranijske cirkulacije treba posebno naglasiti da postoji normalna anatomska varijabilnost Willisova kruga – hipoplazije i aplazije pojedinih segmenata, što može onemogućiti ra-

zvitak kolateralnog puta, vrlo bitnog kod stenoza i okluzija, poradi čega se simptomi karotidne bolesti javljaju u samom početku bolesti, odnosno znatno ranije. Treba naglasiti da je metoda TCD-om izrazito ovisna o spretnosti i iskustvu ispitivača te zahtijeva izvrsno poznavanje i orijentaciju o moždanom krvožilju, posebice s obzirom na to da tek 20 % populacije ima urednu organizaciju Willisova kruga, dok su u ostalih prisutne manje ili više asimetrije, hipoplazije ili aplazije ogranaka ili cijelih krvnih žila mozga<sup>9,10</sup>.

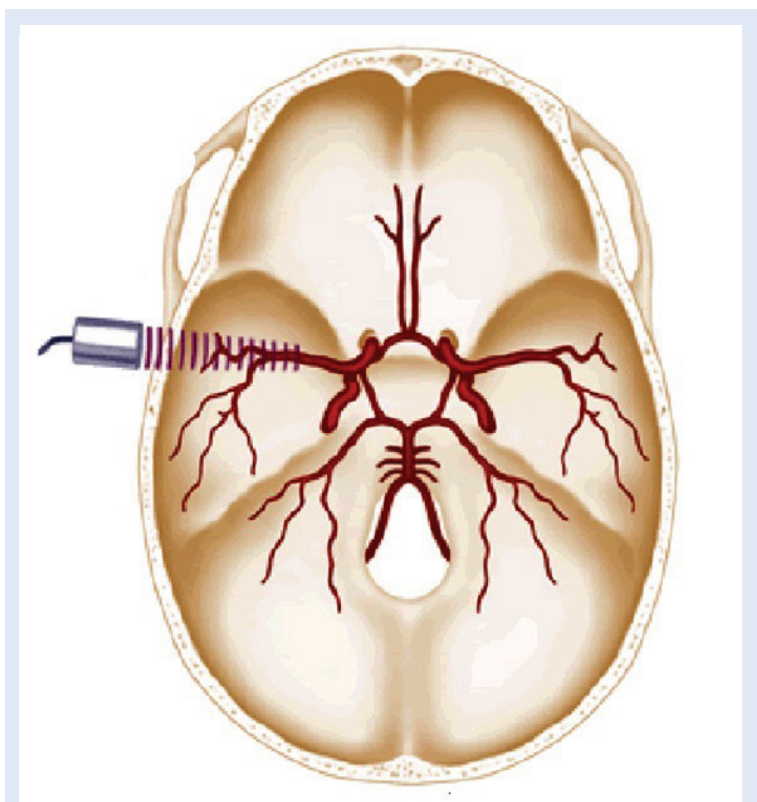
Prilikom interpretacije rezultata važno je da je uzorak ispitivanja kod TCD-a veći od promjera ispitivane žile, tako da je dobivena brzina odraz BSK-a u insoniranoj žili, ali i svih vaskularnih struktura u blizini žile<sup>11</sup>. Insonacija intrakranijskih žila izvodi se pomoću sonde koja se drži u ruci i prisanja na kožu glave na točno određena mjesta koja se zovu „koštani prozori“. To su specifična područja lubanje gdje je kost prirodno tanja, tako da ne dolazi do pretjerane atenuacije ultrazvučnog vala. Opisana su tri osnovna puta za pristup intrakranijskim arterijama koje nazivamo „akustičnim prozorima“:

- transtemporalni
- transorbitalni
- transforamenalni i okcipitalni prozor<sup>12</sup>.

Transkranijски pristup na bazalne moždane arterije kroz **transtemporalni prozor** nalazi se na temporalnoj kosti iznad zigomatičnog luka (slika 3). Podijeljen je u tri zone, prednji, srednji i stražnji temporalni prozor. Prednji temporalni prozor smješten je iza frontalnog nastavka zigomatične kosti. Stražnji temporalni prozor nalazi se neposredno ispred uha, a srednji je između njih. Transtemporalni pristup je glavni pristup, jer se kroz njega ispituju ACA, ACM, ACP i karotidni sifon, kao i kolateralni kanali ACoA i ACoP. Insonacija u temporalnoj regiji radi se kroz solidno koštano tkivo. Kod mladih odraslih ispitanika obično je moguće dobiti dobar signal s relativno velikog područja, no kod starijih je ljudi, osobito u žena, zbog zadebljanja kosti glave, ponekad jedva moguće dobiti signale kroz mali prozor, te se procjenjuje da je zbog toga onemogućena pretraga TCD-om u oko 10 % bolesnika. Prilikom traženja signala potrebno je ispitati sva tri prozora da bi se analizirao signal najbolje kvalitete. Kod insonacije

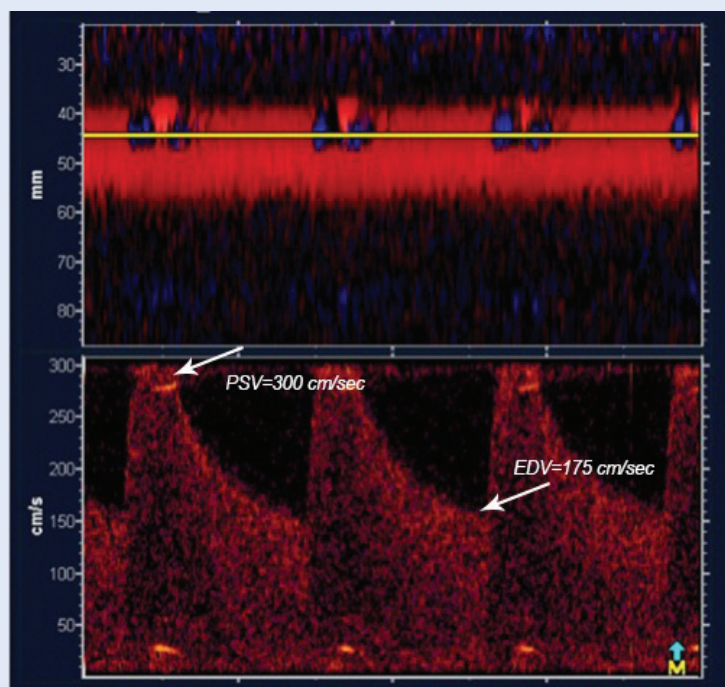


Slika 2. Krvne žile Willisova kruga  
*Figure 2 Circulus Willisii vessel*



Slika 3. TCD sonda u transtemporalnoj poziciji za insonaciju intrakranijskih krvnih žila  
*Figure 3 TCD probe in transtemporal position for insonation of intracranial vessel*

kroz **transorbitalni prozor**, kojim se ispituju karotidni sifon, oftalmična arterija, a moguće je insonirati i ACA, ultrazvučni val prolazi kroz bulbus oka i tanki koštani stražnji zid orbite. **Transfora-**



**Slika 4.** Nalaz TCD-om u bolesnika s visokom stenozom ACM-a i značajno povišenom brzinom strujanja krvi.

**Figure 4** TCD findings in patient with ACM stenosis that presented with a markedly elevated flow velocity (personal archive Z. Garamy, Methodist Hospital, Houston, TX, USA)

**menalni ili okcipitalni prozor** nalazi se između lubanje i atlasa te se postavljanjem sonde u medijalnu liniju insonira intrakranijski dio VA i proksimalni dio BA. Pretraga intrakranijskih krvnih žila TCD-om izvodi se tako da kod insonacije kroz temporalni prozor ispitanik leži, a kod pregleda vertebrobazilarnog sustava, kroz okcipitalni prozor, bolesnik treba biti u sjedećem položaju<sup>11</sup>. Za točnu identifikaciju arterija postoje tri glavna izvora informacija: dubina ispitivanja i kut sonde, smjer cirkulacije (prema sondi ili od sonde) i SBSK i odgovor signala na kompresiju ipsilateralnog ACI-ja<sup>13,14</sup>.

#### INDIKACIJE ZA PRIMJENU TCD-A

Ultrazvučna pretraga intrakranijskih krvnih žila upotrebom TCD-a omogućuje nam praćenje promjena u moždanoj cirkulaciji u fiziološkim uvjetima i u različitim patološkim stanjima<sup>13,15</sup>. Stenookluzivne lezije intrakranijskih arterija uzrokuju karakteristične doplerske signale kao što su fokalno ubrzanje, lokalne turbulencije struje krvi te poststenotički pad u brzinama protoka, kao i različiti uzorci kolateralnog protoka<sup>14</sup> (slika 4). Signal dobiven TCD-om služi isključivo za procjenu intrakranijske hemodinamike. Indikacije za primjenu TCD-a u odraslih prikazane su u tablici 2.

**Tablica 1.** Insonacijski kriteriji za identifikaciju arterija Willisova kruga

**Table 1** Insonation criteria for identification artery ciculus Wilisi

Arterija	Pristup	Usmjerenost sonde	Dubina (mm)	Smjer protoka	SBSK (cm/s)	SBSK i smjer nakon kompresije ACI
ACM	Temporalni	Ravno	30 – 60	Prema sondi	55+/-12	↓SBSK
ACA	Temporalni	Gore i naprijed	60 – 80	Od sonde	50+/-11	↓ SBSK ili obrnuti smjer
ACP (P1)	Temporalni	Dolje i natrag	60 – 70	Prema sondi	39+/-10	↓, ↑ SBSK ili bez promjene
ACP (P2)	Temporalni	Dolje i natrag	60 – 70	Od sonde	40+/-10	↓ ili bez promjene
CS	Temporalni	Ravno	60 – 80	Oba smjera	41+/-14	↓ SBSK
AV	Okcipitalni		60 – 90	Od sonde	38+/-10	
AB	Okcipitalni		80 – 120	Od sonde	41+/-10	

ACM – središnja moždana arterija; ACA – prednja moždana arterija; ACP – stražnja moždana arterija; CS – karotidni sifon; AV – vertebralna arterija; AB – bazilarna arterija; SBSK – srednja brzina strujanja krvi; ACI – unutrašnja karotidna arterija.

**Tablica 2.** Indikacije za primjenu TCD-a u odraslih  
**Table 2** Indications for a TCD use in adults

1	procjena kolateralnog protoka i embolizacije tijekom karotidne endarektomije <sup>1,15</sup>
2	procjena uzroka i jačine kolateralne cirkulacije u osoba s poznatom značajnom stenozom ili okluzijom moždanih arterija, uključujući i osobe s Moyamoya sindromom <sup>16</sup>
3	procjena hemodinamike u osoba sa sumnjom na otvoreni foramen ovale (engl. <i>patent foramen ovale</i> ; PFO) i paradoksnom embolijom i sa simptomima koji uključuju vidne ispade, hemipareze i motorne parafazije <sup>17</sup>
4	procjena intrakranijske cirkulacije i praćenje razvoja cerebralnog cirkulatornog aresta u svrhu dokazivanja moždane smrti <sup>18</sup>
5	otkrivanje arterio-venskih malformacija (AVM) i procjena njihovih žila hranilica, kao i hemodinamski uzorak <sup>19</sup>
6	intraoperativno i periproceduralno monitoriranje poradi detekcija mikroembolusa u moždanim arterijama, tromboza, hipo i hiperperfuzije <sup>1,15</sup>
7	detekcija značajnih stenoza u velikim intrakranijskim arterijama na bazi mozga u osoba s neurološkim simptomima ili šumom nad karotidama <sup>1,15</sup>
8	dijagnosticiranje disekcija vertebralne arterije <sup>15</sup>
9	evaluacija anemije srpastih stanica poradi procjene rizika od moždanog udara <sup>19-21</sup>
10	procjena i praćenje osoba s cerebralnim vazospazmom posebice nakon traumatskog i netraumatskog subarahnoidalnog krvarenja <sup>22</sup>
11	monitoriranje trombolitičke terapije u bolesnika s akutnim moždanim udarom <sup>1,23,24</sup>

Cerebralnom angiografijom može se prikazati akutna okluzija u 76 % bolesnika s akutnim infarktom u području ACM-a unutar 6 sati od nastupa<sup>25</sup>. Studije koje su pratile iste bolesnike pokazuju spontanu rekanalizaciju u većini slučajeva unutar 48 sati, odnosno i do 86 % unutar 2 tjedna<sup>26</sup>. TCD može prikazati ove angiografske okluzije intrakranijskih arterija s vrlo visokom senzitivnošću i specifičnošću, kao i visokom pozitivnom prediktivnom vrijednošću<sup>27</sup>. TCD ima specifičnost od 90 % u prikazivanju okluzije ACM-a u bolesnika s akutnim ACM infarktom unutar 5 sati<sup>27</sup>. Alexandrov i sur. pokazali su okluziju velike intrakranijske arterije u 69 % bolesnika s akutnim hemisfernim moždanim udarom, koji su pogodni za trombolitički tretman<sup>28</sup>. Rekanalizacija se može pratiti, ali i potencirati upotrebom TCD-a, što je potvrdila studija CLOTBUST (engl. *Combined Lysis of Thrombus in Brain ischemia using transcranial Ultrasound and Systemic t-PA*). Alexandrov i suradnici pokazali su da kontinuirana primjena TCD-a sondom od 2 MHz pulsno ultrazvuka koji je usmjeren na rezidualni protok u okludiranoj žili može potpomoći djelovanju t-PA i pospješiti njegovu trombolitičku djelotvornost<sup>28</sup>.

Uredan nalaz TCD-a 6 sati nakon moždanog udara neovisni je prediktor ranog oporavka<sup>29</sup>. Nadalje, u akutnom infarktu područja ACM-a, kada je izmjerena brzina strujanja krvi samo 30 cm/sek unutar

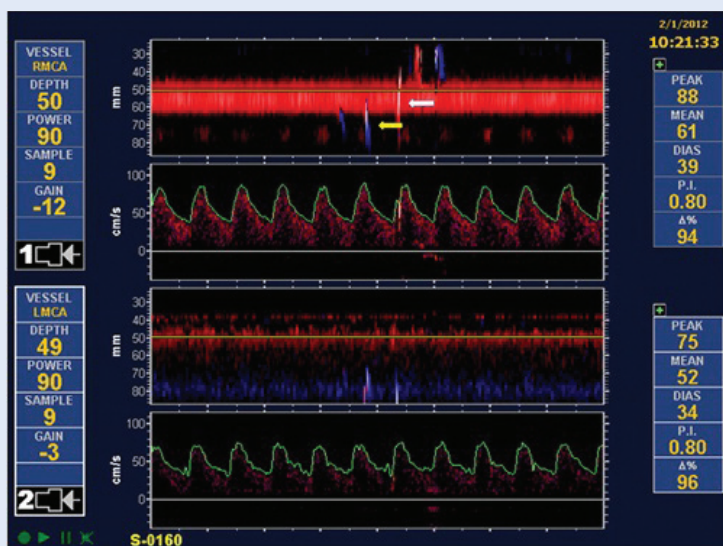
12 sati od moždanog udara, nalaz TCD-a izravno korelira s lošijom ishodom i slabijim oporavkom<sup>30</sup>. Okluzije intrakranijskih arterija mogu se dijagnosticirati čak i s većom sigurnošću od stenoza. Demchuk i sur. prvi su objavili i detaljne dijagnostičke kriterije za okluziju velikih arterija<sup>31</sup>. Koristili su tzv. kriterije TIBI (engl. *Thrombolysis In Brain Ischemia*), klasifikaciju koja opisuje promjene u izgledu doplerskih valova koji se insoniraju tijekom rekanalizacije za vrijeme primjene t-PA u akutnom moždanom udaru ili pred samo mjesto okluzije arterije. Općenito, kriteriji za dijagnostiku okludirane arterije upotrebom TCD-a uključuju:

- odsutnost doplerskog signala arterije, uzimajući u obzir da imamo dobar akustički prozor koji se dokazuje prikazivanjem protoka u drugim krvnim žilama kroz isti prozor;
- sonografskim dokazivanjem kolateralnog protoka<sup>31</sup>.

#### MONITORIRANJE TCD-OM

Otvoreni foramen ovale (PFO) čest je u općoj populaciji s prevalencijom od 10 – 35 % u različitim ehokardiografskim i studijama rađenim pri autopsiji<sup>32,33</sup>. PFO s desno-lijevim šantom smatra se potencijalnim čimbenikom rizika u bolesnika s moždanim udarom nepoznatog uzroka (kriptogeni moždani udari)<sup>32,33</sup>. Transezofagealna ehokardiografija s intravenskom aplikacijom kontrasta (TEE) smatra se

zlatnim standardom u dijagnostici PFO-a<sup>34</sup>, no već od ranih 1990-ih TCD s aplikacijom kontrasta koristi se kao metoda za otkrivanje mikroembolusa visokog intenziteta (engl. *High-intensity transient signals*; HITS) koji prolaze kroz MCA i direktno govore u prilog postojanju desno-lijevog šanta (slika 5). Senzitivnost i specifičnost nalaza TCD-a za PFO je 68 – 100 %, odnosno 67 – 100 %<sup>34</sup>. Najnovije studije Belvis i suradnika s metodom TCD-a i TEE-a primijenjenim istovremeno pokazuju izvrsnu podudarnost u bolesnika s PFO-om, odnosno u dokazivanju i kvantifikaciji desno-lijevog šanta<sup>35</sup>.



Slika 5. Prikaz mikroembolijskog signala na TCD-u  
Figure 5 High intensity transient embolic signals on TCD



Slika 6. Prikaz Willisova kruga TCCD-om  
Figure 6 TCCD images of circulus Willisi

## MJERENJE MOŽDANE VAZOREAKTIVNOSTI TCD-OM

S obzirom na odličnu vremensku rezoluciju TCD je neinvazivna tehnika idealna za ocjenu moždane cirkulatorne rezerve funkcionalnim testovima, upotrebljavajući različite podražaje – hipo i hiperkapnije, povećan ili smanjen sistemski arterijski tlak i hipoksije. Povećanje parcijalnog tlaka CO<sub>2</sub> u krvi s posljedičnom vazodilatacijom jedan je od principa koji se primjenjuju u funkcionalnim testovima ispitivanja moždane vazoreaktivnosti<sup>36</sup>. Markwalder i suradnici pokazali su da postoji korelacija u promjenama SBSK-a u ACM-u od oko 3,4 ± 0,4 % po mmHg CO<sub>2</sub>, pri čemu je ispitanik tijekom 2 minute udisao smjesu 5 % CO<sub>2</sub> i 95 % O<sub>2</sub><sup>37</sup>. Jedan od funkcionalnih testova je i test zadržavanja daha, poznatiji kao BHI (engl. *breath holding indeks*), tijekom kojeg se mjere učinci endogenog CO<sub>2</sub> na moždanu cirkulaciju<sup>38</sup>. Ugljični dioksid ima snažan i brz učinak na moždani protok. Hiperkapnija uzrokuje vazodilataciju i povećanje protoka u moždanim krvnim žilama, dok hipokapnija dovodi do vazokonstrukcije i posljedičnog smanjenja protoka. BHI se koristi za procjenu cerebrovaskularne vazoreaktivnosti na hiperkapniju. Izračunava se mjerenjem SBSK-a u ACM-u prije, tijekom i nakon zadržavanja daha te je indeks izračunat kao postotno odstupanje SBSK-a od nulte linije podijeljeno s vremenom trajanja testa (30 sekundi). Ova tehnika može biti korisna za procjenu bolesnika s asimptomatskom stenozom ACI-ja koji su predviđeni za endarterektomiju (CEA)<sup>39</sup>.

## TCCD

Ultrazvučni uređaji koji imaju istovremeni dvodimenzionalni B-mod i pulsni obojeni dopler transkranijски prikaz (TCCD – *transcranial color codes doppler sonography*) omogućuju prikaz moždanog parenhima uz superpoziciju bojom kodiranog protoka. Na taj je način procjena moždane hemodinamike Willisova kruga postaje pouzdanija od TCD-a (slika 6).

TCCD omogućava istovremenu korekciju kuta prilikom određivanja brzine strujanja krvi različitih segmenata intrakranijskih krvnih žila<sup>40</sup> (slika 7). Danas ga možemo smatrati čak i pouzdanijim u točnoj procjeni brzina strujanja od konvencional-

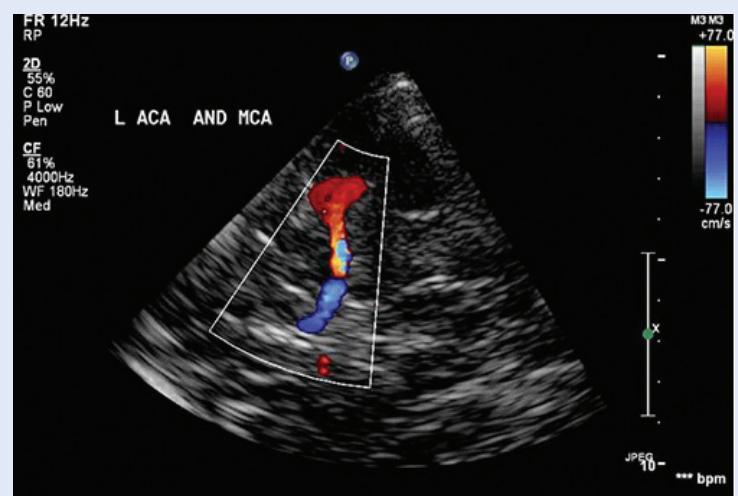
nog TCD-a, no do sada nema studija o usporedbi obje metode u različitim cerebrovaskularnim oboljenjima. Usprkos dosadašnjim dostupnim studijama TCCD ima višu senzitivnost i specifičnost u otkrivanju umjerenih intrakranijskih stenoza<sup>41,42</sup> i dalje ostaje izrazito ovisan o ispitivaču čije iskustvo može različito utjecati na pregled bolesnika s neadekvatnim temporalnim akustičkim prozorom. Trodimenzionalna rekonstrukcija tijekom snimanja TCCD-om<sup>43</sup> i upotreba sonografskih kontrastnih sredstava<sup>33</sup> može pomoći u poboljšanju kvalitete, kao i pouzdanosti rezultata.

### Transkranijaska parenhimska sonografija

Transkranijaska parenhimska sonografija (TCS) prvi put se spominje kao važna dijagnostička metoda još 1995.<sup>45</sup> Iako u početku prihvaćana s rezervom, danas je to dijagnostička metoda koja se može primijeniti u dijagnostici i diferencijalnoj dijagnostici Parkinsonove bolesti (PB) i srodnih ekstrapiramidnih poremećaja. U otprilike 90 % zdravih pojedinaca *substantia nigra* prikazuje urednu ehogenost, u većine bolesnika s Parkinsonovom bolešću bilježi se značajno povećanje njene ehogenosti. Daljim tehnološkim napretkom i usavršavanjem ultrazvučne dijagnostike transkranijaska parenhimska sonografija nalazi mjesto kao dijagnostička metoda i u drugim neurodegenerativnim poremećajima kao što su Wilsonova i Huntingtonova bolest, distonija<sup>46</sup>.

### ZAKLJUČAK

Neurologija je jedna od prvih grana medicine gdje se počeo primjenjivati ultrazvuk u dijagnostičke svrhe. Transkranijaskim doplerom može se utvrditi intrakranijska stenoza, ustanoviti preraspodjela hemodinamike kod ekstrakranijskih okluzivnih promjena i monitorirati rekanalizacija žile nakon primjene trombolize. Kod hemoragijskih moždanih udara prati se razvoj vazospazma te uspješnost liječenja. Razvoj softvera doveo je do mogućnosti monitoriranja emboličkih signala i testiranja vazoreaktivnosti. Sve to spada u dodatne metode u procjeni bolesnika s moždanim udarom. Daljim usavršavanjem ove visokosofisticirane tehnologije očekuju se sve šire primjene TCD-a u neurološkim, kao i u drugim patološkim stanjima.



Slika 7. Prikaz TCCD-om središnje cerebralne arterije (ACM) prikazane crveno i prednje cerebralne arterije prikazane plavom bojom.

**Figure 7** TCCD images of the central cerebral artery (MCA) is shown in red and the anterior cerebral artery is shown in blue

Transkranijaskim doplerom može se utvrditi intrakranijska stenoza, ustanoviti preraspodjela hemodinamike kod ekstrakranijskih okluzivnih promjena i monitorirati rekanalizacija žile nakon primjene trombolize. Kod hemoragijskih moždanih udara prati se razvoj vazospazma te uspješnost liječenja traumatskog i neutraumatskog SAH-a.

### LITERATURA

1. Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, Spencer MP, Caplan LR, Feldmann E et al. Assessment: transcranial Doppler ultrasonography: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 2004;62:1468-81.
2. Aaslid R, Lindegaard KF, Sorteberg W, Nornes H. Cerebral autoregulation dynamics in humans. *Stroke* 1989;20:45-52.
3. Bragoni M, Feldmann E. Transcranial doppler indices of intracranial hemodynamics. In: Hennerici MG, Meairs SP (eds). *Cerebrovascular ultrasound*. Cambridge University Press, 2001;129-40.
4. Wityk RJ, Lehman D, Klag M, Coresh J, Ahn H, Litt B. Race and sex differences in the distribution of cerebral atherosclerosis. *Stroke* 1996;27:1974-80.
5. Komotar RJ, Mocco J, Wilson DA, Connolly ES, Lavine SD, Meyers PM. Natural history of intracranial atherosclerosis: A critical review. *Neurosurgery* 2006;58:595-601.
6. Wijman CAC, Babikian VL, Matjucha ICA, Koleini B, Hyde C, Winter MR et al. Cerebral microembolism in patients with retinal ischaemia. *Stroke* 1998;29:1139-43.

7. Miyazaki M, Kato K. Measurement of cerebral blood flow by ultrasonic Doppler technique. *Jpn Circ J* 1965; 29:383-6.
8. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57:769-74.
9. Alpers B, Berry R, Paddison R. Anatomical studies of the circle of Willis in normal brain. *AMA Arch Neurol Psychiatry* 1959;81:409-18.
10. Seidel G, Kaps M, Gerriets T. Potential and limitations of transcranial color-coded sonography in stroke patients. *Stroke* 1995;26:2061-6.
11. Demarin V. Transkranijski dopler. In: Demarin V, Štikovac M, Thaller N (eds). *Doppler sonografija krvnih žila*. Zagreb: Školska knjiga, 1990:87-123.
12. Otis SM, Ringelstein EB. The transcranial Doppler examination: principles and applications of transcranial doppler sonography. In: Hennerici MG, Meairs SP (eds). *Cerebrovascular ultrasound*. Cambridge University Press, 2001:113-29.
13. Babikian VL, Schwarze JJ. Cerebral blood flow and cerebrovascular physiology. In: Tegeler CH, Babikian VL, Gomez CR (eds). *Neurosonology*. Mosby-Year Book, Inc.; 1996:140-55.
14. Alexandrov AV, Sloan MA, Wong LK, Douville C, Razumovsky AY, Koroshetz WJ et al. American Society of Neuroimaging Practice Guidelines Committee. *J Neuroimaging* 2007;17:11-8.
15. Alexandrov AV, Sloan MA, Tegeler CH, Newell DN, Lumsden A, Garami Z et al. Practice standards for transcranial Doppler (TCD) ultrasound. Part II. Clinical indications and expected outcomes. *J Neuroimaging* 2012; 22:215-24.
16. Muller M, Hermes M, Bruckmann H, Schimrigk K. Transcranial Doppler ultrasound in the evaluation of collateral blood flow in patients with internal carotid artery occlusion: correlation with cerebral angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995;16:195-202.
17. Jauss M, Zanette E. Detection of right-to-left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography. *Cerebrovasc Dis* 2000;10:490-6.
18. Nedelmann M, Stolz E, Gerriets T, Baumgartner RW, Malferrari G, Seidel G et al. Consensus recommendations for transcranial color-coded duplex sonography for the assessment of intracranial arteries in clinical trials on acute stroke. *Stroke* 2009;40:3238-44.
19. Lowe LH, Bulas DI. Transcranial Doppler imaging in children: sickle cell screening and beyond. *Pediatr Radiol* 2005;35:54-65.
20. Sampaio Silva G, Vicari P, Figueiredo MS, Filho AC, Valadi N, Massaro AR. Transcranial Doppler in adult patients with sickle cell disease. *Cerebrovasc Dis* 2006;21:38-41.
21. Valadi N, Silva GS, Bowman LS, Ramsingh D, Vicari P, Filho AC et al. Transcranial Doppler ultrasonography in adults with sickle cell disease. *Neurology* 2006;67: 572-4.
22. Marshall SA, Nyquist P, Ziai WC. The role of transcranial Doppler ultrasonography in the diagnosis and management of vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Neurosurg Clin N Am* 2010;21:291-303.
23. Alexandrov AV, Molina CA, Grotta JC, Garami Z, Ford SR, Alvarez-Sabin J et al. Ultrasound-enhanced systemic thrombolysis for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2004;351:2170-8.
24. Tsvigoulis G, Alexandrov AV, Sloan MA. Advances in transcranial Doppler ultrasonography. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2009;9:46-54.
25. Fieschi C, Argentino C, Lenzi GL, Sacchetti ML, Toni D, Bozzao L. Clinical and instrumental evaluation of patients with ischemic stroke within the first six hours. *Ital J Neurol Sci* 1989;91:311-21.
26. Alexandrov AV, Bladin CF, Norris JW. Intracranial blood flow velocities in acute cerebral ischemia. *Stroke* 1994;25:1378-83.
27. Wijman CAC, Babikian VL, Matjuša ICA, Koleini B, Hyde C, Winter MR et al. Cerebral microembolism in patients with retinal ischemia. *Stroke* 1998;29:1139-43.
28. Alexandrov AV, Bladin CF, Ehrlich LE, Norris JW. Noninvasive assessment of intracranial perfusion in acute cerebral ischemia. *J Neuroimaging* 1995;5:76-82.
29. Toni D, Fiorelli M, Zanette EM, Sacchetti ML, Salerno A, Argentino C et al. Early spontaneous improvement and deterioration of ischemic stroke patients; a serial study with transcranial Doppler ultrasonography. *Stroke* 1998;29:1144-88.
30. Halsey Jr JH. Prognosis of acute hemiplegia estimated by transcranial Doppler ultrasonography. *Stroke* 1988;19:648-9.
31. Demchuk AM, Burgin WS, Christou I, Felberg RA, Barber PA, Hill MD et al. Thrombolysis in brain ischemia (TIBI) Transcranial Doppler flow grades predict clinical severity, early recovery, and mortality in patients treated with intravenous tissue plasminogen activator. *Stroke* 2001;32:89-93.
32. De Castro S, Cartoni D, Fiorelli M, Rasura M, Anzini A, Zanette EM et al. Morphological and functional characteristics of patent foramen ovale and their embolic implications. *Stroke* 2000;31:2407-13.
33. Lechat P, Mas JL, Lascault G, Loron P, Theard M, Klimczak M et al. Prevalence of patent foramen ovale in patients with stroke. *N Engl J Med* 1988;318:1148-52.
34. Droste DW, Silling K, Stypmann J, Grude M, Kemeny V, Wichter T et al. Contrast transcranial doppler ultrasound in the detection of right-to-left shunts: Time window and threshold in microbubble numbers. *Stroke* 2000;31:1640-5.
35. Belvis R, Leta RG, Martí-Fàbregas J, Cocho D, Carreras F, Pons-Lladó G et al. Almost perfect concordance between simultaneous transcranial doppler and transthoracic echocardiography in the quantification of right-to-left shunts. *J Neuroimaging* 2006;16:133-8.
36. Ringelstein EB, Sievers C, Ecker S, Schneider PA, Otis SM. Noninvasive assessment of CO<sub>2</sub>-induced cerebral vasomotor response in normal individuals and patients with internal carotid artery occlusions. *Stroke* 1988; 19:963-9.
37. Markwalder TM, Grolimund P, Seiler RW, Roth F, Aaslid R. Dependency of blood flow velocity in the middle cerebral artery on end-tidal carbon dioxide partial pressure—a transcranial ultrasound Doppler study. *J Cereb Blood Flow Metab* 1984;4:368-72.
38. Markus HS, Harrison MJ. Estimation of cerebrovascular reactivity using transcranial Doppler, including the use of breath-holding as the vasodilatory stimulus. *Stroke* 1992;23:668-73.



39. Silvestrini M, Vernieri F, Pasqualetti P, Matteis M, Passarelli F, Troisi E et al. Impaired cerebral vasoreactivity and risk of stroke in patients with asymptomatic carotid artery stenosis. *JAMA* 2000;283:2122-7.
40. Bogdan U, Becker G, Winkler J, Greiner K, Perez J, Meurers B. Transcranial color coded real time sonography in adults. *Stroke* 1990;21:1680-8.
41. Kimura K, Yasaka M, Wada K, Minematsu K, Yamaguchi T, Otsubo R. Diagnosis of middle cerebral artery stenosis by transcranial color-coded real-time sonography. *Am J Neuroradiol* 1998;19:1893-6.
42. Baumgartner RW, Mattle HP, Schröth G. Assessment of  $\geq 50\%$  and  $< 50\%$  intracranial stenoses by transcranial color-coded duplex sonography. *Stroke* 1999;30:87-92.
43. Klotzch C, Bozzato A, Lammers G, Mull M, Noth J. Contrast-enhanced three-dimensional transcranial color-coded sonography of intracranial stenoses. *Am J Neuroradiol* 2002;23:208-12.
44. Zunker P, Wilms H, Brossmann J, Georgiadis D, Weber S, Deuschl G. Echo contrast-enhanced transcranial ultrasound. Frequency of use, diagnostic benefit, and validity of results compared with MRA. *Stroke* 2003;33:2600-3.
45. Becker G, Seufert J, Bogdahn U, Reichmann H, Reiners K. Degeneration of the substantia nigra in chronic Parkinson's disease visualized by Transcranial color-coded real-time Sonography. *Neurology* 1985;45:182-4.
46. Godau J, Berg D. Role of Transcranial Ultrasound in the diagnosis of movement disorders. *Neuroimag Clin N Am* 2010;20:87-101.