

УДК 612.171

DOI: 10.22141/2224-0586.2.89.2018.126615

Савчак Я.О., Дзюба Д.О., Лоскутов О.А.

Національна медична академія післядипломної освіти імені П.Л. Шупика, м. Київ, Україна

ЕКГ-діагностика: від Ейнтховена до сучасного серцевого моніторингу

Резюме. У статті йдеться про історію розвитку електрокардіографії та застосування її принципів у сучасній медицині. На сьогодні вона є невід'ємною складовою діагностики хворих із серцевою патологією та моніторингу пацієнтів із високим кардіальним ризиком. Більше ніж 100-літню історію розвитку електрокардіографії та серцевого моніторингу можна умовно розділити на чотири часові періоди.

Ключові слова: електрокардіографія; телемедицина; моніторинг; відведення

Електрокардіографія (ЕКГ) — метод графічної реєстрації електричних явищ із поверхні тіла, що виникають у серцевому м'язі під час його діяльності. На сьогодні ЕКГ є невід'ємною складовою діагностики хворих із серцевою патологією та моніторингу пацієнтів із високим кардіальним ризиком. Більше ніж 100-літню історію розвитку ЕКГ та серцевого моніторингу можна умовно розділити на чотири часові періоди. Перший період — з 1902 по 1930 р. — включав винахід, розробку та запровадження ЕКГ у 3 відведеннях. Другий період — з 1930 по 1942 р. — включає розробку грудних відведень та запровадження 12-канальної ЕКГ. Третій період стосується розвитку серцевого моніторингу в кардіологічних відділеннях інтенсивної терапії. Нарешті, четвертий період включає запровадження серцевого моніторингу в «неінтенсивних» відділеннях та розробку сучасних телеметричних методів моніторингу протягом кінця ХХ та початку ХХІ століття [1].

Винахід електрокардіографії

Хоча винахід та створення голландським фізіологом Вільямом Ейнтховеном першого електрокардіографа датується 1903 роком, електричні явища, що виникають у м'язовій тканині, були відкриті задовго до цього. Так, у 1791 році італійським лікарем та фізіологом Луїджі Гальвані в «Трактаті про сили електрики при м'язовому русі» було описано відкриття, яке згодом лягло в основу експериментальної електрофізіології. Після серії дослідів впливу

атмосферної електрики в грозову погоду на м'язи жаби він дійшов висновку про існування так званої «тваринної електрики». У 1856 році два німецьких вчених — Р. Келлікер і Г. Мюллер виявили наявність електричних явищ при скороченні серцевого м'яза. Вони проводили дослідження на різних тваринах, працюючи на відкритому серці. Однак реальна можливість вивчення електричних імпульсів серця з'явилася 1873 року, коли був сконструйований перший капілярний електрометр — прилад, що дозволив реєструвати електричні потенціали. В результаті вдосконалення цього методу у вчених того часу з'явився спосіб записувати сигнали з поверхні тіла, завдяки чому англійський фізіолог А. Уоллер у 1887 році вперше отримав запис електричної активності міокарда людини. Він же вперше сформулював основні положення електрофізіологічних понять міокарда, припустивши, що серце є диполь — сукупність двох електричних зарядів, рівних за величиною, але протилежних за знаком, що знаходяться на деякій відстані один від одного. Уоллеру належить і таке поняття, як «електрична вісь серця» [2].

Першим, хто вивів електрокардіограму з категорії наукових експериментів та увів її у широку лікарську практику, був голландський фізіолог професор Лейденського університету Вільям Ейнтховен. У 1893 р. на конгресі Німецької медичної асоціації він запропонував для нового методу термін «електрокардіографія», а два роки по тому вчений розділив криву ЕКГ на п'ять хвиль — P, Q, R, S, T. Після

семи років наполегливої роботи у 1903 році на основі винайденого Д. Швейггером струнного гальванометра Ейнтховен створив свій перший електрокардіограф. У цьому приладі електричний струм від електродів, розміщених на поверхні тіла, проходив через кварцову нитку, яка перебувала в електромагнітному полі і вібривала, коли по ній проходив струм. Оптична система фокусувала тінь від нитки на світлочувливий екран, на якому фіксувалися її коливання. Перший електрокардіограф був дуже громіздким приладом, він розташовувався на декількох столах і важив близько 270 кг. Його обслуговуванням займалися п'ять кваліфікованих асистентів. Щоб проводити електрокардіографію хворим, які лікувалися в Лейденській клініці, Ейнтховен проклав кабель довжиною до двох кілометрів до своєї лабораторії і таким чином у 1905 році здійснив першу передачу ЕКГ по телефону. Цікаво, що саме Ейнтховен більше ніж 100 років тому запропонував латинську приставку «теле-» для визначення дистанційної медичної допомоги. У 1913 році Ейнтховен запропонував методику розташування електродів на тілі людини. Вчений ввів поняття «відведення», запропонувавши три стандартних відведення від кінцівок, що дозволяли реєструвати різниці потенціалів між лівою і правою руками (I відведення), між правою рукою і лівою ногою (II відведення) та між лівою рукою і лівою ногою (III відведення), що разом становило так званий трикутник Ейнтховена. Заслуги вченого були гідно оцінені, й у 1924 році він був нагороджений Нобелівською премією з фізіології та медицини «за відкриття механізму ЕКГ».

Запровадження грудних відведень та 12-канальної ЕКГ

Протягом перших трьох десятиліть ХХ століття були введені численні інновації щодо розмірів та простоти використання струнних гальванометрів [3]. Проте лише три оригінальні відведення, описані Ейнтховеном, використовувалися в лікарській практиці того часу. Як ми тепер знаємо, I, II та III відведення надають значно обмежену інформацію про стан міокарда. Незважаючи на поодинокі експерименти з розміщення альтернативних електродів, перша стаття, що описує серцеву ішемію, зареєстровану на грудних відведеннях, була опублікована лише в 1932 році. Вчені Вольферт та Вуд продемонстрували, що ЕКГ із електрода, розміщеного на передній грудній стінці, може показувати ішемію міокарда, невидиму в трьох стандартних відведеннях [4]. У той же час американський фізіолог Френк Вілсон експериментував із кількома грудними відведеннями, що допомагали в діагностиці блокади ніжок пучка Гіса [5]. Також він вперше запропонував систему грудних відведень, у якій відведення V1–V6 відповідали потенціалам передньої, передньобочкової стінки та верхівки серця, а відведення V7–V9 були інформативними для діагностики патології міокарда задньобазальної стінки лівого шлуночка (ЛШ). Додаткові високі грудні відведення Вільсона (на 1–2 міжребер'я вище стандартної

позиції) інформативні стосовно базальних відділів передньої стінки ЛШ [5].

У 1942 році американський кардіолог Е. Гольдбергер запропонував ще три відведення, назвавши їх посиленими. При реєстрації цих відведень одним з електродів служить потенціал однієї з кінцівок, а іншим — об'єднаний електрод від двох інших (індиферентний електрод). Різниця потенціалів, виміряна між правою рукою і об'єднаними лівою рукою і лівою ногою, називається відведенням aVR, між лівою рукою і об'єднаними правою рукою і лівою ногою — відведенням aVL і між лівою ногою і об'єднаними руками — відведенням aVF. Таким чином, сформувалася звична для нас система електрокардіографічних відведень. Також, крім загальноприйнятої системи відведень, із 1938 року використовуються відведення за Небом (по імені німецького вченого W. Nebh). Дані відведення є двопольними і реєструють різницю потенціалів між двома точками, розташованими на грудній стінці. Реєструють три відведення за Небом, які позначають великими латинськими літерами D (Dorsalis), A (Anterior) і I (Inferior) [6].

Найбільшу цінність із відведень за Небом представляє відведення D, що дає інформацію для діагностики вогнищевих змін в ділянці задньої стінки ЛШ. Щодо відведення A, то воно використовується для діагностики інфаркту передньої стінки ЛШ, а відведення I (Inferior) допомагає в діагностиці інфаркту нижніх відділів передньої стінки ЛШ [6]. Інші системи відведень (Ліана, Франка) в сучасній клінічній практиці не використовуються. Точні вимоги щодо розташування електродів для сучасної ЕКГ з 12 відведеннями, включаючи інструкції щодо правосторонніх та задніх відведень, були викладені в 1954 році в постанові Американської асоціації серця [7]. Стандартне розташування електродів для 12-канальної ЕКГ не змінилося з того часу.

Запровадження серцевого моніторингу в кардіореанімації

Складно уявити сучасну лікарню без інтенсивної терапії з постійним ЕКГ-моніторингом, але так було навіть у розвинутих країнах аж до початку 1960-х років. Тоді вже існували спеціальні підрозділи для критично хворих пацієнтів, проте серцевий моніторинг не був загальнодоступним [8]. Три важливих фактори призвели до значного прогресу в розвитку кардіореанімації в період 1960-х рр. По-перше, з'явилася можливість безпечної та ефективної зовнішньої дефібриляції, описаної Kouwenhoven, Guyton та Zoll ще в 1950-х рр. [9]. По-друге, стала доступною технологія безперервного серцевого моніторингу декількох пацієнтів. По-третє, наявні стандартизовані методи швидкої оцінки та реанімації пацієнта, а саме в 1961 році Петером Сафаром та співавторами було опубліковано детальну інструкцію щодо серцевої реанімації та непрямого масажу серця [10]. Щоб ефективно використовувати ці нові можливості моніторингу та методів реанімації, клініцистам довелося згрупувати пацієнтів із високим кардіальним

ризиком близько один до одного. Таким чином, у 1962 році в США та Австралії були створені перші відділи кардіореанімації [11]. На основі роботи цих відділень у 1964 році австралійський лікар Десмонд Джуліан та співавтори вперше задокументували позитивний вплив безперервного електрокардіографічного моніторингу при лікуванні кардіологічних хворих. У дослідженні було продемонстровано зниження летальності серед інфарктних хворих у відділенні інтенсивної терапії на 30 % [12].

Розвиток телеметричного ЕКГ-моніторингу

На сьогодні ЕКГ-моніторинг є невід'ємною складовою стаціонарного ведення хворих із серцево-судинними захворюваннями та спостереження за пацієнтами з високим кардіальним ризиком. Серцевий моніторинг дає можливість своєчасно розпізнавати загрозливі для життя аритмії та ішемічні зміни міокарда, що значно підвищує рівень виживаності пацієнтів [13]. До того ж відомо, що негайне розпізнавання та дефібриляція фібриляційних ритмів пов'язані з підвищенням рівня виживаності до 75 % із зменшенням його на 10 % після кожної хвилини затримки дефібриляції [14].

Розвиток телекомунікаційних технологій упродовж ХХ століття зумовив впровадження бездротових телеметричних систем ЕКГ-моніторингу. Починаючи з 1906 року, коли Вільям Ейнтховен вперше здійснив передачу даних електрокардіографії через телефонний кабель [15], значний прогрес в обробці сигналів призвів до широкого впровадження бездротового зв'язку для ЕКГ-моніторингу у відділеннях інтенсивної терапії [16]. Перші бездротові системи були введені в практику в 1970-ті роки. Вони були прості в дизайні, а саме передавали аналогові телеметричні сигнали, використовуючи по одному частотному каналу для кожного пацієнта. У 1980-ті роки були запроваджені централізовані телеметричні станції для спостереження за пацієнтами в інтенсивних відділеннях. Вже починаючи з 1990-х років цифрові телеметричні системи дозволяли записувати, зберігати та отримувати комп'ютеризовані сигнали ЕКГ-моніторингу [1]. Починаючи з 2000-х років бездротові телеметричні системи в лікарнях США були настільки поширеними, що федеральна комісія з питань зв'язку встановила захищений діапазон частот для бездротових медичних пристроїв, щоб мінімізувати електромагнітні перешкоди з боку інших радіочастотних джерел [17].

З розвитком телеметричних технологій ЕКГ-моніторинг поширився на інші відділення за межами традиційної інтенсивної терапії. На сучасному етапі безпроводний серцевий моніторинг у «неінтенсивних» відділеннях дозволяє безпечно вести пацієнтів із підозрою на ішемічну хворобу серця чи з підвищеним ризиком виникнення критичних аритмій, а також зменшити потребу в ліжках інтенсивної терапії. Одним із підтверджень цього є ретроспективне дослідження Cleverley K. et al. [18], в яке було залучено 668 пацієнтів із зупинкою кровообігу, що

трапилася під час лікування у «неінтенсивних» відділеннях. При порівнянні груп таких пацієнтів, які не підлягали і підлягали ЕКГ-телеметрії, авторами підтверджено останнє як сильний предиктор виживання пацієнта до виписки його зі стаціонару. Особливої уваги заслуговують телемедичні системи, що включають у себе передачу ЕКГ у режимі реального часу через мобільний телефон [19], а також системи моніторингу, що включають в себе технології Bluetooth і Wi-Fi [20]. Ці методи успішно застосовуються в кардіологічних реабілітаційних закладах і покращують виживаність пацієнтів після перенесеного інфаркта міокарда чи кардіохірургічного втручання [21].

Золотим стандартом ЕКГ-діагностики є електрокардіографія із 12 стандартних відведень [22], проте такий моніторинг часто незручний для пацієнта і його технічно важко виконати [23]. Тому одним із ключових завдань безпроводного ЕКГ-моніторингу є розробка доступного та зручного приладу, що дасть можливість спостерігати в реальному часі ЕКГ із 12 стандартних відведень. На сучасному етапі ця проблема вирішується запровадженням комп'ютеризованих алгоритмів, що реконструюють відсутні відведення [24, 25].

Важливим фактором стосовно телеметричного ЕКГ-моніторингу в умовах медичної практики в Україні є його висока вартість. Більшість із розроблених приладів та систем безпроводного ЕКГ-моніторингу недосяжні для комунальних лікувальних закладів. Тому актуальним залишається розробка доступних та адаптованих до потреб українських лікарень систем безпроводного телеметричного ЕКГ-моніторингу.

Висновки

ЕКГ та серцевий моніторинг є важливою інтегральною складовою ведення хворих із серцевою патологією. Незважаючи на давню історію базових принципів електрокардіографії, винайдених Ейнтховеном, цей метод діагностики та моніторингу активно застосовується до сьогодні та залишає за собою значний простір для інновацій. Удосконалення та широке впровадження систем телеметричного ЕКГ-моніторингу є необхідною передумовою поліпшення якості надання медичної допомоги.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Hannibal G.B. It started with Einthoven: the history of the ECG and cardiac monitoring // AACN Adv. Crit. Care. — 2011. — Vol. 22, № 1. — P. 93-96.
2. Сафаргалина-Корнилова Н.А., Иванченко С.В., Герасимчук Н.Н. История и клиническое значение электрокардиографии: от истоков до современности // История і клінічне значення електрокардіографії: від витоків до сучасності. — 2014.

3. Wiggers C.J. Willem Einthoven (1860–1927). Some facets of his life and work // *Circ. Res.* — 1961. — Vol. 9. — P. 225-234.
4. Wolfarth C., Wood F. The electrocardiographic diagnosis of coronary occlusion by the use of chest leads // *Am. J. M. Sc.* — 1932. — № 30. — P. 183.
5. Fye W.B. A history of the origin, evolution, and impact of electrocardiography // *Am. J. Cardiol.* — 1994. — Vol. 73, № 13. — P. 937-949.
6. Gertsch M. *The ECG: A Two-Step Approach to Diagnosis.* — Springer Science & Business Media, 2013. — 1151 p.
7. Report of committee on electrocardiography, American Heart Association. Recommendations for standardization of leads and of specifications for instruments in electrocardiography and vectorcardiography // *Circulation.* — 1967. — Vol. 35, № 3. — P. 583-602.
8. Fairman J. Watchful vigilance: nursing care, technology, and the development of intensive care units // *Nurs. Res.* — 1992. — Vol. 41, № 1. — P. 56-60.
9. Zoll P.M. Development of Electric Control of Cardiac Rhythm // *JAMA.* — 1973. — Vol. 226, № 8. — P. 881-886.
10. Safar P. et al. Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man // *JAMA.* — 1961. — Vol. 176. — P. 574-576.
11. Julian D.G. The history of coronary care units // *Br. Heart J.* — 1987. — Vol. 57, № 6. — P. 497-502.
12. Julian D.G., Valentine P.A., Miller G.G. Disturbances of rate, rhythm and conduction in acute myocardial infarction // *Am. J. Med.* — 1964. — Vol. 37, № 6. — P. 915-927.
13. Schull M.J., Redelmeier D.A. Continuous electrocardiographic monitoring and cardiac arrest outcomes in 8,932 telemetry ward patients // *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* — 2000. — Vol. 7, № 6. — P. 647-652.
14. Deakin C.D. et al. *European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation, 2010, Section 4. Adult advanced life support* // *Resuscitation.* — 2010. — Vol. 81, № 10. — P. 1305-1352.
15. Einthoven W. The telecardiogram // *Am. Heart J.* — 1957. — Vol. 53, № 4. — P. 602-615.
16. Drew B.J. et al. Practice standards for electrocardiographic monitoring in hospital settings: an American Heart Association scientific statement from the Councils on Cardiovascular Nursing, Clinical Cardiology, and Cardiovascular Disease in the Young: endorsed by the International Society of Computerized Electrocardiology and the American Association of Critical-Care Nurses // *Circulation.* — 2004. — Vol. 110, № 17. — P. 2721-2746.
17. Health C. for D. and R. *Electromagnetic Compatibility (EMC) — About Wireless Medical Telemetry [Electronic resource]: WebContent.* URL: <https://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationSafety/ElectromagneticCompatibilityEMC/ucm116574.htm>. Accessed: 19.09.2017.
18. Cleverley K. et al. The impact of telemetry on survival of in-hospital cardiac arrests in non-critical care patients // *Resuscitation.* — 2013. — Vol. 84, № 7. — P. 878-882.
19. Worryingham C., Rojek A., Stewart I. Development and Feasibility of a Smartphone, ECG and GPS Based System for Remotely Monitoring Exercise in Cardiac Rehabilitation // *PLoS ONE.* — 2011. — Vol. 6, № 2.
20. Lucani D. et al. A portable ECG monitoring device with Bluetooth and Holter capabilities for telemedicine applications // *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* — 2006. — Vol. 1. — P. 5244-5247.
21. Walsh J.A., Topol E.J., Steinhubl S.R. Novel Wireless Devices for Cardiac Monitoring // *Circulation.* — 2014. — Vol. 130, № 7. — P. 573-581.
22. Drew B.J., Finlay D.D. Standardization of reduced and optimal lead sets for continuous electrocardiogram monitoring: where do we stand? // *J. Electrocardiol.* — 2008. — Vol. 41. — № 6. — P. 458-465.
23. Francis J. ECG monitoring leads and special leads // *Indian Pacing Electrophysiol. J.* — 2016. — Vol. 16, № 3. — P. 92-95.
24. Feild D.Q., Feldman C.L., Horek B.M. Improved EASI coefficients: Their derivation, values, and performance // *J. Electrocardiol.* — 2002. — Vol. 35, № 4. — Part B. — P. 23-33.
25. Nelwan S.P. et al. Reconstruction of the 12-lead electrocardiogram from reduced lead sets // *J. Electrocardiol.* — 2004. — Vol. 37, № 1. — P. 11-18.

Отримано 03.01.2018 ■

Савчак Я.О., Дзюба Д.О., Лоскутов О.А.

Национальная медицинская академия последипломного образования имени П.Л. Шупика, г. Киев, Украина

ЭКГ-диагностика: от Эйнхovens к современному сердечному мониторингу

Резюме. В статье идет речь об истории развития электрокардиографии и применении ее принципов в современной медицине. На сегодняшний день она является неотъемлемой составляющей диагностики больных с сердечной патологией и мониторинга пациентов с высоким карди-

альным риском. Более чем 100-летнюю историю развития электрокардиографии и сердечного мониторинга можно условно разделить на четыре временных периода.

Ключевые слова: электрокардиография; телемедицина; мониторинг; отведение

Ya. O. Savchak, D. O. Dziuba, O. A. Loskutov

Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education, Kyiv, Ukraine

ECG diagnosis: from Einthoven to modern cardiac monitoring

Abstract. The article describes the history of electrocardiography development and the application of its principles in modern medicine. Today, the electrocardiography is an integral part of the diagnosis of patients with cardiac pathology

and monitoring patients with high cardiac risk. More than 100-year history of electrocardiography and cardiac monitoring can be divided into four time periods.

Keywords: electrocardiography; telemedicine; monitoring; lead