

Можливості аналізу електрокардіограми у фазовому просторі та варіабельності ритму серця в амбулаторних пацієнтів із гіпертонічною хворобою

Т.І. Чабан¹, І.А. Чайковський², Л.С. Файнзільберг²,
І.П. Лихогра¹, С.П. Лихогра¹, О.В. Кухарев²

¹Медичний інститут Української асоціації народної медицини, Київ

²Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАНУ і Міністерства науки та освіти України

Резюме. Мета дослідження — визначення параметрів електрокардіограми (ЕКГ) у фазовому просторі у пацієнтів із гіпертонічною хворобою (ГХ) різного ступеня та вивчення взаємозв'язку між параметрами ЕКГ у фазовому просторі й параметрами варіабельності ритму серця (ВРС). Обстежено 45 амбулаторних пацієнтів із ГХ. Результати дослідження свідчать, що значення симетрії хвилі Т у фазовому просторі у осіб із ГХ вище, ніж у здорових волонтерів, що вірогідно відображає вторинні зміни міокарда внаслідок його гіпертрофії, спричиненої артеріальною гіпертензією. Також виявлено статистично достовірний кореляційний зв'язок між показниками ЕКГ у фазовому просторі й показниками ВРС у амбулаторних пацієнтів із ГХ.

Ключові слова: артеріальна гіпертензія, варіабельність ритму серця, фазовий аналіз ЕКГ.

Вступ

Гіпертонічна хвороба (ГХ) — одне з найпоширеніших захворювань в Україні, яке у більшості випадків діагностується та лікується амбулаторно. Слід зазначити, що час, відведений лікарем на обстеження кожного амбулаторного хворого, дуже обмежений. Тому розробка інструментальних технологій, які би були, з одного боку, високоінформативними, а з іншого — економними щодо використаного часу (проміжок часу між початком обстеження й одержанням результату не має перевищувати 1–2 хв), є виключно бажаною.

Електрокардіографія, як і раніше, залишається одним з найпоширеніших діагностичних методів в кардіології. Проте дані звичайного електрокардіографічного обстеження недостатньо повно відображають динаміку патологічного процесу. В останні десятиріччя на основі сучасних комп'ютерних технологій розробляються нові методи аналізу електрокардіограми (ЕКГ). Серед нових методів аналізу ЕКГ, які все ширше використовуються в наукових дослідженнях і повсякденній клінічній практиці, на наш погляд, особливо перспективними є ЕКГ високого розрізнення, аналіз різних фрагментів ЕКГ-сигналу на основі принципу аналізу «від циклу до циклу» («beat-to-beat»), дисперсійні характеристики Т-зубця — TWA (T-Wave Alternans) та інші показники дисперсії та альтернації, перетворення WT (wavelet transformation), спектрально-часовий аналіз, аналіз мор-

фології хвилі Т (ТМА), аналіз головних компонентів і деякі ін. (Іванов Г.Г. і соавт., 2003). Один із найбільш перспективних методів — аналіз ЕКГ у фазових координатах (Файнзільберг Л.С., 1998).

Методом для оперативної оцінки стану хворих є також аналіз варіабельності ритму серця (ВРС), тобто вимірювання часових інтервалів між R–R-інтервалами ЕКГ, з побудовою динамічних рядів кардіоінтервалів, і подальшому аналізі отриманих числових рядів різними математичними методами. Визначали статистичні показники ВРС згідно з рекомендаціями Європейського товариства кардіологів та Північно-Американського товариства електрокардіостимуляції та електрофізіології (Task Force of European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and electrophysiology, 1996): SDNN, RMSSD, PNN50, Cvar, де SDNN — середньоквадратичне відхилення послідовних інтервалів R–R (мс), RMSSD — стандартне (середньоквадратичне) відхилення різниці послідовних інтервалів R–R (мс), PNN50 — відсоток послідовних інтервалів R–R, різниця між якими перевищує 50 мс (%), Cvar — коефіцієнт варіації (%). Спектральний аналіз проводили методом швидкого перетворення Фур'є. Розраховували такі спектральні показники серцевого ритму: VLF — потужність спектра на частоті <0,05 Гц, LF — потужність спектра на частоті 0,05–0,15 Гц, HF — потужність спектра на частоті 0,15–0,4 Гц, LF/HF — співвідношення низько- і високочас-

тотного компонентів, показник балансу симпатичного і парасимпатичного відділів автономної нервової системи, а також показники варіаційної пульсометрії: індекс напруження (ІН).

Мета дослідження — визначення параметрів ЕКГ у фазовому просторі у пацієнтів із ГХ різного ступеня та вивчення взаємозв'язку між параметрами ЕКГ у фазовому просторі й параметрами ВРС у цій групі хворих.

Об'єкт і методи дослідження

На кафедрі внутрішніх хвороб № 1 Медичного інституту Української асоціації народної медицини були обстежені 45 пацієнтів із ГХ. Основні характеристики хворих наведені в табл. 1.

| Таблиця 1 | Основні характеристики дослідженої групи |
|--------------------------|--|
| Кількість досліджених, n | 45 |
| Чоловіки, n | 29 |
| Жінки, n | 16 |
| Середній вік, років | 58±12 |
| ГХ 1-го ступеня | 11 |
| ГХ 2-го ступеня | 25 |
| ГХ 3-го ступеня | 9 |

Діагноз ГХ встановлювали відповідно до загальноприйнятих критеріїв. В обстеження не включали хворих з повною блокадою ніжок пучка Гіса.

Обстеження проводили за допомогою програмно-технічного комплексу (ПТК)

ІКАР, розробленого Міжнародним науково-навчальним центром інформаційних технологій і систем Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України. Цей ПТК складається з мікропроцесорного сенсору, що дозволяє при доторканні пальців обох рук обстежуваного до стандартних електродів реєструвати і вводити в комп'ютер ЕКГ першого відведення, а також комп'ютерної програми, за допомогою якої проводиться аналіз введеного сигналу.

Обстеження хворих проводили під час амбулаторного прийому в положенні сидячи. Реєстрацію ЕКГ у фазовому просторі виконували у першому стандартному відведенні при дотуку двох пальців обох рук до електродів, що знаходяться на мікропроцесорному сенсорі. Сутність технології полягає в тому, що в кожній точці часового сигналу $x(t)$ чисельними методами оцінюється його перша похідна dx/dt й вся подальша обробка здійснюється на фазовій площині в координатах $x(t)-dx/dt$. Така обробка передбачає поділ фазової траєкторії на окремі серцеві цикли, селекцію траєкторій з однаковою морфологією (відбракування ненадійних траєкторій, викликаних артефактами чи екстрасистолами), усереднення траєкторій у фазовому просторі з подальшою оцінкою «еталонного» циклу в часовій області за усередненою фазовою траєкторією. Тривалість реєстрації становила 5 хв. За основну діагностичну ознаку було вибрано показник β_T , що характеризує симетрію хвилі T у фазовому просторі. Також за допомогою ПТК ІКАР була проаналізована варіабельність (середньоквадратичне відхилення) показника β_T (Var β_T). Крім показників β_T та Var β_T , у процесі обстежень аналізували загальноприйняті показники ВРС, а саме ІН, Cvar, SDNN, RMSSD, LF, HF, LF/HF. Одночасно з реєстрацією ЕКГ вимірювали артеріальний тиск (АТ) за методом Короткова та ЕКГ у 12 відведеннях за допомогою одноканального електрокардіографа.

Результати та їх обговорення

Систолічний артеріальний тиск (САТ) на момент дослідження виявився підвищеним у 38 хворих, діастолічний артеріальний тиск (ДАТ) — у 41. ЕКГ у 12 відведеннях була нормальною у 21 (47%) пацієнтів, лише вольтажні ознаки гіпертрофії лівого шлуночка виявлені у 20 (44%), негативні зубці T у ≥ 2 відведеннях — у 4 (9%) хворих. Середні значення АТ та інших досліджених параметрів, що були автоматично обчислені за допомогою ПТК ІКАР, наведені в табл. 2.

Значення показника β_T у групі пацієнтів із ГХ виявилися значно вищими, ніж

в контрольній групі здорових волонтерів, яка була проаналізована в попередніх дослідженнях ($0,86 \pm 0,15$ проти $0,65 \pm 0,12$). Водночас значення β_T у пацієнтів із ГХ виявилися нижчими, ніж у осіб із ішемічною хворобою серця ($0,86 \pm 0,15$ проти $0,96 \pm 0,47$). Зауважимо, що значення цього показника виявилися підвищеними як у хворих з вольтажними ознаками гіпертрофії міокарда, так і у хворих з цілком нормальною ЕКГ у 12 відведеннях.

Середні значення таких показників ВРС, як SDNN, RMSSD, LF, HF в обстеженій групі перебували поза межами норми.

Результати аналізу лінійної кореляції між усіма парами параметрів, зв'язок між якими виявився статистично достовірними, наведено в табл. 3.

Між показниками ЕКГ у фазовому просторі β_T та Var β_T , а деякими показниками ВРС виявлено статистично достовірний кореляційний зв'язок середнього чи слабого ступеня. Так, ці показники корелювали з ІН, що відображає глобальний рівень напруження регуляторних систем, а також із Cvar. Кореляція з потужністю низьких частот (LF) була на межі достовірності ($p < 0,06$). Інші кореляції показників ЕКГ у фазовому просторі та ВРС були статистично недостовірними. Також виявлено достовірний кореляційний зв'язок між показниками β_T та Var β_T , тобто між симетрією у фазовому просторі зубця T , усередненого за 2 хв кардіоциклу, та ступенем варіабельності цієї симетрії, що визначалася в кожному поточному кардіоциклі протягом всього періоду реєстрації ЕКГ.

Заслугує на увагу те, що виявлено слабкий, але статистично достовірний зв'язок між показником β_T та рівнем ДАТ, який, як відомо, у свою чергу, корелює зі ступенем жорсткості міокарда. Такого зв'язку щодо САТ не виявлено.

У ряді робіт досліджено, що показники ВРС є показниками, які оцінюють стан серцево-судинної системи, ризик смертності при артеріальній гіпертензії, серцевій недостатності (Чабан Т.І., 1999; 2000). В останні роки з'явилося кілька нових маркерів, що оцінюють форму хвилі T ЕКГ, як складних (основаних, зокрема, на так званому методі аналізу головних компонентів), так і досить простих. Серед цих простих методів варто виділити оцінку симетричності хвилі T . Цей підхід цілком може бути застосованим і при аналізі одноканальної ЕКГ. Клінічна значимість симетрії хвилі T у діагностиці ішемії міокарда була уперше продемонстрована R. Zuckermann у 1957 р., а в російськомовній літературі Е.Ш. Халфенем зі співавторами у 80-ті роки ХХ ст. (Халфен Э.Ш., Сулковская Л.С., 1986). Показано, що у хворих із хронічною (Коваленко В.Н. і соавт., 2007) та гострою (Чайковский И.А. і соавт.,

2007) ішемією міокарда відбувається симетризація хвилі T ЕКГ. Також виявлено, що у осіб з інфекційним міокардитом також відбувається симетризація хвилі T (Файнзильберг Л.С. і соавт., 2001). Однак роботи, в яких би вивчалися зміни форми хвилі T ЕКГ у пацієнтів із гіпертензивною хворобою серця, нам невідомі. Також не досліджувався зв'язок між симетрією хвилі T та ВРС.

Відповідно до результатів проведеного нами дослідження значення симетрії хвилі T у пацієнтів із ГХ займає проміжне положення між здоровими добровольцями та особами з ішемічною хворобою серця. Останнім часом електрофізіологічна основа симетризації хвилі T при патології інтенсивно досліджується. Як відомо, форма хвилі T ЕКГ залежить від форми, тривалості й величини трансмембранних потенціалів дії в різних зонах міокарда.

Доведено, що збільшення симетрії хвилі T свідчить про зменшення електричної однорідності міокарда. Гіпертрофія міокарда при артеріальній гіпертензії характеризується дисгармонійним і незбалансованим ремоделюванням лівого шлуночка (Ена Л.М., Кондратюк В.Е., 2002). У багатьох проспективних дослідженнях показано, що гіпертрофія лівого шлуночка — незалежний фактор ризику виникнення інфаркту міокарда, раптової смерті, небезпечної для життя аритмії (Kannel W.B., 1991). Таким чином не викликає сумнівів, що гіпертрофія міокарда при артеріальній гіпертензії спричиняє підвищення ступеня електричної неоднорідності міокарда.

Симетризація хвилі T у пацієнтів із ГХ порівняно зі здоровими добровольцями відображає цей факт. У осіб із ішемічною хворобою серця відзначають ще більшу електричну неоднорідність міокарда, яка відображається подальшим зростанням симетрії хвилі T . Важливим є те, що збільшення симетрії T спостерігалось як у хворих із вольтажними ознаками гіпертрофії лівого шлуночка, так і без них. Це свідчить про те, що симетризація T — більш рання ознака електрофізіологічних змін у міокарді, спричинених високим АТ, ніж вольтажні критерії.

На особливу увагу заслуговує питання про зв'язок змін форми хвилі T із ВРС при використанні коротких рядів кардіоінтервалів, як у нашому дослідженні. Нами не виявлено достовірних кореляційних зв'язків між β_T і найбільш загальними показниками ВРС, такими як SDNN, RMSSD, а також із показниками спектрального аналізу. Проте наявний достовірний зв'язок між β_T та ІН, що відображає активність механізмів симпатичного відділу вегетативної нервової системи регуляції, стан центрального контуру регуляції. Також виявлено кореляційний зв'язок між β_T

Таблиця 2

| Середні значення досліджених параметрів (M±m) | | | | | | | | | | |
|---|-----------|---------|---------|---------|--------|-----------|-----------|---------|--------|-------|
| ВТ | Var ВТ | ІН | CVar | SDNN | RMSSD | LF | HF | LF/HF | САТ | ДАТ |
| 0,86±0,15 | 0,12±0,05 | 238±154 | 12,1±11 | 56,3±55 | 91±116 | 34,4±13,5 | 44,2±20,4 | 1,2±1,1 | 155±23 | 91±12 |

Таблиця 3

| Статистично достовірні кореляційні зв'язки між дослідженими параметрами | | | | | | |
|---|---------|-----------|-------------|-------------|---------------|----------|
| Пари параметрів | ВТ — ІН | ВТ — Cvar | Var ВТ — ВТ | Var ВТ — ІН | Var ВТ — Cvar | ВТ — ДАТ |
| R | 0,4471 | 0,4476 | 0,5783 | 0,3413 | 0,3880 | 0,3529 |
| p | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |

та показником, який є нормованою оцінкою SDNN.

Встановлено також достовірний зв'язок між показниками β_T та $\text{Var } \beta_T$. Показник $\text{Var } \beta_T$ відображає так звану варіабельність «beat-to-beat», тобто незначні зміни характеристик електричного збудження самого серця (а не інтервалів $R-R$) від циклу до циклу. В здоровому серці при де-і реполяризації міокарда протягом кожного скорочення виникають невеликі коливання амплітуди, тривалості та форми ЕКГ-сигналу, які можуть бути зумовлені різними фізіологічними чинниками, як, наприклад ротацією серця і диханням, змінами ЧСС і тривалістю попереднього інтервалу діастолі, коливаннями системної та внутрішньопорожнинної гемодинаміки, інотропними та/чи вегетативними впливами тощо. При патології міокарда з'являються додаткові чинники, що асоціюються з порушеннями локальних електричних процесів у міокарді, які приводять до збільшення варіабельності «beat-to-beat». Одночасне збільшення β_T та $\text{Var } \beta_T$ свідчить про різні аспекти підвищення ступеня електричної неоднорідності міокарда у пацієнтів із ГХ. Показник $\text{Var } \beta_T$ також корелює з ІН та Cvar . Слід сказати, що питання взаємозв'язку між варіабельністю «beat-to-beat» форми ЕКГ та особливостями регуляції з боку автономної нервової системи потребує додаткового вивчення.

Також на додаткове вивчення заслуговує кореляція β_T та рівня ДАТ.

Вірогідно, цей факт свідчить, що симетрія хвилі T виявиться кращим предиктором діастолічної дисфункції лівого шлуночка, ніж вольтажні ЕКГ-ознаки гіпертрофії (Palmieri V. et al., 2006; Avdic S. et al., 2007). Подальші дослідження підвищеної симетрії хвилі T при амбулаторному обстеженні хворих на артеріальну гіпертензію є перспективними, оскільки можуть допомогти виявити пацієнтів із пошкодженням міокарда на ранніх етапах і спонукати до корекції терапії, а саме до застосування засобів захисту міокарда.

Висновки

1. ПТК ІКАР — надійний і зручний інструмент, який може бути рекомендованим до застосування в кардіологічній клініці, у тому числі в умовах амбулаторного обстеження кардіологічних хворих.

2. Значення симетрії хвилі T у фазовому просторі у пацієнтів із ГХ вищі, ніж у здорових волонтерів, що, вірогідно, відображає вторинні зміни міокарда внаслідок його гіпертрофії, спричиненої артеріальною гіпертензією. Цей показник виявився вищим як у хворих зі зміненою за звичайними критеріями ЕКГ, так і у осіб з цілком нормальною ЕКГ у 12 відведених.

3. Виявлено статистично достовірний кореляційний зв'язок середнього ступеня між показниками ЕКГ у фазовому просторі, $\text{Var } \beta_T$ та деякими показниками ВРС. Так, ці показники корелювали з ІН,

що відображає глобальний рівень напруження регуляторних систем, а також з Cvar . Наявність такого зв'язку свідчить, що показники ЕКГ у фазовому просторі деякою мірою відображають ступінь дезадаптації регуляторних систем у пацієнтів із ГХ. Таким чином, використання ЕКГ у фазовому просторі доцільне в комплексі амбулаторного обстеження пацієнтів із ГХ.

Подальші дослідження у цьому напрямку перспективні, оскільки можуть дати лікарям нові інструменти ранньої діагностики та оцінки стану серцево-судинної системи.

Література

Ена Л.М., Кондратюк В.Е. (2002) Изменение биоэлектрической активности миокарда у больных с артериальной гипертензией среднего и пожилого возраста в условиях длительного применения фозиноприла. Укр. кардіол. журн., 6: 24–27.

Иванов Г.Г., Грачев С.В., Сыркин А.Л. (ред.) (2003) Электрокардиография высокого разрешения. Триада-Х, Москва, 312 с.

Коваленко В.Н., Чайковский И.А., Файнзильберг Л.С. и др. (2007) Диагностическая ценность электрокардиографии в фазовом пространстве для скрининга ишемической болезни сердца. Укр. кардіол. журн., 6: 13–19.

Файнзильберг Л.С., Клубова А.Ф., Чайковский И.А. и др. (2001) Новый метод анализа ЭКГ больных ревматоидным артритом. Укр. ревматол. журн., 2(4): 48–51.

Файнзильберг Л.С. (1998) Спосіб інтегральної оцінки поточного стану серцево-судинної системи людини. Пат. № 24517 (Україна) МКИ А61 В 5/024. № 97052323; Заявлено 21.05.97; Опубл. 30.10.98, Бюл., № 5, 4 с.

Халфен Э.Ш., Сулковская Л.С. (1986) Клиническое значение исследования скорости показателей зубца T ЭКГ. Кардиология, 6: 60–62.

Чабан Т.І. (1999) Варіабельність серцевого ритму під час проби з пасивним підйомом ніг у хворих з серцевою недостатністю. Укр. мед. альманах, 2: 148–150.

Чабан Т.І. (2000) Зміни циркадних коливань варіабельності серцевого ритму у хворих із серцевою недостатністю під впливом бета-адреноблокатора метопролола. Укр. мед. альманах, 1: 175–178.

Чайковский И.А., Батушкин В.В., Файнзильберг Л.С. и др. (2007) Эффективность оценки течения острого коронарного синдрома по данным анализа первого отведения ЭКГ на фазовой плоскости. Журн. Академії медичних наук України, 13(1): 104–113.

Avdic S., Mujcinović Z., Asćerčić M. et al. (2007) Left ventricular diastolic dysfunction in essential hypertension. Bosn. J. Basic. Med. Sci., 7(1): 15–21.

Kannel W.B. (1991) Left ventricular hypertrophy as risk factor: the Framingham experience. J. Hypertens. Suppl., 9(2): S3–8.

Palmieri V., Okin P.M., Bella J.N. et al. (2006) Electrocardiographic strain pattern and left ventricular diastolic function in hypertensive patients with left ventricular hypertrophy: the LIFE study. J. Hypertens., 24(10): 2079–2084.

Task Force of European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Eur. Heart J., 17(3): 354–381.

Zuckermann R. (1957) Grundriss und Atlas der Elektrokardiographie. Leipzig.

Возможности анализа электрокардиограммы в фазовом пространстве и вариабельности ритма сердца у амбулаторных пациентов с гипертонической болезнью

Т.И. Чабан, И.А. Чайковский, Л.С. Файнзильберг, И.П. Лихогра, С.П. Лихогра, А.В. Кухарев

Резюме. Цель исследования — определение параметров электрокардиограммы (ЭКГ) в фазовом пространстве у пациентов с гипертонической болезнью (ГБ) разной степени и изучение взаимосвязи между параметрами ЭКГ в фазовом пространстве и параметрами вариабельности ритма сердца (ВРС). Обследовано 45 амбулаторных пациентов с ГБ. Результаты исследования свидетельствуют, что значение симметрии волны T в фазовом пространстве у пациентов с ГБ выше, чем у здоровых волонтеров, что, вероятно, отражает вторичные изменения миокарда вследствие его гипертрофии, обусловленной артериальной гипертензией. Также выявлена статистически достоверная корреляционная связь между показателями ЭКГ в фазовом пространстве и показателями ВРС у амбулаторных пациентов с ГБ.

Ключевые слова: артериальная гипертензия, вариабельность сердечного ритма, фазовый анализ ЭКГ.

Possibilities of ECG of phase space and heart rate variability analysis in outpatients with essential hypertension

T.I. Chaban, I.A. Chaikovsky, L.S. Fainzilberg, I.P. Lihogra, S.P. Lihogra, O.V. Kuharev

Summary. The purpose of the study was to define the ECG parameters in phase space in patients with essential hypertension of different grades and studying of interrelation between parameters of ECG in phase space and parameters of heart rate variability in this group of patients. 45 outpatients with essential hypertension were surveyed. It was shown that value of T -wave symmetry in phase space in outpatients with essential hypertension is higher than in healthy volunteers group. Moreover, statistically significant relationship between parameters of ECG in phase space and parameters of heart rate variability was revealed.

Keywords: essential hypertension, heart rate variability, analysis of ECG in phase space.

Адреса для листування:

Чабан Тарас Іванович
03151, Київ, вул. Смілянська, буд. 13, кв. 52
тел.: 8 (067) 239-40-23
E-mail: vpered@i-com.ua