

DYNAMICS OF JUGULAR OXYGEN SATURATION LEVEL USING TARGET TEMPERATURE CONTROL IN PATIENTS WITH SEVERE TRAUMATIC BRAIN INJURY

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

resuscitation9@gmail.com

Cerebral oxygenation level is an important prognostic factor in the treatment of patients with severe traumatic brain injury (TBI). Hypoxia, which significantly worsens clinical outcomes, can result from insufficient oxygen delivery to the brain or disrupted metabolism. The aim of this study was to investigate the effect of controlled normothermia on the oxygen saturation level in the jugular vein (SjvO₂) in patients with severe TBI and hyperthermia.

A total of 60 patients participated in the study, divided into a control group (n=30), which received standard antipyretic therapy, and an experimental group (n=30), where target temperature management was applied within the range of 36.5-37.5°C using the Blanketrol-II cooling system. Esophageal thermometry and invasive monitoring of SjvO₂ levels were used. Statistical analysis was performed using standard methods via Jupyter Notebook (<https://jupyter.org>).

The study established that in the group with controlled normothermia, the SjvO₂ level was significantly higher compared to the control group between days 3-7, reaching peak values on days 6-7. Correlation analysis revealed a strong inverse relationship between body temperature and SjvO₂ levels, indicating worsening brain oxygenation with increasing hyperthermia.

Thus, the obtained results confirm the effectiveness of controlled normothermia in improving cerebral oxygenation and suggest its use for optimizing intensive care in patients with severe TBI.

Key words: traumatic brain injury, hyperthermia, jugular venous oxygen saturation, target temperature control, intensive care.

Connection of the publication with planned research works.

This work is a fragment of the scientific research conducted by the Department of Anesthesiology, Intensive Care, and Emergency Medicine at the Faculty of Postgraduate Education of Dnipro State Medical University: "Development and improvement of technologies for enhancing the safety of anesthesia, pain management, and individualized intensive care in critically state patients" state registration number 0123U104848.

Introduction.

Cerebral oxygenation represents the balance between oxygen delivery and consumption, which largely reflects the adequacy of cerebral perfusion [1, 2, 3]. Factors influencing oxygen delivery to the brain include arterial pressure, hemoglobin level, systemic oxygenation, body temperature, and oxygen transport to the cerebral microcirculation. When oxygen delivery is insufficient or cells are unable to metabolize it for various reasons, tissue hypoxia develops, which contributes to secondary brain injury and negatively impacts the clinical course and outcomes of TBI treatment. Consequently, cerebral oxygenation monitoring is an essential component of extended neurocritical care [1, 4, 5].

Various invasive and non-invasive technologies exist for monitoring cerebral oxygenation, including measurement of jugular venous oxygen saturation (SjvO₂), brain tissue partial oxygen pressure (PtiO₂), and near-infrared spectroscopy (NIRS). However, the latter two methods have limitations, including cost and accessibility, particularly in low-resource settings [3, 6].

Jugular venous oximetry is one of the bedside and accessible methods used to monitor cerebral oxygenation, especially in TBI patients. This method is based on the concept that nearly all of the brain's venous system drains into the internal jugular veins via the jugular bulb. The jugular sinus contains blood draining from both ce-

rebral hemispheres, with approximately 70% originating from the same hemisphere and 30% from the opposite hemisphere. In most patients, one side is dominant in venous drainage, typically the right side. According to Fick's principle, hemoglobin oxygen saturation measured in the jugular bulb reflects the difference between the amount of oxygen delivered to the brain and the amount consumed by brain tissue [7, 8].

The advantage of SjvO₂ monitoring over other methods is that it provides global brain oxygenation status and can track real-time changes. However, since SjvO₂ monitoring evaluates whole-brain oxygenation, it is less sensitive to regional cerebral ischemia and hypoxia. Thus, a normal SjvO₂ value does not necessarily indicate the absence of regional cerebral ischemia, while a low SjvO₂ value always indicates decreased cerebral blood flow [2, 9].

Normal SjvO₂ values range from 55-75%. SjvO₂ levels $\geq 75\%$ suggest increased oxygen delivery or decreased cerebral metabolic oxygen consumption (CMRO₂), whereas SjvO₂ values $< 55\%$ indicate reduced oxygen delivery or increased CMRO₂. Studies have shown that jugular desaturation is associated with unfavorable neurological outcomes in TBI patients [10, 11].

The 2016 "Brain Trauma Foundation" guidelines define SjvO₂ $< 50\%$ as a critical threshold (Level III recommendation) [12].

Several studies highlight the importance of early SjvO₂ monitoring for timely detection of cerebral blood flow changes, and SjvO₂ has been identified as a factor significantly associated with neurological recovery prognosis in TBI [2].

In severe TBI patients, SjvO₂ monitoring helps detect ischemia caused by both systemic and intracranial factors [8]. One such factor is hyperthermia, which negatively affects brain metabolism, leading to worsened hypoxic brain injury. Studies have demonstrated a signif-

icant inverse correlation between temperature gradient and SjvO_2 at cerebral perfusion pressure >50 mmHg [13, 14].

Thus, SjvO_2 monitoring can be a valuable adjunct to standard neuromonitoring and will contribute to the early recognition of cerebral ischemia and hypoxia, which are closely related to treatment outcomes. However, current research does not sufficiently cover the relationship between core body temperature as a systemic factor influencing cerebral oxygenation and SjvO_2 level.

The aim of the study.

To investigate the dynamics of SjvO_2 levels in the presence of hyperthermia and the application of cerebral temperature control in patients with severe traumatic brain injury.

Object and research methods.

The study was conducted during the period 2020–2023 at the Department of Anesthesiology and Intensive Care of the I.I. Mechnikov Dnipro Regional Clinical Hospital under the Dnipropetrovsk Regional Council. A total of 60 patients with severe TBI associated with hyperthermia, who were receiving treatment in the intensive care unit, were included in the study.

Informed consent was obtained from all patients or their legal representatives prior to the study. The study fully complies with Ukrainian legislation and the «Rules of Ethical Principles for Conducting Scientific Medical Research Involving Humans», as approved by the Helsinki Declaration and the European Convention on Human Rights and Biomedicine. Compliance with ethical standards was confirmed by the conclusion of the Bioethics Committee of DSMU (protocol No. 7 dated October 28, 2020).

Among the study participants, there were 53 men (88.3%) and 7 women (11.7%). The study included individuals aged 18 to 70 years. The proportion of patients aged 18–40 years was 59.2%, 41–60 years – 37.6%, and 61–70 years – 3.2% of all participants. The mean age in the control group was 44.68 ± 10.79 years, while in the group with targeted temperature control technology, it was 47.61 ± 9.24 years, with no statistically significant difference ($p=0.31$).

The characteristics of patients by study groups are presented in **table**.

All study participants were divided into two groups:

- Control group ($n=30$) – patients with TBI and hyperthermia ($T \geq 38.3^\circ\text{C}$) who received standard antipyretic therapy.
- Study group ($n=30$) – patients with TBI and hyperthermia ($T \geq 38.3^\circ\text{C}$) who underwent targeted temperature control within the range of $36.5\text{--}37.5^\circ\text{C}$ using the Blanketrol-II hypothermia system (CSZ, USA).

Table – Characteristics of patients with TBI and their distribution based on the type of treatment

Indicators	Control Group ($n=30$)	Study Group ($n=30$)
Type of treatment	Standard antipyretic therapy	Targeted temperature control technology
Age, years ($M \pm SD$)	44.68 ± 10.79	47.61 ± 9.24
Male/Female ratio, n	26/4	27/3
Baseline body temperature, $^\circ\text{C}$ (Me [Q1; Q3])	38.7 [38.6; 38.9]	39.0 [38.7; 39.6]
Baseline SjvO_2 level, % (Me [Q1; Q3])	53.2 [51.4; 55.1]	51.8 [49.6; 53.9]

All study participants underwent esophageal thermometry using the Temperature Probes Reusable 400 Series sensor (CSZ, USA), with a temperature measurement range of 0 to 50.0°C , connected to a cardiac monitor. The temperature probe was inserted naso-oroesophageally to a depth of 32–38 cm.

Each patient had a catheter placed in the internal jugular vein. The measurement of SjO_2 levels was performed using a biochemical analyzer in the clinical laboratory of I.I. Mechnikov Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital.

All patients received a standard intensive care protocol in accordance with international guidelines – «Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, 4th Edition (2016)» – in the intensive care unit (ICU) setting.

This comprehensive treatment protocol included respiratory support, infusion therapy, systolic blood pressure (SBP) maintenance at ≥ 100 mmHg for patients aged 50–69 years, and ≥ 110 mmHg for patients 18–49 years and ≥ 70 years, normoglycemia control, early nutritional support, analgosedation and seizure control, antibiotic prophylaxis, prevention of thromboembolic complications, and continuous 24-hour neuromonitoring. If body temperature reached $\geq 38.3^\circ\text{C}$, hyperthermia correction was performed using pharmacological antipyretic therapy and application of ice packs to major blood vessel projection areas.

In the study group, in addition to the standard intensive care protocol, targeted temperature control technology was applied using the Blanketrol-II hypothermia system (CSZ, USA) to achieve and maintain a core body temperature within the range of $36.5\text{--}37.5^\circ\text{C}$.

The analysis of the obtained data was performed using descriptive and analytical biostatistics methods. Quantitative variables with a normal distribution were presented as the mean $\pm$ standard deviation ($M \pm SD$), while non-normally distributed variables were presented as the median and quartiles – Me [Q1; Q3]. Intergroup differences were assessed using the Mann-Whitney U test.

Spearman's rank correlation (r_s) was used to assess relationships between study variables, with 95% confidence intervals for correlation coefficients. Fisher's methods were used for statistical significance testing. Correlations were visualized using scatter plots with confidence ellipses, which served as visual indicators of correlation strength and direction: weak correlation was reflected by an ellipse close to a circle, whereas strong correlation resulted in an ellipse flattened diagonally, with its slope indicating the relationship direction (positive or negative).

All calculations and graph construction were performed using the free integrated development environment Jupyter Notebook (<https://jupyter.org>). A p -value <0.05 ($<5\%$) was considered statistically significant for all analyses.

Research results and their discussion.

On the first day of the study (**fig. 1**), the mean SjvO_2 level was higher in the control group (53.2% [51.4; 55.1]) compared to the study group (51.8% [49.6; 53.9]), although the difference was not statistically significant ($p=0.095$).

Starting from day 3, $SjvO_2$ levels were significantly higher ($p=0.002$) in the controlled normothermia group – 57.4% [54.0; 60.6] compared to the control group – 52.9% [50.6; 57.2]. Over days 4-5, the difference in $SjvO_2$ levels between the groups increased, with the statistical significance remaining ($p<0.001$).

On day 6, $SjvO_2$ levels in the study group continued to rise, reaching 66.0% [57.6; 69.9], while in the control group, jugular venous oxygen saturation remained at 57.0% [54.5; 64.9], with a significant difference between the groups ($p=0.006$).

On day 7, $SjvO_2$ in the controlled normothermia group was 70.2% [64.8; 78.0], which remained significantly higher ($p=0.017$) than in the control group – 59.7% [56.3; 69.9].

An analysis of core body temperature dynamics demonstrated that on the first day, both groups exhibited hyperthermia, with the mean core body temperature in the study group being significantly higher ($p=0.008$) at 39.0°C [38.7; 39.6], compared to 38.7°C [38.6; 38.9] in the control group.

On day 3, in the targeted temperature control group, the mean temperature was significantly lower ($p<0.001$) at 37.8°C [37.6; 38.4], compared to the control group, where hyperthermia persisted at 38.8°C [38.4; 39.4].

Over days 4-6, the temperature remained significantly lower in the study group ($p<0.001$ for each day separately).

On day 7, the core temperature in the study group stabilized within the target range of 37.5°C [37.3; 37.9], whereas in the control group, hyperthermia persisted at 37.8°C [37.6; 38.1], maintaining a significant difference between groups ($p=0.005$).

The obtained data indicate that targeted temperature control results in significantly higher jugular venous saturation levels compared to the control group, suggesting the potential effectiveness of this method in improving cerebral oxygenation by maintaining normothermia in patients with severe TBI.

An analysis of the relationship between core body temperature and $SjvO_2$ levels in severe TBI patients demonstrated a strong negative correlation for the entire dataset (without differentiation by days) – $r_s = -0.81$ (95% CI: -0.84 – -0.78; $p<0.001$), as well as for each individual day – r_s ranging from -0.87 to -0.67 ($p<0.01$ for each day separately). This correlation suggests that $SjvO_2$ levels decrease as temperature increases, and vice versa (fig. 2).

When analyzing this relationship separately for each group, a strong significant negative correlation was also observed in the control group – $r_s = -0.67$

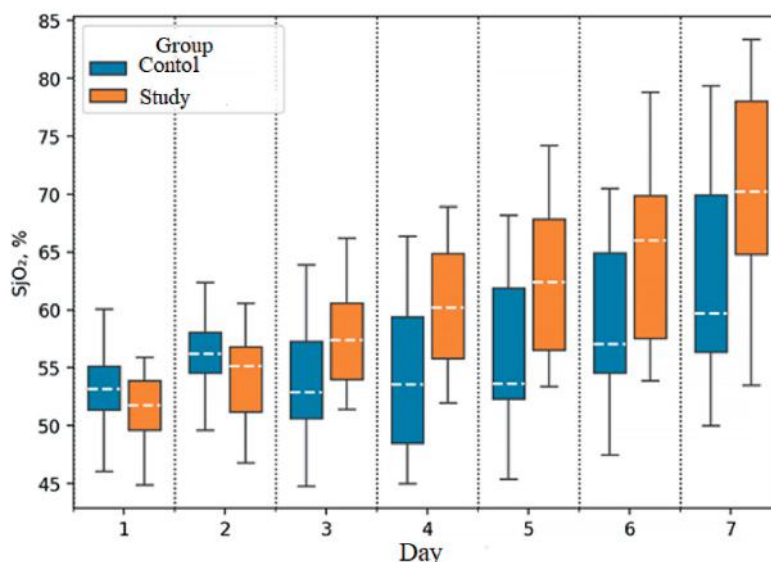


Figure 1 – Comparative dynamics of $SjvO_2$ levels in patients with severe traumatic brain injury.

(95% CI: -0.74 – -0.59; $p<0.001$), and in the study group – $r_s = -0.92$ (95% CI: -0.94 – -0.89; $p<0.001$), with a statistically significant difference between groups ($p<0.001$).

These results suggest that in the study group, the relationship between core temperature and $SjvO_2$ levels was stronger, with a more pronounced increase in $SjvO_2$ levels observed as temperature decreased, compared to the control group.

The obtained study results confirm that the controlled normothermia method is effective in improving cerebral oxygenation in TBI patients, which may have a positive impact on prognosis and treatment outcomes.

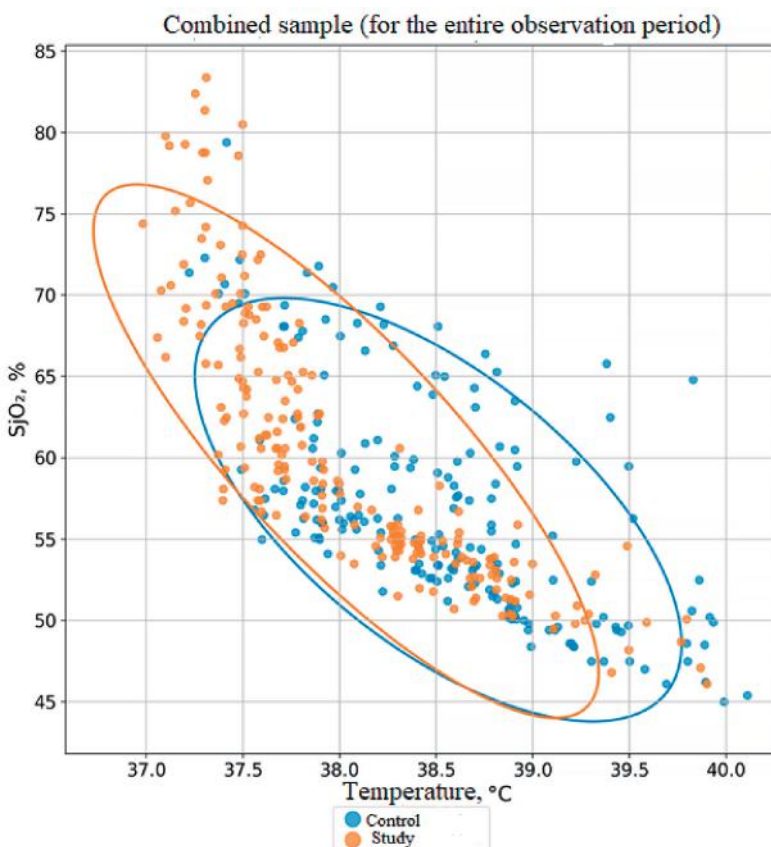


Figure 2 – Relationship between core body temperature and $SjvO_2$ levels.

The analysis of SjvO_2 dynamics showed that most patients included in the study exhibited signs of cerebral hypoxia associated with hyperthermia. However, after implementing targeted temperature control technology, starting from day 3 and continuing until the end of the observation period, SjvO_2 levels remained significantly higher in comparison to the control group.

The identified data indicate a clear inverse proportional relationship between core body temperature and SjvO_2 levels, where an increase in core temperature leads to a decrease in SjvO_2 , while a decrease in core temperature results in an increase in SjvO_2 . Since SjvO_2 levels serve as an indicator of the balance between cerebral oxygen delivery and CMRO_2 , they can be utilized as part of an extended neuromonitoring strategy in the intensive care management of patients with severe TBI.

According to previous studies, the beneficial effects of controlled normothermia are achieved through the reduction of cerebral metabolism, improvement of microcirculation, reduction in the production of neurotoxic metabolites, and stabilization of systemic hemodynamics. Our findings align with these mechanisms and highlight the feasibility of using targeted temperature control to maintain normothermia as a component of intensive care in patients with severe TBI. In our view, the positive impact of targeted temperature control on cerebral metabolism is associated with both the optimization of cerebral oxygen delivery and the reduction of oxygen consumption by the brain while maintaining core body temperature within normal ranges.

Thus, the practical significance of these findings lies in the fact that meticulous temperature control may serve as an effective approach for optimizing cerebral

blood flow and oxygenation, which could contribute to improved neurological recovery in patients with severe TBI.

Conclusions.

1. The study revealed that the use of targeted temperature control in patients with severe TBI associated with hyperthermia contributes to an improvement in SjvO_2 levels. By day 3, in the group with targeted temperature control within the normal range, SjvO_2 levels were significantly higher compared to the control group. The statistical significance of the difference between the groups persisted until day 7, indicating the positive effect of controlled normothermia on brain oxygenation.

2. In the study group, patients with targeted temperature control demonstrated a gradual and significantly stronger reduction in body temperature to the target range (36.5-37.5°C) compared to the control group, where hyperthermia persisted throughout the study period. This confirms the effectiveness of the method in preventing further secondary brain injury caused by hyperthermia.

3. Thus, SjvO_2 monitoring is an important component of neuromonitoring, and targeted core temperature control within normal values can be an effective means of improving cerebral oxygenation.

Prospects for further research.

Future studies will focus on investigating the impact of systemic factors, particularly core body temperature, on cerebral oxygenation and the neurological outcomes of severe TBI treatment.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-1-176-269-277

УДК 617.51-001.4

Оленюк Д. В., Царьов О. В.

ДИНАМІКА РІВНЯ ЮГУЛЯРНОЇ САТУРАЦІЇ КИСНЮ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЦІЛЬОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЮ У ПАЦІЄНТІВ З ТЯЖКОЮ ЧЕРЕПНО-МОЗКОВОЮ ТРАВМОЮ

Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, Україна)

resuscitation9@gmail.com

Рівень церебральної оксигенації є важливим прогностичним фактором у процесі лікуванні пацієнтів із тяжкою черепно-мозковою травмою (ЧМТ). До розвитку гіпоксії, що значно погіршує клінічний прогноз можуть призводити недостатнє надходження кисню до мозку або його порушений метаболізм. Метою дослідження було вивчення впливу контрольованої нормотермії на рівень сатурації кисню у югулярній вені (SjvO_2) у пацієнтів із тяжкою ЧМТ та розвитком гіпертермії.

У дослідженні взяли участь 60 пацієнтів, які були розподілені на контрольну групу ($n=30$), що отримувала стандартну антипіретичну терапію, та досліджувану ($n=30$), у якій застосовували цільовий контроль температури в межах 36,5-37,5°C за допомогою гіпотерма «Blanketrol – II». Використовували метод езофагальної термометрії та інвазивний моніторинг рівня SjvO_2 . Статистичний аналіз проводився із застосуванням стандартних методів за допомогою Jupyter Notebook (<https://jupyter.org>).

Було встановлено, що у групі з контрольованою нормотермією рівень SjvO_2 був достовірно вищим порівняно з контрольною групою впродовж 3-7 діб і досягав максимальних значень на 6-7 добу. Кореляційний аналіз виявив достовірний сильний зворотній зв'язок між температурою тіла та рівнем SjvO_2 , що свідчить про погіршення оксигенації мозку при розвитку гіпертермії.

Таким чином отримані результати підтверджують ефективність методики контрольованої нормотермії для покращення церебральної оксигенації та можуть бути використані для оптимізації інтенсивної терапії у пацієнтів із тяжкою ЧМТ.

Ключові слова: черепно-мозкова травма, гіпертермія, сатурація югулярної вени, цільовий температурний контроль, інтенсивна терапія.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота є фрагментом наукової роботи кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів ФПО Дніпровського державного медичного університету «Розробка та удосконалення технологій підвищення безпеки анестезії, лікування болю та індивідуалізованої інтенсивної терапії у пацієнтів в критичних станах», номер державної реєстрації 0123U104848.

Вступ.

Церебральна оксигенація – це баланс між надходженням і споживанням кисню, який значною мірою відображає адекватність церебральної перфузії [1, 2, 3]. На забезпечення доставки кисню до мозку впливають такі параметри, як артеріальний тиск, рівень гемоглобіну, системна оксигенація, температура тіла та транспорт кисню до системи церебральної мікроциркуляції. Коли доставка кисню недостатня або клітини з різних причин не можуть його метаболізувати, це призводить до розвитку тканинної гіпоксії, яка виступає фактором вторинного пошкодження мозку, негативно впливаючі на перебіг та клінічний результат лікування у пацієнтів з тяжкою черепно-мозковою травмою (ЧМТ). В зв'язку з чим, моніторинг церебральної оксигенації є важливою складовою розширеного нейромоніторингу у відділенні інтенсивної терапії [1, 4, 5].

Для моніторингу стану церебральної оксигенації існують різні інвазивні та неінвазивні технології, серед яких виділяють визначення сатурації кисню у югулярній вені ($SjvO_2$), рівня парціального тиску кисню у тканині мозку ($PtiO_2$) та методика інфра – червоної спектроскопії (NIRS), але останні два мають свої обмеження, включаючи їх вартість та недоступність особливо в країнах із середнім або низьким ресурсним забезпеченням [3, 6].

Оксиметрія яремної вени є одним із приліжкових та доступних методів, який використовується для моніторингу церебральної оксигенації, особливо у пацієнтів із ЧМТ. Цей метод базується на концепції, згідно з якою майже вся венозна система мозку впадає у внутрішні яремні вени через яремну цибулину. Яремний синус містить кров, що відтікає з обох півкуль головного мозку, причому приблизно 70% крові надходить з тієї ж самої півкулі, а 30% — із протилежної. У більшості пацієнтів одна сторона має домінуючий венозний відтік, і найчастіше це права сторона. Згідно з принципом Фіка, насичення гемоглобіну киснем, виміряне в яремній цибулині, відображає різницю між кількістю кисню, що надходить у мозок, і кількістю кисню, споживаного тканиною мозку [7, 8].

Причина, чому моніторинг $SjvO_2$ є кращим, ніж інші методи, полягає в тому, що він може контролювати насичення крові киснем у всьому мозку та фіксувати тенденцію зміни в реальному часі. Однак, оскільки моніторинг $SjvO_2$ оцінює рівень кисню в крові всього мозку, він менш чутливий до регіональної церебральної ішемії та гіпоксії. Таким чином, нормальне значення $SjvO_2$ не обов'язково вказує на відсутність регіональної церебральної ішемії. Однак низьке значення $SjvO_2$ завжди вказує на зниження церебрального кровотоку [2, 9].

Нормальне значення $SjvO_2$ знаходиться в діапазоні 55-75%. Рівень $SjvO_2 \geq 75\%$ вказують або на збіль-

шення доставки кисню, або на зниження швидкості метаболічного споживання кисню в мозку ($CMRO_2$). І навпаки, значення $SjvO_2 < 55\%$ вказують на зниження доставки кисню або збільшення $CMRO_2$. Було доведено, що яремна десатурація кисню пов'язана з несприятливими неврологічними наслідками ЧМТ [10, 11].

Рекомендації «Brain Trauma Foundation 2016» визначили рівень $SjvO_2 < 50\%$ критичним порогом (рекомендація рівня III) [12].

У ряді досліджень звертається увага на ранній моніторинг $SjvO_2$ для своєчасного виявлення змін у церебральному кровотоку, а також $SjvO_2$ визначається як фактор, який суттєво пов'язаний з прогнозом неврологічного відновлення при ЧМТ [2].

У пацієнтів із тяжкою ЧМТ моніторинг $SjvO_2$ допомагає виявити ішемію, яка може бути спричинена як системними, так і внутрішньочерепними факторами [8]. Одним з цих факторів є розвиток гіпертермії, яка чинить свій негативний вплив через різні механізми включаючи підвищення метаболізму у мозку, що призводить до поглиблення гіпоксичного пошкодження головного мозку. Було продемонстровано, що підвищений температурний градієнт має значну зворотну кореляцію з $SjvO_2$ при церебральному перфузійному тиску > 50 мм рт. ст. [13, 14].

Таким чином моніторинг $SjvO_2$ може бути корисним доповненням до стандартного нейромоніторингу і сприятиме ранньому розпізнаванню церебральної ішемії і гіпоксії та тісно пов'язаний з результатами лікування. Проте тема зв'язку між температурою ядра тіла як системного фактору впливу на церебральну оксигенацію та рівнем $SjvO_2$ є недостатньо висвітленою у сучасних дослідженнях.

Мета дослідження.

Визначення динаміки рівня $SjvO_2$ при розвитку гіпертермії та застосуванні церебрального температурного контролю у пацієнтів з тяжкою черепно-мозковою травмою.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження проводилося у період 2020-2023 рр. на базі відділення анестезіології та інтенсивної терапії КП «Дніпропетровська обласна клінічна лікарня ім. І.І. Мечникова» Дніпропетровської обласної ради». До дослідження було включено 60 пацієнтів з тяжкою черепно-мозковою травмою, асоційованою з розвитком гіпертермії, які знаходились на лікуванні у відділенні інтенсивної терапії.

Інформована згода була отримана від всіх пацієнтів або їх офіційних представників перед проведенням дослідження. Проведене дослідження повністю відповідає законодавству України і «Правилам етичних принципів проведення наукових медичних досліджень за участю людини», затверджених Гельсінською декларацією, Конвенцією Європейського Союзу відносно прав людини та біомедицини, що підтверджується заключенням комісії з біоетики ДМУ (протокол № 7 від 28.10.2020 р.)

Серед пацієнтів включених у дослідження було 53 чоловіка (88,3%) та 7 жінок (11,7%). У дослідженні брали участь особи віком від 18 до 70 років. Питом вага пацієнтів віком 18-40 років становила 59,2%, 41-60 років – 37,6%, 61-70 років – 3,2% серед всіх учасників дослідження. Середній вік у контрольній групі складав $44,68 \pm 10,79$ років, а в групі пацієнтів з

Таблиця – Характеристика пацієнтів з черепно-мозковою травмою та їх розподіл в залежності від виду лікування

Показники	Контрольна група (n=30)	Досліджувана група (n=30)
Вид лікування	стандартна антипиретична терапія	технологія цільового контролю температури
Вік, років (M±SD)	44.68±10.79	47.61±9.24
Співвідношення чоловіки/жінки, n	26/4	27/3
Вихідна температура тіла, °C (Me [Q1; Q3])	38.7 [38.6; 38.9]	39.0 [38.7; 39.6]
Вихідний рівень S _{jv} O ₂ , % (Me [Q1; Q3])	53.2 [51.4; 55.1]	51.8 [49.6; 53.9]

застосуванням технології цільового контролю температури – 47,61±9,24 років без статистично значущої різниці (p=0,31).

Характеристика пацієнтів по групах дослідження наведена у таблиці. Усі учасники дослідження були розподілені на 2 групи:

- Контрольна група (n=30) – пацієнти з ЧМТ та гіпертермією T ≥38,3°C з використанням стандартної антиперетичної терапії;
- Досліджувана група (n=30) – пацієнти з ЧМТ та гіпертермією T ≥38,3°C до яких застосовувалась технологія цільового контролю температури в діапазоні 36,5-37,5°C за допомогою гіпотерма «Blanketrol – II» (CSZ, США).

Всім учасникам дослідження проводили термометрію езофагальним методом, за допомогою стравохідного температурного датчика «Temperature Probes Reusable 400 Series» (CSZ, США) з діапазоном вимірювання температури від 0 до 50,0°C, який підключали до кардіомонітору. Термодатчик вводили назо-орезофагально на глибину 32-38 см.

Кожному пацієнту було встановлено катетер у внутрішню яремну вену. Вимірювання рівня S_{jv}O₂ проводилось за допомогою біохімічного аналізатора в клінічній лабораторії КП «ДОКЛ ім. І.І. Мечникова».

Всі пацієнти отримували стандартний комплекс інтенсивної терапії згідно міжнародних рекомендацій «Керівництва по лікуванню тяжкої черепно-мозкової травми – 2016» (Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury 4th Edition) в умовах відділення інтенсивної терапії.

Цей комплекс заходів включав: респіраторну підтримку, інфузійну терапію, підтримку АТ систолічного на рівні ≥100 мм рт. ст. для пацієнтів від 50 до 69 років, та ≥110 мм рт. ст. для пацієнтів від 18 до 49 років та старше 70 років, підтримку нормоглікемії, ранню нутритивну підтримку, аналгоседацію та контроль судомної активності, антибіотикопрофілактику, профілактику тромбоемболічних ускладнень, динамічний цілодобовий нейромоніторинг. При розвитку температури тіла ≥38,3°C корекція гіпертермії проводилася за допомогою фармакологічної антипиретичної терапії та обкладання тіла пакетами із льодом в проекціях проходження магістральних судин.

У досліджуваній групі до наведеного вище стандартного комплексу інтенсивної терапії застосовувалась технологія цільового контролю температури за допомогою гіпотерма «Blanketrol – II» (CSZ, США) для досягнення та підтримання цільового значення температури ядра тіла в діапазоні 36,5-37,5°C.

Аналіз отриманих даних проводився за допомогою методів описової та аналітичної біостатистики.

Кількісні показники з нормальним розподілом були представлені за допомогою середнього арифметичного зі стандартним відхиленням – M±SD, з ненормальним – за допомогою медіани та квартилів – Me [Q1; Q3]. Оцінка розбіжностей між групами проводилася за критерієм Манна-Уїтні.

Для оцінки зв'язку між досліджуваними ознаками використовували метод рангової кореляції Спірмена (r_s) з обчисленням 95% довірчих інтервалів коефіцієнтів кореляції та оцінки достовірності відмінностей за допомогою методик Фішера.

Кореляції візуалізувалися за допомогою діаграм розсіювання з використанням довірчих еліпсів (confidence ellipses) в якості візуальних індикаторів кореляцій, що дає можливість візуально оцінити та порівняти силу та напрям зв'язку: при слабкій кореляції еліпс набуває майже круглої форми, а при сильній кореляції еліпс стає сплюсненим по діагоналі, а його нахил вказує на характер залежності (позитивний чи негативний).

Для проведення розрахунків і побудови графіків використовувалося безкоштовне інтегроване середовище розробки Jupyter Notebook (<https://jupyter.org>). Значення p<0,05 (<5%) вважалося критично значущим для всіх проведених видів аналізу.

Результати дослідження та їх обговорення.

У першу добу дослідження (рис. 1) середній рівень S_{jv}O₂ був вищий у контрольній групі 53,2% [51,4; 55,1] порівняно з досліджуваною 51,8% [49,6; 53,9] (p=0,095).

Починаючи з 3-ї доби рівні S_{jv}O₂ були достовірно (p=0,002) вищі в групі з застосуванням методу контрольованої нормотермії – 57,4% [54,0; 60,6] порівняно з контрольною групою – 52,9% [50,6; 57,2]. Впродовж 4-5 доби різниця в рівнях S_{jv}O₂ в обох групах збільшувалася зі збереженням достовірності різниці між групами (p<0,001).

У пацієнтів досліджуваної групи на 6-ту добу продовжував зростати рівень S_{jv}O₂ і становив 66,0% [57,6; 69,9] в той час як у контрольній групі югулярна сатурація залишалась на рівні 57,0% [54,5; 64,9] при збереженні достовірності відмінностей між групами (p=0,006).

На 7-й день югулярна сатурація у групі з контрольованою нормотермією – 70,2% [64,8; 78,0] – залишалася достовірно (p=0,017) вищою в порівнянні з контрольною групою – 59,7% [56,3; 69,9].

Аналіз динаміки температури ядра тіла продемонстрував, що у першу добу в обох групах був виявлений розвиток гіпертермії, при цьому середня температура ядра тіла у пацієнтів досліджуваної групи була достовірно (p=0,008) вищою 39,0°C [38,7; 39,6], ніж у контрольній групі 38,7°C [38,6; 38,9].

На 3-тю добу спостереження в групі із застосуванням цільового контролю температури середня температура тіла достовірно (p<0,001) була нижчою – 37,8°C [37,6; 38,4], у порівнянні з контрольною групою – 38,8°C [38,4; 39,4], в якій і надалі спостерігалась гіпертермія.

У проміжку 4-6 діб показники температури були достовірно нижче в досліджуваній групі (p<0,001 для кожної доби окремо).

На 7-му добу спостереження температура в досліджуваній групі стабілізувалася в межах цільових значень $37,5^{\circ}\text{C}$ [37,3; 37,9], тоді як у контрольній групі зберігалася тенденція до гіпертермії $37,8^{\circ}\text{C}$ [37,6; 38,1] зі збереженням достовірної різниці між групами ($p=0,005$).

Отримані дані свідчать про те, що застосування цільового контролю температури сприяє достовірно вищим рівням югулярної сатурації порівняно з контрольною групою, що вказує на потенційну ефективність цього методу у покращенні оксигенації мозку за рахунок підтримання нормотермії у пацієнтів з тяжкою ЧМТ.

Проведений аналіз взаємозв'язку між температурою тіла та рівнем SjvO_2 у пацієнтів із тяжкою ЧМТ продемонстрував достовірний сильний негативний кореляційний зв'язок як для об'єднаної вибірки (без диференціації по днях) – $r_s = -0,81$ (95% ДІ: $-0,84$ – $-0,78$; $p<0,001$), так і для кожної доби окремо – r_s в межах $-0,87$ – $-0,67$ ($p<0,01$ для кожної доби окремо), що свідчить про зниження рівня SjvO_2 з підвищенням температури і навпаки (рис. 2).

При розгляді даного взаємозв'язку в окремих групах також виявлено достовірний сильний негативний кореляційний зв'язок, як в контрольній групі – $r_s = -0,67$ (95% ДІ: $-0,74$ – $-0,59$; $p<0,001$), так і в досліджуваній – $r_s = -0,92$ (95% ДІ: $-0,94$ – $-0,89$; $p<0,001$), при наявності достовірної різниці між групами ($p<0,001$).

Отримані дані вказують на те, що в досліджуваній групі взаємозв'язок між температурою ядра тіла та рівнем югулярної сатурації є сильнішим і при зниженні температури спостерігається більш виражене підвищення рівня SjvO_2 у порівнянні з контрольною групою.

Отримані результати дослідження свідчать, що застосування методу контрольованої нормотермії є ефективним у покращенні церебральної оксигенації у пацієнтів з ЧМТ, що може мати позитивний вплив на прогноз та результати лікування.

Проведений аналіз динаміки рівня SjvO_2 показав, що у більшості пацієнтів включених у дослідження було визначено ознаки церебральної гіпоксії на тлі розвитку гіпертермії. Однак після застосування технологій цільового контролю температури, починаючи з 3-ї доби і до кінця спостереження був визначений достовірно вищий рівень SjvO_2 у порівнянні з пацієнтами контрольної групи.

Виявлені дані вказують на чітку обернено пропорційну залежність між рівнем температури ядра тіла та рівнем SjvO_2 , у вигляді зниження рівня SjvO_2 при збільшенні температури

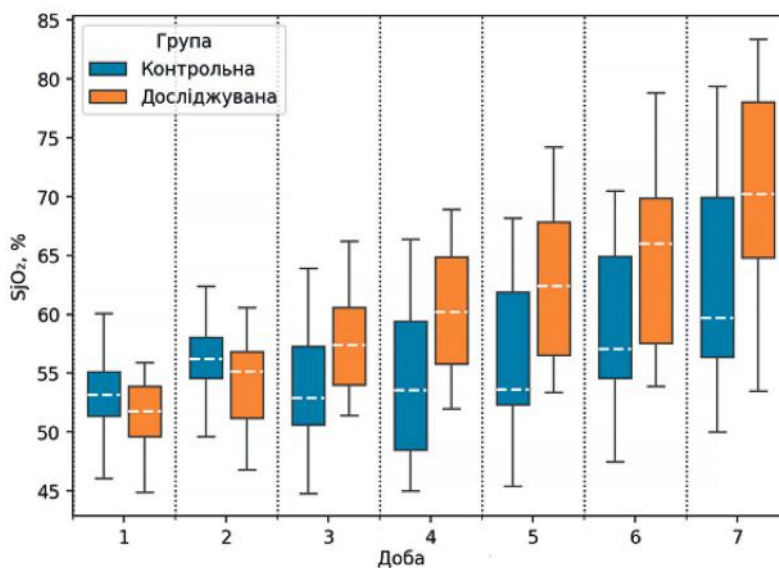


Рисунок 1 – Порівняльна динаміка рівня SjvO_2 у пацієнтів з тяжкою черепно-мозковою травмою.

ядра тіла. Навпаки зниження температури ядра тіла призводить до підвищення рівня SjvO_2 . Оскільки рівень SjvO_2 є індикатором балансу між церебральною доставкою кисню та CMRO_2 , він може використовуватися в якості елемента розширеного нейромоніторингу при проведенні інтенсивної терапії пацієнтам з тяжкою ЧМТ.

За даними попередніх досліджень, позитивний вплив контрольованої нормотермії забезпечується шляхом зниження церебрального метаболізму, поліпшення мікроциркуляції, зменшення продукції нейротоксичних метаболітів та стабілізації системної

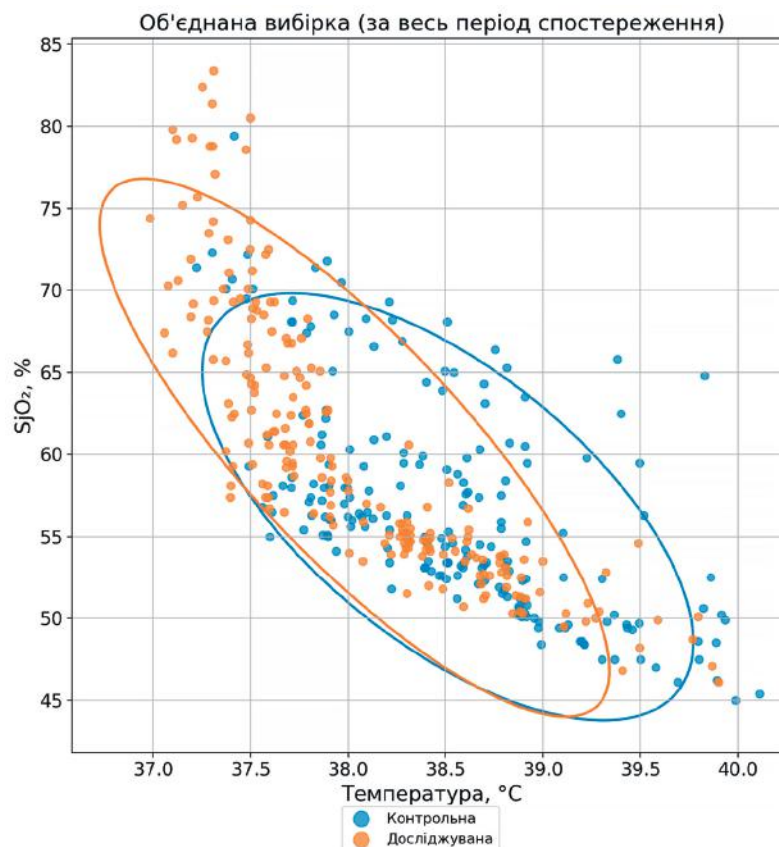


Рисунок 2 – Взаємозв'язок між температурою ядра тіла та рівнем SjvO_2 .

гемодинаміки. Наші результати узгоджуються з цими механізмами та вказують на доцільність застосування цільового контролю температури для підтримання нормотермії як елемента інтенсивної терапії у пацієнтів із тяжкою ЧМТ. На нашу думку позитивний вплив цільового температурного контролю на церебральний метаболізм пов'язаний, як з оптимізацією церебральної доставки кисню, так і зі зниженням споживання кисню головним мозком в умовах підтримання температури ядра тіла в діапазоні нормальних значень.

Таким чином, практичне значення отриманих даних полягає у тому, що ретельний контроль температури тіла може бути ефективним підходом для оптимізації мозкового кровотоку та оксигенації, що може сприяти покращенню відновлення неврологічних функцій у пацієнтів із тяжкою ЧМТ.

Висновки.

1. У результаті проведеного дослідження було виявлено, що застосування цільового контролю температури у пацієнтів із тяжкою ЧМТ асоційовано з розвитком гіпертермії сприяє покращенню рівня $SjvO_2$. На 3-тю добу в групі з цільовим контролем температури в межах норми, рівень $SjvO_2$ був достовірно

вищим порівняно з контрольною групою. Достовірність різниці між групами зберігалася до сьомої доби спостереження, що свідчить про позитивний вплив контрольованої нормотермії на оксигенацію головного мозку.

2. У досліджуваній групі пацієнтів з цільовим контролем температури спостерігалася поступове та достовірно сильніше порівняно з контрольною групою зниження температури тіла до цільових значень ($36,5-37,5^\circ\text{C}$), тоді як у контрольній групі гіпертермія зберігалася протягом усього періоду дослідження. Це підтверджує ефективність методики у запобіганні поглибленню вторинного пошкодження головного мозку внаслідок розвитку гіпертермії.

3. Таким чином, моніторинг $SjvO_2$ є важливим компонентом нейромоніторингу, а цільовий контроль температури ядра тіла в межах нормальних значень може бути ефективним засобом поліпшення церебральної оксигенації.

Перспективи подальших досліджень.

У подальшому планується вивчення впливу системних факторів, зокрема температури ядра тіла, на церебральну оксигенацію та неврологічні наслідки лікування тяжкої ЧМТ.

References / Література

- Godoy DA, Murillo-Cabezas F, Suarez JI, Badenes R, Pelosi P, Robba C. «THE MANTLE» bundle for minimizing cerebral hypoxia in severe traumatic brain injury. Crit Care. 2023;27(1):13. DOI: [10.1186/s13054-022-04242-3](https://doi.org/10.1186/s13054-022-04242-3).
- Zhong W, Ji Z, Sun C. A Review of Monitoring Methods for Cerebral Blood Oxygen Saturation. Healthcare (Basel). 2021;9(9):1104. DOI: [10.3390/healthcare9091104](https://doi.org/10.3390/healthcare9091104).
- Godoy DA, Rubiano AM, Paranhos J, Robba C, Lazaridis C. Avoiding brain hypoxia in severe traumatic brain injury in settings with limited resources – A pathophysiological guide. J Crit Care. 2023;75:154260. DOI: [10.1016/j.jcrc.2023.154260](https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2023.154260).
- Sivakumar S, Taccone FS, Rehman M, Hinson H, Naval N, Lazaridis C. Hemodynamic and neuro-monitoring for neurocritically ill patients: An international survey of intensivists. J Crit Care. 2017;39:40-47. DOI: [10.1016/j.jcrc.2017.01.005](https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2017.01.005).
- Prabhakar H, editor. Neuromonitoring Techniques. Pittsburgh, PA: Academic Press; 2018. Chapter 3, Jugular venous oximetry; p. 57-75. DOI: [10.1016/B978-0-12-809915-5.00003-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809915-5.00003-6).
- Rubiano AM, Griswold DP, Jibaja M, Rabinstein AA, Godoy DA. Management of severe traumatic brain injury in regions with limited resources. Brain Inj. 2021;35(11):1317-1325. DOI: [10.1080/02699052.2021.1972149](https://doi.org/10.1080/02699052.2021.1972149).
- Richter J, Sklienka P, Chatterjee N, Maca J, Zahorec R, Burda M. Elevated jugular venous oxygen saturation after cardiac arrest. Resuscitation. 2021;169:214-219. DOI: [10.1016/j.resuscitation.2021.10.011](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.10.011).
- Bhardwaj A, Bhagat H, Grover VK. Jugular venous oximetry. J Neuroanaesthesiol Crit Care. 2015;2:225-31. DOI: [10.4103/2348-0548.165046](https://doi.org/10.4103/2348-0548.165046).
- Koht A, Sloan T, Toleikis J, eds. Monitoring the Nervous System for Anesthesiologists and Other Health Care Professionals. Cham: Springer; 2017. Chapter, Monitoring of jugular venous oxygen saturation; p. 229-242. DOI: [10.1007/978-3-319-46542-5_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46542-5_14).
- Scarboro M, McQuillan KA. Traumatic Brain Injury Update. AACN Adv Crit Care. 2021;32(1):29-50. DOI: [10.4037/aacnacc2021331](https://doi.org/10.4037/aacnacc2021331).
- Richter J, Sklienka P, Setra AE, Zahorec R, Das S, Chatterjee N. Is jugular bulb oximetry monitoring associated with outcome in out of hospital cardiac arrest patients?. J Clin Monit Comput. 2021;35(4):741-748. DOI: [10.1007/s10877-020-00530-x](https://doi.org/10.1007/s10877-020-00530-x).
- Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GW, Bell MJ, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. Neurosurgery. 2017;80(1):6-15. DOI: [10.1227/NEU.0000000000001432](https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001432).
- Sakurai A, Kinoshita K, Atsumi T, Moriya T, Utagawa A, Hayashi N. Relation between brain oxygen metabolism and temperature gradient between brain and bladder. Acta Neurochir Suppl. 2003;86:251-253. DOI: [10.1007/978-3-7091-0651-8_54](https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0651-8_54).
- Lavinio A, Coles JP, Robba C, Aries M, Bouzat P, Chean D, et al. Targeted temperature control following traumatic brain injury: ESICM/ NACCS best practice consensus recommendations. Crit Care. 2024;28(1):170. DOI: [10.1186/s13054-024-04951-x](https://doi.org/10.1186/s13054-024-04951-x).

ДИНАМІКА РІВНЯ ЮГУЛЯРНОЇ САТУРАЦІЇ КИСНЮ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЦІЛЬОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЮ У ПАЦІЄНТІВ З ТЯЖКОЮ ЧЕРЕПНО-МОЗКОВОЮ ТРАВМОЮ

Оленюк Д. В., Царьов О. В.

Резюме. У статті досліджується моніторинг церебральної оксигенації у пацієнтів з тяжкою черепно-мозковою травмою (ЧМТ) та вплив контрольованої нормотермії на рівень насичення киснем у яремній вені ($SjvO_2$). Актуальність проблеми зумовлена важливістю своєчасного виявлення церебральної гіпоксії, яка є одним із ключових факторів вторинного пошкодження мозку та впливає на прогноз результати лікування. На сьогоднішній день для оцінки церебральної оксигенації використовують як інвазивні, так і неінвазивні методи. Моніторинг $SjvO_2$ є одним із доступних методів, що дозволяє оцінити баланс між доставкою та споживанням кисню головним мозком, але має обмежену чутливість до регіональної ішемії. У дослідженні оцінювалася динаміка $SjvO_2$ при розвитку гіпертермії та застосуванні технології цільового контролю температури у пацієнтів із тяжкою ЧМТ. До дослідження було включено 60 пацієнтів, яких було розподілено на дві групи: контрольну (стандартна антипіретична терапія) та експериментальну (контрольована нормотермія). Моніторинг здійснювався шляхом вимірювання температури езофагальним методом та визначення рівня $SjvO_2$. Результати дослідження показали, що у групі пацієнтів, яким застосовували цільовий контроль температури, рівень насичення киснем крові у внутрішній яремній вені ($SjvO_2$) починаючи з третьої доби лікування був достовірно

вищим порівняно з контрольною групою ($p < 0,001$). Аналіз кореляційного зв'язку між температурою ядра тіла та рівнем $SjvO_2$ виявив виражений негативний кореляційний зв'язок ($r_s = -0,81$; $p < 0,001$), що свідчить про те, що підвищення температури тіла безпосередньо пов'язане зі зниженням церебральної оксигенації. У пацієнтів із вираженою гіпертермією спостерігався нижчий рівень $SjvO_2$, що може вказувати на посилене споживання кисню мозковою тканиною на тлі підвищеного метаболізму.

Таким чином, результати підтверджують доцільність контролю використання методу контрольованої нормотермії у пацієнтів з тяжкою черепно-мозковою травмою для поліпшення церебрального метаболізму. Контрольована нормотермія не лише сприяє підтримці оптимального рівня церебральної оксигенації, але й зменшує ризик розвитку вторинного ушкодження мозку, пов'язаного з гіпертермією.

Ключові слова: черепно-мозкова травма, гіпертермія, сатурація югулярної вени, цільовий температурний контроль, інтенсивна терапія.

DYNAMICS OF JUGULAR OXYGEN SATURATION LEVEL USING TARGET TEMPERATURE CONTROL IN PATIENTS WITH SEVERE TRAUMATIC BRAIN INJURY

Oleniuk D. V., Tsarov A. V.

Abstract. This study examines the monitoring of cerebral oxygenation in patients with severe traumatic brain injury (TBI) and the effect of controlled normothermia on the oxygen saturation level in the jugular vein ($SjvO_2$). The relevance of this issue is determined by the importance of timely detection of cerebral hypoxia, which is one of the key factors of secondary brain injury and significantly affects treatment outcomes. Currently, both invasive and non-invasive methods are used to assess cerebral oxygenation. Monitoring of $SjvO_2$ is one of the accessible methods that allows evaluating the balance between oxygen delivery and consumption by the brain. However, it has limited sensitivity to regional ischemia. This study assessed the dynamics of $SjvO_2$ during the development of hyperthermia and the application of targeted temperature management technology in patients with severe TBI. A total of 60 patients were included in the study and divided into two groups: the control group (standard antipyretic therapy) and the experimental group (controlled normothermia). Monitoring was performed by measuring esophageal temperature and determining $SjvO_2$ levels. The study results demonstrated that in the group of patients who received targeted temperature management, the oxygen saturation level in the internal jugular vein ($SjvO_2$) was significantly higher from the third day of treatment compared to the control group ($p < 0.001$). Correlation analysis between core body temperature and $SjvO_2$ levels revealed a strong negative correlation ($r_s = -0.81$; $p < 0.001$), indicating that an increase in body temperature is directly associated with a decrease in cerebral oxygenation. Patients with pronounced hyperthermia had lower $SjvO_2$ levels, suggesting increased oxygen consumption by brain tissue due to elevated metabolism.

Thus, the findings confirm the feasibility of using controlled normothermia in patients with severe traumatic brain injury to improve cerebral metabolism. Controlled normothermia not only helps maintain optimal cerebral oxygenation but also reduces the risk of secondary brain injury associated with hyperthermia.

Key words: traumatic brain injury, hyperthermia, jugular venous oxygen saturation, target temperature control, intensive care.

ORCID and contributionship / ORCID автора та його внесок до статті:

Oleniuk D. V.: <https://orcid.org/0009-0009-4596-9636>^{BCD}

Tsarov A. V.: <https://orcid.org/0000-0002-2611-604X>^{AEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Tsarov Oleksandr Volodymyrovych / Царьов Олександр Володимирович

Dnipro State Medical University / Дніпровський державний медичний університет

Ukraine, 49000, Dnipro, 9 Volodymyr Vernadsky str. / Адреса: Україна, 49000, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського 9

Tel.: 0637933755 / Тел.: 0637933755

E-mail: resuscitation9@gmail.com

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статистичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 03.10.2024 / Стаття надійшла 03.10.2024 року

Accepted 28.02.2025 / Стаття прийнята до друку 28.02.2025 року