

Інфаркт міокарда з елевацією сегмента ST і клінічне значення диференційованої електрокардіограми

В. К. Ташчук^{ID}*A,F, О. В. Маліневська-Білійчук^{ID}B,C,D, П. Р. Іванчук^{ID}A,C,E, О. С. Полянська^{ID}A,E,F

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; В – збір даних; С – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті; F – остаточне затвердження статті

Мета роботи – оцінити динаміку змін показників, що отримали під час цифрового опрацювання рутинної ЕКГ за допомогою програмно-діагностичного комплексу «Смарт-ЕКГ», у пацієнтів зі STEMI за результатами 40-денного спостереження.

Матеріали та методи. Дослідження здійснили за участю 20 пацієнтів основної групи (10 чоловіків віком 56,11 ± 11,62 року; 10 жінок віком 58,22 ± 13,11 року) з діагнозом STEMI, що встановлений за рекомендаціями ESC (2017 р.). Аналіз ЕКГ здійснили, застосувавши медичне програмне забезпечення власної розробки для кількісного оцінювання ЕКГ «Смарт-ЕКГ» на 1, 10 і 40 добу виникнення STEMI. Обчислили показник першої похідної зубця Т – відношення максимальних швидкостей (ВМШ), кута нахилу сегмента ST (β), висоти провадження спрямування нахилу сегмента ST (H). Група контролю – 20 практично здорових осіб.

Результати. Показник ВМШ знижувався на 61,90 % у 1 день, на 68,20 % на 10 день і на 51,48 % на 40 день STEMI порівняно з групою контролю (p < 0,01). На етапі найбільшої елевації ST висота нахилу сегмента ST (H) збільшилася на 347,7 % (p < 0,01); зі зміщенням сегмента ST до ізолінії на 40 день наблизилася до показників групи контролю (підвищення H на 25 %) (p > 0,05). Кут β у найгостріший період збільшувався на 172,2 % (p < 0,01) і зменшувався на 15,8 % на етапі відновлення, проте недостовірно (p > 0,05).

Висновки. Медичне програмне забезпечення для кількісного оцінювання «Смарт-ЕКГ», яке розробили, – ефективний інструмент для діагностики патологічних змін міокарда, дає змогу підвищити специфічність, чутливість і прогностичну значущість ЕКГ при STEMI. Встановили вірогідне зниження показника ВМШ на всіх етапах STEMI, що пов'язано з порушенням електрогенезу фази реполяризації, виявили також критичне підвищення показників ST slope (кута β і висоти H) у першу добу (характеристика елевації сегмента ST) і їхнє зниження на 40 добу (ознака зменшення різниці потенціалів між здоровою та ураженою ділянками міокарда на етапі відновлення).

Ключові слова: інфаркт міокарда, інфаркт міокарда з підйомом ST, електрокардіограма.

Запорізький медичний журнал. 2023. Т. 25, № 3(138). С. 193-197

*E-mail: vtashchuk@ukr.net

ST-segment elevation myocardial infarction and the clinical significance of differentiated electrocardiogram

V. K. Tashchuk, O. V. Malinevska-Biliichuk, P. R. Ivanchuk, O. S. Polianska

Aim. To evaluate the markers of changing dynamics recorded by digital processing of routine ECG using own diagnostic complex software "Smart-ECG" in patients with ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI) based on the results of a 40-day follow-up.

Materials and methods. The main group consisted of 20 patients with STEMI according to the ESC guidelines (2017) (mean age of males 56.11 ± 11.62, n = 10; mean age of females 58.22 ± 13.11, n = 10). ECG were analyzed using own developed diagnostic complex software "Smart-ECG" on the 1st, 10th, 40th day after STEMI. The first derivative of T wave – ratio of maximum velocity (MVR), inclination angle (β) and inclination height (H) of ST segment was calculated. The control group – 20 apparently healthy people.

Results. MVR indicators decreased by 61.90 %, 68.20 % and 51.48 % on the 1st, 10th and 40th day, respectively, after STEMI as compared to those of the control group (p < 0.01). At the moment of the maximum ST segment elevation, the height (H) of ST inclination was 347.7 % increased (p < 0.01); on the 40th day, H was 25 % increased, close to control indicators, with ST segment shift to isoline (p > 0.05). During the acutest period, the angle β increased by 172.2 % (p < 0.01) and then decreased by 15.8 % at the recovery phase, but insignificantly.

Conclusions. Self-developed medical software "Smart-ECG" for qualitative evaluation of ECG is an effective tool to diagnose pathological changes in the myocardium, makes it possible to improve the specificity, sensitivity and prognostic significance of ECG in STEMI. The significant decrease in MVR has been detected at all stages of STEMI, which was associated with a violation of electrogenesis in the repolarization phase; the critical increase in ST slope indicators (angle β and height H) on the 1st day has been found as a characteristic of ST elevation, as well as its decrease on the 40th day as a sign of reduced potential difference between healthy and damaged areas of the myocardium during the recovery stage.

Key words: myocardial infarction, ST elevation myocardial infarction, electrocardiogram.

Zaporozhye medical journal 2023; 25(3), 193-197

Кардіологія є одним із провідних напрямів у розвитку штучного інтелекту в галузі медицини [1], а електрокардіографію (ЕКГ) вважають провідним методом діагностики серцево-судинних захворювань. Це обґрунтовує актуальність пошуку та розроблення інноваційних методик опрацювання ЕКГ. Штучний інтелект має потенціал бути інструментом, який фахівці використо-

уватимуть для розширення клінічних і діагностичних можливостей, для глибшого розуміння патофізіологічного перебігу захворювань, оперативної та точнішої діагностики, покращення надання медичної допомоги [1].

Гострому інфаркту міокарда (ІМ) належить провідне місце серед причин захворюваності та смертності в усьому світі [2]. ІМ з елевацією сегмента ST (STEMI) вва-

жають найскладнішим проявом атеросклеротичного ураження коронарних артерій, що відбувається внаслідок незворотного пошкодження чи смерті клітин міокарда та передбачає застосування найкращої стратегії лікування – первинного черезшкірного коронарного втручання [2]. За даними Американської асоціації серця (AHA), майже кожні 40 секунд в американця виникає ІМ, і це спричиняє катастрофічну соціальну й економічну загрозу, зважаючи на високу смертність та інвалідизацію [3]. Тому в перші 10 хвилин важливо зробити й інтерпретувати ЕКГ, адже її швидкий аналіз, а також час початку та вибір методу лікування – ключові чинники наслідку ІМ [4].

Крім стандартних даних, що можна отримати під час аналізу ЕКГ, перспективним вважають вивчення та оцінювання морфології зубця Т у фазовій площині. Це істотно підвищує чутливість і специфічність ЕКГ-дослідження, тому доцільним є оцінювання показника першої похідної – відношення максимальних швидкостей (ВМШ) за допомогою власного програмно-діагностичного комплексу «Смарт-ЕКГ» (свідоцтво про реєстрацію авторського права № 73687 від 05.09.2017 р.) [5–10]. За допомогою програми «Смарт-ЕКГ» також можна аналізувати спрямування сегмента ST після точки J, що при STEMI змінює геометрію, оскільки при некротизації міокарда утворюється ділянка пошкодження та виникає різниця потенціалів між здоровою та ураженою тканиною, формується елевація сегмента ST з наступним зниженням і формуванням інвертованого зубця Т [11].

Відкритими залишаються питання щодо часової динаміки показників диференційованої ЕКГ – ВМШ і феноменів фази реполяризації з показниками ST slope у пацієнтів зі STEMI.

Мета роботи

Оцінити динаміку змін показників, що отримали під час цифрового опрацювання рутинної ЕКГ за допомогою програмно-діагностичного комплексу «Смарт-ЕКГ», у пацієнтів зі STEMI за результатами 40-денного спостереження.

Матеріали і методи дослідження

Усі пацієнти, які взяли участь у клінічному дослідженні, обстежені на базі Чернівецького обласного клінічного кардіологічного центру та дали письмову інформовану згоду на участь.

Обстежили 20 пацієнтів зі STEMI (10 чоловіків віком $56,11 \pm 11,62$ року; 10 жінок віком $58,22 \pm 13,11$ року), які перебували під динамічним стаціонарним, надалі – амбулаторним спостереженням. Клінічний діагноз STEMI встановили за рекомендаціями ESC (2017 р.), усім хворим призначили лікування згідно з чинними протоколами [12].

Критерій залучення в дослідження – верифікований діагноз STEMI, наявність письмової інформованої згоди на участь. Критерії виключення – вроджені чи набуті вади серця, тяжка ниркова недостатність, печінкова недостатність середнього або тяжкого ступенів, онкологічні захворювання, ревматизм та інші системні захворювання сполучної тканини, психічні розлади, вагітність.

У групу контролю залучили 20 практично здорових осіб.

Дослідження здійснили за таким дизайном: «0» точка – 1 доба виникнення STEMI, реєстрація першої ЕКГ із максимальною елевацією сегмента ST; точка «1» – реєстрація другої ЕКГ при появі інвертованого зубця Т; точка «2» – 10 доба розвитку STEMI та реєстрація третьої ЕКГ; точка «3» – 40 доба перебігу STEMI, четверта ЕКГ.

Запис ЕКГ здійснили, застосувавши 12-канальний електрокардіограф «Юкард-200». Аналіз ЕКГ реалізовано шляхом використання медичного програмного забезпечення для кількісного оцінювання ЕКГ «Смарт-ЕКГ» власної розробки. Дослідження передбачало динамічний опис змін феноменів фази реполяризації під час кількісного оцінювання нахилу ST (ST slope) з аналізом спрямування сегмента ST після точки J, кута β спрямування сегмента ST і висоти провадження спрямування нахилу сегмента ST (H, висота нахилу ST, мм) через 1 секунду реєстрації, а також побудову першої похідної зубця Т з обчисленням показника ВМШ (співвідношення змін різниці потенціалів на другому коліні зубця Т до максимальної швидкості на його першому коліні диференційованої ЕКГ).

За допомогою програмно-діагностичного комплексу «Смарт-ЕКГ» обчислили ВМШ і встановили показники ST-slope на різних етапах розвитку STEMI, порівняли з параметрами, що одержали у групі контролю, а також зіставляли ці показники в групі STEMI. Для обчислень визначили відведення при максимальних ішемічних змінах і з найбільш вираженою елевацією сегмента ST.

Статистичні дані опрацювали за допомогою електронних таблиць Microsoft Office Excel 2016. Встановили середнє значення та похибку середнього значення ($M \pm m$). Якісні дані наведено у відсотках (%). Для аналізу статистичної вірогідності використали непараметричний метод статистичного аналізу, критерій Манна-Вітні (U) для непов'язаних і критерій знаків Вілкоксона (T) для пов'язаних груп. Значущою вважали різницю при $p < 0,05$.

Результати

У перші години (найгострішу фазу) виникнення STEMI обчислення ВМШ₀ складне й неінформативне, оскільки зубець Т «зливається» із сегментом ST. Встановили середні значення ВМШ у динаміці перебігу STEMI: ВМШ₁ (1 доба) – $0,606 \pm 0,090$; ВМШ₂ (10 доба) – $0,550 \pm 0,070$; ВМШ₃ (40 доба) – $0,840 \pm 0,170$.

Порівняли ВМШ різних етапів перебігу STEMI з групою контролю (ВМШ_к), встановили, що показник ВМШ₁ знижувався на 61,90 % ($p < 0,01$), ВМШ₂ – на 68,20 % ($p < 0,01$), а ВМШ₃ – на 51,48 % ($p < 0,01$) (рис. 1).

У результаті аналізу змін ВМШ на 1, 10 і 40 добу STEMI визначили, що ВМШ₂ зменшується на 16,7 % ($p < 0,01$) порівняно з ВМШ₁, потім спостерігали його збільшення на 52,7 % ($p < 0,01$) порівняно з ВМШ₃.

Обчислили середні показники висоти провадження спрямування нахилу сегмента ST (H, висота нахилу ST, мм): H₀ (1 доба, час найбільшої ST-елевації) – $1,97 \pm 0,87$, H₁ (зменшення елевованого сегмента ST і момент появи інвертованого Т) – $0,70 \pm 0,19$, H₂ (10 доба) – $0,60 \pm 0,97$, H₃ (40 доба) – $0,55 \pm 0,26$.

Таблиця 1. Динаміка показників диференційованої ЕКГ при STEMI щодо групи контролю, $M \pm m$

Показник, одиниці вимірювання	Група контролю	Група дослідження			
		1 день (ST max)	1 день (поява Т-)	10 день	40 день
ВМШ	1,73 ± 0,04	–	0,66 ± 0,09*	0,55 ± 0,07*	0,84 ± 0,17*
Н, мм	0,44 ± 0,13	1,97 ± 0,87*	0,70 ± 0,19*	0,60 ± 0,27**	0,55 ± 0,26**
β, градус	8,24 ± 2,71	22,43 ± 8,28*	9,16 ± 3,20**	10,38 ± 4,35**	6,94 ± 3,60**

*: $p < 0,01$ – вірогідність різниці показників груп контролю та порівняння; **: $p > 0,05$ – вірогідність різниці показників груп контролю та порівняння.

Порівняли висоту нахилу сегмента ST (Н) при STEMI з групою контролю (H_k): H_0 на етапі найбільшої елевації сегмента ST збільшилася на 347,7 % ($p < 0,01$); H_1 зросла на 59,0 % ($p < 0,01$); H_2 – на 36,4 %, різниця статистично не значуща ($p > 0,05$); H_3 збільшилася на 25,0 %, відмінність також невірогідна ($p > 0,05$) (рис. 2).

Порівнявши динаміку змін ST slope, виявили зменшення показника H_1 на 64,5 % порівняно з H_0 максимальної елевації ST ($p < 0,01$), на 10 день встановили зменшення H_2 на 14,3 % ($p < 0,05$) порівняно з H_1 і зниження на 40 день H_3 на 8,4 % порівняно з H_2 ($p > 0,05$). Це відбиває природні зміни ST максимальної елевації та наближення до ізолінії на етапі початкового рубцювання.

Встановили середні показники кута β (β, градус) при STEMI: кут β_0 при максимальній елевації 22,43 ± 8,28°; кут β_1 (1 доба) – 9,16 ± 3,20°; кут β_2 (10 доба) – 10,38 ± 4,35°; кут β_3 (40 доба) – 6,94 ± 3,60°.

Порівняли значення кута β при STEMI з показниками групи контролю (β_k). Виявили, що кут β_0 збільшився на 172,2 % ($p < 0,01$), кут β_1 – на 11,2 % ($p > 0,05$), кут β_2 – на 25,9 % ($p > 0,05$), кут β_3 зменшився на 15,8 % ($p > 0,05$).

Спостерігали динамічні зміни показника кута β спрямування сегмента ST: β_1 знизився на 61,90 % порівняно з β_0 максимальної ST елевації та максимальних значень кута β ($p < 0,01$), потім β_2 підвищився на 13,30 % порівняно з β_1 ($p < 0,05$), β_3 знизився на 33,15 % порівняно з β_2 ($p < 0,01$).

Загальна концепція динамічних змін показників диференційованої ЕКГ при STEMI порівняно з групою контролю наведена в таблиці 1.

Обговорення

Незважаючи на істотну кількість наукових публікацій [13,14], де описують провідні ознаки STEMI, актуальним залишається пошук нових маркерів, що отримані за допомогою кількісного опрацювання ЕКГ [15,16], зокрема з використанням програмно-діагностичного комплексу «Смарт-ЕКГ».

Методика аналізу клінічного значення симетрії хвилі Т вперше описана Ph. Jr. Langner (1962) [17], модифікована Е. Ш. Халфеном (1980-ті роки) [18], значної трансформації набула з розвитком комп'ютерних технологій. Надалі репрезентативні дослідження здійснили І. А. Чайковський і співавтор, які довели: зміни симетрії хвилі Т у фазовому просторі корелюють з результатами лікування гострого коронарного синдрому [19]. Як відомо, геометрія хвилі Т на ЕКГ залежить від форми, тривалості та величини трансмембранних потенціалів дії різних ділянок міокарда та типово відбиває реполяризацію шлуночків [20]. Ішемія спричиняє електричну неоднорідність міокарда, що пов'язана з порушеннями

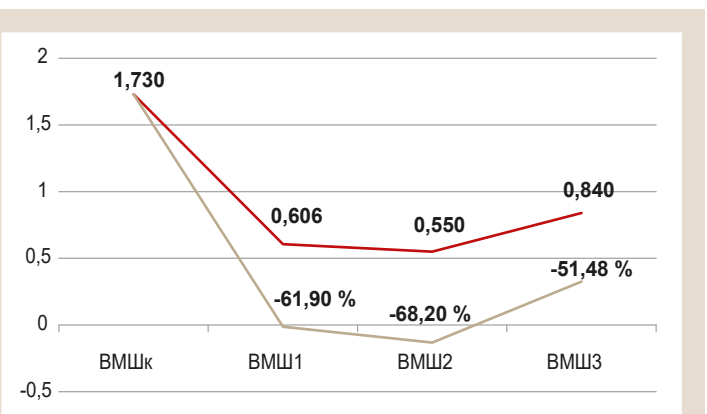


Рис. 1. Характер змін ВМШ при STEMI порівняно з групою контролю.

ВМШк: група контролю; ВМШ1: 1 доба; ВМШ2: 10 доба; ВМШ3: 40 доба.

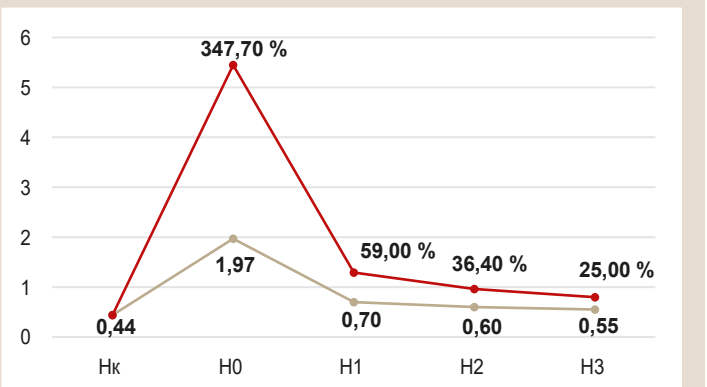


Рис. 2. Характер змін висоти нахилу сегмента ST (Н, мм) порівняно з групою контролю.

Нк: група контролю; Н0: 1 доба, максимальна елевація сегмента ST; Н1: зменшення елевації сегмента ST, поява інвертованого Т; Н2: 10 доба; Н3: 40 доба.

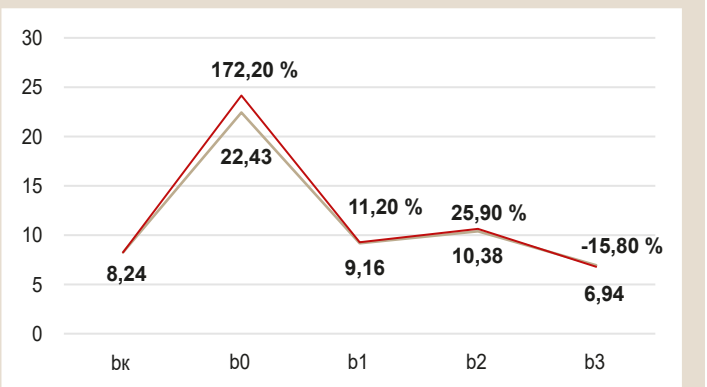


Рис. 3. Характер змін показника кута β (градус) порівняно з групою контролю.

βк: група контролю; β0: 1 доба, максимальна елевація сегмента ST; β1: зменшення елевації сегмента ST, поява інвертованого Т; β2: 10 доба; β3: 40 доба.

іонної проникності клітинної мембрани [21] та зумовлює зміни показника ВМШ.

У дослідженні, яке здійснили, встановили: показник ВМШ знижувався на всіх етапах перебігу STEMI порівняно з групою практично здорових людей. Початкове зниження ВМШ пов'язане зі змінами фази реполяризації, зменшенням кількості та розмірів глікогенових гранул, деструкцією сарколеми, набряком мітохондрій, початком виникнення коагуляційного некрозу, що відбувається при гострій ішемії та призводить до денатурації структурних білків [22]. Некроз клітин у патологічно змінених ділянках міокарда призводить до порушення електрогенезу, симетризації зубця Т і, відповідно, до зниження ВМШ. Під час розвитку STEMI спостерігали збільшення показника ВМШ на 40 день порівняно з першим; це зумовлено зменшенням симетрії зубця Т під час лікування та свідчить про зниження електричної неоднорідності пошкодженого міокарда. В роботі M. Reindl et al. [23] показано: стійка інверсія зубця Т після STEMI пов'язана з гіршим клінічним наслідком, а швидка нормалізація корелює з покращенням функції лівого шлуночка. Тому показник ВМШ можна використовувати як маркер наслідку захворювання та прогностатор ефективності лікування.

Сегмент ST показує період деполяризації шлуночків, у нормі знаходиться на ізолінії, проте при некротизації міокарда під час STEMI формується ділянка пошкодження, виникає різниця потенціалів між здоровою та ураженою тканиною. Оскільки заряд пошкодженої ділянки позитивний, а здорової – негативний, то вектор електрорушійної сили спрямований від здорових до пошкоджених міокардіальних ділянок. Тому при STEMI над зоною інфаркту формується підйом сегмента ST, а в протилежних ділянках – його депресія [11].

У дослідженні T. Lindow et al. доведено низьку діагностичну ефективність ЕКГ-критеріїв при STEMI на етапі невідкладної допомоги: чутливість стандартних ЕКГ-критеріїв становила 17 %, специфічність – 98 %, прогностична цінність – 12 %. Дані для розширених критеріїв ЕКГ становили 30 %, 94 % і 8 % відповідно; при додаванні до критеріїв реципрокної депресії сегмента ST прогностична цінність зросла до 24 % для звичайних і 23 % для розширених критеріїв [24].

Опрацювання додаткових ЕКГ-критеріїв, а саме аналіз спрямування сегмента ST після точки J, кута β і висоти нахилу сегмента ST (H) дає змогу підвищити специфічність, чутливість і прогностичну значущість ЕКГ. У нашому дослідженні виявили максимальне підвищення показників ST-slope у перші години розвитку STEMI, фіксували критичне зростання H на 347,7 % та кута β на 172,2 %. Це підтверджує електричний дисонанс клітин міокарда та характер елевації сегмента ST. Під час динамічного спостереження виявили зниження цих показників при розвитку STEMI, і це підтвердило стабілізацію електричної рівноваги на етапах відновлення міокарда та повернення сегмента ST на ізолінію.

Отже, вивчення ЕКГ з використанням медичного програмного забезпечення для кількісного оцінювання «Смарт-ЕКГ» власної розробки дає змогу розширити діагностичний арсенал, проаналізувати динаміку розвитку STEMI, визначити прогноз захворювання й ефективність лікування.

Висновки

1. Істотне зниження ВМШ на початкових етапах перебігу STEMI порівняно з показником групи контролю пов'язане з некрозом клітин у патологічно змінених ділянках міокарда, що призводить до порушення електрогенезу фази реполяризації.

2. Підвищення ВМШ, яке визначили на 40 день, порівняно з показником у перший день зумовлене зменшенням симетрії зубця Т у процесі лікування та свідчить про зниження електричної неоднорідності пошкодженого міокарда.

3. Максимальне зростання показників ST-slope у перші години перебігу STEMI (критичне збільшення H на 347,7 % і кута β на 172,2 % ($p < 0,01$) порівняно з показниками групи контролю) підтверджує електричний дисонанс клітин міокарда під час формування елевованого сегмента ST і наближення до показників групи контролю на 40 день при початковому рубцюванні та поверненні сегмента ST на ізолінію.

4. Медичне програмне забезпечення для кількісного оцінювання «Смарт-ЕКГ», яке розробили, – ефективний інструмент для діагностики патологічних змін міокарда, дає змогу підвищити специфічність, чутливість і прогностичну значущість ЕКГ при STEMI.

Перспективи подальших досліджень полягають у продовженні використання програмно-діагностичного комплексу «Смарт-ЕКГ» для визначення ефективності лікування STEMI.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: authors have no conflict of interest to declare.

Надійшла до редакції / Received: 18.11.2022

Після доопрацювання / Revised: 01.03.2023

Прийнято до друку / Accepted: 10.03.2023

Відомості про авторів:

Ташук В. К., д-р мед. наук, професор, зав. каф. внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-7988-5256](https://orcid.org/0000-0002-7988-5256)

Маліневська-Білійчук О. В., аспірант каф. внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

ORCID ID: [0000-0001-7635-396X](https://orcid.org/0000-0001-7635-396X)

Іванчук П. Р., канд. мед. наук, доцент каф. внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

ORCID ID: [0000-0003-4394-1591](https://orcid.org/0000-0003-4394-1591)

Полянська О. С., д-р мед. наук, професор каф. внутрішньої медицини, фізичної реабілітації та спортивної медицини, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

ORCID ID: [0000-0002-3889-7568](https://orcid.org/0000-0002-3889-7568)

Information about the authors:

Tashchuk V. K., MD, PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Malinevska-Bilichuk O. V., MD, Postgraduate student of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

Ivanchuk P. R., MD, PhD, Associated Professor of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.
 Polianska O. S., MD, PhD, DSc, Professor of the Department of Internal Medicine, Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine.

References

- [1] Lopez-Jimenez, F., Attia, Z., Arruda-Olson, A. M., Carter, R., Chareon-thaitawee, P., Jouni, H., Kapa, S., Lerman, A., Luong, C., Medina-Inojosa, J. R., Noseworthy, P. A., Pellikka, P. A., Redfield, M. M., Roger, V. L., Sandhu, G. S., Senecal, C., & Friedman, P. A. (2020). Artificial Intelligence in Cardiology: Present and Future. *Mayo Clinic proceedings*, 95(5), 1015-1039. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.01.038>
- [2] Mohamed, A. (2021). Predicting mortality and no-reflow in STEMI patients using epicardial adipose tissue. *Clinical cardiology*, 44(10), 1371-1376. <https://doi.org/10.1002/clc.23692>
- [3] Tsao, C. W., Aday, A. W., Almarazgo, Z. I., Alonso, A., Beaton, A. Z., Bittencourt, M. S., Boehme, A. K., Buxton, A. E., Carson, A. P., Commodore-Mensah, Y., Elkind, M. S. V., Evenson, K. R., Eze-Nliam, C., Ferguson, J. F., Generoso, G., Ho, J. E., Kalani, R., Khan, S. S., Kissela, B. M., Knutson, K. L., ... Martin, S. S. (2022). Heart Disease and Stroke Statistics-2022 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 145(8), e153-e639. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001052>
- [4] Bhatt, D. L., Lopes, R. D., & Harrington, R. A. (2022). Diagnosis and Treatment of Acute Coronary Syndromes: A Review. *JAMA*, 327(7), 662-675. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.0358>
- [5] Tashchuk, V. K., Ivanchuk, P. R., Tashchuk, M. V., Polianska, O. S., Amelina, T. M., Makovychuk, I. O., Onofreychuk, D. I., & Shevchuk, V. A. (2017). Kilkisna otsinka elektrokardiogramy v porivnanni efektyvnosti kardioproteksii pry hostromu infarkti miokarda [Quantitative evaluation of electrocardiogram in comparison of cardioprotection efficiency in acute myocardial infarction]. *Bukovynskyi medychnyi visnyk*, 21(2, Pt 1), 94-99. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24061/2413-0737.XX1.2.82.1.2017.20>
- [6] Tashchuk, V. K., Ivanchuk, P. R., Amelina, T. M., & Tashchuk, M. V. (2018). Kardioprotektyvni efekty metabolichnoi terapii u khvorykh na ishemichnu khvorobu sertsia: analiz tsyfrovoy obrobky elektrokardiogramy za dopomohoiu prohramnoho kompleksu "Smart-EKH" [Cardioprotective effects of metabolic therapy in patients with ischemic heart disease: analysis of digital electrocardiogram of electrocardiograms using the software complex "Smart-ECG"]. *Klinichna ta eksperymentalna patolohiia*, 17(2), 91-98. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVII.2.64.2018.18>
- [7] Tashchuk, V. K., Ivanchuk, P. R., Polianska, O. S., Tashchuk, K. G., & Savchuk, O. V. (2018). Osoblyvosti zastosuvannia metabolichnoi terapii u khvorykh na hostru ta khronichnu ishemichnu khvorobu sertsia: analiz tsyfrovoy obrobky elektrokardiogramy za dopomohoiu prohramnoho kompleksu "Smart-EKH" [Peculiarities of the metabolic therapy use in patients with acute and chronic ischemic heart disease: analysis of digital processing of electrocardiogram]. *Klinichna ta eksperymentalna patolohiia*, 17(2), 99-106. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVII.2.64.2018.19>
- [8] Tashchuk, V. K., Polianska, O. S., Ivanchuk, P. R., Amelina, T. M., & Tashchuk, M. V. (2018). Kardioproteksia u khvorykh zi stabilnoiu stenokardiiu: analiz tsyfrovoy obrobky elektrokardiogramy [Cardioprotection in patients with ischemic heart disease evaluated by digital processing of electrocardiogram]. *Ukrainskyi kardiologichnyi zhurnal*, (5), 39-44. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31928/1608-635X-2018.5.3944>
- [9] Tashchuk, V. K., Tashchuk, M. V., & Ivanchuk, P. R. (2019). Dyhitalizatsiia elektrokardiografii i fotopletyzmografii: klinichne vprovadzhenia kilkisnoho analizu sertsevoho rytmu [Digitization of electrocardiography and photoplethysmography: clinical implementation of a quantity analysis of the heart rhythm]. *Klinichna ta eksperymentalna patolohiia*, 18(2), 80-85. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.2.68.2019.14>
- [10] Tashchuk, V. K., Polianska, O. S., Ivanchuk, P. R., Nesterovska, R. A., & Tashchuk, M. V. (2020). Otsinka efektyvnosti kardiotsytoproteksii v likuvanni khvorykh na hostryi infarkt miokarda ta stabilnu stenokardiiu shliakhom tsyfrovoy obrobky EKH (dyhitalizatsii) z podalshoiu yii ekspertnoiu otsinkoiu [Evaluation of the cardioprotection efficiency in the treatment of patients with acute myocardial infarction and stable angina pectoris by means of digital processing of ECG (digitalization) with subsequent expert assessment]. *Bukovynskyi medychnyi visnyk*, 24(1), 142-151. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.19>
- [11] de Blik, E. C. (2018). ST elevation: Differential diagnosis and caveats. A comprehensive review to help distinguish ST elevation myocardial infarction from nonischemic etiologies of ST elevation. *Turkish journal of emergency medicine*, 18(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.01.008>
- [12] Ibáñez, B., James, S., Agewall, S., Antunes, M. J., Bucciarelli-Ducci, C., Bueno, H., Caforio, A. L. P., Crea, F., Goudevenos, J. A., Halvorsen, S., Hindricks, G., Kastrati, A., Lenzen, M. J., Prescott, E., Roffi, M., Valgimigli, M., Varenhorst, C., Vranckx, P., & Widimský, P. (2017). 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Revista espanola de cardiologia (English ed.)*, 70(12), 1082. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2017.11.010>
- [13] Beckenbauer, D., Martínez Pereyra, V., & Ong, P. (2020). STEMI-Äquivalente im EKG – eine fallbasierte Darstellung [STEMI equivalents on the ECG – a case-based presentation]. *Deutsche medizinische Wochenschrift (1946)*, 145(5), 318-326. <https://doi.org/10.1055/a-0999-0101>
- [14] Birnbaum, Y., Rankinen, J., Jneid, H., Atar, D., & Nikus, K. (2022). The Role of ECG in the Diagnosis and Risk Stratification of Acute Coronary Syndromes: an Old but Indispensable Tool. *Current cardiology reports*, 24(2), 109-118. <https://doi.org/10.1007/s11886-021-01628-7>
- [15] Choi, Y. J., Park, M. J., Ko, Y., Soh, M. S., Kim, H. M., Kim, C. H., Lee, E., & Kim, J. (2022). Artificial intelligence versus physicians on interpretation of printed ECG images: Diagnostic performance of ST-elevation myocardial infarction on electrocardiography. *International journal of cardiology*, 363, 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2022.06.012>
- [16] Kim, D., Hwang, J. E., Cho, Y., Cho, H. W., Lee, W., Lee, J. H., Oh, I. Y., Baek, S., Lee, E., & Kim, J. (2022). A Retrospective Clinical Evaluation of an Artificial Intelligence Screening Method for Early Detection of STEMI in the Emergency Department. *Journal of Korean medical science*, 37(10), e81. <https://doi.org/10.3346/jkms.2022.37.e81>
- [17] Langner, P. H., Jr, Geselowitz, D. B. (1962). First derivative of the electrocardiogram. *Circulation research*, 10, 220-226. <https://doi.org/10.1161/01.res.10.2.220>
- [18] Tashchuk, V. K., Ivanchuk, P. R., Polianska, O. S., & Rusnak, I. T. (2015). Pobudova prohramnoho zabezpechennia dlia kilkisnoi otsinky elektrokardiogramy: mozlyvosti i dosidzhennia zubsia T [Software design for quantitative evaluation of electrocardiogram: possibilities and wave examination]. *Klinichna anatomia ta operatyvna khirurgiia*, 14(4), 10-16. [in Ukrainian].
- [19] Chaikovskiy, I. A., Batushkin, V. V., Fainzilberg, L. S., Stadnyuk, L. A., Semergey, N. A., Chicherova, T. S., & Kholodnyak, I. V. (2007). Effektivnost otsenki techeniya ostrogo koronarnogo sindroma po dannym analiza odnokanalnoi EKG na fazovoi ploskosti [Efficiency of assessment of acute coronary syndrome course based on analysis of the ecg first lead on the phase plane]. *Zhurnal AMN Ukrainy*, 13(1), 102-108. [in Russian].
- [20] Kenny, B. J., & Brown, K. N. (2022). ECG T Wave. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30855852>
- [21] Sattler, S. M., Skibsbjerg, L., Linz, D., Lubberding, A. F., Tfelt-Hansen, J., & Jespersen, T. (2019). Ventricular Arrhythmias in First Acute Myocardial Infarction: Epidemiology, Mechanisms, and Interventions in Large Animal Models. *Frontiers in cardiovascular medicine*, 6, 158. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2019.00158>
- [22] Ghafoor, M., Kamal, M., Nadeem, U., & Husain, A. N. (2020). Educational Case: Myocardial Infarction: Histopathology and Timing of Changes. *Academic pathology*, 7, 2374289520976639. <https://doi.org/10.1177/2374289520976639>
- [23] Reindl, M., Reinstadler, S. J., Feistritzer, H. J., Niess, L., Koch, C., Mayr, A., Klug, G., & Metzler, B. (2017). Persistent T-wave inversion predicts myocardial damage after ST-elevation myocardial infarction. *International journal of cardiology*, 241, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.03.164>
- [24] Lindow, T., Engblom, H., Pahlm, O., Carlsson, M., Lassen, A. T., Brandt, M., Lundager Forberg, J., Platonov, P. G., & Ekelund, U. (2021). Low diagnostic yield of ST elevation myocardial infarction amplitude criteria in chest pain patients at the emergency department. *Scandinavian cardiovascular journal* : SCJ, 55(3), 145-152. <https://doi.org/10.1080/14017431.2021.1875138>