

## Konsep Dasar *Transcranial Doppler* (TCD) untuk *Neurocritical care*

Ida Bagus Krisna Jaya Sutawan<sup>\*)</sup>, Siti Chasnak Saleh<sup>\*\*)</sup>, Tatang Bisri<sup>\*\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran Universitas Udayana RSUP Sanglah, <sup>\*\*)</sup>Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga RSUP Dr. Soetomo Surabaya <sup>\*\*\*)</sup>Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung

### Abstrak

*Transcranial Doppler* merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan ultrasonografi (USG) sehingga bersifat noninvasif dan *mobile*. Untuk dapat menggunakan TCD dengan baik maka diperlukan pemahaman mengenai *doppler effect* yang merupakan dasar perhitungan dari parameter TCD, *acoustic window* yang mana merupakan tempat dimana dilakukan isonasi sehingga menemukan arteri yang benar, anatomi dari arteri yang akan diisonasi dan tipe alat TCD yang digunakan untuk mengisonasi. Informasi mengenai keadaan sirkulasi darah otak menggunakan TCD didapatkan melalui parameter-parameter yang langsung dihitung oleh alat TCD diantaranya *peak systolic velocity*, *end diastolic velocity*, *mean flow velocity*, *pulsatility index* dan *resistence index*. Selanjutnya ada juga informasi-informasi lainnya yang didapatkan dengan memasukkan parameter-parameter tersebut ke sebuah rumus, seperti misalnya *mean flow velocity*, tekanan intrakranial, tekanan perfusi otak. Selain itu TCD juga dapat digunakan untuk menilai keutuhan autoregulasi, vasospasme, hiperemia, dan mati batang otak.

**Kata kunci:** *Transcranial Doppler*, *acoustic window*, *mean flow velocity*

JNI 2017;6 (3): 195–204

## Basic Concept of *Transcranial Doppler* (TCD) for Neuroanesthesia and Critical Care

### Abstract

*Transcranial Doppler* (TCD) is one of the applicable use of ultrasonography (USG), so it is noninvasif and mobile. To use TCD properly, the understanding of Doppler effect as the basic to calculate the parameters of TCD, acoustic window which are the place where to isonate to find the correct arterie, the anatomy of arteries that will be isonated and type of TCD device that will be used to isonated are needed. Information about cerebral circulation using TCD can be achieved from parameters that are directly calculated by the TCD device such as peak systolic velocity, end diastolic velocity, mean flow velocity, pulsatility index and resistance index. Furthermore, there are also informations that can be archived by putting up those parameters to a formula such as mean flow velocity, intracranial pressure and cerebral perfusion pressure. Beside that TCD also can be used to evaluate autoregulation, vasospasme, hypermia, and brain death.

**Key words:** *Transcranial Doppler* (TCD), *acoustic window*, *mean flow velocity*

JNI 2017;6 (3): 195–204

## I. Pendahuluan

Sejalan dengan berkembangnya minat pada ahli anestesiologi terhadap penggunaan ultrasonografi (USG) dalam praktek sehari-hari, maka salah satu pemeriksaan penunjang yang dapat dilakukan secara praktis sehari-hari, terutama untuk seorang neuroanestesiologi adalah pemeriksaan *transcranial doppler* (TCD). TCD pertama kali diperkenalkan oleh Aaslid dkk pada tahun 1982.<sup>1,2</sup> Sejak saat itu TCD semakin berkembang menjadi salah satu alat favorit untuk menilai sirkulasi serebral secara noninvasif. Walaupun memiliki keterbatasan, namun TCD cukup bermanfaat dalam menginformasikan keadaan sirkulasi serebral pada pasien-pasien yang mengalami neuroinjuri dan mencegah trauma neurologis pada pasien-pasien yang beresiko mengalami iskemia serebri.

## II. Prinsip Dasar TCD Ultrasonografi

*Transcranial doppler* mengikuti prinsip dari *doppler effect*, yang menyatakan bahwa ketika gelombang suara (ditransmisikan oleh ultrasound) menyentuh objek yang bergerak (contohnya eritrosit) maka gelombang yang dipantulkan (gelombang yang diterima kembali oleh ultrasound) akan mengalami perubahan frekuensi.<sup>3</sup> Perubahan frekuensi inilah yang disebut dengan *doppler shift* ( $fd$ ) yang mana dapat dirumuskan sebagai berikut:<sup>3-5</sup>

$$fd = 2 \times V \times f_0 \times \cos\theta / C$$

Pada rumus diatas,  $f_0$  adalah frekuensi transmisi dari ultrasonografi,  $C$  adalah kecepatan suara pada jaringan lunak. Pada TCD kedua-duanya sifatnya konstant, dimana  $f_0$  nilainya 2 MHz dan  $C$  nilainya 1540 ms<sup>-1</sup>.<sup>4</sup> Oleh karena itu, menurut rumus diatas maka *doppler shift* tergantung dari kecepatan aliran darah (yang dipakai adalah kecepatan eritrosit) dan sudut dari insonasi probe TCD. Sehingga, jika sudut dari insonasi ( $\cos\theta$ ) dapat dipertahankan konstant dengan mempertahankan probe pada posisinya maka kecepatan aliran eritrosit didalam darah akan berbanding lurus dengan *doppler shift*.<sup>1</sup> Berdasarkan kalkulasi *doppler shift* inilah selanjutnya akan dibuat bentukan gelombang

dari kecepatan eritrosit sehingga didapatkan nilai *peak systolic velocity* (PSV), *end diastolic velocity* (EDV) dan yang terpenting adalah nilai *mean flow velocity* (MFV) karena secara fisiologi paling berkorelasi dengan aliran darah otak.<sup>1</sup>

Saat pertama kali diperkenalkan pada tahun 1982, alat TCD ultrasound berupa *single gate spectral TCD system*. Selanjutnya pada tahun 2002, Mark Moehring memperkenalkan TCD *power-motion mode* (PMD), keuntungan dari model ini adalah kemampuannya untuk menampilkan intensitas dan arah dari aliran darah secara bersamaan, model inilah yang tetap dipakai sampai sekarang. Namun demikian PMD ini tidak dapat menampilkan gambar dari pembuluh darah. Jika ingin melihat gambaran pembuluh darah dan profil aliran darah secara bersamaan maka dapat digunakan *sonography duplex* yang sering disebut dengan TCCD (*transcranial color-coded duplex*). Pada TCCD jika warna pada USG adalah merah maka itu artinya aliran darahnya mengarah atau mendekati probe USG, jika warna pembuluh darahnya biru, itu artinya alirannya menjauh dari probe USG.<sup>6</sup>

Pada pemeriksaan TCD, penilaian aliran darah ke otak dilakukan secara tidak langsung, yaitu dengan membandingkannya terhadap kecepatan eritrosit didalam pembuluh darah arteri serebral basal di sirkulus willisi. Oleh karena itu, untuk mendapatkan perbandingan yang relevan antara aliran darah otak dan kecepatan eritrosit tersebut,



**Gambar 1.** Perbedaan TCD dan TCCD, dan tempat melakukan insonasi.

**Tabel 1. Arteri, *Acoustic Windows* dan Nilai Normal MFV**

Arteri	Acoustic Window	Arah Aliran Darah	MFV
EICA	Retromandibular	Menjauhi probe	30 ± 9
MCA	Middle transtemporal (TT)	Mendekati probe	55 ± 12
ACA	Middle transtemporal	Menjauhi probe	50 ± 11
PCA seg 1	Posterior transtemporal	Mendekati probe	39 ± 10
PCA seg 2	Posterior transtemporal	Menjauhi probe	40 ± 10
BA	Suboccipital/transforaminal (TF)	Menjauhi probe	41 ± 10
VA	Suboccipital	Menjauhi probe	38 ± 10
OA	Transorbital (TO)	Mendekati probe	21 ± 5
Supraclinoid ICA	Transorbital	Menjauhi probe	41 ± 11
Parasellar ICA	Transorbital	Mendekati probe	47 ± 14

*Extracranial Internal Carotid Arteri* (ICA), *Middle Cerebral Artery* (MCA), *Anterior Cerebral Artery* (ACA), *Posterior Cerebral Arteri* (PCA), *Basilar artery* (BA), *Vertebral artery* (VA), *Ophthalmic artery* (OA), *Supraclinoid ICA*, *Parasellar ICA*

maka ada dua hal yang harus tetap dijaga konstant yaitu sudut insonasinya dan diameter pembuluh darah dimana dilakukan pemeriksaan TCD. Sesuai dengan rumus diatas maka pada sudut 0°, kecepatan yang diterima oleh probe USG akan sama persis dengan kecepatan sebenarnya karena nilai *cosine* dari 0 adalah 1, sedangkan jika sudutnya 90° maka kecepatan dari eritrosit tidak dapat diukur karena nilai *cosine* dari 90 adalah 0. Faktor keterbatasan anatomi dari kepala, pemeriksaan TCD pada *middle cerebral arteri* (MCA) hanya dapat dilakukan dengan sudut kurang dari 30° sehingga kecepatan eritrosit yang diterima oleh probe TCD kira-kira 87–100% dari kecepatan eritrosit yang sebenarnya.<sup>1</sup> Selanjutnya jika posisi probe dapat dipertahankan sudutnya terhadap pembuluh darah maka perubahan pada kecepatan yang diterima oleh probe akan sama dengan perubahan kecepatan eritrosit yang sebenarnya.

Selain sudut dari insonasi, diameter dari pembuluh darah yang diperiksa juga sangat menentukan, karena kecepatan eritrosit akan mencerminkan aliran darah di pembuluh darah tertentu hanya jika diameter dari pembuluh darah tersebut tidak berubah secara significant selama pemeriksaan.<sup>1</sup> Hal-hal yang selama ini dipercaya dapat mempengaruhi diameter pembuluh darah otak diantaranya adalah PaCO<sub>2</sub>, tekanan darah, obat-obat anestesi, dan obat-obat vasoaktif.

Namun demikian, ternyata *basal cerebral artery* sebagai pembuluh darah penghubung, secara angiografi dan melalui pengamatan langsung pada saat operasi tidak mengalami vasokonstriksi maupun vasodilatasi pada saat terjadi perubahan resistensi pembuluh darah akibat perubahan PaCO<sub>2</sub> dan perubahan tekanan darah.<sup>1</sup> Obat-obat vasoaktif memiliki efek yang berbeda terhadap *basal cerebral artery*, dimana nitroprusid dan phenylephrin tidak memberikan perubahan diameter yang signifikan sedangkan nitroglicerol menyebabkan vasodilatasi yang signifikan jika diberikan pada volunteer yang sehat. Mengenai pengaruh obat-obat anestesi, masih menjadi kontroversi, untuk obat-obatan intravena semuanya dianggap tidak mempengaruhi diameter *basal cerebral artery*. Namun untuk obat-obat anestesi inhalasi, sebagian besar jurnal namun tidak semuanya menganggap bahwa obat anestesi inhalasi tidak mempengaruhi diameter *basal cerebral artery*. Sampai saat ini yang dipercaya dapat mempengaruhi realibilitas dari pemeriksaan TCD sebagai representasi dari aliran darah otak adalah adanya intrakranial patologi. Lesi intrakranial, peningkatan tekanan intrakranial (TIK) dan vasospasme serebral diidentifikasi sebagai faktor yang mempengaruhi akurasi dari pemeriksaan kecepatan aliran darah ke otak.<sup>1</sup>

Seperti yang disebutkan diatas, pemeriksaan TCD dilakukan pada *basal cerebral artery* pada

sirkulus willisi, untuk itu maka probe harus diletakkan di daerah-daerah khusus di tulang kepala (bisa di daerah foramina atau tulang yang tipis) yang disebut dengan *acoustic window*. Ada empat *acoustic windows* yang dikenal dan masing-masing digunakan untuk mencari pembuluh darah yang berbeda dengan nilai normal yang berbeda, dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1.<sup>2,3,6,7</sup>

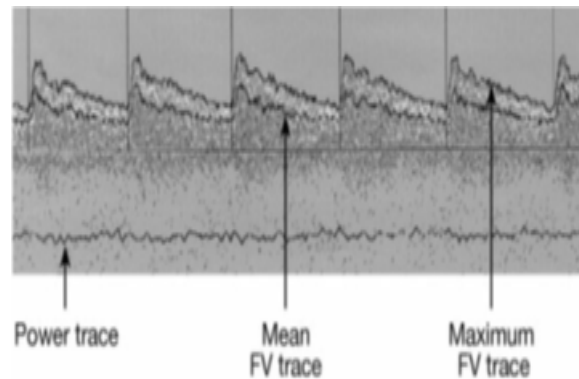
### III. Parameter-Parameter pada *Transcranial Doppler Ultrasonografi*

*Transcranial Doppler* (TCD) menggunakan spectral analysis dan mempresentasikan tiga dimensi data doppler dalam format 2 dimensi.<sup>4</sup> Waktu digambarkan pada garis horisontal, *frequency shift (velocity)* digambarkan pada garis vertical dan intensitas signal digambarkan sebagai perbedaan kecerahan atau perbedaan warna. Selanjutnya untuk menghitung *flow velocity* (FV) maka digunakan spectral envelope yang cocok dengan maksimum FV.

Pada gambar 2 dapat dilihat *spectral envelope* yang digambarkan sebagai garis hitam, untuk MFV dan FV maksimal pada setiap siklus jantungnya.<sup>4</sup> Namun demikian karena ratio dari noise dan signal yang rendah maka terkadang MFV sulit untuk dinilai. Oleh karena aliran darah di basal cerebral artery biasanya bersifat laminar, maka pada praktisnya, MFV sering digantikan dengan Vmax yang merupakan *mean velocity* dari FV maksimal. Selain itu nilai MFV juga dapat dihitung dengan rumus menggunakan nilai PSV (kotak warna biru) dan EDV (kotak warna kuning) yang didapatkan dari *spectral envelope* FV maksimal.<sup>3</sup>

$$\text{MFV (FVmean)} = (\text{PSV} + (\text{EDV} \times 2)) / 3$$

Walaupun aliran darah ke otak relatif konstan, nilai normal dari MFV pada MCA mempunyai rentang yang cukup lebar, hal ini merefleksikan variabilitas dari diameter MCA pada setiap orang dan sudut insonasinya. Pada kondisi metabolisme otak, kadar CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang konstant, maka nilai normal dari MFV bervariasi dari 35–90 cm/dtk<sup>1,4</sup> atau 55 ± 12 cm/dtk.<sup>3</sup> Nilai > 120 cm/menit adalah



Gambar 2. Gambaran spectral FV MCA pada TCD

*cut off point* untuk *high flow velocity*<sup>1,3,4</sup> dan < 35 cm/dtk adalah *cut off point* untuk *low flow velocity*.<sup>3</sup> Nilai MFV yang tinggi kemungkinan menunjukkan adanya stenosis, vasospasme atau aliran hiperdinamik sedangkan MFV rendah mungkin menunjukkan hipotensi, penurunan aliran darah ke otak, peningkatan TIK atau adanya mati batang otak.<sup>3</sup>

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai MFV pada orang normal diantaranya adalah umur, jenis kelamin, kehamilan, PCO<sub>2</sub>, tekanan darah rata-rata (MAP) dan hematokrit. Pada saat lahir MFV adalah 24 cm/dtk, meningkat sampai 100 cm/dtk pada umur 4-6 tahun, selanjutnya menurun sampai 40 cm/menit pada dekade ke tujuh. Wanita memiliki nilai MFV lebih tinggi daripada pria. Kehamilan menyebabkan penurunan MFV pada trimester ke tiga. MFV meningkat pada saat PCO<sub>2</sub> meningkat sedangkan MFV menurun pada saat hematokrit meningkat. MAP diluar autoregulasi juga akan mempengaruhi nilai MFV, dimana peningkatan MAP akan meningkatkan MFV.<sup>1,3,4</sup>

Nilai *Flow velocity eritrosit* pada pembuluh darah yang diinsonasi dipengaruhi oleh keadaan pembuluh darah ditempat dilakukan insonasi dan keadaan pembuluh darah sebelum dan sesudah tempat dilakukan insonasi. Jika pada pembuluh darah tempat dimana dilakukan insonasi mengalami pengecilan diameter maka MFV akan meningkat seperti pada saat terjadi stenosis ataupun vasospasme pada pembuluh darah tempat dimana dilakukan insonasi. Sedangkan jika pembuluh darah setelah tempat dimana dilakukan

insonasi mengalami penurunan diameter maka MFV ditempat dilakukan insonasi akan menurun. Seperti yang terlihat pada MFV MCA saat adanya peningkatan tekanan intrakranial. Pada saat terjadi peningkatan TIK maka pembuluh darah-pembuluh darah arteriol setelah *basal cerebral artery* akan mengalami penyempitan karena ditekan oleh jaringan otak, sehingga aliran darah ke otak akan turun, sehingga jika dilakukan insonasi pada MCA maka nilai MFV pada MCA akan menurun. Selain nilai flow velocity, parameter lain yang juga sering dicari pada pemeriksaan TCD adalah nilai *pulsatility index (PI)* dan *resistance index (RI)*. Kedua parameter tersebut didapatkan dengan jalan menganalisis *waveform* dari gambaran TCD dan sering digunakan untuk menilai resistensi cerebrovascular. PI pertama kali diungkapkan oleh Gosling dan King, menggambarkan bentuk maximal shift dari spectrum doppler dari PSV ke EDV pada setiap siklus jantung.<sup>1</sup> PI tidak tergantung dengan sudut insonasi dan didapatkan dengan rumus:

$$PI = (PSV - EDV) / MFV$$

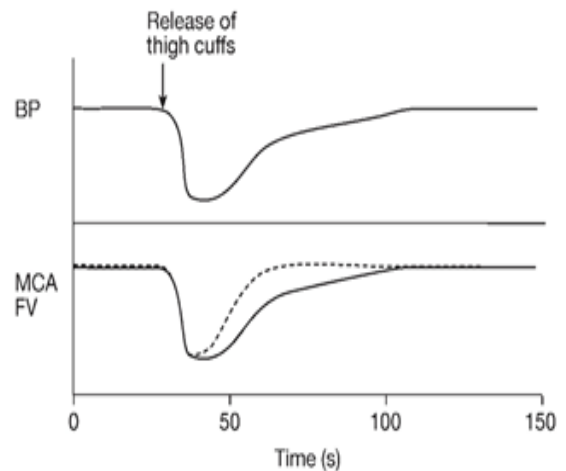
Sedangkan RI atau Pourcelot index didapatkan dari rumus:

$$RI = (PSV - EDV) / PSV$$

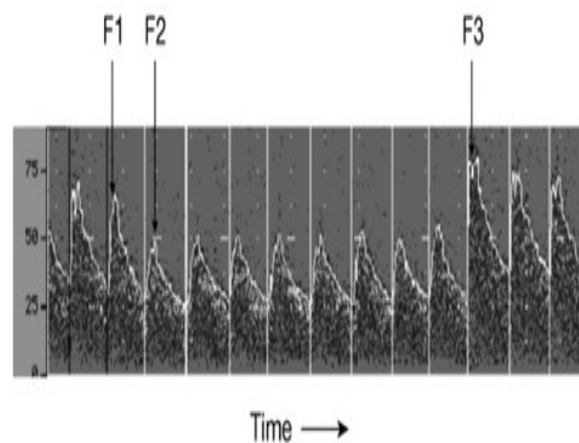
Nilai normal dari PI adalah 0,5 sampai 1 sedangkan nilai normal dari RI adalah <0,8.

#### IV. Evaluasi CO<sub>2</sub> Cerebrovascular Reativity dan Autoregulasi Cerebral

Aliran darah ke otak pada keadaan normal dipengaruhi oleh PaCO<sub>2</sub>, yang sering disebut dengan cerebrovascular reaktivitas terhadap CO<sub>2</sub>. Dimana peningkatan atau penurunan 1 mmHg dari PaCO<sub>2</sub> akan menyebabkan perubahan 2,5-3% dari aliran darah otak yang juga berbanding lurus dengan perubahan MFV.<sup>1</sup> Seperti yang sudah disebutkan diatas, arteri basal cerebral tidak dipengaruhi atau dipengaruhi secara tidak bermakna oleh perubahan perubahan kadar PaCO<sub>2</sub> didalam darah. Oleh karena itu pada saat dilakukan hiperventilasi yang diikuti oleh



Gambar 3. Autoregulasi test dengan TCD



Gambar 4. Pemeriksaan Autoregulasi Serebral dengan *Transient Hyperemic Response Test*

vasokonstriksi dari *cerebro vascular bed* (akibat hipokarbia) maka jika dilakukan insonasi pada arteri basal cerebri akan ditemukan penurunan dari MFV yang berbanding lurus dengan perubahan tekanan PaCO<sub>2</sub>. Secara klinis pemeriksaan TCD dengan tujuan ini bermanfaat untuk menilai cadangan cerebrovascular, seperti pada pasien dengan stenosis carotis ataupun cedera kepala yang dilakukan hiperventilasi. Selain itu, teknik ini juga bermanfaat untuk menilai keutuhan *cerebral vasoreactivity* terhadap CO<sub>2</sub> karena pengaruh anestesi dan obat vasoaktif.<sup>1</sup> Selain dengan melakukan manual hiperventilasi atau hipoventilasi, metode lain yang juga dapat digunakan untuk menilai vasoreaktivitas terhadap

CO<sub>2</sub> adalah pemberian obat carbonic anhydrase inhibitor. Pemberian acetazolamide IV sebanyak 1 gram akan menyebabkan vasodilatasi yang diikuti oleh peningkatan MFV, metode ini biasanya dilakukan pada pasien-pasien dengan cadangan paru atau jantung yang menurun.<sup>1</sup>

Autoregulasi serebral secara noninvasif dapat dievaluasi dengan TCD. Hal ini dapat dilakukan dengan dua metode yaitu static autoregulasi dan dinamik autoregulasi. Pada dasarnya kedua metode memanipulasi tekanan darah sedemikian hingga efeknya dapat terlihat pada *flow velocity* yang mencerminkan aliran darah ke otak. Penilaian sebaiknya dilakukan secepat mungkin setelah tekanan darah dimanipulasi, hal ini untuk menghindari hal-hal lain yang juga mempengaruhi resistensi dari cerebrovascular bed, seperti kadar CO<sub>2</sub> dalam darah, pengaruh susunan saraf otonom dan yang lainnya. Reaksi aliran darah otak terhadap perubahan tekanan perfusi otak, diawali dengan respon cepat yang sensitif terhadap guncangan perfusi otak (20 detik – 3 menit) dan selanjutnya diikuti oleh respon lambat terhadap perubahan rata-rata tekanan arteri.<sup>1</sup>

Penilaian static autoregulasi dilakukan dengan jalan memberikan phenylephrine 0,01% intravena secara infus sampai terjadi kenaikan tekanan darah (MAP) 20 persen dari *base line*, sambil secara simultan memantau *flow velocity* (FV). Selanjutnya data pemantauan MAP dan FV diolah untuk mendapatkan *static rate of autoregulation* (SRoR). Nilai SRoR didapatkan dari persentase perubahan *cerebro vascular resisten* (CVR) dibagi dengan persentase perubahan MAP jika tidak ada peningkatan tekanan intrakranial (TIK), atau tekanan perfusi otak jika ada peningkatan TIK dan TIK dimonitoring. Nilai CVRe (CVR perkiraan) didapatkan dari rumus MBP(CPP)/FV. Jika didapatkan nilai SRoR 1 maka dianggap autoregulasi masih utuh dan dianggap mulai ada gangguan autoregulasi jika nilainya kurang dari 0,4.<sup>1,4</sup>

Evaluasi dinamik autoregulasi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah penekanan arteri karotis (*transient hyperemic response test*), valsalva manoeuver, *head up-*

*tilt*, dan *test leg-cuff*.<sup>3</sup> Pada prinsipnya semua test diatas dilakukan untuk memanipulasi tekanan darah secara mekanik (tanpa obat-obatan), dengan secara simultan melihat efeknya pada FV. Dari semua teknik diatas yang paling tua adalah *test leg-cuff*, test ini pertama kali dilakukan oleh Aaslid pada tahun 1989. Pada test ini, tekanan darah berusaha diturunkan dengan jalan memasang *cuff* pada kedua atau satu tungkai, dan di inflasi 50 mmHg diatas tekanan sistolik selama 3 menit, kemudian di lepaskan untuk mencapai penurunan MAP kurang lebih 20 persen. Selanjutnya untuk mengetahui terjadi gangguan autoregulasi atau tidak maka yang dilihat adalah reaksi dari peningkatan FV, setelah sama-sama turun akibat penurunan mendadak dari tekanan darah. Jika pemulihan dari FV lebih cepat maka dikatakan autoregulasinya utuh, jika kembalinya berbarengan dengan kembalinya tekanan darah maka autoregulasi dikatakan rusak. Seperti gambar dibawah ini<sup>1, 4</sup> garis putus-putus memperlihatkan autoregulasi yang masih utuh.

Selain *test Leg-cuff*, salah satu test yang paling sering digunakan untuk menilai autoregulasi serebral dengan TCD adalah *transient hyperemic response test* (THRT). Test ini dilakukan dengan jalan melakukan penekanan pada common arteri karotis ipsilateral selama 3–10 detik, pada saat dilakukan insonasi pada arteri MCA. Pada saat dilakukan penekanan maka FV di MCA ipsilateral terhadap arteri carotis yang ditekan akan mengalami penurunan, dan ketika tekanannya dilepas maka untuk sementara FV akan lebih tinggi dari pada *baseline*. Hal inilah yang menandakan autoregulasi serebralnya masih normal, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.

Pada gambar diatas, F1 menunjukkan FV dasar atau sebelum dilakukan penekanan pada *common arteri carotis ipsilateral*, F2 adalah pada saat dilakukan penekanan, dan F3 menunjukkan adanya respon hiperemik transien. Bagaimana terjadinya transient hiperemik ini dapat dijelaskan sebagai berikut, pada saat dilakukan penekanan pada arteri *common* karotis maka perfusi melalui arteri tersebut menurun yang menyebabkan penurunan FV pada MCA. Jika autoregulasi

serebralnya berfungsi dengan baik maka akan terjadi respon vasodilatasi pada *cerebrovascular bed* yang bertujuan untuk menjaga aliran darah ke otak tetap stabil. Pada saat tekanan pada arterinya dilepas maka tiba-tiba perfusi yang awalnya turun mendadak kembali seperti *baseline* dan *cerebrovascular bed* nya belum sempat untuk vasokonstriksi kembali ke ukuran semula, sehingga pada pemeriksaan TCD akan didapatkan peningkatan sementara dari FV pada MCA ipsilateral sampai nantinya *cerebrovascular bed* kembali ke diameter semula. THRT untuk menilai autoregulasi sering digunakan karena kemudahannya dan tidak memerlukan manipulasi dengan obat-obatan. Namun demikian THRT ini tidak disarankan untuk dilaksanakan pada pasien dengan kelainan di arteri karotis terutama stenosis karotis karena adanya resiko terjadinya embolisasi dari atheroma arteri karotis.<sup>1,4</sup>

Walaupun evaluasi autoregulasi secara dinamik tidak menggunakan obat-obatan, namun tetap mempengaruhi tekanan perfusi ke otak, sehingga dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut jika diaplikasikan pada pasien-pasien yang sudah mengalami penurunan komplian otak. Oleh karena itu sekarang ini mulai dikembangkan evaluasi autoregulasi menggunakan fluktuasi spontan dari tekanan perfusi otak (TPO) yang disebabkan variasi gelombang pernafasan dan gelombang tekanan darah akibat nafas yang lambat dan dalam. Namun demikian untuk melaksanakan evaluasi ini diperlukan monitoring secara kontinyue dari TIK dan MAP untuk mendapatkan nilai TPO secara kontinyu dan juga pemeriksaan TCD yang kontinyu sehingga bisa mendapatkan nilai FV secara kontinyu.

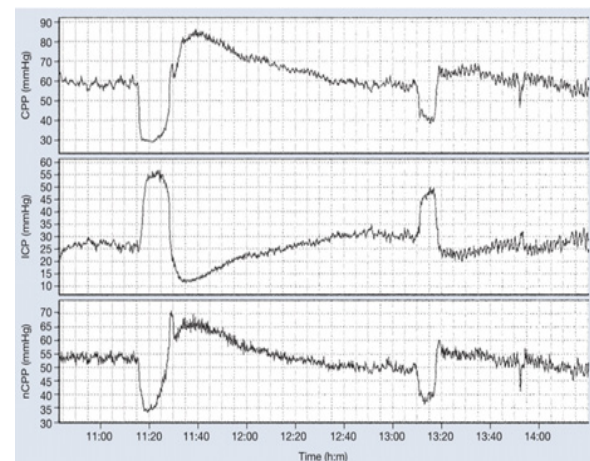
## V. Penilaian Tekanan Intrakranial, Spasme dan Mati Batang Otak

Penilaian terhadap tekanan intrakranial tentunya paling baik, menggunakan alat monitoring yang dipasang langsung di intrakranial, namun demikian pemasangan alat pengukur tekanan intrakranial ini bersifat invasif dan juga tidak murah. Untuk kasus-kasus, dimana pemasangan monitoring invasif intrakranial dianggap berlebihan, namun pada pasien tersebut sudah

mulai ada gangguan komplian dari otak, seperti misalnya pada kasus cedera kepala ringan ataupun di rumah sakit-rumah sakit yang tidak tersedia alat monitoring intrakranial invasif, maka untuk dapat memperkirakan tekanan intrakranial pasien dapat digunakan TCD. TCD sebagai alat noninvasif untuk memperkirakan tekanan intrakranial menggunakan parameter dari *pulsating index* (PI). Pada saat terjadi peningkatan tekanan intrakranial maka MFV dan EDV akan menurun, yang menyebabkan nilai PI akan meningkat. Pada penelitian yang dilakukan pada 81 orang yang dimonitoring dengan pengukuran tekanan intrakranial invasif dan dilakukan pemeriksaan PI dengan TCD pada MCAnya, diturunkan rumus untuk memperkirakan tekanan intrakranial dalam satuan mmHg, menggunakan parameter PI adalah:<sup>3,8</sup>

$$\text{TIK} = (11,1 \times \text{PI}) - 1,43$$

Nilai yang didapatkan dari rumus diatas,  $\pm 4,2$  mmHg (confiden interval 95%) 8 dari nilai aktual TIK yang diukur dengan pengukuran invasif. Untuk menentukan pasien dengan tekanan intrakranial  $> 20$  mmHg, rumus diatas dapat digunakan dengan sensitivitas 89% dan spesifisitas 92%.<sup>3</sup> Artinya jika ada pasien dengan perhitungan rumus diatas, TIKnya  $> 20$  mmHg, maka 92 % kemungkinannya pasien tersebut benar-benar memiliki TIK  $> 20$  mmHg, sedangkan kalau semisalnya didapatkan bahwa nilai TIK



Gambar 5. Perbandingan nCPP dan Real Time CPP

**Tabel 2. Nilai mFV dan LR untuk Melihat adanya Vasospasme pada MCA dan BA**

Derajat Vasospasme	mFV (cm/dtk)	LR
<b>MCA</b>		
Ringan < 25%	120–149	3–6
Sedang 25-50%	150–199	3–6
Berat > 50%	> 200	> 6
<b>Derajat Vasospasme BA</b>		
Mungkin vasospasme	70-80	2–2,49
Sedang 25-50%	> 85	2,5–2,99
Berat >50%	> 85	> 3

dengan rumus diatas < 20 mmHg maka 89% kemungkinannya bahwa pasien tersebut tidak memiliki TIK > 20 mmHg. Beberapa literature juga menyebutkan bahwa jika nilai PI > 1,5 menunjukkan kemungkinan adanya peningkatan tekanan intrakranial.

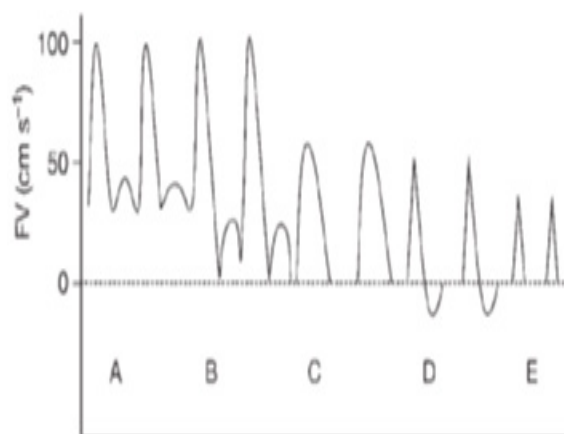
Selain tekanan intrakranial, tekanan perfusi otak yang sering disebut dengan *cerebral perfusion pressure* (CPP) juga dapat diperkirakan menggunakan parameter-parameter yang didapatkan dari pemeriksaan TCD. Memperkirakan tekanan perfusi serebral secara noninvasif ini pertama kali dilakukan oleh Aaslid, namun hasil yang didapatkan dari rumus yang dibuat oleh Aaslid memiliki perbedaan kurang lebih 25 mmHg dari rumus *gold standard* pemeriksaan CPP yaitu *mean arterial pressure* dikurangi TIK. Selanjutnya pada tahun 2000 dilakukan penelitian pada 25 orang pasien cedera kepala yang dimonitor dengan intraparenchym TIK monitoring dan *arteri line* untuk mengukur *arterial blood pressure* (ABP). Pada pasien-pasien tersebut dilakukan pemeriksaan TCD setiap harinya pada pembuluh darah MCA. Selanjutnya parameter-parameter yang didapatkan dari pemeriksaan TCD tersebut dimasukkan kedalam rumus:<sup>9</sup>

$$nCPP(\text{noninvasif CPP}) = (\text{ABP} \times (\text{FVd}/\text{FVm}))/14$$

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus diatas didapatkan nilai CPPe yang jika dibandingkan dengan nilai CPP dari rumus

*gold standard* didapatkan perbedaan kurang dari 10 mmHg pada 89% pemeriksaan dan perbedaan kurang dari 13 mmHg pada 92% pemeriksaan.<sup>9</sup> Selanjutnya jika dilakukan monitoring dengan rumus diatas secara kontinyu, maka perubahan *real-time* dari CPP juga dapat dideteksi, seperti yang terlihat pada gambar 5.1 Namun demikian, tetap harus diperhatikan bahwa nilai TIK dan CPP yang didapatkan dari TCD adalah nilai perkiraan oleh karena itu sebaiknya dipadukan dengan pemeriksaan-pemeriksaan lainnya baik itu pemeriksaan fisik maupun penunjang seperti CT scan dan lainnya.<sup>10</sup>

Salah satu penggunaan TCD yang paling tua pada *neurocritical care* adalah untuk mengetahui adanya vasospasme, terutama pada pasien dengan perdarahan subarachnoid. Pemeriksaan *gold standard* untuk vasospasme adalah angiografi, namun pemeriksaan ini bersifat invasif dan tidak cocok untuk monitoring dinamik. Berbeda dengan TCD, pemeriksaan ini bersifat non-invasif, *portable* dan dapat diakses secara dinamik sehingga efektif untuk menilai vasospasme dan memonitoring keefektifan dari terapi vasospasme yang sedang dilakukan. angiografi disarankan untuk dilakukan jika ada keraguan dari pemeriksaan TCD atau untuk melakukan terapi *luminal balloon angioplasty* pada vasospasme. TCD mengidentifikasi vasospasme MCA dan *Basiler arteri* (BA) dengan *sensitivity* dan *specificity* yang tinggi. Pada sistemik review dari 26 penelitian yang membandingkan TCD

**Gambar 6. Representasi Diagram dari Gambaran Aliran TCD pada Mati Batang Otak**



dan angiografi menemukan bahwa mFV dari MCA > 120 cm/dtk memperlihatkan vasospasme > 25% dengan *sensitivity* 67% dan *specificity* 99%. Pada penelitian retrospektif yang melibatkan 101 pasien, nilai mFV dari MCA > 120 cm/dtk memperlihatkan vasospasme > 33% dengan *sensitivity* 88% dan *specificity* 72%, dengan nilai *negative predictive value* (NPV) 94% untuk mFV < 120 cm/dtk. Pada penelitian yang sama didapatkan bahwa, mFV > 200 cm/dtk menunjukkan vasospasme > 33% dengan nilai *specificity* 98% dan *sensitivity* 27% dan *positive predictive value* (PPV) 87%. Oleh karena itu nilai mFV < 120 cm/dtk dan > 200 cm/dtk cukup akurat untuk memprediksi ada atau tidaknya vasospasme pada MCA.<sup>3</sup>

Selain mFV, untuk mendiagnosa vasospasme menggunakan TCD juga diperlukan pemeriksaan *lindegaard ratio* (LR). LR ini berfungsi untuk membedakan apakah peningkatan dari mFV itu disebabkan oleh vasospasme atau aliran hiperdinamik. Rumus dari LR adalah:

$$\text{Lindegaard Ratio} = \frac{\text{mFV MCA}}{\text{mFV ekstrakranial ICA}}$$

Nilai mFV ekstrakranial ICA adalah mFV yang diukur pada arteri carotis interna. Nilai LR < 3 mengindikasikan aliran hiperdinamik, sedangkan LR > 3 mengindikasikan vasospasme.<sup>2</sup> Modified LR adalah nilai yang didapatkan dari rumus:

$$\text{Modified Lindegaard Ratio} = \frac{\text{mFV BA}}{\text{mFV ekstrakranial VA}}$$

Rumus ini digunakan untuk membedakan vasospasme dan aliran dinamik pada arteri basilaris, dengan nilai > 2 untuk vasospasme dan < 2 untuk aliran hiperdinamik.<sup>3</sup> Nilai mFV dan LR dari masing-masing arteri untuk menentukan vasospasme dapat dilihat pada tabel 2. Mati batang otak biasanya didiagnosa dengan pemeriksaan klinis dan observasi yang panjang. Namun, sebelum melakukan test-test yang sesuai dengan persyaratan untuk menegakkan mati batang otak, TCD dapat digunakan untuk melihat gambaran aliran darah ke otak yang mengisyaratkan kemungkinan seseorang sudah

mengalami mati batang otak. Walaupun TCD bukan merupakan pemeriksaan resmi untuk menyatakan mati batang otak, namun jika dilakukan maka akan memberikan sensitivitas 89% dan spesificitas 97% jika dibandingkan dengan angiografi sebagai *gold standard*. Selain itu jika dibandingkan dengan EEG maka TCD lebih praktis digunakan untuk mengkonfirmasi mati batang otak karena tidak terlalu terpengaruh oleh keadaan-keadaan pasien seperti: paralisis, cedera batang otak, pemberian sedasi, ataupun hipotermia. Gambaran khas yang ditunjukkan oleh TCD adalah gambaran dengan menurunnya hingga hilangnya gambaran aliran diastolik, aliran diastolik yang reversal dan lonjakan liran sistolik (< 50 cm/dtk) yang singkat (< 200 mdtk).<sup>3, 4</sup> Gambaran-gambaran TCD tersebut dapat dijelaskan pada gambaran skema dibawah ini.

Pada gambar 6 dapat dilihat gelombang A adalah gelombang TCD normal, gelombang B – E adalah gelombang yang menunjukkan adanya kemungkinan mati batang otak. Gelombang B adalah gelombang dengan *diastolik velocity* yang rendah, gelombang C adalah gelombang dengan *velocity diastolik nol*, gelombang D adalah reverse flow, dan gelombang E adalah lonjakan aliran sistolik yang singkat (*short systolic spikes*).<sup>4</sup>

## VI. Simpulan

TCD adalah salah satu pilihan alat yang dapat digunakan untuk mengevaluasi aliran darah ke otak. Alat ini bersifat noninvasif dan mobilitasnya tinggi, namun penggunaannya sangat tergantung pada pengalaman operatornya. Hal-hal yang sebaiknya dimengerti sebelum melakukan pemeriksaan *doppler* adalah pengetahuan mengenai *doppler effect*, *doppler shift*, PSV, EDV, mFV, PI, RI, dan juga anatomi mengenai arteri basal serebral. Ada banyak hal yang dapat dinilai dari pemeriksaan TCD, diantaranya adalah pengukuran tekanan intrakranial, mengetahui ada tidaknya vasospasme, dan menilai kemungkinan terjadinya mati batang otak

## Daftar Pustaka

1. Matta B, Czosnyka M. Transcranial

- doppler ultrasonography in anesthesia and neurosurgery. Dalam: Cottrell JE, Patel P, penyunting. Neuroanesthesia. edisi 6. United States of America: Elsevier; 2017. hlm. 131–42.
2. Allan PL. The carotid and vertebral arteries; transcranial colour doppler. *Clinical Doppler Ultrasound: Expert Consult: Online*. 2013:39.
  3. Naqvi J, Yap KH, Ahmad G, Ghosh J. Transcranial doppler ultrasound: a review of the physical principles and major applications in critical care. *International journal of vascular medicine*. 2013;2013.
  4. Moppett I, Mahajan R. Transcranial doppler ultrasonography in anaesthesia and intensive care. *Br J. of Anaesth*. 2004;93(5):710–24.
  5. McDicken WN, Hoskins PR. Physics: principles, practice and artefacts. *Clinical Doppler Ultrasound: Expert Consult: Online*. 2013:1.
  6. Bathala L, Mehndiratta MM, Sharma VK. Transcranial doppler: technique and common findings (Part 1). *Annals of Indian Academy of Neurology*. 2013;16(2):174.
  7. Akif Topcuoglu M. Transcranial doppler ultrasound in neurovascular diseases: diagnostic and therapeutic aspects. *Journal of neurochemistry*. 2012;123(s2):39–51.
  8. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson K-A, Ryding E, Brandt L. Transcranial doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surgical neurology*. 2004;62(1):45–51.
  9. Schmidt E, Czosnyka M, Gooskens I, Piechnik S, Matta B, Whitfield P, dkk. Preliminary experience of the estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial doppler ultrasonography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2001;70(2):198–204.
  10. Bouzat P, Oddo M, Payen J-F. Transcranial doppler after traumatic brain injury: is there a role? *Current opinion in critical care*. 2014;20(2):153–60.