

A los 100 años del Electrocardiógrafo de Einthoven

Alfredo de Micheli-Serra,* Pedro Iturralde*

Recepción 16 de enero del 2001; aceptación 14 de febrero del 2001.

Resumen

Se recuerdan los estudios iniciales acerca de la “irritabilidad” de los tejidos animales por científicos iatrofísicos o iatromecánicos, que llevaron al descubrimiento de la llamada electricidad animal, vislumbrada por Luigi Galvani en el siglo XVIII y demostrada por Carlo Matteucci y sus continuadores en el siglo XIX. A partir de la rana “reoscópica”, que permitía valorar la corriente eléctrica en sentido cualitativo, se llegó a principios del siglo XX al electrocardiógrafo de cuerda presentado por Willem Einthoven en 1901. De ahí arrancó el camino que llevó a la construcción de aparatos siempre más perfeccionados hasta los sistemas actuales de mapeo endocárdico con tecnología magnética o con catéteres multipolares, que permiten identificar rápidamente el sitio de origen o las vías de propagación de una arritmia para su ablación con radiofrecuencia. Ahora se utiliza también la ecocardiografía intracardiaca para definir la anatomía de la aurícula derecha, durante la realización de la cartografía intracardiaca, con el fin de establecer los sitios más adecuados para dicha ablación. Por otra parte, se ha desarrollado un método lógico, i.e. racional, de la exploración eléctrica del corazón, introducido por Frank N. Wilson en Ann Arbor y aplicado con acierto por Sodi Pallares en México, del que son derivados importantes adelantos diagnósticos y notables implicaciones terapéuticas.

Palabras clave: *electricidad animal, galvanómetros antiguos, galvanómetro de cuerda, electrocardiografía, vectocardiografía, cartografías intracardiacas*

Summary

The initial studies about the “irritability” of animal tissues by iatrophysic and iatromechanic scientists are reviewed. These studies led to discover the so called animal electricity envisaged by Luigi Galvani in the XVIII century and demonstrated by Carlo Matteucci and his followers in the XIX. Beginning with the Galvani’s “reoscopic” frog, which allowed to assess the electrical current in a qualitative sense, it was possible to arrive, at the beginnings of the XX century, to the string electrocardiograph presented by Willem Einthoven in 1901. This opened the way that led to fabrication of ever more sophisticated instruments until the present systems of endocardial mapping by magnetic technology or by multipolar catheters, which permit to quickly identify the site of origin or the spreading ways of a tachycardia for their ablation with radio-frequency. Intracardiac echocardiography is also employed to define the anatomy of right atrium, during intracardiac cartography, in order to establish the most adequate sites for ablation. On the other hand, a logic i.e. rational, method for the interpretation of results from the electrical exploration of the heart has been developed. This one was introduced by Frank N. Wilson in Ann Arbor and has been fittingly applied by Demetrio Sodi Pallares in Mexico. Important diagnostic advances and notable therapeutic inferences have been derived from these latter developments.

Key words: *animal electricity, ancient galvanometers, string galvanometer, electrocardiography, vectorcardiography, intracardiac cartography*

* Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”.

Correspondencia y solicitud de sobretiros: Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez” Departamento de Farmacología, Juan Badiano No.1 Col. Sección XVI, C.P. 14080, México, D.F.

Introducción

Los estudios acerca de la “irritabilidad” de los tejidos animales, junto con los concernientes a la teoría fibrilar, representan un aspecto característico de la escuela iatrofísica. Según Sprengel, la doctrina mecanicista de los iatrofísicos constituyó un verdadero culto después de que fuera avalada por Descartes (1596-1650).

Quiso éste representar las funciones del cuerpo humano mediante el modelo de una máquina *cibernética* integrada por varias piezas y capaz de ejercer diferentes acciones. Tales conceptos están expuestos en su tratado de fisiología,¹ publicado de manera póstuma por Schuyl en 1662 y por Clerselier en 1664. Los máximos exponentes de la corriente iatrofísica o iatromecánica fueron Giovanni Alfonso Borelli en Pisa -éste había frecuentado en París la academia cartesiana del abate Bourdelot-, Giorgio Baglivi en Roma y Hermann Boerhaave en Leiden.

El iniciador de estudios sobre la “irritabilidad” de los tejidos animales fue el inglés Francis Glisson (1597-1677). Siguió esta senda Albrecht von Haller (1708-1777), discípulo de Boerhaave y padre de la fisiología experimental, quien publicara la apreciada monografía *Dissertatio de vasis cordis propriis* (Gotinga, 1737). Sus investigaciones fueron continuadas por el italiano Felice Fontana (1720-1805), quien estableció un fundamento serio de los estudios en torno a las propiedades bioeléctricas de los tejidos en múltiples publicaciones, especialmente en una de 1767.²

La electricidad en fisiología

Para estudiar lo que se denominaba “electricidad animal” se utilizó inicialmente la llamada rana reoscópica de Galvani, en la que la corriente eléctrica se valoraba en sentido cualitativo más que cuantitativo. Tras la construcción en 1811 del primer galvanómetro, un instrumento capaz de detectar y medir la corriente, y su perfeccionamiento por Leopoldo Nobili (1784-1835) inventor del termópilo, fue posible comprobar la existencia de corriente eléctrica en los músculos de las ranas. Sin embargo, no se consideraba ésta como “electricidad animal”. Aunque la llamada corriente de

lesión -verdadera electricidad animal- fuera demostrada con un galvanómetro por Nobili en 1827, sólo gracias a la publicación de los resultados experimentales de Carlo Matteucci,³ y más tarde de los de Kölliker y Müller,⁴ se estableció de manera definitiva la existencia de dicha corriente.

La demostración por Oersted⁵ de la íntima relación existente entre magnetismo y electricidad hizo posible la preparación de instrumentos capaces de medir la intensidad de las corrientes eléctricas originadas en los músculos. A partir de tales aparatos, se llegó al reótomo de Du Bois-Reymond (1849) y al reótomo diferencial de Bernstein. De este modo, la línea que va de Galvani a Nobili y a Matteucci llevó al conocimiento de la auténtica electricidad animal en la forma llamada corriente de lesión. De ahí se originó la labor decisiva de Du Bois Reymond, que abrió el campo de la electrofisiología. A su vez, el físico francés Gabriel Lippmann inventó en 1872 el electrómetro capilar, empleado posteriormente por el fisiólogo inglés Augustus Desiré Waller para obtener registros precursores del electrocardiograma clínico (1887).⁶

Nace la electrovectorscardiografía

La electrocardiografía se inició a principios del siglo XX cuando Willem Einthoven (Figura 1), catedrático de fisiología en la Universidad de Leiden, presentó su electrocardiógrafo de cuerda (1901).⁷ Poco después, pudo publicar tratados clínicos.⁸ El aparato original de Einthoven, máquina monumental e intrasportable, sufrió varios perfeccionamientos a partir de 1911, cuando comenzó a ser fabricado en serie por la compañía inglesa Cambridge & Paul Scientific Instrument Co.⁹ En los Estados Unidos de Norteamérica se introdujo el primer electrocardiógrafo, en la década de 1920, por un profesor del estado de Nueva York en Syracuse, donde se conserva aún como una pieza valiosa.¹⁰ El doctor Ignacio Chávez trajo a México el primer aparato (un Boullitte) en 1927 y Manuel Vaquero elaboró en 1928 la primera tesis recepcional sobre electrocardiografía.¹¹ Por otro lado, tras el intento pionero del fisiólogo ruso Alejandro Filipovich Samoylov, discípulo de Einthoven, en 1909,¹² hubo la publicación del texto de electrocardiografía clínica de Sir Thomas Lewis en 1913.¹³

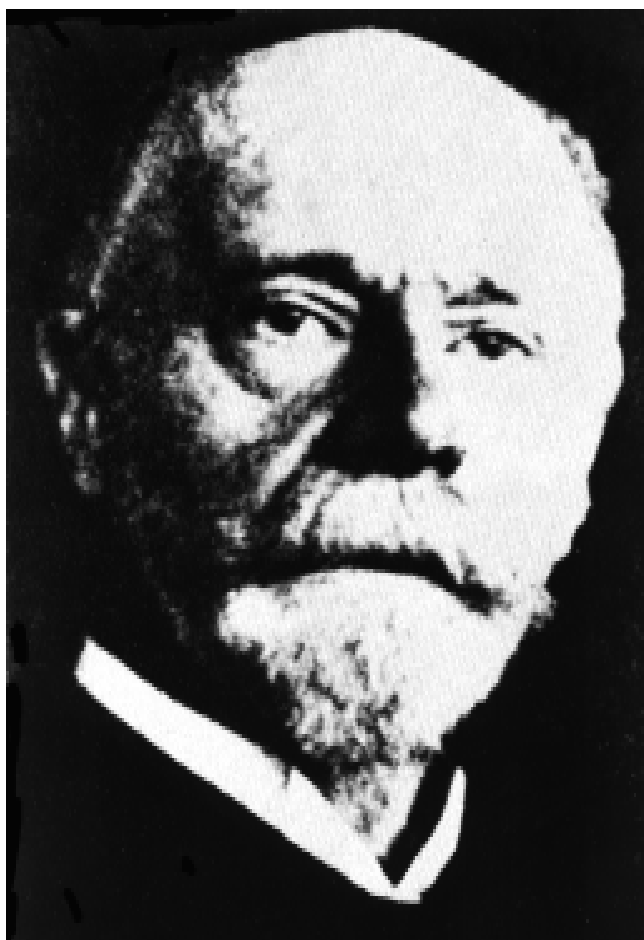


Figura 1. Willem Einthoven (1860 - 1927)

La exploración eléctrica, en sus modalidades electrocardiográfica y vectocardiográfica -esta última iniciada a fines de la década de 1930-¹⁴ examina el fenómeno eléctrico cardíaco con enfoque distinto: analítico y circunscrito para la electrocardiografía, sintético y espacial para la vectocardiografía. Al parecer, el propio Schellong, iniciador de tal procedimiento exploratorio, recomendaba el estudio vectocardiográfico no como una alternativa respecto al electrocardiográfico, sino como un complemento muy útil de este último. La electrocardiografía y la vectocardiografía se complementan, pues, integrándose en un método de exploración esencialmente funcional, que permite aun ciertas inferencias estructurales. El examen electrovectocardiográfico, que preconizara Frank N. Wilson en Ann Arbor y aplicara con acierto Demetrio Sodi Pallares a la cabeza de la Escuela Mexicana, puede considerarse lógico o racional

desde un punto de vista epistemológico.¹⁵ Efectivamente, en sus análisis e interpretaciones, sigue el método galileano inductivo-deductivo, amén de la analogía y la inferencia probabilística. El mérito fundamental de esta obra loable es haber llevado con audacia la *mirada* inquisitiva hasta el nivel celular, hecho del que derivaron importantes adelantos diagnósticos y notables implicaciones terapéuticas.¹⁶

Contribuciones electrocardiográficas modernas

Las principales contribuciones electrocardiográficas, en años recientes, son las de la Escuela Mexicana, que se han descrito en una publicación anterior.¹¹ Otros investigadores nacionales y extranjeros han contribuido asimismo al avance de la exploración eléctrica del corazón. Mediante el registro de los potenciales del tejido específico cardíaco primero *in vitro*, después en corazón de perro aislado y perfundido¹⁷ e *in situ*¹⁸⁻²⁰ y poco más tarde en el corazón humano,²¹ ha sido posible llegar a la estimulación intracavitaria programada y a los mapeos endocárdicos y epicárdicos, otras facetas de la exploración electrofisiopatológica. Dichos mapeos permiten la ablación por radiofrecuencia de los centros y de las vías del automatismo ectópico. Con las grabaciones en cinta magnética, gracias al sistema Holter,²² y las pruebas de tolerancia al ejercicio físico,²³ puede completarse la exploración eléctrica del corazón. Esta debe realizarse siempre con enfoque electrofisiológico estricto.

Una modalidad muy útil de exploración consiste en la electrocardiografía de alta resolución. En ésta, la forma más frecuente de promediación de las señales se basa en la alineación temporal, la sumación y la promediación de 100 complejos QRS o más. Puesto que el fenómeno eléctrico no es reproducible temporalmente, los datos sumados tienen una proporción señal/ruido elevada. La sumación de múltiples complejos QRS revela unas señales de baja amplitud, que no son discernibles en el electrocardiograma convencional. La señal promediada se filtra para eliminar las frecuencias bajas (inferiores a 25 - 40 Hz) en el margen de la onda T, lo cual mejora aún más el análisis de las porciones terminales del complejo QRS. Los da-

tos promediados pueden ser analizados en el dominio del tiempo o de la frecuencia. El análisis en el dominio temporal es semejante, desde el punto de vista conceptual, al análisis electrocardiográfico estándar. De hecho, en él se realizan básicamente mediciones de la parte terminal de un complejo QRS muy amplificado. El objeto principal de la promediación de señales es, en la actualidad, la detección de potenciales de baja amplitud (potenciales tardíos) al final del complejo QRS.

Una nueva aplicación de dicho procedimiento es la medición de la duración de la onda P para identificar los sujetos con riesgo de fibrilación auricular. Se ha observado, en estudios retrospectivos, que la duración de la onda P, medida mediante promediación de señales, es mayor en los sujetos con antecedentes previos de fibrilación auricular y es más precisa para la identificación de tales pacientes que la duración de la onda P en el electrocardiograma convencional. Un reciente examen prospectivo ha puesto de manifiesto que la duración de la onda P, en el estudio preoperatorio, predecía la aparición de fibrilación auricular postoperatoria en enfermos sometidos a cirugía cardíaca. Evidentemente la duración de la onda P está en función del grado del daño miocárdico auricular.

De la electrocardiografía diagnóstica a la terapéutica

Ahora se están investigando activamente varias técnicas para la ablación curativa de la fibrilación auricular. La intervención del laberinto es una técnica quirúrgica para la supresión definitiva de dicha arritmia. Para ello se realizan múltiples incisiones en ambas aurículas para impedir la aparición y perpetuación de circuitos de reentrada. Las intervenciones del laberinto, mediante catéter, intentan reproducir los resultados de la operación quirúrgica del laberinto. A su vez, en ciertos pacientes, la fibrilación auricular parece tener un origen focal, a menudo en las venas pulmonares.^{24,25} En tales casos, la ablación con radiofrecuencia del sitio de origen puede ser curativa.

Con vistas al tratamiento de las taquicardias mediante ablación, se ha utilizado tradicionalmente la metodología del mapeo previo, propuesta a

su tiempo por Josephson y cols.²⁶ Recientemente se ha introducido un sistema de cartografía endocárdica mediante catéter, sin fluoroscopia, la que utiliza tecnología magnética para determinar la localización y orientación de los catéteres, con objeto de crear unos mapas detallados, necesarios para ciertas arritmias (sistema carto). Además, se están desarrollando catéteres multipolares para el registro simultáneo de varias zonas durante las taquicardias. La capacidad de realizar cartografías en múltiples sitios, durante la inscripción de un complejo de taquicardia, debe permitir una identificación más rápida de su lugar de origen, con lo que es posible reducir el tiempo necesario para la aplicación de la técnica de ablación. Se ha utilizado también la ecocardiografía intracardíaca para definir la anatomía de la aurícula derecha, durante la realización de la cartografía intracardíaca, con el fin de establecer los sitios adecuados para la ablación con radiofrecuencia.

Comentario

El acervo de datos y conocimientos obtenidos hasta ahora constituye el ejemplo de la evolución de un método -hace unos cincuenta años esencialmente empírico- hacia un sistema racional riguroso.²⁷ La metodología racional abre derroteros insospechados a la investigación clínica y de laboratorio y se perfila como un modelo a imitar en el campo de las ciencias médicas. Por su misma naturaleza no puede estar exento de imperfecciones y limitaciones, pues los modelos experimentales, por razones inherentes a las condiciones de estudio, representan una simplificación de los fenómenos orgánicos. Son éstos muy complejos por la participación de un sinnúmero de factores individuales imprevisibles. Pero la electrofisiología puede llegar a ser la integración real de los fenómenos fisiopatológicos del corazón, acercándose a la dignidad de las ciencias exactas.

A la luz del racionalismo crítico de Karl Popper, resulta justificado considerar como un problema de tipo epistemológico también la construcción de algún instrumento de uso común en cardiología, como el electrocardiógrafo de cuerda de Einthoven. Esto vale igualmente para el enfoque racional de un problema terapéutico cardiológico, p. ej. el em-

pleo de la llamada terapéutica metabólica en ciertas cardiopatías. Los fundamentos racionales de esta última se hallan en estudios y aplicaciones del segundo principio de la termodinámica clásica en sistemas físico-químicos abiertos y cerrados,²⁸ así como en los dominios de la biología.²⁹ Sobre tales bases se fundamenta el uso experimental y clínico de sistemas donadores de energía -p. ej. la solución glucosa-insulina-potasio-³⁰ en la insuficiencia cardíaca crónica y en la fase aguda del síndrome de infarto.

Por cierto, los intentos de reconstrucción lógica de las teorías científicas han evolucionado desde el enfoque del empirismo lógico hasta los enfoques semánticos. Algunos de estos últimos toman en cuenta el hecho de que las teorías van cambiando y desarrollándose siempre más. Pero, a lo largo de todo su desarrollo, mantienen la misma estructura lógica.³¹ La misma teoría de la ciencia está sujeta a la evolución y dicha evolución debe estar en función de lo que la ciencia ha presupuesto en diferentes momentos. Sin embargo, se ha demostrado de manera convincente³² que hay un modo de reconstruir en forma racional el proceso de desarrollo de la ciencia. Por su parte, la evolución del conocimiento científico logra desechar hipótesis o creencias que, en un momento dado, forman un elemento constitutivo de la teoría y juegan un papel importante en el interior de ella.³³ Fue éste el caso del hechizo renacentista de la "circularidad", que se percibe en la doctrina circulatoria de Harvey y se desvanece en la obra de sus continuadores.³⁴ Un caso análogo es el del mítico flogisto, que dominó el campo de la química en pleno auge de la Ilustración y desapareció más tarde sin dejar rastro.³⁵

Conclusión

De todo lo que se ha expuesto aquí se desprende el valor semiológico de la interpretación racional y no empírica de los resultados de la exploración eléctrica del corazón. Sería deseable, por tanto, que la electrovectocardiografía se explicara y se aprendiera a la luz del enfoque racional introducido por la Escuela Mexicana. Un enfoque semejante debería seguirse en otros campos de la cardiología y, en general, de la medicina.

Referencias

1. **Descartes R.** Tratado del hombre. (Trad. Guillermo Quintás). Madrid. Editora Nacional, 1980.
2. **Fontana F.** *De irritabilitatis legibus nunc primum sancitis et de spirituum animalium in movendis musculis inefficacia.* Lucca, 1767.
3. **Matteucci C.** Sur un phénomène physiologique produit par les muscles en contraction. *AnnChimPhys* 1842;6:339-341.
4. **Kölliker A, Müller H.** Nachweis der negativen Schuankung des Muskelstroms am natürlich sich contrahirenden Muskel. *Verh Phys Med Ges* 1856;6:528-533.
5. **Oersted HC.** *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam.* Copenhagen, 1820.
6. **Waller AD.** A demonstration on man of electromotive changes accompanying the heart's beat. *J. Physiol (Lond)* 1887;8:229-234.
7. **Einthoven W.** Un nouveau galvanomètre. *Arch Neerl Sci Exactes Nat* 1901;6:625-633.
8. **Einthoven W.** Die Galvanometrische Registrierung des menschlichen Elektrokardiogramms, zugleich eine Beurtheilung der Anwendung des kapillarElektrometers in der Physiologie. *Pflügers Arch Ges Physiol* 1903;99:472-480.
9. **De Micheli A.** En torno al centenario de la electrocardiografía. *Arch Inst Cardiol Mex* 1988;58:265-271.
10. **Burch GE, De Pasquale NP.** A history of electrocardiography. Chicago, Ill. Year Book Medical Publishers Inc., 1964.
11. **De Micheli A.** Trayectoria de la electrovectocardiografía mexicana. *Arch Inst Cardiol Mex* 1993;63:259-266.
12. **Samojloff A.** Elektrokardiogramm. Jena. Gaupp & Nagel, 1909.
13. **Lewis T.** Clinical electrocardiography. Londres. Shaw & Sons, 1913.
14. **Schellong F.** Vektorgraphie des Herzens als klinische methode. *Klin Wochenschr* 1938;17:453-457.
15. **De Micheli A.** La epistemología en cardiología. *Arch Inst Cardiol Mex* 1988;58:247-256.
16. **Sodi Pallares D, de Micheli A.** Un tentativo di reintegrazione ionica cellulare in alcune malattie cardiovascolari. *Atti Acc Med Lomb* 1962;17:509-519.
17. **Alanis J, Gonzalez H, López E.** The electrical activity of the bundle of His. *J. Physiol (Lond.)* 1958;142:127-140.
18. **Sodi Pallares D, Medrano GA, Bisteni A, de Micheli A.** The electrograms of the conductive tissue in the normal dog's heart. *Am J Cardiol* 1959; 4:459-463.
19. **Medrano GA, Sodi Pallares D, de Micheli A, Bisteni A, Polansky B, Hertault J.** A study of the potentials of the Purkinje tissue. *Am Heart J* 1960;60:562-580.
20. **Medrano GA, de Micheli A, Sodi Pallares D.** Les potentiels des structures spécifiques du coeur et leurs relations chronologiques avec l'électrocardiogramme périphérique chez le chien. *Acta Cardiol* 1962;17:731-760.
21. **Scherlag BJ, Lau SH, Helfant RH, Bukowicz WD, Stein F, Damato AN.** Catheter technique for recording His bundle activity in man. *Circulation* 1969;39:13-18.

22. **Holter NJ.** New method for heart study. *Science* 1961;134:1214-1220.
23. **Bruce RA, Homestein TR.** Exercise stress testing in evaluation of patients with ischemic heart disease. *Prog Cardiovasc Dis* 1969;11:371-390.
24. **Haissagueffe M, Jais P, Shah DC, Takahashi A, Hocini M, Quinion G, et al.** Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med* 1998;339:659-666.
25. **Iturralde P, Medeiros A, Guevara M, Kershenovich S, Varela S, Colín L.** Fibrilación auricular focal tratada mediante radiofrecuencia. *Arch Inst Cardiol Mex* 2000;70:173-179.
26. **Josephson ME, Horowitz LN, Spielman SC, Waxman HJ, Greenspan AM.** Role of catheter mapping in the preoperative evaluation of ventricular tachycardia. *Am J Cardiol* 1982;49:207-220.
27. **Sodi Pallares D, Bisteni A, Medrano GA.** Electrocardiografía y vectocardiografía deductivas. México. La Prensa Médica Mexicana, 1964.
28. **Plank M.** Una autobiografía científica. En Varios autores: *Ensayos científicos*. México. Ed. Conacyt, 1982, PP 221-238.
29. **Prigogine I.** La termodinámica de la vida. En *Biología molecular*. México. Ed. Conacyt, 1981, PP. 199-224.
30. **De Micheli A.** Las bases racionales del tratamiento polarizante en el infarto del miocardio. *Arch Inst Cardiol Mex* 1969;39:713-731.
31. **Olivé L.** Algunos problemas acerca de la objetividad y la racionalidad en ciencia según la concepción de Dudley Shapere. *Crítica* 1986; 18 (No. 54):97-111.
32. **Shapere D.** Objectivity, rationality, and scientific change. En *PSA 84* (P.Kitcher, P. Asquith, eds.). Vol. 2.1986.
33. **Péres Ransanz AR.** El proceso de internalización en el desarrollo científico. *Crítica* 1986;18 (No. 54): 83-95.
34. **De Michel A.** Integración y difusión de la doctrina de la circulación sanguínea. *Arch Inst Cardiol Mex* 1996;66:441-448.
35. **De Micheli A.** El bicentenario de la muerte de Lavoisier. *Arch Inst Cardiol Mex* 1994;64 (3):519-524.