

Cien años de electrocardiografía

Alfredo de Micheli, Facultad de Medicina, UNAM.

Datos Históricos

Ciertos fenómenos relacionados con la electricidad fueron señalados por Aristóteles hacia 340 a. C. Ya en nuestra era, el sabio granadino Abu Hamid (1080-1169), en su "Tuhfat al-albab", dio una excelente descripción del pez torpedo y de la transmisión a distancia de sus descargas eléctricas. Los detalles por él descritos, se recogieron en el mundo latino en un tratado de Guillermo de Auvernia (1180-1249). Pero hubo que esperar hasta 1755 para que Louis Guillaume Le Monnier, en el artículo "Electricidad" destinado a la Encyclopédie, tratara de dar una definición del fenómeno como "los efectos de una materia muy fluida y sutil, distinta por sus propiedades a todas las otras materias fluidas conocidas".

Por otra parte, junto con la teoría fibrilar, los estudios acerca de la "irritabilidad" de los tejidos animales constituyeron un aspecto característico de la escuela iatrofísica. Según Sprengel, la doctrina mecanicista de los iatrofísicos comenzó a manifestarse como un culto sólo 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 diversas piezas y capaz de ejercer diferentes acciones. Tales conceptos se exponen en su tratado de fisiología (10), publicado después de su muerte en 1662 por Schuyt y en 1664 por Clerselier.

Los máximos exponentes de la corriente iatrofísica o iatromecánica fueron Giovanni Alfonso Borelli quien había frecuentado la academia cartesiana del abate

Bourdelot -en Pisa, Giorgio Gaglioli en Roma y Hermann Boerhaave en Leiden. A su vez, el iniciador de estudios sobre la "irritabilidad" de los tejidos fue el inglés Francis Glisson (1597-1677). Le siguió Albrecht von Haller (1708-1777), discípulo de Boerhaave y padre de la fisiología experimental (35). Fue éste el autor de la célebre monografía "Dissertatio de vasis cordis propriis" (Gotinga, 1737). Su obra fue continuada por el italiano Felice Fontana (1730-1805), quien estableciera el fundamento serio de las investigaciones sobre las propiedades bioeléctricas de los tejidos animales en varias publicaciones (15,16) y particularmente en una de 1767 (17).

Entre tanto John Walsh (38) demostró en 1773 la identidad de las corrientes eléctricas emanadas por el pez torpedo con las producidas por las descargas en una botella de Leiden (un condensador diseñado por el físico Pieter van Musschenbroek). Y Luigi Galvani (Fig. 1) publicó, en 1791, sus observaciones experimentales (20) en torno a las corrientes eléctricas que se producen en los nervios y los músculos de la rana y que son semejantes a las obtenidas en una botella de Leiden (Fig. 2).

Para el estudio de la electricidad animal, se utilizó primero la llamada rana reoscópica, en la que Galvani (19) había observado una corriente de lesión (Fig. 3). En dicha preparación, la corriente eléctrica se valora en sentido cualitativo más que cuantitativo (34). De todos modos, ésta permitió a Carlo Matteucci describir, en 1842, la corriente de activación de un músculo de rana (26, 27).

Tras el descubrimiento del electromagnetismo por Oersted en 1820, se fabricaron varios aparatos capaces de



Fig. 1 Luigi Galvani (1737-1798).

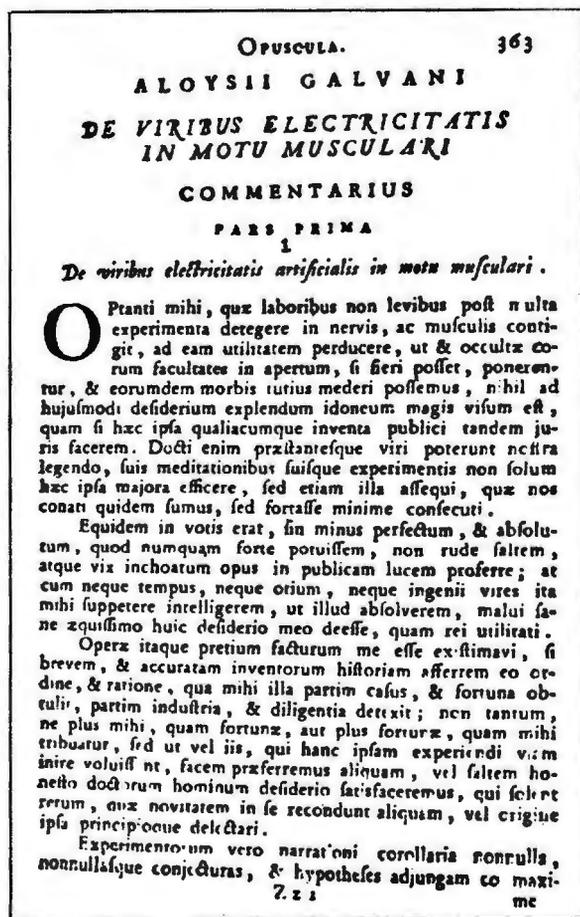


Fig. 2. Primera página de la publicación original de Galvani sobre la electricidad animal en "Opuscula" del Instituto de ciencias y artes de Bolonia, 1791, vol. 7, págs. 363-418.



Fig. 3. Opúsculo anónimo publicado en Bolonia (1794), en el que se describen experimentos relacionados con la "corriente de lesión".

medir la intensidad de las corrientes eléctricas originadas en el tejido muscular (Nobili, 1825; Schweigger, 1826). Tales instrumentos, de bobina móvil, tenían escasa sensibilidad. El físico berlinés Emil Du Bois-Reymond logró, en 1849, la construcción de un aparato capaz de medir las corrientes bioeléctricas con la mayor sensibilidad posible para aquel tiempo. Se trataba del reótomo o interruptor de corriente, que permitía determinar la magnitud de esta última durante breves lapsos. El reótomo fue modificado por varios fisiólogos y físicos, en modo particular por Lenz. Este autor ideó en 1854 un método para calcular una curva -en función del tiempo- de las variaciones de la corriente eléctrica durante un ciclo de inducción aislado. Así fue posible registrar, por primera vez, el desarrollo temporal de la variación de intensidad de la corriente alterna.

Julius Bernstein (1839-1927), discípulo de Du Bois-Reymond, estudió la evolución temporal de la variación negativa del potencial eléctrico (corriente de acción). Por eso modificó el reótomo de manera que el intervalo entre

la estimulación y la medida pudiese variarse: reótomo diferencial, 1868 (Fig. 4). Con éste, registró Marchand,

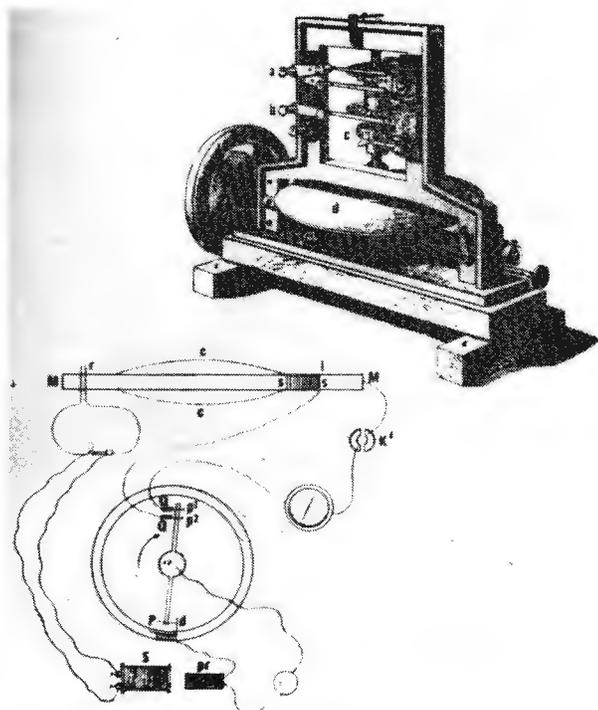


Fig. 4. Reótomo diferencial de Bernstein (1868).

en 1877, la evolución temporal de las variaciones de la corriente de acción en el miocardio de la rana. Dicho investigador dispuso sus hallazgos en tablas, que indicaban la intensidad de la corriente eléctrica en diferentes momentos del ciclo cardiaco. Engelmann fue el primero en representar gráficamente la evolución temporal de las variaciones de la corriente de acción del músculo cardiaco (1878). Las curvas así obtenidas muestran claramente la naturaleza difásica de la corriente mencionada.

Un instrumento más satisfactorio para medir las corrientes bioeléctricas fue inventado en 1872 por el fisiólogo francés Gabriel Lippmann (1845-1921). Tal aparato, el "electrómetro capilar" (Fig. 5), tenía mayor sensibilidad que el reótomo diferencial. A su vez, Marey concibió en 1876 un sistema para fotografiar las variaciones de corriente, registradas con el electrómetro capilar. Desde entonces se contó, pues, con un aparato sensible que podía proporcionar registros gráficos de los fenómenos bioeléctricos. Burdon-Sanderson lo empleó para registrar las variaciones de corriente en el corazón de la tortuga y en el de la rana (4). Las curvas por él registradas le permitieron analizar asimismo las características de la

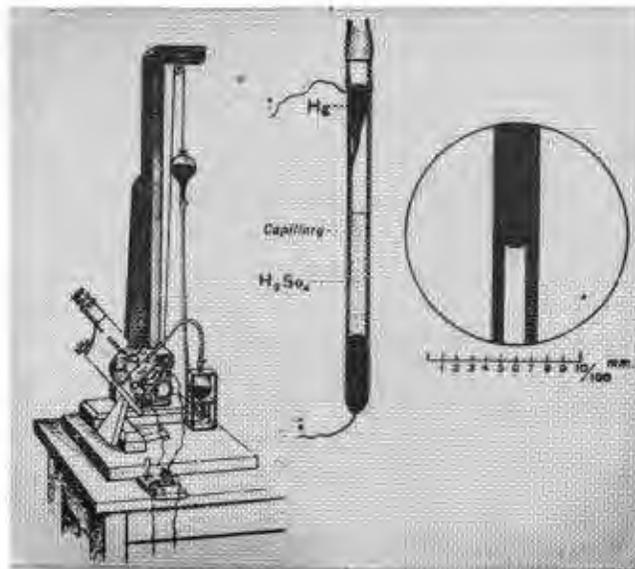


Fig. 5. Electrómetro Capilar de Lippmann (1872).

onda de repolarización ventricular, ya identificada por Kölliker y Müller en 1856. Estos últimos habían notado que la variación negativa del potencial, en un corazón puesto en contacto con la rana reoscópica, era seguida ocasionalmente de una pequeña deflexión positiva.

Augustus Desiré Waller (1856-1922), prominente fisiólogo inglés, descubrió que la actividad eléctrica del corazón humano podía ser captado por medio del electrómetro capilar sin abrirse el tórax. Así, fue el primero en registrar (Fig.6) los fenómenos eléctricos cardiacos en el hombre

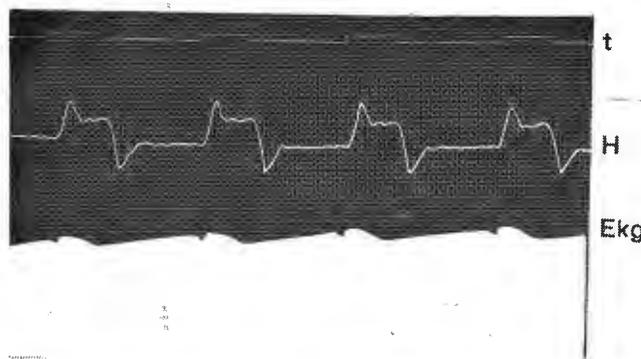


Fig. 6. Primer trazado (electrograma), obtenido por Waller con el electrómetro capilar: t: tiempo en segundos. H: curva registrada con el cardiógrafo. Ekg: variaciones producidas en el electrómetro capilar.

mediante electrodos torácicos (36) y más tarde un electrodo colocado en la boca del enfermo (37). En su publicación original, llamó "electrograma" al registro obtenido (7). Pero, en la lección inaugural del año

académico 1888-1889 de la Escuela de Medicina del Hospital de Santa María en Paddington, designó a los trazos por él registrados como "cardiogramas". La expresión "electrocardiograma" fue introducida sucesivamente por Einthoven.

Pese a la sensibilidad relativamente grande del electrómetro capilar, su respuesta era lenta. Por consiguiente, la atención de los fisiólogos retornó a los galvanómetros de bobina móvil. Estos comprendían un alambre enrollado y suspendido en el campo magnético de un imán. Las variaciones de la corriente, que pasaba a través de la bobina, la hacían moverse y tales movimientos se registraban por medio de espejos y otros dispositivos. El más aceptado de tales galvanómetros fue el construido por Jacques Arsene d'Arsonval en 1889. Se trataba de un galvanómetro de mediano poder.

El fisiólogo holandés Willen Einthoven (1860-1927), insatisfecho de los registros obtenidos con el electrómetro capilar, utilizó primero el galvanómetro de d'Arsonval encontrándolo poco sensible. Por ende, diseñó y construyó su propio galvanómetro de cuerda. Cabe señalar que cuando comenzó a trabajar en su electrocardiógrafo (1900), Einthoven ignoraba, al parecer, la existencia de un aparato semejante. Este había sido construido en 1897 por el ingeniero francés Clement Ader, pionero de la aviación y realizador de la primera red telefónica de Francia. De todos modos, tal instrumento tenía una sensibilidad muy baja y no hubiera podido emplearse nunca para la electrocardiografía clínica. El Maestro de Leiden presentó su galvanómetro de cuerda, en una comunicación preliminar, el año 1901 (13). Dos años después, pudo publicar una descripción detallada de su electrocardiógrafo y una comparación entre los registros obtenidos con éste y los tomados con el electrómetro capilar (14). El excelente galvanómetro de cuerda, fiel y resistente, hizo accesible la electrocardiografía clínica y queda aún como la piedra angular de la exploración electrocardiográfica. Pero el aparato original, que constituía una máquina monumental e intrasportable, sufrió muchos perfeccionamientos después de 1911.

El electrocardiógrafo con galvanómetro de cuerda se fabricó en serie por la compañía inglesa "Cambridge & Paul Scientific Instrument Co.". Lo aprovechó Lewis (24) en sus estudios fundamentales sobre la electrofisiología cardíaca. Asimismo lo utilizó Wilson, quien propuso agregar las derivaciones unipolares (40) a las bipolares de Einthoven.

El primer electrocardiógrafo fue introducido en los Estados Unidos de Norteamérica, en la década de los

veinte, por un profesor de la universidad del estado de Nueva York en Syracuse, donde se conserva todavía como una memoria valiosa. A México trajo el primer aparato (Boulitte) el Dr. Ignacio Chávez, padre de la cardiología mexicana, en 1927 (6). Y el Dr. Manuel Vaquero elaboró en 1928 la primera tesis recepcional sobre electrocardiografía (32).

En los años treinta, se logró registrar las curvas eléctricas correspondientes a un función vectorial del tiempo con un aparato especial: el monocardiógrafo de Mann (25). Por su parte, Fritz Schellong en 1936 (30) y Frank N. Wilson en 1937 (41) utilizaron el osciloscopio de rayos catódicos para registrar las curvas vectocardiográficas. Wilson concibió, además, el método del tetraedro (42) en el que se representa la fuerza electromotriz resultante de la actividad cardíaca, en cada instante, como un vector originado en el centro del triángulo de Einthoven. Desde entonces se han propuesto numerosos procedimientos de registro vectocardiográfico, como los de Duchosal (11), de Rijlant (29), de Mc Fee y Parungao (28), etcétera. Dichos procedimientos fueron adoptados y abandonados sucesivamente hasta dejar el campo libre a dos de ellos: el método del cubo de Grishman (22) y, sobre todo, el sistema de Frank (18). Parece oportuno subrayar el hecho de que ni la configuración anatómica del tórax, ni las consideraciones matemáticas pertinentes, garantizan que las líneas de derivación sean realmente perpendiculares e iguales las unas respecto a las otras. Por eso, todo procedimiento de registro vectocardiográfico proporciona curvas con cierta deformación variable según la técnica utilizada, el biotipo del sujeto examinado y la patología cardíaca (5). En nuestro departamento de electrovectocardiografía se utiliza por lo común el cubo de Grishman, que permite captar de manera fidedigna fenómenos eléctricos locales del corazón (9).

Criterios Racionales de la Exploración Eléctrica

La electrovectocardiografía moderna debe ser necesariamente racional y no empírica, como hizo ver Sodi Pallares al introducir la llamada electrocardiografía deductiva (31) en el campo de la semiología cardiológica. La electrovectocardiografía mexicana constituye una disciplina racional que sigue, en sus análisis e interpretaciones, procedimientos lógicos. Los términos lógica y deducción se conciben conforme al pensamiento de Aris-

tóteles (Tópicos, 101 B-37), quien estableciera la lógica formal (21) y de Avicena -Directivas y observaciones, pág. 17- (1). El razonamiento deductivo ("deductio" opuesta a "intuitus") proporciona la adquisición de un conocimiento nuevo en función de algo ya conocido. Requiere, pues, como punto de partida para todo aprendizaje ciertos conocimientos previos bien definidos (Aristóteles, Anal. Post. A 1). Del antecedente conocido (muqaddam, según Avicena) se llega al consecuente no conocido (tali), conforme al procedimiento de la deducción. Es éste el principio general, muy sencillo, del silogismo aristotélico, que sin embargo aparece muy complicado en su técnica y sus variedades. También se puede partir del consecuente para llegar al precedente (retroacción).

De este modo, pueden interpretarse las manifestaciones de un fenómeno en función de su íntima esencia ya conocida. El método hace posible aun desglosar lo esencial de un fenómeno a partir de sus manifestaciones. Pero debe subrayarse que la retroacción ciega es imposible (8).

El método deductivo puro tiene limitaciones importantes, puesto que necesita siempre de un conocimiento previo como punto de partida. Esto puede lograrse sólo en el campo de las ciencias eidéticas: lógica y matemática. Los antiguos ya se habían dado cuenta de las limitaciones del "silogismo". Así la metodología propuesta por el mismo Aristóteles era de tipo inductivo-deductivo (Anal. Post. 13, 27, 78 a). Y el Estagirita, en sus estudios de carácter biológico, se valió casi siempre de la analogía, amén de la observación directa (12). También Galileo preconizaba el método inductivo-deductivo ("Discorsi e dimostrazioni matematiche..." Leiden, 1638). En época más reciente se reconoció la importancia de la inferencia probabilística, sobre todo en el campo de la física, que vino a completar los métodos clásicos. Todos los procedimientos mencionados intervienen en la interpretación electrovectocardiográfica racional.

La electrovectocardiografía mexicana

La electrocardiografía y la vectocardiografía exploran el mismo fenómeno eléctrico cardíaco con enfoque distinto: analítico y local para la electrocardiografía, sintético y espacial para la vectocardiografía. Merece recordarse que el propio Schellong recomendaba la exploración vectocardiográfica no como una alternativa a la electrocardiográfica, sino como un complemento muy

útil de ésta (3). Ambas constituyen una exploración esencialmente funcional.

La exploración electrovectocardiográfica, que preconizó Wilson y aplicó con mucho acierto Sodi Pallares a la cabeza de la escuela mexicana, es una exploración eléctrica integrada que, desde un punto de vista epistemológico, puede considerarse como lógica o racional. De hecho, en sus interpretaciones, aplica el procedimiento galileano inductivo-deductivo amén de la analogía y de la inferencia probabilística. El mérito fundamental de esta obra loable es el de haber llevado audazmente el análisis electrovectocardiográfico hasta el nivel celular, hecho del que derivan importantes adelantos de diagnóstico y notables implicaciones de terapéutica fisiológica.

El acervo de datos y conocimientos obtenidos en nuestro departamento constituye un ejemplo de la evolución de un método -hasta hace cuarenta años fundamentalmente empírico- hacia un sistema racional riguroso. La metodología que se sigue actualmente abre derroteros no sospechados a la investigación clínica y de laboratorio y aparece como un modelo de procedimiento a seguir 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, son una simplificación de los fenómenos orgánicos (33). Naturalmente son éstos mucho más complejos por la participación de un sinnúmero de factores individuales imprevisibles. Pero la electrofisiología puede llegar a ser una integración real, acercándose a la dignidad de las ciencias exactas. Esta debe ser la aspiración de la medicina moderna y, en general, de la biología cuyo ideal es el mismo que el de la física: postular leyes generales y reproducir fenómenos de la naturaleza en modelos artificiales. Los métodos empleados en ambas disciplinas son semejantes, pero la posibilidad de reproducir los fenómenos en modelos, es menor para la biología. Tal limitación se debe a lo complejo de los fenómenos biológicos y al sinnúmero de variables individuales de los organismos vivientes.

Respecto a la electrovectocardiografía experimental, cabe mencionar que Heisenberg (23) consideraba como un rasgo esencial de la ciencia moderna el planteamiento de preguntas específicas a la naturaleza, por medio de experimentos. La atención se dirige ahora no tanto al principio fundamental subyacente, que vincula los distintos fenómenos, cuanto a las regularidades en los detalles. En efecto, la ciencia natural es abordada no a partir de las leyes generales sino de los grupos particulares de hechos, o sea de las respuestas que da la naturaleza a preguntas

específicas. A su turno, Norbert Wiener, padre de la cibernética, afirma que (39): "La experimentación es una forma de conversación recíproca con el mundo exterior, pues en ella utilizamos comandos que salen a fin de determinar las condiciones de las observaciones que entran. Y, al mismo tiempo, empleamos las informaciones de entrada para incrementar la eficiencia de nuestros mensajes de salida". Es preciso subrayar, además, que los

datos del experimento, sobre los que fincamos nuestras construcciones científicas, nunca tienen un valor "absoluto" (2). Tal afirmación, en la epistemología más reciente, ha sido afianzada por Popper y por quienes se han inspirado en él. Los datos experimentales no son nunca hechos "puros", sino hechos "interpretados" en el seno de un contexto hermenéutico.

Referencias

- Afnan, S.F.: El pensamiento de Avicena. México, FCE, 107 ss., 1965.
- Agazzi, E.: Dimensiones históricas de la ciencia y de su filosofía. (Traducción de A. de Waele.) Diógenes No. 132: 59-78, 1985.
- Brisse, B.: Klinische Vektorkardiographie. Fritz Schellong-Gedachnis-vorlesung. Z Kardiol 76: 65-71, 1987.
- Burdon-Sanderson, J.S., Page, F.J.M.: On the electrical phenomena of the excitatory process in the heart of the frog and of the tortoise, as investigated photographically. J Physiol 4: 327-338, 1883.
- Cabrera, E., Gaxiola, A., Eisenberg, P., Smoler, J.: La vectocardiografía para el cardiólogo. Principia Cardiologica 4: 30-53, 1957.
- Carral y de Teresa, R.: El doctor Ignacio Chávez, fundador y director del Instituto Nacional de Cardiología. En: Libro de jubileo profesional del doctor Ignacio Chávez. México, La Prensa Médica Mexicana, 70-77, 1970.
- Cope, Z.: Augustus Desiré Waller. Med Hist 17: 380-385, 1973.
- Costa de Beauregard, O.: Le second principe de la science du temps. Paris, Ed. du Seuil, 22, 1963.
- de Micheli, A., Medrano, G.A.: Acerca de la exploración vectocardiográfica. Arch Inst Cardiol Méx 49: 163-179, 1979.
- Descartes, R.: Tratado del hombre. (Traducción de Guillermo Quintás). Madrid, Editora Nacional, 1980.
- Duchosal, P., Sulzer, R.: La vectocardiographie. Basilea, S. Karger, 1949.
- Düring, I.: Aristóteles. (Traducción de Bernabé Navarro). México, UNAM, 811, 1987.
- Einthoven, W.: Un nouveau galvanometre. Arch Neerl Sci Exper Nat 6: 625, 1901.
- Einthoven, W.: Die Galvanometrische Registrierung des menschlichen Elektrokardiogramm, zugleich eine Beurtheilung der Anwendung des Kapillar-Elektrometers in der Physiologie. Pflügers Arch Ges Physiol 99: 472, 1903.
- Fontana, F.: Expériences sur les parties irritables et sensibles. En: von Haller A. Mémoires sur les parties sensibles et irritables. Lausana, S. d'Arnay, 1760, vol. III.
- Fontana, F.: Ricerche filosofiche sopra la fisica animale. Florencia 1775.
- Fontana, F.: De irritabilitatis legibus nunc primum sancitis et de spirituum animalium in movendis musculis inefficacia. Lucca, 1767.
- Frank, E.: An accurate, clinically practical system for spatial vectorcardiography. circulation 13: 737-749, 1956.
- Fulton, J.E.: Selected readings in the history of physiology. Springfield 111, Charles C Thomas, 1930.
- Galvani, L.: De viribus electricitatis in motu musculari commentarius. Bononiae, Ex Typographia Institutii Scientiarum, 1791.
- Grenet, P.: Aristote. Paris, P. Seghers, 39 ss., 1962.
- Grishman, A., Scherlis, L.: Spatial vectocardiography. Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1952.
- Heisenberg, W.: Ley natural y estructura de la materia. En: El humanismo en la filosofía de la ciencia. (Traducción de E. Mayans y K. Wendl). México, UNAM, 7-23, 1987.
- Lewis, T.: Clinical electrocardiography. Londres, Shaw & Sons, 1924 (III ed).
- Mann, H.: The monocardigraph. Am Heart J 15: 681-699, 1938.
- Matteucci, C.: Sur le courant électrique de la grenouille: second mémoire sur l'électricité animale faisant suite a celui sur la torpille. Ann Chim Phys 6: 301, 1842.
- Matteucci, C.: Sur un phénomène physiologique produit par les muscles en contraction. Ann chim Phys 6: 339, 1842.
- Mc Fee, R., Parungao, A.: An orthogonal lead system for clinical electrocardiography. Am Heart J 62: 93-100, 1961.
- Rijlant, P.: Principes et méthode de la vectocardiographie. Bull Acad R Med Belg 22: 156-171, 1956.
- Schellong, F.: Vektordiographie als die Untersuchungsmethode der Herzerkrankungen. Verh Dtsch Ges Inn Med 48: 288, 1936.
- Sodi Pallares, D.: Electrocardiografía deductiva. Arch Inst Cardiol Méx 32: 679-681, 1962.
- Vaquero, M.: Aspectos actuales de la electrocardiografía en clínica. (Tesis). México, UNAM, 1928.
- Virieux-Reymond, A.: L' épistémologie. Paris. PUF, 46, 1966.
- Volta, A.: An account of some discoveries made by M. Galvani with experiments and observations on them. Phill Trans R Soc Lond. 83: 10-44, 1793.
- von Haller, A.: Elementa physiologiae corporis humani. Lausana, Allard, 1757-1759.
- Waller, A.D.: A demonstration on man of electromotive changes accompanying the heart's beat. J Physiol 8: 229-234, 1887.
- Waller, A.D.: On the electromotive changes connected with the beat of the mammalian heart, and of the human heart in particular. Trans R Soc Lond (Biol) 180: 169, 1889.
- Walsh, J.: Of the electric property of the Torpedo. (In a letter from John Walsh to Benjamin Franklin). Phill Trans 63: 461-477, 1773.
- Wiener, N.: Soy un matemático. (Traducción de Sergio Francisco Beltrán). México, Ed. Conacyt, 355, 1982.
- Wilson, F.N., Macleod, A.G., Barker, P.S.: The potential variations produced by the heart beat at the apices of Einthoven's triangle. Am Heart J. 7: 207-211, 1931.
- Wilson, F.N., Johnston, F.D., Barker, P.S.: The use of the cathode-ray oscillograph in the study of the monocardigraph. J Clin Invest 16: 664, 1937.
- Wilson, F.N., Johnston, F.D.: The vectorcardiogram. Am Heart J 16: 14-28, 1938.