

PROPONER UNA ECUACIÓN PARA ESTIMAR LA FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA EN JÓVENES RESIDENTES EN ALTITUD MODERADA

Víctor Manuel Melgarejo Pinto¹

Recepción: 15 de octubre de 2014

Aprobación: 18 de abril de 2015

Artículo corto

1 Docente Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deportes
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Estudiante de Doctorado Universidad Pablo de Olavide
vic.melgarejo@live.com

Resumen

El artículo propone una ecuación para estimar la Frecuencia Cardíaca (FC) en esfuerzo en jóvenes en altitud moderada, porque esta se modifica con el crecimiento del niño y para estimarla deben usarse fórmulas de poblaciones específicas. Se utilizó una metodología de investigación descriptiva, de tipo cuantitativo en escolares de ambos sexos, 8 a 17 años de edad; muestreo aleatorio estratificado, IC del 95%. Se registra la FC en reposo y máxima con MRC en Test de Leger; por regresión lineal se determinará la asociación entre variables, siendo la FCmax predictora y $p=0,005$ para nivel de significancia. El proceso investigativo permitió el diseño de una ecuación de FCmax para jóvenes en altitud moderada, para su réplica en otras regiones de Colombia y otros países con similares condiciones.

Palabras clave: altitud, frecuencia cardíaca, ecuación, niño.

PROPOSE AN EQUATION TO ESTIMATE THE MAXIMUM HEART RATE IN YOUNG PEOPLE LIVING IN MODERATE ALTITUDE

Abstract

The article propose an equation to estimate the heart rate (HR) in physically demanded youth with moderate altitude, because it changes with the child's growth and to estimate it formulas for specific populations should be used. A descriptive research methodology, of quantitative type in schoolchildren of both sexes, 8-17 years old was used; stratified random sampling, confidence interval 95%. HR is recorded at rest and maximal with MRC in Test Leger; by linear regression the association between variables will be determined, being the predictor HRmax and $p = 0.005$ for significance level. The investigative process allowed the design of an equation HRmax for youth at moderate altitude, for replication in other regions of Colombia and other countries with similar conditions.

Keywords: altitude, heart rate, equation, child.

PROPOR UMA EQUAÇÃO PARA ESTIMAR A FREQUÊNCIA CARDÍACA MÁXIMA EM JOVENS QUE MORAM EM ALTITUDES MODERADAS

Resumo

O artigo propõe uma equação para estimar a frequência cardíaca (FC) num esforço de jovens em altitude moderada, porque muda com o crescimento da criança e estimar ela deve usar fórmulas para populações específicas. Foi utilizada uma metodologia de pesquisa descritiva, de tipo quantitativo em escolares de ambos os sexos, 8-17 anos de idade; amostragem aleatória estratificada e intervalo de confiança de 95%. FC é gravado em repouso e máxima com MRC no Teste Leger; por regressão linear será determinada a associação entre variáveis, sendo o preditor FC_{máx} e $p = 0,005$ para o nível de significância. O processo de investigação permitiu a concepção de uma equação FC_{máx} para jovens em altitude moderada, para replicação em outras regiões da Colômbia e de outros países com condições similares.

Palavras-chave: altura, frequência cardíaca, equação, criança.

PROPOSER UNE EQUATION POUR ESTIMER LA FREQUENCE CARDIAQUE MAXIMALE CHEZ LES JEUNES RESIDENTS EN ALTITUDE MODEREE.

Résumé

Cet article propose d'établir une équation pour estimer la Fréquence Cardiaque (FC) de jeunes en situation d'effort en altitude modérée, car celle-ci évolue avec la croissance de l'enfant et pour l'estimer, on doit user des formules de populations spécifiques. On utilise une méthodologie de recherche descriptive, de type quantitatif chez des écoliers des deux sexes, entre 8 et 17 ans. Échantillonnage aléatoire stratifié, IC de 95%. On registre la FC au repos et au maximum avec MRC en Test de Léger; par régression linéaire on déterminera l'association entre variables, étant la FC_{max} prédictive y $p=0,005$ pour un seuil de signification. Le processus de recherche a permis d'établir une équation de FC_{max} pour jeunes en altitude modérée, permettant sa réutilisation dans d'autres régions de Colombie et dans d'autres pays présentant des conditions similaires.

Mots-clés: altitude, fréquence cardiaque, équation, enfant.

Introducción

La medición de la Frecuencia Cardíaca (FC) se usa para conocer el estado de salud general de una persona, como también para evaluar la respuesta del corazón al ejercicio, o la recuperación al mismo; así mismo, es una medición cardiovascular fácil de conocer si se compara con los procedimientos invasivos o no invasivos usados clínicamente para estimar el volumen sistólico y el gasto cardíaco (Robergs y Landwehr, 2002; Bouzas *et al.*, 2010). En los últimos años, se utiliza para prescribir las intensidades del esfuerzo en diferentes tipos de programas para adquisición o mantenimiento de la resistencia aeróbica, como también en planes de entrenamiento, cuyo objetivo es el alto rendimiento deportivo. Como el aumento en la frecuencia cardíaca durante el ejercicio refleja el aumento en el gasto cardíaco, la frecuencia cardíaca máxima se interpreta como el límite superior en la función cardiovascular central.

La FC cambia en conjunción con el crecimiento y el desarrollo del niño y del adolescente (Bar Or, 2006; Cossio-Bolaños *et al.*, 2011), por lo que se deben tenerse en cuenta otros factores como son la influencia genética (Heath, & Williams, 1981) y el medio ambiente en especial exposiciones a medios hipóxicos (Richalet, & Herry, 1991). Debe tenerse presente que es poco conocido el comportamiento de la FC en niños (Leite do Prado, 2010), y la condición física de diferentes poblaciones y razas en crecimiento y desarrollo (7, 8, 10 a 16 años) en la altura moderada (relativa), así que se sugiere por parte de algunos investigadores realizar estudios en poblaciones residentes por encima de los 1.500 m s. n. m. (Cossio-Bolaños *et al.*, 2011), como el realizado en ciudad de México por Hernández, *et al.* (2000) en una población de entrenados y no entrenados, por ser poco investigada la influencia de la altura en el comportamiento de la FC durante el ejercicio físico, en especial en estado aeróbico.

Otro aspecto que se debe considerar al analizar el comportamiento de la FC, son los efectos de la altitud en el crecimiento y la maduración de los jóvenes; la OMS y el NCHS reconocen que los estudios y sus resultados en niños y adolescentes que se utilizan como norma, han sido realizados a nivel del mar, por lo cual las mediciones, gráficas y curvas estandarizadas no pueden utilizarse en poblaciones residentes en diferentes altitudes, por haberse demostrado los efectos de la hipoxia sobre sus características fisiológicas y de crecimiento, habiendo estudios con demostradas diferencias en sus patrones de referencia, por lo cual se sugiere generar estudios referenciales en poblaciones por encima de los 1.500 m s. n. m. (Cossio-Bolaños *et al.*, 2011).

Es importante considerar la clasificación de altitud propuesta por un panel de expertos, así:

1) A Nivel del mar: entre 0 y 500 metros; 2) Baja altitud, entre 500 y 2000 metros; 3) “Altitud moderada, entre 2000 y 3000 metros, donde se presenta el mal agudo de montaña después de algunas horas de exposición aguda en individuos no aclimatados, y donde hay una disminución significativa del rendimiento aeróbico máximo y en especial en deportistas, lo cual puede restaurarse con un proceso de aclimatación completo” (Barts & Saltin, 2008, p 8); 4) Gran altitud, de 3000 a 5500 metros; y 5) Altitud extrema por encima de 5500 metros.

Para el propósito de esta investigación, se acoge esta clasificación, por lo cual se hace una descripción de la vida y la geografía de la región de los Andes, y referencia a los fenómenos o sucesos internos que ocurren en el organismo de seres humanos residentes en la altitud moderada, zona donde está ubicada la ciudad de Tunja, (2.750 m s. n. m.) Las regiones del mundo con similares altitudes se encuentran en la cadena montañosa del Himalaya (China, Pakistán y Afganistán); en los Alpes (Suiza, Italia y Francia); en África (Etiopía, Nigeria, Tanzania, Kenia); en América del Sur: Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia, y aisladamente Turquía. Estas regiones se encuentran pobladas por un número aproximado de entre 150 a 200 millones de personas (Cossío- Bolaños *et al.*, 2010; Monge *et al.* 2005; Moore 2004; Richalet & Herry, 1991).

La vida en los Andes. Los Andes son un sistema montañoso que se encuentra en el sur del continente americano y corre de sur a norte paralelo a la costa occidental; se compone de cordilleras que van separadas, unas de otras, por altas mesetas, donde residen un alto número de pobladores. Su clima está influenciado por las corrientes frías de Humboldt, que en ciertos periodos presenta el denominado fenómeno de la Niña (Heath & Williams, 1981; Richalet & Herry, 1991). En Perú se iniciaron los primeros estudios (Cossio-Bolaños *et al.*, 2010) para conocer de las adaptaciones fisiológicas del ser humano a la moderada y alta altitud por escritos de la época de la conquista, 1570, y sucesivamente a través de los años, estableciéndose en el siglo pasado como Fisiología de altura. En el Perú, se instalaron expediciones norteamericanas y europeas para hacer investigaciones y aportes al conocimiento; Monge (2008), quien participó de estas investigaciones, calificó al nativo así: “Este indígena pertenecía a una variedad climato fisiológica de raza humana y constituía la raza de mayor rendimiento físico del mundo” (p. 25). Así mismo, Carlos Medrano (citado en Cueto, 1990) sostuvo que “La plena aclimatación del indígena nativo a la altura y la deficiencia de oxígeno de los andes lo había llevado a desarrollar cualidades humanas especiales similares a las que obtiene en la costa en base a un entrenamiento físico” (p. 436).

Es importante precisar que, otros estudios sugieren que los primeros años de vida son muy importantes en la determinación de la función pulmonar para la edad adulta; no obstante, la contribución genética en este caso estaría condicionada al grado de respuesta a la hipoxia durante el desarrollo del pulmón en la niñez

y la adolescencia, característica heredable (Crespo *et al.*, 1995). Es importante mencionar, sin embargo, que antes de concluir que una característica ha sido “seleccionada para”, es necesario demostrar que confiere una ventaja adaptativa, ya que la selección natural favorece los fenotipos, no los genotipos (Monge, 2005). Esta ventaja corresponde a la Herencia adaptativa de los indígenas muisca pobladores de este altiplano y cuya transmisión genética heredaron los nuevos pobladores y corresponden con el desarrollo de ciertas características, unas anatómicas y otras fisiológicas, provocadas por los agentes estresantes del ambiente, y que le permiten vivir en la altura sin necesidad de cambios en su organismo y/o ayudas externas; una de esas características fisiológicas lo refieren Paralikar & Paralikar (2010) y son “Los cambios celulares como el incremento en el número de las mitocondrias y el aumento de los sistemas de la citocromo oxidasa que toma meses y años en desarrollarse” (p. 9).

Este tipo de estudios en las etnias tibetanas, Andina y Europea, así como otras poblaciones de altura, ofrecen una vía para aclarar el valor adaptativo de los componentes fisiológicos de transporte de oxígeno y la medida en que tales factores difieren entre las poblaciones de alta altitud. Sin embargo, se requieren de más estudios para conocer información más precisa con respecto a los factores genéticos que subyacen a las características del transporte de oxígeno; conveniente traer al texto lo escrito por Shephard junto con Bar Or (1971): “el nativo de zonas de gran altitud tiene una clara ventaja cuando se llevan a cabo competiciones de resistencia en grandes alturas y esta dotación constitucional también puede ser de alguna ayuda en condiciones a nivel del mar” (p. 50).

El altiplano Cundiboyacense corresponde a la cordillera oriental del sistema andino en Colombia; es un accidente geográfico que se encuentra a una altitud moderada de entre los 2400 a los 3.600 m s. n. m. y en el que habitan más de 12 millones de personas, pertenecientes a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá; el clima es seco y frío de montaña. Debido a su posición en la región tropical, influenciado por la altitud y las corrientes oceánicas, sufriendo leves variaciones de temperatura, las más significativas entre el día y la noche, desciende hasta 6 °C o 9 °C y aumenta hasta 18 °C o 21 °C., cuenta con dos periodos de baja precipitación (diciembre a marzo y julio a septiembre) y dos periodos lluviosos (abril a junio y octubre a noviembre), que varían su intensidad según la influencia de los fenómenos de la Corriente de Humboldt o de la Niña y del Niño, que se presentan cada 2 o 3 años en los países del norte de Sudamérica. Sus pobladores descienden de los indígenas muisca que poblaron esta región desde hace más de 1.000 años.

Uno de los medios o metodologías que se proponen para conocer la FC es evaluar la cantidad de Actividad Física (AF) que realizan los jóvenes, los datos no son tan precisos sobre el nivel que ellos alcanzan, debido a las características particulares de este grupo de población, dado que ejecutan distintas tareas a diferentes ritmos

en el transcurso del día, unas muy explosivas y rápidas como otras de periodos relativamente largos a baja intensidad (Wickel & Eisenmann, 2007), además del recreo, los deportes, la clase de educación física y demás. La AF puede ser medida objetivamente con diferentes métodos que requieren equipos de alto costo y que no permiten su uso en grandes poblaciones (acelerómetros, control de la FC, $\dot{V}O_2$ portátiles, presión arterial de vigilancia y otros).

Sobre la FC en jóvenes y la hipoxia: La FC basal (la mínima) más alta del ser humano ocurre al nacer y es en promedio de 140 l/m y continúa disminuyendo, a los 6 años alcanza valores promedio de 80 l/m y a los 10 años un promedio de 70 l/m. (Bar Or & Shephard, 1971; Navarro & Rico Sánchez, 2002). Sin embargo, las diferencias por sexo no son importantes, pero sí ligeramente superiores; los registros de las niñas y las mujeres, en general, tienen un ritmo cardiaco más elevado que los niños y los hombres, debido fundamentalmente a un menor tamaño del corazón femenino, que llega a ser de un 85% del masculino después de la pubertad.

Para evaluar el comportamiento de FC se deben conocer ciertas variables fisiológicas, que incluyen además la ventilación cardiovascular y los parámetros metabólicos que dependen de la madurez, por lo que la evaluación es más compleja (Leite do Prado, 2010). Así, la maduración está directamente relacionada con el crecimiento y el ejercicio, que son características de rendimiento; los niños de la misma edad pueden presentar diferentes niveles de aptitud física debido a su tasa de madurez individual diferente, por lo tanto, es difícil de precisar los determinantes de la capacidad aeróbica (Bronikowski, 2007), por lo cual es importante considerar las funciones fisiológicas que responden al aumento de la actividad física acrecentada (por ejercicio voluntario, por la clase de educación física, por sus labores complementarias diarias o por entrenamiento) que cambian en conjunción con el crecimiento o la maduración. Algunos de los cambios son en la misma dirección (por ej. una disminución en la frecuencia cardiaca submáxima o un incremento en la potencia muscular y la fuerza), mientras que otros cambian en la dirección opuesta (por ej. el consumo máximo de oxígeno por kilogramo de peso en niñas, el lactato sanguíneo submáximo). Los ejemplos son: un incremento en la tensión sanguínea arterial, una reducción en el colesterol de alta densidad (HDL) durante la pubertad en los niños, una reducción en la sensibilidad a la insulina durante la pubertad, y un incremento en la adiposidad durante la pubertad en las mujeres. Por ello, es difícil de separar los cambios que son inducidos por una AF aumentada, de aquellos que acompañan a la maduración por sí misma (Bar Or, 2006).

Otro aspecto importante al estudiar la maduración orgánica y funcional en la adolescencia es lo que tiene que ver con las respuestas bioquímicas derivadas en la altura, y cuyo fenómeno principal lo constituye la disminución de la presión

del aire y de la densidad, que se traduce por una menor presión parcial de O₂ en el aire y los alvéolos, por lo que se disminuye la oxigenación, lo que lleva a la hipoxemia. Las consecuencias de la disminución del O₂ circulante son básicamente: la consecuente estimulación de los quimiorreceptores; el estrés que se desencadena; y las alteraciones en el funcionamiento de la bomba de Na y K. La hipoxemia actúa sobre los quimiorreceptores y produce cambios que se desencadenan con la secreción de catecolaminas propias del estrés, siendo las respuestas a la hipoxia.

Ecuaciones para predecir FC

Se reconoce que la primera ecuación para predecir FC_{max} = 212 – 0.775*edad, fue propuesta por Sir Robinson en 1939 referida por Froelicher & Myers (2000), y a partir de esa fecha ha sido de gran interés proponer ecuaciones de orden matemático denominadas univariadas, y cuyos mayores exponentes son Tanaka, (2001) Fox, Astrand, Bruce, Invar, Jones, Ricard, entre otros, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones univariadas M = mujeres, H = hombres.

Estudio	N	Población	Edad media (rango)	Regresión (FC _{máx} =)	r ²	Error Estándar de Estimación
Ecuaciones univariadas						
<i>Astrand, in Froelicher (2)</i>	100	Hombres sanos – ciclo ergómetro	50 (20 - 69)	211-0.922a	N/A	N/A
<i>Brick, in Froelicher (2)</i>	?	Mujeres	N/A	226-edad	N/A	N/A
<i>Bruce (12)</i>	1295	Enfermedad cardiocoronaria	52±8	204-1.07a	0.13	22
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hombres sanos	44±8	210-0.662a	0.19	10
<i>Bruce (12)</i>	1295	Hipertensión	52±8	204-1.07a	0.24	16
<i>Bruce (12)</i>	2091	Hipertensión + Enfermedad cardiocoronaria	44±8	210-0.662a	0.10	21
<i>Cooper in Froelicher (2)</i>	2535	Hombres sanos	43(11 - 79)	217-0.845a	N/A	N/A
<i>Ellestud in Froelicher (2)</i>	2583	Hombres sanos	42(10-60)	197-0.556a	N/A	N/A
<i>Fernhall (13)</i>	276	Retraso mental	9-46	189-0.56a	0.09	13.8
<i>Fernhall (13)</i>	296	M & H sanos	N/A	205-0.64a	0.27	9.9
<i>Froelicher (2)</i>	1317	Hombres sanos	38.8(28-54)	207-0.64a	0.18	10

<i>Lester (19)</i>	148	M & H no entrenados	43(15 – 75)	198-0.41a	N/A	N/A
<i>Londeree (20)</i>	?	Atletas de nivel nacional	N/A	206.3-0.711a	0.72	N/A
<i>Miller (21)</i>	89	M & H obesos	42	200-0.48a	0.12	12
<i>Morris, in Froelicher (2)</i>	1388	Enfermedad cardiaca	57(21 – 89)	196-0.9a	0.00	N/A
<i>Morris, in Froelicher (2)</i>	244	Hombres sanos	45(20 – 72)	200 -0.72a	0.30	15
<i>Ricard (22)</i>	193	M & H, cinta		209 -0.587a	0.38	9.5
<i>Ricard (22)</i>	193	M & H, cicloergómetro		200 -0.687a	0.44	9.5
<i>Robinson 1938 in Froelicher (2)</i>	92	Hombres sanos	30(6 - 76)	212 -0.775a	0.00	N/A

Sobre las ecuaciones multivariadas cuyo mayor exponente es Londeree (1982), en cuya construcción se tienen en cuenta aspectos como edad, sexo, continente (Europeo, asiático), tipo de piso para la prueba (cicloergómetro, cinta), nivel de fitness (sedentario, si es activo, o no), tipo de protocolo incremental o no, maximal o submaximal; sus exponentes son Astrand y Bruce, entre otros. También se han clasificado para personas sanas y personas enfermas con diferentes patologías: retardo mental, enfermos coronarios, hipertensos, obesos, y otros, cuyos mayores exponentes son Morris & Froelicher, Hammond, Bruce y Miller, como se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones multivariadas según Londeree.

Estudio y Ecuaciones	R ²
Londeree (20)	
PMFC = 196.7+1.986xC2+5.361xE+1.490xF4+3.730xF3+4.036xF2-0.0006xA ⁴ -0.542xA ²	0.77
PMFCI = 199.1+0.119xAEF4+0.112xAE+6.280xEF3+2.468xC2+3.485xF2-.00006xA ⁴ -0.591xA	0.78
PMFCC = 205-3.574xT1+8.316xE-7.624xF5-.00004xA ⁴ -0.624xA ²	0.85
PMFCCI = 205-0.116xAEF3-0.223xAF5+0.210xAE+6.876xEF3+2.091xC2-3.310xT1-0.0005xA ⁴ -0.654xA	0.86
PMFC (National Collegiate Athletes) = 202.8-0.533xA-0.0006xA ⁴	0.73

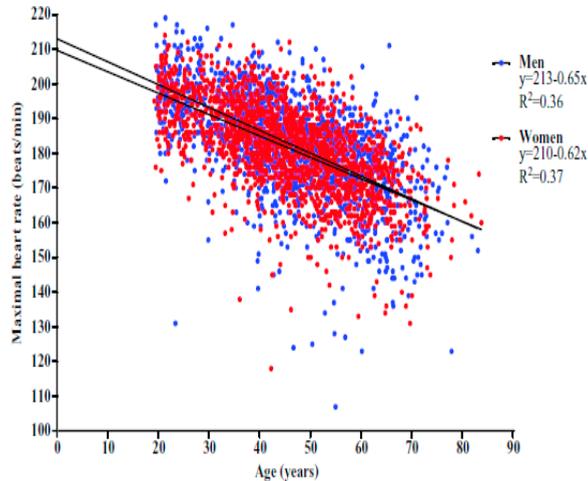
Nota: Ecuaciones multivariadas conocidas de predicción de la frecuencia cardiaca

máxima. PMFC = frecuencia cardíaca máxima predecida, C = Entrecruzado, I = interacción; a = A = edad; A2 = edad; A4 = (edad⁴)/1000; C# = continente (si es Europeo, entonces C2=1, de otro modo C2=0); E = ergómetro (si es cintaergómetro, entonces E = 1, si es cicloergómetro E = 0); F# = nivel de aptitud física (sedentario, F2=1, de otro modo F2=0; activo F3=1, de otro modo F3=0, entrenado en resistencia, entonces F4=1, de otro modo F4=0; Tipo # = tipo de protocolo de ejercicio (continuo e incremental, entonces T1=1, de otro modo T1=0). Términos de interacción múltiple que deberían ser multiplicados juntos.

Luego de un juicioso estudio sobre la historia de la ecuación $220 - \text{edad}$, Robergs & Landwehr (2002) concluyeron que “No hay ningún método aceptable actualmente, para estimar la FC_{máx}” y que “Si la FC_{máx} necesita ser estimada, entonces fórmulas de poblaciones específicas deben usarse” (p. 8). Así mismo, refieren que la ecuación propuesta por Invar ($FC_{\text{máx}} = 205.8 - 0.685(\text{edad})$). Tiene un error ($S_{xy} = 6.4 \text{ lat/min}$) muy grande y que una predicción aceptable para la $FC_{\text{máx}}$ y la aplicación de la estimación del $VO_{2\text{máx}}$ debe ser menor de $\pm 3 \text{ lat/min}$; conclusión similar a la presentada por TanaKa *et al.* (2001), quienes expresaron “the original reports proposing the 220-age HRmax equation appear to be reviews by Fox and Haskell in the 1970. The age-predicted equation was determined “arbitrarily” from a total of 10 studies”. (. . . La ecuación estimada es arbitraria.)

Nes, B.M. (2012) realizaron la investigación “Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study”, (Frecuencia cardíaca máxima y Edad predicha en sujetos sanos: estudio de HUNT fitness) el muestreo correspondió a $n=3320$ sujetos incluidos, quienes se clasificaron en grupos de edad de 10 años, así: 19-29 años, 30-39 años, 40-49 años, 50-59, 60-69 años, > 70 años. Uno de los objetivos fue determinar el efecto de la edad sobre la FC máx que se introdujo como variable dependiente y la edad como variable independiente. Los datos se analizaron según sexo, IMC, el estado de la actividad física y consumo máximo de oxígeno. La relación entre la edad y la FC máx se analizó estadísticamente, como la inclusión de términos polinómicos en el modelo de regresión lineal; así, elaboran las ecuaciones para hombres $y=213-0.65x\text{edad}$ con un $R^2=0.36$ y para mujeres $y=210-0.62x\text{edad}$ con un $R^2=0.37$. Valores de R que pueden calificarse como muy bajos.

Figura 1. Los valores individuales y las líneas de regresión utilizados representan la relación entre la frecuencia cardíaca máxima y la edad para los hombres y las mujeres.



Fuente: Nes *et al.* (2012)

Figura 2. La relación entre la frecuencia cardíaca máxima y la edad se obtuvo de un prospectivo de laboratorio.

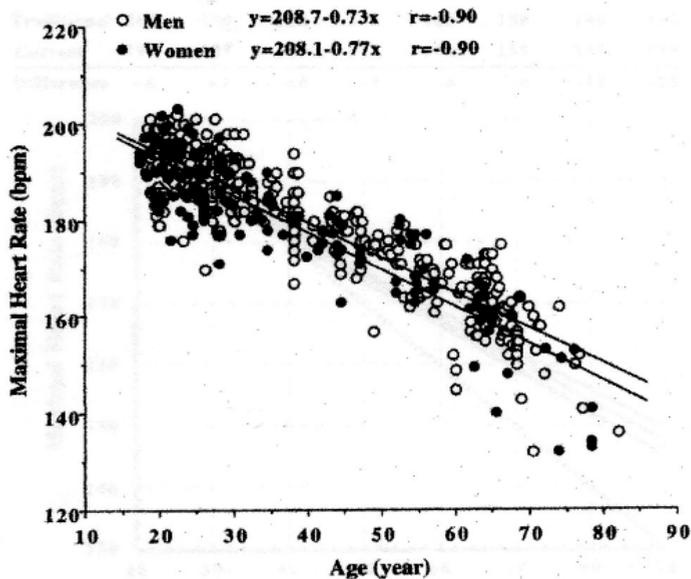


Figure 1. Relation between maximal heart rate (HR_{max}) (group mean values) and subject group age obtained from the meta-analysis.

Fuente: Tanaka, Monahan & Seals (2001)

Tanaka *et al.* (2001) en Aged-predicted Maximal heart rate revisited, realiza un meta-análisis estableciendo criterios de selección de los artículos de investigación publicados, como: revistas en idioma inglés, datos de hombres y mujeres por separado, criterios de máximo esfuerzo, sujetos sanos, entre otros. Fueron estudiados 351 artículos con 492 grupos de sujetos distintos, para un total de 18.712 evaluados. Sobre el ejercicio físico aeróbico, establecieron tres categorías: 1) Entrenamiento de la resistencia, intensidad Vigorosa, tres veces por semana; 2) Activos: práctica irregular u ocasional del ejercicio aeróbico 2 o 3 veces por semana; 3) sedentarios sin ninguna referencia de actividad física. Así mismo, se clasificaron las pruebas de esfuerzo en Treadmill, cicloergómetro, pruebas de laboratorio monitoreadas con ECG, entre otros. Obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión lineal que clasificaron según meta-análisis: Hombres $FC_{max} = 208,7 - 0,73 \times \text{Edad}$ con un $r = -0,90$ y para las mujeres $FC_{max} = 208,1 - 0,77 \times \text{Edad}$ con un $r = -0,90$. En el análisis de grupos, según la m, determinaron: $FC_{max} = 209,6 - 0,72 \times \text{Edad}$ con un $r = -0,79$ y para las mujeres $FC_{max} = 207,2 - 0,65 \times \text{Edad}$ con un $r = -0,73$.

Figura 3. La relación entre la frecuencia cardíaca máxima (grupo de valores medios) y la edad del grupo objeto, se obtuvo del meta-análisis.

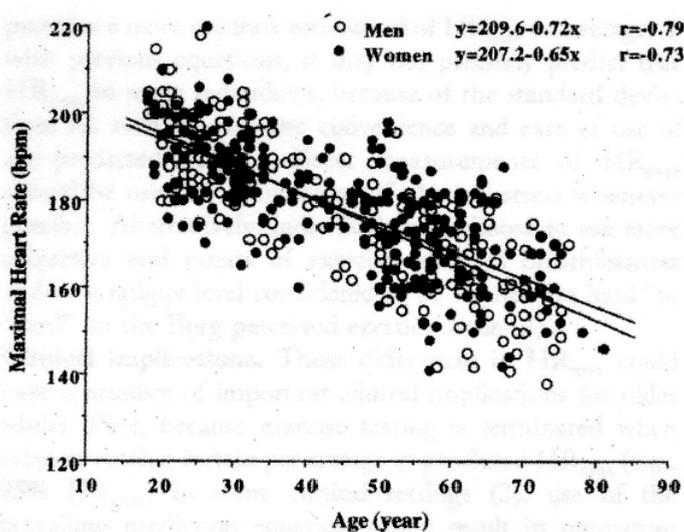


Figure 2. Relation between maximal heart rate (HR_{max}) and age obtained from the prospective, laboratory-based study.

Tomada de: Tanaka, Monahan & Seals (2001)

Asumiendo las conclusiones y recomendaciones de Robergs & Landwehr (2002), con los datos registrados y con soporte teórico y científico de los referentes bibliográficos consultados, se podrá elaborar una ecuación de regresión lineal

como lo han hecho investigadores como Tanaka, Astrand, Gellis, Londeree, Ricard, Bruce, y otros más, por lo que se pretende continuar con un trabajo de investigación cuyo **objetivo** es proponer una ecuación para estimar la FCmax en esfuerzo maximal, en jóvenes residentes en altitud moderada (2000 a 3000 m.s.n.m.) con un enfoque empírico analítico, de tipo descriptivo cuantitativo y transversal; los sujetos corresponderán a jóvenes escolares de ambos sexos en edades entre 8 y 17 años que cursan sus estudios en instituciones educativas de orden estatal y privado en la ciudad de Tunja, (2750 m.s.n.m.) según censo de matriculados en el año 2016; el muestreo será aleatorio estratificado por grupos de edad 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 años, sexo masculino y femenino con un nivel de confianza del 95%.

Protocolos: se aplicará el test de Luc Leger, que inicia a una velocidad de 8,5 km/h con un incremento de 0,5 km/h cada minuto; la prueba termina cuando el testeado informe por señal (brazo arriba) que no puede continuar o cuando los testeadores observen que ha habido dos faltas continuas de no llegar con el estímulo auditivo al cono y/u observar síntomas de cansancio y agotamiento. El control de la FCmax se hará con monitores de ritmo cardíaco (MRC). Los participantes firmarán el asentimiento informado y los padres de familia el consentimiento informado, además se tendrán en cuenta los principios del protocolo de Helsinki 2000. Se establecen como criterios de inclusión: 1. Estar matriculados en IE de Tunja; 2. Certificado médico de buena salud; 3. Firma del asentimiento y del consentimiento informado y autorización de las autoridades administrativas de los colegios y de exclusión: 1. Estar embarazadas, fumadores, lesiones físicas, enfermedades, discapacidades y limitaciones físicas.

Instrumentos: la grabación en CD-Rom del test Luc Leger, equipo de sonido y altavoz, cronómetro, lapiceros y planilleros, planilla de control por estudiante participante, un silbato, 10 monitores de ritmo cardíaco (MRC), hidratante para ayudantes y participantes.

Resultados esperados

La construcción y desarrollo de la investigación permitió el diseño de una ecuación de FCmax para jóvenes en altitud moderada. Este aspecto será un referente que puede ser usado en la réplica en otras regiones de Colombia y otros países con similares condiciones de altitud. Asimismo, se podrá aplicar en clase por profesores de educación física y en el entrenamiento deportivo y personal de las áreas de la salud.

Referencias

- Bar Or, O., & Shepard, R. (1971). Determinación de gasto cardíaco en el ejercicio de los niños y la metodología de viabilidad. *Acta Pediátrica*, 60, (217), 49-52.
- Bar Or, O. (2006). *La Actividad y la Aptitud Física durante la Niñez y la Adolescencia y el Perfil de Riesgo en el Adulto*. PubliCE Standard. Pid: 725.
- Bouzas, J., Da Silva, D., De Oliveira, B., Cerqueira, S., & Bandeira, C. (2010). Frecuencia cardíaca máxima obtenida y predicha: estudio retrospectivo en brasileños. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 3(4), 146-152.
- Bouzas, J., Ottoline, N., & Delgado, M. (2010). Aplicaciones de la frecuencia cardíaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 45(168), 251-258.
- Bronikowski, M., Maciaszek, J., Szczepanowska, E., Tarnas, J., & Woźniak, W. (2007). Dominant determinants in cardio-respiratory endurance in 13 years old boys and girls. *Medicina Sportiva*, 11(3), 66-69.
- Cossio-Bolaños, M.A., De Arruda, M. Núñez Álvarez, V., & Lancho Alonso, J.L. (2011). Efectos de la altitud sobre el crecimiento físico en niños y adolescentes. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(2), 71-76.
- Crespo, I., Valera, J., González, G., & Guerra-García, R. (1995). Crecimiento y desarrollo de niños y adolescentes a diversas alturas sobre el nivel del mar. *Acta Andina*, 4(1), 53-64.
- Froelicher, V.F., & Myers, J.N. (2000). *Exercise and the heart*. (4th ed.). Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Heath, D., & Williams, D. (1981). *Man at high altitude*. (2da. ed.). New York: Churchill livingstone, inc.
- Hernández, J.E., Sierra, L.M., Pichel, D., (2000) Frecuencia cardíaca máxima durante la prueba de esfuerzo en banda en 1853 sujetos sanos. Su relación con la edad y bajo las condiciones atmosféricas de la ciudad de México. *Archivo Instituto cardiología de México*. 70: 261 – 267
- Leite do Prado, M., Wanderley Braga, A., Pinto Rondon, M., Ferreira Azevedo, L., Matos, L., Negrão, C., & Credidio Trombetta, I. (2010). Cardiorespiratory responses during progressive maximal exercise test in healthy children. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 94(4), 493-499.
- Londeree, B.R., & Moeschberger, M.L. (1982). Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res Quarter Exerc Sport*, 53(4), 297-304.
- Monge, C. (2008). La vida sobre los Andes y el mal de montañas crónico. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2), 23-28.
- Monge, C. & León-Velarde, S. (2005). *El reto fisiológico de vivir en los andes*. Lima: Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Moore, L. (2004). Human Genetic Adaptation to High Altitude. *High Altitude Medicine & Biology*, 2(2), 257-279.
- Navarro, F., & Rico, I. (2002). *Consideraciones sobre el uso de la frecuencia cardíaca en escolares*. Universidad Complutense de Madrid.

- Nes, B.M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylen, A., Karlsen, T. (2012). Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23(6), 697-704.
- Paralikar, S., & Paralikar, J. (2010). History Of High-Altitude Medicine. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 14(1) 6-12.
- Richalet, J., & Herry, J. (1991). *Medicine de l'alpinisme*. (2da. ed.) París: Masson.
- Roberts A. R., & Landwehr, R. (2002). La sorprendente historia de la ecuación "FC_{máx} = 220-edad". *An international Electronic Journal*, 5(2), 1-8.
- Tanaka, H., Monahan, K., & Seals, D. (2001). Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156.
- Wickel, E., & Eisenmann, J. (2007). Contribution of Youth Sport to Total Daily physical Activity among 6- to 12-yr-old Boys. *Med. Sci. Sports Exerc*, 39(9), 1493 - 1500.