УДК 616.12-005.4-07
DOI 10.31612/2616-4868.1(7).2019.07

А. М. Кравченко, Т. В. Ковзолович, Л. С. Файнзільберг

МОЖЛИВОСТІ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ІШЕМІЇ МІОКАРДА

Державна наукова установа «Науково-практичний центр профілактичної і клінічної медицини» Державного управління справами, м. Київ, Україна
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України і МОН України, м. Київ, Україна

Резюме

Мета – дослідити нові можливості застосування електрокардіографії (ЕКГ) для діагностики ішемії міокарда з використанням сучасних інформаційних технологій.
Матеріал і методи. Проведено аналіз сучасних наукових джерел, присвячених дослідженням щодо застосування нових неінвазійних ЕКГ-маркерів, які відображають електрофізіологічні процеси в різні фази серцевого циклу та можуть мати діагностичну значущість для виявлення ранніх проявів ішемічних змін у міокарді.
Результати. Виявлення серцево-судинної патології на ранніх етапах захворювання є важливим кроком для запобігання ускладненням і вимагає розробки доступних, не дорогих та ефективних методів діагностики. Останніми роками приділяється значна увага пошуку нових неінвазійних методів діагностики ранніх проявів ішемії та електричної нестабільності міокарда із застосуванням інформаційних технологій обробки ЕКГ. У роботі досліджено різні підходи до поглибленого аналізу обробки ЕКГ сигналу та оцінено можливості використання методу ЕКГ насамперед для діагностики ішемічних змін у міокарді та прогнозу раптової серцевої смерті, які обговорюються в науковій літературі й уже застосовуються або запропоновані для використання в клінічній практиці. Серед них електрокардіографія високого підсилення з оцінкою пізніх потенціалів шлуночків (ППШ), визначення мікро- та макроальтернації зубця Т, турбулентності серцевого ритму, варіативності серцевого ритму та аналіз ЕКГ, який проводиться у фазовому просторі – фазаграфія.
Висновок. Аналіз результатів досліджень щодо застосування нових неінвазійних ЕКГ-маркерів, які відображають електрофізіологічні процеси в різні фази серцевого циклу, з використанням можливостей автоматизованих інформаційних технологій, дозволяє стверджувати, що їх застосування дозволяє отримати додаткову інформацію про стан серцево-судинної системи та має діагностичну значущість для виявлення ранніх проявів ішемічних змін у міокарді.

Ключові слова: **серцево-судинна система, ЕКГ, ішемія міокарда, альтернація зубця Т, турбулентність серцевого ритму, інформаційні технології.**

ВСТУП

Наразі електрокардіологія залишається швидко зростаючим напрямком науки та клінічної практики. Однією з найважливіших тенденцій сьогодні є розширення кола діагностичних завдань, які можливо вирішити з використанням нових ЕКГ методів функціональної діагностики. Вони з'явилися та розроблюються на підставі й із залученням останніх досягнень електрофізіології, біофізики, інформатики, математичного моделювання та комп'ютерних технологій.

Сучасна електрокардіологія далеко відійшла від традиційного клінічного аналізу електрокардіограми та має в своєму арсеналі нові технології, які дозволяють на підставі застосування спеціальних методів аналізу електрокардіосигналу оцінювати енергетичні та метаболічні процеси в міокарді на молекулярно-клітинному рівні. Ґрунтуються нові методикина сучасних методах цифрової обробки ЕКГ-сигналу, що дозволяють вимірювати й оцінюватиданні, недоступні за стандартного підходу, що спираються на логіку

лікаря, який зазвичай описує зміни контурного аналізу ЕКГ і порушення ритму серця.

Обґрунтованість нових підходів полягає на доказах того, що електрофізіологічна альтернація клітин та їх мембран асоціюється з ремоделюванням після епізоду ішемії або перенесеного інфаркту міокарда, бере участь в аритмогенезі, а також у розвитку «електромеханічної невідповідності» в зонах міокардіальної дисфункції. Відтворюючи електричне ремоделювання, нові технології є «чутливими» індикаторами патологічних змін на рівні клітинних мембран і дозволяють отримати інформацію вже на ранніх стадіях ураження серця.

Як відомо, ішемічна хвороба серця (ІХС) залишається актуальною соціальною проблемою суспільства, оскільки попри досягнуті успіхи в профілактиці та лікуванні продовжує домінувати в структурі захворюваності, інвалідизації та смертності населення. За даними ВООЗ, щорічно від серцево-судинних захворювань помирають 17 млн. осіб, а за прогнозами до 2030 року близько 23,3 млн. осіб помруть від даної патології [1,2]. Показник смертності від серцево-судинних захворювань в Україні є одним із найвищих у світі та складає 920,3 осіб на 100 тис. населення [3]. Наведені вище статистичні дані вказують на потребу в ранньому виявленні порушень серцево-судинної системи з подальшою розробкою ефективних заходів первинної та вторинної профілактики [4]. З огляду на це останніми роками приділяється дедалі більше уваги пошуку нових неінвазійних методів діагностики ранніх проявів ішемії та електричної нестабільності міокарда. В науковій літературі дискутується питання щодо застосування різних неінвазійних ЕКГ-маркерів, які відображають електрофізіологічні процеси в різні фази серцевого циклу та можуть мати діагностичну значущість для виявлення ішемічних змін у міокарді. Проведено низку досліджень можливостей застосування показників, що відображають турбулентність ритму серця, варіативність ритму, альтерацію зубця Т, мікроальтерацію зубця Т, пізніх потенціалів ЕКГ тощо як діагностичних маркерів патологічних змін у міокарді. Встановлено певну залежність і показано можливість їх застосування в оцінці ризику раптової смерті та серцево-судинної летальності в пацієнтів із різними формами ішемічної хвороби серця.

Вже понад сто років одним з основних методів діагностики захворювань серцево-судинної системи залишається стандартна електрокардіографія у 12 відведеннях. Ще наприкінці XIX сторіччя Вільям Ейнтховен представив струнний гальванометр, а 1924 року був удостоєний Нобелівської премії з медицини та фізіології за свій винахід [5-7]. Із тих пір ЕКГ стало найбільш часто виконуваним серцево-судинним тестом, і близько 200 мільйонів ЕКГ реєструється в усьому світі щорічно [8]. Проте чутливість і специфічність електрокардіографічного дослідження залишається недостатньо високою. У працях D. Connolly et al. показано, що стандартна ЕКГ, розшифрована за загальноприйнятими критеріями, залишається нормальною приблизно у 50% пацієнтів із хронічною ішемічною хворобою серця, навіть під час нападів болю або дискомфорту в грудній клітці [9]. 2018 року експерти USPSTF розглянули можливості та ефективність застосування ЕКГ у комбінації зі стандартними методами оцінки ризику ССЗ для підвищення якості оцінки ризику та запобігання інфаркту в людей без ознак або симптомів ССЗ. На підставі отриманих даних фахівці не рекомендують використовувати стандартний ЕКГ-скринінг як метод оцінки ризику ССЗ у безсимптомних дорослих пацієнтів із низьким ризиком розвитку ССЗ (рекомендація D). Крім того, як відомо з практики, навіть досвідчені лікарі не завжди можуть виявити всі відхилення на електрокардіограмі, надто там, де потрібна математична обробка сигналу та виявлення ранніх змін у серці [10]. Тому впродовж останніх десятиліть триває робота з удосконалення методу електрокардіографії та пошук нових критеріїв діагностики патологічних змін у міокарді. Прогрес у галузі біомедичних обчислень та обробки сигналів, а також цифрові обчислювальні технології відкривають нові можливості для проведення поглибленого аналізу ЕКГ [11].

Одним із нових напрямків застосування сучасних інформаційних і телекомунікаційних технологій у медицині є телемедицина, підґрунтям якої є дистанційний обмін спеціальною медичною інформацією та її використання для надання медичної допомоги [12]. Перспективи телемедицини пов'язано з використанням спрощених вимірювальних приладів, впровадженням смарт-технологій, робототехніки, новітніх досягнень інформатики.

У даній роботі ми дослідили різні підходи до поглибленого аналізу обробки ЕКГ сигналу та оцінили можливості використання електрокардіографічного методу насамперед для діагностики ішемічних змін у міокарді та прогнозу раптової серцевої смерті, які обговорюються в науковій літературі та вже застосовуються або запропоновані для використання в клінічній практиці.

Одним із таких нових напрямків розвитку ЕКГ стала розробка інструментальних засобів вимірювання низькоамплітудних складових електрокардіосигналу, а саме – мікропотенціалів серця [13]. Так, наприкінці XX сторіччя було проведено низку наукових робіт із використанням електрокардіографії високого підсилення (ВП) й оцінкою пізніх потенціалів шлуночків (ППШ). Розроблений метод електрокардіографії високого підсилення в основному розглядався як неінвазійний засіб реєстрації анатомічного субстрату шлуночкових аритмій. Прилад для реєстрації ЕКГ ВП складається з багатоканального електрокардіографа, аналого-цифрового перетворювача та ПЕОМ

із пакетом програм. Фіксують ППШ за допомогою біполярних ортогональних відведень X, Y, Z за Франком із подальшою комп'ютерною обробкою даних.

Підґрунтям виникнення та реєстрації ППШ є електрофізіологічна та анатомічна неоднорідність міокарда, яка виникає внаслідок чергування здорових кардіоміоцитів з ішемічними або з некротичними та фіброзними ділянками. У подальшому було встановлено зв'язок між появою мікропотенціалів і розвитком життєвонебезпечних порушень ритму, а також прогнозування виникнення раптової серцевої смерті [14-16]. Найширше обговорюються такі маркери електричної нестабільності міокарда, як пізні потенціали передсердь і шлуночків (рис. 1) [17, 18].

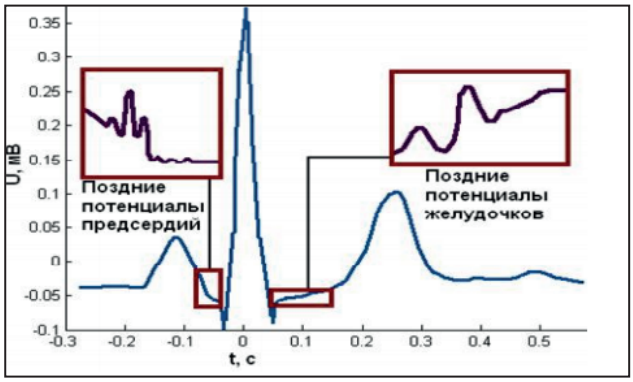

Рис. 1. Локалізація на ЕКГ пізніх потенціалів передсердь і шлуночків.

Пізні потенціали шлуночків (ППШ) – це низькоампітудні високочастотні електрокардіографічні коливання, що виникають наприкінці комплексу QRS, на інтервалі сегмента ST і на початку зубця T і можуть бути субстратом для повторного входження збудження та виникнення шлуночкових тахіаритмій [18-20]. В. Костін і співавт. встановили, що ППШ є предиктором тяжких шлуночкових порушень ритму впацієнтів з атеросклерозом коронарних артерій і коронарним синдромом X [21]. У праці Breithardt G. et al. також виявлено пряму залежність між життєвонебезпечними аритміями та наявністю ППШ і показано, що частота виявлення ППШ зростає зі збільшенням класу шлуночкових аритмій [22]. У подальшому було доведено, що поєднання ППШ із низькою фракцією викиду лівого шлуночка є важливим предиктором оцінки ризику фатальних ускладнень у хворих, які перенесли інфаркт міокарда [23]. Ризик виникнення аритмій у пацієнтів після перенесеного інфаркту міокарда із зареєстрованими ППШ збільшується в 6-8 разів. На думку Д. Акашевої, за нестабільної стенокардії та інфаркту міокарда поява ППШ відображає насамперед ступінь ішемії, а не появу ризику виникнення аритмій [24]. Встановлено, що до зникнення ППШ призводить адекватне лікування ішемії міокарда, що сприяє обмеженню зони некрозу [25]. ППШ можуть застосовуватись як маркер погіршення функції лівого шлуночка, що продемонстровано в дослідженні Kondo N. et al. Вони виявили, що за комбінації показників ППШ і змін зубця T зростає ризик розвитку шлуночкових тахіаритмій у пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю III-IV ФК NYHA [26]. Отже, ЕКГ високого підсилення може використовуватись як скринінг-тест для відбору хворих, які мають складні шлуночкові порушення ритму та синкопальні стани, для подальшого інвазійного електрофізіологічного дослідження.Крім того, у результатах низки досліджень показано, що ППШ виявляються у 33% хворих із хронічною ІХС, що вірогідно частіше, ніж у здорових. У пацієнтів з ІХС зі стійкою шлуночковою тахікардією ППШ спостерігаються в 3 рази частіше (88%) порівняно з хворими на ІХС без шлуночкових порушень ритму. Визначення ППШ доцільно використовувати як маркер ішемії міокарда, а за комбінації з іншими показниками (фракція викиду лівого шлуночка, варіативність серцевого ритму тощо) наявність ППШ підвищує рівень прогнозування небажаного розвитку захворювання та ризику раптової серцевої смерті.

Наступним маркером патологічних змін у міокарді, який став предметом досліджень, є альтернація зубця T. Альтернація T-зубця – це зміни морфології (полярності й амплітуди) зубців T електрокардіограми від циклу до циклу (від QRS до QRS) на ЕКГ або за результатами холтерівського моніторингу. Вперше термін «альтернація» з'явився 1909 року та був описаний як зміни полярності зубця T на тлі емоційного навантаження [27]. Це явище пов'язували з дисфункцією міокарда, що обумовлено порушеннями процесів реполяризації лівого шлуночка. T. Lewis писав, що «альтернація зубця T можлива лише або за частого серцевого ритму, або в пошкодженому серці за нормального ритму». Альтернацію зубця T поділяють на макроальтернацію та мікроальтернацію [28]. Макроальтернація (рис. 2) є очевидною неозброєним оком на стандартній ЕКГ і відображає зміни морфології хвилі T (її амплітуди, форми, довжини, полярності) [18, 29].

Альтернація може виникати і в здорових людей, якщо частота серцевих скорочень більша, ніж 110 ударів за 1 хв., оскільки висока частота серцевих скорочень може призвести до перевантаження та порушення здатності клітини підтримувати гомеостаз кальцію під час скорочення міокарда [18, 30, 31].

Завдяки широкому використанню цифрової ЕКГ і мікропроцесорної обробки даних стало можливо фіксувати й мікроальтернацію зубця T, яка може бути значущим маркером прихованих процесів у міокарді [28, 30, 31]. Для оцінки мікроальтернації використовують високочутливий спектральний метод, за допомогою

якого виявляють зміни Т-хвилі, що не можна побачити на стандартній ЕКГ (рис. 3). Підґрунтям даного методу є вимірювання рівня відхилення від ізолінії точок, що формують зубець Т у 128 послідовних серцевих скороченнях, що переводить їх у спектр потужних коливань [29]. За даними D. Rosenbaum, J. Rusckin і R. Cohen, чутливість даного методу як предиктора життєвонебезпечних аритмій складає 81%, а специфічність – 84% [29]. Пізніше, досліджуючи провідність лівого шлуночка, J. Smith і R. Cohen встановили, що альтернація передує шлуночковим тахікардіям, а ініціал Kalter показав, що зі зміною Т-хвилі збільшується ймовірність раптової смерті. Оцінка мікроальтернації також є інформативноюв пацієнтів, які перенесли інфаркт міокарда, що підтверджується в декількох працях [32, 34]. Так, за результатами дослідження Northwick Park Heart Study, основними знахідками на ЕКГ були зміни зубця Т, пов'язані з високим ризиком раптової смерті. Було показано, що альтерація зубця Т і турбулентність серцевого ритму є прогностичними предикторами розвитку раптової серцевої смерті та фатальних аритмій.

Рис. 2. Макроальтернація зубця Т на ЕКГ.

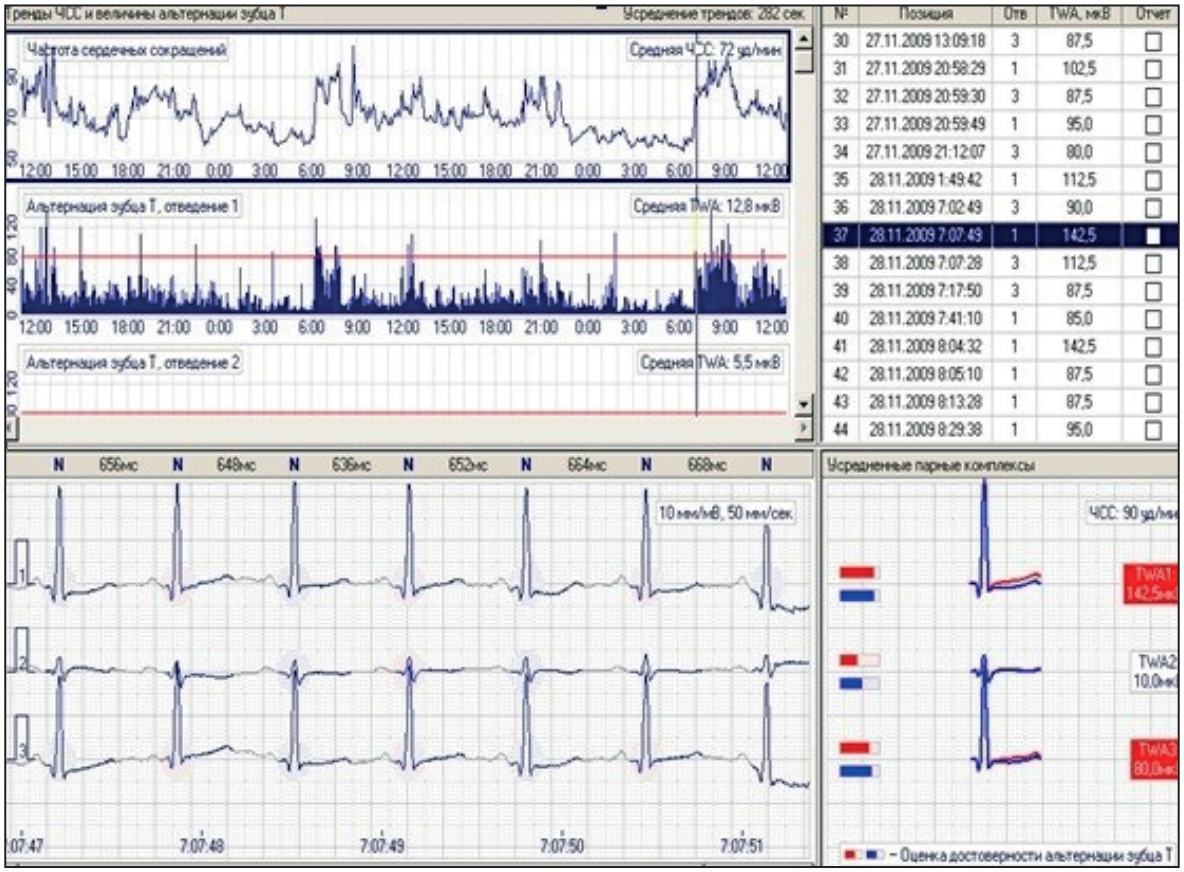

Рис. 3. Оцінка мікроальтернації зубця Т за допомогою холтерівського моніторингу ЕКГ.

Також проведено порівняння вже відомих стратифікаційних тестів виявлення життєвонебезпечних аритмій (фракція викиду лівого шлуночка, чутливість барорецепторів, варіативність серцевого ритму, пізні потенціали шлуночків) із мікроальтернацією зубця Т [32-34]. Отримані результати показали, що визначення мікроальтернації зубця Т є надійним неінвазійним методом оцінки патологічних змін у міокарді та предиктором можливого ризику раптової смерті.

Наступним кроком у розвитку нових методів аналізу електрокардіографії став метод дисперсійного картування ЕКГ (ДК). Принциповою відмінністю методу ДК ЕКГ від інших неінвазійних методів є те, що одночасно оцінюється комплекс змін ЕКГ, які включають мікроальтернацію зубця Т, зубця Р і комплексу QRS (рис. 4). Підґрунтям вказаних змін коливань ЕКГ сигналу є порушення іонно-транспортної функції, структури клітинних мембран і мітохондріального енергоутворення, порушення кровопостачання тощо. Принцип ДК покладено в основу роботи приладу «КардіоВізор» – нової технології, яка реєструє вхідний сигнал ЕКГ тривалістю 30 с із відведень від кінцівок, відцифровує та виділяє близько 15 послідовних комплексів QRST [28]. Далі виділені комплекси синхронізують від початку й отримують сигнали низькоамплітудної флуктуації комплексу QRST під час усієї реєстрації. На екрані приладу виникає «портрет» серця – цифрова модель електричної флуктуації, що в здорових людей зображено зеленим кольором.

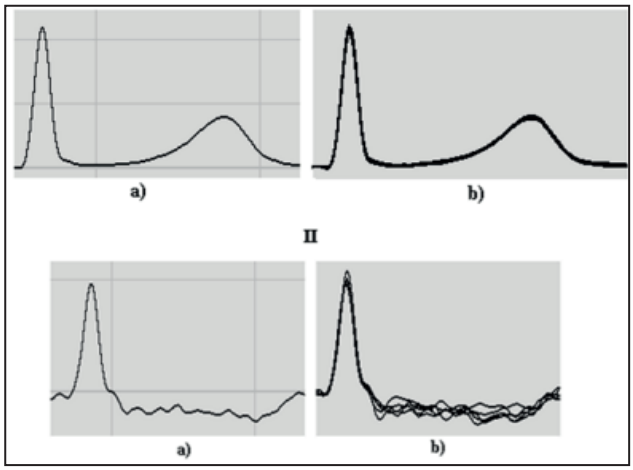

Рис. 4. Метод дисперсійного картування ЕКГ: I – низькоамплітудні коливання ЕКГ у послідовних QRST комплексах здорового серця; II – у хворого з ІМ (a – окремий комплекс; b – 7 синхронізованих комплексів.)

Із виникненням змін флуктуації «портрет» серця змінює колір від зеленого до червоного, що залежить від найменших змін електричної стабільності міокарда [35]. У дослідженні Г. В. Рябикіної і співавт. встановлено, що даний прилад придатний для використання виявлення патології серця в ході скринінгу, а саме – для виявлення ІХС із чутливістю 90% і специфічністю 63%. Доведено також високу чутливість виявлення внутрішньошлуночкових блокад (95%) і фібриляції передсердь (78%). Встановлено такий факт – що більше виражено прояви атеросклерозу коронарних артерій, то більше варіюють осередки змін «портрета» серця, які неможливо виявити за допомогою інших методів. Також показано, що цей метод можна застосовувати для контролю змін метаболічного стану міокарда після проведеної терапії [35]. Результати ДК, отримані в дослідженні С. Федорова та співавт., свідчать про динаміку дисперсійних критеріїв під час коронарографії та ангіопластики та дають інформацію про початкові прояви ішемії й електричну нестабільність міокарда [36]. Використання методу ДК у навантажувальних тестах доповнює діагностичну інформацію та сприяє правильному відбору для подальшого спеціалізованого обстеження та лікування. На думку авторів методу, вказаний підхід є досить перспективним, а визначення зв'язку між результатами ДК ЕКГ та електрофізіологічними змінами, метаболічним балансом та оксидантним стресом вимагає подальшого дослідження [37].

Варіативність серцевого ритму (ВСР). Ще одним із прогностичних маркерів ураження міокарда, який також обговорюється в науковій літературі, є ВСР – нерівномірність частоти серцевих скорочень, обумовлена впливом на неї різноманітних регуляторних процесів у організмі. Останнім часом значно збільшилась кількість наукових публікацій із використанням методу ВСР, що зумовлюється як широким впровадженням інформаційних технологій у медицину та фізіологію, так і підтвердженою або вірогідно високою діагностичною цінністю її параметрів. Ще 1987 року Kleiger встановив, що ригідний ритм у пацієнтів після ІМ пов'язано з ризиком виникнення раптової смерті, і наступними роками проводилась низка досліджень, в яких вивчали ВСР на тлі різних серцево-судинних захворювань [38, 39]. Для оцінки ВСР визначають такі показники: тривалість інтервалу NN (тривалість R-R) і різницю тривалості сусідніх інтервалів NN. Основними характеристиками для оцінки тривалості інтервалу NN є SDNN, SDANN, SDNN index, а для різниця тривалості сусідніх інтервалів NN – NN 50, pNN 50, RMSSD. SDNN (мс) – стандартне відхилення NN інтервалів, сумарний показник варіативності величин інтервалів RR за весь час спостереження (NN – ряд нормальних інтервалів); RMSSD (мс) – квадратний корінь із суми квадратів різниці величин послідовних пар інтервалів NN (нормальних інтервалів RR); pNN 5O (%) – відсоток NN 50 – кількість пар послідовних інтервалів NN від загальної кількості послідовних пар інтервалів, які розрізняються більшк, ніж на 50 мс, що їх отримано за весь період реєстрації; CV (у.о.) – коефіцієнт варіації – нормована оцінка середньоквадратичного відхилення, або SDNN [40]. Також застосовуються спектральні показники потужності ВСР, які характеризують потужність коливання

ЕКГ під впливом вегетативної нервової системи. Основні параметри: високочастотний компонент (High Frequency – HF), потужність якого обумовлено парасимпатичною нервовою системою; низькочастотний компонент (Low Frequency – LF) – вплив вегетативної нервової системи, більше симпатичного відділу; індекс LF/HF – відображає співвідношення впливів симпатичного та парасимпатичного відділів вегетативної нервової системи на ВСР. A. Bošković у своїх дослідженнях підтвердив зв'язок між показниками, що характеризують симпатичний тонус і ступінь ураженості атеросклеротичного процесу та ушкодження міокарда. Показано, що зниження параметрів ВСР є прогностичним маркером шлуночкової тахікардії, фібриляції шлуночків та раптової смерті в пацієнтів з інфарктом міокарда [41]. Пригнічення ВСР зазвичай є негативним чинником після гострого ІМ, хоча і більш залежне від зниження фракції викиду [42]. За результатами аналізу ВСР у пацієнтів з артеріальною гіпертензією встановлено, що в міру прогресування захворювання відзначається зменшення загальної ВСР, зниження активності парасимпатичного відділу та зростаюче переважання впливу симпатичного відділу вегетативної нервової системи [43]. У дослідженнях О. В. Коркушко та співавт. показано, що в процесі старіння людини знижується добове коливання показників ВСР [44].

Отже, зниження ВСР розглядається як один із маркерів ураження серця, і, зокрема, наявність ригідного серцевого ритму може вказувати на наявність органічних змін у міокарді.

Турбулентність серцевого ритму (ТСР). На початку 1999 року G. Schmidt et al. опубліковано результати спостереження за коливаннями синусового ритму після поодиноких шлуночкових екстрасистол [46]. Відзначено, що після екстрасистоли спочатку частота серцевих скорочень зростає, а потім зменшується. Це явище отримало назву «турбулентність серцевого ритму». ТСР – фізіологічна двофазна відповідь синусового вузла на шлуночкову екстрасистолу [29]. Цей феномен спостерігається в нормі після шлуночкової екстрасистоли, але якщо вегетативну регуляцію порушено, реакція ритму буде ослабленою чи відсутньою. Дослідники розробили методику вимірювання ТСР, вивчаючи предиктори ризику смерті в пацієнтів після ІМ [46]. За міжнародними стандартами ТСР оцінюють за двома показниками: Turbulence Onset (TO) – початок турбулентності (%) та Turbulence Slope (TS) – нахил турбулентності (мс/RRi). Норма цих показників: TO<0% і TS>2,5 мс/RRi [46]. Патологічні зміни цих показників вказують на злоякісні шлуночкові тахіаритмії та є предиктором раптової смерті [47]. ТСР реєструється за допомогою холтерівського моніторингу ЕКГ, а також після внутрішньої електрокардіостимуляції в лабораторії. Ефективність даної неінвазійної методики підтверджено в декількох дослідженнях [46, 48]. Спочатку методику тестували в ході досліджень MPIP (Multicenter Post-Infarction Project) та EMIAT (European Myocardial Infarct Amiodarone Trial) у пацієнтів з ІХС. У дослідженні CAST (Cardiac Arrythmia Suppression Trail) доведено, що TS є предиктором ризику смерті в хворих після ІМ. У проспективних дослідженнях MPIP та EMIAT підтверджено, що в пацієнтів із постінфарктним кардіосклерозом ТСР значно знижено або вона відсутня [46]. Також проводилися дослідження, що вивчали можливість аналізу ТСР для прогнозування негативних наслідків у пацієнтів із серцевою недостатністю, пролапсом мітрального клапана, метаболічним синдромом, гіпертиреозом, а також іншими захворюваннями. У пацієнтів з ІХС, як показують дослідження, наявність ТСР є складовою нормального ритму та може свідчити про низький ризик виникнення ускладнень. Отже, оцінка ТСР розглядається як один із перспективних методів аналізу ЕКГ, що може використовуватися з метою прогнозу раптової смерті в пацієнтів зі шлуночковими аритміями та ІХС, але остаточне визначення прогностичного значення ТСР також вимагає уточнення [48].

Оцінюючи результати проведених досліджень можна дійти висновку, що комбінація патологічних відхилень наведених вище показників (ППШ, ДК, ВСР, ТС) насамперед у пацієнтів з ІХС може свідчити про максимальне зростання ризику раптової серцевої смерті. Таке твердження співпадає з результатами дослідження Е. Дюжевої та співавт., в якому доведено взаємозв'язок показників ТСР, ВСР, мікроальтерації зубця Т із багатосудинними ураженнями коронарних артерій і наростанням серцевої недостатності. Встановлено позитивні зміни показника мікроальтерації зубця Т після проведеного аортокоронарного шунтування, а в пацієнтів, які перенесли ІМ, показники ТСР, мікроальтерації зубця Т вірогідно змінено порівняно з такими в осіб без серцево-судинної патології.

Ще один підхід до аналізу ЕКГ, який вперше був запропонований в Україні, полягає в оригінальній технології реєстрації та обробки ЕКГ у фазовому просторі координат, яка отримала назву «фазаграфія». Цей метод дозволяє одночасно визначити як амплітудні, так і швидкісні параметри елементів електрокардіосигналу, що дає можливість з високою точністю оцінювати форму ЕКГ і виявляти на ній відхилення, які зазвичай приховано від лікаря в результатах традиційного аналізу ЕКГ. Клінічне значення симетрії хвилі Т у діагностиці ішемії міокарда та оцінці гіпертрофії лівого шлуночка вперше продемонстровано у роботі Е. Халфеном, натомість вперше це згадується в праці Zuckermann. Діагностична значущість змін форми зубця Т як в експериментальних, так і в клінічних дослідженнях продовжує обговорюватись останніми роками, і показано, що детальний аналіз форми Т-зубця може істотно підвищити чутливість і специфічність електрокардіографічного дослідження [50].

Фазаграфія – один із підходів до аналізу ЕКГ, який проводиться у фазовому просторі та складає підґрунтя роботи програмно-технічного комплексу ФАЗАГРАФ® [4, 49] (рис. 5).

I II А Б

Рис. 5. Фазаграфія (I) і ЕКГ (II) у часовому просторі (зверху) та фрагмент фазової траєкторії (знизу) зубця Т у хворого з ІХС (А) і в здорової людини (Б).

Прилад забезпечує реєстрацію ЕКГ із першого стандартного відведення впродовж 2 хвилин із подальшим автоматичним аналізом результатів. Відомо, що ішемія кардіоміоцитів проявляється дисфункцією механізмів трансмембранного іонного транспорту, порушення внутрішньоклітинної мобілізації кальцію, якісною перебудовою синтезу та утилізації енергії. Це призводить до порушення процесів реполяризації міокарда, що проявляється на стандартній ЕКГ змінами сегмента ST і зубця Т. Проте чутливість і специфічність стандартної ЕКГ у 12 відведеннях у спокої, як відомо, є недостатньо високими для оцінки ішемічних змін, що нерідко обумовлює труднощі, а інколи й помилки в інтерпретації отриманого результату. У Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій і систем НАН України і МОН України розроблено нову технологію реєстрації й обробки ЕКГ у фазовому просторі координат з оригінальним підходом до аналізу форми зубця Т [49]. Разом із традиційною оцінкою ЕКГ, метод дозволяє визначати додаткові діагностичні показники, зокрема β_T, що характеризує симетрію зубця Т [49]. Показник β_T визначається як відношення максимальної швидкості на висхідному та низхідному колінах фрагмента реполяризації усередненої фазової траєкторії, причому $\beta_T = D_2 / D_1$для позитивного зубця Т і $\beta_T = D_1 / D_2$ для негативного зубця Т. Також визначається низка інших показників, а саме: стандартне квадратичне відхилення Т (СКВ Т), індекс βТ – параметр, що певною мірою є віддзеркаленням симетричності хвилі Т. В окремих працях саме йому надавалась основна роль у проведенні скринінгу осіб на предмет наявності ІХС [49]. Діагностичну цінність показника β_T підтверджено за допомогою експериментальних досліджень на тваринах, що проводилися в Інституті фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України. Після проведеного експерименту, під час якого спостерігали за динамікою показника β_T в умовах штучної ішемії, яку викликали за допомогою емболізації коронарної артерії тварин, показник β_T збільшувався та наближався до граничних «небезпечних» значень. Клінічні дослідження проводились у відділенні ішемічної хвороби серця Національного наукового центру «Інститут кардіології ім. акад. М. Д. Стражеска НАМН України» (Київ) і в чотирьох клініках Німеччини (Essen University Hospital, Essen Katholical Hospital «Phillpusstift», Heart and Diabetes Center of North Rhein-Weasfalia in Bad-Oeynhausen, Berlin German Heart Center) обстежено 441 хворого на ІХСіз верифікованим за допомогою коронарографіїдіагнозом, у яких порівнювали результати ЕКГ із даними 387 записів ЕКГ у здорових волонтерів, що склали контрольну групу [49]. Після статистичної обробки даних було отримано середні значення β_T, які суттєво різнилися в групах і становили 0,956±0,43 для хворих на ІХС і 0,665±0,12 для здорових волонтерів. Слід відзначити, що до групи було включено лише тих пацієнтів, в яких традиційний ЕКГ-аналіз у 12 відведеннях не виявив жодних відхилень від норми. Також в Інституті кардіології ім. акад. М. Д. Стражеска порівнювали групу хворих на ІХС, у яких був ізольований стеноз правої коронарної артерії або огинаючої гілки лівої коронарної артерії, з групою здорових добровольців. Отримані результати показали, що показник β_T у першому стандартному відведенні вірогідно перевищував показник контрольної групи. Це наштовхнуло авторів на гіпотезу, що швидкісні показники фази реполяризації лівого шлуночка в першому стандартномувідведенні відносно відображають патологічні зміни і вінших відділах серця [49]. Після статистичної обробки отримали такі результати: показникиβ_T у різних стандартних відведеннях мають високий ступінь кореляції (r>0,7).

Також вивчалися можливості застосування методу фазаграфії для контролю дії лікарських препаратів (під час їх внутрішньовенного введення) та спостерігали за динамікою змін ЕКГ, що реєструвалися методом фазаграфії. Отримані результати показали позитивну динаміку значення β_T після введення препаратів,

які зменшують ішемію та поліпшують метаболізм міокарда.

Завдяки тому, що метод фазаграфії є досить простим, не займає багато часу та зручний у використанні, його легко застосувати для проведення масових скринінгових обстежень. З цією метою обстежено 590 амбулаторних пацієнтів, які перебувають на медичному забезпеченні в ДНУ «НПЦ ПКМ» ДУС і підлягають щорічній диспансеризації. Результати показали, що симетрія хвилі Т у фазовому просторі була вірогідно вищою в хворих на ІХС порівняно з такою в здорових осіб. Чутливість і специфічність тесту в діагностиці ІХС становили відповідно 81% і 78%, що дозволило рекомендувати використання показника симетрії зубця Т у фазовому просторі для скринінгу ІХС [50].

ВИСНОВОК

Науково-технічний прогрес сприяв створенню сучасних методів обробки ЕКГ, що привело до розробки нових маркерів у кардіології. За їх допомогою поліпшилась рання діагностика ішемії міокарда, з'явилися методи, що дозволяють прогнозувати ризик ускладнень і раптової серцевої смерті. Останнім часом у медицині дедалі більше впроваджуються інформаційні технології, які дозволяють розширити можливості стандартних методів обстеження, проводити їх дистанційно, в динаміці, що суттєво збільшує обсяг інформації про пацієнта, підвищує якість діагностики та дозволяє вчасно коригувати лікування. На нашу думку, нові методи аналізу ЕКГ, у т.ч. метод фазаграфії, дозволяють впроваджувати персоніфікований контроль стану пацієнта як у клінічних, так і в домашніх умовах у хворих високого ризику із серцево-судинними захворюваннями та після проведених кардіохірургічних втручань. Наступним етапом у розвитку новітніх технологій дистанційного спостереження за пацієнтами є використання додатків до смартфонів, наприклад, AliveCor™ Heart Monitor, автори яких вважають відмінною кореляцію смартфон- ЕКГ із золотим стандартом – ЕКГ у 12 відведеннях. Як у світі, так і в Україні триває реалізація нових підходів до аналізу ЕКГ із використанням чутливіших критеріїв діагностики. Зокрема, на стадії завершення нова технологія ФАЗАГРАФ-Mobile, яка фіксує дані за допомогою мобільних пристроїв і забезпечує зв'язок пацієнта та лікаря через мережу Internet і дозволяє забезпечити динамічне спостереження за пацієнтами високого ризику. Натомість для розширення використання їх у клінічній практиці, ці розробки вимагають продовження контрольованих клінічних досліджень, тісної взаємодії між розробниками та практикуючими лікарями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Науково-методичні підходи до модернізації способу життя людей, що мають фактори ризику артеріальної гіпертензії: метод. рек. / уклад.: І. А. Голованова, В. П. Лисак, Л. І. Закрутько, М. В. Хорош. Київ, 2016. 34 с.
2. Всемирная организация злравоохранения. Сердечно-сосудистые заболевания. Информационный бюлетень. 2015. № 317. Январь URL: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/ (дата звернення: 26.04.2019)
3. Щорічна доповідь про стан здоров'я населення, санітарно-епідемічну ситуацію та результати діяльності системи охорони здоров'я України. 2016 рік / МОЗ України, ДУ «УІСД МОЗ України». Київ, 2017. 516 с.
4. Катеренчук О. І. Діагностична цінність фазових портретів ЕКГ в практиці сімейного лікаря. Молодий вчений. 2017. № 6 (46). С. 19-23.
5. Einthoven W., Jaffe A. S., Venge P., Lindahl B. Galvanometrische registratievan het menschelijk electrocardiogram. Eduard Ijdo. 1902. 101-7.
6. Kligfield P. The centennial of the Einthoven electrocardiogram. J Electrocardiol. 2002. 35(Suppl). 123-9.
7. Cooper J. K. Electrocardiography 100 years ago. Origins, pioneers and contributors. New Eng. Med. J. 1986. Vol. 315. № 7. P. 461-464.
8. Reichlin T., Abächerli R., Twerenbold R. [et al.] Advanced ECG in 2016: is there more than just a tracing? Swiss. Med. Wkly. 2016. № 146. P. 14303.
9. Connolly D. C., Elveback L. R., Oxman H. A. Coronary heart disease in residents of Rochester, Minnesota: Prognostic value of the resting electrocardiogram at the time of initial diagnosis of angina pectoris. Mayo. Clin. Proc. 1984. Vol. 59. P. 247-250.
10. Зайченко К. В., Жаринов О. О., Кулин А. Н. и др. Съем и обработка биоэлектрических сигналов: учебное пособие. СПб.: ГУАП, 2001. 140 с.
11. Reichlin T., Abächerli R., Twerenbold R. [et al.] Advanced ECG in 2016: is there more than just a tracing? Swiss. Med. Wkly. 2016. № 146. P. 14303.
12. Баранов А. А., Вишнева Е. А., Намазова-Баранова Л. С. Телемедицина – перспективы и трудности перед новым этапом развития. Педиатрическая фармакология. 2013. Т. 10. № . 3. С. 6-11.
13. Иванов М. Л. Разработка и исследование электрокардиографического аппаратно-программного

комплекса на наносенсорах для регистрации микропотенциалов сердца в реальном времени без усреднения и фильтрации: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.11. 17. 2015.
14. Легконогов А. В. Результаты и перспективы изучения поздних потенциалов желудочков. Кардиология. 1997. № 10. С. 57-65.
15. Шепета А. П., Жаринов О. О. Методика обнаружения микропотенциалов ЭКГ. Информационно-управляющие системы. 2002. № 1. С. 48-51.
16. Cakulev Ivan. Confirmation of Novel Noninvasive High-Density Electrocardiographic Mapping With Electrophysiology Study. Circ Arrhythm Electrophysiol. 2013. Vol. 6. P. 68-75. URL: http://circep-submit.ahajournals.org. (дата звернення: 26.04.2019).
17. New Methods of Electrocardiography / S. V. Grachev et al. Moscow, Tekhnosfera, 2007.
18. Ivanko K., Ivanushkina N., Karplyuk Y. Identification and Assessment of Electrocardiographic Markers of Cardiac Electrical Instability. Naukovi Visti NTUU KPI. 2017. № . 1. С. 37-47.
19. Poll D. S., Marchlinski F. E., Falcone R. A., Josephson M. E., Simson M. B. Abnormal signal-averaged electrocardiograms in patients with nonischemic congestive cardiomyopathy: relationship to sustained ventricular tachyarrhythmias. Circulation. 1985. Vol. 72. P. 1308-13.
20. Uretsky B. F., Thygesen K., Daubert J. C. et al. Predictors of Mortality From Pump Failure and Sudden Cardiac Death in Patients With Systolic Heart Failure and Left Ventricular Dyssynchrony: Results of the CARE-HF Trial. Journal of Cardiac Failure. 2008. Vol. 14. P. 670-675.
21. Костин В. И., Гуляева Е. Н., Ефремов С. Д. и др. Характеристика нарушений сердечного ритма и поздние потенциалы желудочков у больных с кардиологическим синдромом X. Тер.архив. 2001. 73(12). С. 44-48.
22. Breithardt G., Cain M. E. El-Sherif N. et al. Standards for analysis of late ventricular potentials using high resolution of signal- averaged electrocardiography. A statement of task force committee between the European society of cardiology, the American heart association and college of cardiology. Eur. Heart J. 1991. 12. P. 473-480.
23. Steinbigler P., Haberl R., Bruggemann T. et al. Postinfarction risk assessment for sudden cardiac death using late potential analysis of the digital Holter electrocardiogram. J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2002. 13(12). P. 1227-1232.
24. Акашева Д. У. Поздние потенциалы желудочков: электрофизиологическая основа, методы регистрации и клиническое значение. Кардиология. 1991. Т. 31. № . 9. С. 76-80.
25. Татарченко И. П., Позднякова Н. В., Петранин А. Ю., Морозова О. И. Желудочковые аритмии и поздние потенциалы сердца у больных острым коронарным синдромом после реперфузионной терапии. Клиническая медицина. 2005. № 5. С. 19-22.
26. Kondo N., Ikeda T., Kawase A. et al. Clinical usefulness of the combination of T-wave alternans and late potentials for identifying high-risk patients with moderately or severely impaired left ventricular function. Jpn. Circ. J. 2001. 65(7). P.649-653.
27. Saul J.P., Arai Y., Berger R. D., et al. Assessment of autonomic regulation in chronic congestive heart failure by heart rate spectralanalysis. Am. J. Cardiol. 1988. Vol. 61. P. 1292-1299.
28. Александрова С. Г. и др. Методы анализа микроальтернации ЭКГ-сигнала. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2013. № . 4. С. 48-51.
29. Радзевич А. Э., Попов В. В., Князева М. Ю. Значение турбулентности сердечного ритма и альтернации Т волны в диагностике электрической нестабильности миокарда. Российский кардиологический журнал. 2006. (5). P. 93-99. DOI:10.15829/1560-4071-2006-5-93-99.
30. Narayan S. M. T wave Alternans and the susceptibility to ventricular Arrhythmias. J. Am. College Cardiol. 2006. Vol. 47. № 2. P. 269-281. doi: 10.1016/j.jacc.2005.08.066.
31. Walker M. Repolarization alternans: Implications for the mechanism and prevention of sudden cardiac death. Cardiovascular Res. 2003. Vol. 57. N 3. P. 599-614. doi: 10.1016/S 0008-6363(02)00737-X.
32. Hohnloser S. H., Klingenheben T. et al. T wave alternans as a predictor of recurrent ventricular arrhythmias in ICD recipients: prospective comparison with conventional risk markers. J. Cardiovasc. Electrophysiol. 1998. Vol. 9. P. 1258-1268.
33. Gold M., Bloomfield D., Anderson K., et al. A comparison of T wave alternans, signal averaged electrocardiography and programmed ventricular stimulation for arrhythmia risk stratification. J. Am. Coll.Cardiol. 2000. Vol. 36. P. 2247-225.
34. Ikeda T., Sakata T. et al. Combined assessment of T wave alternans and late potentials used to predict arrhythmic events after myocardial infarction: a prospective study. J. Am. Coll.Cardiol. 2000. Vol. 35. P. 722-730.
35. Рябыкина Г. В., Сула А. С., Щедрина Е. В. Опыт использования прибора КардиоВизор в кардиологической практике. Кардиологический вестник. 2006. Т. 1. № . 1. С. 14-18.
36. Федорова С. И. и др. Применение метода дисперсионного ЭКГ-анализа в условиях проведения коронаро-ангиопластики. Альманах клинической медицины. 2008. № . 19. С. 9-17.
37. Иванов Г. Г., Агафошина Е. В., Кузнецова Х. Г. Дисперсионное картирование и анализ микроальтернаций: десять лет спустя. Функциональная диагностика. 2011. Т. 3. С. 71-74.

38. Кулямин, А. И. Вариабельность сердечного ритма у больных с желудочковыми аритмиями: дис. . мед. наук. М., 1998.
39. Gerritsen J., Dekker J. M., TenVoorde B. J. et al. Impaired autonomic function is associated with increased mortality, especially in subjects with diabetes, hypertension, or a history of cardiovascular disease: the Hoorn study. Diabetes Care. 2001. Vol. 24. № 10. P. 1793-1798.
40. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. Eur. Heart J. 1996. Vol. 17. P. 354-381.
41. Heart rate variability during the acute phase of myocardial infarction / G. C. Casolo [et al.]. Circulation. 1992. Vol. 85. P. 2073-2079.
42. Compostella L., Lakusic N., Russo N. [et al.] Arrhythmia recognition and classification using combined linear and nonlinear features of ECG signals. Int. J. Cardiol. 2016. № 224. P. 473-481.
43. Алейникова Т. В. Вариабельность сердечного ритма (обзор литературы). Проблемы здоровья и экологии. 2012. № . 1. С. 17-23.
44. Коркушко О. В., Писарук А. В., Шатило В. Б. Значение анализа вариабельности ритма сердца в кардиологии: возрастные аспекты. Кровообіг та гемостаз. 2009. № . 1-2. С. 127-139.
45. Feng J., Wang A., Gao C. A. [et al]. Altered heart rate variability depends on the characteristics of coronary lesions in stable angina pectoris. Anadolu Kardiyol. Derg. 2014. Vol. 14. URL: http://www.anakarder.com/sayilar/97/buyuk/2—Altered.pdf (дата звернення 26.04.2019).
46. Schmidt G., Malik M., Barthel P., et al. Heart rate turbulence after ventricular premature beats as a predictor of mortality after acute myocardial infarction. Lancet. 1999. Vol. 353. P. 1390-1396.
47. Barthel P., Schneider R., Bauer A. [et al.]. Risk stratification after acute myocardial infarction by heartrate turbulence. Circulation. 2003. Vol. 108. P. 1221-1226.
48. Фуштей И. М., Голдовский Б. М., Сидь Е. В. Перспективы оценки турбулентности сердечного ритма как предиктора фатальных аритмий у пациентов после острого инфаркта міокарда. Медицина неотложных состояний. 2016. № . 3. С. 121-125.
49. Файнзильберг Л. С. Основы фазаграфии: монография. К., 2017. 264 с.
50. Дячук Д. Д., Кравченко А. Н., Файнзильберг Л. С., Станиславская С. С., Корчинская З. А., Ориховская К. Б., Пасько В. С., Михалев К. А. Скрининг ишемии миокарда методом оценки фазы реполяризации. Український кардіологічний журнал. 2016. № 6. С. 82-89.

REFERENCES

1. Holovanova, V. P. Lysak, L. I. Zakrutko, M. V. Khorosh (2016). Naukovo-metody chnipidkhody do modernizatsii sposobu zhyttialiudei, shchomaiut factory ryzyku arterialnoi hipertenzii [Scientific and methodical approaches to modernizing the way of life of people with risk factors for arterial hypertension: method. rivers] Kyiv.
2. Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya. (2015). Serdechno-sosudistye zabolevaniya. [World Health Organization. Cardiovascular diseases.]. Informatsionnyy byulleten, № 317. Available at: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/
3. Shchorichna dopovid pro stan zdorovia naselennia, sanitarno-epidemichnu sytuatsiiu ta rezultaty diialnosti systemy okhorony zdorovia Ukrainy. 2016 rik [Annual report on the health status of the population, the sanitary and epidemiological situation and the results of the health care system of Ukraine. 2016]. (2017). Ministerstvo Okhorony Zdorovia Ukrainy. Kyiv.
4. Katerenchuk O. I. (2017). Diahnostychna tsinnist fazovykh portretiv EKH v praktytsi simeinoho likaria [The diagnostic value of phase- spaced ECG portraits in family doctor practice]. Molodyi Vchenyi, 6, 46, 19-23.
5. Einthoven W., Jaffe A. S., Venge P., Lindahl B. Galvanometrische registratievan het menschelijk electrocardiogram. Leiden: Eduard Ijdo, 1902, 101-7.
6. Kligfield P. (2002). The centennial of the Einthoven electrocardiogram. J Electrocardiol., 35(Suppl), 123-9.
7. Cooper J. K. (1986). Electrocardiography 100 years ago. Origins, pioneers and contributors. New Eng. Med. J., 315, 7, 461-464.
8. Reichlin T., Abächerli R., Twerenbold R. [et al.] (2016). Advanced ECG in 2016: is there more than just a tracing? Swiss. Med. Wkly, 146, 143-03.
9. Connolly D. C., Elveback L. R., Oxman H. A. (1984). Coronary heart disease in residents of Rochester, Minnesota: Prognostic value of the resting electrocardiogram at the time of initial diagnosis of angina pectoris. Mayo. Clin. Proc., 59, 247-250.
10. Zaychenko K.V., Zharinov O. O., Kulin A. N. i dr. (2001). Sem i obrabotka bioelektricheskikh signalov: Uchebnoe posobie [Removing and processing bioelectrical signals: Textbook]. St. Petersburg: GUAP.
11. Reichlin T., Abächerli R., Twerenbold R. [et al.] (2016). Advanced ECG in 2016: is there more than just a tracing? Swiss. Med. Wkly., 146, 143-03.

12. Baranov A. A., Vishneva Ye. A., Namazova-Baranova L. S. (2013). Telemeditsina-perspektivy i trudnosti pered novym etapom razvitiya [Telemedicine-prospects and difficulties before a new stage of development]. Pediatricheskaya farmakologiya, 3, 6-11.
13. Ivanov M. L. (2015). Razrabotka i issledovanie elektrokardiograficheskogo apparatno-programmnogo kompleksa na nanosensorakh dlya registratsii mikropotentsialov serdtsa v realnom vremeni bez usredneniya i filtratsii [Development and research of electrocardiographic hardware-software complex on nanosensors for recording heart micro-potentials in real time without averaging and filtering], Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University.
14. Legkonogov A.V. (1997). Rezultaty i perspektivy izucheniya pozdnikh potentsialov zheludochkov [Results and prospects for the study of late ventricular potentials]. Kardiologiya, 10, 57-65.
15. Shepeta A. P., Zharinov O. O. (2002). Metodika obnaruzheniya mikropotentsialov EKG [The method of detection of micro-potentials of ECG]. Informatsionno-upravlyayushchie sistemy, 1, 48-51.
16. Cakulev Ivan. (2013). Confirmation of Novel Noninvasive High-Density Electrocardiographic Mapping With Electrophysiology Study. Circ Arrhythm Electrophysiol., 6. 68-75. Available at: http://circep-submit.ahajournals.org.
17. Grachev S.V. et al. (2007). New Methods of Electrocardiography. Moscow: Tekhnosfera.
18. Ivanko K., Ivanushkina N., Karplyuk Y. (2017). Identification and Assessment of Electrocardiographic Markers of Cardiac Electrical Instability. Naukovi Visti NTUU KPI, 1, 37-47.
19. Poll D. S., Marchlinski F. E., Falcone R. A., Josephson M. E., Simson M. B. (1985). Abnormal signal-averaged electrocardiograms in patients with nonischemic congestive cardiomyopathy: relationship to sustained ventricular tachyarrhythmias. Circulation, 72, 1308-13.
20. Uretsky B. F., Thygesen K., Daubert J. C. et al. (2008). Predictors of Mortality From Pump Failure and Sudden Cardiac Death in Patients With Systolic Heart Failure and Left Ventricular Dyssynchrony: Results of the CARE-HF Trial. Journal of Cardiac Failure, 14, 670-675.
21. Kostin V. I., Gulyaeva Ye. N., Yefremov S. D. (2001). Kharakteristika narusheniy serdechnogo ritma i pozdnie potentsialy zheludochkov u bolnykh s kardiologicheskim sindromom Kh [Characteristics of heart rhythm disturbances and late ventricular potentials in patients with cardiac syndrome X]. Ter.arkhiv, 73, 44-48.
22. Breithardt G., Cain M. E. El-Sherif N. et al. (1991). Standards for analysis of late ventricular potentials using high resolution of signal- averaged electrocardiography. A statement of task force committee between the European society of cardiology, the American heart association and college of cardiology. Eur. Heart J., 12, 473-480.
23. Steinbigler P., Haberl R., Bruggemann T. et al. (2002). Postinfarction risk assessment for sudden cardiac death using late potential analysis of the digital Holter electrocardiogram. J. Cardiovasc. Electrophysiol, 13(12), 1227-1232.
24. Akasheva D. U. (1991). Pozdnie potentsialy zheludochkov: elektrofiziologicheskaya osnova, metody registratsii i klinicheskoe znachenie [Late potentials of the ventricles: electrophysiological basis, methods of registration and clinical significance]. Kardiologiya, 31, 9, 76-80.
25. Tatarchenko I. P., Pozdnyakova N. V., Petranin A. Yu., Morozova O. I. (2005). Zheludochkovye aritmii i pozdnie potentsialy serdtsa u bolnykh ostrym koronarnym sindromom posle reperfuzionnoy terapii [Ventricular arrhythmias and late cardiac potentials in patients with acute coronary syndrome after reperfusion therapy]. Klinicheskaya meditsina, 5, 19-22.
26. Kondo N., Ikeda T., Kawase A. et al. (2001). Clinical usefulness of the combination of T-wave alternans and late potentials for identifying high-risk patients with moderately or severely impaired left ventricular function. Jpn. Circ. J., 65(7), 649-653.
27. Saul J.P., Arai Y., Berger R. D., et al. (1988). Assessment of autonomic regulation in chronic congestive heart failure by heart rate spectralanalysis. Am. J. Cardiol., 61, 1292-1299.
28. Aleksandrova S. G. (2013). Metody analiza mikroalternatsii EKG-signala [Methods for analyzing the microalternations of the ECG signal] Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov, 4, 48-51.
29. Radzevich A. E., Popov V. V., KnyazevaM.Yu. (2006). Znachenie turbulentnosti serdechnogo ritma i alternatsii T volny v diagnostike elektricheskoy nestabylnosti miokarda. [The importance of the turbulence of the heart rate and the T wave alternance in the diagnosis of electrical instability of the myocardium]. Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal, 5, 93-99. DOI:10.15829/1560-4071-2006-5-93-99.
30. Narayan S. M. (2006). T wave Alternans and the susceptibility to ventricular Arrhythmias. J. Am. College Cardiol., 47, 2, 269-281. doi: 10.1016/j.jacc.2005.08.066
31. Walker M. (2003). Repolarization alternans: Implications for the mechanism and prevention of sudden cardiac death. Cardiovascular Res., 57, 3, 599-614. doi: 10.1016/S 0008-6363(02)00737-X
32. Hohnloser S. H., Klingenheben T. et al. (1998). T wave alternans as a predictor of recurrent ventricular arrhythmias in ICD recipients: prospective comparison with conventional risk markers. J. Cardiovasc. Electrophysiol., 9, 1258-1268.
33. Gold M., Bloomfield D., Anderson K., et al. (2000). A comparison of T wave alternans, signal averaged electrocardiography and programmed ventricular stimulation for arrhythmia risk stratification. J. Am. Coll.Cardiol.,. 36, 2247-225.

34. Ikeda T., Sakata T., et al. (2000). Combined assessment of T wave alternans and late potentials used to predict arrhythmic events after myocardial infarction: a prospective study. J. Am. Coll.Cardiol., 35, 722-730.
35. Ryabykina G. V., Sula A. S., Shchedrina Ye. V. (2006). Opyt ispolzovaniya pribora KardioVizor v kardiologicheskoy praktike [Experience in using CardioVisor in cardiac practice]. Kardiologicheskiy vestnik, l 1, 1, 14-18.
36. Fedorova S. I. (2008). Primenenie metoda dispersionnogo EKG-analiza v usloviyakh provedeniya koronaro-angioplastiki [Application of the method of dispersion ECG analysis in conditions of coronary angioplasty]. Almanakh klinicheskoy meditsiny, 19, 9-17.
37. Ivanov G. G., Agafoshina Ye. V., Kuznetsova CYu Kh. G. (2011). Dispersionnoe kartirovanie i analiz mikroalternatsiy: desyat let spustya [Dispersion mapping and analysis of microalternations: ten years later]. Funktsionalnaya Diagnostika, 3, 71-74.
38. Kulyamin, A. I. (1998). Variabelnost serdechnogo ritma u bolnykh s zheludochkovymi aritmiyami [Variability of heart rhythm in patients with ventricular arrhythmias]. Moscow: Scientific Center of Cardiovascular Surgery.
39. Gerritsen J., Dekker J. M., TenVoorde B. J. et al. (2001). Impaired autonomic function is associated with increased mortality, especially in subjects with diabetes, hypertension, or a history of cardiovascular disease: the Hoorn study. Diabetes Care, 24, 10. 1793-1798.
40. Heart rate variability. (1996). Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. Eur. Heart J., 17, 354-381.
41. Casolo G. C. [et al.]. (1992). Heart rate variability during the acute phase of myocardial infarction. Circulation, 85, 2073-2079.
42. Compostella L., Lakusic N., Russo N. [et al.]. (2016). Arrhythmia recognition and classification using combined linear and nonlinear features of ECG signals. Int. J. Cardiol., 224, 473-481.
43. Aleynikova T. V. (2012). Variabelnost serdechnogo ritma (obzor literatury) [Heart rate variability (literature review)]. Problemy Zdorovia Y Ekolohyy., 1, 17-23.
44. Korkushko O. V., Pisaruk A. V., Shatilo V. B. (2009). Znachenie analiza variabelnosti ritma serdtsa v kardiologii: vozrastnye aspekty [The importance of heart rate variability analysis in cardiology: age aspects]. Krovoobih Ta Hemostaz, 1-2, 127-139.
45. Feng J., Wang A., Gao C. A. [et al]. (2014). Altered heart rate variability depends on the characteristics of coronary lesions in stable angina pectoris.Anadolu Kardiyol. Derg., 14, Available at: http://www.anakarder.com/sayilar/97/buyuk/2–Altered.pdf
46. Schmidt G., Malik M., Barthel P., et al. (1999). Heart rate turbulence after ventricular premature beats as a predictor of mortality after acute myocardial infarction. Lancet, 353, 1390-1396.
47. Barthel P., Schneider R., Bauer A. [et al.] (2003). Risk stratification after acute myocardial infarction by heartrate turbulence. Circulation, 108, 1221-1226.
48. Fushtey I. M., Goldovskiy B. M., Sid Ye. V. (2016). Perspektivy otsenki turbulentnosti serdechnogo ritma kak prediktora fatalnykh aritmiy u patsientov posle ostrogo infarkta miokarda [Prospects for evaluation of cardiac rhythm turbulence as a predictor of fatal arrhythmias in patients after acute myocardial infarction]. Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy, 3, 121-125.
49. Faynzilberg L. S. (2017). Osnovy fazagrafii: Monografiya [Fundamentals of phase printing: Monograph]. Kyiv: Osvita Ukrainy.
50. Dyachuk D. D., Kravchenko A. N., Faynzilberg L. S., Stanislavskaya S.S, Korchinskaya Z. A., Orikhovskaya K. B., Pasko V. S., Mikhalev K. A. (2016). Skrining ishemii miokarda metodom otsenki fazy repolyarizatsii [Screening of myocardial ischemia by the method of evaluation of the repolarization phase]. Ukrainskyi Kardiolohichnyi Zhurnal, 6, 82-89.

Резюме

ВОЗМОЖНОСТИ НОВЫХ ПОДХОДОВК АНАЛИЗУ ЕЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИШЕМИИ МОКАРДА

А. Н. Кравченко, Т. В. Ковзолович, Л. С. Файнзильберг

Государственное научное учреждение «Научно-практический центрпрофилактической и клинической медицины» Государственного управления делами, г. Киев, Украина
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, г. Киев, Украина

Цель – исследовать новые возможности применения электрокардиографии для диагностики ишемии миокарда с использованием современных информационных технологий.
Материал и методы. Проанализированы современные научные источники, посвященных исследованиям по применению новых неинвазивных ЭКГ-маркеров, отражающих электрофизиологические процессы в разные фазы сердечного цикла, которые могут иметь диагностическую значимость для выявления ранних проявлений ишемических изменений в миокарде.
Результаты. Выявление сердечно-сосудистой патологии на ранних этапах заболевания является важным шагом для предупреждения осложнений и требует разработки доступных, недорогих и эффективных методов диагностики. В последние годы уделяется значительное внимание поиску новых неинвазивных методов диагностики ранних проявлений ишемии и электрической нестабильности миокарда с применением информационных технологий обработки электрокардиограммы (ЭКГ). В работе исследовали различные подходы к углубленному анализу обработки ЭКГ сигнала и оценили возможности использования электрокардиографического метода прежде всего для диагностики ишемических изменений в миокарде и прогноза внезапной сердечной смерти, которые обсуждаются в научной литературе и уже применяются или предложены для использования в клинической практике. Среди них электрокардиография высокого разрешения с оценкой поздних потенциалов желудочков (ППЖ), определение микро- и макроальтернации зубца Т, турбулентности сердечного ритма, вариабельности сердечного ритма и анализ ЭКГ, который проводится в фазовом пространстве – фазаграфия.
Выводы. Анализ результатов исследований по применению новых неинвазивных ЭКГ-маркеров, отражающих электрофизиологические процессы в разные фазы сердечного цикла, с использованием возможностей автоматизированных информационных технологий позволяет получить дополнительную информацию о состоянии сердечно-сосудистой системы и имеет диагностическую значимость для выявления ранних проявлений ишемических изменений в миокарде.

Ключевые слова: **сердечно-сосудистая система, ЕКГ, ишемия миокарда, альтернация зубца Т, турбулентность сердечного ритма, информационные технологии.**

Summary

NEW POSSIBILITIES OF ELECTROCARDIOGRAPHY ANALYSIS FOR THE DIAGNOSIS OF MYOCARDIAL ISCHEMIA

A. Kravchenko, T. Kovzolovich, L. Fainzilberg

State Institution of Science «Research and Practical Center of Preventive and Clinical Medicine» State Administrative Department, Kyiv, Ukraine.
International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of NAS of Ukraine and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Aim – to investigate new possibilities of application of electrocardiography (ECG) for diagnostics of myocardial ischemia with the use of modern information technologies.
Material and methods. The analyse of modern scientific sources, which were dedicated to the researches of the new uninvasion ECG-metods application was conducted. The new uninvasion ECG-metods reflect the electro-physiological processes in the different phases of the cardiac cycle and can have diagnostic meaningfulness for the detecting of early ischemic changes in myocardium.
Results. The detection of the early stages of cardiovascular pathology is an important step for preventing complications and requires for the development of accessible, inexpensive and effective methods of diagnostics. Last years a lot of attention to the studyng of new uninvasion methods of diagnostics of early ischemic marcers and electric instability of myocardium with the use of information technologies processing of electrocardiogram has been paying. We investigated the different approaches of the deeper analysis of processing of ECG-signal and estimated the possibilities of the use of ECG method for diagnostics of myocardium ischemic changes and prognosis of cardiac sudden death, what are discussed in literature and proposed for using in the practice. Among them, electrocardiography of high-resolution with the estimation of late potentials of ventricles, determination micro and macro alternation of T-wave, heart rhytm variability and ECG that is conducted in phase space ECG-Images.
Conclusions. The analys of results of reaserchers about of the processing of the new uninvasion ECG-metods with autometed information technology, which may reflect the electro-physiological processes in the different phases of the cardiac cycle, allows us to state that the using of them helps to get more information about the state of the cardiovascular system and early ischemic changes in myocardium.

Key words: **cardiovascular system, ECG, myocardial ischemia, alternation of T-wave, information technologies.**

Інформація про авторів знаходиться на сайті http://www.cp-medical.com.
Дата надходження до редакції – 01.02.19.