

Korelasi Nilai *Transcranial Doppler Pulsatility Index* (TCD-PI) dengan Durasi Ventilasi Mekanik pada Pasien Pascabedah Otak

Raka Jati Prasetya,^{1,2} Tinni Trihartini Maskoen,² Osmond Muftilov Pison²

¹Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran
Universitas Sumatera Utara, Indonesia

²Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran
Universitas Padjadjaran/RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung, Indonesia

Abstrak

Peningkatan tekanan intrakranial (TIK) merupakan kondisi umum pada pasien pascabedah otak dan berpotensi menyebabkan penurunan kesadaran, gangguan *drive* napas, serta cedera paru akut, yang dapat menyulitkan proses penyapihan ventilator. Pemantauan TIK secara invasif belum menjadi prosedur rutin, sehingga dibutuhkan alternatif noninvasif, salah satunya *Transcranial Doppler Pulsatility Index* (TCD-PI). Penelitian ini bertujuan menganalisis korelasi antara nilai TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik pada pasien pascabedah otak. Desain penelitian ini adalah observasional prospektif, dilakukan di unit perawatan intensif (ICU) RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung pada Februari–April 2024. Pemeriksaan TCD-PI dilakukan 12–24 jam setelah pasien masuk ICU. Sebanyak 39 pasien memenuhi kriteria inklusi. Hasil menunjukkan rerata nilai TCD-PI sebesar 1,39 dan rerata durasi ventilasi mekanik selama 6,59 hari. Analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan positif yang signifikan antara nilai TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik, dengan koefisien korelasi $r=0,671$ dan koefisien determinasi $r^2=0,450$ ($p<0,001$). Simpulan, Terdapat korelasi positif dengan kekuatan sedang antara nilai TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik, sehingga TCD-PI berpotensi sebagai indikator noninvasif untuk memprediksi lamanya ventilasi mekanik pada pasien pascabedah otak.

Kata kunci: Cedera otak; perawatan kritis; tekanan intrakranial; ultrasonografi doppler transkranial; ventilator

Correlation of Transcranial Doppler Pulsatility Index (TCD-PI) Values with Duration of Mechanical Ventilation in Post-Brain Surgery Patients

Abstrak

Increased intracranial pressure (ICP) is a common condition in patients following brain surgery. This elevation may lead to decreased consciousness, impaired respiratory drive, and acute lung injury, complicating the process of ventilator weaning. Invasive ICP monitoring is not routinely implemented, thus alternative non-invasive methods such as the Transcranial Doppler Pulsatility Index (TCD-PI) are being explored. This study aimed to assess the correlation between TCD-PI values and the duration of mechanical ventilation in postoperative neurosurgical patients. A prospective observational study was conducted in the ICU of Dr. Hasan Sadikin General Hospital, Bandung, between February and April 2024. TCD-PI measurements were performed 12–24 hours after ICU admission. A total of 39 patients met the inclusion criteria. The mean TCD-PI was 1.39, and the mean duration of mechanical ventilation was 6.59 days. Pearson correlation analysis revealed a statistically significant positive correlation between TCD-PI values and duration of mechanical ventilation, with a correlation coefficient (r) of 0.671 and a coefficient of determination (r^2) of 0.450 ($p<0.001$). Conclusion: There is a moderate-strength positive correlation between TCD-PI values and the duration of mechanical ventilation. These findings suggest that TCD-PI may serve as a useful non-invasive predictor of prolonged ventilator dependence in post-brain surgery patients.

Keyword : Duration of mechanical ventilation; intracranial pressure (ICP); transcranial doppler pulsatility index (TCD-PI)

Korespondensi: Raka Jati Prasetya, dr., SpAn-TI. Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara/RSUP H. Adam Malik Medan, Indonesia. Jl Bunga Lau No. 17, Kemenangan Tani, Kecamatan Medan Tuntungan, Medan, Sumatera Utara, Indonesia. E-mail: rakajati@usu.ac.id

Pendahuluan

Jumlah pasien pascapembedahan otak yang dirawat di unit perawatan intensif (ICU) selama 24 jam keperluan cukup tinggi. Pemantauan ini bertujuan mengevaluasi kemungkinan terjadinya komplikasi dini pascaoperasi. Komplikasi dini yang umum terjadi pada hari pertama setelah pembedahan meliputi perdarahan, gangguan sirkulasi cairan serebrospinal, edema serebri, peningkatan tekanan intrakranial, kejang, dan iskemia akut. Perawatan pascaoperasi di ICU memungkinkan deteksi dini terhadap kerusakan neurologis serta memberikan penilaian hemodinamik yang lebih akurat.¹ Sekitar 66–80% pasien pascaoperasi bedah otak membutuhkan bantuan ventilasi mekanik di ICU. Dari jumlah tersebut, 46% pasien menggunakan ventilasi mekanik >72 jam.²

Penurunan kesadaran merupakan indikasi utama penggunaan ventilasi mekanik pada pasien trauma kepala dan pascabedah otak.³ Kondisi tersebut disebabkan oleh berbagai kondisi seperti peningkatan tekanan intrakranial (TIK) akibat edema otak, neuroinflamasi dan perdarahan. Kegagalan ekstubasi dan reintubasi juga dapat terjadi pada 10–15% pasien dengan gangguan neurologis akut. Kegagalan ekstubasi pada pasien seperti pascabedah otak mengakibatkan memanjangnya durasi rawat inap di rumah sakit dan ICU.³ Pemanjangan durasi ventilasi mekanik meningkatkan risiko komplikasi seperti *ventilator associated pneumonia* (VAP), kelemahan otot dan delirium pada pasien kritis.⁴

Pemantauan TIK adalah modalitas yang penting dalam manajemen pasien yang memiliki risiko peningkatan tekanan intrakranial. Pemeriksaan invasif menggunakan kateter epidural, subdural, intraparenkim, dan intraventrikel merupakan baku standar pemantauan TIK. Namun pemeriksaan ini tidak dapat rutin dilakukan dan memiliki risiko infeksi, perdarahan dan terjadinya lesi jaringan otak.⁵ Pemeriksaan CT scan dan *magnetic resonance imaging* (MRI) juga tidak selalu dapat dilakukan pada pasien

ICU oleh karena risiko radiasi dan transportasi pasien.⁶ Alternatif lain adalah pemantauan TIK non-invasif menggunakan ultrasonografi dapat menjadi alternatif apabila pemeriksaan invasif maupun radiologis tidak dapat dilakukan.⁶

Pemeriksaan ultrasonografi *Transcranial Doppler* (TCD) merupakan teknik non-invasif untuk mengevaluasi aliran dan kecepatan pembuluh darah intrakranial menggunakan warna dan spektrum *Doppler*. Pemeriksaan ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi vasospasme pasca perdarahan sub-arakhnoid serta memprediksi TIK dan perubahan aliran darah yang terjadi pada tekanan intrakranial yang tinggi.^{7,8}

Pemeriksaan *pulsatility index* (PI) menggunakan TCD (TCD-PI) memiliki korelasi dengan hasil pengukuran TIK invasif. Peningkatan TIK menyebabkan resistensi terhadap CBF dan penurunan kecepatan aliran diastol/*diastolic flow velocity* (FVd) yang menyebabkan peningkatan PI.⁹ Sebuah penelitian melaporkan bahwa PI berkorelasi dengan TIK. Ketika $PI > 2,13$ atau $< 1,2$, disimpulkan bahwa $TIK > 22$ mmHg atau < 12 mmHg.¹⁰ Nilai PI dipengaruhi oleh *cerebral perfusion pressure* (CPP), denyut jantung, perbedaan tekanan arteri, resistensi serebrovaskular, komplians arteri serebral, dan fungsi autoregulasi vaskular serebral.¹¹

Berdasar atas berbagai latar belakang tersebut, diperlukan diadakan suatu penelitian mengenai nilai korelasi TCD-PI terhadap durasi penggunaan ventilasi mekanik pada pasien pascaoperasi bedah otak.

Subjek dan Metode

Penelitian ini menggunakan desain prospektif dengan observasional analisis korelasi untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi (r), koefisien determinasi (r^2) dan arah korelasi dari pemeriksaan TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik pasien pascaoperasi bedah otak. Subjek penelitian adalah pasien yang dirawat di ICU RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Kriteria inklusi penelitian adalah pasien usia ≥ 18 tahun yang dirawat di ICU pada bulan Februari–Mei 2024. Kriteria eksklusi meliputi

pasien yang memakai ventilator sebelum dilakukan tindakan operasi bedah otak, pasien dengan sepsis, pasien dengan syok, pasien dengan pneumonia, pasien dengan *Acute Respiratory Distress Syndrome* (ARDS), pasien dengan trauma paru, pasien dengan gangguan asam basa berat, pasien dengan gangguan otot respirasi (lesi *spinal cord*, *Guillain Barre Syndrome* dan *Myasthenia Gravis*), pasien dengan penyakit kardiovaskular yang menyebabkan variasi hemodinamik yang memengaruhi pembacaan TCD-PI (aritmia berat, stenosis katup jantung, sklerosis vaskular berat) dan pasien yang tidak dapat dilakukan pemeriksaan TCD-PI (luka daerah pemeriksaan atau tertutup kassa perban). Dengan kriteria *dropout* adalah pasien yang mengalami infeksi paru (pneumonia dan ARDS) selama perawatan di ICU dan pasien meninggal dunia selama periode penelitian.

Penentuan besar sampel menggunakan rumus besar sampel untuk analisis korelasi dengan kesalahan tipe 1 ditetapkan sebesar 0,05 ($Z\alpha=1,96$) dan $power=0,8$ ($Z\beta=1,28$). Asumsi kekuatan korelasi (r) penelitian 0,50 (medium) ditambah kemungkinan pengeluaran 10%, maka didapatkan besar sampel 42 orang.

Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan dari Komite Etik Penelitian Kesehatan RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung (No. DP.04.03/XIV.6.5/73/2024).

Pasien pascabedah operasi bedah otak dilakukan pemeriksaan TCD-PI 12–24 jam setelah masuk ICU. Pemeriksaan TCD-PI dilakukan oleh satu orang pemeriksa kompeten dan telah melakukan pemeriksaan *transcranial doppler* minimal 1 tahun. Pasien kemudian diobservasi sampai lepas dari bantuan ventilasi mekanik. Pengukuran TCD-PI dilakukan dengan menggunakan mesin ultrasonografi merek GE tipe Logic F6 menggunakan *probe sector* dengan frekuensi 2–3 MHz. Pada semua pasien, kedua MCA baik kanan maupun kiri di-insonasi di transtemporal pada kedalaman 30 hingga 50 mm, dan proses pencitraan direkam untuk setidaknya 10 siklus jantung pada pasien dengan kondisi stabil, yaitu tanpa agitasi

atau nyeri dan gangguan kardiorespirasi. Segmen M1 MCA di-identifikasi dan koreksi sudut manual kemudian diterapkan untuk mengukur kecepatan aliran darah di setiap MCA (dalam sentimeter per detik) oleh perangkat lunak bawaan. Perekaman sonografi harus stabil selama periode perekaman 30 detik. Kemudian dicatat nilai PSV dan EDV, untuk mendapatkan nilai CBFV, sehingga nilai PI didapatkan melalui perhitungan (PSV-EDV/CBFV). Nilai PI yang lebih tinggi dan kecepatan aliran yang lebih rendah antara MCA kanan dan kiri diambil untuk analisis statistik.

Pada tahap awal analisis data, dilakukan uji normalitas dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Uji Pearson digunakan untuk mendapatkan koefisien korelasi (r) dan koefisien determinasi (r^2) antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y). Koefisien korelasi menunjukkan hubungan atau korelasi variabel bebas terhadap variabel terikat, sedangkan koefisien determinasi menunjukkan besarnya pengaruh variabel bebas terhadap perubahan variabel terikat. Analisis data dilakukan program Microsoft Excel 2021, SPSS 22.0 for Windows.

Hasil

Selama periode 3 bulan, terdapat 39 pasien memenuhi kriteria inklusi dan tidak termasuk eksklusi. Karakteristik subjek meliputi jenis kelamin, usia, indikasi operasi, jenis operasi, GCS 24 jam pascaoperasi, skor APACHE II, nilai MAP (mmHg), nilai pH, nilai PaCO₂ (mmHg), lama pemberian sedasi 24 jam setelah operasi (hari) dan skor RASS saat pengambilan sampel di ICU.

Indikasi operasi bedah otak didapatkan 53,8% pasien tumor, 17,9% trauma dan 28,2% pasien dengan CVA. Dari seluruh subjek penelitian, sebanyak 28,2% pasien menjalani operasi kraniotomi tumor, 38,5% pasien menjalani operasi kraniotomi evakuasi hematom, 17,9% pasien menjalani kraniektomi dekompresi dan 15,4% pasien menjalani operasi kraniotomi transphenoid. Rerata skor APACHE II adalah 13,3, rerata MAP pada seluruh pasien penelitian adalah 93,5

Tabel 1 Karakteristik Subjek Penelitian

Karakteristik	Jumlah n (%)	Rerata ($\pm$ SD)	Median (min-maks)
Usia (tahun)		(48,7 $\pm$ 11,4)	49,0(18,0–70,0)
Indikasi operasi			
Trauma	7 (17,9)		
Tumor	21 (53,8)		
CVA	11 (28,2)		
Jenis operasi			
Kraniotomi tumor	11 (28,2)		
Kraniotomi evakuasi hematoma	15 (38,5)		
Kraniektomi dekompresi	7 (17,9)		
Kraniotomi transphenoid	6 (15,4)		
Skor APACHE II		(13,3 $\pm$ 4,1)	11,0(4,0–15,0)
GCS 24 jam pascaoperasi		(10,7 $\pm$ 3,5)	14,0(4,0–15,0)
MAP (mmHg)		(98,35 $\pm$ 13,4)	98,7(67,0–135,7)
pH		(7,42 $\pm$ 0,03)	7,42(7,36–7,48)
PaCO ₂ (mmHg)		(36,6 $\pm$ 2,5)	(33,1–44,7)
Sedasi setelah 24 jam perawatan ICU (hari)		(4,6 $\pm$ 5,5)	(0–20)
Skor RASS			
Rass 0	5 (12,8)		
Rass-1	8 (20,5)		
Rass-2	5 (12,8)		
Rass-3	8 (20,5)		
Rass-4	11 (28,2)		
Rass-5	2 (5,1)		

Keterangan: Variabel kategorik dinyatakan sebagai jumlah/frekuensi (n) dan persentase (%)

Variabel kontinu dinyatakan sebagai nilai rerata dengan standar deviasi($\pm$ SD) dan median dengan rentang (minimum-maksimum)

mmHg dengan rentang 67,0–135,7 mmHg. Rerata pH adalah 7,2 (7,36–7,48), rerata nilai PaCO₂ adalah 36,6 dengan rentang 33,1–44,7.

Lama pemberian sedasi setelah 24 jam perawatan ICU adalah 4,6 hari dengan rentang pemberian 0–20 hari. Pada penelitian ini pemeriksaan TCD-PI dilakukan pada pasien dengan RASS <1. Terdapat 5 pasien dengan skor RASS=0, 8 pasien dengan skor RASS=-1,5 pasien dengan skor RASS =-2,8 pasien dengan skor RASS = -3,11 pasien dengan skor RASS =-4 dan 2 pasien dengan skor RASS=-5. Pasien dengan skor RASS rendah adalah

pasien dengan nilai GCS rendah (<8) yang membutuhkan tatalaksana sedasi sedang-dalam. Data tersebut menunjukkan bahwa pemeriksaan TCD-PI pada subjek penelitian ini dilakukan pada pasien yang homogen dan memiliki hemodinamik stabil, pH normal dan tanpa agitasi. (Tabel 1)

Dari uji *One Way Anova*, *Mann Whitney* atau *Independent T-test* didapatkan data nilai rerata TCD-PI pasien dengan GCS $\leq$ 8 pada 24 jam pascaoperasi adalah 1,53. Sedangkan nilai rerata TCD-PI pasien dengan GCS>8 pada 24 jam pascaoperasi adalah 1,32. Nilai

Tabel 2 Hubungan Nilai TCD PI dan Durasi Ventilasi Mekanik Berdasarkan GCS Pascaoperasi, Indikasi Operasi dan Jenis Operasi

Variabel	Nilai TCD-PI	Nilai P	Durasi Ventilasi Mekanik (hari)	Nilai P
GCS 24 jam pascaoperasi				
GCS>8	1,32	<0,001	4,19	<0,001
GCS≤8	1,53		11,38	
Indikasi operasi				
Trauma	1,33	0,328	4,38	0,110
Tumor	1,47		8,09	
CVA	1,43		10,86	
Jenis operasi				
Kraniotomi tumor	1,29	0,529	3,63	0,570
Kraniotomi evakuasi hematoma	1,42		9,27	
Kraniektomi	1,40		5,14	
Kraniotomi transphenoid	1,46		7,00	

Keterangan: * Uji One Way Anova, Mann Whitney atau Independent T-test dengan nilai signifikansi $p < 0,05$

rerata TCD-PI pasien GCS≤8 pada 24 jam pascabedah otak secara signifikan lebih tinggi dibanding dengan pasien yang mengalami GCS>8 ($p < 0,001$). Nilai rerata TCD-PI pasien dengan indikasi operasi trauma, tumor dan CVA adalah 1,33, 1,47 dan 1,43. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara nilai TCD-PI berdasarkan indikasi operasi pasien bedah otak ($p = 0,328$). Nilai rerata TCD-PI pasien dengan operasi kraniotomi tumor, kraniotomi evakuasi hematoma, kraniektomi dekompresi dan kraniotomi transphenoid adalah 1,29, 1,42, 1,40 dan 1,46 ($p = 0,529$).

Rerata durasi ventilasi mekanik pasien dengan GCS≤8 adalah 11,38 hari, sedangkan rerata durasi ventilasi mekanik pasien dengan GCS>8 adalah 4,19 hari. Durasi ventilasi mekanik pasien pascabedah otak secara signifikan lebih lama pada pasien dengan GCS≤8 pada 24 jam dibanding dengan pasien dengan GCS>8 ($p < 0,001$). Durasi ventilasi

mekanik pasien dengan indikasi operasi trauma, tumor dan CVA adalah 4,38, 8,09, dan 10,86 hari. Berdasarkan jenis operasi durasi ventilasi mekanik adalah 3,63 hari. Pada kraniotomi tumor 9,27 hari pada kraniotomi evakuasi hematoma, 5,12 hari pada kraniektomi dekompresi dan 7,00 hari pada kraniotomi transphenoid. (Tabel 2)

Dari uji *Pearson product moment* digunakan untuk mengetahui koefisien korelasi dan koefisien determinasi antara nilai TCD-PI dengan durasi ventilasi mekanik pada pasien pascaoperasi bedah otak. Data tabel 3 menunjukkan nilai rerata TCD-PI pada seluruh subjek penelitian adalah 1,39 dan rerata durasi ventilasi mekanik pada seluruh pasien penelitian adalah 6,59 hari. Dari uji *Pearson product moment* antara TCD-PI dengan durasi ventilasi mekanik didapatkan koefisien korelasi $r = 0,671$ dan koefisien determinasi $r^2 = 0,450$ ($p < 0,001$). Dari hasil tersebut dapat

Tabel 3 Korelasi Nilai TCD-PI dengan Durasi Ventilasi Mekanik

Variabel	Rerata (±SD)	r	r ²	Nilai P
Nilai TCD-PI	1,39 (±0,26)	0,671	0,450	<0,001
Durasi Ventilasi Mekanik (hari)	6,59 (±5,49)			

Tabel 4 Hubungan Nilai TCD-PI Berdasarkan *Cut-off* (PI <1,2 dan PI ≥1,2) dengan Durasi Ventilasi Mekanik

Nilai TCD-PI	Durasi Ventilasi Mekanik				Total		Risiko Relatif	Nilai P
	<72 jam		≥72 jam		n	%		
	n	%	n	%				
PI<1,2	9	23,1	0	0	9	23,1	3,75	< 0,001
PI≥1,2	8	20,5	22	56,4	30	76,9		

Keterangan: * Uji *Chi square* dengan nilai signifikansi $p < 0,05$; *Relative risk* dihitung menggunakan tabel 2x2

disimpulkan bahwa skor TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik memiliki korelasi positif berkekuatan medium/edang, (Tabel 3). Analisis berdasarkan nilai *cut-off* (PI<1,2 dan PI≥1,2) menunjukkan bahwa pasien dengan TCD-PI ≥1,2 memiliki proporsi penggunaan ventilasi mekanik ≥72 jam sebesar 56,4%. Sedangkan pada pasien dengan nilai TCD-PI <1,2 tidak ditemukan penggunaan ventilasi mekanik ≥72 jam. Sebaliknya, pasien dengan nilai TCD-PI <1,2 lebih banyak mendapatkan ventilasi mekanik <72 jam (23,1%).

Pembahasan

Rerata skor APACHE II pada seluruh subjek penelitian ini adalah 13,3, serupa dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan rerata skor APACHE II pada pasien bedah otak $16,56 \pm 5,95$.¹² Skor APACHE II yang cukup rendah didapatkan pada subjek kedua penelitian ini dikarenakan pasien-pasien yang menjalani operasi bedah otak cenderung dalam kondisi pra-operatif yang fisiologis. Selain itu keputusan untuk melakukan eksklusi pada subjek penelitian yang memiliki risiko pemanjangan ventilasi mekanik pada penelitian ini juga menyebabkan rendahnya skor APACHE II secara keseluruhan.

Pada penelitian ini didapatkan perbedaan bermakna antara nilai rerata TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik pada pasien dengan GCS pascaoperasi. Pasien dengan GCS ≤8 pada 24 jam pascaoperasi memiliki nilai TCD-PI yang lebih tinggi dan durasi ventilasi mekanik lebih lama dibanding pasien dengan GCS >8 (1,53 vs 1,32 dan 11,38 hari vs 4,19 hari). Namun tidak

didapatkan perbedaan bermakna nilai rerata TCD-PI dan durasi ventilasi mekanik pada pasien pascabedah otak menurut jenis dan indikasi operasinya.

Penurunan kesadaran merupakan penyebab utama kegagalan ekstubasi pada pasien pascabedah otak. Hal ini mungkin berkaitan dengan prosedur pembedahan atau faktor lain yang berkaitan dengan pusat pernapasan akibat manipulasi pembedahan, yang kemungkinan besar akan menyebabkan hipoventilasi dan peningkatan kadar CO₂ yang terjadi bersamaan dengan penurunan tingkat kesadaran. Pasien dengan tingkat kesadaran rendah dengan skor GCS <10 memiliki angka kejadian reintubasi yang lebih tinggi. Pasien yang memiliki durasi ventilasi mekanis yang lebih lama selama periode pascaoperasi menunjukkan insiden reintubasi yang lebih tinggi.¹³ Penelitian lain pada populasi pasien pasca bedah otak melaporkan skor GCS ≥8 dikaitkan dengan keberhasilan ekstubasi pada 75% kasus, sedangkan pada pasien dengan GCS <8 proporsi keberhasilan ekstubasi hanya 33%.¹⁴ Hal ini mungkin berhubungan dengan kompleksitas pembedahan atau perubahan tingkat kesadaran, yang akan menjelaskan durasi ventilasi mekanis yang lebih lama. Ventilasi mekanis selama lebih dari 48 jam dapat berkontribusi terhadap komplikasi paru pada pasien yang telah menjalani pembedahan intrakranial dan memburuknya pertukaran gas.¹⁵

Pada penelitian ini didapatkan nilai rerata TCD-PI pada seluruh subjek penelitian adalah 1,39 dan rerata durasi ventilasi mekanik pada seluruh pasien penelitian adalah 6,59 hari. Terdapat korelasi positif berkekuatan

sedang (medium) antara nilai TCD-PI dengan durasi ventilasi mekanik ($r=0,671$; $r^2=0,450$; $p<0,001$). Sebagian besar pasien dengan cedera otak yang memerlukan bantuan ventilasi mekanik disebabkan oleh karena gangguan tingkat kesadaran yang mengakibatkan ketidakmampuan untuk mempertahankan jalan napas dan bukan karena kegagalan pernapasan primer. Tujuan utama penggunaan ventilasi mekanik pada pasien neurokritis adalah untuk otak mengatasi adanya hipoksemia, hiperkapnia, dan hipokapnia guna mencegah kerusakan sekunder.^{16,17}

Meskipun kondisi pernapasan dan hemodinamik pasien pasca bedah otak sudah memenuhi kriteria standar yang diperlukan untuk memulai proses penyapihan ventilator, namun seringkali pasien-pasien tersebut masih mengalami gangguan tingkat kesadaran.¹⁸ Hal ini menyebabkan pasien neurokritis seringkali mengalami pemanjangan durasi ventilasi mekanik.¹⁶ Tingkat kegagalan ekstubasi pada pasien neurokritis berfluktuasi antara 5–20%.¹⁹ Keputusan mengenai waktu yang tepat untuk melakukan ekstubasi merupakan dilema klinis yang umum terjadi pada pasien neurokritis.²⁰ Kegagalan ekstubasi dan pemanjangan durasi ventilasi mekanik dapat meningkatkan kejadian komplikasi paru pascaoperasi, kebutuhan operasi ulang, kebutuhan akan trakeostomi dan lama rawat inap di ICU.²¹ Kegagalan ekstubasi secara langsung berkaitan dengan perubahan tingkat kesadaran.¹⁴ Hal ini disebabkan pasien dengan tingkat kesadaran yang rendah mengalami produksi sekret dalam jumlah besar, defisiensi batuk, gangguan menelan sehingga tidak dapat mempertahankan patensi jalan napas dengan baik.²¹

Cedera otak akibat pembedahan, perdarahan, iskemia, tumor otak dan trauma kepala dapat meningkatkan TIK dan mengakibatkan gangguan ritme dan *drive* pernapasan. Peningkatan ukuran jaringan iskemik dan adanya efek massa intrakranial berkorelasi dengan gangguan ritme pernapasan.²²

Oleh karena itu, pemantauan TIK sangatlah penting dilakukan pada pasien-pasien dengan

kondisi tersebut. Hipertensi intrakranial sering terjadi pascaoperasi bedah otak dengan angka kejadian mencapai 12,75–52,8%.²³ Hal tersebut disebabkan oleh berbagai kondisi edema otak, neuroinflamasi dan perdarahan. Kerusakan otak akibat peningkatan TIK dan efek massa akibat tumor, pendarahan atau edema akan menyebabkan gangguan *drive* pernapasan.^{24,25}

Pasien pada kondisi ini mengalami ketidakmampuan untuk mengkompensasi terjadinya hipoksemia dan hiperkapnia yang akhirnya semakin memperburuk kondisi klinis pasien.²³ Kondisi tersebut menyebabkan pasien sulit untuk lepas dari bantuan ventilasi mekanik dan memperpanjang lama rawat di ICU.

Pemeriksaan TCD-PI sebagai alternatif pengukuran TIK invasif telah digunakan secara luas. Pemantauan TIK invasif dan TCD-PI memiliki korelasi yang kuat ($r=0,938$).¹⁰

Pemeriksaan TCD-PI juga dapat digunakan untuk menentukan pasien dengan tekanan intrakranial >20 mmHg dengan sensitivitas 89% dan spesifisitas 92%.²⁶ Berdasarkan data penelitian sebelumnya disimpulkan bahwa peningkatan nilai TCD-PI dapat mencerminkan kenaikan TIK. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kenaikan TIK yang digambarkan oleh nilai TCD-PI pada pasien pascabedah otak memiliki korelasi positif dengan durasi ventilasi mekanik sebagai salah satu kompensasi terjadinya kerusakan otak pascatindakan bedah.

Penggunaan nilai TCD-PI sebagai gambaran tekanan intrakranial memiliki beberapa keterbatasan. Perubahan PaCO_2 atau tekanan darah arteri sistemik dapat memengaruhi aliran darah otak dan dapat mengubah nilai TCD-PI meskipun tidak terdapat peningkatan TIK. Penurunan CPP yang mewakili tren peningkatan PI tidak hanya diakibatkan oleh adanya peningkatan TIK, tetapi juga penurunan tekanan arteri rerata di sistemik (MAP).

Dengan demikian, rekomendasi penggunaan PI bukan untuk menentukan nilai absolut TIK melainkan untuk melihat tren peningkatan atau penurunan TIK.²⁷

Keterbatasan lainnya yaitu TCD-PI bukan merupakan alat pengukuran TIK yang dinamis, namun TCD PI dapat dilakukan secara serial non-invasif sehingga membantu menilai terjadinya peningkatan TIK tinggi dan menentukan modalitas yang lebih invasif dan dinamis.⁶ Pada penelitian ini pemeriksaan TCD-PI dilakukan pada pasien dengan hemodinamik stabil dengan MAP 67,0–137,7 mmHg, sehingga pengaruh hemodinamik sistemik pada TCD-PI dapat disingkirkan. Kadar PaCO₂ dan pH pasien selama pemeriksaan juga dalam rentang normal (pH 7,36–7,48 dan PaCO₂ 33–48 mmHg) sehingga adanya perubahan aliran darah akibat perubahan pH dan PaCO₂ pada saat dilakukan pemeriksaan TCD-PI juga dapat disingkirkan. Dengan begitu diharapkan nilai TCD-PI yang didapatkan pada penelitian ini benar-benar mencerminkan tekanan intrakranial pada pasien pascabedah otak.

Koefisien determinasi TCD-PI terhadap durasi ventilasi mekanik sebesar $r^2=0,45$, menunjukkan bahwa tekanan intrakranial (yang dinilai menggunakan TCD-PI) berkontribusi cukup besar terhadap lamanya penggunaan ventilasi mekanik pada pasien pascabedah otak. Namun faktor lain seperti cedera saraf kranial yang mengganggu reflek jalan napas, penggunaan obat-obat sedasi, dan komplikasi selama perawatan di ICU seperti sepsis, syok, gangguan metabolik berat seperti asidosis ataupun alkalosis, *overload* cairan dan atropi otot pernapasan akibat penggunaan ventilasi mekanik dalam jangka waktu yang lama.^{28–30}

Rerata lama penggunaan obat sedasi setelah 24 jam perawatan ICU adalah $4,6 \pm 6,4$ hari dengan rentang pemberian 0–20 hari. Penggunaan obat sedasi lebih lama diberikan pada pasien dengan penurunan kesadaran dan peningkatan tekanan kranial. Sedasi bertujuan menurunkan tekanan intrakranial, mengurangi risiko disinkroni terhadap ventilator dan memperbaiki CMRO₂ serebral. Namun di lain pihak penggunaan obat sedasi yang berkepanjangan juga memiliki dampak buruk di mana hal ini dapat mengakibatkan delirium serta imobilisasi pada pasien.²⁸ Gangguan otot pernapasan juga tidak dinilai

sebagai parameter dalam penelitian ini, dimana hal tersebut merupakan salah satu kelemahan penelitian ini.

Pasien dengan nilai TCD-PI $\geq 1,2$ memiliki risiko penggunaan ventilasi mekanik ≥ 72 jam lebih tinggi dibanding dengan pasien dengan nilai TCD-PI $< 1,2$ dengan (RR=3,75; $p < 0,001$). Penggunaan *cut-off* nilai TCD-PI $\geq 1,2$ didasarkan analisis menggunakan Youden Indeks dari data penelitian serta hasil studi sebelumnya yang menyatakan bahwa TCD-PI $< 1,2$ berkorelasi dengan TIK < 12 mmHg.¹⁰ Batas 72 jam durasi ventilasi mekanik digunakan pada penelitian ini terkait dengan adanya risiko pemanjangan durasi ventilasi mekanik terhadap berbagai seperti komplikasi seperti *ventilator associated pneumonia* (VAP), kelemahan otot dan delirium pada pasien kritis.⁴

Hasil analisis penelitian ini menunjukkan bahwa pasien-pasien dengan TIK $\geq 1,2$ atau pasien yang mengalami peningkatan tekanan intrakranial, terdapat risiko lebih tinggi untuk mengalami pemanjangan durasi penggunaan ventilasi mekanik. Namun masih terdapat kelemahan pada hasil ini karena besar sampel yang digunakan untuk analisis memerlukan jumlah sampel yang lebih besar.

Pasien-pasien dengan peningkatan TIK akan mengalami penurunan kesadaran, kehilangan reflek jalan napas serta membutuhkan pemberian obat sedasi yang lebih banyak. Hal ini menyebabkan pasien akan lebih sulit lepas dari bantuan ventilasi mekanik dibanding dengan pasien yang tidak mengalami peningkatan nilai TCD-PI.

Simpulan

Transcranial Doppler-Pulsatility Index memiliki korelasi positif dengan durasi ventilasi mekanik pada pasien pascabedah otak.

Daftar Pustaka

1. Hanak BW, Walcott BP, Nahed B V, Muzikansky A, Mian MK, Kimberly WT, dkk. Postoperative intensive care unit requirements after elective craniotomy.

- World Neurosurg. 2014;81(1):165–72. doi: 10.1016/j.wneu.2012.11.068
2. Tanriono C, Laleno DC, Laihad ML. Profil pasien pasca kraniotomi di ICU RSUP Prof. Dr. R. D. Kandou Manado Periode Juli 2016 –Juni 2017. e-CliniC. 2017;5(2):274–8. doi: <https://doi.org/10.35790/ecl.v5i2.18541>
 3. Swain A, Bhagat H, Sahni N, Salunke P. Mechanical ventilation in neurological and neurosurgical patients. Neurol India. 2016;64(3):485–93. doi: 10.4103/0028-3886.181585
 4. Loss SH, De Oliveira RP, Maccari JG, Savi A, Boniatti MM, Hetzel MP, dkk. The reality of patients requiring prolonged mechanical ventilation: a multicenter study. Rev Bras Ter Intensiva. 2015;27(1):26–35. doi: 10.5935/0103-507X.20150006
 5. Cardim D, Robba C, Bohdanowicz M, Donnelly J, Cabella B, Liu X, dkk. Non-invasive monitoring of intracranial pressure using transcranial doppler ultrasonography: is it possible?. Neurocrit Care. 2016;25(3):473–91. doi: 10.1007/s12028-016-0258-6
 6. Lau VI, Arntfield RT. Point-of-care transcranial doppler by intensivists. Crit Ultrasound J. 2017;9(1):21. doi: 10.1186/s13089-017-0077-9
 7. Rasulo FA, Bertuetti R, Robba C, Lusenti F, Cantoni A, Bernini M, dkk. The accuracy of transcranial Doppler in excluding intracranial hypertension following acute brain injury: A multicenter prospective pilot study. Crit Care. 2017;21(1):44. doi: 10.1186/s13054-017-1632-2
 8. O'Brien NF, Maa T, Reuter-Rice K. Noninvasive screening for intracranial hypertension in children with acute, severe traumatic brain injury. J Neurosurg Pediatr. 2015;16(4):420–5. doi: 10.3171/2015.3.PEDS14521
 9. Sharma VK, Wong KS, Alexandrov A V. Transcranial Doppler. Front Neurol Neurosci. 2016;40:124–40. doi: 10.1159/000448309
 10. Bellner J, Romner B, Reinstrup P, Kristiansson KA, Ryding E, Brandt L. Transcranial doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). Surg Neurol. 2004;62(1):45–51. doi: 10.1016/j.surneu.2003.12.007
 11. Müller SJ, Henkes E, Gounis MJ, Felber S, Ganslandt O, Henkes H. Non-Invasive Intracranial Pressure Monitoring. J Clin Med. 2023;12(6):2209. doi: 10.3390/jcm12062209
 12. Akavipat P, Thinkhamrop J, Thinkhamrop B, Sriraj W. Acute physiology and chronic health evaluation (Apache) II score – the clinical predictor in neurosurgical intensive care unit. Acta Clin Croat. 2019;58(1):50–6. doi: 10.20471/acc.2019.58.01.07
 13. ArtimeCA, HagbergCA. Trachea extubation. Respiratory Care. American Association for Respir Care; 2014. 59(6)991–1005. doi: 10.4187/respcare.02926
 14. Tanaka A, Kabata D, Hirao O, Kosaka J, Furushima N, Maki Y, dkk. Prediction model of extubation outcomes in critically ill patients: a multicenter prospective cohort study. J Clin Med. 2022;11(9):2520. doi: 10.3390/jcm11092520
 15. Ali Z. Early postoperative respiratory complications following elective craniotomies. J Neuroanaesth Crit Care. 2015;2(2):85–7. doi: 10.4103/2348-0548.155455
 16. Borsellino B, Schultz MJ, Gama de Abreu M, Robba C, Bilotta F. Mechanical ventilation in neurocritical care patients: a systematic literature review. Expert Rev Respir Med. 2016;10(10):1123–32 doi: 10.1080/17476348.2017.1235976
 17. Asehnoune K, Roquilly A, Cinotti R. Respiratory management in patients with severe brain injury. Crit Care. 2018;22(1):76. doi: 10.1186/s13054-018-1994-0
 18. Robba C, Poole D, McNett M, Asehnoune K, Bösel J, Bruder N, dkk. Mechanical ventilation in patients with acute brain injury: recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine consensus. Intensive Care Med. 2020;46(12):2397–410. doi: 10.1007/s00134-020-06283-0

19. Godoy DA, Rovegno M, Jibaja M. Extubation after acute brain injury: an unsolved dilemma!! *Neurocrit Care*. 2024;40(2):385–90.doi: 10.1007/s12028-023-01828-9
20. Rabinstein AA, Cinotti R, Bösel J. Liberation from mechanical ventilation and tracheostomy practice in traumatic brain injury. *Neurocrit Care*. 2023;38(2):439–46. doi: 10.1007/s12028-023-01693-6
21. Ho UC, Hsieh CJ, Lu HY, Huang APH, Kuo LT. Predictors of extubation failure and prolonged mechanical ventilation among patients with intracerebral hemorrhage after surgery. *Respir Res*. 2024;25(1):19. doi: 10.1186/s12931-023-02638-5
22. Shevtsova NA, Marchenko V, Bezudnaya T. Modulation of respiratory system by limb muscle afferents in intact and injured spinal cord. *Front Neurosci*.2019;13:289. doi: 10.3389/fnins.2019.00289
23. Frisvold S, Coppola S, Ehrmann S, Chiumello D, Guérin C. Respiratory challenges and ventilatory management in different types of acute brain-injured patients. *Crit Care*. 2023;27(1):247. doi:10.1186/s13054-023-04532-4
24. Sherchan P, Huang L, Wang Y, Akyol O, Tang J, Zhang JH. Recombinant Slit2 attenuates neuroinflammation after surgical brain injury by inhibiting peripheral immune cell infiltration via Robo1-srGAP1 pathway in a rat model. *Neurobiol Dis*. 2016;85:164–73. doi: 10.1016/j.nbd.2015.11.003
25. Sherchan P, Huang L, Akyol O, Reis C, Tang J, Zhang JH. Recombinant Slit2 reduces surgical brain injury induced blood brain barrier disruption via Robo4 dependent Rac1 activation in a rodent model. *Sci Rep*. 2017;7(1):746. doi: 10.1038/s41598-017-00827-z
26. Naqvi J, Yap KH, Ahmad G, Ghosh J. Transcranial doppler ultrasound: a review of the physical principles and major Applications in critical care. *Int J Vasc Med*. 2013;2013:629378. doi: 10.1155/2013/629378
27. Rasulo FA, Bertuetti R, Robba C, Lusenti F, Cantoni A, Bernini M, dkk. The accuracy of transcranial Doppler in excluding intracranial hypertension following acute brain injury: a multicenter prospective pilot study. *Crit Care*. 2017;21(1):44. doi: 10.1186/s13054-017-1632-2
28. Pearson SD, Patel BK. Evolving targets for sedation during mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2020;26(1):47–52. doi: 10.1097/MCC.0000000000000687
29. Liu YY, Li LF. Ventilator-induced diaphragm dysfunction in critical illness. *Exp Biol Med*. 2018;243(17–8):1329–37. doi: 10.1177/1535370218811950
30. Wang W, Zhu S, He Q, Wang M, Kang Y, Zhang R, dkk. Fluid balance and ventilator-associated events among patients admitted to ICUs in China: a nested case-control study. *Crit Care Med*. 2022;50(2):307–16. doi: 10.1097/CCM.0000000000005227