

А. Н. ИВАНОВА, М. П. РОЩЕВСКИЙ

## ЭТЬЕНН-ЖЮЛЬ МАРЕЙ И ПЕРВАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ У ЖИВОТНЫХ

Статья посвящена вкладу французского физиолога XIX в. Этьенна-Жюля Марей в развитие электрофизиологии. В ней представлена краткая биография ученого, отмечены его основные научные интересы. Особое внимание уделено важному достижению Марей в области электрокардиологии – первой регистрации электрической активности изолированного сердца лягушки и черепахи, которую он осуществил в 1876 г. при помощи капиллярного электрометра Липпмана (описание этого прибора также приводится в статье). Авторы приходят к выводу, что исследования Марей способствовали переходу к новому этапу развития электрокардиологии.

*Ключевые слова:* история электрокардиологии, Э.-Ж. Марей, электрическая активность сердца, регистрация электрокардиограммы, капиллярный электрометр Липпмана.

Исследования электрической активности сердца, которые впоследствии привели к становлению и развитию электрокардиологии, начались в XIX в. Среди тех, кто занимался изучением электрических явлений в сердечной мышце, был и известный к тому времени французский физиолог Этьенн-Жюль Марей, который посвятил этой проблеме несколько научных работ. Так, в 1937 г. во вступительной статье А. В. Лебединского к переводам работ Л. Гальвани и А. Вольты отмечается что, «в 70-х годах прошлого столетия Марей, воспользовавшись изобретенным учеником Гельмгольца Липпманом капиллярным электрометром, зарегистрировал “токи действия” сердца лягушки и черепахи»<sup>1</sup>. Капитальный труд по истории электрокардиографии<sup>2</sup>, опубликованный в 1964 г., упоминает о регистрации Мареем электрической активности в сердцах лягушки и черепахи. В изданной в 1972 г. монографии по истории биологии содержатся сведения о том, что «в 70-х годах [XIX в.] Марей зарегистрировал [электрические явления в сердце] у животного с помощью капиллярного электрометра Липпмана»<sup>3</sup>.

Первая инструментальная регистрация электрической активности изолированного работающего сердца у животных (лягушка и черепаха), о которой шла речь выше, была проведена и опубликована Мареем в 1876 г. Складывается впечатление, что ни сам Марей, ни физиологи того времени не при-

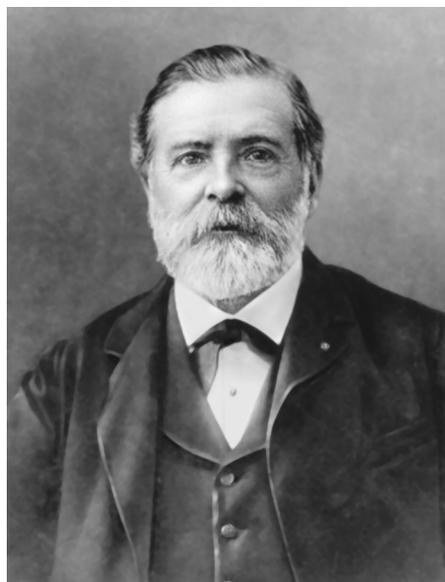
<sup>1</sup> Лебединский А. В. Роль Гальвани и Вольта в истории физиологии // Гальвани А., Вольта А. Избранные работы о животном электричестве. М.; Л., 1937. С. 58.

<sup>2</sup> Burch, G. E., DePasquale, N. P. A History of Electrocardiography. Chicago, 1964. P. 264.

<sup>3</sup> Бабский Е. Б., Григорьян Н. А. Развитие физиологии животных и человека // История биологии с древнейших времен до начала XX века / Ред. С. Р. Микулинский. М., 1972. С. 388.

дали этому факту должного внимания. Столетний юбилей этого события был отмечен только в Сыктывкаре на I Международном симпозиуме по сравнительной электрокардиологии в 1979 г. Исследователи из СССР, Бельгии, ГДР, Нидерландов, США, Франции, ФРГ и Чехословакии заслушали тогда доклад одного из авторов настоящей статьи<sup>4</sup>, посвященный первой инструментальной регистрации электрограммы сердца. Детальное изучение научных трудов Марей – его статей и монографии – позволяет оценить влияние исследований ученого на формирование и дальнейшее развитие электрокардиологии, решению этой задачи и посвящена предлагаемая вниманию читателя работа.

Исследованиям Марей предшествовали несколько важных открытий в области электрофизиологии. Большое значение для изучения электрических явлений в живых организмах имело событие, произошедшее в последней четверти XVIII в. В 1786 г. итальянский ученый Луиджи Гальвани обнаружил, что мышца лапки препарированной лягушки сокращалась, если ее и подходящего к ней нерва касалась дуга из двух металлов. Это открытие вызвало немалый интерес у исследователей. Природу электрических явлений пытались изучить, исследуя нервы, мышцы, органы<sup>5</sup>, стремясь найти объяснение этому феномену. Итальянский физик Карло Маттеуччи в 40-е гг. XIX в. провел измерение электрических потенциалов на вырезанных сердцах недавно убитых голубей. Ученый изготовил «батарею» из участков сердец, соединенных таким образом, чтобы внутренняя поверхность одного элемента «батареи» касалась внешней поверхности другого, подключил ее к гальванометру и выявил наличие электрического потенциала между внутренней и внешней поверхностями мышцы<sup>6</sup>. Немецкий физиолог Эмиль Дюбуа-Реймон повторил опыты Маттеуччи уже на сердцах лягушки, саламандры, морской свинки и домашней мыши<sup>7</sup>. В результате проведенных Маттеуччи и Дюбуа-Реймоном экспериментов было обнаружено наличие электрических явлений в изолированных неработающих сердцах животных.



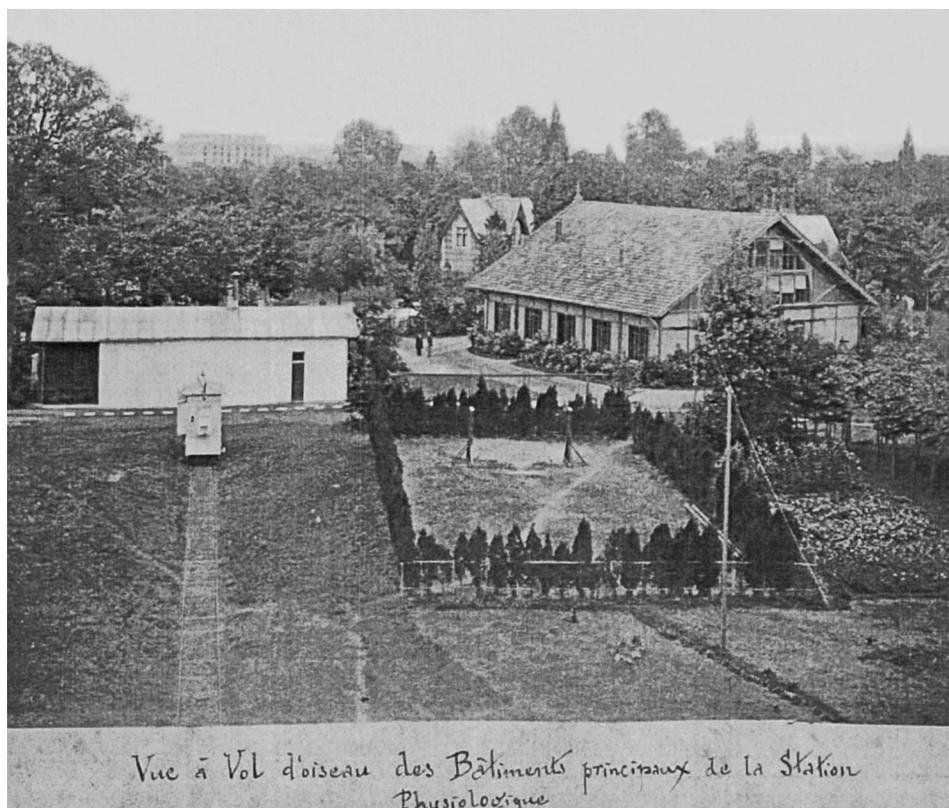
Портрет Э.-Ж. Марей, выполненный П. Надаром

<sup>4</sup> Рощевский М. П. Столетие электрокардиографии и перспективы развития сравнительной электрокардиологии // Сравнительная электрокардиология: материалы международного симпозиума / Ред. М. П. Рощевский. Л., 1981. С. 12–16.

<sup>5</sup> Бабский, Григорьян. Развитие физиологии... С. 386, 388.

<sup>6</sup> Matteucci, Ch. Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux. Paris, 1844. P. 60.

<sup>7</sup> Du Bois-Reymond, E. Untersuchungen über tierische Elektrizität. Zweiter Band, erste Abtheilung. Berlin, 1849. S. 199 (см. также: <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/references?id=lit98>).



*Физиологическая станция Э.-Ж. Мареля*

Исследования электрической активности работающего сердца начались в 50-е гг. XIX в. В 1856 г. немецкие ученые Альберт фон Кёлликер и Генрих Мюллер опубликовали результаты своих опытов на самопроизвольно сокращающемся сердце лягушки. На стеклянную пластину они помещали сердце с отрезанной верхушкой и изолированное лягушачье бедро с седалищным нервом. Нерв укладывали так, чтобы он одновременно касался поверхности и поперечного среза желудочка сердца. При наложении нерва указанным способом исследователи наблюдали сокращение мышцы бедра во время каждого сокращения сердца<sup>8</sup>. В результате этого эксперимента было установлено, что электрические явления в работающем сердце лягушки возникали при каждом его сокращении.

Наличие биоэлектрических потенциалов в сердце теплокровных животных впервые обнаружил великий русский физиолог Иван Михайлович Сеченов<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> *Kölliker, A., Müller, H.* Nachweis der negativen Schwankung des Muskelstroms am natürlich sich kontrahierenden Herzen // Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg. 1856. Bd. 6. S. 528–533.

<sup>9</sup> *Рощевский.* Столетие электрокардиографии... С. 13.

В прижизненном (1862) издании книги Сеченова «О животном электричестве» на с. 115 говорится:

Есть очень красивая форма опыта вторичного сокращения с мышцы: живому кролику вскрывают грудную полость, обнажают сердце от сумки и кладут на сердечный желудочек нерв движущего аппарата лягушки таким образом, чтобы он касался разом верхушки и передней стенки. Мышца лягушачьего аппарата при каждой систоле желудочка вздрагивает<sup>10</sup>.

К сожалению, до сих пор ни в одном учебнике по физиологии и даже в биографии Сеченова не упоминается об этом очень важном для физиологии факте: открытии существования в работающем сердце млекопитающих электрических явлений.

На тот момент существовали только два прибора, при помощи которых можно было констатировать наличие электрических явлений в сердечной мышце: нервно-мышечный препарат лягушки и гальванометр, который обладал низкой чувствительностью. Поэтому исследования электрических явлений в сердце получили свое продолжение только после того, как появились технические средства для их регистрации.

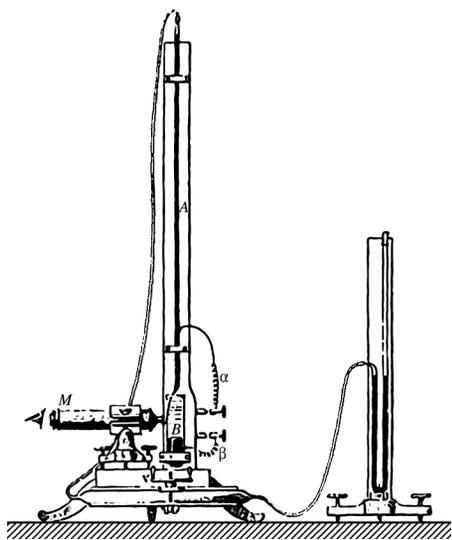
Прорывом в этой области стало изобретение в 70-е гг. XIX столетия французским физиком Габриэлем Липпманом (1845–1921) капиллярного электрометра. В основу прибора было положено явление электрокапиллярности: изменения поверхностного натяжения на границе раздела двух фаз вследствие скачка электрического потенциала на этой границе<sup>11</sup>. Капиллярный электрометр состоял из стеклянной трубки высотой 1 м и диаметром 7 мм, закрытой на обоих концах и зафиксированной на подставке. Нижний конец трубки сужался в тонкий капилляр – до нескольких тысячных миллиметра. Этот капилляр погружался в сосуд с раствором серной кислоты, который продолжался в сосуде с ртутью. В стенку стеклянной трубки и в дно сосуда были впаяны платиновые проволочки, соединенные с зажимами. Чтобы оценить разность электрических потенциалов на границе двух фаз, отрицательный полюс элемента соединялся с проволокой, идущей от стенки стеклянной трубки, а положительный – с проволокой, идущей от дна сосуда с раствором серной кислоты, при этом возникала поляризация ртути, и ртуть в капилляре поднималась. Изменение положения ртути можно было наблюдать в микроскоп, увеличивающий изображение в 250 раз<sup>12</sup>. Именно это изобретение позволило Марей осуществить первую инструментальную запись электрокардиограммы животных.

Этьенн-Жюль Марей (1830–1904) – физиолог, изобретатель, член Французской медицинской академии и Французской академии наук, президент последней с 1895 г., иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук. Родился в Боне (Франция), обучался в медицинской школе в Париже, поступил на работу в госпиталь Кошен, получил степень доктора медицины, но затем решил заниматься физиологией. Помимо научной, Марей занимался

<sup>10</sup> Сеченов И. М. О животном электричестве. СПб., 1862. С. 115.

<sup>11</sup> Электрокапиллярные явления // Большой энциклопедический словарь. 2 изд. / Гл. ред. А. М. Прохоров. М., 1999. С. 1398 (см. также: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/334914>).

<sup>12</sup> Lippmann, G. Thèse présentée à la faculté des sciences de Paris pour obtenir la grade de docteur ès sciences physiques. Paris, 1875. P. 41 (см. также: [http://jubilotheque.upmc.fr/ead.html?id=TH\\_000129\\_001](http://jubilotheque.upmc.fr/ead.html?id=TH_000129_001)).



Капиллярный электрометр Литмана

преподавательской деятельностью на кафедре естественной истории в Коллеж де Франс<sup>13</sup>.

Научные интересы Марей были связаны с изучением системы кровообращения. Он занимался разработкой графического метода в физиологии, предназначенного для регистрации движения<sup>14</sup>. Интересы ученого включали и создание приборов для автоматической записи движения органов и всего организма человека и животных – сфигмографа, пневматической капсулы, кардиографа, хронографа. Марей оказал влияние и на развитие кинематографа. Он изобрел фотографическое ружье – устройство, с помощью которого можно было делать серию снимков – прообраз киноаппарата<sup>15</sup>. Изучение движения во всех его формах и проявлениях интересовало

исследователя в течение всей его жизни<sup>16</sup>. Марей писал, что на протяжении многих лет он посвящал свое время разработке и совершенствованию физиологических приборов. Ученый был потрясен важностью движения для жизненных функций и хотел сделать возможной его регистрацию<sup>17</sup>.

Для проведения исследований Марей оборудовал лабораторию в бывшем здании театра Комеди Франсез – первую лабораторию в Париже, созданную по частной инициативе для физиологических экспериментов<sup>18</sup>. Позже он отмечал, что, в отличие от лаборатории в Коллеж де Франс, в его частной лаборатории была возможность конструировать и преобразовывать инструменты для экспериментов в одном и том же помещении, что существенно экономило время. Но все же Марей стремился создать отдельную базу для исследований. По мнению ученого, существовавшие в то время классические физиологические лаборатории были хорошо приспособлены для вивисекции, тогда как для

<sup>13</sup> Марей, Этьенн Жюль // Энциклопедия Кольера // [http://www.onlinedics.ru/slovar/colier/m/marej\\_etjenn\\_zhjul.html](http://www.onlinedics.ru/slovar/colier/m/marej_etjenn_zhjul.html); Марей Этьен Жюль // Большой энциклопедический словарь... С. 691; Silverman, M. E. Etienne-Jules Marey: 19<sup>th</sup> Century Cardiovascular Physiologist and Inventor of Cinematography // *Clinical Cardiology*. 1996. Vol. 19. P. 339–341.

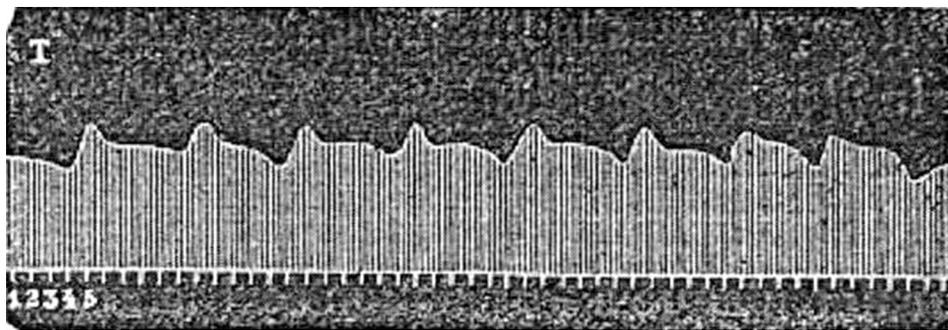
<sup>14</sup> Марей (Etienne-Jules Marey) // Энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона. СПб., 1896. Т. 36. С. 609.

<sup>15</sup> Марей, Этьенн Жюль // Энциклопедия Кольера // [http://www.onlinedics.ru/slovar/colier/m/marej\\_etjenn\\_zhjul.html](http://www.onlinedics.ru/slovar/colier/m/marej_etjenn_zhjul.html).

<sup>16</sup> Obituary. Etienne-Jules Marey // *British Medical Journal*. 1904. No. 1. P. 1289–1290 (см. также: <http://www.archive.org/details/1904britishmedic01brit>).

<sup>17</sup> Marey, E. J. The Work of the Physiological Station at Paris // *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*. 1896. P. 391–412 (см. также: <http://www2.biusante.parisdescartes.fr/livanc/?cote=marey066&do=chapitre>).

<sup>18</sup> Marey, Etienne-Jules // *Complete Dictionary of Scientific Biography*. 2008 // <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830902817.html>.



*Первая инструментальная регистрация электрической активности изолированного сердца черепахи, выполненная Мареем в 1876 г. с помощью капиллярного электрометра Липпмана*

проведения интересовавших Марей исследований были необходимы пространство, свежий воздух и естественное освещение. Поэтому ученый при помощи местных властей организовал физиологическую станцию, куда перевез оборудование, созданное им за годы научной работы. На отведенной под станцию территории были построены мастерская и собственно лаборатория, появились и необходимые Марееву площади для экспериментов, направленных на изучение живых объектов в движении<sup>19</sup>. Сама станция, которую начали использовать для экспериментальной работы в 1883 г.<sup>20</sup>, просуществовала некоторое время после смерти ученого, но в 1979 г. ее здание было разрушено, чтобы освободить пространство для расширяющегося стадиона «Ролан Гаррос»<sup>21</sup>.

В 1876 г. Мареем были проведены исследования на сердцах лягушки и черепахи. Он посчитал интересным сравнить механические колебания сердца с электрическими. По представлению ученого фазы «электрического колебания» сердца могли быть похожи на фазы механической работы, и с помощью электрометра Липпмана Марей пытался доказать свое предположение. Он размещал вырезанное сердце лягушки на двух неполяризованных электродах так, чтобы верхушка желудочка касалась одного электрода, а предсердие – другого. Некоторое время сердце было неподвижно, и электрометр фиксировал постоянную разницу электрических потенциалов между двумя исследуемыми точками. Но вскоре сердце возобновляло свои движения, и ртуть в столбике перемещалась, что указывало на уменьшение разницы потенциалов. Можно было наблюдать двухфазное перемещение ртути как отображение последовательных влияний предсердия и желудочка. Ученый захотел сфотографировать движения ртути в капиллярном столбике прибора и сравнить электрические колебания с записью механических колебаний, полученных с помощью миографа<sup>22</sup>.

<sup>19</sup> Marey. The Work of the Physiological Station... P. 396–397.

<sup>20</sup> Marey, E. J. The Physiological Station of Paris. I // Science. 1883. Vol. 2. No. 42. P. 678–681 (см. также: <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?marey107>).

<sup>21</sup> Lefebvre, T. Marey and Chronophotography // <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/marey/marey03a.htm>.

<sup>22</sup> Marey, E. J. Des variations électriques des muscles et du cœur en particulier étudiées au moyen de l'électromètre de M. Lippmann // Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences. 1876. T. 82. P. 975–977.

Марей считал, что фотографическое отображение движения ртути даст более полное представление о наблюдаемых электрических явлениях. Чтобы получить фотоснимки, нужно было либо сделать столбик ртути непрозрачным, превратив его тем самым в экран, либо сильно осветить на черном фоне столбик и использовать его как источник света<sup>23</sup>. Марей использовал второй способ, для чего они с Липпманом несколько изменили первоначальную конструкцию прибора. Ученые удлиннили капиллярный столбик, и он стал частью плотной трубки, одна из сторон которой имела тонкую и матовую поверхность. Поперек этой поверхности столбик капиллярной ртути казался тонкой и ярко освещенной линией, что дало возможность получить фотоснимки наблюдаемого явления. Для того чтобы затемнять луч света, попадавший на фотографическую пластинку, использовалась непрозрачность столбика с ртутью<sup>24</sup>. В ходе эксперимента изображение увеличивалось очень слабо, что позволяло не уменьшать интенсивность света полоски, которая появлялась на стеклянной матовой дощечке. Длина полоски менялась в зависимости от электрической полярности сигнала, который воздействовал на регистрирующий аппарат. Когда качество изображения, попадавшего на матовое стекло, было приемлемым для его фиксации, матовое стекло заменяли на фотографическую пластинку – дощечку с бромистым коллодием. Под действием винта фотографическая камера скользила, и изображение двигалось по всей длине фотографической пластинки<sup>25</sup>. Марей предполагал, что опыты, направленные на регистрацию электрических явлений, являются многообещающими для будущего<sup>26</sup>.

Суммируем вышесказанное. В XIX в. происходило интенсивное изучение электрических явлений в тканях и органах. Работы Гальвани, Маттеуччи и Дюбуа-Реймона создали основу для исследований в области электрофизиологии. Обнаружение Кёлликером и Мюллером электрических потенциалов в работающем сердце стало началом развития электрокардиологии. Для объективной оценки наблюдаемых в сердце электрических процессов требовалась их инструментальная регистрация. Переход на новый этап развития электрокардиологии произошел благодаря появлению чувствительного физического прибора – капиллярного электрометра Липпмана – и использованию Мареем этого прибора для записи электрических явлений в сердце. Приверженность Мареем графическому методу в физиологии способствовала разработке методики регистрации первой электрокардиограммы на изолированном сердце животного. С момента, когда наблюдаемая разность электрических потенциалов в сердце была зарегистрирована, открылись новые возможности для исследований в той области физиологии, которая впоследствии обрела наименование электрокардиологии.

<sup>23</sup> *Marey, E. J.* La méthode graphique dans les sciences expérimentales et principalement en physiologie et en médecine. Paris, 1885. P. 329–330 (см. также: <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?extcdf001>).

<sup>24</sup> *Marey, E. J.* Inscription photographique des indications de l'électromètre de Lippmann // *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences.* 1876. T. 83. P. 278–280.

<sup>25</sup> *Geddes, L. A., Roeder, R. A.* The First Electronic Electrocardiograph // *Cardiovascular Engineering: an International Journal.* 2002. Vol. 2. No. 2. P. 73–79.

<sup>26</sup> *Marey.* La méthode graphique... P. 331.