

КЛІНІЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СЕРЦЯ

Данілова В. А., асистент,
valnaa@ukr.net,

Шликов В. В., доц., к.т.н.
v.shlykov@kpi.ua

Факультет біомедичної інженерії

Національний технічний університет

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна

Реферат — Сьогодні неможливо собі уявити лікування хворих з вродженими і набутими вадами серця, ішемічною хворобою серця або складними порушеннями ритму без хірургічного втручання. Застосування сучасних радикальних методів лікування кардіохірургічних хворих передбачає безперервний контроль температури крові і тіла пацієнта в умовах штучного кровообігу [1]. Наприклад, в Національному інституті серцево-судинної хірургії (НІССХ) ім. Н. М. Амосова виконуються оперативні втручання з приводу ретроградної дуги аорти. При цьому перевага віддається методиці ретроградної гіпотермічної перфузії головного мозку через верхню порожнисту вену. Температура крові становить 18°C, об'ємна швидкість перфузії 250–400 мл/хв/м², перфузійний тиск 10–12 мм рт. ст., час перфузії 50–70 хв. При цьому контролюються зміни температури «ядра» тіла, а методика дозволяє повністю зберегти життєдіяльність мозку. Методика загальної керованої гіпотермічної перфузії також застосовується при інфекційному ендокардиті, коли зігрівання пацієнта до температури 39,5°C проводиться за допомогою теплообмінника апарату штучного кровообігу з підтриманням досягнутої температури тіла протягом 30–40 хв після основного етапу операції. Це дозволяє зменшити кількість рецидивів інфекційного ендокардиту до 0,5 %. Таким чином, оцінка температури тіла передбачає використання, як спеціальних технічних засобів вимірювання температури, так і застосування спеціальних клінічних методів вимірювання температури крові і тіла.

Ключові слова — захист міокарда, гіпотермія, штучний кровообіг, термографія, розподіл температури.

I. Вступ

У тілі існує градієнт температур, і температура окремих органів і м'язових груп різна. Як правило, глибокі тканини тепліше поверхневих тканин і тому температура в середині тіла вище температури в кінцівках. Для обчислення середньої температури тіла зазвичай використовується формула [2]:

$$T_{\text{середня}} = 0,8 \cdot T_{\text{ректальна}} + 0,2 \cdot T_{\text{кожи}}$$

Для клінічного вимірювання температури в тілі є кілька зручних поверхневих і глибоких місць. Найбільш часто для цього використовуються ротова порожнина і пряма кишка. Ректальна температура зазвичай на 0,27–0,55°C вище оральної температури. Для контролю температури тіла і окремих органів застосовуються спеціальні методи вимірювання температури. Також для контролю температури тіла в контур штучного кровообігу входить система температурних датчиків, які включаються в артеріальну, венозну і кардіоплегічну лінії. Для оцінки розподілу температур на поверхні тіла перспектив-

ними для використання в хірургії є неінвазивні методи вимірювання температури в оптичному і інфрачервоному діапазонах спектру.

II. Клінічні методи вимірювання температури

У процесі інтенсивної терапії застосовується інтравезікальне вимірювання температури через сечовий катетер. При хірургічних втручаннях на голові і грудній клітці вимірюється ректальна температура. Найбільш близьку величину до температури ядра при гіпотермії дає езофагальне вимірювання температури. Недоліками наведених методів є: неможливість точно оцінити місце датчика в області контакту, нестабільне становище датчика при гіпотермії і нагріванні, що призводить до відхилення вимірюваної температури від внутрішньої температури тіла в умовах штучного кровообігу.

Відомо, що температура в прямій кишці повільно реагує на гострі зміни, наприклад при використанні "крижаної крихти" для додаткового охолодження в кардіохірургії. Крім того, температура в прямій кишці схильна до впли-

ву місцевих процесів в кишечнику. Тому при гіпотермії і гіпертермії часто застосовується комбінація методів вимірювання температури тіла, наприклад в кардіохірургії вимірюється ректальна температура в комбінації з назофарингеальним методом вимірювання.

У деяких ситуаціях, наприклад при операції на серці під наркозом або в умовах гіпотермії, виникає потреба в контролі температури тіла шляхом її вимірювання в нижній третині стравоходу або на барабанній перетинці. Вважається, що температура в нижній третині стравоходу в цілому відображає відповідно температуру аортальних і каротидних судин і тому трохи нижче ректальної температури. Температура цих областей відображає зміни температури «ядра» більш швидко і точно, ніж ректальна температура, що використовується в хірургії і при критичних ситуаціях.

Температура крові, яка витікає з лівого шлуночка, на $0,27\text{--}0,55^{\circ}\text{C}$ нижче ректальної температури [3]. Причина цього залишається невідомою. Передбачається, що під впливом бактеріальної флори температура в прямій кишці перевищує температуру інших частин тіла. Крім того, кров з лівого шлуночка може охолоджуватися кров'ю, що протікає поруч венозною кров'ю з кінцівок, відповідно до типу протivotочного теплообміну.

У всіх режимах гіпотермії існує ризик розвитку післяопераційних легеневих ускладнень у кардіохірургічних пацієнтів. З усіх факторів ризику розвитку післяопераційних легеневих ускладнень унікальними для операцій на серці є місцеве зовнішнє охолодження серця і застосування штучного кровообігу [3]. Операції з штучним кровообігом є причиною додаткового ушкодження легенів і затримки їх відновлення. Специфічні інтраопераційні методи забезпечення захисту міокарда включають глибоку міокардіальну гіпотермію і помірне системне охолодження циркулюючої крові через контур штучного кровообігу, що потребує застосування спеціальних методів контролю температури.

Стандартне відключення вентиляції легенів під час штучного кровообігу призводить до колапсу легень, ненормальної легеневої механіки, затримки секреторного відокремлюваного та розвитку ателектазів. Легеневий кровотік зупиняється, кров піддається впливу гіпотермії, кардіоплегічного розчину, чужорідних поверхонь і механічного впливу в контурі апарата штучного кровообігу. При цьому серед кардіологів немає згоди щодо прийнятного

методу фізіотерапії для зменшення ризиків розвитку післяопераційних легеневих ускладнень у кардіохірургічних пацієнтів при застосуванні штучного кровообігу.

В даний час актуальною залишається проблема вибору температурного режиму штучного кровообігу [4]. У режимі класичної гіпотермії більшість перфузій проводиться зі зниженням температури тіла до $26\text{--}28^{\circ}\text{C}$, що пов'язано з необхідністю захистити головний мозок і міокард, знизити об'ємну швидкість насоса апарата штучного кровообігу, збільшити безпеку пацієнта на час планової та позапланової зупинки апарату. Однак процес гіпотермії посилює кровотечу і збільшує загальний периферичний опір. При цьому за рахунок зігрівання пацієнта підвищується ризик гіпертермічного ураження головного мозку.

Останнім часом спостерігається тенденція до зниження температури тіла при перфузії до $32\text{--}34^{\circ}\text{C}$ і навіть до переходу на перфузію з температурою $36\text{--}37^{\circ}\text{C}$. За теорією перехід на нормотермічну перфузію повинен знизити ймовірність емболічного ураження головного мозку під час гіпертермії. Інша тенденція полягає в проведенні класичної гіпотермії з безперервним контролем температури тіла і досягнення рівномірності градієнта температур за рахунок збільшення тривалості зігрівання пацієнта.

В даний час реалізовані методи неінвазивного моніторингу гемодинаміки в кардіохірургії [5]. Зміни температури крові реєструються термістором, розташованим на кінчику катетера, встановленого в одну з магістральних артерій (стегнову, променеву). На підставі змін температури крові будується термоділюційна крива, і виконується автоматичний розрахунок показників центральної гемодинаміки. Ці показники включають як лівошлуночковий, так і правошлуночковий об'єми крові, і тому відбивають загальну картину наповнення серця кров'ю при застосуванні гіпертермії.

Однак існуючі методи неінвазивного контролю температури тіла в умовах штучного кровообігу не дають інформацію про градієнти температур на поверхні серця. Для реєстрації розподілу температур на поверхні серця при гіпотермії і гіпертермії ефективним інструментальним засобом вимірювання температури є тепловізіонна камера [6], яка дозволяє виконувати дослідження термоаномальних зон на поверхні міокарда. Ці дані дають чітке уявлення про розподіл внутрішньої температури і рівня мікроциркуляції в міокарді і судинах.

III. Неінвазивний контроль температури відкритого серця

Контроль температури серця за допомогою тепловізора дозволяє оцінювати найменші значення градієнтів температури, що підвищує ефективність захисту мозку і серця при їх виключенні з кровообігу. При цьому в кожній точці міокарда має місце кореляція між вимірюваною і істинною температурою з точністю до коефіцієнта, який є значенням випромінюваної здатності крові.

Для вимірювання температури в хірургії використовують різні типи датчиків [7], які мають хорошу біосумісність і стабільність при вимірюванні:

- волоконно-оптичний датчик прохідного типу, що дозволяє вимірювати температуру в діапазоні 0–70°C з точністю $\pm 0,04^\circ\text{C}$;
- езофагеальний напівпровідниковий датчик, що розташовується ректально або в нижній третині стравоходу та має високу точність $\pm 0,02^\circ\text{C}$;
- пірометричні датчики, які працюють в інфрачервоному діапазоні і забезпечують точність $\pm 0,05^\circ\text{C}$ в широкому діапазоні температур від -40°C до 80°C (без додаткового охолодження);
- термістор (омічний датчик) для реєстрації температури з високою точністю на поверхні шкіри та у катетері.

В даний час при виконанні операцій застосовуються одноразові медичні датчики температури. При цьому анестезіолог повинен бути готовий не тільки реєструвати температуру тіла, але також розпізнавати і зменшувати вплив небезпечних для життя коливань температури в умовах штучного кровообігу [8], які можуть бути пов'язані як з аномальним зниженням температури при гіпотермії, так і з аномальним підвищенням температури при гіпертермії.

Ефективним інструментом для вимірювання температури в умовах штучного кровообігу є тепловізори медичного призначення, які працюють в інфрачервоному діапазоні і забезпечують безконтактний і безперервний контроль температури з високою точністю. Наприклад, для реєстрації розподілу температури на поверхні серця можна використовувати тепловізор FlirTermoCamE300, який дозволяє вимірювати температуру в діапазоні від -20°C до 130°C з точністю до $0,1^\circ\text{C}$.

IV. Результати вимірювання температури

Тепловізор FlirTermoCamE300 дозволяє реєструвати термограми тіла і окремих органів в

інфрачервоному спектрі 7–13 мкм і документувати за допомогою відеозахвату весь процес гіпотермії і гіпертермії серця в умовах штучного кровообігу.

Наприклад, в процесі клінічної апробації неінвазивного методу вимірювання температури поспідовно реєструвалися термографічні зображення міокарда при гіпотермії при температурі від 36°C до 13°C . Температура навколишнього середовища в операційній становила 23°C і залишалася незмінною завдяки використанню системи кондиціонування повітря. Розподіл температури на поверхні серця при температурі $24,3^\circ\text{C}$ представлено на рис. 1 (а, б).

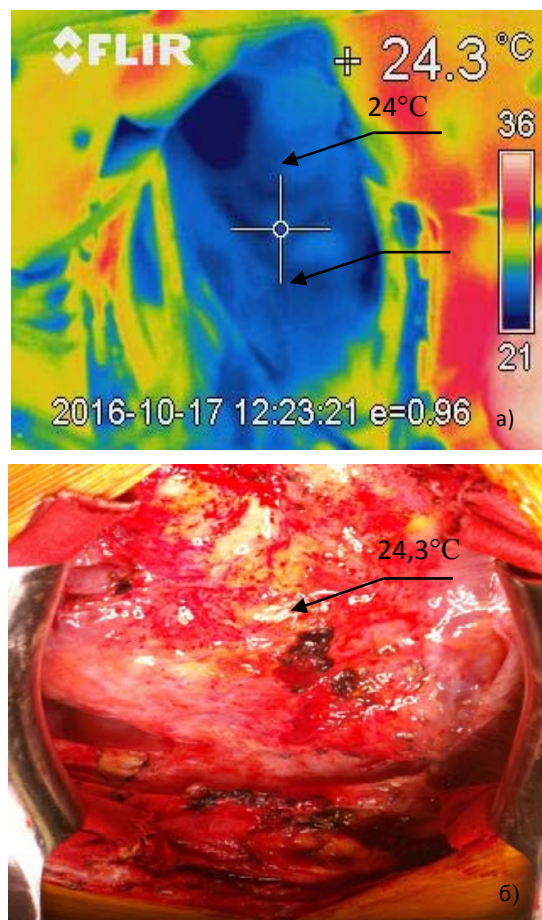


Рис. 1. а) Розподіл температури на поверхні серця при температурі $24,3^\circ\text{C}$; б) поверхня відкритого серця в умовах штучного кровообігу

Враховуючи, що тепловізор забезпечує точність вимірювання температур об'єктів $\pm 0,1^\circ\text{C}$, величина градієнта температури на поверхні серця більше 1°C дозволяє достовірно визначити ділянки міокарда з неоднорідним розподілом температури.

За допомогою інструментальних засобів інфрачервоної термографії можна визначити не тільки аномальні ділянки міокарда з неоднорідним розподілом температури на поверхні се-

рця, а також великі коронарні судини при достатній величині градієнта температури між серцем і навколишнім середовищем [9].

Тепловізор дозволяє одночасно контролювати зміни температури крові в контурі штучного кровообігу, зміни температури відкритого серця та тіла пацієнта. Застосування безперервного способу вимірювання температури дозволяє також контролювати температуру перфузата (крові в контурі штучного кровообігу), яка не повинна відрізнятися від температури тіла пацієнта більше ніж на 15°C.

Аналіз теплових зображень, які отримані для поверхні відкритого серця, показує наявність взаємозв'язку між станом міокарда і гетерогенністю (неоднорідністю) термограмм серця. На якісному рівні аналіз термограмм дозволяє в процесі загального дослідження інфрачервоного зображення міокарда, вивчити температурний рельєф серця і розподіл гарячих і холодних аномальних зон. Кількісний аналіз дає можливість уточнити результати попереднього аналізу термограмм серця і кількісно оцінити різницю температур між досліджуваними ділянками міокарда і температурою навколишніх тканин [10].

Наприклад, застосування тепловізора для контролю температури венозного повернення в контурі штучного кровообігу дозволяє регулювати приток крові до порожнистих вен за допомогою зміни оклюзії венозної лінії затискачем або спеціальним пристроєм.

V. Висновки

Застосування тепловізійних методів контролю температури дозволяє реєструвати теплове випромінювання від поверхні серця і достовірно визначати градієнт температур безпосередньо між перфузатом і міокардом в будь-який момент часу в умовах штучного кровообігу з точністю до 0,1°C в залежності від чутливості і роздільної здатності сенсорної

матриці тепловізора. Оцінка температури тіла в умовах штучного кровообігу дозволяє підвищити ефективність інтраопераційного захисту мозку і серця, та передбачає використання спеціальних технічних засобів і клінічних методів вимірювання температури крові і тіла.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Устинов А. В. Кардиохирургия и интервенционная кардиология: проблемы и перспективы развития / Український медичний часопис: актуальні питання клінічної практики. Издательство «МОРИОН», №1 (87) I – II 2012 г. – с. 4 URL: <https://www.umj.com.ua/article/25512/kardioxirurgiya-i-intervencionnaya-kardiologiya-problemy-i-perspektivy-razvitiya>.
- [2] Райнер Шефер, Матиас Эберхардт Анестезиология / пер. с нем. под ред. О.А. Долиной. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 864 с.
- [3] Wynne, R. Postoperative pulmonary dysfunction in adults after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: clinical significance and implications for practice / R. Wynne, M. Botti // Am. J. Crit. Care. – 2004. – Vol. 13. – P. 384–393.
- [4] Бунятян А. А., Мизиков В.М. Анестезиология: национальное руководство / под ред. А. А. Бунятяна, В. М. Мизикова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 1104 с.
- [5] ACCM/PALS haemodynamic support guidelines for paediatric septic shock: an outcomes comparison with and without monitoring central venous oxygen saturation / C. F. de Oliveira, D. S. de Oliveira, A. F. Gottschald [et al.] // Intensive Care Med. – 2008. – Vol. 34, N 6. – P. 1065–1075.
- [6] Данилова В. А., Шлыков В. В. Применение тепловидения в диагностике сосудистых патологий / Электроника и связь, 2014, Том 19, №5(82). – с. 73 – 75 г. URL: <http://ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/11021/3/16.pdf>
- [7] Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. — М.: Мир, 1989.
- [8] Christopher C. Young, Robert N. Sladen «Clinical Monitoring» / International Anesthesiology Clinics, 1996. – Vol. 34, № 3 URL: www.perfusion.com
- [9] Шликов В.В. Метод цифровой обработки видеоданных термограмм при операциях на открытом сердце с фильтрацией визуальных фонов миокарда // Наукові вісті НТУУ "КПІ", No 1 (2018). С 26 – 36. – URL: http://bulletin.kpi.ua/article/download/118807/pdf_286
- [10] Максименко В. Б., Шлыков В.В., Данилова В. А. Обнаружение тепловых неоднородностей для последовательности изображений в видео термограмм / В. Б. Максименко, В. В. Шлыков, В. А. Данилова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук.пр. Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – № 19 (1241). – С. 42-47. – URL: <http://mts.khpi.edu.ua/article/view/108075/108075-229239-1-PB.pdf>.

КЛИНИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕРДЦА

Данилова В. А., ассистент,
valnaa@ukr.net

Шлыков В. В., доц., к.т.н.
v.shlykov@kpi.ua

Факультет биомедицинской инженерии
Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"
г. Киев, Украина

Реферат — Сегодня невозможно себе представить лечение больных с врожденными и приобретенными пороками сердца, ишемической болезнью сердца или сложными нарушениями ритма без хирургического вмешательства. Применение современных радикальных методов лечения кардиохирургических больных предполагает непрерывный контроль температуры крови и тела пациента в условиях искусственного кровообращения [1]. Например, в Национальном институте сердечно-сосудистой хирургии (НИССХ) им. Н. М. Амосова выполняются оперативные вмешательства по поводу ретроградной дуги аорты. При этом предпочтение отдается методике ретроградной гипотермической перфузии головного мозга через верхнюю полую вену. Температура крови составляет 18°C, объемная скорость перфузии 250–400 мл/мин/м², перфузионное давление 10–12 мм рт. ст., время перфузии 50–70 мин. При этом контролируются изменения температуры «ядра» тела, а методика позволяет полностью сохранить жизнедеятельность мозга. Методика общей управляемой гипертермической перфузии также применяется при инфекционном эндокардите, когда согревание пациента до температуры 39,5°C проводится при помощи теплообменника аппарата искусственного кровообращения с поддержанием достигнутой температуры тела в течение 30–40 мин после основного этапа операции. Это позволяет уменьшить количество рецидивов инфекционного эндокардита до 0,5 %. Таким образом, оценка температуры тела предполагает использование, как специальных технических средств измерения температуры, так и применение специальных клинических методов измерения температуры крови и тела.

Ключевые слова — защита миокарда, гипотермия, искусственное кровообращение, термография, распределение температуры.

CLINICAL MEASUREMENT OF HEART TEMPERATURE

Danilova V. A.

The assistant of Biomedical engineering,
valnaa@ukr.net

Shlykov V. V.

Associate Professor, Ph.D.
v.shlykov@kpi.ua

Faculty of Biomedical Engineering
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine

Abstract. *Purpose.* Today, it is impossible to imagine treatment of patients with congenital and acquired heart diseases, coronary heart disease or complicated rhythm disturbances without surgical intervention. The use of modern radical methods of treatment of cardio surgical patients assumes continuous monitoring of the temperature of the patient's blood and body in conditions of cardiopulmonary bypass [1]. For example, in the National Institute of Cardiovascular Surgery (NICSH) named N.M. Amosova performed surgical interventions for the retrograde arch of the aorta. Preference is given to the method of retrograde hypothermic perfusion of the brain through the upper vena cava. The temperature of the blood is 18 °C, the volume perfusion rate is 250-400 ml / min / m², the perfusion pressure is 10-12 mm Hg. The perfusion time is 50-70 minutes. At the same time, changes in the temperature of the "core" of the body are monitored, and the technique allows to fully preserving the vital activity of the brain. The method of general controlled hyperthermic perfusion is also used for infective endocarditis, when the patient warms up to 39.5 °C with a heat exchanger of the cardiopulmonary bypass and maintains the body temperature achieved within 30-40 minutes after the main stage of the operation. This allows reducing the number of relapses of infective endocarditis to 0.5%. Thus, the evaluation of body temperature involves the use, as a special technical means of measuring temperature, and the use of special clinical methods for measuring body temperature.

Keywords – protections of the myocardium, hypothermia, cardiopulmonary bypass, thermography, temperature distribution.