

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕЄСТРАЦІЇ ПУЛЬСОВОЇ ХВИЛІ

Розглянуто методи реєстрації пульсової хвилі, подано коротку характеристику кожного методу, їх основні переваги та недоліки; визначено оптимальний метод реєстрації пульсограм відповідно до сучасних вимог реєстрації пульсових хвиль

Ключові слова: пульсова хвиля, пульсограма, сфїгмограма, реограма, фотоплетизмограма

The methods of registration the pulse wave considered, filed a brief description of each method, their advantages and disadvantages; determined the optimal method for pulsogram detecting accordance with modern requirements for registration pulse waves

Keywords: pulse wave pulsohrama, sfihmohrama, reohrama, fotopletyzmohrama.

Актуальною проблемою сучасної медицини є захворювання серцево-судинної системи (ССС). Арсенал сучасної діагностичної апаратури представлений випробуваними на практиці методами об'єктивізації судинної патології: реографія (РЕГ), сфїгмографія, ехокардіографія (ЕхоКГ), оптична та комп'ютерна капіляроскопія, радіонуклідна діагностика, ангіографія, ультразвукові методи діагностики, лазерна доплерографія, комп'ютерна томографія (КТ), МРТ в судинному режимі (МРА), перфузійна МРТ тощо. Але найінформативнішим методом моніторингу стану організму, експрес- та функціональної діагностики серцево-судинної системи залишається реєстрація пульсової хвилі, про що свідчить ряд дисертацій та патентних робіт (Баєвський Р.Б., Бороноев В.В., Савицький М.М., Терехова Л.Г., Шарпан О.Б., Тимчик Г.С., Янковенко О.Д., Файнзільберг Л.С., Павлов С.В., Кожемяко В.Г., Сторчун Ю.С., Волошина О.А., Волков В.И., Колпаков Є.В., Бакус Л.М., Затейщикова А.А., Регіпер С.А., Педлі Т., Asmar R., серед молодих науковців України – Мосійчук В.С., Мужичька Н.В., Колесникова, Козловська Т.І. та ін).

На практиці широко застосовуються методи, що дозволяють якісно та кількісно оцінити параметри кровоносної системи. Найпоширенішими серед них є електроконтактний, механічний та оптичний методи. Проте не кожен з них є достатньо інформативним, точним, безпечним та економічним.

Метою дослідження є аналіз методів реєстрації пульсової хвилі, визначення й обґрунтування їх основних переваг та недоліків, вибір оптимального методу.

Сучасні вимоги до реєстрації пульсової хвилі. Реєстрація пульсового сигналу з метою отримання інформації про розповсюдження пульсової хвилі, яку в подальшому можна використати безпосередньо для оцінки стану ССС, передбачає отримання пульсограми, що міститиме мінімум сторонніх компонент, спричинених завадами та артефактами насамперед. Методи та засоби, що використовуються при цьому, є надзвичайно різними, як з точки зору точності вимірювань, так і з точки зору наочності отриманих результатів, зручності у використанні технічних засобів та медичних приладів, комфортності досліджень для пацієнта і для лікаря.

Широкий вибір пристроїв та методик, запропонованих різними авторами для вимірювання параметрів пульсової хвилі, не завжди задовольняє сучасним вимогам до реєстрації медичних сигналів і пульсової хвилі, зокрема. *Первинна вимога* до процесу реєстрації пульсового сигналу – це вибір методу, що буде фізіологічним, без ризику для пацієнта, – таким, що не заснований на хірургічному втручанні чи оклюзії судин. Такі методи використовуються у клінічній практиці обмежено і лише у тих випадках, коли ризик, пов'язаний з процедурами зондування серця, є виправданим необхідністю отримання діагностичної інформації.

Наступний фактор, який можна вважати вирішальним для вибору методу реєстрації, – це точність вимірювань. При цьому похибка, що може супроводжувати процес реєстрації, як правило, є комплексною, що характерно для аналізу більшості медичних сигналів. Пояснюється це наявністю завад, які завжди супроводжують процес реєстрації медичних сигналів; під їх впливом на пульсограмах з'являються сторонні компоненти.

Важливим фактором при виборі методу реєстрації пульсового сигналу є інформативність цього методу. Нажаль, більшість методів, поширених сьогодні в медичній практиці, орієнтовані на вимірювання одного або декількох параметрів пульсового сигналу [1 – 3] уже при наявності патології ССС. Цього явно недостатньо, зважаючи на весь той арсенал характеристик, які можна отримати при аналізі пульсової хвилі ще до початку хвороби або наявності видимих ознак патології.

Окрім наведених вище вимог першочергового значення, *важливими* є і такі фактори як зручність та наочність представлення отриманих результатів, можливість збереження результатів проведеного дослідження та вибір деякого розповсюдженого стандарту кодування даних для зберігання і можливості перегляду результатів незалежно від місця проведення реєстрації.

Відповідно до переліку вимог, сформованих вище, можна проаналізувати сучасні неінвазивні методи реєстрації пульсового сигналу з метою вибору найбільш прийняттого з точки зору поставленої задачі.

Аналіз неінвазивних методів реєстрації пульсограми. Більш прийнятними для широкого використання у повсякденній клінічній практиці є неінвазивні методи реєстрації параметрів пульсової хвилі,

оскільки вони відбуваються без пунктирування артерії та порушення психологічного та емоційного стану пацієнта при інвазивному втручанні.

Форму пульсової хвилі можна досліджувати за допомогою відносно простих методик. Біосигнали, що відбивають об'ємні пульсові коливання кровонаповнення судин, знімають за допомогою реографа, плетизмографа, фотоплетизмографа. Вважають, що вони відображають сумарний ефект пульсації артеріального і венозного відділів судинного русла досліджуваної області. При аналізі біосигналів радіального зміщення прийнято вважати, що реєструються пульсові коливання тільки артеріальної (п'єзограма, сфігмограма) або тільки венозної (флебограма) стінки залежно від того, як встановлений датчик зйому інформації.

Реографія (метод імпедансної плетизмографії) [4, 5] – непрямий неінвазивний динамічний метод, що базується на біофізичному принципі реєстрації змін електричного опору тканин при пропусканні електричного струму високої частоти (20– 40 кГц) і слабкої сили (10 мА) через досліджувану ділянку з графічною реєстрацією пульсових коливань комплексного електричного опору. Жива тканина розглядається як електричний провідник, що має іонну провідність. Коливання електричного опору дотично відображають зміни швидкості та об'єму крові, яка тече по судинах. Пульсові коливання кровоплину реєструються у вигляді кривих синхронних коливань електричного опору.

Об'єкт дослідження – порушення електропровідності органа на фоні змін у його кровонаповненні.

Рівень дослідження судинної системи – вимірювання величини регіонарної гемодинаміки та периферичного кровоплину за рахунок аналізу реограм шляхом оцінки пульсового кровонаповнення різних судинних басейнів, тону артерій та вен.

Метод обробки отриманої інформації – кількісно-якісний (графічний).

Переваги методу:

1. Можливість довгої і безперервної реєстрації навіть незначних змін кровоплину без порушення фізіологічних умов досліджуваної ділянки.
2. Цілковита атравматичність, можливість проведення тривалих спостережень за гемодинамікою.
3. Застосування функціональних проб (із гіпервентиляцією, з гіперкапнією, з нітрогліцерином, із нікотиновою кислотою) дає змогу виявити приховані порушення кровообігу, відрізнити функціональні судинні зміни від органічних уражень судин мозку.
4. Широкі можливості для вивчення гемодинаміки життєво важливих органів і систем, своєчасної діагностики порушень кровоплину й призначення раціональної терапії.

Недоліки методу:

1. Загальний характер висновків про стан артеріальної та венозної ланок судинної системи, функція кровоплину яких відображається в одній кривій.
2. Роздільна здатність методу обмежена рівнем діагностики зниження кровонаповнення судинного басейну, а не сегмента конкретної судини.
3. Складність методу полягає в необхідності якісного виділення корисного сигналу активної провідності з одночасним врахуванням впливу реактивної (ємнісної) складової, яка виникає через ефекти поляризації шкіри та тканин. При збільшенні робочої частоти струму ємнісна складова зменшується, але з'являється ефект нагрівання тканин високочастотним струмом, який, змінюючи електропровідність, спотворює корисний сигнал. Рівень активної складової сигналу в найкращих результатах становить лише (0,5 – 1) % від рівня реєстрованого сигналу, що потребує значного підсилення на фоні шумів.
4. Значний вплив на реограму має методика її знімання, а саме розміри електродів, їх форма та відстань між ними та інші фактори, що впливають на розподіл ліній високочастотного струму. Обов'язковим є використання розчинів, що зменшують ємнісну складову, тому на даний час відходять від діагностики ССС за реографічними кривими.

Для розв'язання задач визначення параметрів судин і способів оцінки їх стану застосовують **сфігмографічний метод** [6, 7], заснований на аналізі графічного зображення форми коливання стінки судин або органів. Однак застосовувані пристрої мають суттєві обмеження і не в повній мірі задовольняють потребам практичної медицини. Це викликано низькою оперативністю досліджень, високою вартістю обладнання, необхідністю високої кваліфікації співробітників, а також проведенням обстежень в умовах стаціонару, обмеженістю каналів зняття сигналів та іншими факторами. Практика показує, що головним обмеженням, що перешкоджає коректної постановки діагностичних висновків про стан судин, є те, що число параметрів, що вимірюються, фіксовано, і значна частина інформації про стан пацієнта при виявленні захворювань враховується не завжди.

В сучасних системах реєстрації сфігмографічних сигналів використовуються чутливі твердотільні сенсори тиску з еластичною мембраною, п'єзоелектричні та пневматичні датчики [8].

Об'єкт дослідження – графічне відтворення характеристик артеріального пульсу в динаміці, визначення швидкості поширення пульсової хвилі по судинах еластичного та м'язового типів.

Рівень дослідження судинної системи – розрізняють сфігмограми центрального пульсу (досліджують магістральні артерії) і периферичного пульсу (реєстрація здійснюється з дрібніших артеріальних судин).

Метод обробки отриманої інформації – кількісно-якісний (графічний).

Переваги методу:

1. Простота методики дослідження.
2. Можливість тривалої та безперервної реєстрації незначних змін швидкості поширення пульсової хвилі по артеріях.
3. Цілковита атравматичність, можливість проведення спостережень у динаміці.

Недоліки методу:

1. Мало застосовується в практичній медицині і є більш аналітичним методом, ніж конкретно діагностичним.

2. Суттєвим недоліком є значний вплив артефактів механічного походження. Кожна ділянка судини утворює з оточуючими тканинами коливальну систему з частотою приблизно 30 Гц. Значний вплив мають тканини, які розташовані між судиною і датчиком, а також товщина шкіри, що призводить до амплітудних та фазових спотворень. Це є причиною того, що незалежно від якості сенсора сфігмограма реєструється з деякими спотвореннями. Лише при встановленні сфігмографічних датчиків на аорті більшість з цих явищ має значно менший вплив.

Фотоплетизмографічний метод [4, 5, 9]. Слід відзначити, що, крім розглянутих вище неінвазивних методів визначення параметрів серцевого викиду, таких як механокардіографія, яка базується на сфігмографічних обстеженнях, з цією ж метою можна використовувати інші методи визначення кровонаповнення тканин. Наприклад, дуже перспективним і простим з боку процедури вимірювання є фотоплетизмографічний метод, який базується на залежності проходження монохроматичного світла через досліджувану ділянку від її кровонаповнення. Фотоплетизмографічний метод дозволяє реєструвати **зміну** об'єму органу або його частини, що викликані динамікою кровонаповнення протягом серцевого циклу. Зміни освітленості фіксуються фотоприймачем, а електричний сигнал від останнього виводиться на дисплей у вигляді пульсової кривої. Фотоплетизмограма, що отримується після підсилення та обробки сигналу фотоприймача, характеризує стан кровотоку в місці розташування сенсора.

Найчастіше виконуються дослідження в світлі, що проходить. У цьому разі здійснюється пряма оцінка кровонаповнення в необхідній ділянці людини. Але часто буває досить важко провести такі дослідження, наприклад, для оптично малопрозорих біотканин або для важкодоступних ділянок об'єктів. Тоді використовують метод фотоплетизмографії в відбитому світлі, що не тільки дозволяє оцінити загальний кровоток на ділянці, що вивчається, але й дає інтегральну оцінку властивостей поверхні дослідження. Ці вимірювання проводять з достатньою мірою точності і з мінімальним впливом на пацієнта.

У разі застосування фотоплетизмографії у відбитому світлі є можливість отримувати інформативні сигнали двома дещо відмінними способами. Окрім сигналу, що характеризує об'ємні зміни кровонаповнення, відбитий від *тканини* світловий потік також може модулюватися переданими на поверхню шкіри коливаннями пульсового тиску в артерії. Остання крива є фактично сфігмограмою, оскільки світло, відбите від поверхні шкіри неподалік від пульсуючої артерії, характеризує механічні коливання.

Об'єкт дослідження – візуалізація та аналіз форми, калібру, довжини та кровонаповнення капілярів, характеру потоку еритроцитів в них.

Рівень дослідження судинної системи – візуалізація перфузії крові на мікроциркуляторному рівні.

Метод обробки отриманої інформації – пряма візуалізація з кількісно-якісним аналізом.

Переваги фотоплетизмографії полягають у неінвазивності, експресності, високій точності, високій інформаційній ємності світлового поля, високій швидкості розповсюдження оптичних сигналів. Оптичне випромінювання є природним для організму і не викликає побічних ефектів. Для даного датчика характерна простота конструкції та кріплення, відсутність впливу електромагнітних завад та можливість дослідження судин в будь-якій частині шкіри та слизових оболонок людського організму без стиснення тканин.

Також слід зазначити і *наявні обмеження* до більш широкого впровадження фотоплетизмографічного методу в клінічну практику. Зокрема широкий діапазон варіацій властивостей різних об'єктів дослідження (пігментація, товщина шкіри), рівень артеріального тиску. Значний вплив дають артефакти оптичного, електричного, механічного та температурного походження.

Ультразвуковий доплерівський (УЗД) метод [5, 9, 10], що базується на ефекті Доплера, зазнав багатьох вдосконалень протягом періоду свого застосування. Сучасні доплерографи разом з обчисленням головного, з точки зору методу, параметру – швидкості кровотоку, дозволяють розраховувати середньоквадратичну швидкість, характер току крові (ламінальний, турбулентний) та інше.

Об'єкт дослідження – сегмент магістральної артерії чи вени.

Рівень дослідження судинної системи – магістральні судини.

Метод обробки отриманої інформації – кількісно-якісний (цифровий та/або графічний).

Проте *недоліки* у цього методу присутні також. Зокрема, сучасні апарати переважно візуалізують сигнал у формі дво- та тривимірних карт, на яких неможливо спостерігати поширення пульсової хвилі в часі і, як наслідок, обраховувати інші супутні параметри, не закладені в алгоритм процедури. Один з різновидів апарату – потоковий спектральний доплерограф, – відображає динаміку швидкості пульсової хвилі в часі, проте інформація про напрям поширення хвилі і її амплітуду відсутня. Окрім того, ультразвуковий метод не може бути застосований до органів з порожнинами через саму суть ультразвукових досліджень. Сучасні доплерографи не призначені для добового моніторингу, оскільки їхня діагностична значимість дещо вузькоспеціалізована (в основному експрес-дослідження судин головного мозку) з точки зору сучасної

медицини.

Завершити аналіз сучасних методів реєстрації пульсограм можна таблицею 1.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз методів реєстрації пульсограм

Метод реєстрації пульсограми	Характеристики методу					
	оклюзія судини	точність	можливість подальшої обробки	візуалізація сигналу	можливість розрахунку супутніх параметрів	використання для добового моніторингу
Пряма сфігмографія	ні	невисока	так	папір/екран	низька	так
Обємна сфігмографія	так	невисока	так	папір/екран	висока	ні
Флебосфігмографія	ні	висока	ні	папір/екран	низька	ні
Плетизмографія	ні	невисока	так	Папір	низька	ні
Фотоплетизмографія	ні	висока	так	Екран	висока	так
Реографія	ні	висока	так	папір/екран	висока	так

Висновок. Але, незалежно від техніки одержання пульсової кривої, вона становить значний інтерес для лікарів різних спеціальностей. Цей особливий інтерес обумовлений значною інформативністю і малою інерційністю відомостей про процеси, що лежать в основі плетизмографічних змін. Метод і засоби для його реалізації постійно розвиваються. Саме тому, враховуючи переваги фотоплетизмографічного методу, а також обмеження, які слід подолати, базовим біосигналом та оптимальним для проведення подальшої роботи над системою реєстрації, відображення та аналізу пульсової хвилі для визначення функціонального стану серцево-судинної системи обрано пульсограму, отриману за допомогою даного методу.

Література

1. Десова А.А. Компьютерная система диагностики на базе анализа ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии /А.А. Десова, Ю.С. Легович, О.С. Разин // Медицинская техника. – 1999. – № 2. – С. 3– 5.
2. Дорофеюк А.А. Измерение, преобразование и обработка пульсового сигнала лучевой артерии в медицин-ской диагностике/А.А.Дорофеюк, А.А. Десова, В.В. Гучук, Ю.А. Дорофеюк // Мир измерений. – 2009. – № 1. – С. 11– 19.
3. Миронова Т. Ф. Клинический анализ волновой структуры синусового ритма сердца / Т. Ф. Миронова, В. А. Миронов – Челябинск: Дом печати, 1998. – 162с.
4. Фролов Д.Н. Разработка структурных методов и системы автоматизированного анализа реограмм: автореф. дис.канд.техн.наук. Томск, 1980.
5. Фофанов П.Н. Учебное пособие по механокардиографии /П.Н. Фофанов. – Л.: ВМедА им. С.М. Кирова, 1977. – 111 с.
6. Терехова Л.Г. Практические вопросы сфигмографии / Л.Г. Терехова. – Л.: Медицина, 1968. – 118 с.
7. Валтерис А.Д. Сфигмография как метод оценки изменения гемодинамики под влиянием физической загрузки / А.Д. Валтерис– Рига: Зинатне, 1988. – 131 с.
8. Бороноев В.В. Датчики пульса для практической диагностики в тибетской медицине/В.В. Бороноев, В.Д. Дашинимаяев, Э.А. Трубачев. – В кн.: Пульсовая диагностика тибетской медицины. – Новосибирск: Наука, 1988, с.64 – 77.
9. Фролов С. В. Методы и приборы функциональной диагностики: учебное пособие/С.В. Фролов, В.М. Строев, А.В. Горбунов, В.А. Трофимов. – Тамбов: Изд-во Тамб.гос.техн.ун-та, 2008. – 80 с.
10. Савицкий Н. Н. Некоторые методы исследования и функциональной оценки системы кровообращения / Н.Н. Савицкий. – Л.: Медицина, 1956. – 329 с.

Надійшла 24.1.2013 р.

Рецензент: д.т.н. Манойлов В.П.