

Cambios en la actividad eléctrica ventricular durante el ejercicio isométrico en adultos jóvenes normorreactivos e hiperreactivos

Changes in ventricular electrical activity during isometric exercise in normoreactive and hyperreactive young adults

José Carlos Casas Blanco^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-2064-0374>

Alexis Rodríguez Pena¹ <https://orcid.org/0000-0002-7671-5884>

Otmara Guirado Blanco^{†1} <https://orcid.org/0000-0001-8035-6071>

Héctor J González Paz¹ <https://orcid.org/0000-0003-3132-9717>

Marianela Ballesteros Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0003-2687-6302>

Ian Rafael Díaz López¹ <https://orcid.org/0000-0002-6330-9596>

¹Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Cuba.

*Autor para la correspondencia: Correo electrónico: joseccb@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: Los individuos con hiperreacción cardiovascular poseen un riesgo cinco veces superior de padecer hipertensión. En el contexto cubano no están descritos los cambios en la actividad eléctrica ventricular del electrocardiograma, durante la prueba isométrica del peso sostenido, y no se conoce si estos pueden estar influenciados por el grado de reactividad cardiovascular.

Objetivo: Describir los parámetros de la actividad eléctrica ventricular en condiciones basales y durante el ejercicio isométrico, en adultos jóvenes de ambos sexos con diferente grado de reactividad cardiovascular.

Métodos: La muestra estuvo constituida por 130 individuos de ambos sexos, y se dividió en dos grupos: Normorreactivos e hiperreactivos. A todos se les realizó un electrocardiograma digital en derivación DII; se utilizó el programa LabChart 8 en un polígrafo ADInstruments. Se estudiaron las siguientes variables: Complejo QRS, intervalo QT corregido (QTc), intervalo JT, intervalo Tpeak-Tend, amplitud del segmento ST y de la onda T en reposo, en el ejercicio isométrico y durante la recuperación.

Resultados: Entre las mujeres normorreactivas e hiperreactivas se encontraron diferencias significativas en la amplitud de la onda T, tanto basales, durante el ejercicio isométrico, como en la recuperación. Entre los hombres de ambos grupos solo se encontraron diferencias significativas en el intervalo JT, durante el ejercicio.

Conclusiones: Los cambios producidos en la regulación autonómica de la función cardíaca durante el ejercicio isométrico y la recuperación, se reflejaron en la actividad eléctrica ventricular en los individuos normorreactivos e hiperreactivos de ambos sexos, principalmente en el intervalo JT y la altura de la onda T.

DeCS: ejercicio físico; electrocardiografía; hipertensión; factores de riesgo.

ABSTRACT

Introduction: individuals with cardiovascular hyperreaction have a five times higher risk of suffering from hypertension. In the Cuban context, the changes in the ventricular electrical activity of the electrocardiogram during the sustained weight isometric test have not been described, and it is not known whether these may be influenced by the degree of cardiovascular reactivity.

Objective: to describe the parameters of ventricular electrical activity in basal conditions and during isometric exercise, in young adults of both genders with different degrees of cardiovascular reactivity.

Methods: the sample consisted of 130 individuals of both genders, and was divided into two groups: normoreactive and hyperreactive. All of them underwent a digital electrocardiogram in DII lead; LabChart 8 software on an ADInstruments polygraph was used. The following variables were studied: QRS complex, corrected QT interval (QTc), JT interval, Tpeak-Tend interval, ST segment and T wave amplitude at rest, in isometric exercise and during recovery.

Results: significant differences between normoreactive and hyperreactive women were found in the amplitude of the T wave, both at baseline, during isometric exercise, and in recovery. Significant differences were only found between men in both groups in the JT interval, during exercise.

Conclusions: the changes produced in the autonomic regulation of cardiac function during isometric exercise and recovery were reflected in the ventricular electrical activity in normoreactive and hyperreactive individuals of both genders, mainly in the JT interval and the height of the T wave.

MeSH: exercise; electrocardiography; hypertension; risk factors.

Recibido: 18/10/2021

Aprobado: 4/04/2022

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, varios estudios han demostrado que la hiperreactividad cardiovascular es un marcador independiente del riesgo de padecer hipertensión arterial (HTA).⁽¹⁾ En este sentido se han observado individuos que presentan respuestas cardiovasculares exageradas al estrés emocional o físico, los cuales son llamados hiperreactivos y poseen un riesgo cinco veces superior de padecer HTA en comparación con los que no tienen estas respuestas. Estos últimos se denominan normorreactivos cardiovasculares.⁽²⁾ Por otro lado, se han encontrado diferencias de género en los patrones hemodinámicos, tanto basal como durante el ejercicio isométrico, en los adultos jóvenes con diferente grado de reactividad cardiovascular.⁽³⁾

El electrocardiograma (ECG) es una exploración complementaria que ha sido ampliamente utilizada en el diagnóstico, pronóstico y seguimiento de enfermedades cardiovasculares, entre las que se incluye la hipertensión arterial. En el curso de la evolución de la HTA se han descrito cambios en la geometría ventricular izquierda por hipertrofia, lo que puede reflejarse en el ECG.⁽⁴⁾ Chávez E. y col.^(5,6) encontraron

evidencias de dispersión de la onda P en individuos hipertensos y prehipertensos, lo cual se ha asociado con un riesgo incrementado de fibrilación auricular.

Es conocido que durante el ejercicio físico moderado o intenso, en pacientes con insuficiencia coronaria, se observan cambios en el electrocardiograma, sobre todo en la etapa de repolarización ventricular, pero estos cambios no solo reflejan dicha condición. En este sentido, se ha comprobado que en individuos normales durante el ejercicio físico, aparecen cambios tempranos del segmento ST y la onda T, los cuales modifican el gradiente ventricular.⁽⁷⁾ La mayoría de los cambios electrocardiográficos observados están relacionados con la influencia del sistema autónomo sobre la actividad cardíaca.⁽⁷⁾

A pesar de la amplia aplicación de la prueba isométrica en la práctica médica, todos los estudios realizados se basan en las respuestas hemodinámicas al esfuerzo físico o en los cambios autonómicos cardíacos.⁽³⁾ En el contexto cubano no se han estudiado los cambios en la actividad eléctrica ventricular obtenidos de un registro digital del ECG durante la prueba isométrica del peso sostenido. Se desconoce si estos cambios pueden estar influenciados por el grado de reactividad cardiovascular.

El objetivo de esta investigación fue describir los parámetros de la actividad eléctrica ventricular en condiciones basales y durante el ejercicio isométrico en adultos jóvenes de ambos sexos con diferente grado de reactividad cardiovascular.

MÉTODOS

Se realizó un estudio analítico y transversal de comparación de grupos en la Unidad de Investigaciones Biomédicas (UNIB) de la Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara (UCM-VC), en el período comprendido de octubre de 2015 a octubre de 2018. La población de estudio estuvo constituida por un total de 600 estudiantes cubanos entre 18 y 22 años de edad, procedentes de los dos primeros años de la carrera de Medicina que cursaron estudios en la sede central de la UCM-VC durante el período analizado y que consintieron formar parte de la investigación. Se tomó una muestra no probabilística de 130 estudiantes por la técnica de muestreo deliberado sobre la base de los criterios establecidos por los autores. Fueron excluidos del estudio 10 individuos que no

cumplieron los requisitos establecidos para las pruebas. La muestra quedó finalmente constituida por 120 individuos: 71 del sexo femenino y 49 del sexo masculino.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Tener antecedentes de enfermedades crónicas sistémicas, incluyendo HTA establecida.
- Electrocardiograma convencional anormal con signos de afecciones cardíacas como: arritmias, bloqueos, u otras.
- Evidencia clínica de enfermedades neurológicas o psiquiátricas como depresión o ansiedad.
- Tener tratamiento o haber ingerido previamente algún medicamento que pudiera influir sobre el sistema nervioso autónomo.
- Existencia de antecedentes personales de alto consumo de alcohol o café.

Se realizó una toma inicial de la presión arterial en el miembro superior derecho en posición sentada por el método auscultatorio clásico, con un esfigmomanómetro de mercurio (Hg) marca Kennel. A continuación, se realizó la prueba de peso sostenido (PPS) con el individuo colocado en posición sentada sujetando una pesa de 500 gramos con el miembro superior izquierdo, perpendicular al cuerpo durante 2 minutos. Según los valores de la presión arterial media (PAM) se clasificaron los individuos en normorreactivos (n=79, 46 mujeres y 33 varones) e hiperreactivos (n=41, 25 mujeres y 16 varones). Se cumplieron los requisitos establecidos por Paz Basanta y col.⁽⁸⁾ Los individuos fueron agrupados de acuerdo al género.

En un primer momento los individuos se acostaron en una cama confortable donde reposaron durante 10 minutos; posteriormente, previa limpieza con alcohol, se colocaron los electrodos de superficie para realizar un electrocardiograma convencional en 12 derivaciones. En la adquisición y procesamiento de la señal se empleó un filtro pasabanda de 0,5 a 30 Hz y se digitalizó mediante el programa LabChart 8, para ello se utilizó el módulo Dual BioAmp asociado a un polígrafo de 8 canales ADInstruments acoplado a una computadora.

En un segundo momento se realizó la prueba isométrica durante 2 minutos en posición decúbito supino. Para ello se colocó al individuo con el brazo izquierdo en el borde de la cama, con el brazo extendido paralelo al piso, y se determinaron los valores de presión arterial sistólica, diastólica y media, en el primer y segundo minuto de la prueba.

El estudio de la actividad eléctrica ventricular se registró de forma continua, tanto basal en el ejercicio isométrico como durante los 10 minutos de recuperación, en la derivación DII del electrocardiograma en un canal de registro del programa LabChart 8.

El análisis posterior de los registros digitalizados incluyó la inspección visual de estos, a fin de evaluar la calidad y presencia de posibles artefactos, así como su edición posterior para la eliminación de los artefactos encontrados.

Se analizaron las siguientes variables:

Duración del complejo QRS: medición desde el inicio de la onda Q hasta el final de la onda S, se expresa en segundos.

Intervalo QT corregido (QTc): medición desde el inicio del complejo QRS hasta el final de la onda T, se expresa en segundos.

Intervalo JT: medición desde el punto J hasta el final de la onda T. Se expresa en segundos.

Intervalo Tpeak-Tend: medición desde la cúspide o nadir de la onda T hasta el final de esta, se expresa en segundos.

Altura del segmento ST: desplazamiento del segmento ST por encima o por debajo de la línea isoeleétrica, se expresa en mV.

Amplitud de la onda T: medición desde la línea isoeleétrica hasta la cúspide de la onda T, se expresa en mV.

Las mediciones de los parámetros estudiados se realizaron por el mismo observador en el tiempo comprendido de 8:00 a.m. a 10:30 a.m., en el Laboratorio de Fisiología Cardiovascular de la Unidad de Investigaciones Biomédicas con condiciones de temperatura controladas entre 25 y 27⁰C.

Los datos fueron almacenados en un fichero en SPSS versión 20 para Windows y fueron procesados según los objetivos de la investigación. Se realizó la comparación de las variables de estudio entre los grupos a través de la prueba t de Student para muestras

independientes. Para la comparación de los valores basales con los alcanzados durante el ejercicio isométrico y la recuperación, se utilizó una prueba t de Student para muestras relacionadas. Se consideró la significación estadística $p < 0,05$. Para la decisión estadística se prefijó un nivel de significación α de 0,05, donde: si $p < \alpha$ existió relación estadísticamente significativa entre las variables, y si $p > \alpha$, no existió relación estadísticamente significativa entre las variables.

Todo el proceso de inclusión y permanencia dentro del estudio se realizó bajo los principios de la bioética. Se obtuvo el consentimiento informado de cada uno de los individuos que participaron. Aquellos que fueron excluidos o que salieron del estudio por presentar problemas cardiovasculares, fueron remitidos a su área de salud para valorar la atención médica más adecuada.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los parámetros de la actividad eléctrica ventricular en el sexo femenino, según el grado de reactividad cardiovascular en condiciones basales, de ejercicio y durante la recuperación.

Tabla 1. Parámetros de la actividad eléctrica ventricular en el sexo femenino según el grado de reactividad cardiovascular en condiciones basales, de ejercicio y durante la recuperación.

Variables	Normorreactivas (n=46)				Hiperreactivas (n=25)			
	Basal	PPS	Rec. 5 min	Rec. 10 min	Basal	PPS	Rec. 5 min	Rec. 10 min
Duración QRS (s)	0,0689±0,01	0,0708±0,01 ^a	0,0688±0,01 ^b	0,0685±0,01 ^c	0,0694±0,01	0,0702±0,01	0,0684±0,01 ^b	0,0680±0,01 ^{c,d}
Intervalo QT _c (s)	0,3799±0,02	0,3848±0,03	0,3799±0,02	0,3785±0,03 ^c	0,3786±0,02	0,3850±0,02 ^a	0,3759±0,02 ^b	0,3776±0,01 ^c
Intervalo JT (s)	0,2641±0,03	0,2547±0,03 ^a	0,2668±0,03 ^b	0,2675±0,03 ^c	0,2613±0,02	0,2539±0,02 ^a	0,2623±0,03 ^b	0,2678±0,03 ^{c,d}
Intervalo Tpeak-Tend (s)	0,0584±0,01	0,0591±0,01	0,0587±0,01	0,0577±0,01	0,0575±0,01	0,0572±0,01	0,0575±0,01	0,0580±0,01
Altura del ST(mV)	0,0419±0,06	0,0428±0,07	0,0450±0,07	0,0505±0,07 ^{c,d}	0,0677±0,08	0,0711±0,08	0,0712±0,08	0,0751±0,07 ^d
Amplitud onda T(mV)	0,4687±0,22	0,4643±0,24	0,4787±0,23	0,4951±0,24 ^{c,d}	0,5723±0,19*	0,5704±0,20*	0,5789±0,18*	0,5878±0,17

Prueba T para muestras independientes. Comparación entre normorreactivas e hiperreactivas según el momento. $p < 0,05$.
 Prueba T para muestras relacionadas dentro de un mismo grupo comparación entre diferentes momentos. Se establecieron las comparaciones siguientes:

PPS-Basal ^a $p < 0,05$; Rec.0-5-PPS^b $p < 0,05$; Rec. 5-10-PPS^c $p < 0,05$; Rec. 5-10-Basal^d $p < 0,05$.

Unidades: segundos (s).Milivoltios (mV).

PPS: prueba del peso sostenido.

Rec. 0-5: recuperación en los primeros cinco minutos después del ejercicio.

Rec. 5-10: recuperación en los últimos cinco minutos después del ejercicio.

Intervalo QT_c: intervalo QT corregido para la frecuencia cardíaca.

En las mujeres normorreactivas, al comparar los valores de la media de estos parámetros en los diferentes momentos, se obtuvieron diferencias significativas entre la duración del QRS y el intervalo JT durante el ejercicio isométrico en relación a los valores basales, así como entre los primeros cinco minutos de la recuperación con relación al ejercicio ($p < 0,05$). En la comparación entre los últimos cinco minutos de la recuperación con el ejercicio se observaron diferencias significativas en: los valores de la media del QRS, los intervalos QT_c, y JT y en la amplitud de la onda T. Entre los últimos cinco minutos de la recuperación con el valor basal solo existieron diferencias significativas entre las medias de la amplitud de la onda T ($p < 0,05$).

En las mujeres hiperreactivas los valores de la media de los intervalos QT_c y JT, durante el ejercicio isométrico, tuvieron diferencias significativas con los valores basales ($p < 0,05$). También se encontraron diferencias significativas entre las medias del QRS y de los intervalos QT_c y JT al comparar los primeros y últimos cinco minutos de la recuperación con el ejercicio ($p < 0,05$). Asimismo, se observaron diferencias significativas entre la duración del QRS, el intervalo JT y la altura del ST en los últimos minutos de la recuperación con relación a los valores basales ($p < 0,05$).

En la comparación entre los grupos de mujeres normorreactivas e hiperreactivas se encontraron diferencias significativas en la amplitud de la onda T, tanto en condiciones

basales durante el ejercicio isométrico, como en los primeros cinco minutos de la recuperación ($p < 0,05$).

La Tabla 2 muestra los parámetros de la actividad eléctrica ventricular en el sexo masculino, según el grado de reactividad cardiovascular en condiciones basales, de ejercicio y durante la recuperación.

Tabla 2. Parámetros de la actividad eléctrica ventricular en el sexo masculino según el grado de reactividad cardiovascular en condiciones basales, de ejercicio y durante la recuperación.

Variables	Normorreactivos (n=33)				Hiperreactivos (n=16)			
	Basal	PPS	Rec. 5 min	Rec. 10 min	Basal	PPS	Rec. 5 min	Rec. 10 min
Duración QRS (s)	0,0694±0,01	0,0704±0,01	0,0694±0,01	0,0664±0,01	0,0724±0,01	0,0736±0,01	0,0726±0,01	0,0727±0,01
Intervalo QT _c (s)	0,3575±0,03	0,3658±0,02 ^a	0,3551±0,02 ^b	0,3585±0,02 ^c	0,3624±0,02	0,3651±0,02	0,3554±0,02 ^b	0,3577±0,01 ^{c,d}
Intervalo JT(s)	0,2612±0,03	0,2594±0,03	0,2622±0,03	0,2673±0,03 ^c	0,2525±0,02	0,2439±0,02 ^{*e}	0,2536±0,02 ^b	0,2561±0,02 ^c
Intervalo T _{peak} -T _{end} (s)	0,0614±0,01	0,0624±0,01	0,0593±0,01	0,0605±0,01	0,0615±0,01	0,0605±0,01	0,0604±0,01	0,0593±0,01 ^d
Altura del ST (mV)	0,1878±0,15	0,2336±0,21	0,1956±0,15	0,1956±0,15	0,1708 ±0,10	0,1911±0,10 ^a	0,1776±0,10 ^b	0,1820 ±0,10 ^{c,c}
Amplitud onda T(mV)	0,7814±0,39	0,8581±0,40	0,8105±0,37	0,8115±0,38	0,8018±0,31	0,8465±0,30 ^a	0,8324±0,31	0,8416±0,32

Prueba T para muestras independientes. Comparación entre normorreactivos e hiperreactivos según el momento. ^{*} $p < 0,05$. Prueba T para muestras relacionadas dentro de un mismo grupo comparación entre diferentes momentos. Se establecieron las comparaciones siguientes:

PPS-Basal a $p < 0,05$; Rec.0-5-PPS^b $p < 0,05$; Rec. 5-10-PPS^c $p < 0,05$; Rec. 5-10-Basal^d $p < 0,05$.

Unidades: segundos (s) .Milivoltios (mV).

PPS: prueba del peso sostenido.

Rec. 0-5: recuperación en los primeros cinco minutos después del ejercicio.

Rec. 5-10: recuperación en los últimos cinco minutos después del ejercicio.

Intervalo QT_c: intervalo QT corregido para la frecuencia cardíaca.

En el grupo de los hombres normorreactivos se observaron diferencias significativas entre las medias del intervalo QT_c durante el ejercicio y los valores basales ($p < 0,05$). También se obtuvieron diferencias estadísticas en el intervalo QT_c entre los primeros cinco minutos de la recuperación con el ejercicio ($p < 0,05$). Al comparar los últimos minutos de la recuperación con el ejercicio se encontraron diferencias significativas en el intervalo QT_c y el JT ($p < 0,05$). En el análisis comparativo de los últimos cinco minutos de

la recuperación con los valores del ejercicio se constataron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de los intervalos QTc y JT.

En los hombres hiperreactivos se hallaron diferencias significativas entre los valores de la media del intervalo JT, la altura del ST y la amplitud de la onda T durante la etapa de ejercicio con respecto a los valores basales ($p < 0,05$). También existieron diferencias significativas entre las medias de los intervalos QTc y JT y la altura del ST cuando se compararon los primeros y últimos cinco minutos de la recuperación con el ejercicio ($p < 0,05$). Por último, en la comparación de la última fase de la recuperación con los valores basales se constataron diferencias significativas en los intervalos QTc, y Tpeak-Tend y en la altura del ST ($p < 0,05$).

Finalmente, cuando se compararon las variables entre los hombres normorreactivos e hiperreactivos en los diferentes momentos del estudio, solo se encontraron diferencias significativas en el intervalo JT durante la etapa del ejercicio isométrico ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

Es conocido que el ejercicio físico es una condición que genera estrés en el aparato cardiovascular y permite evidenciar algunos fenómenos electrofisiológicos que no son visibles mientras el individuo se encuentra en reposo.

Específicamente, en las mujeres normorreactivas, el valor medio de la duración del complejo QRS se incrementó significativamente durante el ejercicio isométrico en relación al estado basal. El ensanchamiento del complejo QRS significa que se ha producido un retardo de la conducción del estímulo eléctrico por el sistema His-Purkinje y a través del músculo ventricular.⁽⁹⁾ En el contexto de esta investigación, el hallazgo de un incremento de la duración del complejo QRS no tiene significado clínico ya que todos los parámetros se encuentran dentro de rangos de normalidad. Durante la realización de un ejercicio se incrementa la frecuencia cardíaca (FC) por una mayor estimulación simpática y una disminución de la actividad parasimpática; este aumento de la FC puede generar grados variables y muy discretos de retraso fisiológico en la conducción intraventricular, sin significado clínico alguno, lo cual se explica por el fenómeno de aberración.⁽⁸⁾

El bloqueo de la conducción dependiente de la frecuencia o conducción aberrante consiste en la aparición transitoria de un trastorno de la conducción intraventricular en ausencia de bloqueo de rama preexistente, preexcitación o efecto de drogas. En lo fisiológico, la conducción aberrante se produce mayormente por bloqueo dependiente de la frecuencia.^(9,10) A mayor frecuencia cardíaca mayor probabilidad de que ocurra un bloqueo fisiológico y se afecte la duración del complejo QRS, lo cual es perfectamente aceptable para explicar por qué cuando se somete un individuo a un ejercicio físico el complejo QRS se ensancha.

Tanto en los individuos normorreactivos como hiperreactivos, al concluir el ejercicio isométrico e iniciar la fase de recuperación, se produce una disminución rápida de la actividad simpática y un aumento de la actividad vagal, lo que da lugar a un descenso de la frecuencia cardíaca y una disminución de la duración del complejo QRS que alcanza valores similares a los basales.

Una situación similar fue encontrada al analizar la duración del intervalo QTc donde se evidenció que en ambos grupos la media de su duración en condiciones basales fue inferior a los valores alcanzados durante el ejercicio. Este alargamiento del QTc fue discreto; sin embargo, en las mujeres hiperreactivas y en los hombres normorreactivos fue significativo.

La mayoría de los métodos utilizados actualmente para el análisis de la repolarización ventricular y su regulación, se basan en el estudio del intervalo QT, su duración, variabilidad y dinamismo.⁽¹¹⁾ El intervalo QT ha sido utilizado durante décadas para evaluar la repolarización ventricular. Desde que Bazett en 1920 creó su fórmula para el cálculo de este intervalo, con una corrección de acuerdo a la FC, se ha considerado como la regla de oro para el análisis de la repolarización ventricular.⁽¹²⁾ No obstante, la fórmula de Bazett ha sido muy criticada. Una de las críticas que ha recibido es que incluye la fase de despolarización (complejo QRS), lo cual realmente no es necesario, ya que se sobrevalora la duración del intervalo QT.⁽⁹⁾

Es conocido que todas aquellas circunstancias que ensanchan el complejo QRS producen un incremento proporcional en el intervalo QT. En este sentido, durante la recuperación de un ejercicio físico el incremento de la actividad parasimpática favorece el regreso a los niveles basales del intervalo QTc. Por tal motivo, la literatura ha

propuesto que la mejor forma de estudiar la repolarización ventricular es a través del intervalo JT, el cual evalúa la fase de repolarización pura y excluye la despolarización.

Es importante recalcar que cuando se utilizan sistemas computarizados para el análisis del intervalo QT, también se pueden introducir sesgos. No obstante, actualmente existen numerosos métodos computarizados que han sido validados para la medición automática del intervalo QT.⁽¹³⁾

Otro fenómeno importante que se debe tener en cuenta es la histéresis. El intervalo QT, está muy influenciado por los cambios en el ritmo cardíaco, aunque hay otros muchos factores que determinan sus variaciones. La respuesta del QT a los cambios en el RR no es inmediata, sino que existe cierto retraso en la adaptación. Se ha demostrado que el QT necesita entre 2 y 3 minutos para completar el 90 % del cambio en respuesta a una variación abrupta en la frecuencia cardíaca.⁽¹⁴⁾

La elevada variabilidad entre los individuos en el tiempo de adaptación del QT a cambios en el RR debería ser tomada en cuenta cuando se considera la corrección del intervalo QT debido a los efectos del ritmo cardíaco. Cualquier aproximación que se haga de forma generalizada tiende a subestimar o sobreestimar la verdadera relación (QT, RR) y, en consecuencia, llevará a cometer errores en los valores de QTc.⁽¹⁴⁾

A partir de las observaciones clínicas, los hallazgos sobre el papel del sistema nervioso autónomo (SNA) en el intervalo QT son difíciles de conciliar. Estudios realizados por Couderc y col.⁽¹¹⁾ sobre la base del bloqueo farmacológico autonómico, encontraron que las estimulaciones simpáticas prolongan el intervalo QT, y las estimulaciones vagales lo acortan. Otros autores compararon la duración de los intervalos QT entre los períodos diurno y nocturno a una frecuencia cardíaca similar a los 60 latidos por minuto, y encontraron una diferencia cercana a los 18 ms entre los diferentes estudios al comparar los valores diurnos con los nocturnos. Por otra parte, el intervalo QT y la frecuencia cardíaca suelen estar relacionados de manera inversa, pero esta relación se pierde tanto a frecuencias cardíacas altas como bajas. El SNA afecta el intervalo QTc, independientemente de la frecuencia cardíaca, como lo revelan los estudios de estimulación.⁽¹²⁾ Sok Yoo y colaboradores⁽¹⁵⁾ encontraron que la duración del intervalo QTc varía según un patrón circadiano, que es mayor durante la noche que durante el día, guarda una relación inversa con los cambios de la frecuencia cardíaca y refleja las

influencias que ejercen el sistema nervioso autónomo simpático (que abrevia los intervalos QT y RR) y el parasimpático (que los prolonga).

La influencia que ejerce el SNA en la duración de los intervalos QTc puede ser directa, mediante las modificaciones sobre las corrientes iónicas que originan el potencial de acción, o de manera indirecta, a través de los cambios de intervalos R-R.

Moleiro y col.⁽¹⁶⁾ informaron resultados similares a los del presente estudio. Estos autores observaron durante el ejercicio dinámico un incremento en la duración del intervalo QTc al aumentar la FC de 80 a 120 latidos por minuto en individuos aparentemente sanos con una media de 31,7 años de edad. Arati Meher y colaboradores⁽¹²⁾ encontraron una prolongación del intervalo QTc posterior a la realización de un ejercicio isométrico, si bien no analizaron este intervalo durante el ejercicio. No obstante, pese a los resultados encontrados, concluyeron que el ejercicio induce cambios en el QT que son variables y difíciles de explicar.

Todos los argumentos expuestos con anterioridad son fácilmente comprensibles al efectuar el análisis de la duración del intervalo JT en las diferentes situaciones. El valor medio de la duración del intervalo JT fue mayor en condiciones basales que durante el ejercicio isométrico. Este acortamiento del intervalo JT fue significativo en todos los grupos estudiados, excepto en los hombres normorreactivos. Al incrementarse la activación simpática, la fase 2 del potencial de acción del sistema excito-conductor del corazón se acorta, y la expresión de este fenómeno es el acortamiento en la duración del intervalo JT. Este hecho se corresponde con los cambios relacionados con la frecuencia en la duración del potencial de acción ventricular normal y en la refractariedad.⁽⁹⁾ A medida que la actividad simpática comienza a declinar y se incrementa la actividad parasimpática, la duración de este intervalo regresa nuevamente a sus valores basales.

El intervalo Tpeak-Tend ha sido utilizado como un índice de la dispersión de la repolarización ventricular transmural. Al analizar el comportamiento de este parámetro entre los individuos con diferente grado de reactividad cardiovascular, se observó que no fue similar. En el grupo de normorreactivos en ambos sexos, el valor medio del Tpeak-Tend fue menor en condiciones basales; a medida que se incrementó la actividad simpática durante la realización de la prueba isométrica, este valor aumentó.

Posteriormente, en la recuperación, el valor medio del Tpeak-Tend disminuyó hasta alcanzar valores cercanos al existente en condiciones basales. En las féminas y hombres hiperreactivos los valores basales del Tpeak-Tend fueron superiores desde las condiciones de reposo, y durante el ejercicio mostró un discreto acortamiento. En las mujeres hiperreactivas durante la etapa de recuperación, el valor medio de este intervalo se incrementó y alcanzó valores superiores al basal. Lo contrario ocurrió en los hombres hiperreactivos donde los valores medios del intervalo Tpeak-Tend disminuyeron, incluso por debajo del valor basal. Pese a los discretos cambios encontrados en los diferentes grupos, no se encontraron diferencias estadísticas entre el valor de la media del intervalo Tpeak-Tend en los diferentes momentos.

El intervalo Tpeak-Tend ha sido propuesto como el índice más representativo a la hora de valorar la repolarización ventricular, ya que es el menos influenciado por los cambios en la frecuencia cardíaca, de la modulación autonómica y la duración del complejo QRS.⁽¹⁷⁾

El intervalo Tpeak-Tend es un importante predictor de arritmias ventriculares malignas, como: *Torsades de Pointes* y muerte súbita cardíaca. El aumento de la estimulación simpática provoca importantes cambios en la repolarización cardíaca, con la cual pueden producirse cambios en los valores de los índices de repolarización ventricular.⁽¹⁸⁾

Un incremento de la actividad simpática reduce la dispersión transmural de la repolarización, pero puede producir una repolarización temprana del miocardio medio. En cambio, la estimulación parasimpática no tiene efectos significativos sobre la dispersión transmural de la repolarización.⁽¹⁹⁾

Al analizar el valor de la media de la altura del segmento ST, se pudo observar que la variación de dichos valores fue muy discreta en los diferentes momentos. Pese a que se constataron diferencias significativas, estos cambios fueron mínimos y no rebasaron los límites de la normalidad.

La amplitud normal del punto J y el segmento ST cambia según la raza, sexo y edad. Es típicamente mayor en la derivación V_2 , y es más recurrente en hombres que en mujeres jóvenes, en afroamericanos que en blancos. Recientemente, se ha fijado la elevación máxima del punto J normal en las derivaciones V_2 y V_3 en 0,2 mV para hombres de 40 años o más, en 0,25 mV para hombres por debajo de los 40 años, y en 0,15 mV para las

mujeres. En otras derivaciones, el límite superior recomendado es de 0,1 mV. En el presente estudio las modificaciones en la amplitud del intervalo ST se encontraron por debajo de los 0,04 mV.

El segmento ST puede encontrarse notablemente elevado en personas normales, especialmente en las derivaciones derechas y precordiales medias. La elevación del segmento ST puede aparecer en solitario o como parte del patrón de repolarización precoz y alcanza su valor más prominente en condiciones de aumento del tono vagal.⁽¹⁹⁾

Los estudios de Tikkanen y col.⁽²⁰⁾ demostraron un aumento significativo del riesgo de muertes por arritmia con cocientes de riesgo ajustados de 1,43 con elevación del punto J de 0,1 mV o superior, y 3,14 con elevación del punto J por encima de 0,2 mV, entre personas adultas asintomáticas con patrones de repolarización precoz caracterizados por segmentos ST horizontales o descendentes en las derivaciones interiores. Este trazado es observado en más del 70 % de la población general con patrones de repolarización precoz; sin embargo, los subgrupos de pacientes con cambios electrocardiográficos en derivaciones laterales o con segmentos ST ascendentes en los trazados de derivaciones inferiores, trazado observado en el 90 % aproximadamente de los deportistas jóvenes, no mostraron un riesgo incrementado. De forma análoga, individuos sanos con elevación del punto J sin ondas J no parecen mostrar un mayor riesgo de muerte súbita.⁽²¹⁾ La identificación y la importancia de las variantes benignas y potencialmente malignas de los patrones de repolarización precoz aún son objeto de controversias y estudios permanentes.

Finalmente, la amplitud de la onda T también mostró variaciones discretas dentro de límites fisiológicos. Se consideraron valores anormales durante la realización del ejercicio, incrementos de más de 2,5 mV en la amplitud de dicha onda.⁽²²⁾

Cárdenes León y col.⁽²³⁾ sometieron 91 atletas a la realización de un ejercicio dinámico y observaron que el 26 % de estos presentaron un supradesnivel del segmento ST, y un 15 % presentó ondas T vagotónicas. Las ondas T vagotónicas se definen como ondas T altas, simétricas y estrechas de más de 0,5 mV en derivaciones de miembros o más de 1mV en derivaciones precordiales. Estas ondas T vagotónicas están relacionadas directamente con un incremento del tono vagal y es frecuente su asociación con otros hallazgos electrocardiográficos, como la bradicardia sinusal. Las ondas T vagotónicas

tienden a desaparecer durante la realización de ejercicio físico por incremento de la actividad simpática.

En este estudio se observó que la amplitud de la onda T disminuyó en las féminas durante la realización del ejercicio isométrico, etapa en la existe un predominio de la actividad simpática. Luego, en la recuperación, al incrementarse el tono vagal la amplitud de la onda T aumentó significativamente a valores superiores a los basales. En este sentido, la presente investigación mostró la existencia de un patrón dinámico de la onda T en diferentes condiciones, con disminución progresiva en la amplitud de dichas ondas durante el esfuerzo, así como su incremento posterior en etapas precoces de la recuperación. Esto se debe, probablemente, al aumento del estímulo adrenérgico durante esta etapa y la disminución secundaria a la hipertonía vagal. Al reaparecer el predominio del tono parasimpático, las ondas T vuelven a su morfología basal. La observación de su atenuación durante el ejercicio, así como su reparación en la etapa de recuperación, ayudaron a confirmar el carácter de variante fisiológica de adaptación de los individuos en diferentes condiciones.

CONCLUSIONES

Los cambios en la regulación autonómica de la función cardíaca, durante las diferentes etapas del ejercicio, se reflejaron en la actividad eléctrica ventricular en los normorreactivos e hiperreactivos de ambos sexos, principalmente en el intervalo JT y la altura de la onda T.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kunrath J, Gurzau E, Gurzau A, Goessler W, Gelmann ER, Thach T-T, *et al.* Blood pressure hyperreactivity: an early cardiovascular risk in normotensive men exposed to low-to-moderate inorganic arsenic in drinking water. *Journal hypertension* [internet]. 2013 [citado 7 abr. 2018];31(2):[aprox. 8 p.]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3542419/>

2. Paz Basanta H, Ventura Espina JL, Rojas Rodríguez I, Rivero de la Torre JR, González Paz H, Menéndez Carrasco J. Valor de la prueba del peso sostenido para pesquisajes de hipertensión arterial a la población. *Medicent Electrón* [internet]. 1997 [citado 3 mar. 2012];1(2):[aprox. 6 p.]. Disponible en:
<http://www.medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/9>
3. Rodríguez Pena A, Guirado Blanco O, Paz González HJ, Cárdenas Rodríguez AE. Patrones hemodinámicos y respuesta al ejercicio isométrico en normotensos, prehipertensos e hipertensos; diferencias de género. *Medicent Electrón* [internet]. 2018 [citado 6 jun. 2018];22(3):[aprox. 10 p.]. Disponible en:
<http://www.medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/2554/2218>
4. Oktay AA, Lavie CJ, Milani RV, Ventura HO, Gilliland YE, Shah S, *et al.* Current Perspectives on Left Ventricular Geometry in Systemic Hypertension. *Prog Cardiovasc Dis* [internet]. nov. 2018 [citado 22 jun. 2018];59(3):[aprox. 11 p.]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033062016301037>
5. Chávez González E, González Rodríguez E, Castro Hevia J, Llanes Camacho M, García Nóbrega Y, Carmona Puerta R, *et al.* El electrocardiograma del paciente hipertenso. Dispersión de la onda P: nueva medida a tener en cuenta. *MediSur* [internet]. 2010 [citado 2 sep. 2020];8:[aprox. 4 p.]. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2010000500013
6. Chávez E, González E, Castro J, Llanes MdC, Garí M, García Y, *et al.* Incremento en la dispersión de la onda P al disminuir el tiempo de eyección auricular en hipertensos y prehipertensos. *Rev Colomb Cardiol* [internet]. oct. 2016 [citado 6 oct. 2016];18:[aprox. 7 p.]. Disponible en:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56332011000400009&nrm=iso
7. Skibinsky J, Álvarez A, Malinow MR. Modificaciones producidas por el esfuerzo en el electrocardiograma de enfermos con hipertensión arterial. *Rev Arg Cardiol* [internet]. 1953 [citado 4 sep. 2020];20:[aprox. 7 p.]. Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2010000500013

8. Paz Basanta HA, Guirado Blanco O, González Paz HJ, Curbelo Hernández H, de Armas Sáez M, Ventura Espina JL. Nuevos criterios para tratar la hipertensión arterial en el nivel primario de salud. *Medicent Electrón* [internet]. 1998 [citado 5 sep. 2020];2(3):[aprox. 5 p.]. Disponible en:
<http://www.medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/41>
9. Goldberger AL, Mirvis DM. Electrocardiografía. In: Braunwald E. *Tratado de Cardiología Texto de Medicina Cardiovascular*. 10^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2016. p. 120-54.
10. Ferrando Castagnetto F, Vidal A, Ricca-Mallada R, Nogara R, Marichal P, Martínez F. Bloqueo de rama alternante taquicardia-dependiente en cardiopatía isquémica con disfunción sistólica: descripción de caso y revisión de implicancias pronósticas. *Medwave* [internet]. sep. 2018 [citado 21 sep. 2018];15(9):[aprox. 8 p.]. Disponible en:
<http://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Estudios/Casos/6285?ver=sindiseno>
11. Couderc J-P. Measurement and regulation of cardiac ventricular repolarization: from the QT interval to repolarization morphology. *Phil Trans R Soc A* [internet]. sep. 2018 [citado 21 sep. 2018];367(1892):[aprox. 16 p.]. Disponible en:
<https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rsta.2008.0284>
12. Meher A, Bhattacharjee M, Rampal P, Kapoor R, Sharma R. Effect of Isometric Exercise on QTc Interval. *J Clin Diagn Res* [internet]. sep. 2018 [citado 22 sep. 2018];8(8):[aprox. 10 p.]. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25302185>
13. Hermans BJM, Vink AS, Bennis FC, Filippini LH, Meijborg VMF, Wilde AAM, *et al.* The development and validation of an easy to use automatic QT-interval algorithm. *PLOS ONE* [internet]. sep. 2018 [citado 2 sep. 2020];12(9):[aprox. 5 p.]. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28863167/>
14. Pueyo E, Smetana P, Knatkova K, Malik M, Laguna P. Tiempo de adaptación del Qt a cambios en el RR. Relación con el riesgo de muerte arrítmica [internet]. España: Universidad de Zaragoza; 2016 [citado 26 sep. 2020]. Disponible en:
<http://diec.unizar.es/~laguna/personal/publicaciones/caseib02-QT-RR.pdf>

15. Sok Yoo H, Sommi A, Konopka I, Principato M, Pizzarelli N, Tepper R, *et al.* Variaciones espontáneas en la duración de los intervalos QTc en pacientes con síndromes de intervalo QT largo hereditarios. *Rev Argent Cardiol* [internet]. sep. 2018 [citado 26 sep. 2018];85:[aprox. 4 p.]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v85.i5.10292>
16. Moleiro F, Misticchio F, Torres JM, Pulido M, Luque M, Rodríguez A, *et al.* Paradoxical behavior of the QT interval during exercise and recovery and its relationship with cardiac memory. *Clinical Cardiology* [internet]. sep. 2018 [citado 26 sep. 2018];22(6):[aprox. 7 p.]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/clc.4960220609>
17. Icli A, Kayrak M, Akilli H, Aribas A, Coskun M, Ozer SF, *et al.* Prognostic value of Tpeak-Tend interval in patients with acute pulmonary embolism. *BMC Cardiovascular Disorders* [internet]. sep. 2018 [citado 5 sep. 2020];15(1):[aprox. 8 p.]. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=Prognostic+value+of+Tpeak-Tend+interval+in+patients+with+acute+pulmonary+embolism.&client=firefox-b-d&ei=DZ3NYqzaL5n9wbk>
18. Kim NY, Han DW, Koh JC, Rha KH, Hong JH, Park JM, *et al.* Effect of Dexmedetomidine on Heart Rate-Corrected QT and Tpeak-Tend Intervals During Robot-Assisted Laparoscopic Prostatectomy With Steep Trendelenburg Position: A Prospective, Randomized, Double-Blinded, Controlled Study. *Medicine* [internet]. sep. 2018 [citado 26 sep. 2018];95(19):[aprox. 7 p.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27175685>
19. Tse G, Gong M, Li CKH, Leung KSK, Georgopoulos S, Bazoukis G, *et al.* Tpeak-Tend, Tpeak-Tend/QT ratio and Tpeak-Tend dispersion for risk stratification in Brugada Syndrome: A systematic review and meta-analysis. *J Arrhythmia* [internet]. 2018 [citado 26 sep. 2020];34(6):[aprox. 10 p.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6288557/>

20. Tikkanen JT, Juntila MJ, Anttonen O, Aro AL, Luttinen S, Kerola T, *et al.* Early repolarization: electrocardiographic phenotypes associated with favorable long-term outcome. *Circulation* [internet]. mayo 2018 [citado 26 sep. 2018];123(23):[aprox. 7 p.]. Disponible en:
http://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.014068?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%3dpubmed
21. Rosso R, Kogan E, Belhassen B, Rozovski U, Scheinman MM, Zeltser D, *et al.* J-point elevation in survivors of primary ventricular fibrillation and matched control subjects: incidence and clinical significance. *J Am Coll Cardiol* [internet]. oct. 2018 [citado 26 sep. 2018];52(15):[aprox. 7 p.]. Disponible en:
https://scholar.google.com/cu/scholar?output=instlink&q=info:reuQPS89T7sJ:scholar.google.com/&hl=es&as_sdt=0,5&scilfp=16303506482976029364&oi=lle
22. Balady GJ, Morise AP. Prueba de esfuerzo. In: Braunwald E. Tratado de Cardiología Texto de Medicina Cardiovascular. 10^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2016. p. 155-78.
23. León AC, y col. Prevalencia y cambios dinámicos de las ondas T vagotónicas durante el ejercicio en una población futbolista de élite. *Arch Med Deporte* [internet]. sep. 2018 [citado 26 sep. 2018];35(1):[aprox. 5 p.]. Disponible en:
http://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/femede_183.pdf#page=23

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de autores

Conceptualización: José Carlos Casas Blanco, Otmara Guirado Blanco, Alexis Rodríguez Pena.

Curación de datos: José Carlos Casas Blanco, Otmara Guirado Blanco, Alexis Rodríguez Pena, Héctor J. González Paz.

Elaboración del informe: José Carlos Casas Blanco, Otmara Guirado Blanco, Alexis Rodríguez Pena, Héctor J. González Paz, Marianela Ballesteros Hernández.

Análisis estadístico: José Carlos Casas Blanco, Otmara Guirado Blanco, Alexis Rodríguez Pena, Héctor J. González Paz, Marianela Ballesteros Hernández, Ian Rafael Díaz López.