

Медицинская и биологическая кибернетика

УДК 681.2.087.57.089

ОЦІНКА СТУПЕНЯ НЕГОМОГЕННОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ШЛУНОЧКАХ СЕРЦЯ ЗА ДАНИМИ МАГНИТОКАРДІОГРАФІЇ

М. Наджафіан Тумаджані¹, М.М. Будник², О.С. Коваленко¹

¹*Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України*

²*Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України*

Рассмотрены методы анализа карт распределения плотности токов (РПТ), секущих сердце во фронтальной плоскости. На основе степени отличия карт РПТ от нормальной квазидипольной карты определяют степени негомогенности регионального или глобального типов. Предложен метод оценки степени аномальности РПТ, вызванной нарушениями электрических процессов в желудочках сердца.

Ключевые слова: карта распределения плотности токов, оценка региональной негомогенности, оценка глобальной негомогенности.

Розглянуто методи аналізу карт розподілу щільності струмів (РЩС), які січуть серце у фронтальній площині. На основі ступеня відмінності карт РЩС від нормальної квазидипольної карти визначають ступені негомогенності регіонального або глобального типів. Запропоновано метод оцінки ступеня аномальності РЩС, викликані порушеннями електричних процесів у шлуночках серця.

Ключові слова: карта розподілу щільності струмів, оцінка регіональної негомогенності, оцінка глобальної негомогенності.

Вступ

На сьогодні надійна діагностика багатьох кардіологічних захворювань все ще є клінічно актуальною проблемою. Так, ЕКГ в стані спокою є нормальною у 50% випадків [1], а зміни на ній недостатньо специфічні для найбільш розповсюджених патологій, наприклад для ішемічної хвороби серця (ІХС). З іншого боку, прогностична цінність велоергометрії з точки зору виникнення значних серцево-судинних подій (інфаркт міокарду — ІМ, інсульт, раптова серцева смерть тощо) теж не є достатньо високою. Методи формування медичних зображень (комп'ютерна томографія — КТ, магнітно резонансна томографія — МРТ, ультразвукова діагностика — УЗД) не дають достатньої інформації про електрофізіологічні процеси у міокарді. Різноманітні стрес-тести та інвазивні методи (коронарна ангиографія, сцинтиграфія) пов'язані з певним ризиком для пацієнтів, а тому не можуть проводитися так часто, як це потрібно [2]. Все це приводить до того, що

приблизно у 50% випадків гострого ІМ госпіталізація є першим контактом хворого із кардіологом.

Серед методів діагностики найбільш перспективними є неінвазивні, гуманні та безпечні методи, які не спричиняють негативних впливів на людину, не мають протипоказань, а отже — можуть багатократно повторюватися в різних клінічних ситуаціях, наприклад, для моніторингу ефективності терапії чи хірургічного втручання. Магнітокардіографія (МКГ) є повністю неінвазивним та безпечним методом, який, як показано у ряді досліджень, надає додаткову інформацію порівняно з зазначеними методами діагностики [3].

Аналіз МКГ на основі дипольної моделі не дозволяє виявити окремі джерела збудження у міокарді, тому необхідно застосовувати більш складні розподілені представлення наявних джерел збудження у вигляді карт розподілу щільності струмів (РЩС) у фронтальній площині, яка січе серце на глибині залягання диполя. Карта РЩС є векторним полем, де кожен вектор відображає щільність струму у даній точці, а області карти, які мають локальні максимуми і оточені векторами меншої амплітуди, відображають окремі області електричної активності міокарду.

Перспективність використання методу МКГ для діагностики захворювань серця полягає у тому, що ніякий інший метод не дозволяє отримати напрямок та величину локальних струмів у міокарді. Розподіл потенціалу збудження можна отримати за допомогою методу картування потенціалів на поверхні тіла (ПКТ), однак реконструювати відповідний розподіл струмових джерел неможливо. Причина полягає у тому, що на розподіл електричних потенціалів на поверхні тіла впливає неоднорідність та анізотропія електропровідності різних шарів тканин та органів тіла. Крім того, розподіл електропровідності по об'єму міокарду точно не відомий, індивідуально змінюється в нормальному фізіологічному стані людини і під впливом патологій серця.

На протипагу цьому, неінвазивний метод МКГ, який реєструє магнітне поле, породжене струмами у серці, дозволяє безпосередньо реконструювати розподіл щільності струмів у серці з огляду на те, що тіло людини практично магнітно однорідне [4].

Мета: оцінити ступінь відхилень електричних процесів в шлуночках серця на основі аналізу наборів РЩС на картах МКГ, використовуючи шлуночковий комплекс QRST, провести розрахунок ступеня їх відмінності від нормальної квазидипольної карти.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Відомо ряд методик, які ґрунтуються на властивості МКГ давати нову корисну інформацію, яка може слугувати маркером наявності певних порушень електрофізіологічних процесів у серці [5–9]. Так, у [5] розглядається спосіб діагностики ІХС, при якому ІХС класифікується на 4 ступені важкості за наявністю змін вертикальної координати (глибини залягання) ефективного диполя на протязі ST-сегменту. Патент [6] стосується діагностики таких форм ІХС, при яких є порушення процесу реполяризації,

але форма хвилі Т на ЕКГ не змінюється, а інші зміни на ЕКГ неспецифічні. З іншого боку, у [7] наведено спосіб виявлення аномальної гетерогенності при протіканні процесів де- та реполяризації міокарду на основі виділення двох під-інтервалів та визначенні відношення тривалості першого під-інтервалу до тривалості всього інтервалу.

У [8] розглядається спосіб оцінки аномальності РЩС у серці, суть якого полягає у проведенні аналізу карт РЩС та обчисленні кількості, напрямку, координат, відносної інтенсивності окремих областей струму, а також інтенсивність та геометричну форму вихорів струму. Знайдено, що у нормі протягом хвилі Т карта має вигляд квазідипольного розподілу, струмовий диполь направлений вліво-вниз (з точки зору пацієнта, на карті це відповідає напрямку вправо-вниз), а два вихори струму майже симетричні та мають правильну овальну форму. На основі ступеня відмінності вказаних показників від таких у нормального розподілу роблять висновок про можливість захворювань серця та їх тяжкість. Недолік — не приймаються до уваги області зі зниженою щільністю струму. Крім того, карти порівнюють з картою «еталонного дипольного розподілу», що є певним спрощенням тому, що карти РЩС у нормі мають певні відмінності від ідеальної дипольної моделі, а тому необхідно застосовувати поняття «нормальної квазідипольної карти» РЩС.

В [9] запропоновано спосіб діагностики, за яким обчислюється ступінь відмінності кожної карти РЩС від нормальної квазідипольної карти РЩС, потім розраховується середня величина ступенів відмінності для всіх карт з послідовності. Але методика [9] стосується тільки реполяризації шлуночків, а деполяризація не розглядається. Таким чином, на сьогодні відсутня загальна методика класифікації карт РЩС і оцінки ступеня різних видів негомогенності (регіональної, глобальної та загальної), яка може застосовуватись також і для діагностики інших хвороб, крім ІХС.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ НЕГОМОГЕННОСТІ

Суть методики полягає в обчисленні ступенів регіональної, глобальної та загальної негомогенностей шляхом аналізу карт РЩС у фронтальній площині. Регіональна негомогенність обраховується за допомогою топологічних параметрів областей з підвищеною та зниженою щільністю струмів — це характеристики геометричної форми та положення (локалізації) згаданих областей, наприклад кількість, координати та відносна інтенсивність, форма областей та вихорів, які їх оточують (видовження, овальність (опуклість), незв'язність, дотикання до краю карти тощо) [5].

Глобальна негомогенність визначається на основі відношення амплітуд найбільших векторів струму на вершинах зубців R і T. Мінімальна відмінність (різниця напрямків чи відношення амплітуд) між цими векторами означає, що глобальна (основа-верхівка, епікард-ендокард) послідовність реполяризації шлуночків у головних рисах повторює послідовність деполяризації у зворотному напрямку, тобто, міоцити, які деполяризуються останніми, реполяризуються першими. Помірна (велика) відмінність означає, що відмінність у послідовності розповсюдження потенціалу дії між ре- та

деполяризацією є помірною (максимальною). Визначення глобальної негомogeneousності засновано на відомій концепції шлуночкового градієнту Вільсона [10].

Основна ідея полягає у тому, що на основі ступеня відмінності вказаних показників від таких у дипольного розподілу формулюють висновок про можливість чи ймовірність різних видів негомogeneousності електричних процесів у шлуночках серця. Підгрунтя полягає у тому, що фізіологічною причиною появи вказаних областей є наявність зон міокарду з різною провідністю збудження, які можуть з'явитися внаслідок порушень електрофізіологічних процесів у міокарді, наприклад, внаслідок ішемії, запалення чи дистрофії серцевого м'язу.

Ступінь регіональної негомogeneousності визначають на основі відхилень значень вказаних параметрів для областей з підвищеною та пониженою щільністю струму від нормальних значень та/або ступеня відмінності даного набору карт від нормальної квазидипольної карти. Ступінь глобальної негомogeneousності визначають на основі відмінності амплітуд найбільших векторів струму на вершинах зубців R і T, а ступінь загальної негомogeneousності — на основі суми величин ступенів регіональної та глобальної негомogeneousностей [11].

Для досягнення достовірної класифікації карт ступені регіональної (глобальної) негомogeneousності оцінюють за 3-значною шкалою (малий, помірний, великий). Для більш детальної стратифікації пацієнтів ступінь загальної негомogeneousності (анормальності) оцінюють вже по 5-значній шкалі: низький (норма), нижче середнього (низька анормальність), середній (середня анормальність), вище середнього (висока анормальність), високий (дуже висока анормальність).

ОЦІНКА РЕГІОНАЛЬНОЇ НЕГОМОГЕННОСТІ

Спочатку визначається рівень регіональної негомogeneousності. Для кожної карти вона визначається згідно 3-значної шкали — малий, помірний чи великий ступені.

На Рис. 1а подана карта РЩС з малим ступенем регіональної негомogeneousності.

Це означає, що карта має:

- 1) тільки одну область, де має місце максимум щільності струмів (виділена темно-сірим кольором);
- 2) вказана область охоплюється системою векторів, що мають вигляд двох близьких один до одного та симетричних вихорів струму;
- 3) вказана область розташована приблизно посередині карти;
- 4) наявні тільки дві області зі зниженою щільністю струму (виділені світло-сірим кольором), але вони невеликі за площею, не видовжені, прилягають до краю карти, а тому не вказують на регіональну негомogeneousність міокарду.

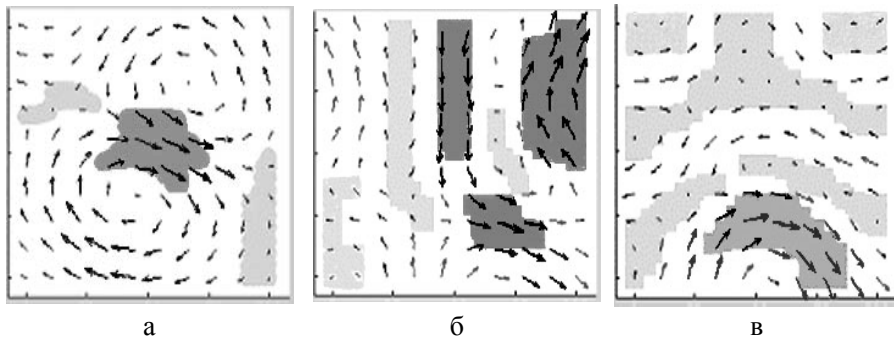


Рис. 1. Карты РЩС малого (а), помірного (б), великого (в) ступеня регіональної негомності.

Карты здорових волонтерів показують гомогенний (однорідний) РЩС, при цьому карти характеризуються властивостями 1) – 4). Тобто, існує одна основна область струму, яка охоплена симетричними векторами, знаходиться приблизно в центрі, а області зі зниженою щільністю струму невеликі за площею, не є видовженими та знаходяться тільки на краях карти.

З точки зору електрофізіології людини, це означає, що електричний генератор серця при реполяризації є розподіленим джерелом, локалізованим в межах зони, де наявне електричне збудження міокарду. Межа, що відокремлює збуджені і незбуджені зони, є фронтом хвилі збудження. При реполяризації шлуночків цей фронт у нормі направлений ліво-вниз.

В області збудження наявний градієнт трансмембранного потенціалу (ТМП), що породжує так звані «первинні струми». Ця область знаходиться у міокарді, який, з точки зору електродинаміки, є провідниковим середовищем. Тому у частині міокарда за межами області первинних струмів з'являється породжені ними пасивні об'єми (так звані вторинні) струми. У нормі міокард має досить однорідну електричну провідність. Первинні струми локалізовані в одній області, що вказує на те, що основне джерело збудження в першому наближенні є струмовим диполем. Тоді вторинні струми мають вигляд двох вихорів струму, які є приблизно симетричними, тобто однаковими за розміром та амплітудою (Рис. 1а).

Відхилення від карти з властивостями 1) – 5) спотворюють дипольну картину порівняно з «ідеальною» (при незначних порушеннях) або приводять до недипольної картини РЩС, тобто появи не менш, ніж однієї додаткової області струму з різними напрямками найбільших векторів та значних видовжених зон з пониженою щільністю струму (при значних порушеннях).

Рис. 1 б–в демонструють різні типи відхилень у порядку збільшення ступеня відмінності від «ідеальної» карти РЩС. Так, на Рис. 1б приведена карта недипольної структури з двома зонами найбільших векторів різного напрямку та двома видовженими зонами зниженої щільності струму, розташованими посередині карти. На Рис. 1в наведена карта з більш вираженою недипольною структурою — з декількома видовженими областями зниженої щільності струму, які займають більшу частину площі карти.

ОЦІНКА ГЛОБАЛЬНОЇ НЕГОМОГЕННОСТІ

На наступному етапі обчислюється ступінь негомогенності (ІН). Рис. 2 демонструє карти різного ступеня глобальної негомогенності — карти РЩС на вершинах зубців R (а) і T (б), які відрізняються відношенням амплітуд максимальних векторів на вершинах зубців R/T. У даній реалізації прийнято, що має місце мала відмінність, якщо значення відношення амплітуди на вершині зубця R до амплітуди на вершині зубця T знаходиться в діапазоні $4 < R/T < 6$. При цьому помірна чи велика відмінність має місце, якщо вказане значення відношення амплітуд лежить в діапазоні, відповідно $6 < R/T < 8$ чи $R/T > 8$.

Насамкінець, на основі суми ступенів регіональної та глобальної негомогенностей визначаються ступені загальної негомогенності електричних процесів у шлуночках серця, а потім — ступені аномальності вказаних процесів. Для цього застосовано 5-значну шкалу:

- 1 — $ІН \geq R/T_{min}$ — низький ступінь загальної негомогенності (норма);
- 2 — $R/T_c \geq ІН \geq R/T_{min}$ — ступінь нижче середнього, мала аномальність;
- 3 — $ІН = R/T_c$ — середній ступінь аномальності;
- 4 — $R/T_c \leq ІН \leq R/T_{max}$ ступінь вище середнього, висока аномальність;
- 5 — $ІН \geq R/T_{max}$ — дуже високий ступінь аномальності.

Таблиця 1 пояснює спосіб утворення 5-значних віршувальних правил для загальної негомогенності та аномальності на основі двох (регіональної та глобальної) типів негомогенності, кожний із яких має три градації — малий (1), помірний (2) чи великий ступінь (3).

Правило визначення ступеня загальної негомогенності полягає в наступному: загальна негомогенність електричних процесів у шлуночках серця має низький чи високий ступінь, якщо регіональна та глобальна негомогенності мають відповідно малий чи великий ступені. У разі, якщо наявна регіональна негомогенність малого ступеню, а глобальна — помірного чи навпаки, діагностують ступінь загальної негомогенності нижче середнього. У разі, якщо наявна регіональна негомогенність великого ступеню, а глобальна — помірного чи навпаки, діагностують ступінь загальної негомогенності вище середнього. У разі, якщо наявна регіональна негомогенність великого ступеню, а глобальна — малого чи навпаки, чи коли обидва типи негомогенності мають помірний ступінь — діагностують середній ступінь загальної негомогенності.

$$X_1 = X_{min}, \quad X_2 = 0,4X_{max}, \quad X_3 = 0,6X_{max}, \quad X_4 = 0,8X_{max}, \quad X_5 = X_{max}$$

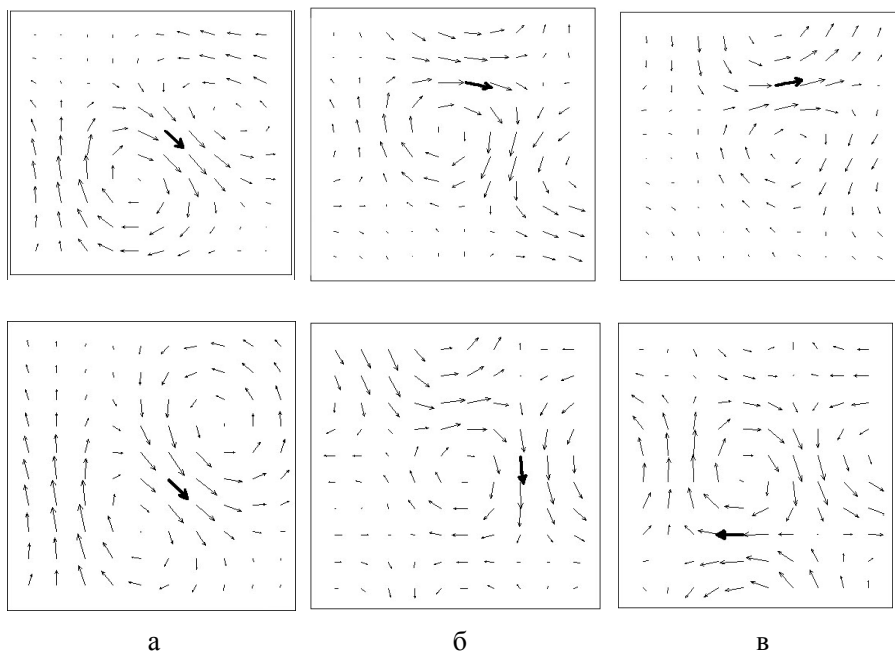


Рис. 2. Карти РЩС з малим (а), помірним (б) та великим (в) ступенем глобальної негомогенності

Таблиця 1.

Правило для визначення загальної негомогенності електричних процесів

Ступінь глобальної негомогенності	Ступінь регіональної негомогенності		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Також пропонується правило визначення ступеня аномальності електричних процесів у шлуночках серця: 0 — аномальність відсутня (норма) чи має дуже високий ступінь, якщо регіональна та глобальна негомогенності мають відповідно малий чи великий ступені. У разі, якщо регіональна негомогенність має малий ступінь, а глобальна — помірний чи навпаки, діагностують низький ступінь аномальності. У разі, якщо наявна регіональна негомогенність великого ступеню, а глобальна — помірного чи навпаки, діагностують високий ступінь аномальності. У разі, якщо наявна регіональна негомогенність великого ступеню, а глобальна — малого чи навпаки, чи коли обидва типи негомогенності мають помірний ступінь — діагностують середній ступінь аномальності.

При цьому кожному якісному ступеню регіональної чи глобальної негомогенності поставлено у відповідність кількісний бал — від 1 до 3, а ступеням аномальності поставлено у відповідність бали в діапазоні 0–4, де бал 0 означає відсутність аномальності, тобто норму. Наприклад,

середньому ступеню аномальності (бальна оцінка 2) відповідають 3 варіанти доданків, тобто балів ступенів неоднорідності, а саме — $0 + 2$, $1 + 1$ чи $2 + 0$.

$$X_0 = X_{min}, \quad X_1 = 0,25X_{max}, \quad X_2 = 0,5X_{max}, \quad X_3 = 0,75X_{max}, \quad X_4 = X_{max}$$

Це дозволяє спростити визначення ступеня аномальності за допомогою простого сумування балів ступенів відповідних типів негомогенності замість застосування правил виводу на основі логічних виразів.

У даному підході застосовано магнітокардіографічне картування за 4-ма каналами, що дозволяє виконувати обстеження в умовах звичайного приміщення без використання магнітоекранованої кімнати, що значно спрощує та здешевлює впровадження МКГ технології у клінічну практику.

Таким чином, запропонована методика оцінки ступеня аномальності електричних процесів у шлуночках серця базується на проведенні МКГ картування аналізу наборів карт РЩС від початку комплексу QRS до кінця зубця Т. За цією методикою визначають ступені відмінності цих наборів карт від нормальної квазідипольної карти та приймаються до уваги області зі зниженою щільністю струму і на цій основі визначають ступінь регіональної негомогенності (РНГ) за 3-значною шкалою, потім формулюють висновок про ступінь аномальності за 5-значною шкалою.

Методика реалізована програмно, зазначені дії виконують на комп'ютері з відображення результатів аналізу на дисплеї та їх роздруківкою на принтері.

Висновки

В роботі запропоновано методику оцінки негомогенності та аномальності електричних процесів у шлуночках серця шляхом проведення МКГ картування, аналізу наборів карт РЩС від початку комплексу QRS до кінця зубця Т, обчисленням ступенів їх відмінності від нормальної квазідипольної карти.

Перевага методу полягає в тому, що можна оцінити ступінь загальної негомогенності міокарду, і на цій основі — ступінь аномальності електричних процесів у шлуночках. Для цього використовують таку бальну шкалу ступенів регіональної та глобальної негомогенності: малий — 1, помірний — 2, великий — 3. Тоді ступеням загальної негомогенності (аномальності) можна приписати такі бали згідно 5-ти значної шкали: 0 — низький (норма), 1 — нижче середнього (мала аномальність), 2 — середній (середня аномальність), 3 — вище середнього (велика аномальність), 4 — високий (дуже висока аномальність).

Оцінка негомогенності призначена, в першу чергу, для наукових досліджень з метою виявлення електрофізіологічні відмінності в міокарді певної людини. Оцінка аномальності призначена для медичної діагностики. До переваг даного підходу відноситься також те, що він орієнтований на застосування відносно дешевого малоканалного магнітокардіографа, який дозволяє виконувати обстеження в умовах звичайного приміщення без використання магнітоекранованої кімнати, що значно спрощує та здешевлює впровадження МКГ технології у клінічну практику.

Даний метод можна застосувати до аналізу не лише карт РЩС, а й карт магнітного поля. У цьому випадку не потрібно вирішувати обернену задачу, а замість областей струму аналізуються області екстремумів магнітного поля. Проте магнітне поле дає досить опосередковану картину розподілу збудження міокарду, тому його інформативність для медичного аналізу значно нижча.

1. 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. 247–50.
2. Виноградова Т.С., Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы Виноградова Т.С., Акулова Ф.Д., Белоцерковский З.Б. и др., — М.: Медицина, 1986. — 416 с.
3. Complementary Nature of Electrocardiographic and Magnetocardiographic Data in Patients with Ischemic Heart Disease / J. Lant, G. Stroink, B. Voorde et al. // J. Electrocardiology. — 1990. — V.23. — P.315–322.
4. Будник М.М. Діагностичні критерії хронічної ішемічної хвороби серця на основі реєстрації та аналізу магнітокардіограм / М.М. Будник, І.Д. Войтович, В.І. Козловський та ін. // Препринт 2002-5, НАН України. Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова; — 2002. № 5. — 49 с.
5. Int. Patent Application WO 0217769, Ischemia identification, quantification and partial localization in MCG, A. Bakharev, Cardiomag Imaging Inc., USA, 2002.
6. Патент UA 74466. Спосіб діагностики ішемічної хвороби серця, Козловський В., Будник М., Стаднюк Л., Риженко Т., заявка № а 2004 021170, опубл. 15.12.2005, Бюл. №12.
7. Патент UA 13427. Спосіб оцінки гетерогенності процесів електричного збудження та відновлення у серці, Захрובה О., Будник М., Стаднюк Л. та ін., заявка № u 2006 01007, опубл. 15.03.2006, Бюл. №3.
8. Патент UA 83050. Спосіб оцінки аномальності розподілу струмів у серці, Чайковський І., Будник М., заявка № а 2006 00584, опубл. 10.06.2008, Бюл. №11.
9. Патент UA 83061. Спосіб оцінки аномальності процесу реполяризації шлуночків серця. Чайковський І., Будник М., заявка № а 2006 02821, опубл. 10.06.2008, Бюл. №11.
10. Wilson at al. The T deflection of the electrocardiogram. Trans. Assoc. Am. Physicians — vol. 46 — No. 2, — p. 19–31.
11. Патент UA 90701. Спосіб оцінки ступеня аномальності електричних процесів у шлуночках серця, Чайковський І.А., Будник М.М., Васецький Ю.М., Наджафіан М.А., заявка № а 2007 08616, опубл. 25.05.2010, Бюл. №10.

EVALUATION OF INHOMOGENEITY DEGREE OF ELECTRICAL PROCESSES INTO THE HEART VENTRICLES BASED ON MAGNETOCARDIOGRAPHY

M. Najafian Toomajani¹, M.M. Budnyk², O.S. Kovalenko¹

¹*International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine*

²*Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine*

Introduction. Methods for analysis of the current density distribution (CDD) maps as cross-sections of the human heart into the frontal plane were considered. Degrees of non-homogeneity of regional and global kinds are determined based on degree of difference between CDD maps and normal quasi-dipole map. Method for estimation of the abnormality degree of CDD maps caused by failures of electric processes into the heart ventricles has been proposed. Evaluation of regional and global inhomogeneity for each map is determined according to small, medium and large grades.

Purpose. Assess the degree of abnormality of electrical processes in the ventricles of the heart through the MCG mapping, analysis of sets of CDD maps beginning of the QRS complex to the end of the T wave, the calculation of the degree of their differences from normal quasi-dipole map.

Methods. Method of assessing the degree of abnormality of the CDD maps.

Results. In order to achieve reliable classification of the degree of regional (global) maps inhomogeneity is assessed by a 3-point scale (small, medium, large), For a more detailed stratification of patients a total degree of inhomogeneity (abnormality) has developed on a 5-value scale: low (normal), below average (small abnormality), the average (intermediate abnormality), above average (mild abnormality), large (severe abnormality).

First determine the level of regional inhomogeneity. For each map, it is determined according to the 3-value scale - small, mild and severe degree.

Conclusion. This method can be applied to the analysis of not only CDD maps, but also for the magnetic field maps. In this case, it is needed to solve the inverse problem, and instead of the current areas, area of the extreme of the magnetic field were analysed. However, the magnetic field gives a fairly indirect distribution pattern of excitation into the myocardium, so informative value is much lower for medical analysis.

In addition, method is preferable for using relatively cheap device, which allow make examination under normal condition without magnetically shielded room. Above factor greatly simplifies and reduces the cost of implementation of the MCG technology into clinical practice.

Keywords: current density distribution (CDD) map, estimation of regional inhomogeneity, estimation of global inhomogeneity.

1. 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*. MayoClin. Proc. 1984; Vol. 59, p. 247–50.
2. Vinogradova T.S. Akulova F.D., Belotserkovskiy Z.B. et al., *Instrumental methods for studying the cardiovascular system*. Moscow: Medicine, 1986. 416 p. (in Russian).
 3. Lant J., Stroink G., Voorde B. et al. Complementary Nature of Electrocardiographic and Magnetocardiographic Data in Patients with Ischemic Heart Disease. *J. Electrocardiology*. 1990. V.23, p.315–322.
 4. Budnyk M.M., Voytovych I.D., Kozlovsky V.I et al. *Diagnostic criteria for chronic ischemic heart disease based on registration and analysis magnetokardiogram*. Preprint 2002-5, NAS of Ukraine. Institute of Cybernetics named by V.M. Glushkov. 2002, № 5. 49 p. (in Ukrainian).
 5. Bakharev A. *Ischemia identification, quantification and partial localization in MCG*. Int. Patent Application WO 0217769. Cardiomag Imaging Inc., USA, 2002.
 6. Kozlovsky V., M. Budnyk, Stadnyuk L., Ryzhenko T. *Method of diagnosis of ischemic heart disease*. Patent UA 74466. Application No. a 2004 021 170, published 15.12.2005, Bulletin No. 12 (in Ukrainian).
 7. Zahrabova A., Budnyk M., Stadnyuk L. et al. *Method of estimation of processes of the heart electrical excitation and recovery*. Patent UA 13427. Application No. u2006 01007, published 15.03.2006, Bull. No. 3 (in Ukrainian).
 8. Chaikovsky I., Budnyk M. *Method for estimating abnormality of currents distribution into the heart*. Patent UA 83050. Application No. a2006 00 584, published 10.06. 2008, Bulletin No. 11 (in Ukrainian).
 9. Chaikovsky I., Budnyk M. *Method for estimating abnormality process of ventricular repolarization*. Patent UA 83061. Application No. a2006 02821, published 10.06.2008, Bull. No. 11 (in Ukrainian).
 10. Wilson at al. The T deflection of the electrocardiogram. *Trans. Assoc. Am. Physicians*, vol. 46; No. 2, – p. 19–31.
 11. Chaikovsky I., Budnyk M., Vasetsky Yu., Najafian M. *Method of estimation of the degree of abnormality of electrical processes into the heart ventricles*, Patent UA 90701. Application No. a 2007 08 616, published 25.05.2010, Bulletin No. 10 (in Ukrainian).

Получено 04.07.2014