

TATALAKSANA PASIEN POST CRANIECTOMY TUMOR REMOVAL DI INTENSIFE CARE UNIT (ICU)

MANAGEMENT OF POST CRANIECTOMY TUMOR REMOVAL PATIENTS IN THE INTENSE CARE UNIT (ICU)

Donald Doda¹, Hisbullah², Faisal Muchtar²

Study Program of Intensive Care Consultant, Faculty of Medicine, Hasanuddin University, Makassar, Indonesia¹

Departement of Anesthesiology and Reanimation Wahidin Sudirohusodo Hospital, Makassar, Indonesia²

ABSTRACT

Background: Appropriate neurocritical treatment is important in the success of neurosurgical intervention in the brain and spinal cord. Postoperative neurosurgery patients can be elective or emergency cases. ICU admission after neurosurgical procedures is determined by the neurological and medical condition of the patient.

Case: Male patient, 57 years old, body weight (BB) 70 kilograms (kg). Treated with a post-op diagnosis of craniotomy removal of tumor ec intracranial tumor in the right parietal region.

Summary: These complex surgical procedures require intensive professional care to correct abnormalities in homeostatic mechanisms, ensure adequate cerebral perfusion and oxygenation and assist the restoration of brain function. The complex interactions between the central nervous system and systemic functions require in-depth knowledge of both general intensive care and brain and spinal cord pathophysiology.

Keywords : Post craniektomy; Head tumors; intensive care unit

ABSTRAK

Latar belakang: Perawatan neurocritical yang tepat merupakan hal penting dalam keberhasilan intervensi bedah saraf pada otak dan sumsum tulang belakang. Pasien bedah saraf pasca operasi bisa berupa kasus elektif maupun emergency. Masuk ICU setelah prosedur bedah saraf ditentukan oleh kondisi neurologis dan medis pasien.

Kasus: Pasien laki-laki dengan umur 57 tahun, berat badan (BB) 70 kilogram (kg). Dirawat dengan diagnosa post op craniotomy removal tumour ec tumor intrakranial regio parietal dektra.

Ringkasan: Prosedur operasi yang kompleks membutuhkan perawatan intensif yang profesional untuk memperbaiki kelainan pada mekanisme homeostasis, memastikan perfusi dan oksigenasi serebral yang memadai dan membantu pemulihan fungsi otak. Interaksi kompleks antara sistem saraf pusat dan fungsi sistemik membutuhkan pengetahuan yang mendalam baik dari segi perawatan intensif umum maupun patofisiologi otak dan tulang belakang.

Kata Kunci: Pasca oprasi kepala; Tumor kepala; unit perawatan intensif

1. PENDAHULUAN

Perawatan neurocritical yang tepat merupakan hal penting dalam keberhasilan intervensi bedah saraf pada otak dan sumsum tulang belakang. Kemajuan pesat teknis prosedur operasi membuat lesi yang sebelumnya dianggap tidak bisa dioperasi sekarang dapat diterapi, dan kemajuan bidang anestesi telah membuat sejumlah prosedur operasi pada pasien lanjut usia dan pasien sakit kritis meningkat. Akibatnya jumlah pasien

yang membutuhkan perawatan intensif pasca operasi meningkat.

Tujuan perawatan intensif postneurosurgical untuk memperbaiki luaran bedah, dengan cara:

- Deteksi dini kerusakan neurologis dengan tindakan yang cepat berupa intervensi koreksi untuk mencegah atau membatasi cedera irreversible

- Mengembalikan fungsi jalan napas, pernapasan, hemodinamik, dan metabolisme setelah prosedur bedah saraf
- Pencegahan, diagnosis, dan pengobatan komplikasi nonneurologi

Keberhasilan perawatan bedah saraf memerlukan kerjasama erat antara berbagai spesialis: neurosurgeon, intensivis dan neuroradiologist. Hasil operasi dengan teknis sempurna bisa bermasalah karena perawatan pascaoperasi tidak memadai. Prosedur operasi yang kompleks membutuhkan perawatan intensif yang profesional untuk memperbaiki kelainan pada mekanisme homeostasis, memastikan perfusi dan oksigenasi serebral yang memadai dan membantu pemulihan fungsi otak. Interaksi kompleks antara sistem saraf pusat dan fungsi sistemik membutuhkan pengetahuan yang mendalam baik dari segi perawatan intensif umum maupun patofisiologi otak dan tulang belakang.

DESKRIPSI KASUS

Pasien laki-laki (Tn. K) dengan umur 57 tahun, berat badan (BB) 70 kilogram (kg). Dari anamnesa: kejang yang dialami 5 jam sebelum masuk rumah sakit (MRS). Pasien dengan riwayat nyeri kepala, riwayat kejang berulang, dan riwayat hipertensi dengan pengobatan teratur. Saat masuk rumah sakit, pasien didiagnosis dengan tumor intrakranial et causa suspek oligodendroglioma. Pasien masuk IRD (Tanggal 6 September 2021 pukul 12.00) dengan pernapasan spontan, frekuensi napas (respiratory rate/RR) 24 x/menit, tekanan darah (TD) 130/80 mmHg, laju jantung (heart rate/HR) 86 x/menit, GCS 15 (E₄M₆V₅), dan suhu 36,5°C. Selain itu ditemukan pupil isokor dengan diameter 3/3 mm, RC +/- . Dari pemeriksaan laboratorium ditemukan hemoglobin/Hb 14,2 gr/dL, hematokrit/Hct 42,6%, leukosit (WBC) 23.600, dan trombosit (PLT) 302.000. Diperoleh juga PT/APTT 10,2/21,2 detik, INR 0,98, GDS 173 mg/dL, ureum/kreatinin 23

mg/dL/ 0,78 mg/dL, GOT/GPT 25/27 u/L, dan elektrolit Na/K/Cl 139/3,8/105 mmol/L. Dari hasil chest X ray ditemukan tidak tampak tanda-tanda metastase pada foto thoraks ini dan terdapat kardiomegali disertai elongatio et dilatation aortae. Hasil CT-Scan kepala menunjukkan massa hemisfer cerebri D/ susp oligodendroglioma dan hernia subfalcine. Di UGD pasien menerima cairan NaCl 0,9% 20 tetes/menit, phenytoin 100 mg/8 jam/IV, metamizole 1 gr/8 jam/IV, ceftriaxone 1 gr/12 jam/IV, ranitidine 50 mg/12 jam/IV, dexamethasone 5 mg/8 jam/IV, stezolid 10 mg rectal, awasi tanda peningkatan TIK dan pro urgent removal tumour. Produksi urine pasien selama di UGD berkisar 50 mL/jam.

Pasien dilakukan operasi craniotomy removal tumor (8/9/2021) selama 5 jam, perdarahan 800 ml, dan postop pasien ditransfer ke ICU tanpa ekstubasi.

Awal Masuk ICU

Dari pemeriksaan fisis pasien ditemukan :

- B1 : O₂ via ETT on ventilator mode Pressure Control Ventilation (PCV), RR 14 x menit, PEEP 5, Pinsp 10, dengan hasil luaran TV: 560 ml, SpO₂ 98-99%, FiO₂ 100% dititrasi hingga 50%, Rh -/-, Wh -/-
 - B2 : TD 100/70 mmHg; MAP 80, HR 56x/menit, reguler, kuat angkat, akral dingin, CRT > 2 detik
 - B3 : GCS tersedasi, pupil bulat isokor (Ø 2,5mm/2,5mm), RC lambat , T: 36,8 °C, BPS 3
 - B4 : Urin perkateter, produksi 50 cc/jam, warna kuning
 - B5 : Datar, supel , ikut gerak napas, peristaltik (+) 8x/mnt
 - B6 : edema (-/-), fraktur (-/-), sianosis (-/-)
- Pasien didiagnosis dengan post op craniotomy removal tumour ec tumor intrakranial regio parietal D/.

Tindakan awal di ICU mencakup :

- Ventilasi mekanik (VM) dengan strategi proteksi paru dengan mode Pressure

Control ventilation (PCV), RR 14 x/menit, Pinsip 10, PEEP 5, FiO₂ 100% dititrasi hingga 50%.

Dengan hasil luaran : TV 560 mL, SpO₂ 98-99%.

- Pemasangan monitor minimally invasive Mostcare (terpasang CVC di vena subclavia D/ dan arterial line di arteri dorsalis pedis D/). TD 96/32 mmHg (MAP 64 mmHg), N 77x/i, CVP 3 mmHg, CI 1,8, SVI 23, SVRI 1943, PPV 17%. Dilakukan resusitasi cairan dengan kristaloid RL 4 ml/kgBB dalam 15 menit (300 ml), dengan target MAP > 80-90 dan PPV <13%, ScVO₂ >70%, laktat < 2, dan pCO₂ gap <6.
- Pemasangan monitor ETCO₂, dengan target 30-35 mmHg
- Pemasangan CVC V. Jugular D/
- USG ONSD (optical nerve sheath diameter), dengan hasil 0,559 cm/0,571 cm (N: <0,548 cm, TIK <13 mmHg)
- Pemeriksaan Analisa Gas Darah arteri, ScVO₂, dan SjVO₂
- Head Up 30-45°

Dari pemeriksaan darah rutin post op diperoleh : Hb 10 gr/dL, Hct 29%, leukosit 10.700, trombosit 151.000/mm². Dari pemeriksaan kimia darah diperoleh : PT/APTT 11,8/21,6 detik serta INR 1,14; SGOT/SGPT 17/29 U/L, kadar albumin 2,8 gr/dL, serta kadar elektrolit normal (Na/K/Cl = 140/4,2/110 mmol/L). Selain itu diperoleh hasil kadar Laktat serum 1,7 mmol/L. Dari Analisis gas darah arteri diperoleh : pH 7,438; pCO₂ 45,9 mmHg; pO₂ 357,3 mmHg; SO₂ 99,2%; HCO₃ 31,3; BE 6,7; dan P/F Rasio 595,5 dengan FiO₂ 60%. Analisis gas darah vena: ScVO₂ 63,7%, PCO₂ gap 7,5, dan SjVO₂ 51,5%.

2. PEMBAHASAN

Pasien bedah saraf pasca operasi bisa berupa kasus elektif maupun emergency. Masuk ICU setelah prosedur bedah saraf ditentukan oleh kondisi neurologis dan medis pasien. Faktor preoperatif dan intraoperatif tertentu dapat menentukan kebutuhan perawatan ICU pascaoperasi, yang meliputi perubahan kesadaran sebelum operasi, lama pembedahan (>6 jam) dan kehilangan banyak darah dengan ketidakstabilan hemodinamik, pembedahan fossa posterior ekstensif yang melibatkan saraf kranial dan batang otak, reseksi arteriovenous malformation (AVM) dengan kemungkinan edema maligna pascaoperasi, dan pembedahan vaskular dengan iskemia otak yang signifikan. Meskipun insiden kematian perioperatif kurang dari 2%, komplikasi medis dan neurologis dapat terjadi pada periode pascaoperasi hingga 30% kasus. Oleh karena itu, komplikasi perioperatif harus diidentifikasi dan dikelola sebelum status neurologis dan medis pasien terganggu secara ireversibel. Berbagai komplikasi pasca operasi setelah operasi otak memerlukan perawatan di ICU.²

Tujuan utama dari perawatan intensif pasca operasi bedah saraf adalah deteksi dini dan pengobatan komplikasi pascaoperasi. Selanjutnya adalah mencegah terjadinya second insult atau kerusakan sekunder pada SSP yang rentan. Komplikasi pasca operasi bisa sistemik ataupun neurologik.¹

Pencegahan dan pengelolaan komplikasi sistemik setelah prosedur bedah saraf mengikuti prinsip-prinsip umum "perawatan intensif". Hal ini, penting untuk menyadari bahwa komplikasi sistemik dan second insults dapat memicu atau memperburuk kerusakan otak. Pengobatan agresif yang bertujuan untuk mencegah dan membatasi seconds insult sangat penting. Second insults yang sering terjadi, penyebabnya, dan efek buruknya pada homeostasis, dan fungsi otak diringkas dalam table di bawah ini, selanjutnya menggambarkan interaksi kompleks antara masalah sistemik dan fungsi SSP.¹

Monitoring Pasca Operasi Bedah Saraf

Pemeriksaan sistemik standar, penilaian neurologis, dan neuromonitoring sangat penting untuk mengenali perburukan dini pada periode pasca operasi.

Pemeriksaan fisik umum dan pemantauan ketat elektrokardiogram (EKG), saturasi oksigen kapiler perifer (SpO₂), tekanan darah (invasif dan noninvasif), suhu, tekanan vena sentral bersama dengan pengukuran elektrolit serum, osmolalitas, glukosa darah, dan analisa gas darah arteri diperlukan. Manajemen prioritas di ICU adalah stabilisasi cepat dari semua parameter vital untuk mencegah gangguan neurologis sekunder. Pemeriksaan neurologis melibatkan penilaian respons umum dengan Glasgow Coma Score (GCS), skor *unresponsiveness* (FOUR), pupil, fungsi saraf kranial, refleks, dan kekuatan motorik. Sistem penilaian fungsional sangat diperlukan karena membantu dalam menilai status neurologis secara kuantitatif dan membandingkan status neurologis dengan penilaian sebelumnya. Skor yang paling umum digunakan pada pasien neurologis adalah GCS.²

Konsep multimodal neuromonitoring modern telah bergeser dari pendekatan berbasis target fisiologis yang kaku ke pendekatan yang lebih spesifik untuk pasien. Multimodal neuromonitoring membantu dalam identifikasi awal indikator patofisiologi cedera otak sekunder. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan intervensi sedini mungkin sebelum kematian sel saraf permanen terjadi. Tekanan intrakranial (TIK), CBF, oksigenasi otak, elektrofisiologi, dan neuroimaging merupakan komponen penting dari neuromonitoring. Pada banyak kejadian intrakranial, peningkatan TIK dan tekanan perfusi serebral (CPP) yang rendah menyebabkan iskemia serebral. Pemantauan ICP merupakan komponen penting dari neuromonitoring multimodal dan membantu dalam mempertahankan CPP. Ada teknik pemantauan invasif dan noninvasif. *Gold standar* adalah pemantauan tekanan intraventrikular, yang memiliki keuntungan tambahan berupa *drainage* cairan serebrospinal (CSF) dan pemberian obat-obatan intraventrikular. Metode pemantauan TIK

noninvasif yang umum digunakan adalah pengukuran diameter selubung saraf optik menggunakan ultrasound (USG ONSD).³

ONSD secara akurat memprediksi TIK di atas 3 mmHg. Nilai batas atas ONSD terbaik untuk mendeteksi peningkatan TIK di atas 13 mmHg adalah 5,48 mm, dengan sensitivitas 91,1% dan spesifisitas 88%. Nilai batas ONSD terbaik untuk mendeteksi TIK > 22 mmHg adalah 5,83 mm, dengan sensitifitas 94,4% dan spesifisitas 81%.⁵

Aliran darah serebral dapat dipantau secara noninvasif pada periode pasca operasi menggunakan transkranial Doppler (TCD). Alat ini mengukur kecepatan aliran darah otak dan indeks turunan lainnya (indeks pulsatilitas) yang membantu dalam diagnosis vasospasme serebral dan hiperemia. TCD juga dapat digunakan untuk menilai autoregulasi tekanan, reaktivitas karbon dioksida serebrovaskular, dan estimasi TIK noninvasif.⁶

Oksigenasi serebral dapat dinilai dengan menggunakan oksimetri vena jugularis, oksimetri serebral, dan oksigenasi jaringan otak. Oksimetri vena jugularis adalah metode invasif untuk mengukur saturasi oksigen darah vena pada bulbus jugularis dan memberikan informasi ekstraksi oksigen global jaringan otak. Oksimetri serebral adalah teknik kontinu noninvasif untuk mengukur oksigenasi serebral regional menggunakan teknik spektroskopi inframerah jarak dekat. Pemantauan oksigen jaringan otak mewakili oksigen yang tersedia pada tingkat mitokondria serebral fokal untuk fosforilasi oksidatif.⁷

Mikrodialisis serebral memungkinkan pemantauan lingkungan metabolik jaringan otak (glukosa, laktat, piruvat, gliserol, glutamat, sitokin, neurotropik, dan penanda saraf lainnya). Namun, itu tidak banyak digunakan untuk tujuan klinis.⁸

Tujuan Manajemen Umum Pasien Pasca Operasi di ICU

Komplikasi pasca operasi setelah prosedur bedah saraf terutama terkait dengan patologi penyakit dasar pasien atau sekuel teknik bedah dan anestesi intraoperatif. Ketidakmampuan untuk menyelamatkan pasien

dari komplikasi yang berpotensi reversibel merupakan alasan penting morbiditas dan mortalitas perioperatif

Manajemen jalan napas dan Ventilasi

Pada pasien dengan GCS preoperasi <8, disfungsi saraf kranial bawah, dan menurun refleks muntah dan batuk yang lemah, jalan napas perlu diamankan. Obstruksi jalan napas dapat terlihat pada periode pascaoperasi pada pasien akromegali (karena makroglosia dan obstruktif sleep apnea). Pasien pasca operasi setelah operasi tulang belakang leher anterior atau endarterektomi karotis juga dapat terjadi obstruksi jalan napas karena edema atau hematoma. Pola pernapasan yang tidak teratur sering terjadi pasca operasi pada pasien dengan fossa posterior atau lesi batang otak. Cedera otak akut dapat menyebabkan edema paru neurogenik (NPE).

Manfaat jalan napas dan ventilasi yang aman adalah untuk menghindari hipoksia dan hiperkapnia, yang keduanya memperburuk cedera saraf pada periode pasca operasi. Oleh karena itu, kadar oksigen dan karbon dioksida arteri harus dipantau secara teratur. Setiap episode hipoksemia ($SpO_2 < 90\%$, tekanan parsial oksigen ($PaO_2 < 60$ mm Hg) meningkatkan morbiditas sebesar 40%.⁸

Tekanan parsial karbon dioksida ($PaCO_2$) adalah indikator kuat resistensi serebrovaskular. Ventilasi bertujuan untuk mempertahankan kadar $PaCO_2$ dalam kisaran normokapnik. Hipoverilasi dapat menyebabkan hiperemia serebral dengan peningkatan volume darah serebral dan peningkatan TIK, sementara hiperventilasi meningkatkan risiko vasokonstriksi dan hipoksia jaringan. Dalam pengelolaan hipertensi intrakranial, strategi hiperventilasi berguna untuk menurunkan ICP. Hiperventilasi hanya berguna sebagai strategi jangka pendek. Mode ventilasi volume control mungkin lebih baik untuk meminimalkan variasi tingkat $PaCO_2$. PEEP5 sampai 8 cm H₂O dapat diberikan dengan aman untuk mencegah atelektasis.⁹

Posisi Head Up

Pada pasien bedah saraf, sangat baik untuk menjaga pasien dalam posisi kepala sedikit tinggi (15-30 °) untuk meningkatkan drainase vena dan mengurangi risiko peningkatan TIK. Juga, ini membantu mengurangi risiko aspirasi.

Manajemen Kardiovaskular

Hipertensi pascaoperasi dapat memicu terjadinya edema serebral, perdarahan intrakranial serta perdarahan ekstrakranial. Oleh karena itu, kontrol tekanan darah yang ketat sangat penting pada pasien hipertensi yang telah menjalani operasi pembuluh darah intrakranial. Hipertensi mungkin merupakan bagian dari refleks Cushing, atau akibat nyeri akut atau hiperkarbia. Jadi disarankan untuk menggunakan pemantauan tekanan darah invasif dalam kondisi seperti itu pada periode pasca operasi. Hipotensi pascaoperasi harus ditangani secara adekuat dengan cairan dan vasopresor. Hipotensi menyebabkan penurunan aliran darah otak dan CPP, yang menghasilkan refleks vasodilatasi, peningkatan volume darah otak, dan TIK tinggi. Baik peningkatan TIK dan penurunan CPP pada periode pasca operasi adalah merugikan dalam hal hasil neurologis.¹⁰

Analgesia dan Mual dan Muntah Pasca Operasi

Sebagian besar pasien mengalami nyeri sedang hingga berat setelah operasi intrakranial selama 48 jam pertama. Kontrol nyeri yang memadai, memfasilitasi penilaian neurologis yang akurat, mencegah peningkatan tekanan darah, dan memungkinkan pemulihan dini. Pengobatan multimodal dengan parasetamol, opioid, infiltrasi anestesi lokal, dan blok kulit kepala memberikan analgesia yang memadai pada periode pasca operasi. Insiden keseluruhan dari mual dan muntah pasca operasi (PONV) setelah kraniotomi adalah sekitar 50%. Muntah menyebabkan peningkatan TIK karena hipertensi sistemik dan peningkatan pada tekanan abdomen dan intratorakal. Obat-obatan seperti ondansetron, dexamethasone, cyclizine, dan bahkan hyoscine patch dapat digunakan untuk mencegah dan mengobati PONV.¹¹

Gangguan Cairan dan Elektrolit Pasca Operasi

Pasien bedah saraf sering menunjukkan perubahan volume intravaskular karena penggunaan diuretik kuat, puasa berkepanjangan, muntah (peningkatan TIK), perdarahan, dan gangguan elektrolit. Pergerakan air dari ekstraseluler otak dan pembuluh darah terutama didorong oleh gradien osmotik. Penggunaan cairan hipoosmolar seperti dekstrosa 5% dan saline 0,45% mempotensiasi edema otak, sedangkan agen hiperosmolar seperti manitol, gliserol, dan salin hipertonik menurunkan edema serebral. Oleh karena itu pada periode pasca operasi, status cairan harus dipantau menggunakan parameter hemodinamik dinamis, dan kristaloid isotonik harus digunakan untuk mempertahankan euvolemia.¹²

Manajemen Suhu

Euthermia harus dipertahankan pada periode pasca operasi. Hipotermia operasi lama dan paparan lingkungan dingin menunda pemulihan dan meningkatkan risiko kejadian infeksi pasca operasi. Menggigil pascaoperasi meningkatkan konsumsi oksigen tubuh hingga 300 hingga 400%. Hipertermia dalam kasus bedah saraf juga merugikan.¹³

Nutrisi

Pemberian makan harus dimulai awal pada periode pasca operasi, baik melalui rute oral, nasogastrik, atau transgastrik, bersama dengan profilaksis untuk ulkus stres.

Kontrol Glikemik Darah

Glukosa darah yang ekstrem berpengaruh terhadap buruknya hasil neurologis. Kontrol glikemik berpengaruh juga pada pasien yang menerima kortikosteroid sebagai bagian dari terapi penggantian hormon atau sebagai tindakan dekongestan untuk mengurangi edema vasogenik. Penatalaksanaan glukosa darah pada bedah saraf cenderung mengarah pada sasaran kadar glukosa plasma *moderate* (140-180 mg/dL). Mekanisme yang tepat bagaimana hiperglikemia memperburuk cedera saraf iskemik tidak diketahui dengan jelas tetapi melibatkan stres oksidatif pada tingkat sel.

Komplikasi Pembedahan Tumor Supratentorial

Hematoma pascaoperasi, edema serebral, kejang, nyeri pascakraniotomi, dan PONV adalah komplikasi umum setelah operasi supratentorial. Hematoma dasar tumor karena hemostasis tidak lengkap, hematoma subdural atau epidural tidak jarang terjadi. Pencegahan hipertensi atau batuk berlebihan dan bucking selama *emergence* adalah penting. Penatalaksanaan yaitu CT scan kepala non kontras urgency dan tindakan untuk menurunkan peningkatan TIK, evakuasi hematoma, dan kraniektomi dekompresi. Hidrosefalus dapat terjadi kemudian setelah reseksi glioma maligna supratentorial dan harus dipertimbangkan pada kasus perbaikan di awal yang diikuti dengan penurunan kesadaran kemudian. Shunting CSF pada kasus hidrosefalus komunikans memberikan hasil yang memuaskan.

KESIMPULAN

1. Hasil setelah prosedur *neurosurgery* bergantung tidak hanya pada teknik pembedahan tetapi juga pada perawatan pascaoperasi.
2. Penilaian rutin yang cermat, multimodal neuromonitoring, bersama dengan deteksi dini dan pengelolaan komplikasi oleh intensivis yang waspada tetap menjadi landasan manajemen pasca operasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Maas. A.I.R, Intensive Care After Neurosurgery, Textbook of Critical Care, 6th Ed, Elsevier Saunders, Hal-251-261.
2. Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. *Lancet* 1974;2(7872):81-84
3. Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care* 2011;15(3):506-515
4. Gao, Y., Li, Q., Wu, C., Liu, S., &

- Zhang, M. (2018). Diagnostic and prognostic value of the optic nerve sheath diameter with respect to the intracranial pressure and neurological outcome of patients following hemicraniectomy. *BMC Neurology*, *18*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12883-018-1202-5>
5. Wang, L. J., Yao, Y., Feng, L. S., Wang, Y. Z., Zheng, N. N., Feng, J. C., & Xing, Y. Q. (2017). Noninvasive and quantitative intracranial pressure estimation using ultrasonographic measurement of optic nerve sheath diameter. *Scientific Reports*, *7*(August 2016), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep42063>
 6. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57(6):769–774
 7. Chierigato A, Calzolari F, Trasforini G, Targa L, Latronico N. Normal jugular bulb oxygen saturation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003;74(6):784–786
 8. Davison DL, Terek M, Chawla LS. Neurogenic pulmonary edema. *Crit Care* 2012;16(2):212
 9. McHugh GS, Engel DC, Butcher I, et al. Prognostic value of secondary insults in traumatic brain injury: results from the IMPACT study. *J Neurotrauma* 2007;24(2):287–293
 10. Meyfroidt G, Baguley IJ, Menon DK. Paroxysmal sympathetic hyperactivity: the storm after acute brain injury. *Lancet Neurol* 2017;16(9):721–729
 11. Thibault M, Girard F, Moumdjian R, Chouinard P, Boudreault D, Ruel M. Craniotomy site influences postoperative pain following neurosurgical procedures: a retrospective study. *Can J Anaesth* 2007;54(7):544–548
 12. Tisdall M, Crocker M, Watkiss J, Smith M. Disturbances of sodium in critically ill neurologic patients. *J Neurosurg Anesthesiol* 2006;18:57–63
 13. Andrews PJ, Sinclair HL, Rodriguez A, et al; Eurotherm 3235 Trial Collaborators. Hypothermia for Intracranial Hypertension after Traumatic Brain Injury. *N Engl J Med* 2015;373(25):2403–2412