

Інформативні властивості показників фази реполяризації одноканальної електрокардіограми в дітей із діабетичною кардіоміопатією

А.О. Морозик¹,
В.Г. Майданник¹,
Л.С. Файнзільберг²

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

²Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України та МОН України

Резюме. Мета роботи — вивчення нових ранніх маркерів для діагностики діабетичної кардіоміопатії (ДКМП) у дітей із цукровим діабетом 1-го типу (ЦД1) шляхом аналізу фази реполяризації на одноканальній електрокардіограмі (ЕКГ) у фазовому просторі з навантажувальним тестуванням. **Матеріали та методи.** Обстежено 23 дитини віком 7-16 років із ЦД1. Контрольну групу становили 22 практично здорових школярі віком 7-15 років. За допомогою комплексу ФАЗАГРАФ® досліджували й автоматично обчислювали традиційні та оригінальні параметри, що характеризують фазу реполяризації ЕКГ першого стандартного відведення, в стані відносного спокою, одразу після навантаження (20 присідань за 30 с) і на третій хвилині періоду реституції. **Результати та їх обговорення.** У стані спокою в дітей із ЦД1 на ЕКГ відзначається сплюснений і вузький зубець Т, а показник середньоквадратичного відхилення симетрії зубця Т (СКВ β_T) у них є вірогідно вищим. На піку навантаження в дітей із ЦД1 частіше відзначається депресія сегмента ST, а показники симетрії зубця Т β_T і СКВ β_T мають більш виражену тенденцію до зростання. Після 3 хвилин відпочинку в дітей із ЦД1 зберігаються депресія сегмента ST і значно вищі показники β_T і СКВ β_T , на відміну від групи контролю. Отримані результати свідчать про розвиток у дітей основної групи ДКМП і високий ризик серцево-судинної захворюваності та смерті в дорослому віці. **Висновки.** Обстеження дітей і підлітків із ЦД1 за допомогою портативного комплексу ФАЗАГРАФ®, надто з проведенням проб із фізичним навантаженням, значно підвищує точність та інформативність ЕКГ за рахунок оцінки оригінальних показників β_T і СКВ β_T , що характеризують фазу реполяризації міокарда. Виявлення зазначених вище змін

* Адреса для листування (Correspondence): Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульвар Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01601, Україна.
E-mail: n_vladimirova@ukr.net

показників фази реполяризації на ЕКГ дає привід для подальшого поглибленого обстеження дітей із ЦД1 для вчасного виявлення та наступної ранньої профілактики ДКМП.

Ключові слова: симетрія зубця Т, фаза реполяризації, ЕКГ, діабетична кардіоміопатія, цукровий діабет.

Вступ. Діабетична кардіоміопатія (ДКМП) — специфічне ураження серця, яке поєднує в собі метаболічні порушення в міокарді (міокардіодистрофію), розвиток мікроангіопатії та розлади вегетативної регуляції серцевої діяльності (автономну невротію серця) [1]. У дитячому віці ДКМП досліджено досить слабо. Незначну кількість наукових публікацій і недосконалу діагностику ДКМП у дітей зумовлено тим, що педіатри та дитячі ендокринологи не виявляють її яскравих клінічних проявів [2, 3].

У виявленні ДКМП на ранніх етапах формування патології серця велику роль відіграє інструментальна діагностика від моменту манифестації цукрового діабету (ЦД) [4]. Найбільш вживаним, технічно доступним і досить інформативним методом обстеження електричної активності серця є електрокардіографія (ЕКГ), яка наразі все ще залишається актуальною.

Хоча зміни за результатами ЕКГ у хворих на ЦД виявляються в 66-89% випадків, традиційні діагностичні ознаки ЕКГ мають у своїй більшості неспецифічний характер [5]. Відомо, що до найчастіших ранніх змін ЕКГ у хворих на ЦД належать порушення процесів реполяризації у вигляді зсуву сегмента ST нижче від ізолінії [6] та зміни зубця Т у вигляді інверсії, двофазності, зменшення або значного збільшення амплітуди із загостреною вершиною. Проте інтерпретація даних змін сегмента ST і зубця Т на традиційній ЕКГ за ЦД є досить важкою, адже вимагає проведення додаткових функціональних проб та інструментальних обстежень [7]. Особливе місце посідає обстеження з проведенням навантажувальних проб, що дає змогу якомога раніше зафіксувати появу найменших патологічних проявів і вчасно розпочати лікування даного хронічного ускладнення ЦД.

У Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій і систем НАН України та МОН України розроблено оригінальну технологію реєстрації та обробки

одноканальної ЕКГ, що отримала назву «фазаграфія» [8] та реалізується в портативному комп'ютерному комплексі ФАЗАГРАФ® [9]. Технологія дозволяє одночасно визначати амплітудні та швидкісні параметри елементів електрокардіосигналу та проводити усереднення послідовності серцевих циклів на фазовій площині [10]. Такий метод усереднення ЕКГ забезпечив поліпшення якості оцінювання форми усередненого серцевого циклу порівняно з традиційним методом оброблення ЕКГ у часовій ділянці й тим самим дозволив значно підвищити точність визначення показників реальних ЕКГ, зокрема показників фази реполяризації [11].

Крім того, перехід до фазового портрету ЕКГ забезпечив можливість визначення низки додаткових інформативних ознак, які зазвичай приховано від лікаря в традиційному аналізі ЕКГ у часовій ділянці. До таких показників насамперед належить параметр β_T , що характеризує симетрію фрагмента реполяризації ЕКГ (зубця Т) на фазовій площині, діагностично значущі зміни якого майже непомітні за відображення ЕКГ у часовій ділянці та досі не використовувались у цифрових електрокардіографах [11].

Масштабні клінічні дослідження підтвердили діагностичну цінність визначення показника β_T і його середньоквадратичного відхилення СКО β_T у дорослих під час проведення скринінгу ішемічної хвороби серця [12, 13]. Проте зміни даного показника в дітей, надто із ЦД 1-го типу (ЦД1), залишаються досі невивченими.

Отже, сьогодні актуальним завданням є подальше вивчення показників фази реполяризації ЕКГ і пошук нових маркерів пошкодження міокарда, які були б корисними для застосування в дітей із ЦД1.

Мета дослідження — вивчення нових ранніх маркерів для діагностики ДКМП у дітей із ЦД1 шляхом аналізу фази реполяризації на

Оригінальні дослідження

одноканальній ЕКГ у фазовому просторі в ході навантажувального тестування.

Матеріали та методи

Дослідження ґрунтується на обстеженнях 23 пацієнтів віком від 7 до 16 років (середній вік $11 \pm 3,9$ року), які перебували на стаціонарному лікуванні в Міському ендокринологічному відділенні Дитячої клінічної лікарні № 6 м. Києва з приводу ЦД1. Усі пацієнти отримували інтенсифіковану інсулінотерапію генно-інженерними аналогами інсуліну в режимі множинних ін'єкцій.

Контрольну групу становили 22 практично здорових школярі гімназії № 59 м. Києва віком 7-15 років (середній вік $11 \pm 4,4$ року). Умовами відбору дітей до контрольної групи були благополучний сімейний анамнез, відсутність гострих і тяжких хронічних захворювань, а також будь-яких скарг на момент проведення обстеження.

За допомогою зручного сенсора з пальцевими електродами комплексу ФАЗАГРАФ® у дітей і підлітків основної та контрольної груп досліджували та автоматично обчислювали традиційні та оригінальні характеристики ЕКГ першого стандартного відведення (рис. 1).

Запис ЕКГ проводили в положенні пацієнта сидячи в стані відносного спокою, одразу після короткочасного фізичного навантаження (20 присідань за 30 с) і на третій хвилині відпочинку (періоду реституції).



Рис. 1. Реєстрація ЕКГ за допомогою комплексу ФАЗАГРАФ®.

У дітей і підлітків основної та контрольної груп досліджували показник фази повільної реполяризації — зсув сегмента ST (δ_{ST}) відносно ізоелектричної лінії та показники фази швидкої реполяризації — амплітуду (A_T) та тривалість (Δ_T) зубця Т, а також оригінальні показники фази швидкої реполяризації на фазовій площині — симетрію зубця Т (показник β_T) і його середньоквадратичне відхилення (СКВ β_T) на послідовності серцевих циклів.

Дані обробили методами варіаційної статистики, вірогідність відмінностей оцінили на підставі t-критерію Стьюдента. За $p < 0,05$ різницю вважали вірогідною.

Результати та їх обговорення

У ході дослідження виявлено вірогідні відмінності між показниками фази реполяризації на ЕКГ у дітей, хворих на ЦД1, і практично здорових школярів у стані спокою (табл. 1).

У стані спокою в дітей із ЦД1 вірогідно частіше виявляли зменшення амплітуди зубця Т ($0,22 \pm 0,07$ мВ проти $0,27 \pm 0,09$ мВ у здорових школярів, $p < 0,05$). Причому, як видно з гістограм на рис. 2, майже у 80% хворих дітей даний показник був у межах до 0,28 мВ, тоді як в групі контролю в даний діапазон потрапили лише 60% дітей. У 40% здорових школярів показник A_T був у межах 0,29-0,45 мВ.

Крім того, за результатами обстеження дітей із ЦД1 відзначено зменшення тривалості зубця Т (Δ_T) на ЕКГ ($0,25 \pm 0,04$ с проти $0,26 \pm 0,03$ с у групі контролю), але для даного показника, на відміну від амплітуди зубця Т, суттєвої різниці в щільності ймовірності вибіркового розподілу не виявлено.

Сплощення та звуження зубця Т у дітей із ЦД1, найімовірніше, свідчить про розвиток дистрофічних змін у міокарді, а отже, про розвиток одного з компонентів ДКМП — міокардіодистрофії.

Таблиця 1. Показники ЕКГ у часовій ділянці та на фазовій площині ($M \pm m$) в групах у стані спокою

Показник	Основна група (n=23)	Група контролю (n=22)	p
Амплітуда Т (A_T), мВ	$0,22 \pm 0,07$	$0,27 \pm 0,09$	$< 0,05$
СКВ β_T , од	$0,076 \pm 0,039$	$0,060 \pm 0,024$	$< 0,05$

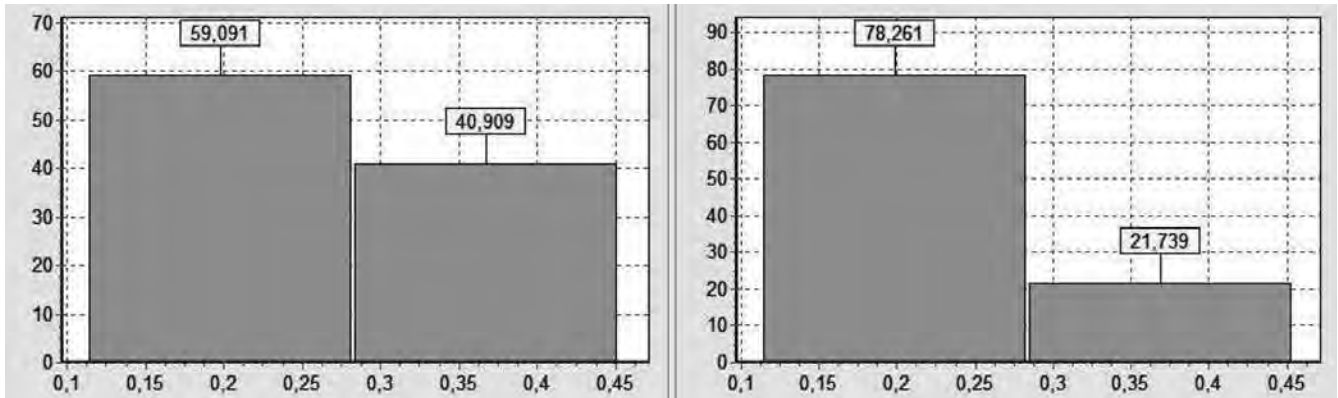


Рис. 2. Гістограми розподілу параметра амплітуди зубця Т (А,) у практично здорових школярів (ліворуч) і в дітей із ЦД1(праворуч) у стані спокою.

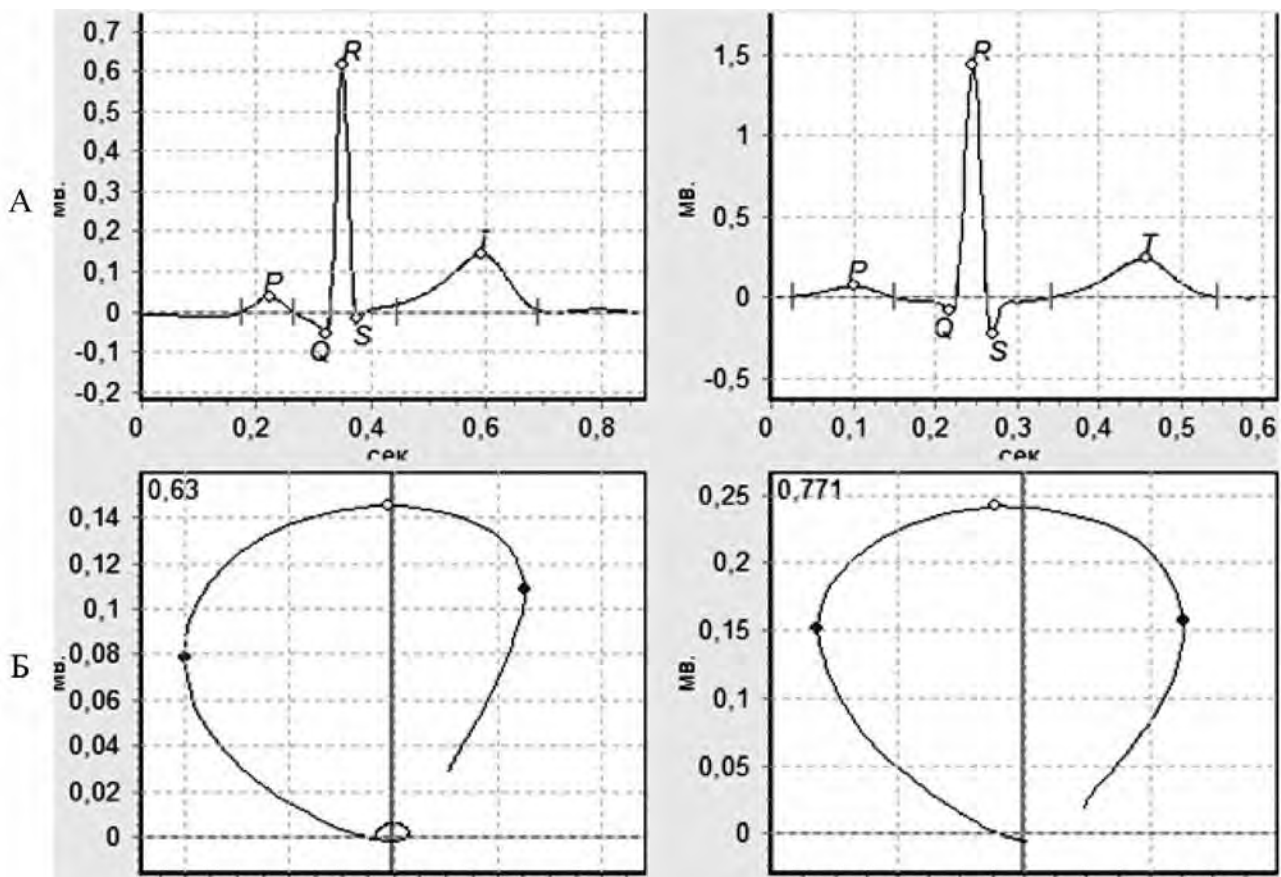


Рис. 3. Приклади усереднених кардіоциклів (А) та фазових портретів зубця Т (Б) практично здорової дитини Є. 8 років (ліворуч) і хворого А. 7 років із ЦД1 (праворуч).

За результатами дослідження оригінальних показників фази реполяризації, отриманих завдяки аналізу ЕКГ на фазовій площині, в стані спокою підвищення значення маркера міокардіальної дисфункції – показника симетрії зубця Т на ЕКГ ($\beta_T \geq 0,72$ од.) – виявлено в 56,5% випадків серед дітей і підлітків із ЦД1 і в 45,5% – серед здорових дітей групи контролю (рис. 3).

Крім того, суттєві відмінності між досліджуваними групами виявлено в показнику середньоквадратичного відхилення симетрії зубця Т (СКВ β_T), що характеризує стабільність функціонування міокарда та варіативність морфології (форми) ЕКГ від кардіоциклу до кардіоциклу й автоматично обчислюється комплексом ФАЗАГРАФ® за формулою:

Оригінальні дослідження

$$\text{СКВ } \beta_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [\beta_T(i) - \bar{\beta}_T]^2}, \quad (1)$$

де β_T – середнє значення показника на послідовності N з кардіоінтервалів (у дослідженні обрано $N=100$).

Збільшення СКВ β_T виявлено в 68,7% випадків серед дітей із ЦД1 і лише в 30,5% – серед практично здорових школярів. Середнє значення СКВ β_T у дітей із ЦД1 становило $0,076 \pm 0,039$ од, у здорових школярів – $0,060 \pm 0,024$ од ($p < 0,05$). Розподіл показника СКВ β_T у групах суттєвих відмінностей у стані спокою не мав (рис. 4).

Цікавими виявилися результати аналізу як традиційних, так і оригінальних показників ЕКГ у ході проби з присіданнями. Виявлено значні відмінності в показниках, що характеризують фазу реполяризації на ЕКГ, між дітьми із ЦД1 і практично здоровими однолітками (табл. 2).

Так, на висоті навантаження в дітей із ЦД1 вірогідно меншою була амплітуда зубця Т порівняно з показником групи контролю ($p < 0,05$; рис. 5). За результатами аналізу розподілу да-

ного показника в групах після навантаження виявлено, що серед хворих дітей лише у 22% випадків показник A_T потрапив до діапазону понад 0,24 мВ (45,5% – серед здорових). Аналогічні зміни відзначено для показника тривалості зубця Т ($0,22 \pm 0,05$ с у хворих проти $0,24 \pm 0,04$ с у здорових).

За результатами аналізу оригінального показника на ЕКГ – симетрії зубця Т (β_T) – відзначено вірогідне його зростання в дітей із ЦД1 після навантаження порівняно з показником групи контролю ($p < 0,05$). Виявлено суттєву різницю в розподілі даного показника в групах – у 17% хворих показник β_T перебільшував 0,9 од, тоді як в усіх без винятку обстежених здорових дітей він був меншим від даного порогу.

Після проби з присіданнями виявлено вірогідне збільшення показника СКВ β_T у дітей основної групи порівняно з однолітками групи контролю ($p < 0,05$). Відзначено суттєву різницю на гістограмі розподілу в групах, побудованій для параметра СКВ β_T (рис. 6). У здорових дітей після навантаження розподіл показника СКВ β_T залишився практично незмінним (порівняно зі станом спокою), тоді як у 52,2% випадків серед дітей із ЦД1 даний показник потрапляв у діапазон понад 0,125 од. Нагадаємо, що в стані спокою суттєвої різниці в розподілі даного показника в групах виявлено не було (див. рис. 4), що свідчить про підвищення інформативності дослідження із застосуванням проби з фізичним навантаженням.

Варто відзначити, що на відміну від стану спокою після навантаження в дітей із ЦД1 виявлено депресію сегмента ST ($p < 0,05$). У понад половини хворих дітей сегмент ST був

Таблиця 2. Показники ЕКГ у часовій ділянці та на фазовій площині ($M \pm m$) в групах одразу після навантаження

Показник	Основна група (n=23)	Група контролю (n=22)	p
Зсув ST (δ_{ST}), мВ	-0,099±0,03	+0,048±0,02	<0,05
Амплітуда Т (A_T), мВ	0,17±0,06	0,23±0,08	<0,05
Симетрія Т (β_T), од	0,87±0,18	0,74±0,09	<0,05
СКВ β_T , од	0,118±0,045	0,065±0,030	<0,05

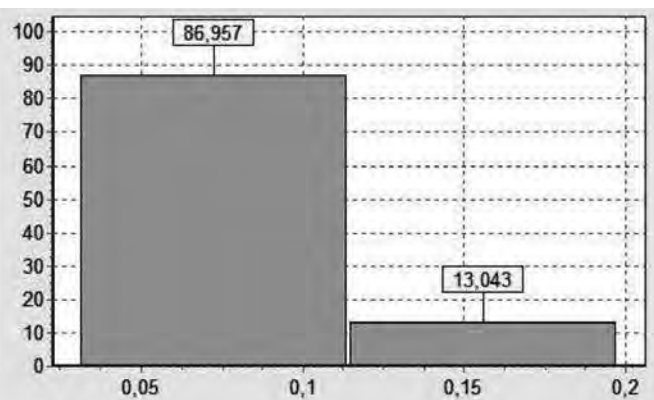
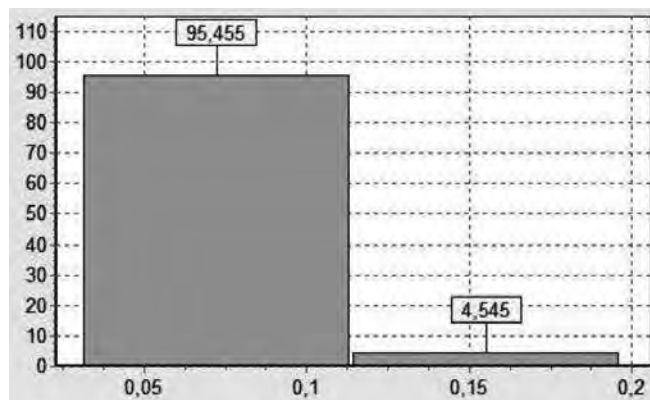


Рис. 4. Гістограми розподілу параметра СКВ β_T у практично здорових школярів (ліворуч) і в пацієнтів із ЦД1 (праворуч) у стані спокою.

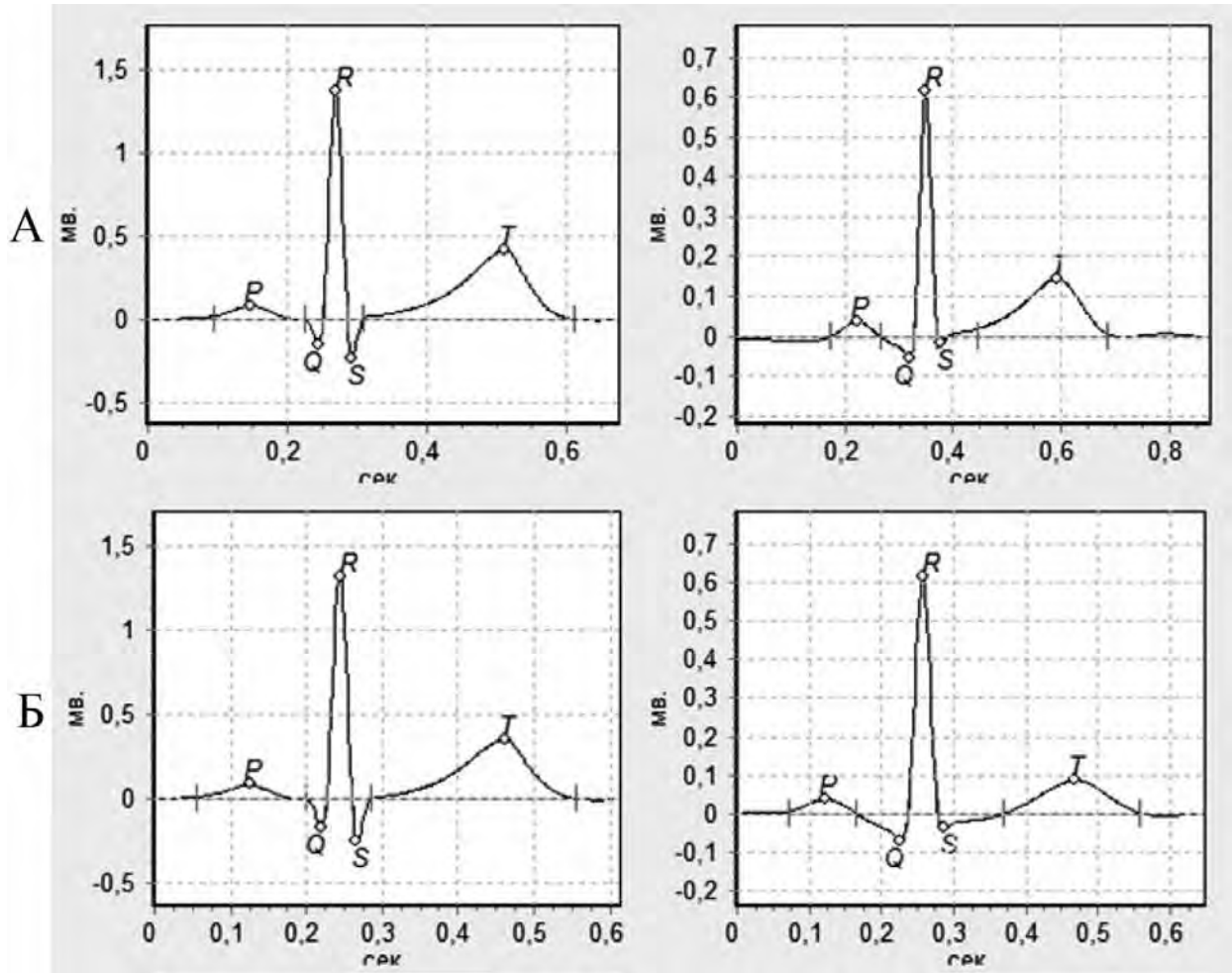


Рис. 5. Приклади усереднених кардіоциклів у стані спокою (А) та на висоті навантаження (Б) практично здорового школяра Д. 11 років (ліворуч) і хворої К. 13 років із ЦД1 (праворуч).

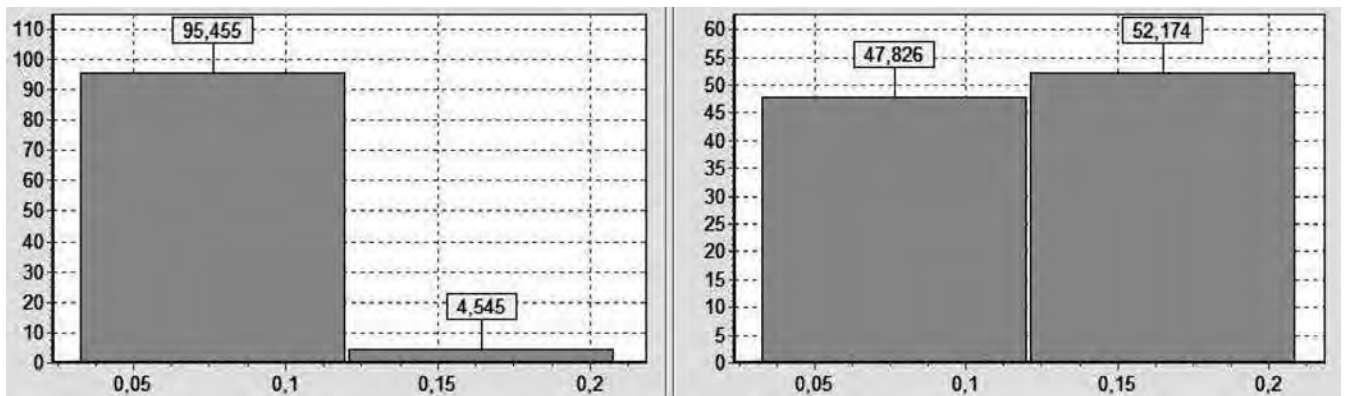


Рис. 6. Гістограми розподілу параметра СКВ β_1 у практично здорових школярів (ліворуч) і пацієнтів із ЦД1 (праворуч) на висоті навантаження.

нижчим від ізолінії. Водночас у більшості здорових школярів (68,2%) після навантаження сегмент ST перевищував $-0,005$ мв. Виявлені зміни ЕКГ можуть бути пов'язаними з ранніми проявами порушення мікроциркуляції міокарда та розвитком мікроангіопатії — ще

одного компонента ДКМП у пацієнтів із ЦД1, і робити свій внесок у ранній розвиток ішемічної хвороби серця (ІХС) у даних хворих у дорослому віці [14].

Аналіз результатів, отриманих у період реституції, виявив, що в дітей із ЦД1 зберіга-

Оригінальні дослідження

лися риси, характерні для них у стані спокою (табл. 3). Зокрема, після відпочинку в дітей основної групи виявлявся нижчий зубець Т, ніж в однолітків групи контролю ($p < 0,05$). Отже, можна дійти висновку, що морфологія ЕКГ зі сплосченим та/або звуженим зубцем Т є характерною для дітей із ЦД1 і свідчить про розвиток у них діабетичної кардіоміопатії (ДКМП).

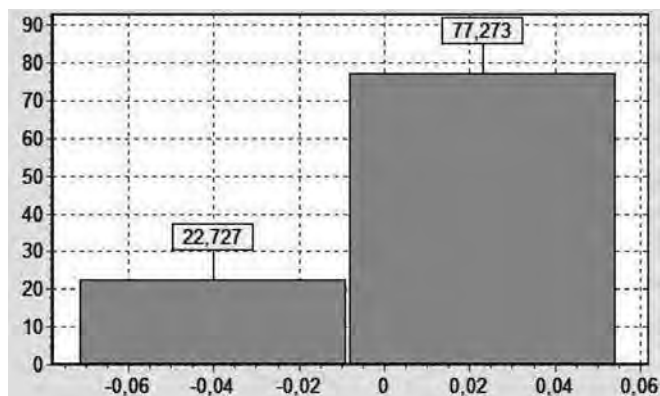
У 52,2% випадків серед дітей із ЦД1 і у 22,7% – серед здорових дітей у період реституції відзначено збереження депресії сегмента ST (рис. 7).

Варто відзначити, що під час проведення проб із присіданнями в жодного пацієнта не було виявлено скарг на біль у серці, тобто дані епізоди депресії сегмента ST були безбольовими. Оскільки безсимптомну депресію сегмента ST безпосередньо пов'язано з розвитком ІХС у дорослому віці [14], наявність ішемічних змін, що визначалися за депресією ST на піку навантаження й у відновлювальний період, у пацієнтів із ЦД може бути викликаною спазмом коронарних судин [15].

У дітей із ЦД1 порівняно з однолітками групи контролю виявлено вірогідно більші показники оригінальних діагностичних ознак ЕКГ на фазовій площині: СКВ β_T було на 38,9%, а показник симетрії зубця Т (β_T) – на 11,5%

Таблиця 3. Показники ЕКГ у часовій ділянці та на фазовій площині ($M \pm m$) у групах у період реституції

Показник	Основна група (n=23)	Група контролю (n=22)	p
Зсув ST (δ_{ST}), мВ	-0,065±0,03	+0,007±0,02	<0,05
Амплітуда Т (A_T), мВ	0,20±0,08	0,27±0,10	<0,05
Симетрія Т (β_T), од	0,78±0,15	0,69±0,09	<0,05
СКВ β_T , од	0,090±0,035	0,055±0,021	<0,001



більшими. Для обох показників характерні схожі гистограми розподілу – у 48% хворих показник β_T перевищував 0,8 од, у 52% хворих показник СКВ β_T перевищував 0,09 од, тоді як серед здорових дітей у дані діапазони потрапляли лише 9% результатів. Це свідчить про збереження нестабільності функціонування міокарда та дисфункції самих кардіоміоцитів у дітей із ЦД1 навіть після відпочинку, тобто про обмежені відновлювальні можливості серцево-судинної системи.

Висновки

1. У стані спокою в дітей із ЦД1 порівняно зі здоровими дітьми на 19,2% частіше відзначається сплосчений або вузький зубець Т, а оригінальний показник СКВ β_T , отриманий за результатами аналізу ЕКГ на фазовій площині, у хворих дітей є вірогідно більшим.
2. На відміну від групи контролю, в дітей із ЦД1 типу після проби з присіданнями на 24,7% частіше відзначалася депресія сегмента ST, а показники симетрії зубця Т (β_T і СКВ β_T) мали більш виражену тенденцію до зростання.
3. У період реституції в дітей із ЦД1, на відміну від групи контролю, мали місце збереження депресії сегмента ST і значно вищі показники β_T і СКВ β_T .
4. Отримані результати свідчать про порушення процесів реполяризації міокарда та, ймовірно, відображають розвиток дистрофічних змін та ішемію міокарда на піку навантаження та в період відпочинку, посилення електричної негомогенності

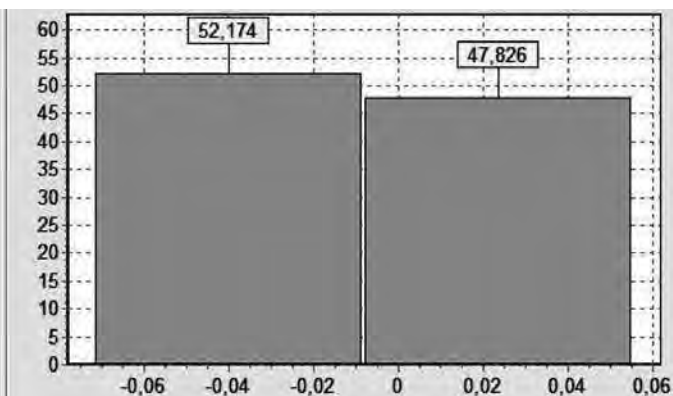


Рис. 7. Гистограми розподілу параметра δ_{ST} у практично здорових школярів (ліворуч) і пацієнтів із ЦД1 (праворуч) після 3 хвилин відпочинку.

міокарда внаслідок дисфункції кардіоміоцитів, нестабільність функціонування міокарда від кардіоциклу до кардіоциклу та зниження толерантності до фізичних навантажень у дітей із ЦД1, тобто про розвиток у них діабетичної кардіоміопатії та високий ризик серцево-судинної захворюваності та смерті в дорослому віці.

5. Обстеження дітей і підлітків із ЦД1 за допомогою портативного комплексу з пальцевими електродами ФАЗАГРАФ[®], надто в умовах проведення проб із фізичним навантаженням, значно підвищує інформативність визначення традиційних показників ЕКГ і забезпечує розрахунок оригінальних показників β_T і СКВ β_T , що характеризують фазу реполяризації міокарда.
6. Виявлення зазначених вище змін показників фази реполяризації на ЕКГ дає привід для подальшого поглибленого обстеження дітей із ЦД1 для вчасного виявлення та наступної ранньої профілактики діабетичної кардіоміопатії.
7. Доцільно продовжити дане дослідження на вибірках більшого обсягу.

Автори не мають фінансової зацікавленості в будь-якій формі.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

(Надійшла до редакції 01.02.2018 р.)

Список використаної літератури

1. Иванов ДА, Гнусаев СФ. Изменения функционального состояния сердечно-сосудистой системы у детей с инсулинзависимым сахарным диабетом (обзор литературы). Педиатрия. 2002;4:78-81. (Ivanov DA, Gnusaev SF. Changes in the functional state of the cardiovascular system in children with insulin-dependent diabetes mellitus (literature review). *Pediatrics*. 2002; 4: 78-81).
2. Chessa M, Butera G, Lanza GA, et al. Role of heart rate variability in the early diagnosis of diabetic autonomic neuropathy in children. *Herz*. 2002 Dec;27(8):785-90.
3. Hayat SA, Patel B, Khattar RS, Malik RA. Diabetic cardiomyopathy: mechanisms, diagnosis and treatment. *Clin Sci (Lond)*. 2004 Dec;107(6):539-57.
4. Острополец СС, Нагорна НВ. Вторинна кардіоміопатія (міокардіодистрофія). Кардіологія дитячого і підліткового віку: наук.-практ. посіб. За ред. П.С. Мощича, Ю.В. Марушка. — Київ: Вища школа, 2006;302-15. (Ostroplets' SS, Nagorna NV. Secondary cardiomyopathy (myocardial dystrophy). *Kardiologiya dityachoho i pidlitkovoho viku: nauk.-prakt. posib. Za red. P.S. Moshchycha, Yu.V. Marushka*. — Kyiv: Vyshcha shkola, 2006;302-15).
5. Кривцова ЛА, Чернышева ЮА, Сальникова ОА. Сравнительная оценка эффективности кардиометаболической терапии по данным ЭКГ-мониторинга при диабетической кардиопатии у детей. Педиатрия. 2004;3:29-32. (Krivtsova LA, Chernysheva YuA, Salnikova OA. Comparative evaluation of the effectiveness of cardiometabolic therapy according to the ECG monitoring data for diabetic cardiopathy in children. *Pediatrics*. 2004;3:29-32).
6. Лаптев ДН, Кураева ТЛ, Рябыкина ГВ, Поляков СД, Корнеева ИТ, Намазова-Баранова ЛС. Диагностическая значимость бессимптомной депрессии сегмента ST при проведении нагрузочного тестирования у детей и подростков с сахарным диабетом 1 типа и автономной нейропатией. Сахарный диабет. 2015;18(2):54-60. (Laptev DN, Kurayeva TL, Ryabykina GV, Polyakov SD, Korneyeva IT, Namazova-Baranova LS. Diagnostic significance of asymptomatic depression of the ST segment during the boot testing in children and adolescents with type 1 diabetes mellitus and autonomic neuropathy. *Sakharnyy diabet*. 2015;18(2):54-60).
7. Сергієнко ОО, Єфімов АС, Єфімов ДА, Сергієнко ВО. Діабетична кардіоміопатія. Львів-Київ: Кварт, 2007:341. (Serhiyenko OO, Yefimov AS, Yefimov DA, Serhiyenko VO. *Diabetic cardiomyopathy*. Lviv; Kyiv: Kwart, 2007:341).
8. Файнзильберг ЛС. Основы фазографии. Киев: Освита Украины, 2017:264. (Fainzil'berg LS. *Fundamentals of phazagrapy*. Kyev: OsvitaUkraine, 2017:264).
9. Файнзильберг ЛС. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы. Киев: Освита Украины, 2013:191. (Fainzil'berg LS. *Computer diagnostics by the phase portrait of the electrocardiogram*. Kyiv: Osvita Ukraine, 2013:191).
10. Патент 16024 UA Україна, МПК (2006) А61В5/024. Спосіб інтегральної оцінки поточного функціонального стану серцево-судинної системи людини / Файнзильберг ЛС.; заявник і патентовласник Файнзильберг ЛС. № u200601564; заявл. 15.02.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006. (Patent 16024 UA Ukraine, MPK (2006) A61B5/024. Method of integral assessment of the current functional state of the cardiovascular system of man / Fainsilberg LS; Applicant and patent holder Fainzillberg LS No. u200601564; stated February 15, 2006; has published Jul 17, 2006, Bul. No. 7, 2006).
11. Файнзильберг ЛС. Интеллектуальные возможности и перспективы развития фазографии — информационной технологии обработки сигналов сложной формы. Кибернетика и вычислительная техника. 2016; 186:56-77. (Fainzil'berg LS. Intellectual opportunities and prospects for the development of phasagrapy — an information technology-processing of complicated forms of signals. *Kybernetyka y vychyslytel'naya tekhnika*. 2016;186:56-77).
12. Дячук ДД, Гриценко ВІ, Файнзильберг ЛС, Кравченко АМ, Корчинська ЗА, Пасько ВС, та ін. Застосування методу фазографії при проведенні скринінгу населення для виявлення ішемічної хвороби серця: Методичні рекомендації № 163.16/13.17. Київ: Український центр наукової медичної інформації і патентно-ліцензійної роботи, 2017:32. (Dyachuk DD, Hrytsenko VI, Faynzil'berh LS, Kravchenko AM, Korchyns'ka ZA, Pas'ko VS, et al. Application of the phasagrapy method during screening of the population for the detection of coronary heart disease: *Metodychni rekomendatsiyi № 163.16/13.17*. Kyiv: Ukrainy's'kyu tsentr naukovoyi medychnoyi informatsiyi i patentno-litsenziynoyi roboty, 2017:32).
13. Файнзильберг ЛС. ФАЗАГРАФ[®] — эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца. Клиническая информатика и телемедицина. 2010;6(7):22-30. (Fainzil'berg LS. *Phasagraf[®] — an effective information technology for ECG processing in the problem of screening ischemic heart disease*. *Klynycheskaya informatika y telemeditsina*. 2010;6(7):22-30).
14. Valensi P, Sachs R-N, Harfouche B, Lormeau B, Paries J, Cosson E, et al. Predictive value of cardiac autonomic neuropathy in diabetic patients with or without silent myocardial ischemia. *Diabetes care*. 2001 Feb; 24(2):339-43.
15. Almeda FQ, Kason TT, Nathan S, Kavinsky CJ. Silent myocardial ischemia: concepts and controversies. *Am J Med*. 2004 Jan 15;116(2):112-8.

Информативные свойства показателей фазы реполяризации одноканальной электрокардиограммы у детей с диабетической кардиомиопатией

А.А. Морозик¹, В.Г. Майданник¹, Л.С. Файнзильберг²

¹ Национальный медицинский университет имени А.А. Богомольца

² Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины

Резюме. Цель работы — изучение новых ранних маркеров для диагностики диабетической кардиомиопатии (ДКМП) у детей с сахарным диабетом 1-го типа (СД1) путем анализа фазы реполяризации на одноканальной электрокардиограмме (ЭКГ) в фазовом пространстве при нагрузочном тестировании. **Материалы и методы.** Обследованы 23 ребенка в возрасте 7-16 лет с СД1. Контрольную группу составили 22 практически здоровых школьника в возрасте 7-15 лет. С помощью комплекса ФАЗАГРАФ® исследовались и автоматически исчислялись традиционные и оригинальные параметры, характеризующие фазу реполяризации ЭКГ первого стандартного отведения в состоянии относительного покоя, сразу после нагрузки (20 приседаний за 30 с) и на третьей минуте периода реституции. **Результаты и их обсуждение.** В состоянии покоя у детей с СД1 на ЭКГ отмечается уплощенный и узкий зубец Т, а показатель среднеквадратического отклонения симметрии зубца Т (СКО β_T) у них достоверно выше. На пике нагрузки у детей с СД1 чаще отмечается депрессия сегмента ST, а показатели симметрии зубца Т β_T и СКВ β_T имеют более выраженную тенденцию к росту. После 3 минут отдыха у детей с СД1 наблюдаются сохранение депрессии сегмента ST и значительно более высокие показатели β_T и СКВ β_T , в отличие от группы контроля. Полученные результаты свидетельствуют о развитии у детей основной группы ДКМП и высоком риске сердечно-сосудистой заболеваемости и смерти во взрослом возрасте. **Выводы.** Обследование детей и подростков с СД1 с помощью портативного комплекса ФАЗАГРАФ®, особенно при проведении проб с физической нагрузкой, значительно повышает точность и информативность ЭКГ за счет анализа оригинальных показателей β_T и СКВ β_T , характеризующих фазу реполяризации миокарда. Выявление указанных выше изменений дает повод для дальнейшего углубленного обследования детей с СД1 для своевременного выявления и последующей ранней профилактики ДКМП.

Ключевые слова: симметрия зубца Т, фаза реполяризации, ЭКГ, диабетическая кардиомиопатия, сахарный диабет.

Informative properties of repolarization phase indicators on a single-channel electrocardiogram in children with diabetic cardiomyopathy

A.O. Morozyk¹, V.G. Maidannyk¹, L.S. Fainzilberg²

¹ Bohomolets National Medical University

² International Scientific and Educational Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine

Abstract. The aim was to study new early markers of diabetic cardiomyopathy (DCM) in children with type 1 diabetes mellitus (DM 1) by analyzing of repolarization phase on a single-channel electrocardiogram (ECG) in phase space under stress testing. **Material and methods.** 23 children aged 7-16 years with DM 1 were examined. The control group consisted of 22 practically healthy schoolchildren aged 7-15 years. With the help of the FAZAGRAF® complex, traditional and original parameters of repolarization phase of ECG first standard lead in a state of relative rest, immediately after the load (20 squats in 30 sec) and in the third minute of the restitution period were examined and automatically calculated. **Results and discussion.** In the state of rest in children with DM 1, a flattened and narrow T-wave is seen, and the value of the T-wave symmetry parameter SD β_T is significantly higher. At the peak of the load in children with DM 1 depression of the ST segment was more common, and the T-wave symmetry parameters β_T and SD β_T had more pronounced upward trend. After 3 minutes of rest, in children with DM 1 a persistence of ST-segment depression and significantly higher β_T and SD β_T parameters were identified. The obtained results indicate the development of DCM in children with DM 1 and high risk of cardiovascular morbidity and mortality in adulthood. **Conclusions.** Examination of children with DM 1 using the portable complex FAZAGRAF®, especially with stress tests, significantly improves the accuracy and informative value of the ECG by analyzing the original myocardial repolarization parameters β_T and SD β_T . Identification of the above changes provides the reason for further in-depth examination of children with DM 1 for the timely detection and subsequent early prevention of diabetic cardiomyopathy.

Keywords: T-wave symmetry, repolarization phase, ECG, diabetic cardiomyopathy, diabetes mellitus.