

Correlation between cerebral oxygenation and neurocognitive function after cardiac surgery

Biró Ervin-Zoltán¹, Bóti Gergely István²

¹Clinical Hospital of Târgu Mureș: Obstetrics and Gynaecology; ²Emergency Hospital of Târgu Mureș: Anesthesiology and Intensive Care

Abstract • Brain hypoperfusion is a major contributor to neurocognitive impairment following cardiac surgery. To mitigate this risk, target intraoperative values include a mean arterial blood pressure of 50–80 mmHg and cerebral oxygen saturation levels between 60% and 80%. This study aims to examine the relationship between cerebral oxygenation levels, as measured by near-infrared spectroscopy (NIRS) during cardiac surgery, and postoperative neurocognitive outcomes. This prospective clinical study included 59 patients who underwent open-heart surgery. Patients were categorized into four groups based on intraoperative NIRS values: NIRS-1: Bilateral saturation >60%; NIRS-2: Unilateral saturation >60%; NIRS-3: Saturation between 40% and 60%; NIRS-4: At least one value <40%. Postoperative cognitive function was assessed using the Mini-Mental State Examination (MMSE). The study population included 59 patients (34 male, 25 female) with a mean age of 63.8±7.6 years. In the NIRS-1 and NIRS-2 groups (28 patients), the mean MMSE score was 24.6, with 10 patients exhibiting mild cognitive impairment. The NIRS-4 group included eight patients, two of whom developed neurological dysfunction; the remaining patients in this group had a mean MMSE score of 13.6. A statistically significant difference was observed between gender distribution and the NIRS-1 and NIRS-3 groups ($p=0.02$). Our findings indicate that lower intraoperative NIRS values (40%–60% or <40%) and prolonged cardiopulmonary bypass are associated with a higher incidence of postoperative neurocognitive dysfunction. Correspondingly, MMSE scores were lower in these patients, highlighting the potential impact of intraoperative cerebral oxygenation on cognitive outcomes.

Keywords • Neurocognitive dysfunction, near-infrared spectroscopy (NIRS), brain hypoperfusion, postoperative complications

DOI: 10.2478/orvtudert-2023-0012

Bulletin of Medical Sciences 2023, 96(2): 145–156

Introduction

More than two million cardiac surgeries are performed worldwide each year, primarily in elderly patients with comorbidities such as diabetes, *chronic obstructive pulmonary disease* (COPD), *atherosclerosis*, and hypertension. These individuals are at a higher risk of postoperative complications and mortality [1].

The brain and kidneys are particularly vulnerable to fluctuations in blood pressure (BP) during cardiac sur-

gery. Although there is no universally established safe BP value before, during, or after *cardiopulmonary bypass* (CPB), the literature suggests a guideline range of 50–80 mmHg [2]. In this study, we aimed to maintain mean arterial pressure (MAP) values between 70–100 mmHg in patients with carotid stenosis to ensure an optimal physiological range [3]. In both *on-pump* and *off-pump coronary artery bypass grafting* (CABG), maintaining optimal cerebral perfusion pressure relies on cerebral autoregulation, even amidst fluctuations in blood pressure [4].

Patients who develop neurocognitive complications following cardiac surgery tend to experience prolonged intensive care unit (ICU) and hospital stays, along with increased in-hospital mortality compared to those without such complications [5]. The American Heart Association classifies these postoperative neurological impairments

Corresponding author

Biró Ervin-Zoltán

Strada 22 Decembrie 1989 33/14

Târgu Mureș, 540113

Email: biro.ervin09@gmail.com

into two categories: Type I, which includes brain death and ischemic stroke, and Type II, which encompasses postoperative delirium (POD) and *postoperative cognitive dysfunction* (POCD) [6].

The objective of this study is to investigate the correlation between cerebral oxygen saturation, as measured by near-infrared spectroscopy (NIRS) during cardiac surgery, and the occurrence of neurocognitive dysfunction postoperatively. This analysis considers patients' baseline diagnoses, comorbidities, risk factors, and postoperative complications.

Materials and methods

This study included 59 patients who underwent open-heart surgery for various cardiovascular conditions.

Inclusion criteria:

- Adult patients with preoperative normal neurocognitive status, confirmed by a Mini-Mental State Examination (MMSE) score in the upper range (>25) one day prior to surgery.
- Patients requiring cerebral oxygenation monitoring via NIRS during cardiac surgery (e.g., coronary revascularization, carotid stenosis, atherosclerosis, emergency surgery, aortic aneurysm, or dissection).

Exclusion criteria:

- Use of antipsychotic medications
- Pre-existing neurological disorders (e.g., aphasia)
- Cognitive impairment preventing completion of the questionnaire
- Preoperative MMSE score ≤ 25

In addition to general patient data, we recorded comorbidities, surgical diagnoses, intraoperative NIRS values, extracorporeal circulation time, and parameters relevant to postoperative assessment (MMSE scores, surgical complications, laboratory findings, and *Glasgow Coma Scale* [GCS] scores).

NIRS is a non-invasive monitoring technique that is unaffected by anesthetic agents. It operates by measuring light absorption and scattering to assess oxyhemoglobin and deoxyhemoglobin concentrations. The absolute method quantifies tissue concentrations, whereas the relative method evaluates their variations. Continuous-wave NIRS assumes that tissue light scattering remains constant during measurement and relies on light intensity readings. However, this approach cannot provide absolute values for oxyhemoglobin and deoxyhemoglo-

bin, as it is unable to determine scattering and absorption coefficients simultaneously. Spatial resolution spectrometry, which detects photons at a specified distance from the light source, allows only quantitative measurements of tissue oxygen supply. Multi-channel continuous-wave NIRS, in contrast, enables regional mapping of oxygenation, making it useful for assessing hemodynamic status over a broader area.

The literature defines the normal range for cerebral oxygen saturation as 60–80%, whereas a 20% reduction from baseline is considered abnormal. Oxygen levels above 60% during surgery are associated with favorable postoperative outcomes, while values between 40–60% indicate reduced oxygenation, though neurocognitive impairment does not occur in 50% of such cases. When oxygen levels drop below 40%, severe hypoxia is indicated, with prolonged exposure significantly increasing the risk of neurocognitive complications.

Patients were categorized into four groups based on their lowest recorded NIRS values (**Table 1**):

The **Mini-Mental State Examination** (MMSE) was used to assess patients' neurocognitive function one day before surgery and on postoperative day 3. While preoperative anxiety can lead to biased results, early postoperative testing may also introduce inaccuracies. However, due to hospitalization constraints, assessments were conducted on the third postoperative day. Based on clinical experience, this timeframe allows patients to recover sufficiently for a reliable MMSE evaluation. Although this represents a potential limitation of the study, long-term follow-up was not feasible. Nonetheless, applying the same assessment timeline across all patients ensured consistency in evaluating pre- and postoperative cognitive status.

Educational background was also considered a potential confounding factor, which we attempted to control when selecting the patient population.

The MMSE is an 11-item questionnaire that evaluates spatiotemporal orientation, memory, attention, recall, language, and executive function. Scoring is based on the

Table 1. NIRS Group Classifications

Group	Measured NIRS Value
NIRS-1	Bilateral >60%
NIRS-2	One side <60%
NIRS-3	Bilateral 40–60%
NIRS-4	One side <40%

Table 2. MMSE Score Classification

MMSE Score	Cognitive State
≥25	Normal cognitive function
21–24	Mild cognitive impairment
10–20	Moderate cognitive impairment
≤9	Severe cognitive impairment

number of correct responses, with a maximum possible score of 30 points. Cognitive function is classified as follows in **Table 2**.

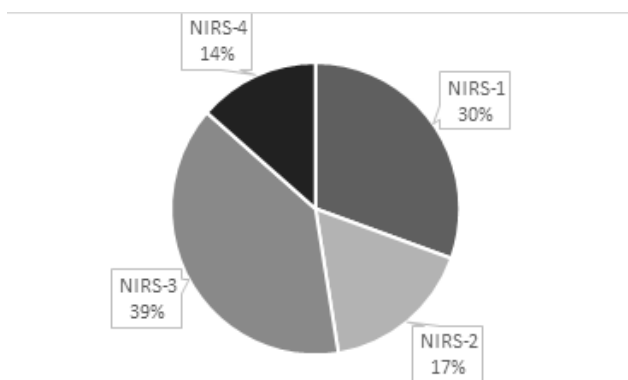
Statistical analysis was performed using *Microsoft Office Excel 2016* and *GraphPad Prism 9*. ANOVA, Fisher's exact test, and the Kruskal-Wallis test were applied for data analysis. A p-value of <0.05 was considered statistically significant. Cerebral oxygen saturation levels measured via NIRS were analyzed in relation to intraoperative blood pressure, surgical diagnosis, preoperative comorbidities, postoperative blood parameters, and postoperative complications.

Results

Between January 1, 2022, and December 31, 2022, we monitored the intraoperative and postoperative status of 59 adult patients (34 men, 25 women) undergoing cardiac surgery. The mean age of the cohort was 63 ± 7 years (range: 48–80 years), with most patients' age ranging between 60–70 years.

Among the 59 patients:

- 18 patients (30%) were in the NIRS-1 group
- 10 patients (17%) were in the NIRS-2 group
- 24 patients (41%) were in the NIRS-3 group
- 8 patients (13%) were in the NIRS-4 group

**Figure 1.** Distribution of Patients in NIRS Groups

Age and Gender Distribution

Significantly more women belong to the NIRS-3 group than to the NIRS-1 group ($p=0.02$) (**Figure 2**).

There were no significant age differences among groups; however, the NIRS-4 group had a higher mean age (66 ± 6 years) compared to the other groups (NIRS-1: 62 ± 9 years, NIRS-2: 65 ± 5 years, NIRS-3: 64 ± 8 years).

Surgical Diagnosis and NIRS Correlation

Patients were categorized into five diagnostic groups:

1. Coronary artery disease (CAD)
2. Valvular disease
3. Combined coronary and valvular pathology
4. Valvular and ascending aortic pathology
5. Other cardiac conditions

Valvular pathology was observed in 23 patients, with 52% of cases in the NIRS-3 group ($p=0.04$).

14 patients underwent combined coronary and valvular surgery, with a statistically significant association ($p=0.01$) between combined surgery and NIRS scores, particularly in the NIRS-2 group (43% of cases).

Extracorporeal Circulation and Cerebral Oxygenation

A significant correlation was found between the duration of extracorporeal circulation and NIRS values ($p=0.03$) (**Table 3**). However, no significant association was observed between total surgical duration and cerebral oxygenation.

Hemoglobin and Inflammatory Markers

Hemoglobin (Hgb) levels were monitored as an indicator of oxygen-carrying capacity. No significant correlation was found between Hgb levels and NIRS values. The highest mean Hgb was recorded on postoperative day 1 (9.16 g/dL), with the lowest on postoperative day 2 (8.76 g/dL $\pm$ 6.3–7.5 g/dL).

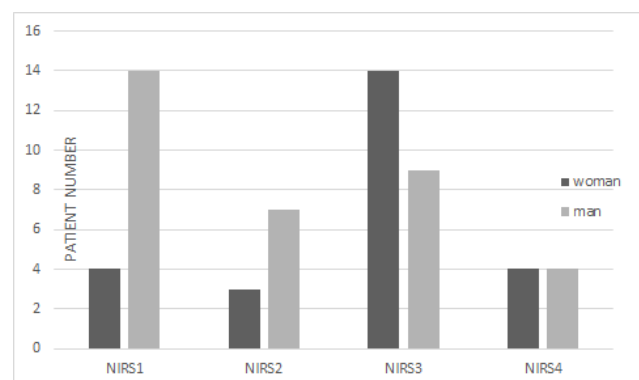
**Figure 2.** Gender Distribution

Table 3. Duration of Extracorporeal Circulation by NIRS Group

NIRS Group	Average Extracorporeal Circulation Duration (min)	Range (min)
NIRS-1	140 ±	(87–241)
NIRS-2	124.9 ±	(67–240)
NIRS-3	139.3 ±	(76–277)
NIRS-4	212.75 ±	(99–322)

Among inflammatory markers, C-reactive protein (CRP) levels were evaluated postoperatively. While all groups exhibited CRP levels above the normal range (>0.5 mg/dL), no statistically significant differences were noted. The NIRS-4 group exhibited the highest CRP levels on the first two postoperative days (7 mg/dL and 15 mg/dL, respectively).

Neurological and Cognitive Outcomes

Although postoperative neurological impairments were more frequent in the NIRS-3 and NIRS-4 groups, the association with low intraoperative cerebral oxygenation was not statistically significant ($p=0.06$). In the NIRS-4 group, 16 postoperative complications were recorded, including two cases of neurological impairment (12.5%). In the NIRS-3 group, one patient developed cognitive dysfunction out of 18 reported postoperative complications.

The Glasgow Coma Scale (GCS) was used to assess consciousness on postoperative day 1. The GCS scores correlated with intraoperative NIRS values, with the highest scores in NIRS-1 patients. A statistically significant difference was observed between the GCS scores of NIRS-1 and NIRS-4 groups ($p<0.01$, **Figure 3**).

MMSE Scores and Neurocognitive Dysfunction

Among the 59 patients:

- 25 patients (42%) had mild neurocognitive dysfunction

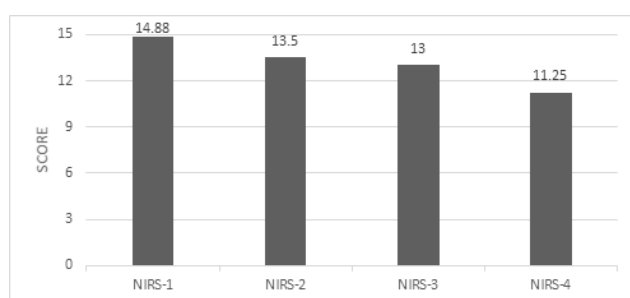
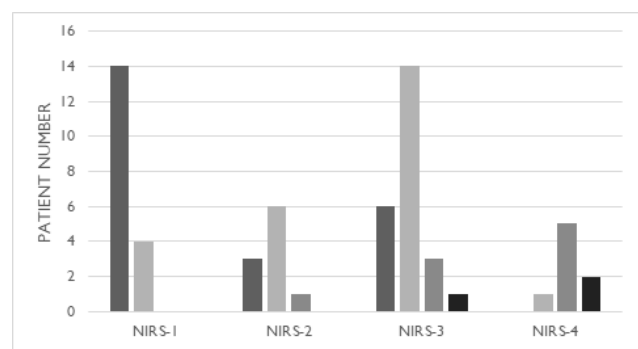
- 9 patients (15%) had moderate dysfunction
- 3 patients (5%) had severe impairment
- The remaining patients had normal cognitive function

MMSE scores were significantly lower in the NIRS-4 group compared to the NIRS-1 group ($p<0.01$, **Figure 4**).

Discussion

The incidence of postoperative cognitive dysfunction (POCD) following cardiac surgery varies widely, ranging from 33% to 83%. Given its high prevalence and unpredictable occurrence, continuous intraoperative cerebral oxygenation monitoring is crucial. Rapid intervention to correct cerebral desaturation can help mitigate postoperative neurocognitive impairment. Notably, near-infrared spectroscopy (NIRS) serves as a valuable prognostic tool, offering insight into both the onset and severity of potential neurological and systemic complications. Although POCD is a multifactorial complication does not directly increase mortality, it can significantly and persistently impact patients' quality of life, underscoring the importance of prevention as the primary management strategy. [7]

Regarding the patient cohort, 58% of the 59 patients were male, which aligns with existing literature indicat-

**Figure 3.** Glasgow Coma Scale (GCS) in the Distribution of NIRS Groups**Figure 4.** MMSE Scores According to NIRS Group Distribution

ing that men do not have a significantly higher susceptibility to cardiovascular disease. [8] Research suggests that women typically develop cardiovascular disease at an older age compared to men (mean 59 years vs. 57 years). [9] In our study, this age threshold was slightly higher, with women presenting with heart disease at a mean age of 64 years, compared to 63 years for men. Interestingly, women exhibited lower intraoperative NIRS values, as 58% of patients in the NIRS-3 and NIRS-4 groups were female. However, no statistically significant correlation was observed between age and intraoperative cerebral oxygenation levels.

A retrospective study of 144 cardiac surgery patients identified hypertension, obesity, and diabetes as the most prevalent preoperative comorbidities. In our cohort, type 2 diabetes and renal pathology were the most frequently observed preoperative comorbidities. [10]

Studies have shown that patients with valvular disease experience significantly increased rates of POCD when baseline cerebral oxygen saturation (rSO₂) decreases by more than 20% or when intraoperative rSO₂ levels fall below 50% (critical range: 50–60%). In contrast, POCD incidence is markedly lower when rSO₂ remains above 60%. [11] In our study, intraoperative NIRS values during valvular surgery ranged between 40–60% in 52% of cases ($p=0.04$).

Cardiopulmonary bypass (CPB) exerts systemic physiological stress and is associated with various complications. Exposure of blood to artificial surfaces activates inflammatory cascades, while the non-pulsatile flow and lower mean arterial pressure can contribute to tissue and organ hypoperfusion. Additionally, microemboli from cardiac chambers, blood vessels, or the extracorporeal circulation circuit may enter the cerebral vasculature, exacerbating hypoxia and contributing to neurological and cognitive dysfunction. One study found that 53% of cardiac surgery patients exhibited POCD postoperatively, with incidence declining to 36% at six weeks and persisting in 24% of cases at six months. The study further established a direct correlation between early cognitive decline at discharge and its persistence in the long term. [12] Our results similarly revealed a significant association between prolonged cardiopulmonary bypass duration and lower intraoperative NIRS values.

Although hemoglobin (Hgb) plays a crucial role in oxygen transport, no significant correlation between Hgb levels and NIRS scores was observed in our study. This finding may be attributed to prompt anemia correction,

as patients received blood transfusions when Hgb levels dropped below 7 g/dL.

Patients' cognitive status was assessed using the Mini-Mental State Examination (MMSE). To ensure unbiased postoperative results, individuals with preoperative low MMSE scores were excluded. On postoperative day 3, cognitive impairment was observed as follows:

- Mild dysfunction: 25 patients (42%)
- Moderate dysfunction: 9 patients (15%)
- Severe dysfunction: 3 patients (5%)

Patients with lower intraoperative NIRS values exhibited a higher incidence of postoperative cognitive impairment, suggesting that intraoperative hypoxia and hypoperfusion significantly influence neurocognitive outcomes.

POCD has a multifactorial etiology, involving factors such as surgical technique, anesthesia, preoperative comorbidities, CPB use, hypotension, hypoxia, and pharmacologic interventions. [13] Currently, no proven treatment exists for postoperative neurocognitive dysfunction, making prevention the key approach. Preoperative strategies should include risk stratification, comprehensive neurological and psychiatric evaluations, and assessment of hematologic, electrolyte, and hydration status to guide individualized surgical and anesthetic planning.

Intraoperative preventive measures focus on maintaining hemodynamic stability, adequate cerebral perfusion, and optimal oxygenation. Minimally invasive surgical techniques reduce surgical stress and systemic inflammation, while filtration systems in CPB circuits help decrease microembolism-related complications. [12]

Given these risk factors, continuous intraoperative cerebral oxygen monitoring using NIRS is essential. One study found that using personalized NIRS in cardiac and major surgeries significantly reduced POCD incidence in the cardiac surgery subgroup, though it showed no significant impact on acute kidney injury, cardiovascular events, bleeding, or postoperative mortality. A key conclusion was that maintaining brain oxygen saturation (bSO₂) above 60% is one of the most effective strategies for preventing postoperative neurocognitive dysfunction (POD/POCD). [14]

Our findings suggest that while NIRS is not a diagnostic tool for POCD, it serves as an important preventive measure, indicating a higher risk of neurological and systemic complications when intraoperative values are lower. Patients with reduced intraoperative cerebral oxygenation exhibited an increased incidence of both neurocognitive and systemic complications.

The main limitations of our study include the relatively small sample size and the absence of long-term follow-up, as postoperative monitoring was conducted by local cardiologists in the absence of complications. Additionally, the use of complementary neuropsychological tests could enhance the assessment of cognitive function and provide a more comprehensive evaluation.

CONCLUSION

Neurocognitive complications are common following open-heart surgery. The extent of intraoperative cerebral hypoxia directly correlates with the incidence of postoperative complications, affecting both the physical and mental well-being of patients.

As a non-invasive monitoring tool, NIRS provides prognostic value for assessing postoperative neurocognitive status. Our study identified positive correlations between NIRS scores and Glasgow Coma Scale (GCS) ratings, as well as between NIRS scores and MMSE-based cognitive assessments.

Furthermore, NIRS values were significantly lower in cases involving prolonged CPB duration and in patients exhibiting a heightened systemic inflammatory response (elevated CRP levels).

REFERENCES

- Natarajan A, Samadian S, Clark S. Coronary artery bypass surgery in elderly people. *Postgraduate Medical Journal*. 2007 Mar 1;83(977):154–8.
- Hori D, Nomura Y, Ono M, Joshi B, Mandal K, Cameron D, et al. Optimal blood pressure during cardiopulmonary bypass defined by cerebral autoregulation monitoring. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2017 Nov;154(5):1590–1598.e2.
- Meng L, Yu W, Wang T, Zhang L, Heerdt PM, Gelb AW. Blood Pressure Targets in Perioperative Care: Provisional Considerations Based on a Comprehensive Literature Review. *Hypertension*. 2018 Oct;72(4):806–17.
- Liu Y, Chen K, Mei W. Neurological complications after cardiac surgery: anesthetic considerations based on outcome evidence. *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2019 Oct;32(5):563–7.
- Raffa GM, Agnello F, Occhipinti G, Miraglia R, Lo Re V, Marrone G, et al. Neurological complications after cardiac surgery: a retrospective case-control study of risk factors and outcome. *J Cardiothorac Surg*. 2019 Dec;14(1):23.
- Hillis LD, Smith PK, Anderson JL, Bittl JA, Bridges CR, Byrne JG, et al. 2011 ACCF/AHA Guideline for Coronary Artery Bypass Graft Surgery. *Journal of the American College of Cardiology*. 2011 Dec;58(24):e123–210.
- Kumpaitiene B, Svagzdiene M, Sirvinskas E, Adomaitiene V, Petkus V, Zakelis R, et al. Cerebrovascular autoregulation impairments during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass are related to postoperative cognitive deterioration: prospective observational study. *Minerva Anestesiologica* [Internet]. 2019 May [cited 2024 May 23];85(6). Available from: <https://www.minervamedica.it/index2.php?show=R02Y2019N06A0594>
- Gao Z, Chen Z, Sun A, Deng X. Gender differences in cardiovascular disease. *Medicine in Novel Technology and Devices*. 2019 Dec;4:100025.
- Okunrintemi V, Tibuakuu M, Virani SS, Sperling LS, Volgman AS, Gulati M, et al. Sex Differences in the Age of Diagnosis for Cardiovascular Disease and Its Risk Factors Among US Adults: Trends From 2008 to 2017, the Medical Expenditure Panel Survey. *JAHA*. 2020 Dec 15;9(24):e018764.
- Elghoneimy YA, AL Qahtani A, Almontasheri SA, Tawhari Y, Alshehri M, Alshahrani AH, et al. Renal Impairment After Cardiac Surgery: Risk Factors, Outcome and Cost Effectiveness. *Cureus* [Internet]. 2020 Nov 25 [cited 2023 Apr 19]; Available from: <https://www.cureus.com/articles/45790-renal-impairment-after-cardiac-surgery-risk-factors-outcome-and-cost-effectiveness>
- Schmidt G, Kreissl H, Vigeliuss-Rauch U, Schneck E, Edinger F, Nef H, et al. Cerebral Tissue Oxygen Saturation Is Enhanced in Patients following Transcatheter Aortic Valve Implantation: A Retrospective Study. *JCM*. 2022 Mar 30;11(7):1930.
- Kant S, Banerjee D, Sabe SA, Sellke F, Feng J. Microvascular dysfunction following cardiopulmonary bypass plays a central role in postoperative organ dysfunction. *Front Med*. 2023 Feb 14;10:1110532.
- Berger M, Terrando N, Smith SK, Browndyke JN, Newman MF, Mathew JP. Neurocognitive Function after Cardiac Surgery. *Anesthesiology*. 2018 Oct 1;129(4):829–51.
- Uysal S, Lin HM, Trinh M, Park CH, Reich DL. Optimizing cerebral oxygenation in cardiac surgery: A randomized controlled trial examining neurocognitive and perioperative outcomes. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2020 Mar;159(3):943–953.e3.

Az agyi oxigenizáció és a szívműtétek utáni neurokognitív elváltozások közötti összefüggés

Biró Ervin-Zoltán¹, Bóti Gergely István²

¹Maros Megyei Klinikai Kórház, Szülészeti és Nőgyógyászati Klinika; ²Maros Megyei Sürgősségi Kórház, Aneszteziológiai és Intenzív Terápiás Klinika

Összefoglaló • A szívműtétek után kialakuló neurokognitív elváltozások egyik fő oka az agyi hipoperfúzió, ennek kivédésére a műtét alatti célérték az 50-80 Hgmm artériás középvérnyomás, illetve a 60%-80%-os agyi O₂-szaturáció. A szívműtétek során az agyi O₂-szaturáció mérésére használt közeli infravörös spektroszkópia (NIRS- near-infrared spectroscopy) által kapott értékek és a posztoperatív fellépő neurokognitív elváltozások közötti összefüggés tanulmányozása nyitott szívműtétek során. Prospektív klinikai tanulmányunkba 59 beteget választottunk be, akik kardiovaszkuláris patológia miatt szívműtéten estek át. A műtét alatt mért NIRS értékek alapján a betegeket 4 csoportra osztottuk: bilaterálisan > 60% (NIRS-1 csoport), egyik oldalon >60% (NIRS-2), 40%-60% között (NIRS-3) és egyik érték <40% (NIRS-4). Követtük a műtét utáni kórlefolyást, a kognitív funkciót a Mini Mentál teszttel mértük fel. A 59 betegből 34 férfi és 25 nő volt, átlagéletkoruk 63,8±7,6 év. A NIRS-1 és NIRS-2 csoportba 28 beteg került, az MMSE (Mini-Mental State Examination) átlagértéke 24,6 volt, 10 páciensnél alakult ki enyhe kognitív elváltozás. A NIRS-3-as csoportba 23 beteg tartozott, 1-nél posthypoxiás encephalopathiát találtunk, a többi átlag-MMSE értéke 21,8 volt. 8 beteg került a NIRS-4-es csoportba, két páciensnek neurológiai diszfunkciója volt, a többinél számolt átlag-MMSE-érték 13,6 volt. Szignifikáns eltéréseket kaptunk a nemek, illetve a NIRS-1 és NIRS-3 (p=0,02) között. A kapott eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a neurokognitív diszfunkció gyakrabban jelentkezett azon betegek körében, akiknél az intraoperatív mért NIRS értékek alacsonyabbak (40%-60% vagy <40%) voltak, elhúzódó cardiopulmonalis bypass esetén. Az MMSE érték is alacsonyabb volt ezen pácienseknél.

Kulcsszavak • neurokognitív elváltozások; közeli infravörös spektroszkópia (NIRS); agyi hipoperfúzió; posztoperatív szövődmény

DOI: 10.2478/orvtudert-2023-0012

Orvostudományi Értesítő 2023, 96(2): 145–156

Bevezető

Évente több mint kétmillió szívműtétet végeznek világszerte, általában idős, társbetegségekkel rendelkező (cukorbetegség, COPD – *chronic obstructive pulmonary disease*, *atherosclerosis*, magasvérnyomás) egyéneknél, akiknél a posztoperatív szövődmények, elhalálozások gyakrabban fordulnak elő [1].

A szívműtétek során a vérnyomás (BP – *blood pressure*) ingadozására legérzékenyebb szervek az agy és a vesék. A biztonságos vérnyomásérték cardiopulmonalis bypass (CPB – *cardiopulmonary bypass*) előtt, alatt és után nem ismert, a szakirodalom az 50-80 Hgmm vérnyomás értéket tekinti irányelvnek, [2], de a tanulmányban igyekeztünk a 70-100 Hgmm-es artériás középvérnyomás értékeit tartani azon betegeknél, akiknek carotis-szűkületük

volt, így a célérték kellően széles tartományt biztosít az optimális körülményekre [3]. Álló (*on-pump*) vagy dobogó (*off-pump*) szíven elvégzett szívkoszorú-áthidaló műtét (CABG – *coronary artery bypass grafting*) esetén az optimális agyi perfúziós nyomás megtartása az agyi autoreguláción alapul, a változó vérnyomás ellenében is [4].

A szívműtétek utáni neurokognitív szövődményekkel küzdő betegeknél hosszabb az intenzív osztályon és a kórházban eltöltött idő, valamint magasabb a kórházi elhalálozás, mint akiknél nem alakul ki ilyen szövődmény [5]. Ezen posztoperatív elváltozásokat az Amerikai Kardiológusok Társasága és az Amerikai Szív Társaság két típusba sorolja, az I. típusú az agyhalál, ischaemiás stroke, míg a II. típusú a posztoperatív delírium (POD – *post-operative delirium*) és a posztoperatív kognitív diszfunkció (POCD – *postoperative cognitive dysfunction*) [6].

Dolgozatomban célja a szívműtétek során használt közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) segítségével mért agyi O₂-szaturáció és a műtét után fellépő neurokognitív diszfunkciók közötti korreláció felfedése, figyelembe véve a betegek alapdiagnózisát, társbetegségeit, a kockázati tényezők jelenlétét és a posztoperatív komplikációk megjelenését.

Anyag és módszer

Tanulmányunkba 59 beteget vontunk be, akik különböző kardiovaszkuláris betegség miatt nyitott szívműtéten estek át. Bevonási kritériumok: felnőtt páciens, akinek preoperatív normális neurokognitív státusza van (műtét előtt 1 nappal az MMSE teszten elért eredménye a skála felső tartományba tartozott, >25) és akiknél szükséges volt szívműtét során az agyi oxigenizáció monitorizálása NIRS technikával (koronária revascularisatio, carotis-szűkület, érelmeszesedés, sürgősségi műtétek, aorta aneurysma vagy dissectio). Kizárási kritériumok: antipszichotikus kezelés, neurológiai elváltozás (pl: afázia), nem megfelelő mentális állapot a kérdőív kitöltéséhez, alacsony MMSE érték (≤ 25) műtét előtt.

A páciensekről az általános adatok mellett feljegyeztük még a társbetegségeket, a műtét diagnózist, a műtét során mért NIRS értékeket, az extracorporalis keringés idejét, valamint a posztoperatív státusz felméréséhez szükséges paramétereket (MMSE, műtét szövődmények, laborparaméterek, GCS – *Glasgow Coma Score*).

A NIRS egy olyan non-invazív, fizikai tulajdonságainak köszönhetően előnyös eszköz, amelyet nem befolyásolnak az anesztetikumok, és amelynek az alapját az abszorpció és a szóródás okozta fényvesztés meghatározása jelenti. Az abszolút módszer esetén kiszámolhatjuk az oxihemoglobin és a deoxihemoglobin szöveti koncentrációját, míg a relatív módszer ennek a változását mutatja ki. A folyamatos hullámú NIRS esetén alapfeltétel, hogy a mérés közben a szövet fényszórása nem változik és a fényintenzitás-mérésén alapszik. Hátránya, hogy abszolút mértékben nem mérhető meg az oxihemoglobin és a deoxihemoglobin szintje, mivel képtelen egyidőben meghatározni a fényszóródást és az abszorpciók együtthatókat. A térbeli felbontású spektrométer esetében a fotonokat egy bizonyos távolságra érzékeljük a fényforrástól, ezért csupán a szöveti oxigén ellátás kvantitatív mérésére alkalmas. A többcsatornás folytonos hullámú NIRS alkalmas a regionális, nagyobb kiterjedésű területek

oxigénellátásának feltérképezésére. Nagyobb terület oxigénszaturációját és hemodinamikai státuszát mérhetjük fel ennek a segítségével.

A szakirodalom a normál tartománynak a 60%-80% közötti értékeket tekinti, vagy a kiindulási értékhez képest a 20%-os csökkenést tekinti kórosnak. A műtét során mért 60% feletti agyi oxigénszint kedvező posztoperatív státuszra utal. A 40-60% érték között csökkentnek számít, de az esetek 50%-ban nem alakul ki neurokognitív elváltozás, míg a 40% alatti értékek komoly oxigén hiányos állapotot jeleznek, aminek elhúzódása növeli a neurokognitív komplikációk megjelenését.

Betegeinket a legalacsonyabb NIRS-érték alapján 4 csoportba osztottuk. (1. táblázat)

A Mini-Mentál teszt (MMSE) segítségével a műtétet megelőző napon, illetve a műtét utáni 3. napon a betegek neurokognitív funkcióit mértem fel. Habár a műtét előtti szorongás téves eredményekhez vezethet, ugyanúgy a műtét utáni túl korai tesztelés is, de a betegek kórházban töltött ideje miatt volt szükséges így eljárni. A gyakorlati tapasztalatunk alapján a műtét után 3 nap elégséges a betegek olyan szintű felépülésére, amellyel a MMSE teszten valós eredményeket érjenek el. Habár ez egy esetleges hátránya a tanulmánynak, a hosszútávú utánpótlás kivitelezése nem volt megoldható. Minden beteg esetében így jártunk el, ami egy egységes képet ad a páciensek pre- és poszt-operatív állapotáról. Ugyanúgy az iskolázottsági szint is egy negatív befolyásoló tényező, amit igyekeztünk kiszűrni a betegállomány felállításakor.

A 11 kérdésből álló kérdőív a tér-időbeli tájékozódást, emlékeztetést, figyelmet, felidézést, nyelvi és cselekvő készségeket veszi alapul. A teszt kiértékelésekor, amennyiben a beteg nem ad teljes értékű választ, részpontot fog kapni, minden helyes feleletért 1 pont jár, a maximálisan elérhető pontszám így 30. A 25 pont vagy fölötte levő értékek normális kognitív funkciónak számíthatók, ha ennél alacsonyabb pontszámot ér el a beteg, akkor enyhe, közepes vagy súlyos kognitív diszfunkciónak minősül (2. táblázat).

Az adatok statisztikai feldolgozására és elemzésére a Microsoft Office Excel 2016-os verzióját, valamint a

1. táblázat. NIRS csoportok felosztása

Csoport	Mért értékek
NIRS-1	bilaterálisan >60%
NIRS-2	egyik oldalon <60%
NIRS-3	bilaterálisan 40%-60% között
NIRS-4	egyik oldalon <40%

2. táblázat. MMSE teszt kiértékelése

MMSE pontszám	Kognitív állapot
≥25	normális kognitív funkció
21-24	enyhe kognitív elváltozás
10-20	mérsékelt kognitív elváltozás
≤9	súlyos kognitív elváltozás

GraphPad Prism 9 programot alkalmaztuk, amelyben Anova, Fisher és Kruskal-Wallis tesztet használtunk. Statisztikailag szignifikánsnak tekintettem azokat az eredményeket, amelyeknél a $p < 0,05$. A NIRS-el mért agyi oxigénszint eredményeit összehasonlítottam a szívműtét során mért vérnyomás értékeivel, a páciensek műtési diagnózisával, a preoperatív társbetegségekkel, a műtét utáni vérvizsgálatok eredményeivel és a posztoperatív szövődeményekkel.

Eredmények

A 2022 január 01 és 2022 december 31 közötti periódusban összesen 59 felnőtt (34 férfi és 25 nő) szívműtéten átesett páciens intra- és posztoperatív állapotát követtük. A betegek átlagéletkora 63 ± 7 év, a legfiatalabb 48 éves volt, a legidősebb 80 éves, a legtöbb páciens 60–70 év között volt.

Az 59 páciens közül 18 tartozott a NIRS-1-be, ami a betegállomány 30% teszi ki; 10 beteg, azaz 17% került a NIRS-2-be; a NIRS-3 csoportba 24 beteg tartozik, ami 41%, és 8 beteg tartozik a NIRS 4-be, ami 13%-a a tanulmányban résztvevőknek. (1. ábra) Szignifikánsan több nő tartozik a NIRS-3 csoporthoz, mint a NIRS-1-hez ($p=0,02$). (2. ábra)

Az életkorokat tekintve nem találtunk szignifikáns

eltéréseket, viszont az átlagéletkor magasabb volt a NIRS-4-es csoportban (NIRS-1 62 ± 9 év, NIRS-2 65 ± 5 év, NIRS-3 64 ± 8 év, NIRS-4 66 ± 6 év).

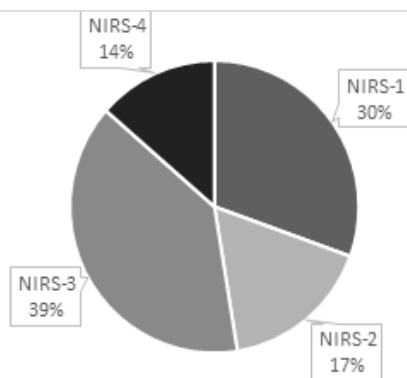
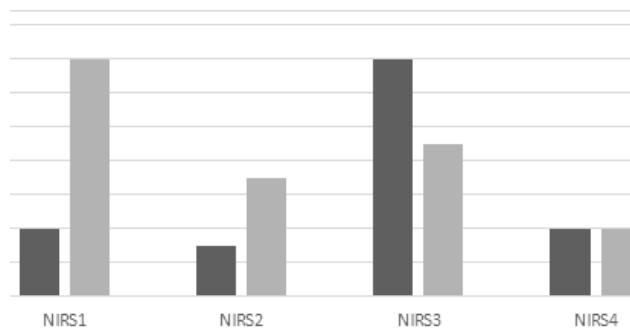
A műtési diagnózist tekintve öt csoportba osztottuk a betegeket: coronaria-, valvularis, coronaria- és valvularis-, valvularis és aorta ascendens-patológia, illetve egyéb kardiológiai elváltozások. Valvularis megbetegedést 23 páciensnél találtunk, az esetek 52% a NIRS-3 csoportba került ($p=0,04$). Coronaria- és valvularis patológiával 14 beteg került a tanulmányba. Szignifikáns különbséget ($p=0,01$) találtunk a kombinált műtétek és a NIRS-értékek között, jelentősen több eset, azaz 43%, volt a NIRS-2 csoportban.

Statisztikailag jelentős korrelációt találtunk az extracorporalis keringés hossza és a NIRS-értékek között ($p=0,03$) (3. táblázat), viszont nem találtunk szignifikáns eltérést a műtét hossza és az agyi oxigenizáció között.

A hemoglobint (Hgb), mint oxigén-szállító értékeit követtük, de nem találtunk szignifikáns összefüggést a Hgb értékek és a NIRS értékek között. Átlagértékek a műtét utáni első napon voltak a legmagasabbak, azaz 9,16 g/dl, míg a legalacsonyabb értékeket a második napon kaptuk, $8,76 \text{ g/dl} \pm 6,3 \text{ g/dl}$, 7,5 g/dl.

A gyulladáshoz kapcsolódó markerek közül a C reaktív protein (PCR) értékeit követtük a műtét utáni napokban. Szignifikáns eredményt nem találtunk, de mind a négy csoport tagjai esetében az értékek meghaladták a normál tartomány felső határát (0,5 mg/dl). Az első két napon a NIRS-4 csoporthoz tartozók átlagértékei voltak a legnagyobbak (7 mg/dl és 15 mg/dl).

Habár a műtét utáni neurológiai elváltozások a NIRS-3 és NIRS-4 csoportoknál fordulnak elő, mégsem kaptunk statisztikailag szignifikáns ($p=0,06$) eredményt, azon pácienseknél, akiknél a műtét során alacsony agyi oxigénszintek fordultak elő. A NIRS-4 csoportban 16 műtét utáni szövődeményt állapítottunk meg, amiből két esetben fordultak elő neurológiai elváltozások, azaz 12,5%-nál.

**1. ábra.** Betegállomány eloszlása NIRS csoportokban**2. ábra.** Nemek eloszlása

3. táblázat. Extracorporalis keringés hossza

	NIRS-1	NIRS-2	NIRS-3	NIRS-4
Átlagérték	140±	124,9±	139,33±	212,75±
(min)	(87–241)	(67–40)	(76–277)	(99–322)

A NIRS-3 csoportban 18 posztoperatív elváltozásból 1 betegnél tapasztaltunk kognitív diszfunkciót. Nem találtunk szignifikáns elváltozást más posztoperatív szövödmény és a NIRS-értékek összefüggésében.

A tudatállapot felmérésére a műtét utáni első napon a Glasgow Coma Skálát (GCS) használtuk. Az értékek eloszlása arányaiban hasonló volt a műtét során mért agyi oxigén szinttel, a legnagyobb pontszámot a NIRS-1-hez tartozó betegek kapták. Jelentős eltérést találtunk a GCS elért pontszám valamint a NIRS-1 és NIRS-4 csoportok értékei között ($p < 0,01$) (3. ábra).

Az 59 betegből 25 esetben (42%) tapasztaltunk enyhe neurokognitív, 9 páciensnél (15%) mérsékelt és 3 esetben (5%) súlyos diszfunkciót (4. ábra), a többi betegnél az értékek a normális tartományba tartoztak. Az MMSE-n elért pontszámok alapján az értékek szignifikánsan alacsonyabbak ($p < 0,01$) voltak a NIRS-4 csoportban a NIRS-1 csoportokhoz képest (4. ábra).

Megbeszélés

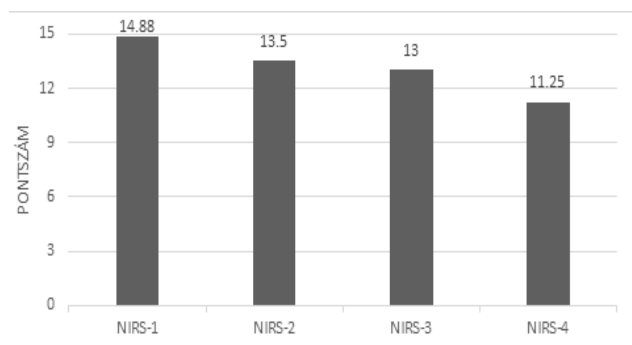
A szív-műtétek után kialakuló POCD előfordulása nagy változatosságot mutat, 33%-83%. Ez a magas prevalencia és a kiszámíthatatlanság miatt, a műtét során nagyon fontos követni az agyi oxigén-ellátást és szükség esetén gyorsan korrigálni azt, hogy megelőzhessük a posztoperatív neurokognitív diszfunkció kialakulását. Ugyanakkor a NIRS-technikával követett agyi oxigén-szint fontos

prognosztikai faktor, mely előrejelezheti az esetleges neurológiai (és nemcsak) elváltozások megjelenését és azok súlyosságát. A műtét utáni neurokognitív diszfunkció egy multifaktoriális szövödmény, mely nem növeli közvetlenül az elhalálozást, de jelentős mértékben és hosszú távon befolyásolhatja az életminőséget. Elsődleges kezelése a prevenció. [7]

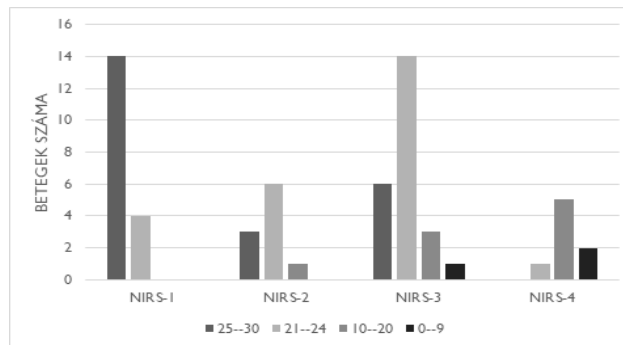
A betegállományt tekintve az 59 beteg 58%-a férfi, ami a szakirodalomhoz hasonlóan alátámasztja, hogy a férfi nem jóval kitettebb a kardiovaszkuláris betegségeknek. [8] A szakirodalom szerint a nők esetében a kardiovaszkuláris betegségek megjelenése idősebb korhoz köthető (59 év, férfiaknál 57 év). (9). A mi tanulmányunkban magasabb ez a korhatár, de ugyancsak azt észleltük, hogy nőknél idősebb korban fordulnak elő a szív-megbetegedések: az átlagéletkor 64 év volt, míg férfiaknál 63 év. Ugyanakkor a műtét alatt mért NIRS-értékek rosszabbak voltak a nőknél, ugyanis a NIRS-3 és NIRS-4 csoportokban a pácienseknek 58%-a nő volt. Nem találtunk jelentős összefüggést az életkor és az agyi oxigénszint között.

Egy retrospektív tanulmányban 144 beteg esett át különböző szív-műtéteken, a műtét előtt jelenlévő leggyakoribb társbetegségek a magasvérnyomás, obesitas, diabétesz voltak, míg az általunk végzett tanulmányban a legtöbb betegnél a 2-es típusú cukorbetegség és vese eredetű patológiák jelentek meg, mint gyakori komorbiditás. [10]

A szakirodalmi adatok szerint valularis patológia esetén megfigyelték, hogy a kiindulási agyi oxigén szint 20%-



3. ábra. GCS a NIRS csoportok eloszlásában



4. ábra. MMSE pontszámok NIRS csoportok függvényében

ot meghaladó csökkenése, vagy az alacsony rSO₂ (brain regional O₂ saturation) (<50%, 50-60%) esetén a POCD előfordulása szignifikánsan megnő, míg a 60% feletti értékek esetén ritkán fordul elő. [11]. Tanulmányunkban valvularis műtétek alatt a betegek 52%-nál ($p=0,04$) a NIRS-értékek 40-60% között voltak.

A cardiopulmonalis bypass-nak a szervezetre nézve terhelő hatása van és különböző járulékos következményekkel jár: a vérnek a testidegen felülettel való érintkezése során aktiválódnak a gyulladásos kaszkádok, a keringés, amelyet általa biztosítani lehet nem pulzáló, és a középvérnyomás értékek is alacsonyabbak, mint a normális, emiatt szervi, szöveti hipoperfúzió alakulhat ki. A műtét során részben a szívüregekből (különösen valvularis műtétek esetén), erekből, részben az extracorporalis készülékből mikroembólusok juthatnak az agyi keringésbe, tovább rontva az agyi oxigenizációt, ezáltal neurológiai és kognitív diszfunkciót okozva. Egy tanulmány szerint 53%-ban fordul elő neurokognitív hanyatlás szívműtétek után, 6 hét elteltével ez az arány 36%-ra csökken és 24% esetében 6 hónap után is fennmaradnak a tünetek. A tanulmány következtetése alapján összefüggés van a kórházi kibocsátás pillanatában tapasztalt kognitív elváltozás és a hosszútávon fennmaradó elváltozás mértéke között. [12] A mi betegállományunk esetén is szignifikáns eredményt kaptunk a cardiopulmonalis bypass hossza és a különböző NIRS-értékek között.

A hemoglobinnak, mint oxigén-transzportornak szintén szerepe lehet az agyi oxigenizációban, ennek ellenére tanulmányunkban nem sikerült szignifikáns összefüggést találnunk. Ezt az anémia gyors korrekciója magyarázza, ha értéke 7 g/dl alá süllyed, a betegek transzfúziót kapnak.

A betegek kognitív állapotát az MMSE kérdőív segítségével mértük fel. Azért, hogy ne befolyásolják a posztoperatív eredményeinket, a már műtét előtt alacsony MMSE értékeket elért pácienseket kizártuk a tanulmányból. A posztoperatív 3. napon újra felmértük a betegek kognitív státusát, és 25 esetben (42%) tapasztaltunk enyhe neurokognitív, 9 páciensnél (15%) mérsékelt és 3 esetben (5%) súlyos diszfunkciót. Az értékek alacsonyabbak voltak abban a csoportban, amelyben az intraoperatív NIRS-értékek is alacsony agyi oxigenizációt mutattak, tehát a műtét alatti hypoxia, hipoperfúzió befolyásolta a posztoperatív kognitív elváltozások gyakoriságát is.

A műtét után fellépő neurokognitív diszfunkció multifaktoriális eredetű, amihez hozzájárul a használt műtéti technika, az anesztézia, a beteg preoperatív meglévő hajlamosító tényezőinek összesége, az extracorporalis készülék használata, egyes gyógyszerek, hipotenzió, hypoxia.

[13] A klinikai gyakorlatban a neurokognitív szövődmények kezelésére nincs bizonyítottan hatékony eljárás, tehát az elsődleges tennivaló a megelőzés. A preoperatív prevenciót illetően az elsődleges feladat a magas rizikójú betegeknek a kiszűrése, a szükséges kivizsgálások elvégzése, a neuropszichiátriai konzultáció, a laborparaméterek közül a hemoglobin, az elektrolit és vízháztartás meghatározása, vagy a beteg függvényében bármilyen más kivizsgálás, ami hozzájárulhat egy személyre szabott műtéti és anesztéziai eljárás kiírására.

Az intraoperatív tényezők közé tartozik a hemodinamikai stabilitás, az agy megfelelő vérellátása, oxigenizáció fenntartása. A minimál invazív műtéti technikák alkalmazása csökkenti a műtéti stresszt és a szisztémás gyulladásos reakciót, valamint a cardiopulmonalis bypass alatt alkalmazott szűrők hozzájárulnak az embólia kialakulásának csökkentéséhez. [12]

Ezen tényezők ismeretében fontos szerepet nyer a műtét alatti agyi oxigénszaturáció mérése, amit a közeli infravörös spektroszkópiával (NIRS) végezhetünk. Egy tanulmány keretein belül személyre szabott NIRS-et használtak szívműtétek és más nagyobb műtétek esetében, mely során a POCD/POD előfordulásának csökkenését tapasztalták, de csak a szívműtéten átesett csoport esetében. Ettől eltekintve semmiféle pozitív hozadéka nem volt a monitorizálásnak, ami az akut vesekárosodást, kardiovaszkuláris eseményeket, vérzést és a posztoperatív mortalitást befolyásolta volna. A tanulmány egyik következtetése, hogy a tudatállapot romlása, mint posztoperatív szövődmény egyik leghatásosabb prevenciója a bSO₂>60% felett tartása. [14]

A mi tanulmányunk eredményei alapján arra következtetünk, hogy a NIRS használata nem diagnosztikai értékű a műtét utáni neurokognitív elváltozások kialakulásában, hanem elsődlegesen a prevenció, az esetleges szövődmények kialakulásának lehetőségét vetíti elő. Azon betegeknél, akiknek alacsonyabb értékeik voltak, jóval nagyobb számban fordultak elő nemcsak neurokognitív, hanem egyéb szervi szövődmények is.

Tanulmányunk hiányossága a viszonylag alacsony esetszám, illetve a hosszútávú követés hiánya, ami sajnos nem volt megvalósítható, ugyanis a műtét után a beteget, szövődmények hiányában a helyi kardiogus követi. Más neurológiai, pszichológiai tesztek használatával pontosítani, kibővíteni lehetne a betegek neurokognitív állapotának felmérését

Következtetés

Nyitott szívműtétek után viszonylag gyakoriak a neurokognitív szövődmények. Az intraoperatív mért agyi oxigén szint, a hypoxia mértéke egyenesen arányos a beavatkozást követő szövődmények gyakoriságával, a beteg fizikális és mentális állapotával.

A nyitott szívműtétek során non-invazív eljárásként, az agyi oxigénszint monitorizálására a NIRS használata prognosztikus értékű a beteg műtét utáni neurokognitív állapotára nézve.

Pozitív összefüggést találtunk a NIRS-értékek és a beteg Glasgow Coma Skála segítségével mért eszméleti állapota között, illetve a NIRS-értékek és a betegek MMSE segítségével felmért kognitív állapota között.

A NIRS értékek alacsonyabbak voltak elhúzódo cardiopulmonalis bypass esetén, azon esetekben, ahol a szisztémás gyulladásos válaszreakció kifejezettebb volt (magasabb PCR értékek).

Irodalom

(lásd az angol nyelvű cikk végén)