

Primeros estudios sobre la variabilidad de la frecuencia cardiaca con métodos cibernéticos en Cuba

First studies about the heart frequency variability with cybernetic methods in Cuba

Dr.C. Wilkie Delgado Correa

Facultad de Estomatología, Universidad de Ciencias Médicas, Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

La introducción y aplicación de métodos matemáticos y cibernéticos para el estudio de la variabilidad del ritmo cardiaco, así como su regulación se inició en la Unión Soviética; su desarrollo estuvo vinculado principalmente a los estudios y análisis evaluativos realizados a los cosmonautas en la década del 60 del siglo pasado. Se expone la experiencia sobre el tema realizada por primera vez en el país, a inicios de la década siguiente, en la Facultad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. De igual manera, se señalan las distintas etapas y facetas que tuvieron tales estudios y su significación. A través de este trabajo se puede constatar que aquellos enfoques y resultados abrieron las posibilidades para continuar dichos estudios en otros campos, estados y condiciones en los años posteriores hasta el presente.

Palabras clave: intervalo electrocardiográfico RR, frecuencia cardiaca, análisis de autocorrelación, análisis espectral, método cibernético.

ABSTRACT

The introduction and implementation of mathematical and cybernetic methods for the study of the heart rhythm variability, as well as their regulation began in the Soviet Union; their development was linked mainly to the evaluative studies and analysis carried out to the cosmonauts last century during the 60s. The experience on the topic carried out for the first time in the country is exposed, at the beginnings of the following decade, in the Medical Sciences Faculty in Santiago de Cuba. In a same way, the different stages and sides that had such studies and their significance are pointed out. Through this work you can verify that those approaches and results opened the possibilities to continue these studies in other fields, states and conditions in the following years until the present time.

Key words: electrocardiographic interval RR, heart frequency, selfcorrelation analysis, spectrum analysis, cybernetic method.

INTRODUCCIÓN

En la Unión Soviética se inició la introducción y aplicación de métodos tanto matemáticos como cibernéticos para el estudio de la variabilidad del ritmo cardiaco y su regulación. Asimismo, su desarrollo estuvo vinculado principalmente a los estudios y análisis evaluativos realizados a los cosmonautas en la década del 60 del siglo pasado.

Por consiguiente, este trabajo tiene el propósito de exponer una experiencia investigativa sobre el tema realizada por primera vez en el país, a inicios de la década siguiente, en la Facultad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. También se señalan las distintas etapas y facetas que tuvieron tales estudios y su significación.

ANTECEDENTES

En un importante y exhaustivo artículo sobre el tema de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC), publicado en 2007 y sustentado por 118 referencias bibliográficas, los autores, Rodríguez *et al*¹ reconocen que posiblemente la primera publicación científica cubana acerca de estudios sobre la VFC realizada en 1976 corresponde a la investigación del actual Doctor en Ciencias Wilkie Delgado Correa y el fisiólogo ruso Vladimir G. Levedev.² En este artículo se incluyeron técnicas para el uso de indicadores de la VFC, calculados en dominio del tiempo y la frecuencia, así como el análisis de correlación, autocorrelación y espectral de las series consecutivas de cardiointervalos RR en deportistas de diferentes especialidades y niveles de competición. De igual manera, Delgado,³ que en ese entonces era discípulo directo del profesor Roman Markovitch Baevsky -- autoridad en el estudio de la VFC en la antigua URSS y actualmente aún activo --, publicó su trabajo de doctorado en 1984, dedicado al estudio de la VFC en deportistas.

Debe señalarse que el procesamiento de esta información se efectuó íntegramente en la antigua URSS, donde se contaba con el equipamiento y el software necesario para dicho procesamiento; además, se emplearon métodos computacionales de análisis de la VFC en dominios del tiempo y la frecuencia desde antes de 1970.³

ACLARACIONES NECESARIAS SOBRE LOS HECHOS Y RESULTADOS CIENTÍFICOS

Si bien es cierto lo expresado en el primer párrafo, es conveniente señalar que existieron estudios previos realizados a partir de 1972, los cuales fueron presentados en eventos científicos y posteriormente publicados, tal como se expondrá más adelante.

Por otra parte, los autores con cierta lógica, pensaban que en Cuba no existían las condiciones para la programación y el procesamiento de los datos debido a las complejidades que ello entrañaba, y además de reconocer la autoridad de los pioneros en estos temas, intuyeron que esta fase de los estudios fue realizada en la URSS; sin embargo, el licenciado Alfredo Marty fue quien primero contribuyó a la programación, y el procesamiento de los datos parciales de prueba se realizó en una computadora electrónica IRIS 10 en el Centro de Matemática, Computación y Cibernética (CEMACC) de Ciudad de la Habana.

La programación definitiva estuvo a cargo del ingeniero Ángel Selva, Profesor Titular y Doctor en Ciencias Técnicas de la Facultad de Cibernética y Comunicaciones de la

Universidad de Oriente, de la cual se facilitó una computadora para la realización de otros cálculos. Igualmente se contó con la cooperación incondicional del Centro de Cálculo del Comité Estatal de Estadísticas de Santiago de Cuba, puesto que los domingos, en su instalación se llevó a cabo el procesamiento de los datos en la computadora EC 1020, recién instalada entonces, los cuales fueron supervisados por el técnico Ramón Lambert y ingenieros jefes de la institución.

Además de los resultados expresados en los estadígrafos media, moda, mediana, desviación estándar, varianza, coeficiente de asimetría, coeficiente de exceso, medidas específicas de cada uno de la serie de los intervalos RR de los electrocardiogramas, grado de arritmia sinusal coeficiente de variación, coeficientes de autocorrelación y espectral, también los gráficos correspondientes a los autocorrelogramas y al análisis espectral fueron impresos con la ayuda de la computadora.

En relación con los estudios previos, los autores citan uno de ellos, *Análisis de la reactividad vegetativa de los deportistas*;² sin embargo, la primera investigación que utilizó parcialmente estos métodos fue la titulada *Efectos cardiovasculares durante el tratamiento estomatológico*,⁴ que incluyó a 180 pacientes con edades de 4-80 años, con el objetivo de determinar los cambios probables en los parámetros cardiovasculares como consecuencia de las reacciones orgánicas, así como analizar los posibles mecanismos que se desencadenaban durante la anestesia local y la cirugía bucal (exodoncia). Se emplearon los métodos de auscultación, pulsotacometría y electrocardiografía, para el registro de los parámetros cardiovasculares, además se determinó la presión arterial. El análisis de los mecanismos de regulación del ritmo cardiaco fue realizado mediante el método de ritmografía. Este trabajo se presentó en 1973, en un evento científico provincial realizado en Santiago de Cuba y posteriormente (1977), en el Congreso Mundial de la Federación Dental Internacional, en Toronto, Canadá.

Otra investigación realizada en la época fue la titulada *Algunos aspectos sobre la regulación cardiaca durante el embarazo*.⁵ Previo a su publicación había sido presentada en 1974 en la Jornada Obstétrico-Pediátrica de Oriente, Cuba. En esta investigación se estudió la regulación cardiaca en un total de 77 mujeres, distribuidas en 2 grupos: uno integrado por las que no estaban embarazadas y otro, por aquellas que se encontraban en distintos periodos de gestación, para lo cual se tuvo en cuenta el funcionamiento de de la dinámica cardiaca en las condiciones de reposo y durante la ejecución de algunas pruebas funcionales respiratorias. Esta dinámica de la frecuencia cardiaca durante las pruebas de Stangue y Herike en las del segundo grupo, mostró una diferencia significativa con respecto a las del primero, pero faltaron los componentes iniciales de aceleración cardiaca en ambas pruebas. Se concluyó que durante el embarazo aumentó la frecuencia cardiaca, como consecuencia del aumento del tono simpático, y existió una manifestación diferente en las reacciones iniciales desencadenadas por las pruebas antes citadas, atribuible a la ocurrencia simultánea de otros mecanismos, o la existencia previa de un nivel alto del tono simpático en el organismo.

Luego fueron publicados otros estudios,⁵⁻⁷ donde se establecía que la regulación cardiaca es un proceso complejo en el que participan diversos niveles estructurales y funcionales del organismo, los cuales involucran muchos mecanismos fisiológicos. Las investigaciones concernientes al particular han permitido la profundización sobre diversos aspectos que integran un sistema homeostático específico de enorme importancia para el organismo. Al analizar los datos de diferentes autores con relación a la regulación cardiaca, se pretende presentar algunos enfoques metodológicos para

su estudio. Asimismo, cuando se propusieron los esquemas de la regulación cardiaca por niveles, se abordaron los detalles esenciales del conocimiento actualizado de los fenómenos y mecanismos que participan en este control.

Ahora bien, la investigación fundamental sobre la regulación cardiovascular en los deportistas fue desarrollada durante el periodo 1973-1977, y la parte experimental se llevó a cabo en los laboratorios de fisiología de la Facultad de Ciencias Médicas, así como en el departamento de Cardiología del Hospital General Docente "Saturnino Lora Torres". El estudio realizado incluyó los registros de las variables en las posiciones supina, de sentado y ortostática, durante 2 pruebas respiratorias (Stangue y Herike) y la óculo-cardiaca, así como sus fases de recuperación. Además, se tuvieron en cuenta las etapas de ejercicio de 6 minutos de intensidades variables con cargas de 300 kpm/min, 600 kpm/min, 900 kpm/min, 1200 kpm/min y sus periodos de recuperación respectivos al 1ro, 5to, y 10 minutos; por tanto, dicho estudio en cada sujeto incluyó 28 estadios funcionales en las condiciones experimentales señaladas.

Los registros electrocardiográficos fueron en todos los casos de larga duración equivalentes a 150 intervalos RR en cada uno de los estadios funcionales, excepto en algunas pruebas funcionales respiratorias con duración en dependencia de la capacidad individual de los sujetos; por tanto, la muestra total para el análisis de la variabilidad del ritmo cardiaco de los sujetos en dichos estadios alcanzó aproximadamente 261 300 intervalos electrocardiográficos RR, los cuales fueron procesados para los análisis de la regulación cardiaca por medio de los enfoques y métodos cibernéticos de cardiointervalografías, diagramas de frecuencia, autocorrelación y espectral. También se obtuvieron datos sobre otros indicadores funcionales, tales como frecuencia respiratoria, presión arterial y capacidad de trabajo submáxima y máxima.

Esta investigación constituyó el tema de la tesis de doctorado en ciencias médicas del autor, titulada *Estado del sistema cardiovascular en los deportistas*³ y defendida en 1977. En el dictamen sobre esta tesis, el tribunal resaltó su significación científica y realizó las consideraciones siguientes:

- Considerando que el estudio de los índices fisiológicos de la población estudiada y la determinación de las capacidades fisiológicas normales de rendimiento físico constituyen problemas contemplados en el plan de investigaciones de salud del presente quinquenio, se entiende que los resultados obtenidos por el autor pueden ser de utilidad en investigaciones ulteriores y en la orientación científica de la práctica deportiva.
- En su estudio sobre los mecanismos de control del ritmo cardiaco, el autor obtuvo resultados que le han permitido, teniendo en cuenta las hipótesis planteadas por otros investigadores, proponer o señalar la existencia de una modalidad de este control.
- Constituye el primer trabajo científico en la rama de la fisiología que se ha realizado en el país, en el cual se aplican modernos enfoques cibernéticos y métodos de computación para el estudio de la regulación cardiaca.
- El autor ha empleado el método de autocorrelación en los procesos ocurridos durante 3 pruebas funcionales, sobre lo cual hasta el momento no se tenía referencia en la bibliografía.

- La tipificación de los principales índices de autocorrelación en los periodos estudiados (de reposo, ejercicio y de recuperación) constituye por su magnitud y minuciosidad un aporte a la bibliografía sobre un tema del cual no se posee constancia acerca de síntesis similares en los estados y periodos mencionados.
- El autor ha demostrado la existencia de 6 tipos de procesos relacionados con la regulación cardiaca en los estados estudiados y ha propuesto un agrupamiento original, de acuerdo con las características de los autocorrelogramas.
- Se han presentado y publicado numerosos trabajos científicos con los resultados de esta obra.

Los resultados principales fueron presentados en diciembre de ese mismo año en el VI Seminario Científico del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), de La Habana, a saber:⁸

1. Valores del electrocardiograma en adolescentes entrenados de 14 a 16 años.
2. Forma en que se efectúa la regulación cronotrópica del corazón en condiciones normales.
3. Correlación entre las cargas físicas y la frecuencia cardiaca, presión arterial sistólica y frecuencia respiratoria en los deportistas.
4. Medidas principales de las distribuciones de los intervalos RR en jóvenes deportistas bajo los efectos de cargas físicas discontinuas.
5. Índices de los autocorrelogramas aplicados al ritmo cardiaco en estado de reposo, ejercicio y recuperación.
6. Efectos fisiológicos de las cargas físicas sobre el grado de arritmia sinusal.
7. Características de los autocorrelogramas en la determinación de los procesos relacionados con la regulación cardiaca.
8. Análisis del estado del sistema de regulación cardiaca por el método de ritmografía durante las condiciones de reposo, ejercicio y recuperación.
9. Ondas lentas del ritmo cardiaco.
10. Capacidad de trabajo físico en adolescentes entrenados.
11. Análisis de los estados de reposo, ejercicio y recuperación por el método de cardiointervalografía.
12. El grado de arritmia sinusal durante la ejecución de las pruebas funcionales de Stangue, Herike y Aschner.

En la cuarta convocatoria al Premio Anual de la Salud, parte de la mencionada investigación inscrita con el título de *Características electrocardiográficas y regulación cardiaca en adolescentes entrenados* obtuvo uno de los 3 premios que solo se otorgaban en esa época, a escala nacional. Fue la primera vez que un trabajo científico, cuyo autor pertenecía a una Facultad de Ciencias Médicas del país merecía esa distinción. En 1978 se le otorgó el premio anual al mejor trabajo científico del Ministro de Salud Pública, junto a los libros *La experiencia de laparoscopia* del Dr. Raimundo Llanio y *La experiencia de los trasplantes renales* del Dr. Sergio Arce, ambos pertenecientes a institutos de investigación situados en la Habana.

Una selección de 6 de estos trabajos, agrupados con el título de *Características electrocardiográficas y procesos de la regulación cardiaca*, fue presentada en la I Jornada Científica del sector de la salud, celebrada en Guadalajara, México, en 1978.

Los resultados obtenidos por el método de análisis de autocorrelación fueron presentados en el XXVIII Congreso Internacional de Ciencias Fisiológicas celebrado en

Budapest, Hungría, en 1980, con el título *The characteristics of the autocorrelograms in the determination of the process dealing with cardiac regulation*.⁹ Este método permitió estudiar los procesos periódicos y no periódicos de la regulación cardiaca. Las características generales de los autocorrelogramas revelaron el surgimiento o existencia de determinados procesos reguladores. Las modalidades presentadas en los distintos periodos fueron ondas periódicas estrechas independientes, amplias independientes, amplísimas independientes o lentas, amplísimas compuestas o lentas, curvas descendentes no periódicas y ondas aplanadas. Estas modalidades se correspondieron con determinados procesos. Además, estos estudios asociados a los cardiointervalogramas y diagramas de frecuencia, permitieron valorar los grados de participación simpática y vagal, así como evidenciar las particularidades adaptativas dentro de los límites de los estados de parasimpaticotonía, normotonía y simpaticotonía. Se concluyó que durante el estado de reposo, las pruebas funcionales y sus periodos de recuperación, no se produce una regulación estricta inmediata en el nivel de cada intervalo RR, sino que existe, más bien, una tendencia a su control fásico promedio.

Resulta importante señalar que la tesis doctoral íntegra fue publicada en 1984 por la Editorial Científico-Técnica.³

Otro trabajo realizado en la década del 80, como parte de la tutoría de tesis de especialista de primer grado en fisiología normal y patológica, tuvo como objetivo correlacionar el funcionamiento de las variables electrocardiográficas en los estadios iniciales del infarto del miocardio y los niveles de enzima transaminasa glutámico-oxalacética (TGO) en pacientes con dicha enfermedad.¹⁰

Además, en años sucesivos se mantuvo como línea de investigación el estudio de los indicadores normales en jóvenes estudiantes universitarios, a través de la asesoría a grupos de estudiantes en la modalidad de trabajos científicos. Fueron objetivos de los mismos los indicadores de presión arterial, frecuencia cardiaca y patrones electrocardiográficos, entre otros. En especial, las series de los intervalos electrocardiográficos RR fueron evaluados por la metodología apropiada para el análisis de la regulación cardiaca de los sujetos en distintas condiciones.

Posteriormente, a finales de la década del 80, se realizaron estudios similares sobre la variabilidad cardiaca, los patrones electrocardiográficos, la presión arterial y la frecuencia respiratoria en ratas normotensas e hipertensas, en condiciones experimentales diversas, tales como hipoxia, efectos anestésicos, medicamentosos y otros, en el Laboratorio de Investigaciones Cardiovasculares y Respiratorias en la Facultad de Medicina No. 2 del Instituto Superior de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, como parte del proyecto de investigaciones conjuntas con el Instituto de Fisiología de la Universidad Wilhelm Pieck de Rostock, RDA. Durante una estancia de intercambio y entrenamiento en aquella universidad en 1988, se impartió una conferencia magistral al claustro de Fisiología sobre las experiencias temáticas en las investigaciones realizadas en Cuba y especialmente sobre los análisis de autocorrelación para evaluar la regulación cardiaca, donde se aportó la bibliografía publicada. También fue posible el intercambio temático y bibliográfico en el Instituto de Fisiología de la Universidad de Greifswald, durante el Taller Científico Internacional sobre Quimiorreceptores celebrado en aquella ciudad. Igual oportunidad de información e intercambio se desarrolló en el Instituto de Fisiología de la Universidad Alejandro Humboldt de Berlín durante la estancia en esa institución docente en este mismo periodo.

Después de un lapso de cese de los intercambios entre la Universidad de Rostock y la de Santiago de Cuba, en agosto del 2003, fue invitada una delegación constituida por 4 docentes, a las actividades conmemorativas por el 40 aniversario de las relaciones de colaboración de aquella universidad de Alemania con Cuba. De este modo se pudo intercambiar sobre el estado de las investigaciones en ambos centros y la posibilidad de reiniciar dichos intercambios entre docentes. Sobre este aspecto se firmó un acuerdo de colaboración conjunta con el Instituto de Fisiología de esa universidad que permitió su inicio en años recientes.

Cabe destacar, que todo el trabajo realizado en la Facultad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba con respecto a los estudios pioneros en el país sobre el tema, fue posible por la presencia en esa época del asesor soviético Vladimir Levedev, perteneciente al Instituto de Medicina de Jaroslav, URSS, quien introdujo la bibliografía entonces recién impresa, que compilaba los trabajos de un conjunto de científicos, entre los cuales descollaban el académico Baevsky y otros.¹¹⁻¹⁴

A partir de la década del 80 se ampliaron las investigaciones en Cuba y se aplicó esta metodología en distintas esferas de las ciencias;¹⁵⁻¹⁸ sin embargo, para una visión más completa de las bibliografías específicas se recomiendan las referidas por los autores mencionados en el artículo citado al inicio de esta investigación.¹

Todos los resultados científicos de las décadas de los setenta y ochenta en Santiago de Cuba estuvieron vinculados con la formación de doctores en ciencias, lo cual se desarrollaba como experiencia singular en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Oriente, y seguía los planes y programas oficiales que en la época desarrollaba el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) de La Habana, así como las experiencias de los asesores soviéticos en su país.¹⁹

CONCLUSIONES

Tomando como referencia los estudios previos sobre el análisis cibernético y matemático del ritmo cardiaco, se iniciaron tempranamente las investigaciones sobre la variabilidad de la frecuencia cardiaca y otras variables funcionales en distintos estados y condiciones en la Facultad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, estas resultaron las primeras experiencias en el país sobre dicha temática. Los múltiples resultados obtenidos y su publicación constituyeron un aporte significativo a la bibliografía médica cubana; su divulgación fue realizada nacional e internacionalmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez Ríos E, Estévez Báez M, Machado García A. Estudios de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en nuestro país. [citado 15 Dic 2016].
2. Delgado Correa W, Levedev VG. Análisis de la reactividad vegetativa en los deportistas. Rev Cubana Med. 1976; 15(6):495-500.
3. Delgado Correa W. Estado del sistema cardiovascular en los deportistas. La Habana: Editorial Científico-Técnica; 1984. p.1-155.
4. Delgado Correa W, Lebedev V. Efectos cardiovasculares durante el tratamiento estomatológico. Rev cubana Estomatol. 1977; 14(1):39-52.

5. Delgado Correa W, Lebedev V. Algunos aspectos sobre la regulación cardiaca durante el embarazo. Rev cubana Obstet Ginecol. 1977; 3(1):69-72.
6. Delgado Correa W. Efecto de las pruebas de apnea de corta duración sobre el grado de arritmia sinusal. Rev cubana Med. 1980; 19(1):1-3.
7. Delgado Correa W. Enfoque metodológico para el estudio de la regulación cardíaca. Rev Cubana Med. 1980; 19(1):5-10.
8. Delgado Correa W. Memoria del VI Seminario Científico del CNIC. La Habana: Palacio de las Convenciones; 1977. p. 155-66.
9. Delgado Correa W, Lebedev V. The characteristics of the autocorrelograms in the determination of the process dealing with cardiac regulation. Budapest: International Congress of Physiological Sciences; 1980. p. 386.
10. Tamames Cantillo P, Delgado Correa W, Castellanos Tardo J. Niveles de enzima transaminasa glutámico-oxalacética en pacientes con infarto agudo del miocardio. Bol Cientif. 1987; 5(1):73-80.
11. Baevsky RM. Sinosaia aritmia stochki zrenia Kibernetiki. Matematicheskie metodi analiza serdechnogo ritma. Moskva: Nauka; 1968. p. 9-23.
12. Baevsky RM, Priajin BA. Algoritmo y programa de máquina para el control médico del ritmo cardíaco. En: Métodos de análisis matemáticos del ritmo cardíaco. Moscú: Nauka; 1968. p. 136-40.
13. Baevsky RM, Volkov N, Nideker IG. Materiali pervoi vsesoiuznoi konferentsi po elektronin priiboram y nevrofisiologii. Moskva: Nauka; 1966.
14. Baevsky RM, Bujarin V. Los problemas de la medicina cosmonáutica. Moscú: Nauka; 1966.
15. Estévez M, Asyamolova MM, Brodyetskaya M, Rodríguez F, Peñalver J, Grachev VA, et al. Investigación de la actividad bioeléctrica cerebral de los cosmonautas en estado de impesantez (Experimento Córtex). Revista Órbita (Edición extraordinaria); 1985. p.154-76.
16. Estévez M, Iglesia Alfonso J, Villar Olivera C, Cabana González JJ, Fernández Pérez LG, Pujol García JC. El sistema "Neuromega" en la evaluación de la influencia del estrés. Rev Cubana Med Mil. 1994; 23(1):42-56.
17. Estévez Báez M, Iglesias Alfonso J, Sánchez Quesada K, Serra Ortega A, Reyes Mur L, Molina Millán M. Análisis comparativo de indicadores de la actividad cronotrópica cardiaca durante el reposo en decúbito supino en pacientes diabéticos e individuos sanos. Revista CNIC (Ciencias Biológica). 1997; 20(3):170-2.
18. Hernández Rodríguez H, Deschappelle Himely E. Variabilidad de la frecuencia cardiaca en pacientes con infarto agudo del miocardio. Rev Cubana Med Mil. 2005 [citado 15 Dic 2016]; 34(3).
19. Delgado Correa W. El inicio de la formación de doctores en ciencias en Santiago de Cuba: una experiencia singular. MEDISAN. 2015 [citado 15 Dic 2016];19(7).

Recibido: 22 de octubre de 2016.
Aprobado: 25 de diciembre de 2016.

Wilkie Delgado Correa. Facultad de Estomatología, esquina Plácido s/n, Santiago de Cuba, Cuba. Correo electrónico: wilkie.delgado@sierra.scu.sld.cu