

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA PARA
DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO DEL ELECTROCARDIOGRAMA

JUAN GUILLERMO ACEVEDO CASTILLO

EDSON FABIÁN MOJICA RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2012

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA PARA
DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO DEL ELECTROCARDIOGRAMA

JUAN GUILLERMO ACEVEDO CASTILLO

EDSON FABIÁN MOJICA RODRÍGUEZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO EN INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

CARLOS ANDRÉS NIÑO NIÑO

CODIRECTOR:

DANIEL ALFONSO SIERRA BUENO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
1.1. Población de estudio.....	14
1.2. Equipo de registro de los electrocardiogramas.....	15
1.3. Toma de datos.....	15
1.4. Procesamiento de las señales cardiacas para el calculo de la VFC.....	16
2. RESULTADOS.....	18
2.1. Resultados globales.....	18
2.2. Comparación entre deportistas y sedentarios.....	21
2.3. Comparación del CCI entre deportistas y sedentarios para diferentes intervalos de tiempo.....	18
3. DISCUSIÓN	25
4. CONCLUSIONES.....	27
Bibliografía.....	28

Lista de figuras

1. Complejo PQRST.....	12
2. PowerLab ML 880.....	15
3. Triángulo de Einthoven y sus derivaciones.....	15
4. a) Electrocardiograma cargado en MATLAB., b) Tacograma de las variaciones de los intervalos R-R, c) Espectro de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.....	17
5. Valores de CCI para la medida de VLF entre registros para toda la población registrada.....	18
6. Valores de CCI para la medida de LF entre registros para toda la población registrada.....	19
7. Valores de CCI para la medida de HF entre registros para toda la población registrada.....	19
8. Valores de CCI para la medida de Relación entre registros para toda la población registrada.....	19
9. Valores de CCI para la medida de VLF entre intervalos de tiempo para toda la población registrada.....	20
10. Valores de CCI para la medida de LF entre intervalos de tiempo para toda la población registrada.....	20
11. Valores de CCI para la medida de HF entre intervalos de tiempo para toda la población registrada.....	21
12. Valores de CCI para la medida de Relación entre intervalos de tiempo para toda la población registrada.....	21

13. Valores promedio de las medidas de la VFC para el registro completo de 16 minutos.....	22
14. Valores promedio de la medida de Relación de la VFC para el registro completo de 16 minutos.....	22
15. Valores de CCI para la medida de VLF entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios.....	23
16. Valores de CCI para la medida de LF entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios.....	23
17. Valores de CCI para la medida de HF entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios.....	24
18. Valores de CCI para la medida de Relación entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios.....	24

RESUMEN

TITULO: “Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para diferentes intervalos de tiempo del electrocardiograma”¹.

AUTORES: Juan Guillermo Acevedo Castillo, Edson Fabián Mojica Rodríguez².

PALABRAS CLAVES: Variabilidad de la frecuencia cardíaca, electrocardiograma, coeficiente de correlación intraclase, reproducibilidad.

CONTENIDO: La variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es un importante indicador de riesgo de mortalidad en sujetos con enfermedades cardiovasculares además en novedosas técnicas de entrenamiento deportivo se establece como parámetro preponderante para revisar la evolución de los deportistas. Se presenta un análisis de la reproducibilidad de las medidas de la VFC en el dominio de la frecuencia en una población de deportistas y sedentarios, para obtener el tiempo de duración de un electrocardiograma adecuado para realizar una medida de VFC confiable desde el punto de vista de su reproducibilidad. Se determinó en qué intervalo de tiempo los parámetros de la VFC presentan mayor confiabilidad, usando el coeficiente de correlación intraclase (CCI), calculado mediante un software de análisis estadístico como STATA. Encontrando de esta manera que para un sujeto sedentario se necesita en periodos cortos del electrocardiograma una ventana temporal de siete minutos mientras que para los deportistas se necesita intervalos de tiempo de cinco minutos.

Para el cálculo de las medidas de la VFC se construyó una función en Matlab que determina los valores de los parámetros que caracterizan es decir su medida de muy baja frecuencia (LF), baja frecuencia (LF), alta frecuencia (HF) y la relación entre bajas y altas frecuencias (LF/HF) para cada sujeto y así crear una base de datos con estos resultados.

¹ **TITULO:** “Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca para diferentes intervalos de tiempo del electrocardiograma”.

² **FACULTAD:** Ingenierías Físico-mecánicas. **ESCUELA:** Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. **DIRECTOR:** Carlos Andres Niño Niño. **CODIRECTOR:** Daniel Alfonso Sierra Bueno.

ABSTRACT

TITLE: "Analysis of heart rate variability for different time intervals of the electrocardiogram"³.

AUTHORS: Juan Guillermo Acevedo Castillo, Edson Fabián Mojica Rodríguez⁴.

KEYWORDS: Heart rate variability, electrocardiogram, intraclass correlation coefficient, reproducibility.

CONTENTS: The heart rate variability (HRV) is an important indicator of mortality risk in people with cardiovascular diseases and also in new techniques in sports training it is a dominant parameter to review progress of athletes. An analysis is shown of the products of HRV measurements in the frequency domain in a population of athletes and sedentary individuals, in order to obtain the duration of a proper electrocardiogram to perform a reliable HRV measurement from the point of view of the reproducibility. Using the intraclass correlation coefficient (ICC), calculated using statistical analysis software such as STATA. it was determined the time interval at which the HRV parameters present higher reliability. Finding this way for a sedentary is required in a short period of the time window of an electrocardiogram seven minutes and for athletes it is needed time intervals of five minutes.

To calculate the HRV measurements, a feature in Matlab was built that determines the values of the parameters that characterize the HRV measures, very low frequency (LF), low frequency (LF), high frequency (HF) and the relationship between low and high frequencies (LF / HF) for each individual and create a database with these results for each individual, creating a database with these results.

³ **TITLE:** "Analysis of heart rate variability for different time intervals of the electrocardiogram".

⁴ **FACULTY:** Physicomecanical Engineering. **SCHOOL:** School of electrical, Electronics and Telecommunications.
DIRECTOR: Carlos Andres Niño Niño. **CO-DIRECTOR:** Daniel Alfonso Sierra Bueno.

INTRODUCCIÓN

Para valorar la actividad del corazón, es común que se evalúe la frecuencia cardiaca ya que este análisis puede hacerse de forma no invasiva. Dependiendo de las interacciones entre el sistema nervioso autónomo y el aparato cardiovascular, se esperan variaciones en la frecuencia cardiaca [1], es decir el tiempo entre dos latidos va variando pulsación a pulsación. La identificación de estas variaciones en un intervalo de tiempo, corresponde a la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC).

La forma mas común para medir la VFC es a partir del electrocardiograma el cual es el registro grafico de la actividad eléctrica del corazón, donde se detecta de sus respectivas ondas el complejo PQRST (*fig. 1*) y de este se toma el valor del instante en e el cual aparece la onda R, y se calcula el tiempo entre ondas R consecutivas o intervalo RR. Los valores obtenidos entre ondas RR (VFC) son comúnmente representados mediante tacogramas [2].

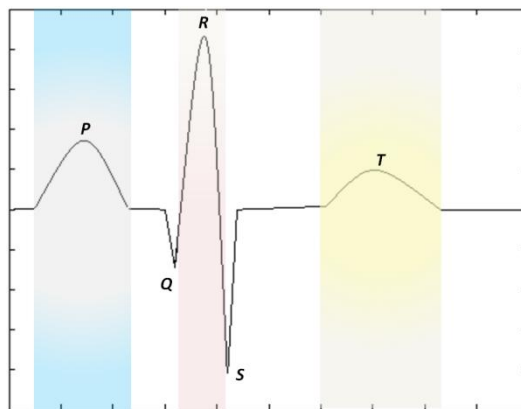


Figura 1. Complejo PQRST. Fuente: Autor

Para analizar la VFC se utiliza el espectro en frecuencia del tacograma, para el cual la mayor parte de la potencia de la señal se encuentra entre 0 y 0.4 Hz, donde VLF (*very low frequency*) está definido entre 0 y 0.04 Hz, así como LF (*low*

frequency) está entre 0.04 y 0.15 Hz, y HF (*high frequency*) entre 0.15 y 0.4 Hz. Por otra parte la variable relación es la proporción entre bajas y altas frecuencias, es decir LF/HF [3].

La medida de variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) es un importante indicador de riesgo de mortalidad para pacientes con enfermedades cardiovasculares. Otro aspecto importante de esta medida es que funciona como un indicador para la priorización de atención médica [4].

De aquí la importancia de obtener una medida confiable de este indicador para prevenir los riesgos relacionados con enfermedades cardiovasculares.

Para determinar en que intervalo de tiempo del electrocardiograma la medición de la VFC es confiable se utiliza como indicador de confiabilidad el coeficiente de correlación intraclase (CCI), que está relacionado directamente con reproducibilidad [5].

La evaluación de las medidas está limitada a reportar el CCI y el grado de acuerdo propuesto por Landis y Koch [6].

Este reporte presenta el análisis y comparación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en el dominio de la frecuencia utilizando diferentes intervalos de tiempo para sugerir un tiempo indicado en la medición de la VFC.

Se desarrolló una función en Matlab para calcular la VFC y la toma de datos que se hizo puede ser utilizada para investigación en señales electrocardiográficas.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Población de estudio

Para la selección de sujetos sedentarios y deportistas se diseñó un formulario donde se identificó a los sujetos y se preguntó acerca de su actividad deportiva, posibles enfermedades cardiovasculares y adicciones además de la relación con medicamentos que puedan incidir en sus funciones cardíacas.

Se descartó a quienes tuvieran enfermedades cardíacas ya que el objeto de este estudio no radica en observar sujetos con patologías de este tipo.

A quienes cumplían con los requisitos anteriormente estipulados, se les pedía su consentimiento y se les informaba acerca de la prueba a realizar.

Se seleccionaron 20 deportistas y 20 sedentarios para este estudio entre los 18 y 50 años sin exclusión de género. Los sujetos deportistas realizan deporte 2 horas diarias, 6 veces por semana y llevan por lo menos 2 años en entrenamiento. Son practicantes de Fútbol, Atletismo, Baloncesto y Fútbol sala.

Dentro del grupo de deportistas se hallan 2 sujetos representantes de la selección Colombia en sus respectivos deportes y representantes locales de fútbol sala profesional, atletismo y fútbol.

Los sujetos sedentarios no realizan deporte ningún día a la semana y tienen más de 6 meses sin pasado deportivo constante y su última actividad física se realizó en un periodo mayor a 3 semanas de la prueba.

Se realizaron 2 registros en estado de reposo por sujeto, con una semana de diferencia entre tomas.

1.2. Equipo de registro de los electrocardiogramas

Para la adquisición del electrocardiograma se utilizó el PowerLab ML880 (Fig. 2) con la debida supervisión se hizo el registro de todos los sujetos en el grupo de investigación de Neurociencias y Comportamiento de la Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander



Figura 2. PowerLab ML880. Fuente [11]

1.3. Toma de datos

Para los registros de electrocardiogramas se tomó la derivación II (Fig. 3), ya que esta es la que produce mayor amplitud en la onda R, debido a que es el resultado de la suma de los potenciales de la derivación I y III [8], este factor es esencial en este estudio para el posterior cálculo de la VFC.

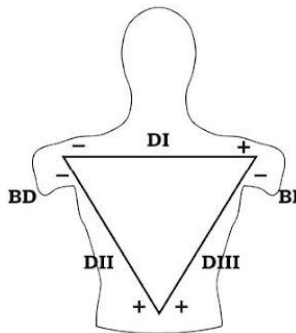


Figura 3. Triangulo de Einthoven y sus derivaciones. Fuente [8]

Se colocaron 3 electrodos sobre el sujeto, el terminal positivo en el hombro derecho, el negativo en la zona baja abdominal y la referencia a la altura del hombro izquierdo.

El software del electrocardiógrafo, llamado LabChart, transforma los registros en matrices de datos para su posterior procesamiento en MATLAB. Estos registros se realizaron con una frecuencia de muestreo de 1 kHz y con un rango de amplitud de 5 mV. Se procesaron utilizando un filtro pasa banda desde 0,3 Hz hasta 200 Hz, con un filtro Notch en 60 Hz.

1.4. Procesamiento de las señales cardiacas para el cálculo de la VFC

Se creó una función en MATLAB que permite calcular los valores de los parámetros que caracterizan la VFC en el dominio de la frecuencia. Para esto se establecen como entradas el tiempo de inicio (en segundos) de la ventana a analizar y su duración (en minutos). Se carga la señal de electrocardiograma de 16 minutos para seccionarlo en las ventanas de análisis y un posterior filtrado digital para evitar la frecuencia de DC así como la de 60 Hz y sus armónicos (*ver figura 4a*).

Posteriormente se detectan los picos R y se calculan los tiempos entre intervalos RR, usando el algoritmo de detección de Niño [7]. Las diferencias de tiempo son graficadas en un tacograma (*ver figura 4b*) que se semeja a una onda compleja aleatoria. Esta onda está compuesta por una suma de ondas más simples que pueden ser identificadas por medio de varias técnicas matemáticas, como el análisis Espectral [9]. Para el caso se emplea el método Yule Walker obteniendo como resultado la gráfica en el dominio de la frecuencia de la *figura 4c*, y los cuatro parámetros de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VLF, LF, HF y la

relación LF/HF) hallados mediante una aproximación trapezoidal para el calculo del área bajo la curva delimitada por cada una de las bandas frecuenciales.

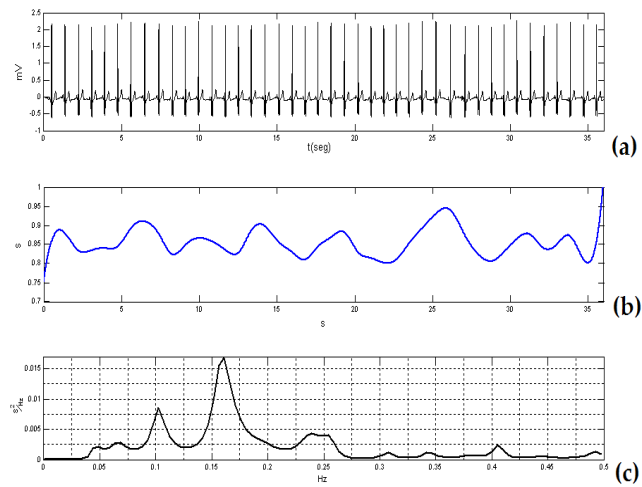


Figura 4. a) Electrocardiograma cargado en MATLAB.

b) Tacograma de las variaciones de los intervalos R-R.

c) Espectro de la variabilidad de la frecuencia cardiaca. Fuente: Autor

2. RESULTADOS

Con la culminación de la toma de datos se dispone de 80 archivos que describen los parámetros característicos de cada persona para la prueba de VFC en la primera y segunda ocasión, para los 20 deportistas y 20 sedentarios.

Se calcularon con STATA los diferentes coeficientes de correlación intraclase (CCI) ya que estos pueden ofrecer un indicativo de su reproducibilidad [5], obteniendo los siguientes resultados.

2.1. Resultados globales

El primer análisis realizado fue determinar si para los diferentes intervalos de tiempo del electrocardiograma, las medidas de la VFC son reproducibles en lecturas separadas una semana para el mismo sujeto. Para este análisis se reunieron deportistas y sedentarios en la misma población. Estos se presentan en las figuras 5 a 8.

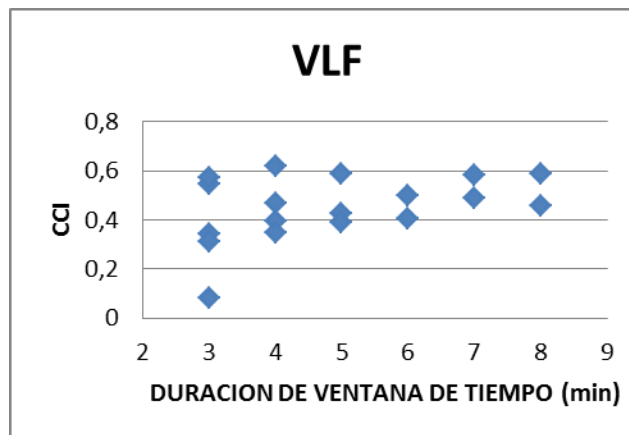


Figura 5. Valores de CCI para la medida de VLF entre registros para toda la población registrada.
Fuente: Autor

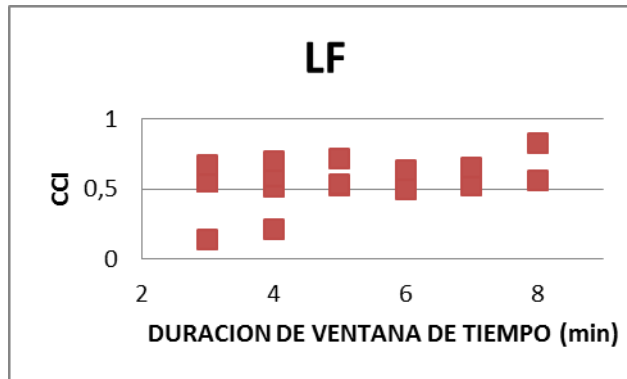


Figura 6. Valores de CCI para la medida de LF entre registros para toda la población registrada.
Fuente: Autor

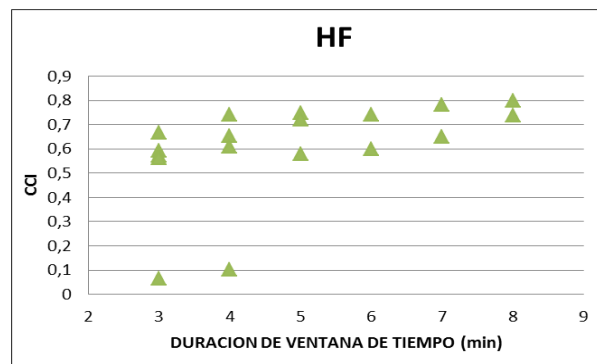


Figura 7. Valores de CCI para la medida de HF entre registros para toda la población registrada.
Fuente: Autor

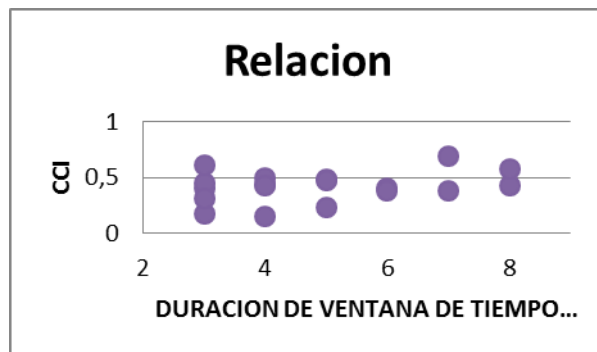


Figura 8. Valores de CCI para la medida de Relación entre registros para toda la población registrada. Fuente: Autor

Como segunda instancia se analizó la reproducibilidad entre intervalos de tiempo, observando su CCI y de esta manera conocer cuál intervalo presenta mayor confiabilidad.

Comparando contra ventanas de igual duración se obtuvieron resultados de confiabilidad como los mostrados en las figuras 9 a 12. En todas las gráficas de este análisis se observan los valores de CCI contra los intervalos de tiempo siendo los datos de color azul el primer registro y de rojo el segundo.

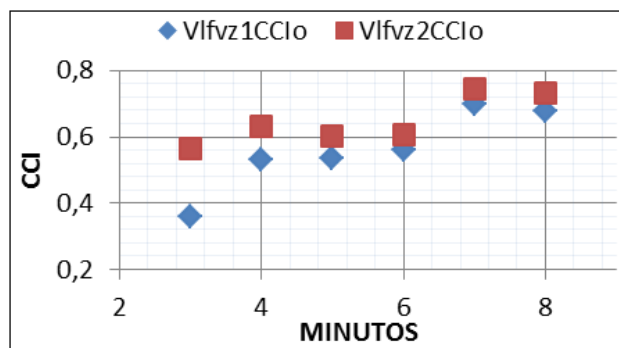


Figura 9. Valores de CCI para la medida de VLF entre intervalos de tiempo para toda la población registrada. Fuente: Autor

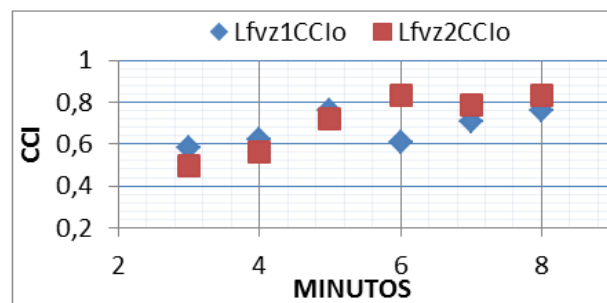


Figura 10. Valores de CCI para la medida de LF entre intervalos de tiempo para toda la población registrada. Fuente: Autor

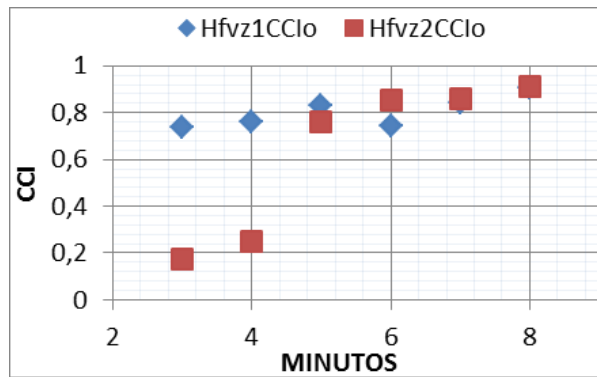


Figura 11. Valores de CCI para la medida de HF entre intervalos de tiempo para toda la población registrada. Fuente: Autor

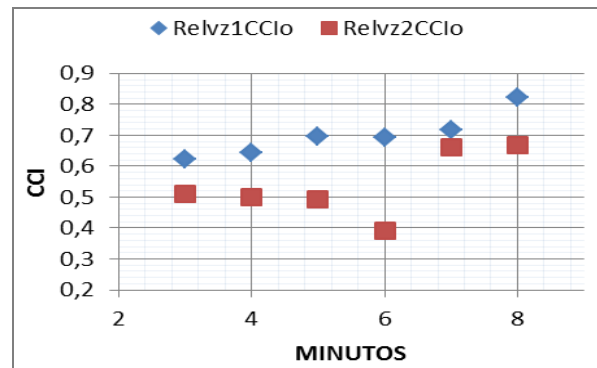


Figura 12. Valores de CCI para la medida de Relación entre intervalos de tiempo para toda la población registrada. Fuente: Autor

2.2. Comparación entre deportistas y sedentarios

Se calcularon los valores de las medidas de la VFC en 16 minutos de los 80 registros separándolos en deportistas y sedentarios (Ver figuras 13 y 14).

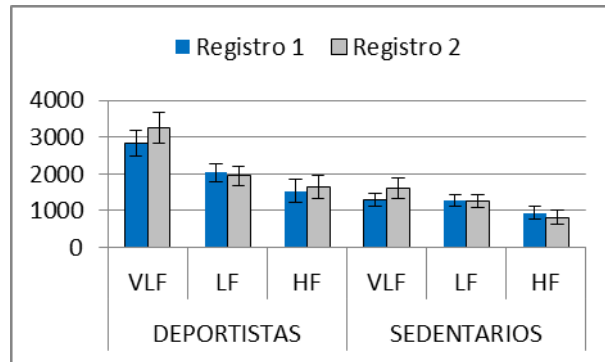


Figura 13. Valores promedio de las medidas de la VFC para el registro completo de 16 minutos.
Fuente: Autor

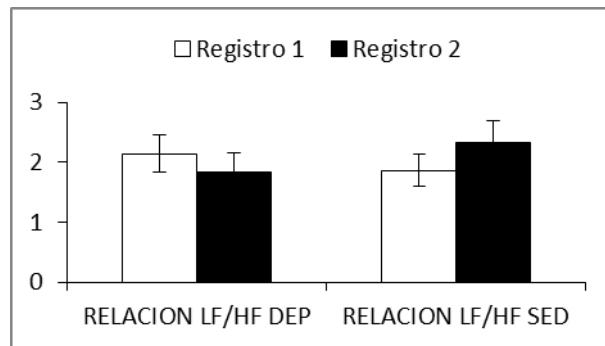


Figura 14. Valores promedio de la medida de Relación de la VFC para el registro completo de 16 minutos. Fuente: Autor

2.3. Comparación del CCI entre deportistas y sedentarios para los diferentes intervalos de tiempo

El último análisis se basó en comparar los valores del CCI entre deportistas y sedentarios para los diferentes intervalos de tiempo. Analizando los resultados para deportistas y sedentarios en la primera y segunda prueba se coloca a disposición del lector las gráficas de las respectivas medidas que se realizaron en este comparativo (fig. 15 a 18).

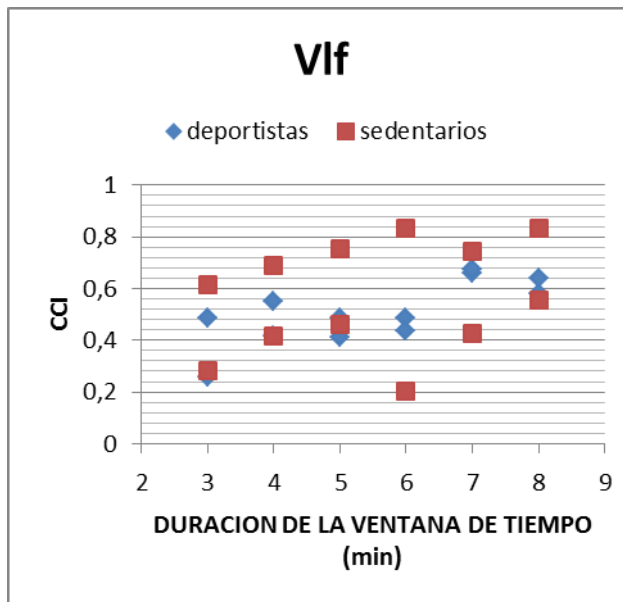


Figura 15. Valores de CCI para la medida de VLF entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios. Fuente: Autor

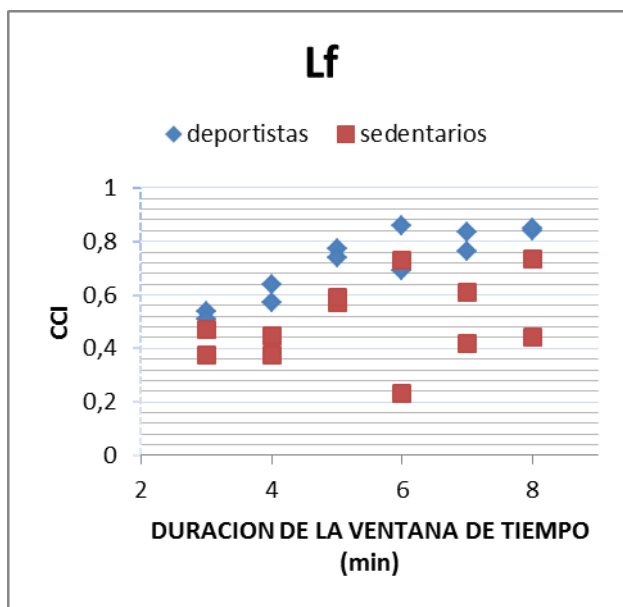


Figura 16. Valores de CCI para la medida de LF entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios. Fuente: Autor

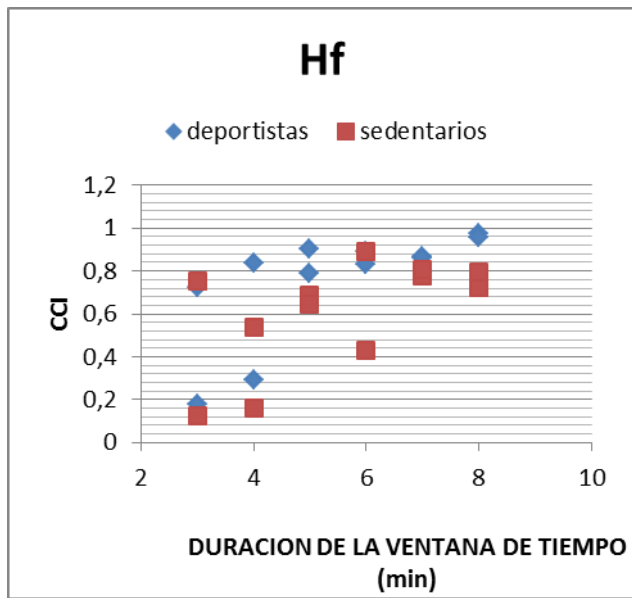


Figura 17. Valores de CCI para la medida de HF entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios. Fuente: Autor

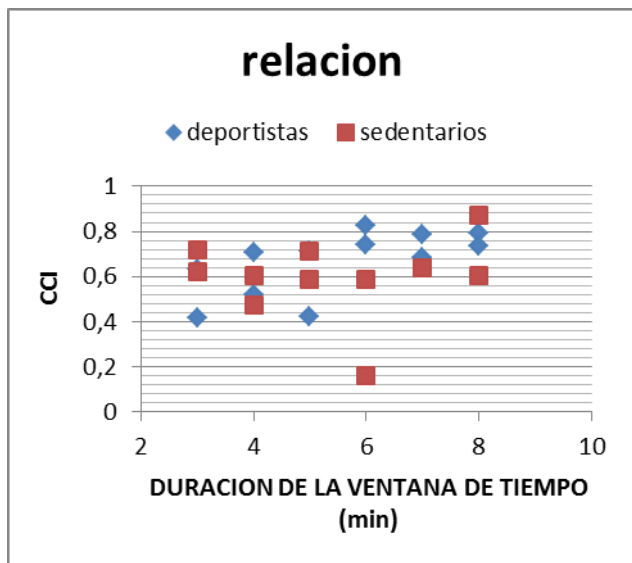


Figura 18. Valores de CCI para la medida de Relación entre intervalos de tiempo diferenciando deportistas y sedentarios. Fuente: Autor

3. DISCUSIÓN

Para los valores encontrados de la reproducibilidad de los intervalos de tiempo entre registros de la medida de VLF (*Fig. 5*) se observa que el intervalo con mayor CCI es el de 4 minutos, este fue calculado desde 12 minutos hasta 16 minutos del electrocardiograma. Se observa una tendencia de los intervalos a tener un CCI entre 0.3 y 0.6, creciendo aproximadamente a medida que se aumenta el intervalo de tiempo.

Los valores del CCI de la medida LF (*Fig. 6*) presentan mayor reproducibilidad en la ventana de tiempo de duración de 8 minutos, que abarca desde los 8 a 16 minutos. Se nota que los fragmentos temporales para esta medida tienen un valor de CCI más elevado respecto a VLF, por consiguiente tienen mayor reproducibilidad que la anterior medida.

En la *figura 7* observamos una tendencia del coeficiente de correlación intraclassa de aumentar a medida que la ventana de tiempo a analizar crece, teniendo el CCI más alto en un intervalo de 8 minutos. Otro aspecto importante es que los valores de CCI están entre 0,6 y 0,8 lo cual indica que HF presenta muy buena reproducibilidad.

En las *figuras 9 a 12* se observa que a medida que la ventana de tiempo es más grande su reproducibilidad es mayor para las medidas, cabe resaltar que para 7 minutos la prueba es más reproducible en cuanto se refiere a VLF, mientras que para HF su medida es confiable desde ventanas de 5 minutos.

Como se puede inferir en la *figura 13*, los valores de las medidas de VLF, HF y LF, presentan un valor mayor para los deportistas. Por otro lado el valor de la Relación es bastante equitativo para los dos tipos de muestra (*Fig. 14*).

Como se mencionó anteriormente un elevado valor de CCI está ligado a una reproducibilidad alta [10]. Al aumentar el tiempo de análisis, mejoran la calidad de los datos siendo los intervalos de 6 a 8 minutos los que representan el mayor CCI para la medida de VLF (*fig. 15*). A su vez se percibe que para esta medida los sedentarios presentan una mayor reproducibilidad que los deportistas.

Se observa para la medida de LF y HF, que prácticamente en todos los datos obtenidos para un mismo intervalo de tiempo los deportistas registran un mayor valor de CCI respecto a los resultados de la población sedentaria (*Fig. 16 y 17*).

Para la variable LF/HF (*fig. 18*) se observa que para 4 y 5 minutos de la prueba se destaca el hecho de un bajo CCI para deportistas como para sedentarios respecto a la reproducibilidad presentada en los intervalos de mayor duración, en 6 minutos se expresan valores altos para deportistas, caso contrario en sedentarios.

4. CONCLUSIONES

Las medidas de VLF, LF y HF en deportistas son más altas que en sujetos sedentarios para el intervalo total del registro tomado mientras que la relación LF/HF presenta valores equitativos entre los dos tipos de población.

Para las medidas HF y LF de la VFC se presenta mayor reproducibilidad en deportistas que en sedentarios, comportamiento contrario para la medida VLF que es en donde los sedentarios registran una más alta reproducibilidad respecto a la otra población.

Para establecer un intervalo de tiempo en el cual se quieran calcular las medidas de la VFC de forma confiable para deportistas, se observa que su mayor reproducibilidad en estas variables se encuentra en el intervalo de 8 minutos, además pueden presentar un alta reproducibilidad desde el intervalo de 5 minutos en adelante por otra parte para las personas sedentarias se requiere tomar datos durante 7 minutos o más del electrocardiograma.

Bibliografía

- [1]. **F.L. Abel, E.P. McCutcheon** "Neural Control" En: *F.L. Abel, E.P. McCutcheon, editors, Cardiovascular Function: Principles and Application. Little, Brown and Company (USA), 1979*
- [2]. **González, O. Infante, M. José** *Sistema de análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca* Grupo de Biología Teórica, Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM 1999.
- [3]. **Jaramillo, Carlos A. Restrepo.** Variabilidad de la frecuencia cardiaca: cambio de vocación para una prueba. *Manual de métodos diagnósticos en electrofisiología cardiovascular.* s.l. : Sociedad colombiana de cardiología y cirugía cardiovascular, 2006.
- [4]. **Caroline A. Rickards, , Kathy L. Ryan, Victor A. Convertino** *Characterization of common measures of heart period variability in healthy human subjects: implication for patient* Journal of Clinical Monitoring and Computing (2010) 24:61–70.
- [5]. **Orozco Vargas L.C,** "Medición en salud. Diagnóstico y evaluación de resultados. Un manual crítico más allá de lo básico." Colombia 2010. ed: División Editorial Y De Publicaciones UIS ISBN: 978-958-44-6559- Cap 4- Confiabilidad
- [6]. **Kramer S M, Alvan R,** *Clinical biostatistics LIV.* The biostatistics of concordance Clin. Pharmacol. Ther, January 1981, 111-123
- [7]. **Niño C. Andrés** *Sistema de procesamiento y análisis de la señal cardiaca como indicador de balance del sistema nervioso autónomo y su correlación con datos topográficos en pacientes con accidente cerebrovascular.* Universidad industrial de Santander. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Tesis (maestría) 2010.
- [8]. **Franco Medina.** *Derivaciones del electrocardiograma* de: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco_02.pdf
- [9]. **Gallo Jaime A, Farbiarz Jorge, Álvarez Diego L.** *Análisis espectral de la variabilidad de la frecuencia cardiaca.* s.l. : IATREIA, Junio de 1999. Vol. 12, No 2.
- [10]. **Mandeville P.** *El coeficiente de correlación intracalse* Ciencia UANL, julio septiembre, año/vol. III numero 003, Monterrey p 141-146
- [11]. **Adinstruments.** ML880 PowerLab 16/30. *Data Acquisition Systems* de: http://www.kuoyang.com.tw/hr/product.asp?lv_rfnbr=1&ProductClass1=3&pc2_rfnbr_1=9&pc3_rfnbr_1=0&pc4_rfnbr_1=0&p_rfnbr=85&p_detail=p_detail