

特集 PCAS 2024 コラム

advanced 脳機能モニタリング

NIRS

その有用性は脳波モニタリングのトリガーにあり

下山 京一郎 ○○○○○○ 10a 見出し NA31
TMG あさか医療センター 神経集中治療科, Neuro ICU and Coma Science Center 9a 新IR

はじめに 60% + スミ20%
集中治療において全身の酸素需給バランスを適正化することは必須である。特に脳は、酸素消費量が多い臓器で、心停止後の低酸素脳症 hypoxic-ischemic brain injury (HIBI) の管理において脳局所酸素飽和度 regional oxygen saturation (rSO₂) を用いた酸素需給バランスの把握が有効な可能性がある。NIRS (近赤外線分光法 near infrared spectroscopy) は近赤外線分光を用いて rSO₂ を測定し、非侵襲的かつ連続的なモニタリングを可能とする。測定原理やエビデンスの詳細は次号以降での解説を予定し、本稿では NIRS の概説と HIBI における有用性について述べる。

法用 (以下同)

NIRSとは

近赤外線分光は、生体組織を透過し組織の酸素化ヘモグロビン (Hb), 脱酸素化 Hb などの吸光特性の違いを利用して rSO₂ を測定する¹⁾。脳

法用 (以下同)

図1 NIRSの測定

粘着性のセンサーを貼布して、脳 rSO₂ を測定する。貼付部から数 cm 下の組織全体の酸素飽和度を反映し、脳実質外血液、脳脊髄液だけでなく、頭蓋骨や軟部組織の影響を受ける。

図中ネーム
・基本 1/a ロダンM
・太くするネーム 1/a ロダンDB (以下同)

図版は、0.12 94ケイ
色ベタ2 囲む (以下同)

73 109

キーワード
低酸素脳症 (HIBI)
脳局所酸素飽和度 (rSO₂)
脳波異常
脳の酸素需給バランス

rSO₂ の測定は容易で、前額部に粘着性のセンサーを貼ることでモニタリングされる (図1)。測定可能な組織の深度はセンサー貼付部から数 cm 下と報告されている²⁾。rSO₂ の値は測定範囲内の組織全体の酸素飽和度を反映し、脳実質外血液、脳脊髄液だけでなく、頭蓋骨や軟部組織の影響を受ける。髄液だけでなく、頭蓋骨や軟部組織の影響を受ける。また、臨床使用可能な rSO₂ の測定機器は複数あり³⁾、測定アルゴリズムはそれぞれで異なるため、これらの要素に影響を受ける程度も異なる。したがって、rSO₂ の正常値を定量化することは困難で、相対的変化の評価が重要となる。

図2に、rSO₂ が低下する病態例を示す。参考値として rSO₂ の絶対値 ≤ 50%、または rSO₂ が基準から 20% 低下した場合に介入を検討と提案されている¹⁾。

PCASにおけるNIRS

前所属施設では、クラッシュ症候群の病態を検討しており⁴⁾、局所組織の酸素需給バランスを重要視して NIRS モニタリングが積極的に行われていた。機器は NIRO-200NS (浜松ホトニクス) を多く用いていた。

NIRS は、主に心臓血管外科、頸動脈剥離術領域で有用性が蓄積され、

表1 近年のNIRSとHIBIに関する研究

著者 (発表年)	研究デザイン (対象患者)	症例数	曝露	主たる結果
Meex I, et al (2013) ⁷⁾	前向き観察研究 (成人の蘇生に成功した OHCA)	28 例	NIRS を復温完了までモニタリング (33 度で 24 時間維持, 0.3 度/時で腹温)	生存退院した群の低体温療法開始から 3 時間時点での rSO ₂ は高値であった (中央値 (95% CI) 2% (59 ~ 66) vs. 58% (55 ~ 59) p = 0.02)
Storm C, et al (2014) ⁸⁾	前向き観察研究 (成人の蘇生に成功した心停止患者)	60 例	NIRS を 40 時間モニタリング	良好な予後 (180 日後の CPC 1 ~ 2) の患者では rSO ₂ がどの期間においても高かった
Ahn A, et al (2014) ⁹⁾	前向き観察研究 (成人の蘇生に成功した心停止患者)	21 例	NIRS を 48 時間モニタリング	生存退院した群の最初の 24 時間の rSO ₂ は死亡した群よりも高かった (中央値 (95% CI) 68.2 (66.0 ~ 71.0) vs. 62.9 (56.5 ~ 66.0), p = 0.01)
Bouglé A, et al (2016) ¹⁰⁾	前向き観察研究 (成人の蘇生に成功した OHCA)	43 例	NIRS を 48 時間モニタリング	良好な予後 (退院時の CPC 1 ~ 2) と 48 時間の平均 rSO ₂ 値に関連はみられなかった (平均値 (SD) 61.8 (5.9) vs. 58.1 (8.8), p = 0.13)
Genbrugge C (2016) ¹¹⁾	前向き観察研究 (成人の蘇生に成功した OHCA)	107 例	NIRS を 48 時間モニタリング	生存退院した群は 48 時間の平均 rSO ₂ 値が高かった (平均値 (SD) 68 (4) vs. 66 (5), p = 0.035)
Santa A (2018) ¹²⁾	前向き観察研究 (成人の蘇生に成功した心停止患者)	32 例	NIRS を 48 時間モニタリング	良好な予後 (90 日後の CPC 1 ~ 2) と rSO ₂ 値に関連はみられなかった
Jakkula P, et al (2019) ¹³⁾	RCT の post hoc 解析 (成人の蘇生に成功した shockable rhythm の OHCA)	118 例	NIRS を 36 時間モニタリング	良好な予後 (180 日後の CPC 1 ~ 2) と rSO ₂ 値に関連はみられなかった
Laurikkala J, et al (2021) ¹⁴⁾	RCT の post hoc 解析 (成人の蘇生に成功した shockable rhythm の OHCA)	108 例	NIRS を 48 時間モニタリング	NIRS と平均動脈圧により算出される TOx が良好な予後 (180 日後の CPC1-2) の患者では低値であった。

CI: 信頼区間, CPC: cerebral performance category, NIRS: 近赤外線分光法, OHCA: 院外心停止, RCT: 無作為化比較試験, SD: 標準偏差, TOx: tissue oximetry index

心臓手術中に rSO₂ 値を術前に近い値を目標に管理することで、手術に関連した脳梗塞の頻度が減少すること⁵⁾や、頸動脈剥離術中の rSO₂ 値が 20% 以上低下した場合は脳の低灌流と強く関連していること⁶⁾が示されている。

HIBI において、NIRS は予後予測を中心に検討されているが、表 1^{7)~14)} に示すように相反する結果が示されており、その有用性や位置づけは明らかになっていない¹⁵⁾。筆者は HIBI における NIRS の有用性は脳波モニタリングのトリガーにあると考える。

図2 脳 rSO₂ が低下する病態例

NIRS により測定された脳 rSO₂ 値が低下する病態例を示す。図正中が基準で、脳酸素消費量 (CMRO₂) の増大が生じれば基準から酸素化 Hb (O₂Hb) は低下し、還元型 Hb (HHb) が増加することで脳 rSO₂ は低下する (図左上)。酸素供給量 (DO₂) の低下が生じると基準から O₂Hb が低下し、rSO₂ は低下する (図左下)。静脈還流障害では、基準から HHb が中心に増加し rSO₂ が低下する (図右)。このように rSO₂ 値は CMRO₂ の増大、脳組織に対する DO₂ の低下、静脈還流障害などさまざまな病態で低下する。(文献 2 をもとに筆者作成)

50 115

図3 NIRSを中心としたHIBIに対する治療戦略

rSO₂: 脳局所酸素飽和度, DO₂: 酸素供給量, CMRO₂: 脳酸素消費量, VA-ECMO: 静動脈-体外式膜型人工肺 (参考文献をもとに筆者作成)

実際の運用

NIRSを中心としたHIBIに対する治療戦略

図3に、NIRS以外にモニタリングデバイスが限られた状況で生理学的蘇生は完了していると仮定したHIBIの急性期治療戦略を提案する。他疾患を対象とした先行研究や生理学的背景から筆者が作成したものであり、臨床適応にあたっては留意されたい。rSO₂の急激な変動や、異常値を呈した時には、まずセンサーが適切に貼付されているか、外部光の影響を受けていないか、過度に頸部が屈曲していないか等測定 of 正確性を確認することが重要である。図3左のごとく rSO₂ ≤ 50% または rSO₂ 左右差 ≥ 20% となった場合、図2のように脳へのDO₂の不足や、脳酸素消費量 cerebral metabolic rate of oxygen (CMRO₂) が亢進している可能性が示唆される。したがって前者に対しては、細胞外液の補充や、強心薬の使用、静動脈-体外式膜型人工肺 (VA-ECMO) や大動脈内バルーンポンピング (IABP) などの機械的循環補助 (MCS) デバイスを調整し、脳血流量を増加させることで改善することがある²⁾。また、頭部外傷のアプローチのように頭蓋内圧上昇に対する介入も有用と考えられる²¹⁾。特に片側性の変化の場合は、MCSのmixing zoneが影響している可能性が高い²²⁾。

脳酸素消費量の亢進に対しては、体温維持療法の初期の時相であれば鎮静深度を深める戦略や、ESzやESEによる酸素消費量の亢進¹⁷⁾を念頭に、抗発作薬を追加することで改善する可能性があり、復温後の時

相であれば全身の代謝亢進をきたす敗血症を評価する必要がある²³⁾。これらの対応をしてもrSO₂に改善が認められない場合は、頭蓋内に器質的異常をきたしている可能性が高、頭部CTなどの画像評価が必要になる。

図3右のように、rSO₂が高値または基準から10%以上の上昇を認めた場合、高酸素血症を呈している可能性があり、動脈血酸素飽和度の確認やMCSの調整で改善することがある。またESzやESEによってCMRO₂の低下よりも血流亢進の病態が前面にでている可能性があり抗発作薬の投与を考慮する²⁴⁾。

おわりに

NIRSには測定の容易さ、非侵襲性、継続的なモニタリングができるという長所があり、HIBIの多角的な評価法の1つとして臨床適応が容易で、本領域での今後の発展に大きな可能性があると考えられる。本稿が皆様のNIRSに対する障壁取り除き、NIRSについての知見が集積されていく一助になれば幸いである。

文献

- Scheeren TW, Schober P, Schwarte LA. Monitoring tissue oxygenation by near infrared spectroscopy (NIRS): background and current applications. J Clin Monit Comput 2012; 26: 279-87. PMID: 22467064
- Scholkmann F, Kleiser S, Metz AJ, et al. A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. Neuroimage 2014; 85: 6-27. PMID: 23684868
- Yoshitani K, Kawaguchi M, Ishida K, et al. Guidelines for the use of cerebral oximetry by near-infrared spectroscopy in cardiovascular anesthesia: a report by the cerebrospinal Division of the Academic Committee of the Japanese Society of Cardiovascular Anesthesiologists (JSCVA). J Anesth 2019; 33: 167-196. PMID: 30737572
- Oda J, Tanaka H, Yoshioka T, et al. Analysis of 372 patients with Crush syndrome caused by the Hanshin-Awaji earthquake. J Trauma 1997; 42: 470-5. PMID: 9095115
- Goldman S, Sutter F, Ferdinand F, Trace C. Optimizing intraoperative cerebral oxygen delivery using noninvasive cerebral oximetry decreases the incidence of stroke for cardiac surgical patients. Heart Surg Forum 2004; 7: E376-81. PMID: 15799908
- Moritz S, Kasprzak P, Arlt M, Taeger K, Metz C. Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterectomy: a comparison of transcranial Doppler sonography, near-infrared spectroscopy, stump pressure, and somatosensory evoked potentials. Anesthesiology 2007; 107: 563-9. PMID: 17893451
- Meex I, Dens J, Jans F, et al. Cerebral tissue oxygen saturation during therapeutic hypothermia in post-cardiac arrest patients. Resuscitation 2013; 84: 788-93. PMID: 23313422
- Storm C, Leithner C, Krannich A, et al. Regional cerebral oxygen saturation after cardiac arrest in 60 patients—a prospective outcome study. Resuscitation 2014; 85: 1037-41. PMID: 24795284
- Ahn A, Yang J, Inigo-Santiago L, et al. A feasibility study of cerebral oximetry monitoring during the post-resuscitation period in comatose patients following cardiac arrest. Resuscitation 2014; 85: 522-6. PMID: 24361675
- Bouglé A, Daviaud F, Bougouin W, et al. Determinants and significance of cerebral oximetry after cardiac arrest: A prospective cohort study. Resuscitation 2016; 99: 1-6. PMID: 26655586
- Genbrugge C, Eertmans W, Meex I, et al. What is the value of regional cerebral saturation in post-cardiac arrest patients? A prospective observational study. Crit Care 2016; 20: 327. PMID: 27733184
- Santaş A, Çinletli BA, Zincircioglu Ç, et al. Effect of regional cerebral oximetry to estimate neurologic prognostic outcomes in patients administered targeted temperature management. Am J Emerg Med 2018; 36: 2236-41. PMID: 29655502
- Jakkula P, Hästbacka J, Reinikainen M, et al. Near-infrared spectroscopy after out-of-hospital cardiac arrest. Crit Care 2019; 23: 171. PMID: 31088512
- Laurikkala J, Aneman A, Peng A, et al. Association of deranged cerebrovascular reactivity with brain injury following cardiac arrest: a post-hoc analysis of the COMACARE trial. Crit Care 2021; 25: 350. PMID: 34583763
- Skrifvars MB, Sekhon M, Aneman EA. Monitoring and modifying brain oxygenation in patients at risk of hypoxic ischaemic brain injury after cardiac arrest. Crit Care 2021; 25: 312. PMID: 34461973
- Hirsch LJ, Fong MWK, Leltinger M, et al. American Clinical Neurophysiology Society's Standardized Critical Care EEG Terminology: 2021 Version. J Clin Neurophysiol. 2021; 38: 1-29. PMID: 33475321
- Witsch J, Frey HP, Schmidt JM, et al. Electroencephalographic periodic discharges and frequency-dependent brain tissue hypoxia in acute brain injury. JAMA Neurol. 2017; 74: 301-9. PMID: 28097330
- Leal-Noval SR, Cayuela A, Arellano-Orden V, et al. Invasive and noninvasive assessment of cerebral oxygenation in patients with severe traumatic brain injury. Intensive Care Med 2010; 36: 1309-17. PMID: 20502869
- Ohtomo H, Otsubo H, Arai H, et al. Hyperperfusion in the thalamus on arterial spin labelling indicates non-convulsive status epilepticus. Brain Commun 2020; 3: eaa223. PMID: 33501426
- Holland RL, Robba C, Menon DK, et al. Clinical targeting of the cerebral oxygen cascade to improve brain oxygenation in patients with hypoxic-ischaemic brain injury after cardiac arrest. Intensive Care Med 2023; 49: 1062-78. PMID: 37507572
- Hirsch KG, Abella BS, Amorim E, et al. Critical care management of patients after cardiac arrest: a scientific statement from the American Heart Association and Neurocritical Care Society. Circulation 2024; 149: e168-e200. PMID: 38014539
- Pozzebon S, Blandino Ortiz A, Franchi F, et al. Cerebral near-infrared spectroscopy in adult patients undergoing veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation. Neurocrit Care 2018; 94-104. PMID: 29560599
- Taccone FS, Scolletta S, Franchi F, et al. Brain perfusion in sepsis. Curr Vasc Pharmacol 2013; 11: 170-86. PMID: 23506496
- Seyal M. Frontal hemodynamic changes precede EEG onset of temporal lobe seizures. Clin Neurophysiol. 2014; 125: 442-8. PMID: 24079949

利益相反 (COI): 日本集中治療医学会 CTG 委員会研究助成