УДК 615.47: 616–072.7

Ян Лунінь
С.В. Павлов
К.П. Локес
Я.Г. Скорюкова

Оптичні методи та інтелектуалізовані оптико-електронні технології для оцінювання ступеню ішемії верхніх кінцівок в медицині катастроф

Вінницький національний технічний університет
Полтавський державний медичний університет

Анотація.
Травматичні ушкодження кінцівок дуже часто зустрічаються в екстреній медицині та медицині катастроф. При зверненні пацієнтів з травмами рук часто спостерігається пошкодження судинних нервових пучків, що вимагає подальшої реконструкції. Запропоновано для визначення ступеню перфузії застосовувати тепловізійні та фотоплетизмографічні методи досліджень порушення тканинної мікроциркуляції та інтелектуалізовану оптико-електронну систему.

Ключові слова: тепловізійні та фотоплетизмографічні методи, перфузія, тканинна мікроциркуляція, травматичні ушкодження кінцівок, класифікація, інфрачервоне тепловізійне зображення, машине навчання, біомедичне застосування

Вступ. Травматичні ушкодження кисті та верхньої кінцівки є дуже поширеними випадками в екстреній медицині та медицині катастроф, що вимагають застосування передових мікрохірургічних методів реконструкції нервів та судинної системи з метою мінімізації функціональних втрат [1]. Травми рук можуть мати різні причини, включаючи нещасні випадки, пов'язані з професією, побутовими та транспортними засобами, а також наслідками поранень [2]. Залежно від причини травми, ці ушкодження також можуть сильно варіювати за ступенем тяжкості від легких рваних ран до складних відкритих травм, які вимагають обширного хірургічного втручання на нервах і судинній системі [3].

Лікування травми руки вимагає хірургічних втручань для відновлення іннервації та кровопостачання для сприяння правильному загоєнню ран. Відновлення нервів руки часто має пріоритет над відновленням артерій, якщо кінцівка вже добре перфузована [5]. Якщо кровопостачання кінцівки значною мірою порушено, це може спричинити подальші ускладнення для загоєння та функціонування нерва та поставити під загрозу здатність кінцівки пацієнта до загоєння.

Методика. Прийнято вважати, що збільшення кровотоку в місці травми поліпшить загоєння ран [3]. Судинні супутні захворювання, такі як діабет, атеросклероз та порушення згортання крові, також пов'язані зі значно вищим ризиком ускладнень після операції [4], що свідчить про те, що зниження кровопостачання може негативно впливати на загоєння ран.

Важливість васкуляризації в процесі загоєння була продемонстрована в багатьох дослідженнях [5,6]. Відомо, що забезпечення достатнього кровопостачання під час реконструктивної хірургії особливо важливо для загоєння м'яких тканин, кісток, нервів і сухожиль [1,2,4]. Протягом усього процесу загоєння ран васкуляризація відіграє життєво важливу роль, забезпечуючи киснем і поживними речовинами пошкоджену ділянку та підтримуючи процес відновлення [1,3,5]. Парціальний тиск кисню в тканинах, що забезпечується перфузією крові, також має важливе значення, оскільки впливає на бактерицидну здатність. Таким чином, порушення кровопостачання може сприяти підвищенню ризику інфікування рани та негативно впливати на міцність рани на розрив [2,3]. Тому необхідно забезпечити ефективну циркуляторну перфузію після травматичних ушкоджень кінцівок рук, щоб мінімізувати ризик подальших ускладнень, таких як ішемія та некроз.

Метод. Фотоплетизмографічній метод (ФПМ) діагностики відноситься до методів, заснованих на застосуванні лазерних і оптико-електронних приладів та дозволяє вимірювати кровонаповнення і кровотік в венах, артеріях, периферичних судинах і капілярах і базується на реєстрації кров'яного потоку з використанням оптичного джерела в інфрачервоному або червоному діапазонах. Чим більше кров'яний потік, тим менше світла поглинається в тканинах організму, отже, більше світла приходить на оптичний сенсор. Фотоплетизмограмма дозволяє вимірювати об'ємний пульс крові, викликаний періодичною

зміною об’єму крові при кожному ударі серця, частоту серцебиття, варіабельність серцевого ритму. Об’єм будь-якого органу включає в себе об’єм тканин і об'єм крові, що його заповнює. Таким чином, об’єм тканин постійний, а об’єм крові змінюється в залежності від фази серцевого циклу. Ці зміни, які також залежать від дихання, терморегуляції і активності симпатичної нервової системи, можна зареєструвати за допомогою оптико-електронних приладів [6,7].

Тепловізійний метод базується на реєстрації інфрачервоного теплового (ІЧТЗ) зображення, що дозволяє здійснювати неінвазивний моніторинг розподілу температури поверхні шкіри, що забезпечує аналіз інформації про стан тканинної мікроциркуляцію, вегетативну нервову систему, вазоконстрикцію/вазодилатацію, запалення та інші процеси, які можуть сприяти підвищенню температури шкіри. Використовуючи інтелектуальні методи аналізу, як процеси машинного навчання для класифікації та прийняття рішень, можна підвищити точність діагностування та ефективність подальшої медичної допомоги [8].

Практична реалізація та експериментальні дослідження.

На рис. 1 зображена оптико-електронна система оцінювання ступеню ішемії верхніх кінцівок.

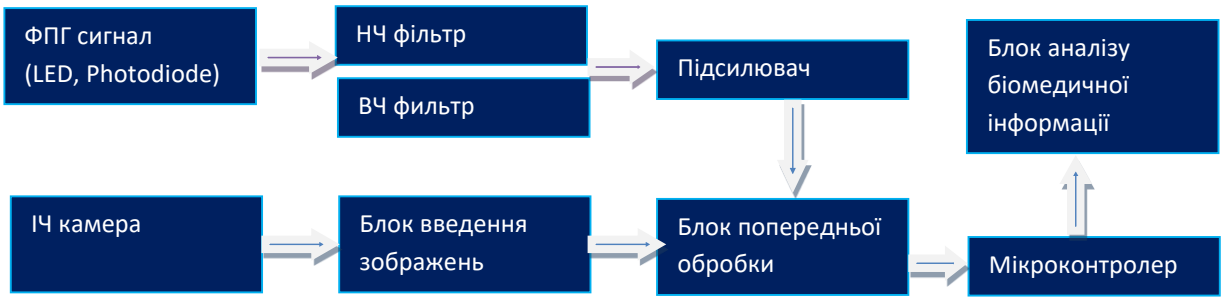


Рисунок 1 - Оптико-електронна система оцінювання ступеню ішемії верхніх кінцівок.

Після травматичного пошкодження кінцівки необхідно перевірити кровопостачання та достатню значення перфузії. Пропонується оцінювання кровообігу за допомогою візуалізації тепловізором HIKMIKRO та оптико-електронного приладу для дослідження тканинної мікроциркуляції, продемонструвавши, що кровопостачання кінцівки достатньо перфузію (рис. 2).

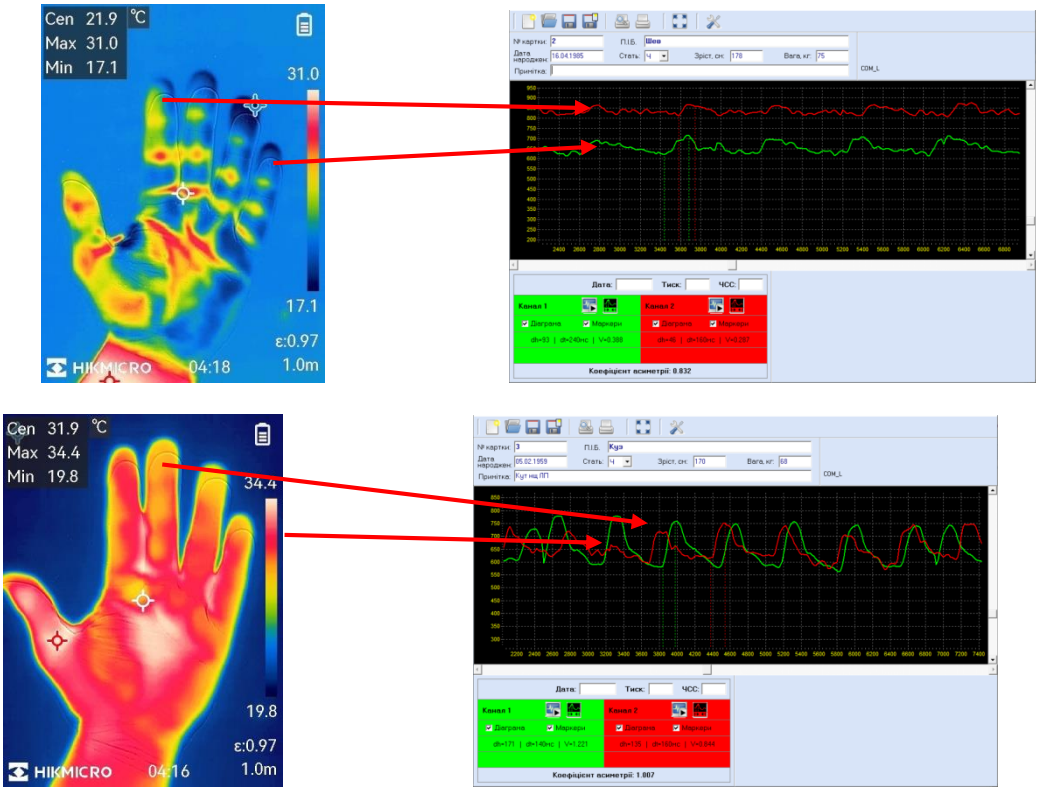


Рисунок 2 - Репрезентативні зображення перфузії кровообігу. Візуалізація та кількісна оцінка співвідношення кровообігу ураженої руки (а) відносно іншої здорової руки пацієнта (б)

Даний метод дослідження дозволяє оцінити достатність колатерального кровообігу на певному рівні, що важливо при визначенні рівня відновлення кінцівки. Корисним Отримані результати задовільно корелюють із тяжкістю ішемії і станом колатерального кровообігу. Інформативність тесту з реактивною гіперемією становить понад 80%.

Висновки. Виходячи з отриманих результатів, показано, що після травматичного ушкодження виникає запальна реакція, яка призводить до легкого васкуліту, що, у свою чергу, призводить до колатерального рекрутування. Потім ці колатеральні судини компенсують пошкоджену судину і адаптуються для покращення тканинної мікроциркуляції, що призводить до розвитку колатерального кровообігу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dastagir, N.; Obed, D.; Bucher, F.; Murad, S.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Blood Vessel Injuries of the Fingers: A Clinical Comparison of One- and Two-Arterial Blood Supply. J. Clin. Med. 2023, 12, 5889. https://doi.org/10.3390/jcm12185889.
2. Bickel, K.D.; Dosanjh, A. Fingertip reconstruction. J. Hand Surg. 2008, 33, 1417–1419.
3. Gordon, A.M.; Malik, A.T.; Goyal, K.S. Trends of hand injuries presenting to US emergency departments: A 10-year national analysis. Am. J. Emerg. Med. 2021, 50, 466–471.
4. Sabongi, R.G.; Erazo, J.P.; Moraes, V.Y.d.; Fernandes, C.H.; Santos, J.B.G.D.; Faloppa, F.; Belloti, J.C. Circular saw misuse is related to upper limb injuries: A cross-sectional study. Clinics 2019, 74, e1076.
5. Dastagir, N.; Obed, D.; Dastagir, K.; Vogt, P.M. Personalized Treatment Decisions for Traumatic Proximal Finger Amputations: A Retrospective Cohort Study. J. Pers. Med. 2023, 13, 215.
6. 20. Wójcik W., Smolarz A. Information Technology in Medical Diagnostics. *London, Taylor & Francis Group CRC Press Reference*. 2017. P. 210.
7. 21. Pavlov S.V., Kozhemiako V.P., Petruk V.G., Kolesnik P.F., Photoplethysmohrafic technologies of the cardiovascular control, Vinnitsa: Universum-Vinnitsa, 2007, P. 254,
8. 22. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2019, P. 336.
9. 23. Pavlov S. V., Kozhukhar A. T. Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching. *Przegląd elektrotechniczny*. 2017. R. 93. NR 3. P. 121-124. ISSN 0033-2097.

Ян Лунінь – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: longyinyang966@gmail.com.
Павлов Сергій Володимирович – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,
e-mail: psv@vntu.edu.ua
Локес Катерина Петрівна - кандидат медичних наук, доцент завідувачка кафедри, Полтавський державний медичний університет, **e-mail:** k.lokes@pdmu.edu.ua
Скорюкова Янина Германівна – к. т. н, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,
e-mail: yaskor@vntu.edu.ua.

Yang Longyin
S.V. Pavlov
K.P. Lokes
Ya.G. Skoryukova

OPTICAL METHODS AND INTELLIGENT OPTOELECTRONIC TECHNOLOGIES FOR ASSESSING THE DEGREE OF UPPER EXTREMITY ISCHEMIA IN A MEDICAL CATASTROPHE

Abstract. Traumatic injuries of the extremities are very common in emergency medicine and disaster medicine. When patients with hand injuries are treated, damage to vascular nerve bundles is often observed, which requires further reconstruction. It is proposed to use thermal imaging and photoplethysmographic methods of studying tissue microcirculation disorders and an intelligent optical-electronic system to determine the degree of perfusion.

Keywords: thermal imaging and photoplethysmographic methods, perfusion, tissue microcirculation, traumatic injuries of the extremities, classification, infrared thermal imaging, machine learning, biomedical application