

**VARIABILIDAD DEL RITMO CARDIACO COMO HERRAMIENTA
PARA DETERMINAR LOS UMBRALES VENTILATORIOS EN
FUTBOLISTAS JUVENILES COLOMBIANOS**

M.D. Andrés Felipe Ortiz Jerez

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Facultad de Medicina

Postgrado de Medicina Del Deporte

2020

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE MEDICINA

**VARIABILIDAD DEL RITMO CARDIACO COMO HERRAMIENTA
PARA DETERMINAR LOS UMBRALES VENTILATORIOS EN
FUTBOLISTAS JUVENILES COLOMBIANOS.**

Dr. Andrés Felipe Ortiz Jerez

Asesor temático: Dr. Camilo Ernesto Povea Combariza

Asesor externo: Dr. Moisés Arturo Cabrera Hernández

Asesor metodológico: Dr. Alberto Lineros

Asesor estadístico: Dr Oscar Ortiz

Asociación Deportivo Cali

Escuela Nacional del Deporte

NOTA DE SALVEDAD DE RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL.

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Agradecimientos a:

Al tiempo, al amor, a la vida.

Al tiempo porque ha hecho que las cosas pasen como tienen que ser y cuando tienen que ser, cada cosa en mi vida ha pasado a su tiempo y cada una de las personas que amo han llegado en el momento justo, mi madre que siempre ha estado de una manera u otra, mi esposa que desde que la conocí ha permanecido y estoy seguro que permanecerá, mis hermanos, mi familia y mis amigos todos yendo y viniendo, todos a su debido tiempo, a mis amigos , tutores , profesores que han tomado de su tiempo para ayudarme en este trabajo.

Al amor porque aunque me haya tomado tanto tiempo terminar el trabajo, amo la academia, amo la medicina, amo el deporte, amo mi esposa quien me impulsa todos los días a cumplir mis metas, mi familia que quiero y respeto también a todas esas personas que realmente se han interesado en aportar en mi vida como mis profesores desde primaria hasta los que se encuentran revisando este escrito.

A la vida porque me ha traído todas las oportunidades y experiencias cada una de ellas más enriquecedoras que la anterior.

A Jerónimo Ortiz Rivera porque es todo mi tiempo, todo mi amor y toda mi vida.

GUIA DE CONTENIDO

1. Lista de abreviaturas.....	5
2. Resumen.....	6
3. Abstract.....	8
4. Introducción.....	9
5. Marco teórico.....	10
5.1 Variabilidad del ritmo cardiaco (VRC).....	13
5.2 Medición de la variabilidad del ritmo cardiaco.....	13
5.3 Métodos de dominio frecuencial.....	13
5.4 Pruebas en campo.....	18
5.5 El YoYo test.....	18
6. Problemas de investigación	20
7. Justificación.....	21
8. Objetivos.....	22
9. Propósito.....	23
10. Aspectos metodológicos.....	24
10.1 Tipo y diseño general del estudio.....	24
10.2 Muestra de Referencia.....	24
10.3 Criterios de inclusión.....	24
10.4 Criterios de exclusión.....	24
10.5 Procedimientos y técnica.....	25
10.5.1 Primera fase.....	26
10.5.2 Segunda fase.....	27
10.6 Pérdida de datos.....	29
11. Aspectos éticos.....	30
12. Análisis estadístico.....	31
13. Resultados.....	32
13.1 Mediciones.....	32
13.2 Banda.....	32
13.3 Test de campo.....	33

13.4	Análisis de concordancia para el primer umbral.....	35
13.5	Análisis de concordancia para el segundo umbral.....	37
14.	Discusión	41
13.1	Fortalezas y alcances de la prueba.....	45
15.	Conclusiones.....	47
	Bibliografía.....	48
16.	Anexo 1.....	54
17.	Anexo 2.....	56
18.	Anexo 3.....	66

Lista de tablas

1. Matriz de variable.....	16
2. Datos estadísticos descriptivos.....	27
3. Velocidad de carrera de los umbrales ventilatorios en la prueba de laboratorio.....	28
4. Velocidad de carrera en los umbrales ventilatorios en la prueba de campo.....	29
5. Correlación entre las diferentes velocidades de carrera para el primer umbral ventilatorio.....	29
6. Correlación entre las diferentes velocidades de carrera para el segundo umbral ventilatorio.....	29
7. Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza	37
8. Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza	37
9. Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza	39
10. Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza	39
11. intervalos de confianza	39

Listado de Figuras

1. Influencia de la mecánica respiratoria en el componente HF de la variabilidad del ritmo cardiaco durante un ejercicio de intensidad incremental.....	15
2. Bland-Altman representando las velocidades de carrera en km.h^{-1} en los umbrales ventilatorios.....	30
3. Bland-Altman representando las velocidades de carrera en km.h^{-1} en los umbrales ventilatorios.....	31
4. Bland Altman representando las velocidades de carrera en km.h^{-1} en los umbrales ventilatorios.....	32
5. Bland Altman representando las velocidades de carrera en $\text{km.h}^{-1\text{en}}$ los umbrales ventilatorios	33

Lista de abreviaturas.

SNA: Sistema Nervioso Autónomo.

VRC: Variabilidad del ritmo cardiaco.

HF: High Frequency. Componente de alta frecuencia de la variabilidad del ritmo cardiaco

fHF: pico del componente de alta frecuencia.

$\dot{V}O_2\text{máx}$: Consumo de oxígeno máximo.

VT1: Primer umbral ventilatorio.

VT2: Segundo umbral ventilatorio.

$\dot{V}O_2\text{VT1B}$: Primer umbral ventilatorio hallado con análisis de gases en laboratorio.

$\dot{V}O_2\text{VT2B}$: Segundo umbral ventilatorio hallado con análisis de gases en laboratorio.

VRCVT1B: Primer umbral ventilatorio hallado con VRC de gases en laboratorio.

VRCVT2B: Segundo umbral ventilatorio hallado VRC en laboratorio.

$\dot{V}O_2\text{VT1YY}$: Primer umbral ventilatorio hallado con análisis de gases en test de campo.

$\dot{V}O_2\text{VT2YY}$: Segundo umbral ventilatorio hallado con análisis de gases en test de campo.

VRCVT1YY: Primer umbral ventilatorio hallado VRC en test de campo.

VRCVT2YY: Segundo umbral ventilatorio hallado VRC en test de campo.

Objetivo: Establecer la concordancia entre la determinación de los umbrales ventilatorios por ergoespirometría y la estimación de los mismos mediante la variabilidad del ritmo cardíaco.

Metodología: Diez jugadores de un equipo profesional de fútbol en Colombia fueron evaluados, (edad: $18,18 \pm 0,982$ años; peso: $71,4 \pm 3,9$ kg; IMC: $21,95 \pm 0,878$ kg.m²). Dos pruebas diferentes fueron realizadas, inicialmente se realizó un test incremental en banda sin fin hasta el agotamiento, determinaron los umbrales ventilatorios (VT1 Y VT2) por tres métodos del análisis de gases: V-slope, equivalentes ventilatorios, presión de oxígeno al final de la espiración PETO₂ y PETCO₂, ($\dot{V}O_2VT1B$, $\dot{V}O_2VT2B$) simultáneamente, utilizando registro continuo de la frecuencia cardíaca latido a latido durante la misma prueba incremental, se calcularon también los umbrales, a través de el pico de Hf y el componente HF de la variabilidad del ritmo cardíaco durante el ejercicio (VRCVT1B, VRCVT2B); dos semanas más tarde se realizaron pruebas de campo con un test intermitente de YOYO, empleando los mismos criterios previamente considerados, con un ergoespirometría portátil ($\dot{V}O_2VT1YY$, $\dot{V}O_2VT2YY$) y por los métodos de variabilidad del ritmo cardíaco. (VRCVT1YY, VRCVT2YY). Una vez determinadas las velocidades de carrera de los umbrales, tanto en las pruebas iniciales de laboratorio por los dos métodos, como para las pruebas de campo, se realizaron las comparaciones. El coeficiente de Pearson se usó para determinar diferencias entre los datos y la fuerza de cada relación, el método gráfico de Bland Altman para evaluar la concordancia.

Resultados : Los resultados mostraron correlación positiva para el hallazgo del primer umbral entre los métodos de análisis de gases en laboratorio y el análisis del VT1 por variabilidad del ritmo cardíaco y por análisis de gases en campo ($r=0,119$ y $r=0,347$) respectivamente, y en el segundo umbral se encontró correlación entre $\dot{V}O_2VT2B$ y VT2YY ($r=0,784$), y $\dot{V}O_2VT2B$ y VRCVT2YY ($R= 0,547$). El método de Bland Altman mostró una concordancia entre los hallazgos de los VT con análisis de gases y los encontrados por los métodos de variabilidad del ritmo cardíaco.

Conclusiones: Existe una adecuada concordancia entre los dos métodos descritos, tanto en las pruebas realizadas en laboratorio como en las pruebas efectuadas en el terreno propio de los deportistas, estos hallazgos promueve un enfoque práctico y económico mediante una prueba de campo en el hallazgo de los umbrales ventilatorios por variabilidad del ritmo cardiaco en jugadores juveniles colombianos.

Palabras clave: Umbral ventilatorio, jugadores de fútbol, variabilidad del ritmo cardiaco, análisis espectral.

Purpose: The aim of this study was to determine the concordance between the measurement of the ventilatory thresholds by means of ergospirometry and the heart rate variability.

Methods: Ten players from a professional soccer team in Colombia were evaluated, (age: 18.18 ± 0.982 years; weight: 71.4 ± 3.9 kg; BMI: $21.95 \pm 0.878 \text{ kg.m}^2$). Two tests were made 14 days apart, the first phase corresponded to an incremental test in treadmill until exhaustion. The ventilatory thresholds (VT1 and VT2) were found by three gas analysis methods (slope V, ventilatory equivalents, oxygen pressure at the end of expiration PETO_2 and PETCO_2), ($\dot{V}\text{O}_2\text{VT1B}$, $\dot{V}\text{O}_2\text{VT2B}$). The determination of the thresholds was also made with the peak of Hf and the HF component of the heart rate variability. (VRCVT1B , VRCVT2B) The second phase consisted on a field test: the YOYO intermittent test was performed, estimated ($\dot{V}\text{O}_2\text{VT1YY}$ and $\dot{V}\text{O}_2\text{VT2YY}$) with portable ergospirometry, and by the methods of heart rate variability (VRCVT1YY , VRCVT2YY), threshold running speed was used as data for comparisons. The Pearson coefficient is used to determine the differences between the data and the strength of each relationship, the Bland Altman graphical method to assess agreement. *Results:* Results showed a positive correlation finding the first threshold between laboratory gas analysis methods and VT1 analysis for heart rate variability and field gas analysis. ($r=0.119$ y $r=0.347$) respectively, and at the second threshold a correlation was found between $\dot{V}\text{O}_2\text{VT2B}$ and $\dot{V}\text{O}_2\text{VT2YY}$ ($r = 0.784$), and $\text{VVO}_2\text{VT2B}$ and VVT2VRCYY ($R = 0.547$). Additionally, the Bland Altman method evidenced a concordance between the findings of the VT with gas analysis and those found by the methods of heart rate variability in the field.

Conclusions: The concordance of these findings, promotes a practical and economic approach through a field test in the finding of ventilatory thresholds due to heart rate variability in Colombian young players.

Key Words: Ventilatory threshold, soccer players, heart rate variability, spectral analysis.

1. INTRODUCCIÓN

El fútbol es el deporte más practicado en el mundo, el gran censo de la FIFA del 2007 revela que hay 265 millones de personas que lo practican de manera reglamentada en el mundo (vinculados a la FIFA), dentro de los parámetros fisiológicos que resultan interesantes medir en el campo de la fisiología el ejercicio y en la medicina del deporte se incluyen la realización de pruebas objetivas para determinar de manera objetiva la capacidad cardiorrespiratoria esto se puede realizar, en diversas oportunidades durante una temporada convirtiéndose en una variable con implicaciones practicas importantes, principalmente en la pretemporada.

Generalmente estas pruebas son realizadas en laboratorios que no pertenecen a la institución deportiva, por lo que lleva consigo traslados y costos adicionales para los equipos, motivo por el cual no permite su realización en otros momentos de la planificación de sus ciclos de entrenamientos y/o competencias, dificultando las intervenciones pertinentes para mejorar su capacidad individual de manera oportuna que evitan acciones en contra de la salud del deportista.

Uno de los objetivos de este grupo de pruebas de laboratorio es evaluar los umbrales ventilatorios como determinantes del rendimiento en deportistas con una importancia incluso mayor que la determinación del máximo consumo de oxígeno, la realización de estas requiere un entrenamiento específico, y son de difícil acceso.

Una nueva herramienta para realizar las mediciones de los umbrales ventilatorios es la utilización de la variabilidad del ritmo cardiaco (VRC), la cual podría traducir beneficios pues se realiza mediante una prueba económica, práctica y su medición en campo equipara las condiciones normales de juego.

El propósito de este estudio es realizar una estimación de los umbrales ventilatorios por medio de VRC que permita generar una herramienta válida, reproducible y económica por medio de un test de campo en futbolistas.

2. MARCO TEÓRICO

Tanto el consumo de oxígeno máximo ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) como el umbral ventilatorio han sido descritos como parámetros para la medición del nivel de acondicionamiento físico en atletas. Algunos autores como Smaros y col¹ y Bangsbo y col² describieron que los futbolistas con mayor potencia aeróbica completaban, tanto una mayor cantidad de sprints, como una mayor distancia recorrida durante el juego. Reilly³ reportó que en promedio durante un partido de fútbol las intensidades de las actividades realizadas son de más o menos el 70% del $\dot{V}O_2 \text{ max}$, lo que podría sugerir que estos dos parámetros fisiológicos tendrían relevancia para definir el nivel de acondicionamiento físico de futbolistas.

Ekblom⁴, Nowacki⁵ observaron que en promedio un jugador de fútbol tenía un $\dot{V}O_2 \text{ máx.}$ entre 55 y 65 ml/.Kg/.min, siendo este parámetro determinante en el nivel de rendimiento^{6,7,8}, recorriendo entre 10 y 12 km en un partido^{9,10}. Sin embargo, se ha cuestionado el uso del $\dot{V}O_2 \text{ max}$ como parámetro de rendimiento en deportes de resistencia y se ha planteado una mayor correlación con el rendimiento, la velocidad de carrera durante el umbral ventilatorio o el umbral de lactato^{11,12}. Además, este parámetro es modificado con el entrenamiento que combina altas con moderadas intensidades, mejorando la velocidad de carrera en el umbral ventilatorio, incluso sin modificar el consumo de oxígeno máximo^{13,14,15,16}.

Mejorar un 5% en la economía de carrera, basado en la velocidad de carrera en el umbral ventilatorio o umbral de lactato, significa un incremento de más o menos 1000 m más de distancia recorrida en un partido de fútbol, incluso en ausencia de modificaciones en el $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ¹⁷. Por lo que toma gran relevancia la evaluación no solo del $\dot{V}O_2 \text{ max}$, ya sea de forma directa o indirecta sino también del umbral ventilatorio, siendo este un mejor indicador del estado de acondicionamiento físico del jugador.

Edwards y col¹³, evaluaron 12 jugadores de futbol profesional, midiendo el $\dot{V}O_2$ máx., umbral ventilatorio y umbral láctico, en una prueba de ejercicio maximal en banda, inmediatamente después de finalizar la temporada y nuevamente a las cinco semanas, bajo unas cargas de entrenamiento a baja intensidad. Encontró que no existen diferencias en los valores de $\dot{V}O_2$ máx. al comparar las dos pruebas, pero si una diferencia significativa en los valores de $\dot{V}O_2$ tanto el umbral láctico como el umbral ventilatorio, siendo menor a las cinco semanas de finalizar la temporada¹³.

El umbral de lactato puede ser una herramienta útil para determinar el nivel de acondicionamiento físico cardiovascular, por encima de la información arrojada cuando se realiza una medición del $\dot{V}O_2$ máx.^{18,9,13,19,20}. Bangsbo y col 1994⁹ encontraron que midiendo el $\dot{V}O_2$ máx. no hay diferencias significativas entre jugadores de fútbol profesional pero si en la velocidad de carrera en el momento del umbral del lactato, al medirlo en una prueba máxima en banda, justo al finalizar la temporada y al compararlo con la misma prueba después de cinco semanas de vacaciones, previo al inicio de la pretemporada. McMillan 2005²¹, encontró en nueve jugadores de futbol de 17 años, un incremento de la velocidad de carrera en el umbral de lactato, evaluado durante una prueba submaximal al inicio de la pretemporada al compararlo con la misma prueba al inicio de la temporada, sin cambios significativos en la frecuencia cardiaca en el momento del umbral de lactato.

Helgerud y col. 2001²² evaluaron 19 jugadores de futbol elite junior, entre los 17 y 18 años de edad, en dos grupos seleccionados de manera aleatoria. Un grupo control de diez jugadores y un grupo de nueve jugadores, al cual se le realizó un entrenamiento cardiovascular interválico, con periodos de 4 minutos al 90 – 95% de la frecuencia cardiaca máxima y 3 minutos de recuperación activa entre el 50 y 60% de la frecuencia cardiaca máxima por 8 semanas, observando un incremento significativo en el $\dot{V}O_2$ máx., el umbral de lactato y la velocidad de carrera en el umbral lactato. Al compararlo con el

rendimiento durante el juego, el grupo intervenido mostro un 20% más de distancia recorrida, número de carreras realizadas y el promedio de intensidad del esfuerzo durante el juego.

Ziogas y colaboradores en 2011, evaluaron a 129 futbolistas profesionales, de tres diferentes divisiones. Realizaron una prueba incremental hasta la fatiga, en banda, evaluando el umbral de lactato y la velocidad de carrera, encontrando a este parámetro como mejor indicador que el consumo máximo de oxígeno en el rendimiento entre las diferentes divisiones²³.

Para conocer la importancia de lo descrito anteriormente, se debe entender el umbral ventilatorio como el punto en el cual se genera un incremento abrupto de la ventilación en relación al $\dot{V}O_2$, secundario al incremento en la producción de CO_2 , siendo esto asociado a un incremento en la tasa de trabajo, donde el metabolismo predominante es el glicolítico y que muestra una asociación con el incremento de la respuesta catecolaminérgica²⁴, y que este incremento en la respuesta ventilatoria es necesario para eliminar el CO_2 producto del metabolismo²⁵. Usualmente el umbral ventilatorio se encuentra entre un 45 a un 65% del $\dot{V}O_{2max}$ en sujetos no entrenados²⁶, mientras que este porcentaje incrementa con el nivel de entrenamiento²⁷.

Para la determinación de los umbrales ventilatorios, por medio de una prueba de ejercicio cardiopulmonar integrada con ergoespirómetro, se han descrito varios métodos²⁶, dentro de los más ampliamente usados se encuentra el método de V-Slope, en el cual se observa un incremento no lineal del VCO_2 con relación al incremento del $\dot{V}O_2$, otro método es el incremento del equivalente ventilatorio para el oxígeno ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$), donde ($\dot{V}E$ es ventilación por minuto, sin un incremento concomitante para el equivalente ventilatorio del CO_2 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$), y finalmente la determinación del umbral ventilatorio por el método que evalúa el punto en el cual existe un incremento sistemático en la presión de oxígeno al final de la espiración ($PETO_2$), sin un incremento en la presión al final de la espiración para el CO_2 ($PETCO_2$)²⁸.

La determinación visual del umbral ventilatorio por medio de estos tres métodos, arroja resultados similares con relación al porcentaje del $\dot{V}O_2$ en el que el evento ocurre²⁶. Si se hace uso de los tres métodos para la determinación del umbral ventilatorio con la evaluación de dos o tres observadores diferentes, su interpretación es más confiable²⁶.

2.1 Variabilidad del ritmo cardiaco (VRC)

Es la variación fisiológica de la duración entre dos latidos cardiacos, que se presenta como consecuencia de la modulación que ejerce el sistema nervioso autónomo sobre el corazón^{29,30}. Por lo tanto la VRC refleja el comportamiento del sistema nervioso autónomo (SNA), evaluando el control que ejercen tanto el sistema nervioso simpático como el parasimpático, en las adaptaciones fisiológicas necesarias a las diferentes situaciones^{29,30}.

2.2 Medición de la variabilidad del ritmo cardiaco

Se puede hacer uso de dos métodos para el análisis de la VRC, uno de ellos es el dominio temporal, donde se consideran los períodos cardiacos, utilizando herramientas estadísticas. El otro método es analizando las oscilaciones del ritmo cardiaco, llamado dominio frecuencial^{29,30}.

Medición de dominio temporal, utiliza medidas estadísticas; evaluando la desviación estándar (DE) en milisegundos de todos los intervalos RR durante 24 horas (SDNN), reflejando la variabilidad cardiaca global; el (pNN50) considera el porcentaje de intervalos RR entre los cuales existe más de 50 milisegundos entre sí, reflejando la modulación vagal; otra herramienta es la raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias entre los intervalos RR adyacentes (rMSSD) con la que se puede evaluar cambios o alteraciones de la función autonómica mediadas por la actividad vagal.

2.3 Métodos de dominio frecuencial

El componente de muy baja frecuencia (VLF) el cual presenta frecuencias inferiores a 0.05 Hertz (Hz), refleja los mecanismos de control a largo plazo y la termorregulación., además de la actividad del sistema renina-angiotensina (SRAA) y otros factores humorales.

Se lleva a cabo por medio de la transformada matemática de Fourier. Son tres componentes: El componente de alta frecuencia (HF), el cual hace referencia a las frecuencias de onda superiores a 0.15 Hz. Se le considera como un indicador de la actividad del parasimpático y desaparece totalmente con la atropina. Durante la inspiración, el aumento del volumen de la caja torácica produce una disminución de la presión arterial (PA) lo que estimula el sistema parasimpático, donde la posición frecuencial del pico HF, corresponde a la frecuencia ventilatoria.

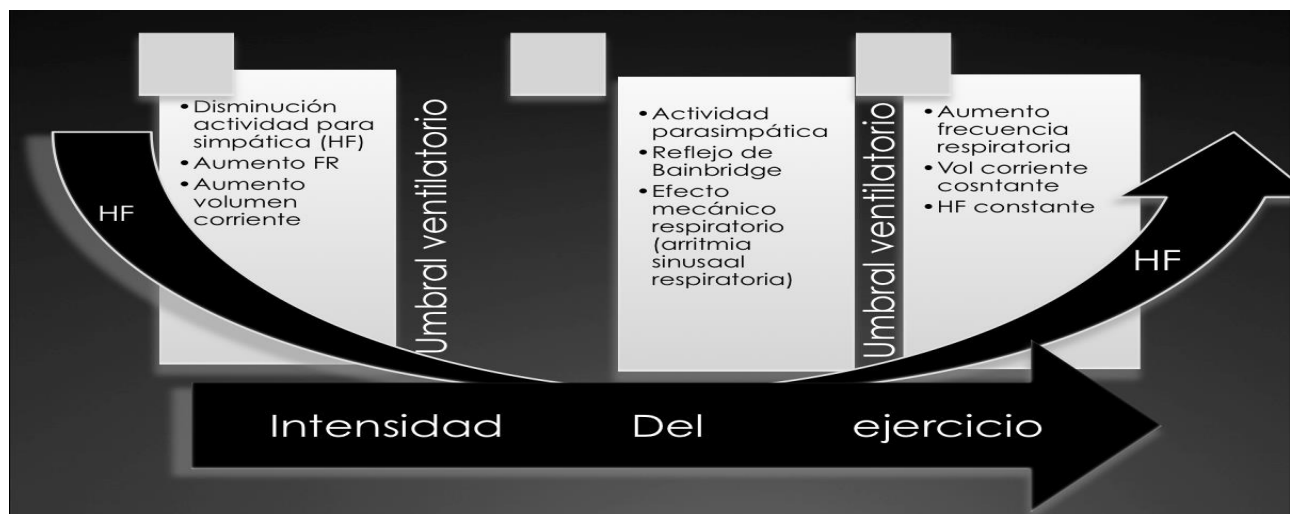
El componente de baja frecuencia (LF) que está comprendido en las frecuencias de onda entre 0.05 y 0.15 Hz, es considerado como mixto, reflejando la modulación tanto del sistema simpático como del parasimpático.

El índice (LF/HF) puede ser utilizado como un marcador indirecto de la actividad simpática, evaluando el balance entre los dos componentes del SNA, a mayor valor de éste, mayor predominio simpático^{29,30}.

La predicción de los umbrales ventilatorios a través de la VRC, está basada en el seguimiento del tiempo real de la variabilidad del componente HF. Esto requiere de un método de análisis espectral, que permita observar al cabo del tiempo tanto la evolución de la ubicación de los picos de potencia del componente espectral de HF, así como el valor de los mismos. Este último es un marcador frecuentemente utilizado para estimar la frecuencia respiratoria, cuyo aumento al cabo del esfuerzo es bien conocido como un marcador de los puntos de ruptura correspondientes a los dos umbrales ventilatorios. Además se ha demostrado también que con el aumento de intensidad de esfuerzo, la evolución de la amplitud del espectro de HF describiendo una «U»: disminuye hasta el primer umbral ventilatorio con el retiro de la actividad parasimpática antes de aumentar de manera importante por debajo del segundo umbral, estimulado por las influencias mecánicas de la caja torácica (reflejo de Bainbridge)³⁰.

Por lo tanto se entiende que el componente HF es el resultante de cambios desde el barorreflejo inducido por el efecto mecánico de la respiración³¹, sugiriendo que el patrón respiratorio tiene efecto sobre el componente de HF y la VRC, disminuyendo conforme incrementa la frecuencia respiratoria y aumentando conforme el volumen corriente incrementa^{32,33}. El patrón respiratorio durante el ejercicio es influenciado por la intensidad del mismo, con ejercicio a baja intensidad se observa un incremento tanto de la frecuencia respiratoria como de volumen corriente, mientras que cuando el ejercicio es realizado a altas intensidades se observa un incremento solo de la frecuencia respiratoria sin cambios en el volumen corriente^{34,35}. Este comportamiento está asociado con el incremento del tono simpático y el retiro parasimpático durante un ejercicio incremental^{36,37}.(Figura 1).

Figura 1. Influencia de la mecánica respiratoria en el componente HF de la variabilidad del ritmo cardiaco durante un ejercicio de intensidad incremental.



1).Previo al primer umbral ventilatoria hay una disminución de actividad parasimpática (disminución del componente HF), aumento de la frecuencia respiratoria (FR) y del volúmen corriente 2). Previo al segundo umbral aumenta la actividad parasimpática secundaria al efecto mecánico respiratorio (arritmia sinusal respiratoria) 3).Posterior al segundo umbral ventilatorio persiste el aumento de la frecuencia respiratoria pero el volúmen corriente y la actividad de la HF permanecen constantes.

La VRC en reposo desaparece en pacientes con trasplante cardiaco, debido a la denervación del injerto, pero durante el ejercicio la VRC aparece (específicamente las oscilaciones de alta frecuencia (HF), lo cual puede estar asociado al efecto mecánico ejercido por la respiración sobre las estructuras mediastinales³⁸, debido a la hiperventilación que es inducida por el ejercicio, generando un efecto mecánico sobre el nodo sinusal. Durante la fase de inspiración se disminuye la presión intratorácica, que genera un incremento del retorno venoso³⁹, provocando un efecto mecánico en el nodo sinusal lo que incrementa su actividad. Durante la fase espiratoria se genera un efecto opuesto de la frecuencia cardíaca, lo cual puede estar explicado por receptores mecánicos en el nodo sinusal⁴⁰.

Esto podría hacer que la VRC, se convierta en una alternativa útil, no invasiva y menos costosa para la identificación del umbral ventilatorio durante una prueba de ejercicio cardiovascular integrada, ya sea en laboratorio o en pruebas de campo.

Cottin y colaboradores en el 2004³⁹ evaluaron el comportamiento de la VRC durante dos pruebas de ejercicio, en 11 triatletas de 14.6 ± 1.1 años. La primera consistía en 15 minutos de ejercicio a moderada intensidad, por debajo del umbral ventilatorio y la segunda se llevó a cabo un ejercicio supraumbral, hasta la fatiga. Durante las dos pruebas se realizó un registro R-R de la frecuencia cardíaca. Durante el ejercicio de moderada intensidad el componente de alta frecuencia (HF) de la VRC fue mayor que el componente de baja frecuencia (LF) (LF $80\% \pm 10\%$ vs HF $20\% \pm 10\%$, $p < 0.001$), mientras que lo contrario encontró durante el ejercicio supraumbral (LF $11\% \pm 8\%$ vs HF $89\% \pm 8\%$, $p < 0.001$). Durante el ejercicio supraumbral el componente HF y el volumen corriente se mantienen constantes, mientras que la frecuencia respiratoria aumenta. Concluyendo que la VRC cambia en el ejercicio realizado por debajo del umbral ventilatorio al compararlo durante un ejercicio por encima de umbral ventilatorio³⁹.

Cottin y col 2007⁴¹ evaluaron 12 jugadores de fútbol profesional, de $25 \pm$ tres años, el protocolo se inició con un periodo de calentamiento de 10 minutos a una baja velocidad seleccionada

espontáneamente, posteriormente realizaron una prueba incremental maximal, buscando la máxima velocidad aeróbica (correspondiente a la velocidad alcanzada en la última etapa de la prueba), la velocidad alcanzada durante el primer y segundo umbral. La prueba se inició a una velocidad de 8 Km/h, con incremento por etapa de 0.5 Km/h, con una duración de 1 minuto por cada etapa (protocolo de la prueba de Leger). El registro R-R se llevó a cabo con un monitor Polar® S810, el componente espectral se definió según el Task Force²⁹, el componente LF (0.04-0.15Hz), el componente HF (0.15-1.5Hz), Para determinar el umbral ventilatorio por medio de la variabilidad del ritmo cardiaco se consideró el fHF (pico del componente de alta frecuencia) y el producto de la multiplicación del contenido espectral del componente de alta frecuencia y el fHF. El $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ y $\dot{V}E$ (flujo ventilatorio), se evaluó midiendo los gases espirados respiración a respiración, cada 5 segundos, usando un sistema telemétrico K4b2 Cosmed®. Encontró que existe una correlación en la velocidad de carrera en el umbral ventilatorio 1 y 2, evaluado por medio de ergoespirometria y el umbral ventilatorio 1 y 2, evaluado por medio del registro R-R. Además observo una alta correlación entre el umbral ventilatorio 1 y 2 medidos por medio de ergoespirometria y registro R-R, por medio de la multiplicación del fHF y el HF, con una R^2 0,94 y 0,96 respectivamente con una $p < 0,001$.

Para determinar el umbral ventilatorio por medio de la VRC, Karapetian y colaboradores⁴² evaluaron 24 adultos en una prueba de ejercicio incremental, en un cicloergometro, por medio de ergoespirometria, junto con la identificación del umbral de lactato y la determinación del umbral ventilatorio por medio de la VRC, basado en un registro continuo de R-R, el cual es representado con los valores más bajos de MSD y SD, que representa el retiro vagal e incremento de la actividad simpática, encontrando una correlación entre 0,82 y 0,89 para la identificación del umbral con las tres variables con una $p < 0,05$ ⁴²

Dourado y colaboradores 2013⁴³, evaluaron el umbral ventilatorio por medio de la VRC en 31 adultos sanos, 14 hombre y 17 mujeres en una prueba máxima, incremental y se comparó con el umbral

ventilatorio determinado por medición de gases, respiración a respiración, encontrando una correlación de 0,92 entre ambos métodos⁴³.

2.4 Pruebas en campo.

El fútbol es un deporte multicomponente caracterizado por acciones variadas como sprints, saltos, cambios de dirección, que hacen que componentes como la fuerza y la potencia se destaquen como determinantes en los jugadores.⁵⁵ Los estudios en laboratorio analizan estas demandas fisiológicas de manera útil, pero su especificidad puede convertirse en una limitación al excluir otras capacidades que caracterizan al deporte, por lo que la tendencia de los estudios es el desarrollo de pruebas y tecnologías que permitan valorar varias capacidades físicas determinantes para el rendimiento durante un partido de fútbol⁵⁶.

La mayoría de estudios y aplicaciones prácticas realizadas los últimos años han utilizado el YoYo test como herramienta validada para evaluar el rendimiento ante esfuerzos intermitentes de intensidad alta e incremental en fútbol.^{54,57}

2.4.1 El YoYo test.

Es una prueba de ejercicio incremental, intermitente de medición indirecta de $\dot{V}O_2$ máx en deportistas a partir de la distancia total recorrida.⁵⁴ Consiste en un test de ida y vuelta en una pista recta de 20 metros con una velocidad guiada por un estímulo sonoro producido a intervalos regulares que marcan el ritmo de carrera, el cual aumenta progresivamente hasta el agotamiento.⁵⁷

Presenta tres variantes: el Yoyo test Endurance (determina consumo de oxígeno máximo), el YoYo test de resistencia intermitente (determina capacidad de resistencia) y el YoYo test de recuperación intermitente (determina la capacidad de recuperación ante un ejercicio intenso).

Cada una de estas variantes de la prueba presenta dos niveles de intensidad, diferenciados por las velocidades de carrera y duración: el YoYo test nivel 1 y 2: (YY1) y (YY2).

El (YY1) inicia en 8 km.h⁻¹.⁵⁶ Aunque es recomendado para atletas amateur y futbolistas de divisiones menores por su menor intensidad y duración,^{56,57} Bangsboo y col realizaron un estudio con 141 atletas de deportes aciclicos (no incluido el fútbol) en la que evidenciaron que el YY1 tiene mejor correlación (r:0.70) respecto al (YY2)(r:0.58) al hallar consumo de oxígeno máximo.⁵⁴

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Existen múltiples pruebas en laboratorio para evaluar los umbrales ventilatorios como determinantes del rendimiento en deportistas, las cuales son costosas, requieren un entrenamiento específico para las mismas, y por lo tanto se pueden constituir en pruebas de no muy fácil acceso, lo cual dificulta la mayor difusión de las mismas, teniendo como consecuencia, la incorrecta determinación de periodizaciones y cargas de entrenamiento, que podrían resultar, no acordes con la realidad inmediata del deportista, y como resultado resultar insuficientes para incrementar el rendimiento o predisponer al deportista a lesiones. De esta manera, la búsqueda de nuevas herramientas para realizar estas medidas que incluyan la utilización de la VRC, económica y práctica con posibilidades de ser utilizada en el campo de juego, pretende equiparar las condiciones normales de juego.

Surge entonces la pregunta de investigación del presente trabajo en donde se pretende saber si ¿la determinación de los umbrales ventilatorios mediante la variabilidad del ritmo cardiaco en un test de campo es concordante con la determinación directa de los mismos, tanto en laboratorio como en test de campo en futbolistas juveniles de un Club de futbol profesional colombiano durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014?. De esta forma se quiere saber si ¿Puede utilizarse la variabilidad del ritmo cardiaco en un test de campo para determinar los umbrales ventilatorios en futbolistas juveniles de un Club de futbol profesional colombiano durante el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014.

4. JUSTIFICACIÓN

Según el gran censo de la FIFA del 2007 hay 211 asociaciones de futbol con 301000 clubes (265 millones de personas) que juegan al futbol de manera reglamentada en el mundo, estos jugadores requieren de pruebas que midan de manera objetiva la capacidad cardiorespiratoria en cada momento de sus ciclos de entrenamientos y/o competencias, además permite realizar intervenciones pertinentes para mejorar su capacidad individual de manera oportuna sin provocar acciones en la salud del deportista.

En la actualidad se cuenta con un grupo de equipos y técnicas para valorar el rendimiento físico de los futbolistas, dentro de estas técnicas se cuenta con pruebas de ejercicio cardiopulmonar en laboratorio con medición de variables ventilatorias y metabólicas (lactato), las cuales tienen un importante costo, el cual en la mayoría de ocasiones no puede ser asumido por el jugador o los clubes de futbol de nuestro país, ya sea en las pruebas iniciales o en los controles de seguimiento.

Dourado y cols entre otros estudios demostraron que se puede utilizar la medición de la VRC latido a latido para la determinación de los umbrales ventilatorios en futbolistas, con una correlación importante respecto a las pruebas realizadas en el laboratorio, con la ventaja que esta prueba puede ser realizada en las mismas condiciones en las cuales el futbolista se encuentra entrenando y/o compitiendo en el día a día, teniendo en cuenta que el valor de los equipos para su medición traen consigo un menor costo, son metodológicamente más prácticos y permiten de manera simultánea la valoración de varios jugadores teniendo en esta prueba una herramienta de control eficaz y segura que puede ser realizada en las diferentes categorías y equipos del futbol colombiano.

6. OBJETIVO

5.1 Objetivo General:

Establecer la concordancia entre la determinación de los umbrales ventilatorios por ergoespirometria y la estimación de los mismos mediante la variabilidad del ritmo cardiaco.

5.2 Objetivos Específicos:

1. Establecer los umbrales ventilatorios por medio de ergoespirometria y variabilidad del ritmo cardiaco en una prueba de laboratorio.
2. Establecer los umbrales ventilatorios por medio de variabilidad del ritmo cardiaco y ergoespirometria en una prueba de campo.
3. Medir la concordancia de la medición de los umbrales ventilatorios estimados por variabilidad cardiaca en una prueba de campo y una de laboratorio

6. PROPÓSITO

Establecer si los umbrales ventilatorios medidos con VRC tienen concordancia con los umbrales ventilatorios encontrados por ergoespirometría para generar una herramienta científicamente válida, reproducible y económica con la que los médicos del deporte de los diferentes clubes de fútbol, que no tienen acceso a la prueba ergométrica, puedan utilizar la VRC en una prueba de campo y así, determinar los umbrales ventilatorios en futbolistas, de esta manera generar recomendaciones dirigidas a optimizar la periodización de las cargas de entrenamiento, con el fin de evitar la aparición de lesiones y/o enfermedades en el deportista.

Proponer conocimientos sobre los efectos del SNA a diferentes intensidades en el fútbol que puedan ser utilizados en el diseño de programas de entrenamiento, prevención y rehabilitación de lesiones en atletas, y obtener aptitudes para emplear este conocimiento para la población general.

7. ASPECTOS METODOLÓGICOS

7.1 Tipo y diseño general del estudio

Se trata de un estudio piloto observacional, descriptivo

7.2 Muestra de Referencia

Se tomó una muestra por conveniencia en tiempo y tamaño, entre el grupo de jugadores juveniles sub 20 del Deportivo Cali en el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2014, que cumplieron los criterios de inclusión, en total se recolectaron datos de 10 sujetos.

7.3 Criterios de inclusión

1. Futbolista registrado en la categoría sub 20 del deportivo Cali.
2. Género masculino
3. Que acepten la participación de manera voluntaria.

7.4 Criterios de exclusión

1. No aptitud deportiva
2. Alteraciones patológicas en el ritmo cardiaco.(Jugadores que se encuentren en estudio y/o tratamiento de arritmias cardiacas no derivadas de su actividad deportiva)
3. Ingesta de medicamentos que alteren el ritmo cardiaco. (beta bloqueador, otros medicamentos anti arrítmicos, antipsicóticos, broncodilatadores, nitratos)

Tabla 1. Matriz de variables

Variable	Definición	Definición operacional	Categoría	Tipo y escala de medición.
Umbrales ventilatorios por ergoespirometria	Punto de encuentro de equivalente ventilatorio de $\dot{V}O_2$ con CO_2	Incremento del equivalente respiratorio para el $\dot{V}O_2$ sin un incremento concomitante para el equivalente ventilatorio para VCO_2	Independiente	Cuantitativa continua.
Umbrales ventilatorios por ergoespirometria	Punto de intersección de las curvas que representan el VCO_2 y el $\dot{V}O_2$ en una prueba incremental	Incremento no lineal del VCO_2 con relación al incremento del $\dot{V}O_2$,	Independiente	Cuantitativa continua.
Umbrales ventilatorios por ergoespirometria	Punto de separación de las curvas que representan ($PETO_2$) con ($PETCO_2$)	Punto en el cual existe un incremento sistemático en la presión de oxígeno al final de la espiración ($PETO_2$), sin un incremento en la presión al final de la espiración para el CO_2 ($PETCO_2$)	Independiente	Cuantitativa continua.
Pico HF (Hz)		Ubicación del pico de alta frecuencia	Dependiente	Cuantitativa continua.
Potencia espectral de alta frecuencia de la (HF ms^2/Hz)	Oscilaciones superiores a 0,15 Hz	Potencia de las oscilaciones de la banda de alta frecuencia resultado del análisis espectral de la VRC en el punto del umbral	Dependiente	Cuantitativa continua.

7.5 Procedimientos y técnica

Previo al inicio de las pruebas se realizó la caracterización de la población, registrando los siguientes datos: fecha de nacimiento, edad, posición en el campo de juego, posteriormente se realiza una historia clínica y examen físico completo además se toman medidas antropométricas (talla, peso, índice de masa corporal) con una Tanita.

7.5.1 Primera fase:

Esta corresponde a la fase de la prueba en el laboratorio de la Escuela Nacional del Deporte a temperaturas entre 24 y 29 grados centígrados, en una banda sin fin, calibrada previamente según las recomendaciones del fabricante.

Se instaló en cada uno de los participantes el electrodo del cardiofrecuenciómetro a la altura del tórax y se inicio el registro de la frecuencia cardiaca latido a latido, el dispositivo empleado fue un POLAR® RS800CX (POLAR® ELECTRO, KEMPELE, FINLAND),. Posteriormente al sujeto se le coloca el ergo espirómetro de marca K4b2, previamente calibrado según las recomendaciones del fabricante y se inicia una fase de calentamiento de 10 minutos, a una baja velocidad, la cual el participante escogió espontáneamente. Una vez finalizado el periodo de calentamiento se da inicio a la prueba de ejercicio cardiopulmonar integrado, a una velocidad inicial de 8 Km/h y 2 % de inclinación, con un incremento gradual de la velocidad de 1 Km/h cada minuto hasta lograr la fatiga, se realizó un registro de la presión arterial al finalizar el esfuerzo con un tensiómetro manual ALP K2. En el momento en el que es suspendida la prueba se inicia una fase de recuperación activa en banda de tres minutos, a una velocidad escogida de manera espontánea por el participante y 2 minutos en posición sentado,. Durante la totalidad de la prueba se realizó un registro continuo de la frecuencia cardiaca (intervalos R-R) con el pulsometro instalado inicialmente. Se controlaron de manera rigurosa los tiempos de cada una de las etapas, así como las velocidades que se alcanzaron en cada una de las pruebas de los deportistas. Posteriormente los datos fueron recolectados y descargados de la aplicación de Polar para su posterior análisis

Debido a la cantidad de sujetos en la evaluación inicial y por disposición de un solo ergoespirómetro en el laboratorio, las pruebas fueron realizadas en dos días diferentes, cada día había un grupo de deportistas que asistía en horas de la mañana y otro que asistía en horas de la tarde, los grupos fueron divididos por orden alfabético para su llegada. (división hecha por el cuerpo técnico del equipo).

7.5.2 Segunda fase:

Dos semanas después de la realización de la prueba maximal en banda efectuada en el laboratorio, se efectuaron las pruebas de campo, que se realizaron en la sede deportiva de la Asociación Deportivo Cali, el control de la temperatura ambiental determinó que las pruebas fueron realizadas en un ambiente con temperaturas entre 28 y 32 grados centígrados, registradas por el ergoespirómetro K4b2.

Se instaló, en cada uno de los participantes, el electrodo del cardiofrecuencímetro a la altura del tórax y se inició el registro de la frecuencia cardíaca latido a latido mediante un dispositivo POLAR® RS800CX (POLAR® ELECTRO, KEMPELE, FINLAND). Posteriormente se dio inicio a la fase de calentamiento de 10 minutos, a una baja velocidad, la cual el participante escogió espontáneamente. Una vez finalizado el periodo de calentamiento se da inicio a la prueba de ejercicio cardiopulmonar integrado, a una velocidad de 8 Km/h, con un incremento gradual de la velocidad de 1 Km/h cada minuto hasta lograr la fatiga, acorde a lo descrito por Léger y Lambert (24 cottin). Los sujetos debieron hacer un recorrido de 20 metros, marcado previamente con señales visibles en el tiempo dispuesto para cada etapa según el protocolo, el cual era regulado por una señal auditiva. La prueba se da por terminada si el participante tiene más de 2 metros de retraso para cubrir la distancia en el tiempo estimado para cada etapa. En el momento en el que es suspendida la prueba se inicia una fase de recuperación activa de tres minutos, a una velocidad escogida de manera espontánea por el participante y 2 minutos en posición sentado, durante la totalidad de la prueba se realizó el registro continuo del R-R.

Debido a la cantidad de sujetos en la evaluación y por disposición de un solo ergoespirómetro las pruebas fueron realizadas en dos días diferentes, intentando respetar el mismo horario y orden de las pruebas en laboratorio, las fechas de realización de las pruebas fueron el 26 y 27 de mayo, mientras que las pruebas en campo fueron realizadas 14 días después, (durante ambas pruebas el estado de

hidratación de los deportistas no fue evaluado pero ninguno de ellos presentó alguna situación que pudiera alterarlo.)

Posterior a la realización de las pruebas, se conformaron dos grupos encargados del tratamiento. Para la determinación de los umbrales mediante la ergoespiometria interpretación de los datos y lectura de los umbrales ventilatorios, estuvo a cargo del un grupo de la Escuela Nacional del Deporte conformado por dos médicos del deporte. Este grupo analizó los datos de las ergoespiometrias en el laboratorio (realizadas en banda) y la ergoespiometria en campo realizada con el ergoespirómetro portátil, utilizando las diferentes las graficas determinaron los umbrales ventilatorios por medio de tres métodos: equivalentes ventilatorios, V-Slope y el incremento sistemático de la presión de oxígeno al final de la espiración (PETCO₂). Para la determinación de los umbrales ventilatorios por medio de los componentes espectrales de la frecuencia cardiaca durante el esfuerzo, un médico del deporte de la Universidad el Bosque, analizó la VRC de los registros de la frecuencia cardiaca continua y latido a latido obtenidos durante las dos pruebas maximales (prueba en banda sin fin efectuada en el laboratorio y el test de yoyo realizada sobre césped); para el calculo de los umbrales ventilatorios de cada uno de los sujetos se utilizó un programa denominado Nevrokard[®] (<http://.nevrokard.eu/>), utilizando el coeficiente de variación del componente HF (que se obtiene de multiplicar el valor del pico máximo del componente de alta frecuencia HF por el pico de ese mismo componente) y se utilizaron los criterios descritos y publicados por Cottin⁴¹ (Anexo 3), el cual considera: el fHF (pico del componente de alta frecuencia) y el producto de la multiplicación del contenido espectral del componente de alta frecuencia y el fHF (HFxfHF). Determinando el primer umbral ventilatorio como el Primer aumento no lineal de (fHFx HF) Después de llegar al mínimo y se considera el segundo umbral ventilatorio como el Segundo aumento no lineal de (fHFxHF) en un ejercicio incremental (Anexo 2), se ubicó la velocidad de carrera para cada uno de los umbrales, algunos de estos archivos no cumplieron los criterios descritos para el hallazgos de los dos umbrales ventilatorios principalmente para el primer umbral, lo cual no

hizo que se descartara la prueba para su lectura. Ninguno de los dos grupos tuvo conocimiento de los resultados arrojados para la determinación de las velocidades de los umbrales ventilatorios. El investigador principal recopiló la información para el análisis estadístico.

7.6 Pérdida de datos:

Durante la realización de la prueba en campo (segunda fase), se evidenció la dificultad que dispone la colocación de los dos dispositivos en un mismo sujeto, al quedar ambos sobrepuestos a la altura del tórax, aunque lo mismo pasa en la prueba de laboratorio, detectamos que el impacto y los cambios de dirección que requiere este tipo de pruebas en campo hacen que se deba generar un protocolo idóneo que evite la pérdida por transposición de datos por errores en el montaje de estos dispositivos lo que da como resultado que de las 21 pruebas realizadas sólo 10 fueran utilizables para realizar una lectura adecuada de los umbrales ventilatorios por el método de Cottin, disminuyendo el número de la muestra de manera considerable.

8. ASPECTOS ÉTICOS

Este proyecto fue radicado bajo aprobación de la Dirección de Postgrados de la Universidad del Bosque. Se solicitó aprobación del departamento de investigación de la Escuela Nacional del Deporte y de la Asociación Deportivo Cali en sus divisiones menores.

Todos los deportistas tuvieron una explicación clara de la indicación, beneficios y posibles complicaciones referentes al procedimiento. Posteriormente diligenciaron el consentimiento informado que será firmado por el paciente (Anexo no 1).

El estudio fue radicado y aprobado bajo la autorización del comité de ética de la Escuela Nacional del Deporte.

9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se diseñó una base de datos en el programa Excel con los espacios correspondientes para cada variable que eran de nuestro interés.

Esta base de datos consta de 10 sujetos cada uno con los espacios correspondientes a los umbrales hallados tanto por ergoespirometria como por VRC arrojando en principio 4 datos por cada uno de los individuos durante la prueba de laboratorio.

Catorce días después se anexan a la base de datos los espacios correspondientes para los hallazgos encontrados para cada sujeto durante la prueba de campo con la que se obtienen 4 datos más por cada atleta evaluado, además se incorporan a esta base de datos los espacios para frecuencia cardiaca y la velocidad de carrera para cada umbral, esta base de datos Fue analizada en el paquete estadístico SPSS versión 22.0 (IBM Corp. Armonk, NY, USA).

Para corroborar o descartar la presencia de normalidad de las variables (velocidad de carrera en los umbrales), se evaluó el supuesto de normalidad por la prueba de Shapiro Wilk, debido a que la muestra es menor de 50 .

Se tomaron las variables: Umbrales ventilatorios por ergoespirometría, umbrales ventilatorios por análisis de la variabilidad del ritmo cardiaco (Pico Hf y Componente de alta frecuencia de la variabilidad del ritmo cardiaco), se toman las velocidades de carrera en cada uno de los umbrales obteniendo 8 datos por cada atleta a los cuales se les realizó medidas de centralización, obteniendo media, desviación estándar e intervalos de confianza. La diferencia fue considerada estadísticamente significativa cuando $p < 0,05$. La correlación entre las variables se analizó con el coeficiente de correlación de Pearson.

Para hallar la concordancia entre las velocidades de carrera en los umbrales ventilatorios por ergoespirometria y los hallados por variabilidad del ritmo cardiaco en la prueba de campo los datos fueron ingresados y procesados en Bland Altman.

10. RESULTADOS

Se evaluaron un total de 10 sujetos. La edad promedio observada fue de 18 años (mínimo de 16, máximo de 19, DE $\pm 0,9$); las variables antropométricas permitieron evidenciar una estatura promedio 1,80 mts (DE ± 7 cm), un peso promedio de 71 kg (DE: $\pm 3,9$ kg) y un índice de masa corporal (IMC) promedio de 21,95 Kg.m² (DE: 0.878, mínima de 21,2, máxima de 24,1 Kg.m²).

Tabla 2. Datos estadísticos descriptivos

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
EDAD años	16	19	18,18	0,982
PESO Kg	66	77	71,4	3,95854
TALLA cm	169	190	180,227	7,5543
IMC Kg.m²	21,2	24,1	21,95	0,878

10.1 Mediciones

Se realizaron mediciones a los participantes, evaluando los umbrales ventilatorios por VRC y ergoespirometría, en dos momentos y dos escenarios (test de laboratorio y test de campo), ubicando la velocidad de carrera obtenida en cada uno de estos puntos, observando los siguientes resultados:

10.2 Banda

Se hicieron los análisis respectivos para las velocidades de carrera en los umbrales ventilatorios hallados por ergoespirometría encontrando un promedio de 9,6 kilómetros por hora (km.h⁻¹) (mínimo de 8; máximo de 11; DE: $\pm 1,17$) para el primer umbral en comparación con la velocidad de carrera durante el segundo umbral que muestra un promedio de 10,6 km.h⁻¹ (DE $\pm 1,07$), con un mínimo de 9 km.h⁻¹ y un máximo de 12 km.h⁻¹. (Tabla 3).

Para el análisis de las velocidades de carrera en los umbrales ventilatorios hallados por variabilidad del ritmo cardiaco se encontró para el primer umbral un promedio de 9,875 kilómetros por hora (km.h^{-1}) (mínimo de 8; máximo de 11; DE: $\pm 1,17$) en comparación con la velocidad de carrera durante el segundo umbral que muestra un promedio de $10,6 \text{ km.h}^{-1}$ (DE $\pm 1,07$) , con un mínimo de 9 km.h^{-1} y un máximo de 12 km.h^{-1} . (Tabla 3)

Tabla 3. Velocidad de carrera de los umbrales ventilatorios en la prueba de laboratorio

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	p.
VEL VRC VT1 (Km.h^{-1})	9	11	9,8	0,834	0,0672
VEL VRC VT2 (Km.h^{-1})	11	12	11,5	0,527	0,0003
VEL $\dot{V}\text{O}_2$ VT1 (Km.h^{-1})	8	11	9,6	1,173	0,1239
VEL $\dot{V}\text{O}_2$ VT2 (Km.h^{-1})	9	12	10,6	1,074	0,177

10.3 Test de Campo

La velocidad de carrera en el test de campo para el primer umbral hallado por análisis de gases permitió observar un promedio de 9 km.h^{-1} (mínimo de 8 km.h^{-1} ; máximo de 11 km.h^{-1} ; DE: $\pm 0,816$) en comparación con la velocidad de carrera durante el segundo umbral que muestra un promedio de $9,9 \text{ km.h}^{-1}$ (DE $\pm 0,875$), con un mínimo de 9 km.h^{-1} y un máximo de 12 km.h^{-1} . (Tabla 4).

En el análisis de las velocidades de carrera en los umbrales ventilatorios hallados por variabilidad del ritmo cardiaco se encontró para el primer umbral un promedio de 9,16 kilómetros por hora (km.h^{-1}) (mínimo de 9; máximo de 10; DE: ± 0.408) en comparación con la velocidad de carrera durante el segundo umbral que muestra un promedio de 10 km.h^{-1} (DE $\pm 0,755$), con un mínimo de 9 km.h^{-1} y un máximo de 11 km.h^{-1} (Tabla 4).

Tabla 4. Velocidad de carrera en los umbrales ventilatorios en la prueba de campo.

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	p.
VEL VRC VT1 (Km.h ⁻¹)	9	10	9,1	0,408	0,0001
VEL VRC VT2 (Km.h ⁻¹)	9	11	10	0,755	0,0929
VEL $\dot{V}O_2$ VT1 (Km.h ⁻¹)	8	11	9	0,816	0,0009
VEL $\dot{V}O_2$ VT2 (Km.h ⁻¹)	9	12	9,9	0,875	0,0029

Después de obtenidas y analizadas las diferentes velocidades de carrera para cada uno de los umbrales encontrados tanto por variabilidad del ritmo cardiaco como por ergoespirometría y aunque se encontró una correlación positiva al compararlas tanto en el primer umbral como el segundo umbral, se encuentra una mejor correlación del test de referencia (umbrales hallados por ergoespirometría en el laboratorio) con los umbrales hallados por variabilidad del ritmo cardiaco realizado en el test de laboratorio que al hacer la relación con los umbrales encontrados en el test de campo ya sea con ergoespirometría ó variabilidad del ritmo cardiaco (Tablas 5 y 6). El análisis con el método gráfico Bland Altman nos permite encontrar la línea media y los límites de concordancia con intervalo de confianza del 95%:

Tabla 5. Correlación entre las diferentes velocidades de carrera para el primer umbral ventilatorio

	*VRCVT1BANDA	$\dot{V}O_2$ VT1YY	VRCVT1YY
* $\dot{V}O_2$ VT1BANDA	r =0,644	r =0,347	r =0,119

***Velocidades de carrera en el primer umbral:** ($\dot{V}O_2$ VT1BANDA) hallado por ergoespirometría en banda, (VRCVT1BANDA) hallado por variabilidad cardiaca en banda, ($\dot{V}O_2$ VT1YY) hallado por ergoespirometría en prueba de campo, (VRCVT1YY) hallado por variabilidad del ritmo cardiaco en campo; Coeficiente de correlacion de Pearson (r)

Tabla 6. Correlación entre las diferentes velocidades de carrera para el segundo umbral ventilatorio.

	*VRCVT2BANDA	$\dot{V}O_2VT2YY$	VRCVT2YY
* $\dot{V}O_2VT2BANDA$	r =0,784	r =0,429	R =0,547

***Velocidades de carrera en el segundo umbral:** ($\dot{V}O_2VT2BANDA$) hallado por ergoespirometría en banda, (VRCVT2BANDA) hallado por variabilidad cardiaca en banda, ($\dot{V}O_2VT2YY$) hallado por ergoespirometría en prueba de campo, (VRCVT2YY) hallado por variabilidad del ritmo cardiaco en campo; Coeficiente de correlacion de Pearson (r)

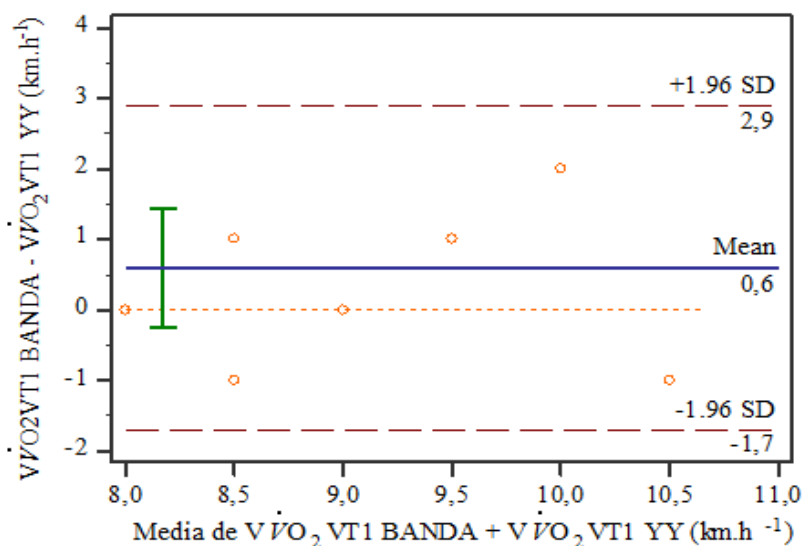
10.4 Análisis de concordancia para el primer umbral

Para el análisis de concordancia entre la velocidad de carrera del primer umbral por ergoespirometría ($VVT1-\dot{V}O_2-BANDA$), con la velocidad de carrera del primer umbral por análisis de gases en campo ($VVT1-\dot{V}O_2-YY$) se encontró una media de la diferencia (bias), de 0,6 km.h⁻¹, la desviación estándar DE± 1,1738 y se establecieron los límites de concordancia, todos los datos se encuentran dentro estos límites (2.9 y -1,7 km.h⁻¹), posteriormente se ubica en la tabla de distribución t Student los grados de libertad (n-1), con significancia de 0,05 a dos colas para poder encontrar los límites de concordancia tanto para la media como para los límites deconcordancia (Tabla 7). La línea de igualdad (línea del cero) se encuentra dentro del límite del intervalo de confianza de la diferencia de medias , indicando que los datos de ($VVT1-\dot{V}O_2-YY$) además de ser concordantes, no sobreestiman ni subestiman a los de ($VVT1-\dot{V}O_2-BANDA$), Ver (Figura 2).

Tabla 7. Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza.

PARAMETRO	UNIDAD	ERROR ESTANDAR fórmula (se)	Erros Estándar (se)	t valor para 9 grados de libertad	Confianza (se*t)	Intervalo de Confianza	
						Desde	Hasta
Número (n)	10						
Grado de libertad	9						
Media de la diferencia(d)	0,600	$\sqrt{S^2/n}$	0,371	2,262	0,840	-0,240	1,440
Desviación estándar	1,1738						
d - 1.96	-1,700648	$\sqrt{3S^2/n}$	0,643	2,262	1,454	-3,155	-0,246
d + 1.96	2,900648	$\sqrt{3S^2/n}$	0,643	2,262	1,454	-1,446	4,355

Figura2. Bland-Altman representando las velocidades de carrera en km.h⁻¹ en los umbrales ventilatorios.



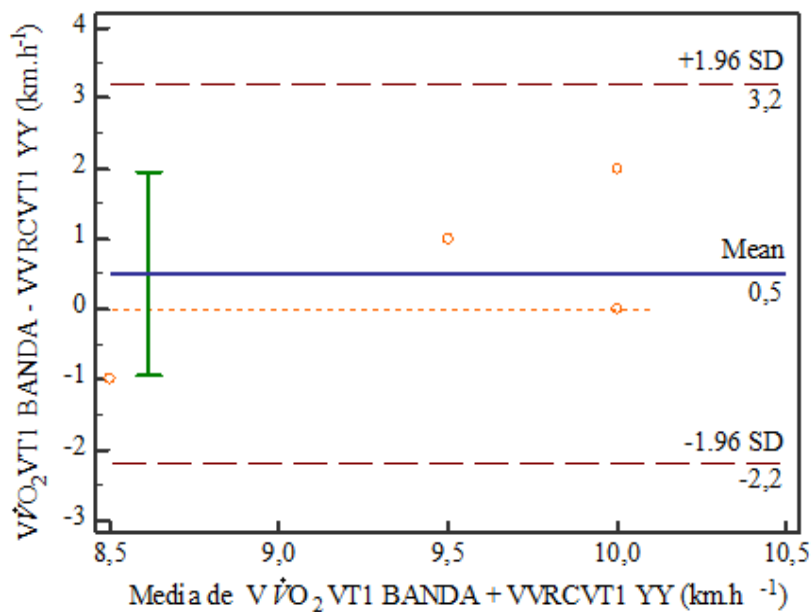
*Gráfico de Bland Altman, representando la línea central y límites de concordancia del 95% entre las velocidades de carrera en km.h⁻¹ en los umbrales ventilatorios. evaluando. La concordancia entre VVT1-VO₂-BANDA (velocidad de carrera en el primer umbral hallada con análisis de gases en laboratorio), con VVT1-VO₂-YY (velocidad de carrera en el primer umbral hallada con análisis de gases en campo); Valor de la diferencia media 0,6 (línea azul continua); Límites de concordancia, 2,9-1,7 km.h⁻¹ (línea discontinua)

Al analizar (VVT1-VO₂-BANDA), con la velocidad de carrera en el primer umbral hallada por variabilidad del ritmo cardiaco en la prueba de campo (VVT1-VRC-YY), se encontró una media de la diferencia (bias) de 0,5 km.h⁻¹, DE± 1,3784 con lo que se realiza el cálculo de los límites de concordancia entre (3.2 y -2.2 km.h⁻¹), dentro de los cuales se encuentran todos los datos, se ubica en la t student el valor para los grados de libertad, y así poder estimar los intervalos de confianza para bias y los límites de concordancia (Tabla 8), la línea de igualdad (línea del cero) se encuentra dentro del límite del intervalo de confianza de la media de la diferencia, indicando que los datos de (VVT1-VRC-YY) además de ser concordantes, no sobreestiman ni subestiman a los de (VVT1-VO₂-BANDA) (Figura 3).

Tabla 8: Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza.

PARAMETRO	UNIDAD	ERROR ESTANDAR fórmula (se)	Erros Estándar (se)	t valor para 5 grados de libertad	Confianza (se*t)	Intervalo de Confianza	
						Desde	Hasta
Número (n)	6						
Grado de libertad	5						
Media de la diferencia(d)	0,5	$\sqrt{S^2/n}$	0,563	2,57	1,446	-0,946	1,946
Desviación estándar	1,378404875						
$d - 1.96$	-2,2	$\sqrt{3S^2/n}$	0,975	2,57	2,505	-4,705	0,305
$d + 1.96$	3,2	$\sqrt{3S^2/n}$	0,975	2,57	2,505	-0,695	5,705

Figura3. Gráfico de Bland Altman representando las velocidades de carrera en km.h^{-1} en los umbrales ventilatorios.



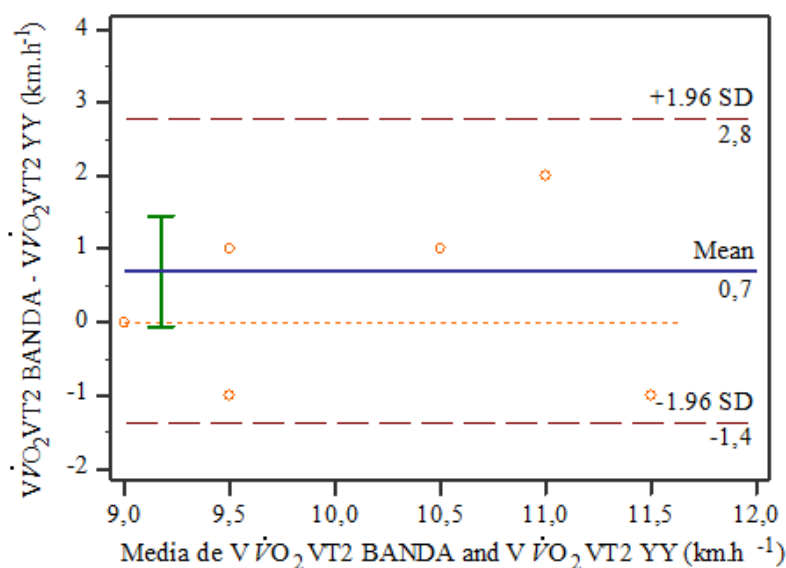
* Gráfico de Bland Altman evaluando la concordancia entre VVT1- $\dot{V}\text{O}_2$ -BANDA (velocidad de carrera en el primer umbral hallada con análisis de gases en laboratorio), con VVT1-VRC-YY (velocidad de carrera en el primer umbral hallada con análisis de variabilidad cardiaca en campo); Valor de la diferencia media 0,5 (línea azul continua); Límites de concordancia, 3.2-2.2 km.h^{-1} (línea discontinua)

10.5 Análisis de concordancia para el segundo umbral

Para el análisis de concordancia entre la velocidad de carrera del segundo umbral por ergometría (VVT2- $\dot{V}\text{O}_2$ -BANDA), con la velocidad de carrera del segundo umbral por ergometría en campo

(VVT2- $\dot{V}O_2$ -YY) se encontró un (bias) de 0,7 km.h⁻¹, DE $\pm$ 1,1180, con lo que se establecieron los límites de concordancia y se verificó que todos los datos se encuentran dentro de estos límites, (2.8 y -1.4 km.h⁻¹.), se utiliza la tabla de distribución t student con los grados de libertad y la respectiva significancia para poder establecer los intervalos de confianza para la media de las diferencias y para los límites de concordancia (Tabla 9), se establece que la línea de igualdad (línea del cero) se encuentra dentro del intervalo de confianza de la diferencia de medias, indicando que además de ser concordantes, los datos de (VVT2- $\dot{V}O_2$ -YY) no subestiman ni sobreestiman a los de (VVT2- $\dot{V}O_2$ -BANDA). (Figura 4).

Figura4. Bland-Altman representando las velocidades de carrera en km.h⁻¹ en los umbrales ventilatorios.



*Gráfico de Bland Altman evaluando la concordancia entre VVT2- $\dot{V}O_2$ -BANDA (velocidad de carrera en el segundo umbral hallada con análisis de gases en laboratorio), con VVT2- $\dot{V}O_2$ -YY (velocidad de carrera en el segundo umbral hallada con análisis de gases en campo); Valor de la diferencia media 0,7 (línea azul continua); Límites de concordancia, 2.8-1.4 km.h⁻¹ (línea discontinua)

Tabla 9: Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza.

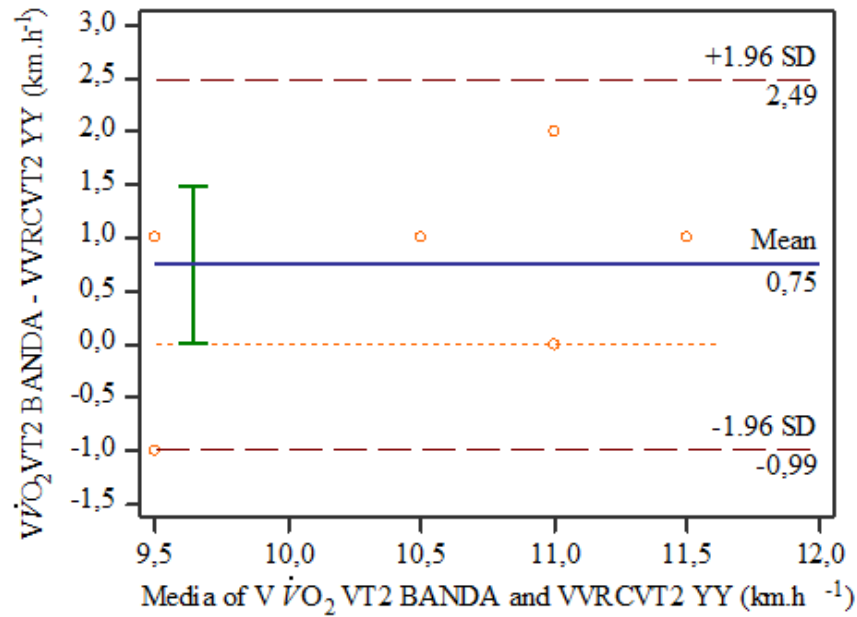
PARAMETRO	UNIDAD	ERROR ESTANDAR fórmula (se)	Erros Estándar (se)	t valor para 9 grados de libertad	Confianza (se*t)	Intervalo de Confianza	
						Desde	Hasta
Número (n)	10						
Grado de libertad	9						
Media de la diferencia(d)	0,7	$\sqrt{S^2/n}$	0,354	2,262	0,800	-0,100	1,500
Desviación estándar	1,118033989						
$d - 1.96$	-1,4	$\sqrt{3S^2/n}$	0,612	2,262	1,385	-2,785	-0,015
$d + 1.96$	2,8	$\sqrt{3S^2/n}$	0,612	2,262	1,385	-1,415	4,185

Al analizar (VVT2- $\dot{V}O_2$ -BANDA), con la velocidad de carrera en el segundo umbral hallada por variabilidad del ritmo cardiaco en la prueba de campo (VVT2-VRC-YY), se encontró una (bias) de 0,75 km.h⁻¹, DE± 0,9511, se estiman los límites de concordancia verifica que los datos se encuentran dentro estos límites (2.49 y -0.99 km.h⁻¹). Posteriormente se establecen los interválos de confianza bias y para los límites de concordancia (Tabla 10). La línea de igualdad (línea del cero) se encuentra en el límite inferior de los intervalos de confianza de la diferencia de medias indicando que los datos de (VVT2-VRC-YY), son corcondantes pero tienden a subestimar a los de (VVT2- $\dot{V}O_2$ -BANDA) 0,75 km.h⁻¹ (Figura 5).

Tabla10: Datos estadísticos Bland Altman Plot, incluye los elementos para calcular los intervalos de confianza.

PARAMETRO	UNIDAD	ERROR ESTANDAR fórmula (se)	Erros Estándar (se)	t valor para 7 grados de libertad	Confianza (se*t)	Intervalo de Confianza	
						Desde	Hasta
Número (n)	8						
Grado de libertad	7						
Media de la diferencia(d)	0,75	$\sqrt{S^2/n}$	0,336	2,36	0,794	-0,044	1,544
Desviación estándar	0,951189731						
$d - 1.96$	-0,99	$\sqrt{3S^2/n}$	0,582	2,36	1,375	-2,365	0,385
$d + 1.96$	2,49	$\sqrt{3S^2/n}$	0,582	2,36	1,375	-1,115	3,865

Figura5. Gráfico de Bland Altman representando las velocidades de carrera en km.h^{-1} en los umbrales ventilatorios.



*Gráfico de Bland Altman evaluando la concordancia entre VVT2- $\dot{V}\text{O}_2$ -BANDA (velocidad de carrera en el segundo umbral hallada con análisis de gases en laboratorio), con VVT2-VRC-YY (velocidad de carrera en el segundo umbral hallada con análisis de variabilidad cardiaca en campo); Valor de la diferencia media 0,75 (línea azul continua); Límites de concordancia, 2.49-0.99 km.h^{-1} (línea discontinua)

11. Discusión

La presente investigación es un piloto que nos muestra el inicio en el estudio de la VRC como herramienta para la medición de umbrales ventilatorios, logra demostrar que la medición del pico H_f y el componente de alta frecuencia determinados durante un test incremental maximal realizado en un test de campo (yoyo test) puede ser utilizado como estrategia alternativa para determinar los umbrales ventilatorios en jugadores juveniles del fútbol profesional colombiano.

Los hallazgos mas destacados de este estudio piloto están dados por:

Existe un alto grado de concordancia en el primer umbral ventilatorio que fue establecido mediante el método goldstandar (ergoespiometria) y el valor que se estableció para el mismo umbral mediante los componentes espectrales del ritmo cardiaco obtenidos durante esfuerzo incremental del test de YOYO, así mismo los resultados indican concordancia con los encontrados en el test de referencia realizado en el laboratorio (Figura 2 y 3).

Se encontró un alto grado de concordancia cuando se determina el segundo umbral ventilatorio determinado por el método goldstandar (ergoespiometria) y el valor que se estableció para el mismo umbral con los componentes espectrales del ritmo cardiaco obtenidos durante el test de YOYO, umbral ventilatorio con análisis de gases en el test de YOYO con el test de referencia realizado en el laboratorio (Figura 4).

Existe un alto grado de concordancia entre los datos del análisis entre el segundo umbral ventilatorio hallado por ergoespiometria al compararlo con el encontrado por VRC y en el calculado en el test de YOYO, sin embargo esta segunda prueba muestra una tendencia a subestimar los datos respecto a los del análisis por ergoespiometria. (Figura 5).

Basado en lo anterior, es importante destacar que esta investigación utilizó como test de referencia las prueba incrementales maximales en banda sin fin efecutadas para la determinación de los umbrales ventilatorios por ergoespiometria realizada en el laboratorio, al buscar la concordancia con los

hallazgos encontrados en los de los umbrales ventilatorios por VRC en una prueba de campo encontrando una concordancia positiva; hallazgos similares fueron encontrados en la revisión de la literatura, donde algunos autores han logrado hallar los umbrales ventilatorios con VRC en diferentes poblaciones: deportistas de alto rendimiento, deportistas recreativos y población no deportista. Así también, existen muy pocos estudios que intentan buscar estas mediciones en un test de campo, lo cual hace de este estudio piloto una guía de referencia para posteriores investigaciones e intervenciones en la práctica con jugadores juveniles practicantes de fútbol profesional y luego aumentar las investigaciones en otros grupos etarios.

En Colombia, Serrato y colaboradores en los lineamientos de Coldeportes, refieren la importante necesidad de realizar pruebas de campo (indirectas) que busquen realizar un control y monitoreo adecuado de los umbrales ventilatorios para las diferentes disciplinas deportivas, donde también se pueda evaluar el estado actual del atleta durante las diferentes etapas de entrenamiento⁵⁰, sin embargo es bien conocido la dificultad que se tiene para hallar los umbrales ventilatorios sin ergoespirometría a través de una prueba de campo en deportes acíclicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, autores como Laurent, Morot⁵¹ (año 2014), buscaron realizar un protocolo incremental para 16 esquiadores en banda, hallando el segundo umbral ventilatorio por el método de equivalentes ventilatorios, y cuatro métodos diferentes para hallar el umbral ventilatorio por medio de la VRC, encontrando una correlación ($r= 0,903$) y un análisis gráfico de Bland Altman encontrando concordantes los resultados al medirlos a través de la VRC sólo para el segundo umbral, sin embargo el objetivo de aplicar un test de campo no se cumple ya que no deja de ser un protocolo en laboratorio dado que lo realizaron en banda sin fin, a diferencia de lo que se demuestra en el presente estudio, donde la población de estudio jugadores juveniles de fútbol, sometidos a una prueba en campo y posteriormente se comparó con el test de referencia en el laboratorio encontrando también un alto grado de concordancia para ambos umbrales.

En el estudio de Cabrera y colaboradores⁵², realizado en 14 futbolistas colombianos juveniles encontraron correlacion entre el test de referencia ergoespirometria en banda sin fin y los resultados encontrados en el YOYO test, sin embargo, también evidenciaron que no es una prueba confiable para encontrar $\dot{V}O_2$ máx para la prueba en campo índice de correlación concordancia de Lin:(0,00271)⁵², de forma similar, la presente investigación realizó mediciones en ergoespirometria y la medición de umbrales mediante medición de la VRC en un test de campo, encontrando resultados dentro de los límites de concordancia en el análisis gráfico de Bland Altman al compararlos con los test de referencia (test incremental en banda con ergoespirometria).

En los estudios de Dourado, Karepetian y Ramos^{43,42,53} al igual que en el actual estudio existe una proporcionalidad ($r=0.119$) para el primer umbral y ($r=0.547$) para el segundo umbral con diferentes métodos de VRC cuando estos son realizados en pruebas de laboratorio con protocolos incrementales, sin embargo en el trabajo de Karepetian y cols⁴² respecto a la presente investigación se diferencia en varios aspectos pues evaluó 24 adultos sanos que no practicaban deporte de alto rendimiento en un test incremental en cicloergómetro y para hallar los umbrales por medio de VRC utilizaron mediciones del dominio temporal (MSD y SD) con datos que sugieren correlación ($r=0.82$ y 0.89) ($p<0.005$), Dourado⁴³ en 2013 evaluó 31 adultos sanos 57 ± 9 años en la prueba de caminata con carga progresiva (PCCT), la cual es submaximal, donde incluyeron hombres y mujeres no deportistas a diferencia de este estudio, encontrando correlaciones (de $r=0.92$) entre ambos métodos al comparar los umbrales. Otro estudio que correlacionó los umbrales por medio de la VRC es el de de Ramos- Campos⁵³ en 2017 que evaluó 24 jugadores de baloncesto 23 ± 2 en un test incremental en banda encontraron correlación entre: el primer umbral hallado por el método de equivalentes ventilatorios y el primer umbral encontrado por VRC (métodos de dominio frecuencial) ($r=0.903$), para el segundo umbral encontró el mismo grado de correlación pero al compararlo con los métodos (V-slope, cociente respiratorio y equivalentes ventilatorios) del análisis de gases además de esta proporcionalidad, también en este grupo

encontramos de manera llamativa que en la concordancia existe un alto grado de correspondencia entre las mediciones de los umbrales del test de referencia con los encontrados en el test de campo tanto analizados por gases como hallados por VRC.

Es importante aclarar que el único estudio previo en el que fueron evaluados futbolistas por medio de la VRC fue el de Cottin y cols⁴¹ en el 2007, quienes evaluaron 12 jugadores profesionales realizándoles un test incremental en campo (test de Leger), hallando la velocidad de carrera en los umbrales ventilatorios con VRC estimándolos con el fHF (pico del componente del alta frecuencia) y el producto de la multiplicación del contenido espectral y el fHF, encontrando una correlación de la velocidad de carrera al comparar los 3 métodos de medición con gases para ambos umbrales, y una concordancia realizada con el método gráfico de Bland Altman⁴¹, sin embargo hay algunas diferencias significativas con la actual investigación, pues en el grupo de Cottin comparan umbrales ventilatorios hallados en análisis de gases y VRC en una prueba en campo de manera simultánea y como valor agregado, el presente estudio logró comparar los datos de la prueba de campo de manera simultánea (umbrales hallados por VRC y análisis de gases) y los compara con los hallados en el test de referencia de laboratorio, además se enfatiza que el presente estudio se realizó con deportistas masculinos con edades por debajo de los 20 años, lo cual puede implicar que los sujetos pueden contar con una madurez incompleta de su SNA, al final los resultados son comparables a los de otros estudios, pero dan al presente estudio un atributo especial y diferencial, aunque no era el objetivo valorar el impacto de la madurez del SNA si se aporta datos que pueden contribuir como referencia de esta población específica.

Otra situación a considerar y tener en cuenta al momento de comparar con otras investigaciones es el momento o periodo en la que los atletas se evaluaron, en la presente investigación se realizó dentro de la temporada regular de competencia, al tener un estímulo diferente al que tendrían si la medición se

hubiera hecho en pretemporada seguramente los umbrales y sus velocidades de carrera habrían sido menores para los dos métodos, aunque el objetivo era evaluar la herramienta y no el momento.

Entre las dificultades y limitaciones encontradas en la elaboración de la presente investigación, se encuentra que varios de los archivos de VRC realizados en campo tuvieron que se descartar por transposición de datos, generando una perdida de los sujetos en la muestra, que al mismo tiempo obligaba a descartar los datos encontrados en la prueba de laboratorio de los mismos individuos. Se sugiere aumentar el numero de sujetos en la muestra para hacerla mas reproducible.

Tal vez una de las limitaciones más importantes del estudio radica en que a pesar de ser un grupo homogéneo, el número de sujetos es relativamente pequeño para la población de jugadores juveniles en Colombia.

11.1 Fortalezas y alcances de la prueba:

A pesar de estudio piloto, puede ser el primero realizado en Colombia que logra encontrar una concordancia y una correlación de los datos en campo con los de ergoespiometria en laboratorio en futbolistas juveniles , encontramos una herramienta reproducible, de bajo costo que puede ser realizada en jugadores juveniles, sin embargo la interpretación tiene que ser realizada por un médico del deporte entrenado en la lectura de VRC.

Se abre un campo para que las mediciones de VRC en una prueba de campo sigan estudiándose como herramienta práctica que para su realización solo necesite un espacio con la distancia adecuada y el equipo de medición de VRC, en el caso puntual del futbol, la facilidad para que los jugadores pueden elaborar el test con sus elementos de trabajo diario (guayos) lo cual garantiza características aun mas similares a las de la competencia.

El actual estudio es realizado en una muestra pequeña de jugadores juveniles sin embargo abre la puerta a futuras investigaciones en otros grupos etarios, equipos femeninos, incluso a otras disciplinas deportivas.

Se abren líneas de investigación en las que los médicos del deporte puedan utilizar las pruebas para medición del umbral ventilatorio en personas con o sin entrenamiento deportivo con distintos fines: mejoría del rendimiento, evaluación preparticipativa y/o precompetitiva, incluso en el proceso de rehabilitación y readaptación de lesiones.

Para futuras investigaciones puede usarse una combinación de métodos de VRC, para mejorar la fiabilidad al hallar los umbrales tanto en una prueba en laboratorio para las diferentes modalidades deportivas (cíclicas y acíclicas), como para la realización de pruebas en campo.

12. Conclusiones.

Hay concordancia al comparar los umbrales ventilatorios por los métodos de VRC en campo con la medición de los umbrales ventilatorios con análisis de gases en laboratorio.

La presente investigación es un estudio piloto que contribuye en la aproximación al conocimiento en la aplicabilidad del estudio de la variabilidad de la frecuencia cardiaca latido a latido como instrumento para medir umbrales ventilatorios pretendiendo obtener una herramienta en deportistas y clubes de futbol colombiano generando datos confiables.

Se encuentra como una de las primeras investigaciones realizadas en el país que confirma la utilidad de un registro continuo de la frecuencia cardiaca latida a latido y su posterior análisis para determinar la variación de la alta frecuencia como una herramienta que puede ser utilizada por los Médicos del deporte para la medición y control de los umbrales ventilatorios en los diferentes ciclos de entrenamiento de sus deportistas sin necesidad de tener a mano la medición de gases con una adecuada concordancia para su uso en futbolistas juveniles colombianos.

La evidencia existente sobre este tema diariamente se encuentra en aumento, generando cada día más conocimientos sobre la VRC como herramienta en alto rendimiento sin embargo aún no se ha logrado crear el test ideal en campo que deba ser utilizado por los diferentes clubes del futbol colombiano, especialmente los de bajos recursos con el fin de generar una gran base de datos que permita saber el estado de los deportistas activos y poder conocer de manera fiable su capacidad de adaptación a los entrenamientos durante una temporada, lo cual genera varias líneas de investigación que incluyen la búsqueda de test adecuados, estudios similares en altura, estudios en atletas femeninas e incluso en atletas de otras edades y modalidades deportivas.

Bibliografía

1. Smaros, G. *Energy usage during a football match*. Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football. Rome. 1980. p 795-801.
2. Bangsbo, J. *Physiological demands of soccer*. In: Football (Soccer). Ed: Ekblom, B. London: Blackwell Scientific. 1994. p 43-59.
3. Reilly, T. Physiological aspects of soccer. *Biology and Sport*. 1994. p 11, 3-20.
4. Ekblom, B. Applied physiology of soccer. *Sport Med*. Jan-Feb 1986;3(1):50-60.
5. Nowacki, P.E., Cal, D.Y., Buhl, C. and Krummelbein, U. (1988) *Biological performance of German soccer players (professionals and juniors) tested by special ergometry and treadmill methods*. In: Science and Football. Ed: Reilly, T., Lees, A., Davis, K. and Murphy, W.J. 145-157.
6. Apor, P. *Successful formulae for fitness training*. In: Science and Football. Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, WJ, eds. London: E & FN Spon, 1988, pp. 95–107.
7. Faina, M, Gallozzi, C, Lupo, S, Colli, R, Sassi, R, and Marini, C. 1988, *Definition of physiological profile of the soccer players*. In: Science and Football. Reilly, T, Lees, A, Davids, K, and Murphy, WJ, eds. London: E & FN Spon. pp. 158–163.
8. Wisloff U, Helgerud, J, and Hoff, J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*. 30: 462–467, 1998.
9. Bangsbo, J. The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand* (Suppl) 619: 1–156, 1994.
10. Mohr, M, Krstrup, P, and Bangsbo, J. Match performance of high standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci*. 21: 519–528, 2003.
11. Bergh, U, Sjodin, B, Forsberg, A, and Svedenhag, J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 23: 205–211, 1991.

12. Grant, S, Craig, I, Wilson, J, and Aitchinson, T. The relationship between 3km running performance and selected physiological variables. *J Sports Sci.* 14: 403–410, 1997.
13. Edwards, AM, Clark, N, and Mac Fadyen, AM. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of profesional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *J Sports Sci Med.* 2: 23–29, 2003.
14. Helgerud, J, Engen, LC, Wisloff, U, and Hoff, J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 33: 87–97, 2001.
15. Impellizzeri, F, Marcora, SM, Castagna, C, Reilly, T, Sassi, A, Iaia, FM, and Rampinini, E. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med.* 27: 483–492, 2006.
16. Mac Millan, K, Helgerud, J, Grant, SJ, Newell, J, Wilson, J, Macdonald, R, and Hoff, J. Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *Br J Sports Med.* 39: 432–436, 2005.
17. Hoff, J and Helgerud, J. (2002) *Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance.* In Football (Soccer):New Developments in Physical Training Research. Hof, J and Helgerud, J, eds. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. pp. 39–55.
18. Ramsbottom R, Williams C, Fleming N, et al. Training induced physiological and metabolic changes associated with improvements in running performance. *Br J Sports Med.* 1989;23:171–6.
19. Dunbar J. (1999) Longitudinal change in aerobic capacity through the playing year in English professional soccer players. In: Fourth World Congress of Science and Football, Sydney, Congress Abstracts. Sydney: University of Technology.

20. Brady K, Maile A, Ewing B. An investigation into fitness levels of profesional soccer players over two competitive seasons. *J Sports Sci.* 1995; 13:499.
21. K McMillan, J Helgerud, S J Grant. Lactate threshold responses to a season of profesional British youth soccer. *Br J Sports Med.* 2005; 39:432–436.
22. Jan Helgerud, Lars Christian Engen. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(11):1925–1931.
23. G. Ziogas, K. Patras. Velocity at lactate threshold and running economymust also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):414–419.
24. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation.* 1990;81(suppl):II-14–II-30.
25. Myers J, Ashley E. Dangerous curves: a perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest.* 1997;111:787–795.
26. Gary J. Balady, Ross Arena. Clinician's Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults. A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 2010;122:191-225.
27. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 2000;29:373–386.
28. Santos EL, Giannella-Neto A. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol.* 2004;93:315–324.
29. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force of the European society of cardiology and the north American society of pacing and electrophysiology. *Eur Heart J.* 1996;17(3):354–381.
30. Povea, C. (2006) *Análisis Espectral del ritmo cardiaco, utilidad en el deporte.* A.C.M.D- volumen 12:2, 2006.

31. Taylor, J. A., and D. L. Eckberg. Fundamental relations between short-term R-R interval and arterial pressure oscillations in humans. *Circulation* 8:1527–1532, 1996.
32. Laude, D., F. Weise, A. Girard, and J. L. Elghozi. Spectral analysis of systolic blood pressure and heart rate oscillations related to respiration. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 22:352–357, 1995.
33. McLaughlin J. E., G. A. King, E. T. Howley, D. R. Basset, and B. F. Ainsworth. Validation of the Cosmed K4b2 portable metabolic system. *Int. J. Sports Med.* 22:280–284, 2001.
34. Clark, J. M., F. C. Hagerman, and R. Gefland. Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J. Appl. Physiol.* 55:440–446, 1983.
35. Gallagher, C. G., E. Brown, and M. Younes. Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. *J. Appl. Physiol.* 63:238–244, 1987.
36. Cottin, F., Y. Papelier, and P. Escourrou. Effects of exercise load and breathing frequency on heart rate and blood pressure variability during dynamic exercise. *Int. J. Sports Med.* 20:1–7, 1999.
37. Macor, F., R. Fagard, and A. Amery. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: comparison between cyclists and controls. *Int. J. Sports Med.* 17:175–181, 1996.
38. Bernardi, L. F., R. Salvucci, P. L. Suardi, et al. Evidence for an intrinsic mechanism regulating heart rate variability in transplanted and the intact heart during submaximal dynamic exercise. *Cardiovasc. Res.* 24:969–981, 1990.
39. F. Cottin, C. Medigue. Heart Rate Variability during Exercise Performed below and above Ventilatory Threshold. *Med Sci Sports Exerc* 36 (4), 594-600. Apr 2004
40. Kohl, P., A. G. Kamkin, S. Kiseleva, And T. Streubel. Mechanosensitive cells in the atrium of frog heart. *Exp. Physiol.* 77:213–216, 1992.
41. F. Cottin, C. Médigue Ventilatory Thresholds Assessment from Heart Rate Variability during an Incremental Exhaustive Running Test. *Int J Sports Med* 2007. 2007 Apr;28(4):287-94

42. G. K. Karapetian, H. J. Engels, R. J. Gretebeck. Use of Heart Rate Variability to Estimate LT and VT. *Int J Sports Med* 2008; 29: 652–657.
43. V.Z. Dourado and R.L.F. Guerra. Reliability and validity of heart rate variability threshold assessment during an incremental shuttle-walk test in middle-aged and older adults Brazilian *Braz J Med Biol Res* 2013 Feb;46(2):194-9
44. Blain G, Meste O, Bouchard T, Berman S. Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory sinus arrhythmia. *Br J Sports Med*. 2005;39(7):448–452.
45. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med*. 2003;33(12):889–919
46. Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA. Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(3):433–439.
47. Kenney WL. Parasympathetic control of resting heart rate: relationship to aerobic power. *Med Sci Sports Exerc*. 1985;17(4):451–455.
48. Pichot V, Busso T, Roche F, et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(10):1660–1666.
49. Uusitalo AL, Uusitalo AJ, Rusko HK. Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *Int J Sports Med*. 2000;21(1):45–53.
50. Serrato Roa, M. *Lineamientos de política pública en ciencias del deporte en medicina*. Módulo I. (2015). p 81-82.
51. Mourot L, Fabre N, Savoldelli A, Schena F. Second ventilatory threshold from heart-rate variability: valid when the upper body is involved?. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(4):695-701. doi:10.1123/ijsp.2013-0286
52. Cabrera Hernández, M. A., Tafur Tascon, L. J., Cohen, D. D., García-Corzo, S. A., Quiñonez Sánchez, A., Povea Combariza, C., & Tejada Rojas, C. X. *Concordance between the indirect*

$\dot{V}O_{2max}$ value estimated through the distance in Yo-Yo intermittent recovery test level 1 and the direct measurement during a treadmill protocol test in elite youth soccer players. Spring Conferences of Sports Science. 2018. p 401-412.

53. Ramos-Campo DJ, Rubio-Arias JA, Ávila-Gandía V, Marín-Pagán C, Luque A, Alcaraz PE. Heart rate variability to assess ventilatory thresholds in professional basketball players. *J Sport Health Sci.* 2017;6(4):468-473. doi:10.1016/j.jshs.2016.01.002.
55. Bangsbo, J.; Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665–74.
56. Sanchez-Oliva, D.; Santalla, A.; Candela, J.M.; Leo, F. M., García-Calvo, T. (2014). Análisis de la relación entre el Yo-Yo Test y el consumo máximo de oxígeno en jóvenes jugadores de fútbol. *RICYDE. Revista internacional de ciencias del deporte*, 37(10), 180-193
57. Krstrup, P.; Mohr, M.; Nybo, L.; Jensen, J. M.; Nielsen, J. J., & Bangsbo, J. (2006). The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(9), 1666–1673.
58. Giavarina D. *Understanding Bland Altman analysis.* *Biochem Med (Zagreb).*(2015);25:141-151

Anexos

Anexo 1. Consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo (el nombre del participante), _____ identificado con cédula de ciudadanía número _____ de _____, certifico que: he sido informado y que además he leído (o que se me ha leído) el documento sobre Consentimiento Informado que contiene explicaciones sobre el propósito del trabajo titulado: Variabilidad del ritmo cardiaco como herramienta para determinar los umbrales ventilatorios en futbolistas juveniles colombianos.

El cual está en cabeza del Dr. Camilo Povea Combariza, el Dr. Moisés Arturo Cabrera Hernández y el Dr. Andrés Felipe Ortiz Jerez quienes figuran como investigadores principales dentro del estudio. Para mantener comunicación permanente y para resolver cualquier duda, los números de celular de contacto 3133311046 (Dr. Camilo Povea), 3004683541 (Dr. Moisés Arturo Cabrera Hernández) y 3208379303 (Dr. Ortiz) Por lo que certifico que entiendo el contenido y he recibido suficiente información y aclaración de mis dudas.

Entiendo que acepto de manera voluntaria la participación en el estudio y que puedo retirar mi consentimiento en cualquier momento, sin que se dé cualquier tipo de censura. Además, fui notificado en el departamento médico del Club Deportivo Cali de las medidas que se tomarán para proteger la confidencialidad de los resultados.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Asociación deportivo Cali

Universidad El Bosque.

Medicina del Deporte

Lo invitamos a participar en este protocolo, consistente en realizar dos pruebas, una prueba de laboratorio en una banda sin fin y una segunda prueba en campo con el fin de evaluar los umbrales ventilatorios por medio de variabilidad cardiaca y ergoespirometria.

Objetivo: Determinar la concordancia entre la medición de los umbrales ventilatorios por medio ergoespirómetria y por medio de la variabilidad del ritmo cardiaco.

Riesgos: Si usted hace parte de esta investigación, tendrá un riesgo mínimo de complicaciones. Las cuáles serán minimizadas por medio de un examen físico completo, la realización de un electrocardiograma y el control constante por uno o dos médicos del deporte durante la prueba

Beneficios: Por tratarse de un proyecto de investigación puede que con la medición de la variabilidad del ritmo cardiaco durante una prueba en campo no sea útil para el hallazgo y utilización de los umbrales ventilatorios, o por el contrario podría arrojar información útil para la medición de estos umbrales en una prueba de campo. Con lo que al final de esta investigación, si usted lo desea, se le ofrecerá la asesoría y educación, por parte de los investigadores principales, acerca de la importancia del hallazgo de estos umbrales en una prueba de campo para la adecuada planificación del entrenamiento que traería como consecuencia una menor recurrencia de lesiones y/o patologías.

Libertad de participación: En caso que usted no desee participar en este estudio, no afectará ni cambiará ninguno de sus derechos. Si inicialmente aceptó pero en el transcurso del estudio desea retirarse, hágalo libremente no hay ningún tipo de sanción penalización o pérdida de los derechos.

Costos y pagos: Los costos de las valoraciones y de las sesiones de ejercicio serán asumidas por el grupo investigador no representan cargos para usted o para su asegurador.

Anexo 2. Imágenes de lectura de los umbrales ventilatorios por variabilidad del ritmo cardiaco (VRC).

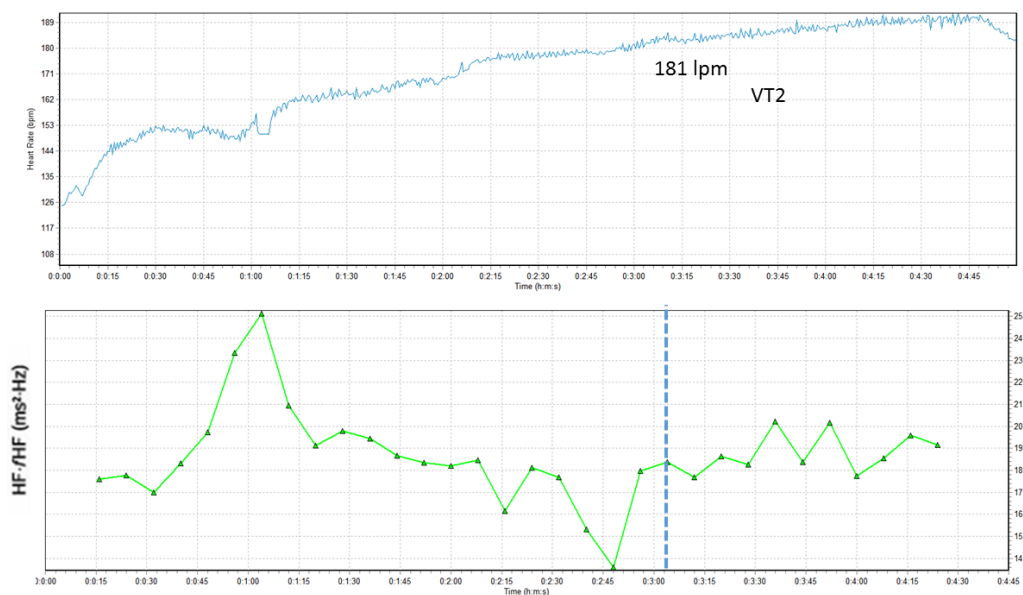


Figura 5. Umbrales ventilatorios del jugador 1. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

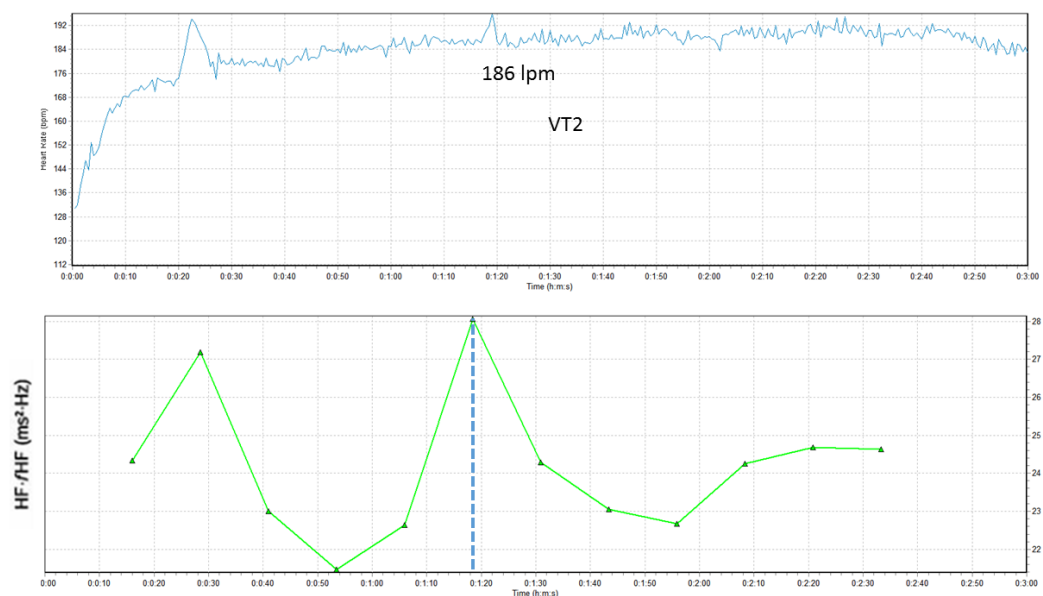


Figura 6. Umbrales ventilatorios del jugador 1. Hallados por VRCen el test de campo.

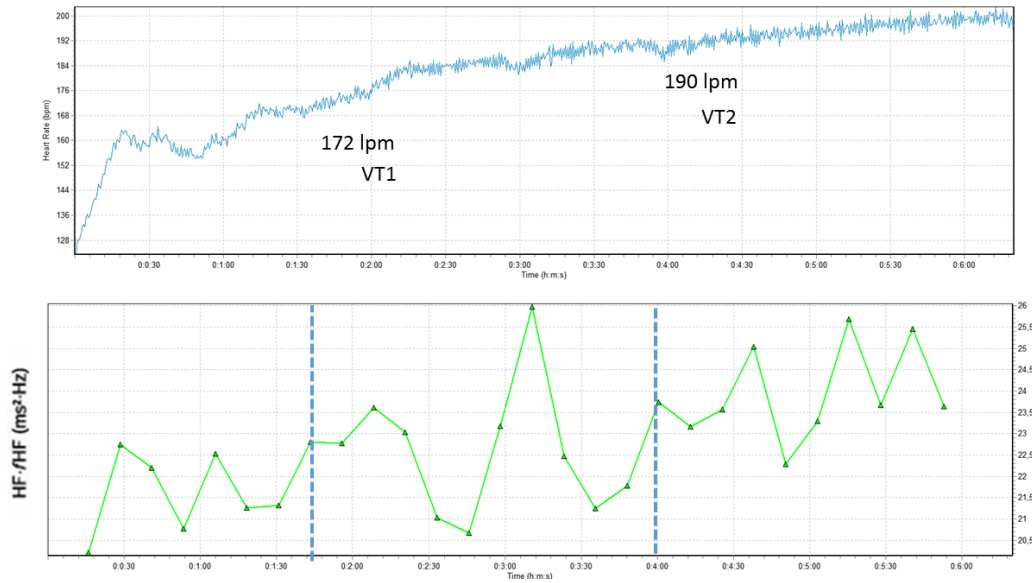


Figura 7. Umbrales ventilatorios del jugador 2. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

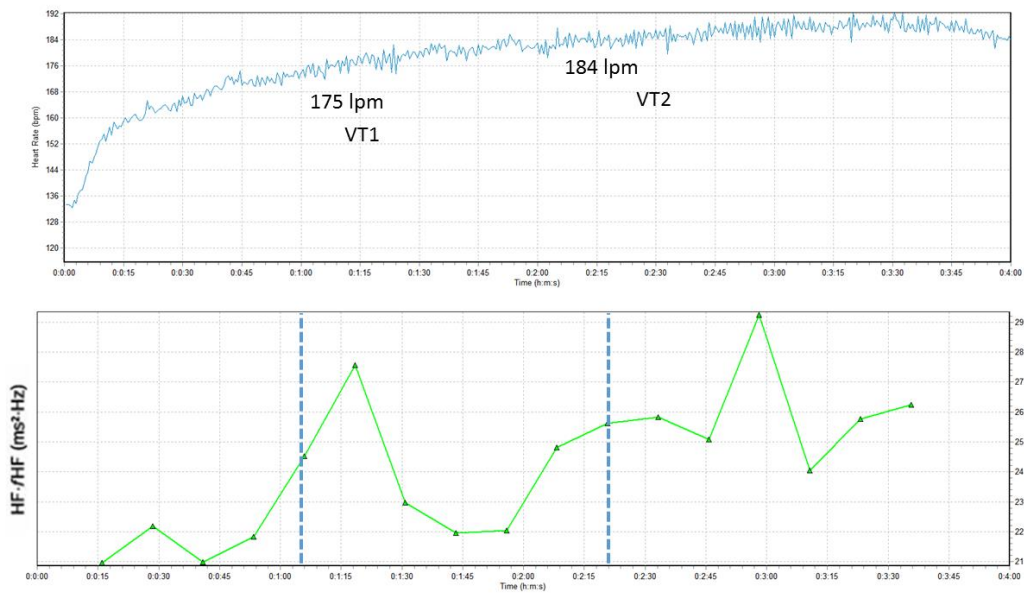


Figura 8. Umbrales ventilatorios del jugador 2. Hallados por VRCen el test de campo.

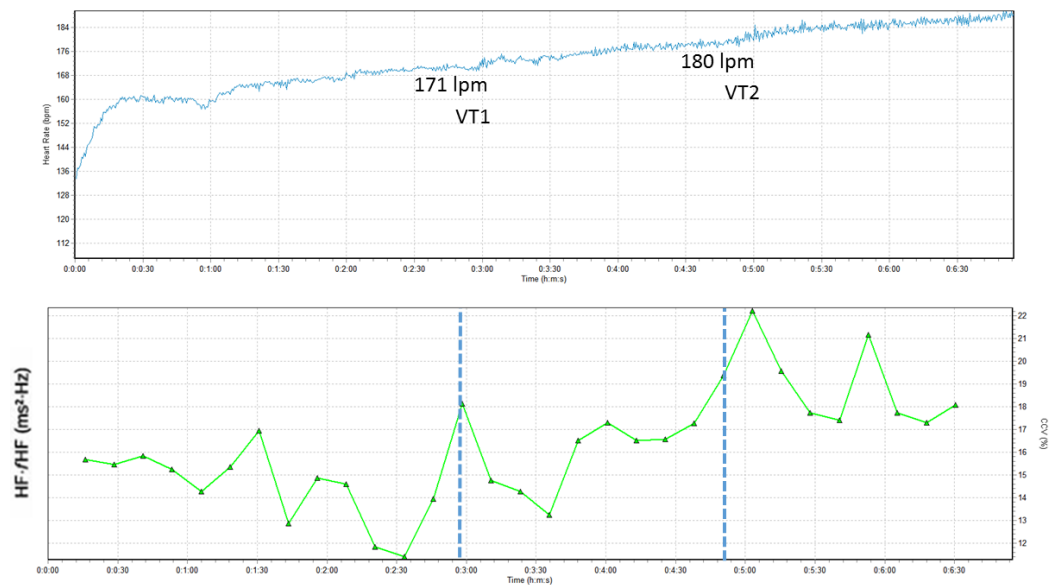


Figura 9. Umbrales ventilatorios del jugador 3. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

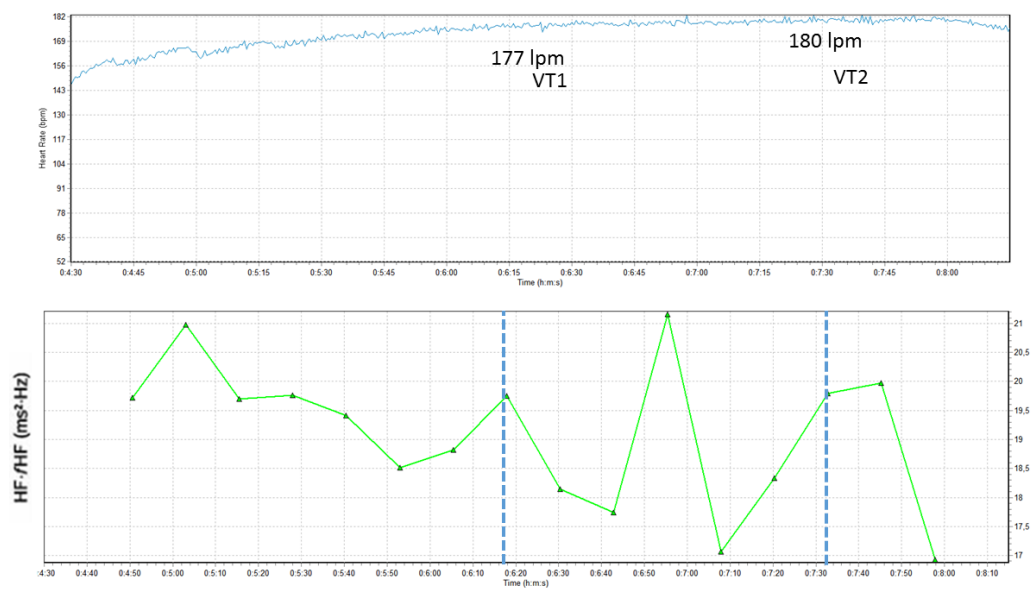


Figura 10. Umbrales ventilatorios del jugador 3. Hallados por VRCen el test de campo.

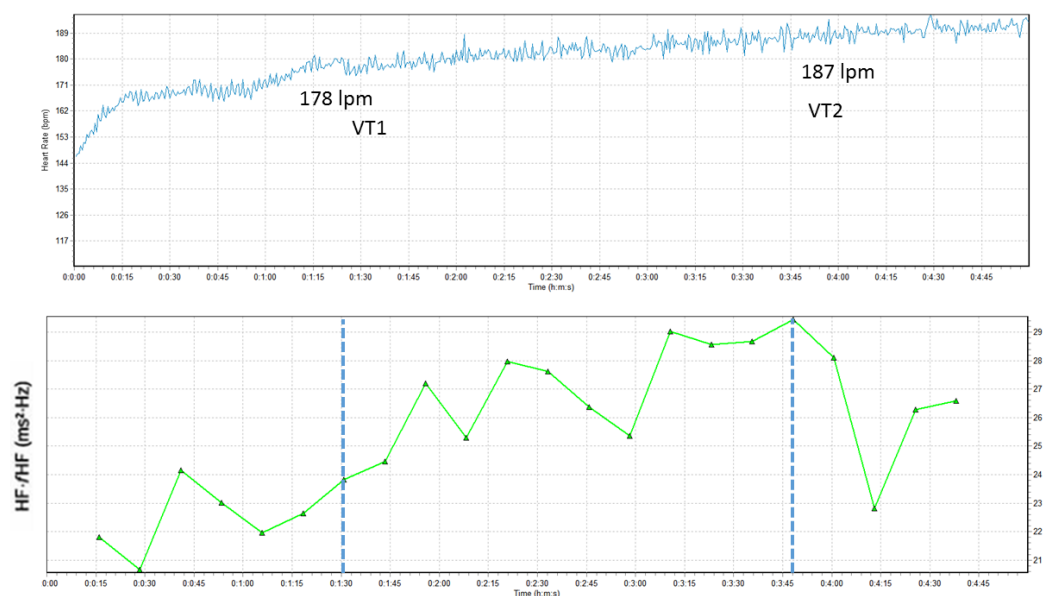


Figura 11. Umbrales ventilatorios del jugador 4. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

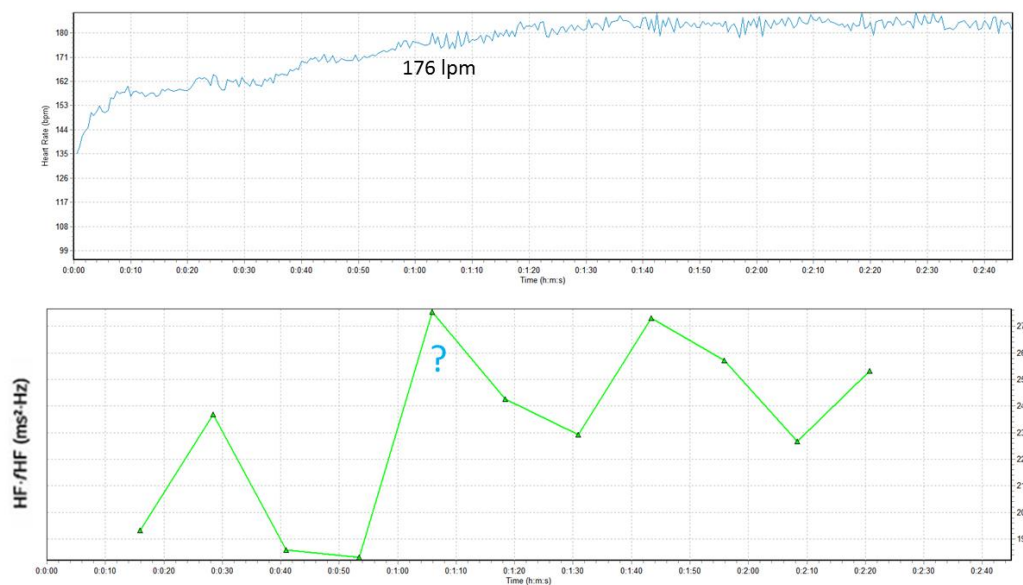


Figura 12. Umbrales ventilatorios del jugador 4. Hallados por VRCen el test de campo.

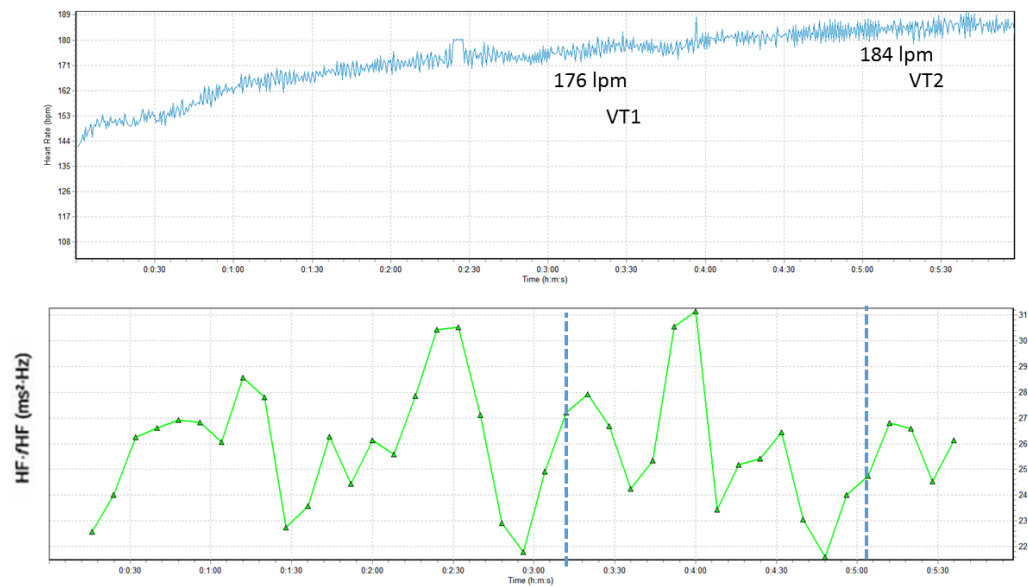


Figura 13. Umbrales ventilatorios del jugador 5. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

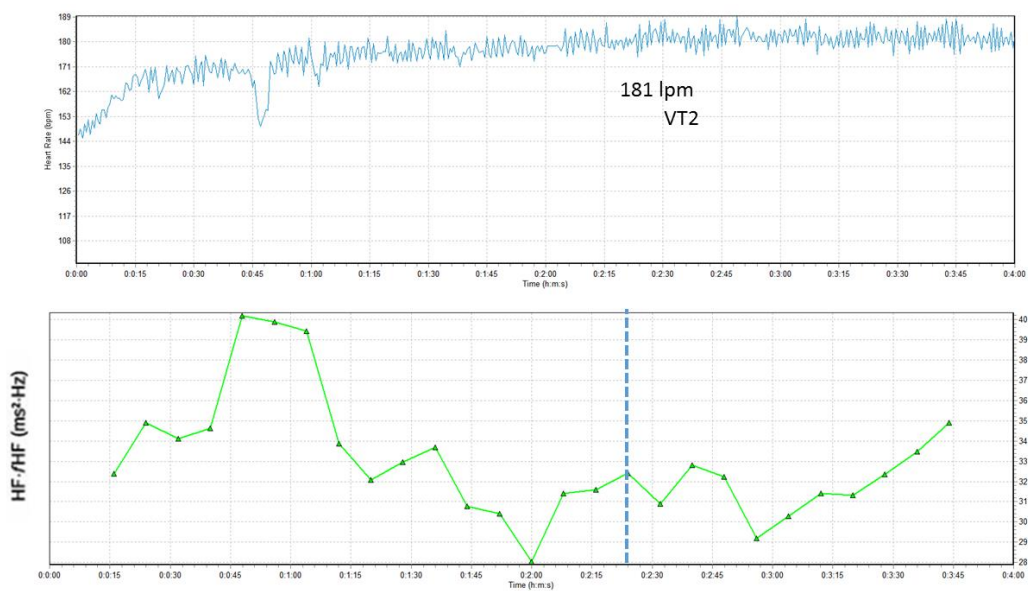


Figura 14. Umbrales ventilatorios del jugador 5. Hallados por VRCen el test de campo.

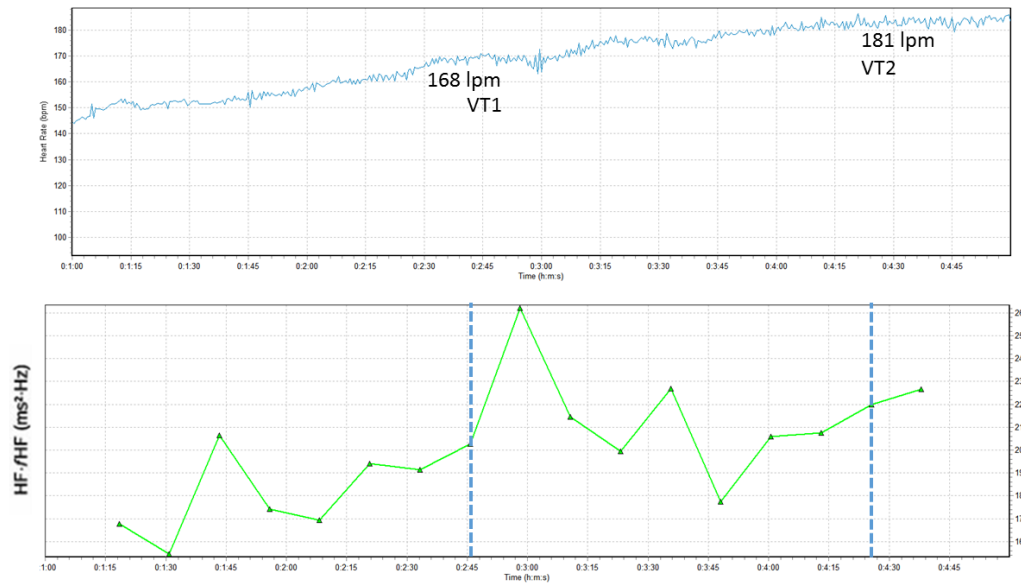


Figura 15. Umbrales ventilatorios del jugador 6. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

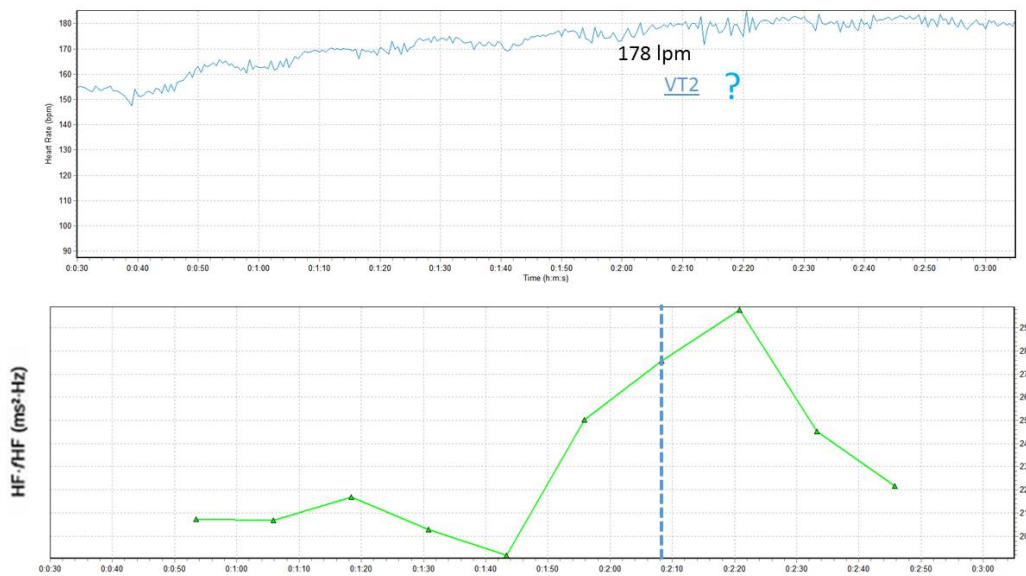


Figura 16. Umbrales ventilatorios del jugador 6. Hallados por VRCen el test de campo.

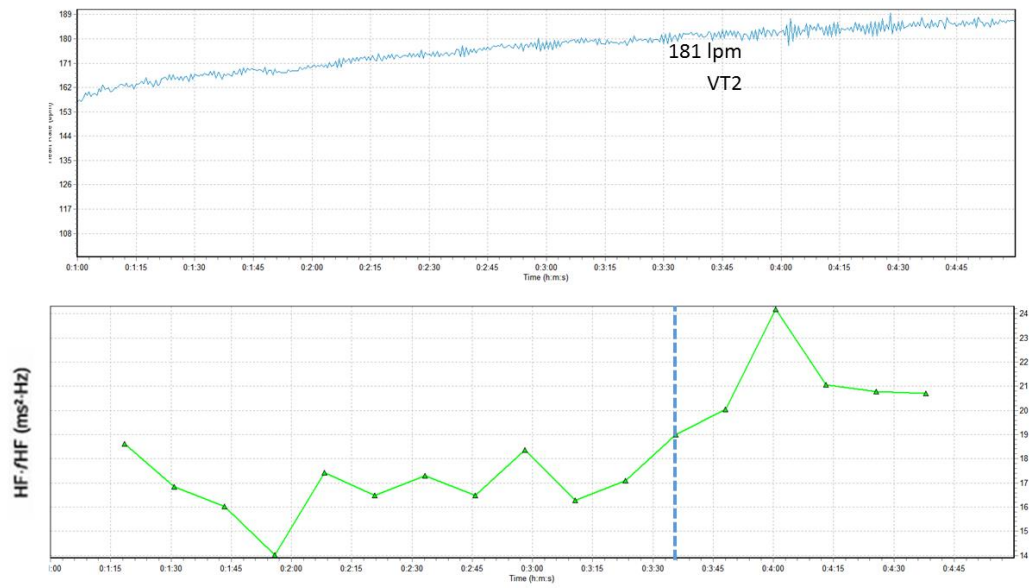


Figura 17. Umbrales ventilatorios del jugador 7. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

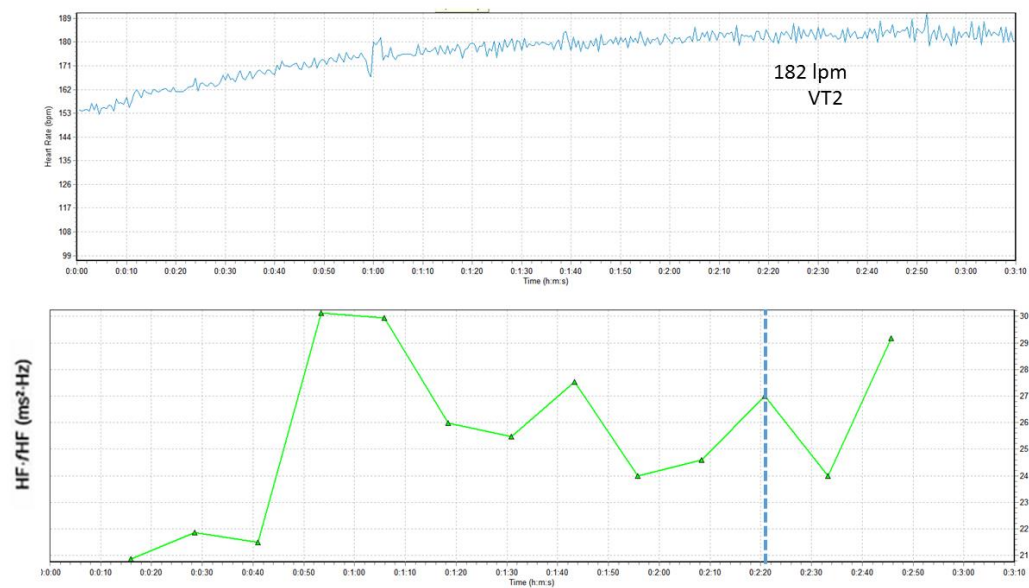


Figura 18. Umbrales ventilatorios del jugador 7. Hallados por VRCen el test de campo.

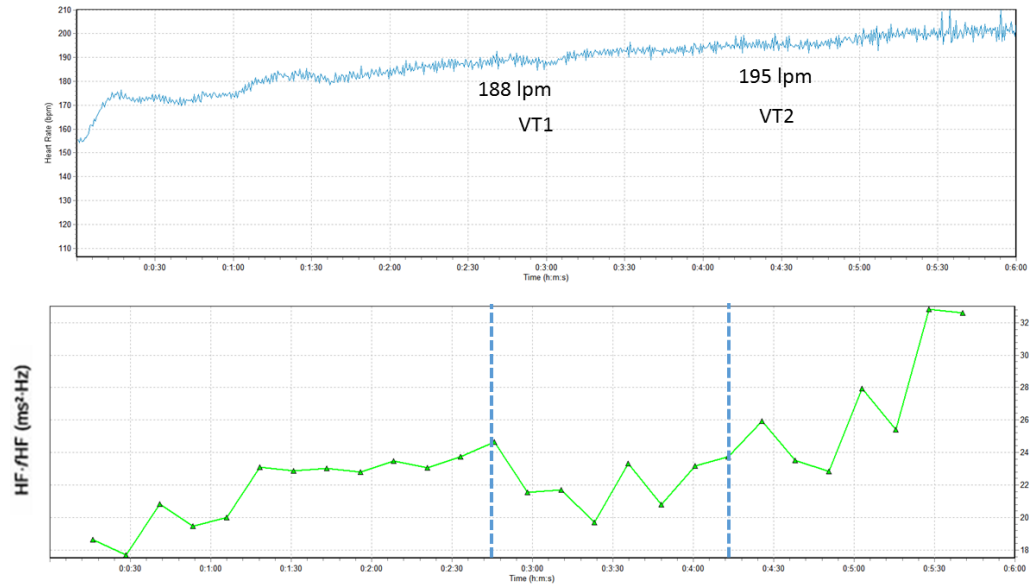


Figura 19. Umbrales ventilatorios del jugador 8. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

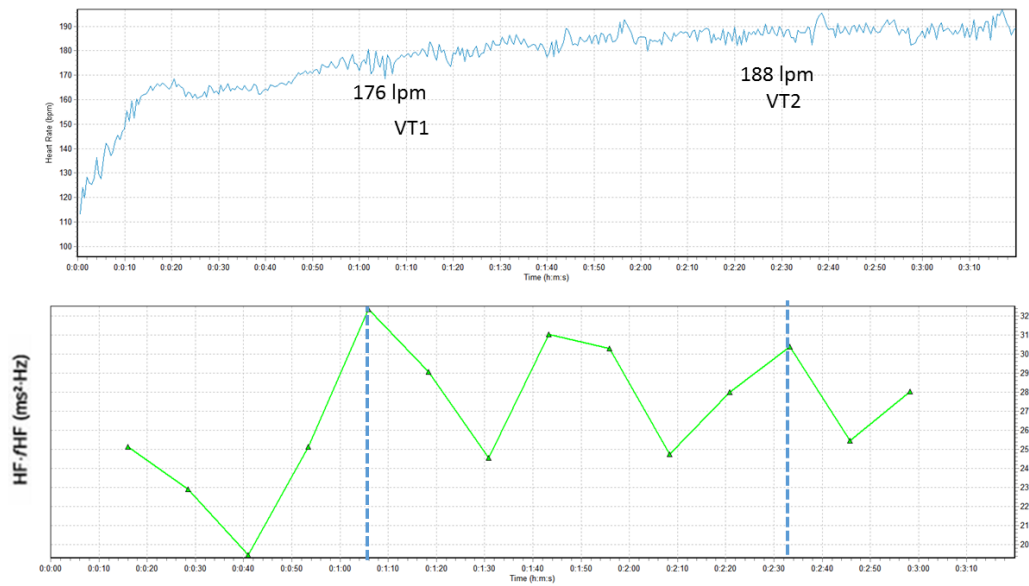


Figura 20. Umbrales ventilatorios del jugador 1. Hallados por VRCen el test de campo.

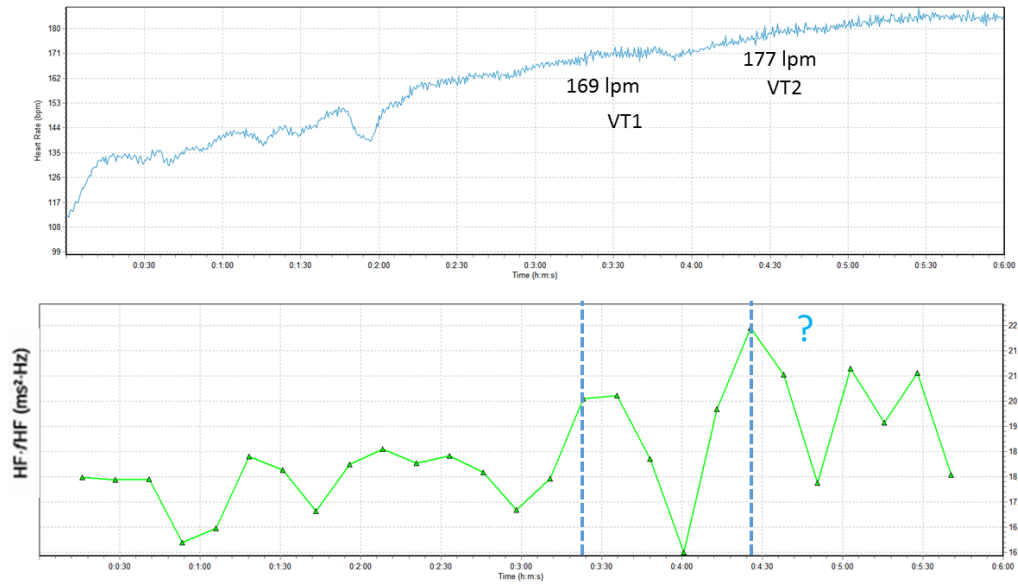


Figura 21. Umbrales ventilatorios del jugador 9. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

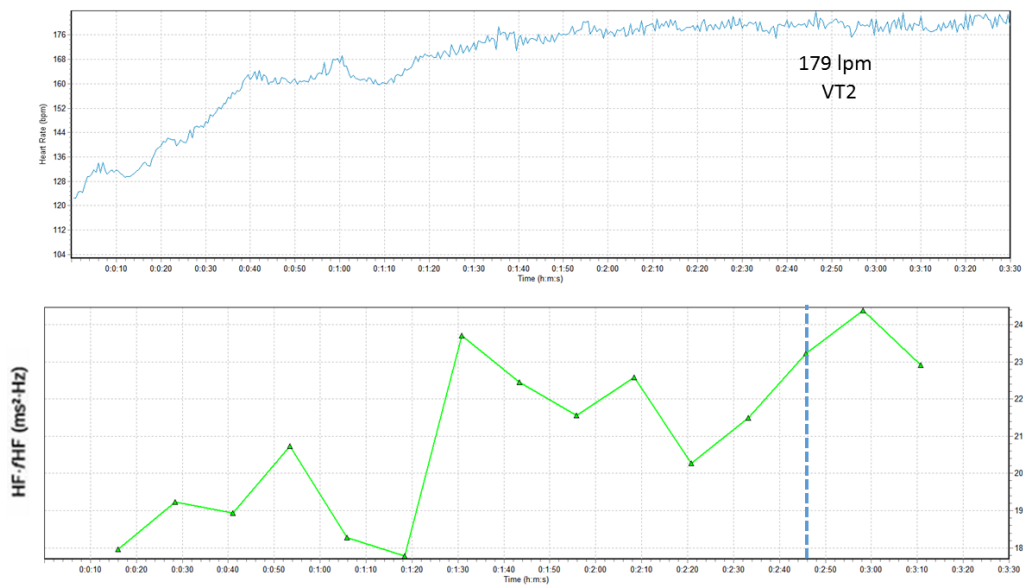


Figura 22. Umbrales ventilatorios del jugador 9. Hallados por VRCen el test de campo.

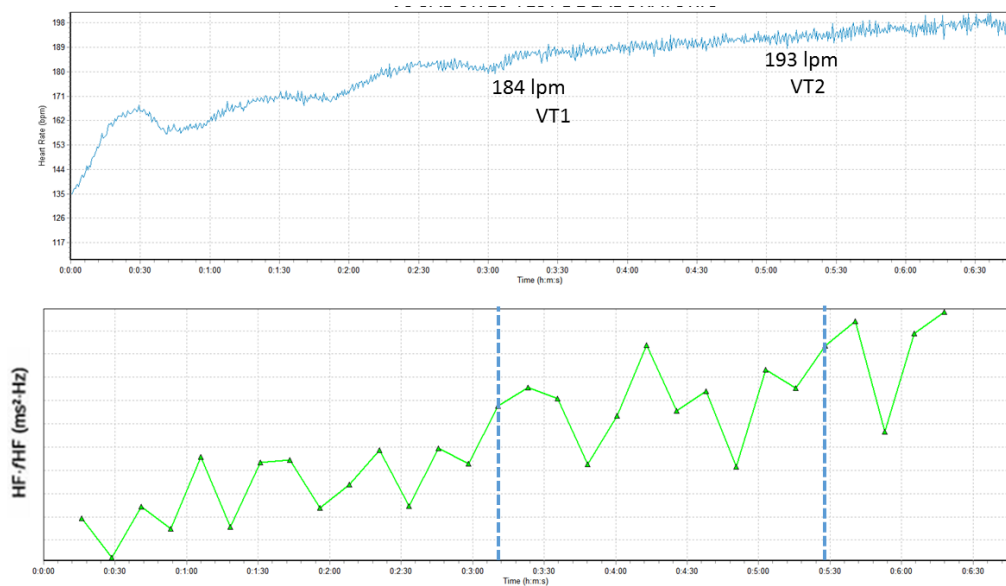


Figura 23. Umbrales ventilatorios del jugador 10. Hallados por VRCen el test del laboratorio.

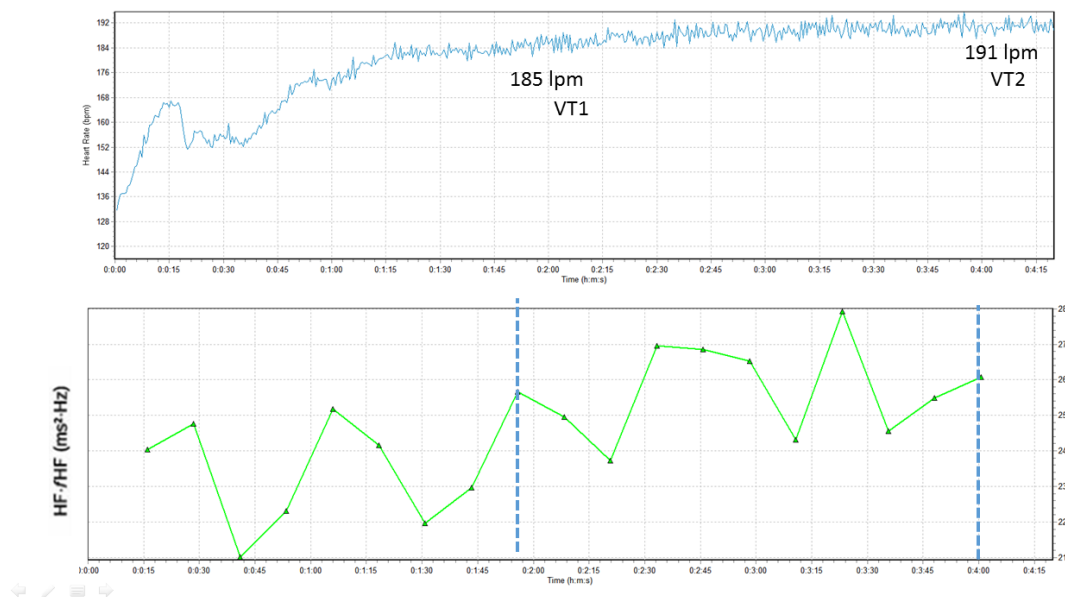
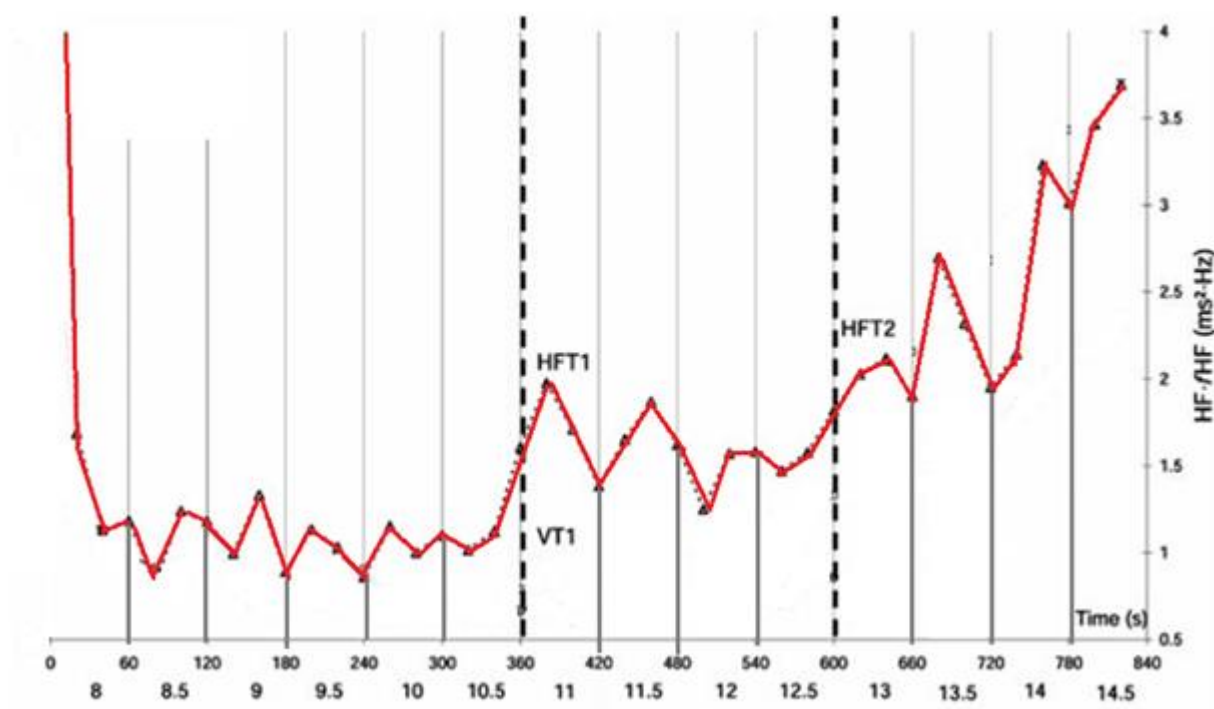


Figura 24. Umbrales ventilatorios del jugador 10. Hallados por VRCen el test de campo.

Anexo 3: Estimación Gráfica de los umbrales ventilatorios estimados por VRC realizada por Cottin (2007)



Comportamiento de la variabilidad del ritmo cardíaco durante un test de ejercicio incremental: **$fHF \cdot HF$ ($ms^2 \cdot Hz$)**: el producto de la multiplicación de **HF**: componente de alta frecuencia de la variabilidad del ritmo cardíaco y **fHF**; Eje de las Y superior: tiempo en segundos, cada punto corresponde a un intervalo de 20, eje Y inferior: velocidad de carrera en $km \cdot h^{-1}$. **Según el método de Cottin** El primer umbral de HF (HFT1) correspondió al primer aumento no lineal en $HF \cdot fHF$ después de llegar al mínimo. El segundo umbral de HF (HFT2) correspondió a un segundo aumento no lineal de $HF \cdot fHF$.