

УДК 535.2.616

Володимир ПАВЛОВ¹, аспірант,

Лунінь ЯН¹, аспірант,

Ольга КОМАРОВА², аспірант,

Олександр БЕЗКРЕВНИЙ¹, старший викладач

¹ Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: machinehead6926@gmail.com, longyinyang966@gmail.com, alexvntu@gmail.com

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна, e-mail: komarova.ollha@gmail.com

МЕТОД ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТКАНИННОЇ МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ

Анотація. Проведено аналіз методів та систем оцінювання стану мікроциркуляції, що є однією з важливих проблем сучасної медичної діагностики. Значна кількість захворювань нерозривно пов'язана з тими чи іншими порушеннями тканинної мікроциркуляції, а саме атеросклероз, артеріальна гіпертензія, ендотоксемія та сепсис, діабетична нефропатія, венозна недостатність, Covid 19 та ін. Тому оцінювання стану мікроциркуляції є однією з важливих проблем сучасної медичної діагностики. Запропонований в роботі оптико-електронний прилад для неінвазивного експрес-аналізу тканинної мікроциркуляції, що дозволить задовольнити запит на сучасне діагностичне обладнання, яке відповідає сучасних світовим стандартам. У розрахунково-конструкторській частині виконана розробка схеми пристрою, виконаний розрахунок надійності.

Ключові слова: оптико-електронний прилад, тканинна мікроциркуляція, низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання, біологічний об'єкт, фотонні та лазерні технології.

Вступ. Оцінювання стану тканинної мікроциркуляції є однією з важливих проблем сучасної медичної діагностики. Велика кількість захворювань пов'язана з тими чи іншими порушеннями тканинної мікроциркуляції, наприклад, атеросклероз, артеріальна гіпертензія, ендотоксемія та сепсис, діабетична нефропатія, венозна недостатність, цукровий діабет, Covid 19 та багато ін. Наразі значна кількість провідних фірм займається розробкою та виробництвом діагностичної медичної апаратури, найбільш відомі з них: Philips, MEDIC (Medizinische Messtechnik GmbH), Nonin (РФ), Cas Medical System (США), Radiometer (Данія), Micromed (Україна), Criticare (США), Ютас (Україна) та інші. При дослідженнях стану тканинної мікроциркуляції широко застосовують різні методи, засновані на неінвазивній медичній спектروفотометрії (НМС), фотоплетизмографії, пульсоксиметрії, оптичній тканинній оксиметрії, лазерній доплерівській флоуметрії (ЛДФ), лазерній флуоресцентній діагностиці.

Метод. Найбільшого поширення набули лазерна доплерівська флоуметрія (ЛДФ) і оптична тканинна оксиметрія (ОТО). З фізичної точки зору, оптичним методам діагностики та лікування притаманні індиферентність оптичного сигналу до електромагнітних завад та потенційна можливість забезпечення багатоканальності, з іншого боку вони дозволяють досить точно визначати кількісні і якісні показники біологічних об'єктів.

Метод ЛДФ дозволяє визначати середню перфузію тканин кров'ю (показник мікроциркуляції (ПМ)) на рівні мікроциркуляторного русла біоткани, а також частотні ритми процесів мікротермодинаміки.

Метод ОТО заснований на спектروفотометричному аналізі різних фракцій гемоглобіну і дозволяє *in vivo* оцінювати динаміку транспорту і сатурацію крові киснем в мікросудинах. Разом з тим, кожен з перерахованих вище методів НМС не є самодостатнім з точки зору моніторингу (всього або достатнього за повнотою) повного комплексу показників тканинної мікроциркуляції.

Деякі з перерахованих методів мають ряд істотних обмежень, таких як недостатньо висока просторова роздільна і часова здатність, обмеженість інформації про потік частинок,

особливо при скануванні по глибині біотканини, деяка інвазивність вимірювань і ін. Методи і відповідно прилади НМС (за виключення пульсоксиметрів) відносять до методів і приладів індикаторного типу (що дозволяють оцінювати відносні рівні реєстрованих показників і загальні тенденції в динаміці вимірюваних показників в часі без жорсткої прив'язки до їх абсолютних і розмірних значень).

Загальна інформативність і достовірність діагностичних обстежень з використанням НМС залежить, багато в чому, і від грамотного вибору методик проведення вимірювань і пов'язаних з ними підходів до аналізу та інтерпретації результатів обстежень пацієнтів. У загальному випадку, при проведенні диференціальної діагностики (норма-патологія), величезну роль в трактуванні отриманих результатів грають обрані області обстеження і ретельний підбір статистичного матеріалу норми для обраних анатомо-топографічних точок.

Оскільки методи НМС є відносно новим діагностичним підходом, який реалізують нові діагностичні технології, на сьогоднішній день повноцінних статистичних даних про значеннях різних показників для різної локалізації оптичних сенсорів на тілі пацієнта в нормі і, тим більше, при різній патології, не зібрано. Оптимальним є створення і подальше використання в клінічній практиці чотирьох каскадної (оптичний тканинний оксиметр, доплерівський флуорометр, оптоволоконний пірометричний термометр, аналізатор контрасту спекл-зображення біологічної поверхні) мультиспектральної лазерної волоконно-оптичної системи, що дозволить в найбільш короткий проміжок часу проводити моніторинг максимально широкого переліку показників функціонування мікроциркуляторного русла.

На рис. 1 подано структурну схему оптико-електронної системи для оцінювання тканинної мікроциркуляції.

Система містить автоматичний регулятор коефіцієнтами підсилення 11, світлопротинювач 1, фотодетектор 2, що підключений до входу підсилювача 4. Вихід підсилювача під'єднаний до входу аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) 5, який з'єднаний зі входом мікроконтролері 6. Схема також містить блок індикації 7, блок зберігання програм 8 і блок еталонів 9. Все це з'єднано з комп'ютером 10. Основною ознакою, яка відрізняє дану схему від попередніх розробок є введення в неї блоку еталонів та поляризаційного фільтру 2.

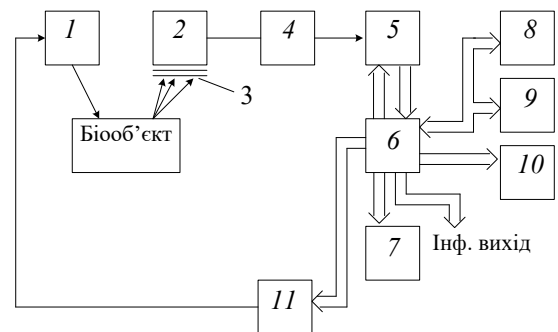


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Блок еталонів значно покращує результати роботи. Дані що містить у собі даний блок, надають представлення про те, як вимірювання пульсу змінюється при різних хворобах.

Аналіз пульсу може використовуватися для таких застосувань:

- діагноз і раннє виявлення артеріосклерозу, хронічних і/чи гострих артеріальних судинних хвороб, і функціонального порушення циркуляції;
- моніторинг ризикових хворих, як наприклад діабетиків, курців, і хворих старших 50-ти років;

Особливості оцінювання тканинної мікроциркуляції крові

В результаті аналізу встановлено, що при вирішенні вимірювального завдання визначення параметрів процесу тканинної мікроциркуляції крові в необхідно враховувати наступні аспекти, що впливають на отримання достовірних результатів:

– дії артефактів та емоційного стану пацієнта (виключається хвилинною адаптацією до процесу вимірювань з метою заспокоєння, досягнення рівномірного дихання та нерухомості пацієнта);

– коректність поставленого вимірювального завдання (залежить від рівня знань з вирішуваної медико-технічної проблеми та компетентності розробників медичних засобів діагностики та вимірів);

– обґрунтованість вибору адекватної математичної моделі та методу вимірювань (визначається рівнем підготовки фахівців та знанням методів вирішення поставленого завдання);

– обґрунтованість визначення заданої сукупності інформаційних параметрів (визначається ступенем опрацювання існуючих досягнень у цій галузі);

– оптичні властивості шкіри людини та пов'язаний з цим обґрунтований вибір робочих довжин хвиль, на яких має місце поглинання потоку оптичного випромінювання кров'ю, епідермісом та дермою (Во у багатьох випадках вибір робочих довжин хвиль є «ноу-хау» розробників);

– потужність джерел оптичного випромінювання, форми кривих спектрів, ступінь їх ідентичності (вплив зазначених параметрів виключається знанням сутності оптичних методів вимірювань, існуючих шляхів та методів підвищення точності вимірювань);

– нерівномірність спектральної характеристики фотоприймача на робочих довжинах хвиль (виключається за рахунок встановлення рівних значень коефіцієнтів посилення вимірювального каналу робочих довжинах хвиль);

– стабільність джерела живлення лазерних світлодіодів (нестабільність виключається шляхом стабілізації струмів, що живлять лазерні світлодіоди, та температури навколишнього середовища);

– якість комутації електричних сигналів. Забезпечується шляхом реалізації мостових схем комутаторів;

– коректний вибір часу інтегрування інформативного сигналу (забезпечується при аналізі

– спектрів перешкод та наведень та вибором відповідного часу інтегрування);

– синхронізації процесів встановлення тиску, перетворення та вимірювання (досягається шляхом формування синхронізуючих сигналів, прив'язаних до певних фаз сигналу частоти дихання та пульсової хвилі);

– особливості конструктивно-технологічного та технічного вирішення вимірювального завдання (залежать від вибору типу сигнального процесора, мікроконтролера або мікроконвертора, а також реалізованого методу вимірів; на якість інформації, що видається, впливає і вибір обсягу графічної і числової інформації, правильний вибір швидкості термодруку, наявність числових міток часу на паперовому носії тощо).

Висновок. Проведено аналіз методів та систем оцінювання стану мікроциркуляції, що є однією з важливих проблем сучасної медичної діагностики. Значна кількість захворювань нерозривно пов'язана з тими чи іншими порушеннями тканинної мікроциркуляції, а саме атеросклероз, артеріальна гіпертензія, ендотоксемія та сепсис, діабетична нефропатія, венозна недостатність, Covid 19 та ін. Тому оцінювання стану мікроциркуляції є однією з важливих проблем сучасної медичної діагностики. Запропонований в роботі оптико-електронний прилад для неінвазивного експрес-аналізу тканинної мікроциркуляції, що дозволить задовольнити запит на сучасне діагностичне обладнання, яке відповідає сучасних світовим стандартам.

Література

1. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press – 210 Pages.
2. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
3. Фізичні основи біомедичної оптики : монографія / [С.В. Павлов, В.П. Кожем'яко, П.Ф. Колісник та ін.] – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 155 с.
4. Аналіз методів взаємодії оптичного випромінювання з біотканинами і шляхи їх удосконалення / [С.В. Павлов, В.П. Думенко, Т.І. Козловська та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2008. – №2. – С. 129-135.

5. Лазерні медичні технології : навчальний посібник / [за редакцією З.Ю. Готри, С.В. Павлова] – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 157 с.
6. Павлов С.В., Кожем'яко В.П., Петрук В.Г., Колісник П.Ф., Марков С.М. Біомедичні оптико-електронні інформаційні системи і апарати. Ч.1 – Неінвазивні методи діагностики серцево-судинної системи. Навчальний посібник – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 126 с.
7. Павлов С.В., Сандер С.В., Козловська Т.І., Безкривний О.С., Лунінь Ян. Лазерна фотоплетизмографія для оцінювання периферичного кровообігу нижніх кінцівок, Сучасні та проблеми інфо-комунікацій, радіоелектроніки наносистем (СПРН-2021), Вінницький національний технічний університет, 3-5 листопада 2021. – 3 с.