

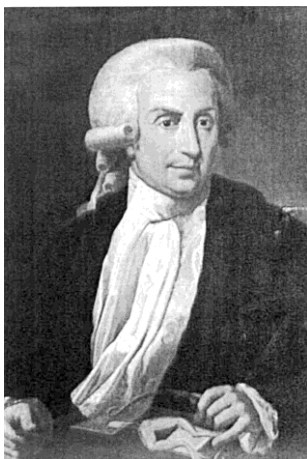
УДК 616.12-073.7(09):612.014.42(09)

**ИСТОКИ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИИ И ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ****Тетенев Ф.Ф., Степанищева А.В.***Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск***РЕЗЮМЕ**

В статье представлены основные этапы развития электрофизиологии и электрокардиографии, названы имена ученых, разрабатывавших фундаментальные аспекты электрофизиологии, а также прикладное направление клинической электрокардиографии. Наиболее крупными учеными, разрабатывавшими фундаментальное направление в электрофизиологии были С. Аррениус, В.Ю. Чаговец, Ю. Бернштейн, А. Ходжкин и Э. Хаксли. В развитии прикладного направления в электрокардиографии велика роль В. Эйнтховена, А.В. Самойлова и Н. Холтера. В период становления электрофизиологии и электрокардиографии и в настоящее время отечественные исследователи были и остаются активными участниками разработки преимущественно прикладных разделов электрофизиологического исследования сердца.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрофизиология, электрокардиография.

Существование «животного электричества» открыл Луиджи Гальвани своими опытами, проведенными в 1791 г. [6, 16]. В первом опыте препарат задних конечностей лягушек подвешивался на цинковой стойке с помощью медного крючка. Когда конечность лягушки касалась цинковой стойки, ее мышцы сокращались.



Луиджи Гальвани (1737–1789)

Исследователь предположил, что сокращения обусловлены возникновением в мышцах электрического тока. Однако электрический ток мог возникнуть в месте соприкосновения двух металлов, на что указал А. Volta. Во втором опыте Л. Гальвани наблюдал сокращение мышцы, если к ней прикладывались одно-

временно неповрежденный продольный участок нерва и его поперечный срез. Источником электродвижущей силы при этом была разность потенциалов между нормальным и поврежденным участком нерва.

В 1830 г. Карло Маттеучи поместил седалищный нерв нервно-мышечного препарата на обнаженные мышцы другого препарата. При сокращении последних сокращались мышцы другого препарата. Так был создан живой электрометр, с помощью которого исследователи обнаруживали появление электрического тока при сокращении скелетных мышц.

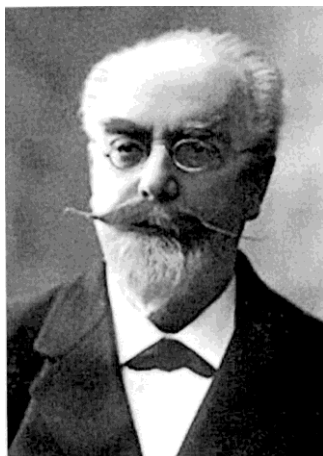


Карло Маттеучи (1811–1868)

В 1875 г. французский физик Габриэл Липпман (нобелевский лауреат 1908 г. за создание особого способа цветной фотографии) изобрел капиллярный электрометр. Электрометр представлял собой стеклянную

✉ Тетенев Фёдор Фёдорович, тел. 8 (3822) 53-07-27;  
e-mail: ftetenev@bk.ru

трубку, один конец которой вытягивали в капилляр и наполняли разведенной серной кислотой. Широкий конец трубки заполняли ртутью. Предполагаемый источник тока (нервно-мышечный препарат, мышечный орган, или поверхность тела) соединялся проволочками с концами трубки. В трубке на границе раздела между ртутью и кислотой образуется мениск. Появление электрического тока (разность потенциалов) вызывало смещение мениска ртути. Движение мениска происходит в вертикальной плоскости. Оно регистрировалось на фотопленке, двигающейся в горизонтальной плоскости. При этом ртуть не просвечивается. Часть пленки засвечивалась лучами света, проходящими через раствор кислоты. Регистрация электрокардиограммы на фотопленке стала основным способом в начале и середине XX в. В 1876 г. Е. Марей таким способом зарегистрировал электрические токи сердца черепахи.



Габриэл Липпман (1845–1921)



Огюст Дезире Уоллер (1856–1922)

Наибольших успехов в использовании электрометра добился О. Уоллер. С помощью цинковых электродов, обернутых замшей и смоченных в рассоле, прижатых спереди и сзади к грудной клетке человека

он зарегистрировал быстрые, небольшой амплитуды движения ртути в такт биения сердца. В эксперименте с изолированным сердцем котенка он показал, что электрическая активность сердца опережает его механические движения.

С помощью электрометра Уоллер доказал, что ткани тела имеют такую же электропроводность, как и физиологический раствор. Кроме того, ему удалось подойти к принципу формирования отведений электрокардиограммы, которые впоследствии были названы стандартными. Он погружал руки, ноги в раствор, регистрировал потенциалы (рис. 1) и определил «благоприятные» и «неблагоприятные» отведения для получения более четких показателей электрометра. Благоприятными были отведения: 1) обе руки; 2) левая нога – правая рука; 3) левая рука – левая нога; 4) левая рука – ротовая полость. В первых трех вариантах угадываются три стандартных отведения. Интересным был опыт Уоллера с двумя пациентами с дэкстрокардией, когда значение «благоприятных» отведений подтверждалось. В данном случае речь идет о наклоне суммарного вектора, по современному – о положении электрической оси QRS.

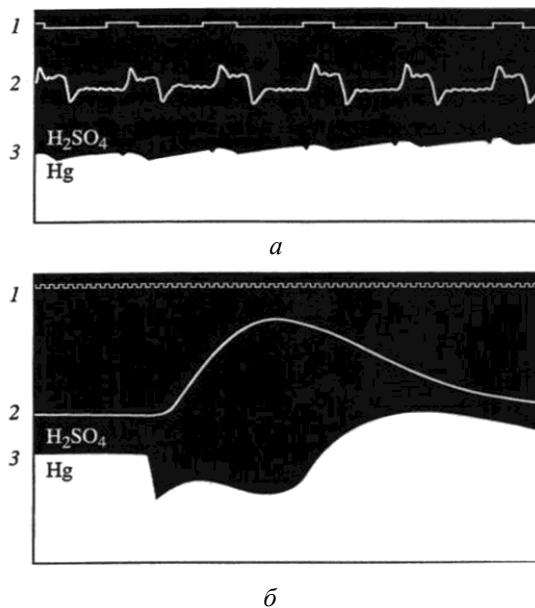


Рис. 1. Записи О. Уоллера электрокардиограммы при помощи капиллярного электрометра (по В.М. Хаютину и Е.В. Лукошковой, с изменениями): а – электрокардиограмма человека: 1 – отметка времени 1 с; 2 – сигнал кардиометра (механическое движение сердца); 3 – электрокардиограмма (отведения: грудь (Hg), спина ( $H_2SO_4$ )); б – изолированное сердце котенка: 1 – отметка времени 0,05 с; 2 – сигнал кардиометра, характеризующего механическое движение сердца; 3 – электрокардиограмма (отведения: верхушка (Hg), основание ( $H_2SO_4$ ))

Таким образом, следует признать, что с исследований О. Уоллера берет начало не только векторная теория электрокардиографии, но также в целом и при-

кладное направление значения электрокардиографии в диагностике болезней сердца. Это направление является ведущим [5] и в настоящее время.

В развитии электрофизиологии и электрокардиографии весьма важен аспект фундаментальных исследований, направленных на раскрытие природы биоэлектрических явлений. Э. Дюбуа-Реймон в 1848 г. предложил гипотезу происхождения в мышцах токов покоя и токов действия. Полярно заряженные молекулы – диполи при возбуждении меняют свою полярность и являются источником биологического электричества.



Эмиль Генрих Дюбуа-Реймон (1818–1896)

В 1887 г. была создана теория электролитической диссоциации, за разработку которой ее автор Сванте Август Аррениус в 1903 г. был удостоен Нобелевской премии. Это был весьма многогранный исследователь в различных областях науки: астрономии, физике, химии, биохимии, биологии, физиологии. На первом Менделеевском съезде в Петербурге он представил математический анализ результатов исследований И.П. Павлова, посвященных секреции в системе пищеварения. Вместе с физиологом Р. Тигерстедтом он выдвинул кандидатуру И.П. Павлова на получение Нобелевской премии (1904) [2].



Сванте Август Аррениус (1859–1927)

Теория электролитической диссоциации легла в основу теоретических и экспериментальных исследований природы биологического электричества. В 1896 г. отечественный электрофизиолог В.Ю. Чаговец, еще будучи студентом, сформулировал и в дальнейшем экспериментально обосновал ионную теорию происхождения биоэлектрических потенциалов в живых тканях [1, 7].

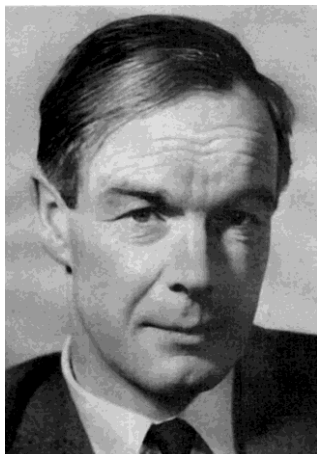


Василий Юрьевич Чаговец (1873–1941)

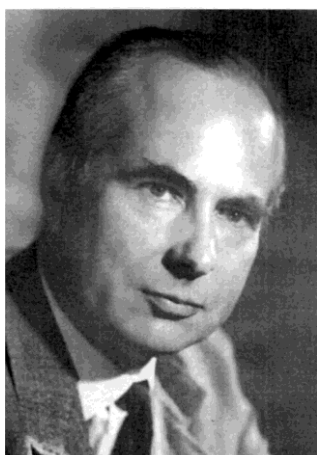
В 1902 г. немецкий физиолог Ю. Бернштейн (1839–1917) изложил мембранную теорию, в основе которой лежало представление об изменении проницаемости мембран для различных ионов при прохождении волны возбуждения. Деполяризация клетки мышечного волокна происходит в результате быстрого поступления ионов натрия в клетку. Реполяризация происходит медленнее в результате выхода ионов калия из клетки. Поддержание должной концентрации ионов осуществляется благодаря функционированию натриево-калиевого насоса (А. Ходжкин и Э. Хаксли, 1952) [8]. Исследования данного направления имели большое значение для создания современных методов лечения, в частности поддержания ионного гомеостаза клетки и всего организма. Работы этих ученых стали чрезвычайно важным этапом развития электрофизиологии с позиции передачи импульса возбуждения и торможения в центральной и периферической нервной системе, органах, мышцах, в том числе сердце. За эти открытия в 1963 г. Д. Экклсу, А. Ходжкину и Э. Хаксли была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине.

В 1889 г. Виллем Эйнтховен был в Лондоне на конференции, на которой О. Уоллер демонстрировал электрокардиограммы сердца человека, полученные с помощью электрометра. Электрокардиограмма была чрезвычайно несовершенной, что объяснялось низкой чувствительностью электрометра и высокой

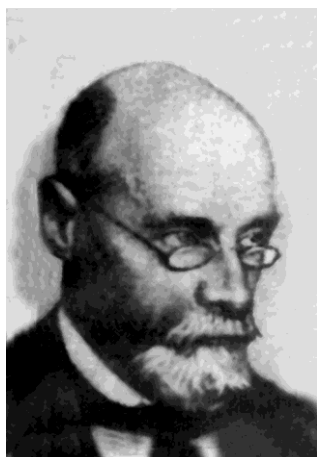
инерцией ртути. В. Эйнтховен предугадал перспективу нового метода исследования сердца и предпринял математическое усовершенствование расчетов. Однако успехов он добился только в 1903 г., создав высокочувствительный прибор на основе струнного гальванометра Агера, который использовался для приема трансатлантических сообщений [5, 15].



Алан Ходжкин (1914–1998)



Эндрю Хаксли (1917–2012)



Виллем Эйнтховен (1860–1927)

Первый электрокардиограф Эйнтховена был громоздким и весил около 270 кг, его обслуживали пять сотрудников. Регистрация первой электрокардиограммы (ЭКГ) (рис. 2) была революционным прорывом

к кардиологии. Эйнтховен предложил термин «электрокардиограмма», 3 стандартных отведения, дал название зубцам электрокардиограммы, определение электрической оси QRS. Знаменитые треугольники Эйнтховена легли в основу векторной теории, объясняющей диагностическую ценность электрокардиографии. Изобретение Эйнтховеном фонокардиографа в 1908 г. положило начало фонокардиографии, изучению природы тонов сердца и поликардиографии для изучения показателей гемодинамики.

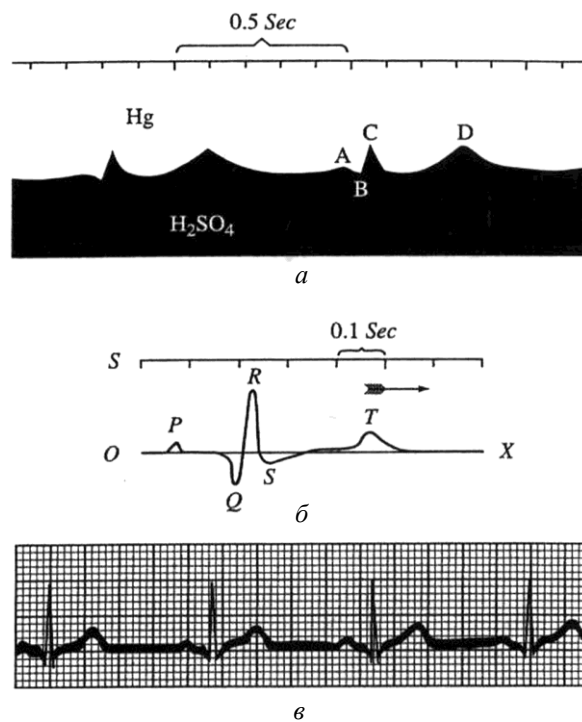


Рис. 2. Электрокардиограмма человека, снятая В. Эйнтховеном в 1902 г. (по В.М. Хаютину и Е.В. Лукошковой): *a* – запись ЭКГ при помощи усовершенствованного капиллярного электрометра; *б* – результат коррекции записи капиллярного электрометра с учетом его инерционности. Впервые зубцы ABCD В. Эйнтховен заменил на QRST; *в* – электрокардиограмма, зарегистрированная при помощи струнного гальванометра

В России основателем электрокардиографии был Александр Филиппович Самойлов – коллега и друг В. Эйнтховена. Он установил зависимость ЭКГ от фазы дыхания, дал экспериментальное обоснование возможности кольцевого движения волны возбуждения по миокарду предсердий при мерцательной аритмии, описал монофазную кривую ЭКГ, объясняющую изменение электрокардиограммы при инфаркте миокарда. Фунда-

ментальные исследования ученого были посвящены вопросам нервно-мышечной физиологии, электрофизиологии и химизма нервно-мышечной регуляции сердечной деятельности [1, 8]. А.Ф. Самойлов в 1892–1894 гг. работал в институте экспериментальной медицины у И.П. Павлова, с 1894 г. – в лаборатории И.М. Сеченова, а с 1896 г. стал приват-доцентом медицинского факультета Московского университета. С 1903 г. он профессор зоологии, сравнительной анатомии и физиологии физико-математического факультета Казанского университета. Одновременно с 1921 г. А.Ф. Самойлов был профессором физиологии Ветеринарного института и физико-математического факультета 1-го Московского государственного университета. Он был организатором и консультантом первых ЭКГ-кабинетов в Москве.



Александр Филиппович Самойлов (1867–1930)

После смерти В. Эйнтховена возглавить его кафедру было предложено А.Ф. Самойлову. В этом выразилось признание заслуг отечественного ученого мировой элитой исследователей в данной области науки. Вполне реально было ожидать от него серьезных успехов в развитии электрокардиографии. Однако А.Ф. Самойлов ответил на приглашение, что русские ученые должны работать в России. Причиной такого ответа могла быть патриотическая ориентация, однако, вероятно, оказала влияние и послереволюционная изоляция России. Авторитет А.Ф. Самойлова в мировой науке был действительно высоким. По приглашению крупного кардиолога Пауля Уайта он неоднократно выезжал в США читать лекции в Массачусетском университете.

Интерес представляет история клинко-электрокардиографического описания I степени атриовентрикулярной блокады. Голландский врач К. Венкебах (1864–1940) изучал анатомию атриовентрикулярного соединения. Прогрессирующее ослабление I тона при постоянной силе II тона сердца он объяснил нарастающим блокадой атриовентрикулярного соединения задол-

го до изобретения электрокардиографа [9]. А.Ф. Самойлов продемонстрировал клинические и электрокардиографические проявления блокады I степени, снижение силы I тона и удлинение интервала PQ до выпадения QRS и сердечного сокращения. Этот феномен был назван периодами Венкебаха–Самойлова.

Расширение диагностических возможностей электрокардиографии было связано с созданием новых отведений. Так, Э. Гольдбергер в 20-х гг. XX в. предложил использовать усиленные отведения от конечностей (AVL, AVR, AVF), а Ф. Вильсон предложил однополюсные грудные отведения ( $V_1$ – $V_6$ ); 12 отведений в электрокардиографии стали обязательными в диагностике при заболеваниях внутренних органов. Для уточнения состояния так называемых немых зон миокарда для обязательных 12 отведений использовались дополнительные отведения по Вильсону ( $V_7$ –9,  $V_3r$ – $V_4r$ ), по В. Небу, Слопаку и др.



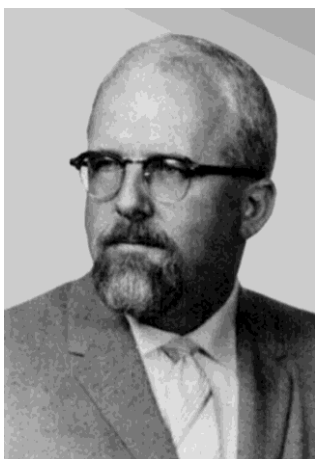
Эммануил Гольдбергер (1913–1994)



Франк Вильсон (1890–1952)

В 1961 г. появилось новое направление в кардиологии – холтеровское мониторирование [11], заключающееся в том, что ЭКГ снимали в течение 10, 12 и

24 ч в условиях реальной жизни пациента. Осуществлялся постоянный контроль изменения ритма сердца и состояния метаболических нарушений. Автор этого направления Норманн Холтер – исключительно многогранный, талантливый исследователь. От изучения животного электричества он пришел к регистрации явления биомagnetизма. Обладая энциклопедическими знаниями в области физики, химии, он создал новое направление в медицине, связанное с использованием достижений ядерной физики в диагностике и лечении больных – ядерную медицину.



Норман Холтер (1914–1983)

Количество дополнительных отведений для диагностики состояния сердца не было ограниченным. Так, при поиске ЭКГ-признаков легочного сердца снимали более ста отведений [13]. Для более точного определения локализации повреждения миокарда при ишемической болезни сердца, при нарушениях ритма сердечной деятельности была разработана методика электрокардиографического картирования сердца. Весомый вклад в это направление Ю.Д. Сафонова, представителя воронежской школы кардиологов [10, 14]. Интересным разделом его работы было изобретение способа определения объема камер сердца и толщины миокарда желудочков сердца с помощью специальных отведений электрокардиограммы. Совместно с инженерами им был создан отечественный эхокардиограф. Ю.Д. Сафонов создал теорию гидравлического удара, объясняющую природу тонов сердца.

Картирование сердца совместно с сотрудниками Томского политехнического института активно разрабатывал представитель томской школы кардиологов профессор Я.С. Васильцев [3, 4]. Эта методика постоянно совершенствуется, регистрируется до 240 отведений. Обработка результатов исследования при этом осуществляется с помощью математических компьютерных программ [17]. Особенно высокие

достижения электрокардиографии связаны с развитием диагностики и лечения нарушений ритма сердечной деятельности, в частности, томской школы аритмологов, созданной академиком РАМН, профессором В.В. Пекарским [10].



Юрий Дмитриевич Сафонов (1928–1986)



Ярослав Степанович Васильцев (1935–2006)



Викентий Викентьевич Пекарский (1937–1994)

Таким образом, в период становления электрофизиологии и электрокардиографии и в настоящее время отечественные исследователи были и остаются активными участниками разработки фундаментальных и прикладных аспектов важнейшего электрофизиологического метода исследования при различных формах патологии сердечнососудистой системы.

#### Литература

1. *Алешин И.А.* В.Ю. Чаговец и современные взгляды на происхождение биоэлектрических потенциалов (к 95-летию со дня рождения) // Тр. VIII науч. сессии Актыбинского мед. ин-та. 1967. Алма-Ата: Картпредприятие, 1969. С. 26–27.
2. *Аррениус Сванте Август* // Большая медицинская энциклопедия. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1975. Т. 2. С. 166.
3. *Васильцев Я.С., Кашкан А.А., Синайский Е.В., Максимов И.В., Кун В.И., Марков В.А.* Банк данных комплекса автоматизированного прекардиального картирования при интенсивном контроле за больными инфарктом миокарда // Актуальные вопросы кардиологии. Томск: Изд-во ТГУ, 1987. С. 26–30.
4. *Васильцев Я.С., Максимов И.В., Варваренко В.И., Протасов К.Т., Манчакиди Г.Г., Кашкан А.А.* Разработка алгоритмов контроля динамики очага инфаркта миокарда по данным ЭКГ-мэппинга // Теория и практика автоматизации кардиологических исследований: материалы симп. специалистов стран – членов СЭВ. Каунас, 1990. С. 66–69.
5. *Ионаш В.* Клиническая кардиология. 2-е изд. Прага: Гос. изд-во мед. лит. ЧССР, 1968. Т. 1. 1047 с.
6. *Лебединский А.В.* Роль Гальвани и Вольта в истории физиологии // А. Гальвани и А. Вольта. Избранные работы о животном электричестве. М.; Л.: Биомедгиз, 1937. С. 7–63.
7. *Лебединский А.В., Мозжухин А.С.* И.П. Павлов о работах В.Ю. Чаговца // Физиологический журнал СССР. 1953. № 2. С. 250–256.
8. *Макаров Л.М.* Александр Филиппович Самойлов – основатель русской электрофизиологической школы // Кардиология. 2011. № 10. С. 68–70.
9. *Манджони С.* Секреты клинической диагностики: пер. с англ. М.: БИНОМ, 2004. 608 с.
10. *Попов С.В.* Основные этапы становления и развития Томской школы аритмологов // Вестн. аритмологии. 2010. № 60. С. 13–22.
11. *Рассадина А.А., Тараканов С.А., Кузнецов В.И.* Норман Холтер и его метод дистанционного кардиологического мониторинга. История вопроса // Бюл. сиб. медицины. 2013. Т. 12, № 3. С. 162–166.
12. *Сафонов Ю.Д., Провоторов В.П., Лубэ В.М., Якименко Л.И.* Метод регистрации магнитного поля сердца – магнитокардиография // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1967. Т. 64, № 9. С. 111–113.
13. *Тарлов Е.Л.* Оценка состояния сердца у больных obstructивной эмфиземой легких по данным электро-, вектор- и баллистокардиографического методов исследования: дис. ... д-ра мед. наук. Томск, 1969.
14. *Тетнев Ф.Ф.* Физические методы исследования в клинике внутренних болезней (клинические лекции). 2-е изд. перераб. и доп. Томск: Томский гос. ун-т, 2001. 392 с.
15. *Фогельсон Л.И.* Болезни сердца и сосудов. М.; Л.: Изд-во биол. и мед. лит., 1935. 651 с.
16. *Хаятин В.М., Лукошкова Е.В.* Очерки истории классической физиологии сердца: начальная фаза систолы // Успехи физиологических наук. 2011. Т. 42, № 2. С. 25–40.
17. *Хлынин М.С., Баталов Р.Е., Попов С.В., Криволапов С.Н.* Неинвазивная топическая диагностика желудочковых нарушений ритма сердца // Вестник аритмологии. 2013. № 73. С. 49–53.

Поступила в редакцию 28.01.2014 г.

Утверждена к печати 07.05.2014 г.

**Тетнев Фёдор Фёдорович** (✉) – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой пропедевтики внутренних болезней СибГМУ (г. Томск).

**Степанищева А.В.** – студентка 4-го курса лечебного факультета СибГМУ (г. Томск).

✉ **Тетнев Фёдор Фёдорович**, тел. 8 (3822) 53-07-27; e-mail: ftetnev@bk.ru

## SOURCES OF THE ELECTROPHYSIOLOGY AND ELECTROCARDIOGRAPHY

Tetenev F.F., Stepanischeva A.N.

Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation

## ABSTRACT

The basic stages of development of electro-physiology and electrocardiography, 17 portraits and years of life of scientists, developing the fundamental aspects of electro-physiology, and also applied direction clinical electrocardiography, are presented in the article. By the most large scientists, developing fundamental direction in electro-physiology were P. Arrhenius, V.Yu. Chagovec, Yu. Bernshteyn, A. Khodzhkin and E. Khakli. In development of the applied direction in electrocardiography the role is great of V. Eyntkhoven, A.V. Samoilov and N. Holter. In period of formation of formation of electro-physiology, electrocardiography and at present scientists in ours country preferently working in applied direction.

**KEY WORDS:** electrophysiology, electrocardiography.

*Bulletin of Siberian Medicine*, 2014, vol. 13, no. 3, pp. 111–118

## References

1. Alyoshin I.A. V.Yu. Chagovets and modern views on the origin of bioelectric potentials (to the 95<sup>th</sup> anniversary of birthday). *Proceedings of the VIII scientific session of the Aktyubinsk Medical Institute*. 1967. Alma-Ata, Kartpredpriyatie Publ., 1969. Pp. 26–27 (in Russian).
2. Arrhenius Svante August. *Great Medical Encyclopedia*. 3d ed. Moscow, Soviet encyclopedia Publ., 1975. Vol. 2, p. 166 (in Russian).
3. Vasil'tsev Ya.S., Kashkan A.A., Sinaisky Ye.V., Maksimov I.V., Kun V.I., Markov V.A. Data Bank of automated precardiac mapping complex under intensive monitoring of patients with myocardial infarction. *Actual problems of Cardiology*. Tomsk, Tomsk State University Publ., 1987. Pp. 26–30 (in Russian).
4. Vasil'tsev Ya.S., Maksimov I.V., Varvarenko V.I., Protasov K.T., Manchakidi G.G., Kashkan A.A. Development of control algorithms of a seat of myocardial infarction dynamics according to ECG-mapping. *Theory and practice of automation cardiology research: materials of the Symposium of experts from the countries-members of the Comecon*. Kaunas, 1990. Pp. 66–69 (in Russian).
5. Ionash V. *Clinical cardiology*. 2<sup>nd</sup> ed. Prague, State publishing house of medical literature Czechoslovakia, 1968. Vol. 1. 1047 p. (in Russian).
6. Lebedinsky A.V. The role of Galvani and Volta in the history of physiology. A. *Galvani and A. Volta. Selected works of the animal electricity*. Moscow – Leningrad, Biomedgiz Publ., 1937. Pp. 7–63 (in Russian).
7. Lebedinsky A.V., Mozzhuhin A.S. *Physiological Journal of USSR*, 1953, no. 2, pp. 250–256 (in Russian).
8. Makarov L.M. *Cardiology*, 2011, no. 10, pp. 68–70 (in Russian).
9. Mangione S. *The secrets of the clinical diagnosis*: translated from English. Moscow, BINOM Publ., 2004. 608 p. (in Russian).
10. Popov S.V. *Journal of Arrhythmology*, 2010, no. 60, pp. 13–22 (in Russian).
11. Rassadina A.A., Tarakanov S.A., Kuznetsov V.I. *Bulletin of Siberian Medicine*, 2013, vol. 12, no. 3, pp. 162–166 (in Russian).
12. Safonov Yu.D., Provotorov V.P., Lube V.M., Yakimenko L.I. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 1967, vol. 64, no 9, pp. 111–113 (in Russian).
13. Tarlov Ye.L. *Assessment of the heart condition in patients with obstructive emphysema according to electro-, vector- and ballistocardiography methods*. Dis. Dr. med. Sci. Tomsk, 1969 (in Russian).
14. Tetenev F.F. *Physical methods of research in the clinic of internal medicine (clinical lectures)*. 2<sup>nd</sup> ed. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2001. 392 p. (in Russian).
15. Fogelson L.I. *Diseases of heart and vessels*. Moscow, Leningrad, Publishing house of the biological and medical literature, 1935. 651 p. (in Russian).
16. Hayutin V.M., Lukoshkova Ye.V. *Achievements of Physiological Sciences*, 2011, vol. 42, no 2, pp. 25–40 (in Russian).
17. Khlynin M.S., Batalov R.Ye., Popov S.V., Krivolapov S.N. *Journal of Arrhythmology*, 2013, no. 73, pp. 49–53 (in Russian).

Tetenev Fyodor F. (✉), Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

Stepanischeva A.N., Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation.

✉ Tetenev Fyodor F., Ph. +7 (3822) 53-07-27; e-mail: ftetenev@bk.ru