



**Universidad
Andrés Bello**

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE EDUCACIÓN

CARRERA DE EDUCACIÓN FÍSICA

**ELABORACIÓN DE ECUACIÓN PREDICTIVA DE LA
FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA PARA LA
POBLACIÓN CHILENA**

**Seminario de Grado para optar al título de Profesora de Educación Física para la
Educación General Básica y al Grado de Licenciada en Educación.**

Autora: Andrea Ivette Inarejo Flores

Profesor Guía: MSc. Carlos Andrés Sepúlveda Guzmán

Santiago de Chile, 2016

A Ivette, Alejandro y Bastián.

Sin ustedes nada de esto hubiese sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Carlos Henríquez Olgún por darme la oportunidad de introducirme en el mundo de la fisiología y por confiar en mí para la elaboración de la presente investigación.

Al profesor Carlos Sepúlveda Guzmán por su infinita paciencia durante todo este proceso y por las oportunidades que me ha otorgado, tanto en el ámbito de la fisiología como de la pedagogía.

A Jorge Osorio Paredes por su gran apoyo, espíritu optimista y por su ayuda frente a las dudas relativas al análisis estadístico y al uso de Excel.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 11 |
| Pregunta de investigación | 11 |
| Objetivo general..... | 11 |
| Objetivos específicos..... | 12 |
| MARCO TEÓRICO..... | 13 |
| Frecuencia cardíaca | 13 |
| Frecuencia cardíaca máxima..... | 13 |
| Mecanismos de control de la frecuencia cardíaca..... | 14 |
| Control intrínseco | 14 |
| Control extrínseco..... | 15 |
| Respuesta de la frecuencia cardíaca al ejercicio | 17 |
| Respuesta al ejercicio incremental..... | 18 |
| Frecuencia cardíaca y edad | 20 |
| Instrumentos de control y predicción de la frecuencia cardíaca | 21 |
| Medición y estimación de la FCM | 22 |
| Ecuaciones predictivas de frecuencia cardíaca máxima..... | 23 |

| | |
|---|----|
| MARCO METODOLÓGICO | 26 |
| Paradigma de investigación | 26 |
| Alcance de investigación | 26 |
| Diseño | 26 |
| Muestra | 27 |
| Tipo de muestreo | 27 |
| Selección de la muestra..... | 27 |
| Operacionalización de las variables | 27 |
| Materiales y métodos..... | 28 |
| Protocolos | 28 |
| Criterios de inclusión..... | 29 |
| Estudio de laboratorio..... | 29 |
| Tratamiento estadístico de los datos..... | 30 |
| RESULTADOS | 31 |
| Análisis de regresión lineal..... | 32 |
| DISCUSIÓN..... | 34 |
| CONCLUSIONES | 36 |
| BIBLIOGRAFÍA | 37 |

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es determinar una ecuación predictiva de la frecuencia cardiaca máxima (FCM) para la población chilena.

El uso de la FCM tiene gran importancia en la prescripción del ejercicio, como criterio para determinar un esfuerzo maximal o como instrumento regulador en pruebas de esfuerzo, sin embargo hasta la fecha la población chilena no contaba con una ecuación que se ajustara a sus características particulares.

Se sometió a 208 sujetos chilenos sanos, físicamente activos a un test maximal de ergoespirometría en trotadora, donde se obtuvieron, además de la FCM, valores para: consumo máximo de oxígeno (VO_2max), cociente respiratorio (RER), volumen ventilatorio (VE), entre otros. Todos estos datos sirvieron de criterio para comprobar que cada sujeto llegó a un estado real de agotamiento.

La ecuación derivada del análisis de dichos datos fue $FCM = 201 - (0.60 \times \text{edad})$.

Palabras clave: frecuencia cardiaca máxima, edad, prescripción del ejercicio, población chilena.

ABSTRACT

The aim of this investigation is to determinate a maximal heart rate equation for chilean population.

The use of maximal heart rate (HR_{max}) is very important for exercise prescription, as a criterion for determinate maximal exertion or as a regulatory instrument in effort tests; however until these days, chilean population did not have an equation for their own particular characteristics.

208 healthy chilean individuals, physically active, were subjected to an ergoespirometry maximal effort test, obtaining values for: HR_{max} , maximal oxygen consumption (VO_{2max}), respiratory exchange ratio (RER), ventilatory volume (VE), among others. All these data were used as criteria for assess every subject reached a real exertion state.

The equation obtained from those data was $HR_{max} = 201 - (0.60 \times \text{age})$.

Key words: maximal heart rate, age, exercise prescription, chilean population.

INTRODUCCIÓN

El cálculo de la frecuencia cardiaca máxima (FCM) es una herramienta ampliamente utilizada tanto en el ámbito deportivo como clínico. En el campo de la actividad física puede ser usado como referencia para prescribir intensidades específicas de ejercicio, estimar el nivel aeróbico de los sujetos o servir de criterio para evaluar el nivel de esfuerzo de un individuo en una prueba de tipo maximal (Sarzynski et al., 2013). Por otro lado, la FCM también es usada para prescribir la intensidad de ejercicio en programas de rehabilitación o bien, para determinar la interrupción de una prueba ergométrica (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001).

Para poder determinar la FCM, existen básicamente dos métodos: el primero consiste en registrar directamente la frecuencia cardiaca (FC) de un sujeto sometido a un test de esfuerzo máximo (hasta el agotamiento), mientras que el segundo sistema permite predecir teóricamente la frecuencia cardiaca máxima por medio de una ecuación estandarizada.

Cada una de estas metodologías presentan importantes limitaciones, la primera corresponde a la imposibilidad de someter a ciertas poblaciones (sedentarios, adultos mayores) a un test maximal, y la segunda tiene que ver con el amplio rango de error que se ha evidenciado en la aplicación de diversas ecuaciones predictivas, en especial $220 - \text{edad}$ (Tanaka et al., 2001).

La literatura indica que los orígenes de la fórmula $220 - \text{edad}$ se remontan al año 1971, fecha en la que Fox & Haskell, publicaron su artículo *Physical activity and the prevention of coronary disease*. De acuerdo con Robergs & Landwehr (2003), esta ecuación no guarda relación con los datos originales de los cuales fue derivada. Según los autores, la ecuación de regresión lineal correcta para los datos presentados por Fox &

Haskell, correspondería a $215.4 - (0.9147 \times \text{edad})$ y no a $220 - \text{edad}$. Esto quiere decir que los orígenes de dicha fórmula no están claros y por lo tanto su utilización podría conducir a una serie de errores en la prescripción del ejercicio, con el riesgo de sobrevalorar o subestimar los resultados obtenidos para cada rango etario.

Paralelamente, los errores asociados a la predicción de frecuencia cardiaca en grandes poblaciones pueden llegar a los 11 latidos de diferencia (o más) al aplicar ciertas ecuaciones, siendo lo ideal para la prescripción del ejercicio un error bajo a los 8 latidos (Robergs & Landwehr, 2003).

Tabla 1: Comparaciones entre la FCM alcanzada en un test maximal y dos ecuaciones de predicción

| Sexo | Edad (años) | FCM (lat/min) | 220 – edad (lat/min) | 207- (0,7*edad) (lat/min) | Latidos de diferencia | |
|------|-------------|---------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------|
| | | | | | 220 - edad | 207- (0,7*edad) |
| M | 20 | 190 | 200 | 193 | +10 | +3 |
| F | 20 | 183 | 200 | 193 | +17 | +10 |
| M | 50 | 175 | 170 | 173 | -5 | -2 |
| F | 52 | 172 | 168 | 172 | -4 | 0 |

En la tabla 1 se presenta un ejemplo comparativo de la frecuencia cardiaca máxima alcanzada por un test maximal y dos fórmulas predictivas, en este caso $220 - \text{edad}$ y la ecuación de Tanaka. Si bien, ambas fórmulas presentan un margen de error, aquella que más se aleja de los resultados reales es $220 - \text{edad}$.

Aunque la edad es la principal variable responsable en la modulación de la FCM, se sabe que existen múltiples factores que van a incidir de forma paralela en su estimación. Según Bouzas Marins, Ottoline Marins, & Delgado Fernández (2010) el género, el nivel de entrenamiento, la composición corporal, la región activa al momento del registro, entre otros, son elementos que sugieren la necesidad de contar con ecuaciones predictivas específicas.

Estas interacciones han sido también objeto de estudio para autores como Londeree & Moeschberger, y Graettinger et al. En su estudio, Londeree & Moeschberger, (1982) realizan ecuaciones multivariadas con el fin de disminuir el error en la predicción de FCM. Por otro lado, Graettinger et al., (1995) describe la influencia del tamaño del ventrículo izquierdo en la frecuencia cardíaca máxima, especialmente en pacientes hipertensos.

Los resultados obtenidos por Londeree & Moeschberger dejan abiertas varias líneas de investigación, siendo una de ellas la que justifica la presente investigación. Luego de revisar la literatura disponible entre los años 1950 y 1975 y considerando las variables edad, género, nivel de entrenamiento, tipo de ergómetro, protocolo de ejercicio, continente de residencia y etnia se concluyó lo siguiente:

- La FCM disminuye con la edad
- Existe una considerable variabilidad en la FCM entre individuos
- No hay diferencias entre géneros o etnias en la FCM
- La FCM tiende a ser más baja en un cicloergómetro
- La FCM es considerablemente más baja en la natación (14 lat/min menos)
- Existen diferencias en la FCM entre sujetos entrenados y sedentarios
- La FCM de sujetos europeos es más alta que la reportada en otras regiones (alrededor de 2 lat/min). Sobre estas variantes no hay explicaciones concluyentes

Frente a esta evidencia se resolvió reunir una muestra representativa de sujetos chilenos (hombres y mujeres) con el fin de analizar el comportamiento de su FCM y establecer una ecuación predictiva que minimice el error derivado de la aplicación de fórmulas elaboradas en base a poblaciones extranjeras.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la amplia versatilidad de la FCM como herramienta en distintos ámbitos, se utilizan con frecuencia las ecuaciones predictivas más convencionales, como $220 - \text{edad}$, la fórmula de Tanaka ($207 - (0,7 \times \text{edad})$) o la fórmula de Inbar ($205,8 - (0,685 \times \text{edad})$). Está debidamente documentado que el uso de cualquiera de estas ecuaciones va a presentar un margen de error, asociado a la variabilidad individual de la FCM (López & Fernández, 2006). No obstante, este error podría acrecentarse al ser aplicada a poblaciones distintas de las cuales fueron derivadas (Robergs & Landwehr, 2002).

En este sentido es necesario especificar que a nivel nacional no se han realizado estudios relativos al comportamiento cardiaco en sujetos sometidos a un test maximal ni existen ecuaciones predictivas de FCM que hayan sido diseñadas específicamente para la población chilena. Surge así la idea de elaborar una fórmula predictiva derivada de datos chilenos con el fin de disminuir los errores en la estimación de la FCM en dicha población.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la ecuación predictiva para determinar la frecuencia cardiaca teórica máxima de la población chilena asociada a la edad?

Objetivo general

Elaborar la ecuación predictiva de frecuencia cardiaca máxima para la población chilena asociada a la edad.

Objetivos específicos

1. Analizar el comportamiento de la frecuencia cardiaca en un test incremental
2. Obtener la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos recolectados

MARCO TEÓRICO

Frecuencia cardiaca

En términos generales la frecuencia cardiaca corresponde a la cantidad de veces que el corazón se contrae en un periodo de tiempo determinado, normalmente dentro del lapso de un minuto. “La frecuencia cardiaca refleja la intensidad del esfuerzo que debe hacer el corazón para satisfacer las demandas incrementadas del cuerpo cuando está inmerso en una actividad” (Wilmore & Costill, 2007). Los valores en reposo para la FC varían en un rango de 60 a 80 lat/min, manteniendo un gasto cardiaco de 5 a 6 litros aproximadamente (López & Fernández, 2006).

Frecuencia cardiaca máxima

La frecuencia cardiaca máxima (FCM) puede ser definida como “el valor máximo de la frecuencia cardiaca que se alcanza en un esfuerzo a tope hasta llegar al agotamiento” (Wilmore & Costill, 2007).

Por otro lado Robergs & Landwehr (2002) explican que la FCM puede ser interpretada como “el límite máximo del incremento de la función cardiovascular central”, debido a su relación directa con el gasto cardiaco. Agregan además que este valor máximo no puede ser sobrepasado, independientemente del aumento en la intensidad del ejercicio o de las adaptaciones asociadas a un entrenamiento específico y sostenido en el tiempo.

Mecanismos de control de la frecuencia cardiaca

Existen dos mecanismos que van a regular la frecuencia cardiaca. Uno de ellos actúa de forma independiente, (se autorregula) determinando el ritmo de contracción de reposo. El otro en cambio, va a actuar sobre este control autónomo, acelerando o disminuyendo el ritmo de contracción. Estos mecanismos se conocen como factores intrínsecos y extrínsecos, respectivamente.

Control intrínseco

A modo general se pueden encontrar en el corazón dos tipos de células. Las primeras tienen la capacidad de contraerse (células auriculares y ventriculares), mientras que las otras permiten conducir los impulsos eléctricos que van a estimular la contracción rítmica del corazón. Estas últimas son conocidas como células marcapasos (Costanzo, 2011).

El corazón tiene la característica particular de producir su propia señal eléctrica (autoconducción) que le permite contraerse de forma autónoma, independientemente del control nervioso. La frecuencia cardiaca derivada únicamente de este estímulo es de 70 a 80 latidos por minuto (Wilmore & Costill, 2007).

El nodo sinoauricular (nodo SA) es el responsable de establecer la frecuencia cardiaca. Cuando este marcapasos sufre un daño, el siguiente nodo (atrioventricular) será el encargado de determinar el ritmo de contracción (Silverthorn, 2008).

Control extrínseco

Aunque el nodo SA tiene la propiedad de actuar de forma independiente, su sincronización puede verse afectada por tres factores externos (Wilmore & Costill, 2007).

1. El sistema nervioso simpático
2. El sistema nervioso parasimpático
3. El sistema endocrino

En paralelo, existe un factor que puede modificar la FC de forma mucho más limitada en comparación a los mecanismos nombrados anteriormente. Este cuarto elemento corresponde al reflejo de Bainbridge.

4. Reflejo de Bainbridge

1. Sistema nervioso simpático

El sistema nervioso simpático es una de las ramas en las cuales se divide el sistema nervioso autónomo. Su función es preparar al organismo para enfrentar una situación estresante gracias a la estimulación de ciertos órganos o tejidos específicos. Algunas de las respuestas observables del sistema simpático tienen que ver con el aumento de los siguientes factores: frecuencia cardíaca, presión arterial, flujo de aire pulmonar, entre otras (Saladin, 2013).

La activación del sistema nervioso simpático se produce en estados de alerta o de actividad. Esta respuesta, conocida como “de lucha o huida” condiciona al organismo para enfrentar una situación estresante (Costanzo, 2011).

En el corazón, el efecto de la activación del sistema nervioso simpático se conoce como efecto cronotrópico positivo y tiene como resultado un aumento de la FC al

aumentar la descarga simpática (Michael & Sircar, 2010). Esta actividad es estimulada por la liberación noradrenalina, activando los receptores B_1 en el nodo sinusal (Costanzo, 2011).

2. Sistema nervioso parasimpático

El sistema nervioso parasimpático es la segunda rama del sistema nervioso autónomo. Su función es predisponer al organismo para el ahorro de energía. Como consecuencia de su activación se puede observar una disminución de la frecuencia cardíaca y de la presión arterial. Otra función importante del parasimpático es la activación de la función digestiva (Saladin, 2013).

A nivel cardíaco el tono vagal va a producir una disminución de la FC. “El sistema parasimpático actúa sobre el corazón mediante el nervio vago (...) el nervio vagal tiene un efecto deprimente sobre el corazón, disminuye la velocidad del impulso de conducción y, por lo tanto, reduce la frecuencia cardíaca.” (Wilmore & Costill, 2007)

La activación del sistema parasimpático en el músculo cardíaco se conoce como cronotropismo negativo y es generado por la liberación de acetilcolina sobre el nodo sinusal (Costanzo, 2011).

3. Sistema endocrino

El sistema endocrino corresponde a todo el conjunto de glándulas, tejidos y células que secretan hormonas. Las hormonas tienen una naturaleza química y se transportan por el torrente sanguíneo hacia todo el cuerpo. Las respuestas del sistema endocrino son variadas, en ocasiones toman un par de segundos y en otras pueden demorar días (Saladin, 2013).

Los estímulos capaces de gatillar una respuesta hormonal son diversos, siendo uno de los más importantes la influencia del sistema nervioso autónomo a través de su

rama simpática. La activación del sistema nervioso simpático provocará como efecto paralelo la liberación de catecolaminas contribuyendo al aumento de la frecuencia cardiaca (Wilmore & Costill, 2007).

En el corazón las catecolaminas actúan sobre los receptores B1, que se encuentran principalmente en el nodo sinoauricular, el nodo atrioventricular (nodo AV) y los ventrículos. “la activación de los receptores B1 en estos tejidos aumenta la frecuencia cardiaca en el nodo SA, incrementa la velocidad de conducción en el nódulo AV y aumenta la contractilidad en el musculo ventricular, respectivamente.” (Costanzo, 2011).

4. Reflejo de Bainbridge

En conjunto con los factores mencionados anteriormente existe un mecanismo reflejo que va a tener incidencia en el aumento de la FC, aunque en mucha menor medida. Este sistema, conocido como reflejo de Bainbridge, es la respuesta cardiovascular al aumento del retorno venoso y a la distensión que provoca en las fibras de la aurícula derecha. Un segundo efecto de esta estimulación corresponde al aumento del volumen sistólico a través del mecanismo de Frank – Starling (López & Fernández, 2006).

Respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio

Gran parte de las actividades desarrolladas durante el día van a incidir en el ritmo cardiaco. Uno de estos factores es el movimiento (ejercicio), pero otros incluyen las emociones o las temperaturas ambientales (Plowman & Smith, 2011). No obstante, para esta investigación solo se estudiarán las respuestas de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio junto con otros factores secundarios que podrían modificarla.

Respuesta al ejercicio incremental

A medida que la intensidad del ejercicio aumenta, el gasto cardiaco se eleva de manera proporcional. Sin embargo, al llegar a intensidades superiores al 70% del $VO_2\text{max}$, este aumento dependerá casi exclusivamente de la FC y de la capacidad del sujeto de incrementar el volumen sistólico, que por lo general es limitada (López & Fernández, 2006).

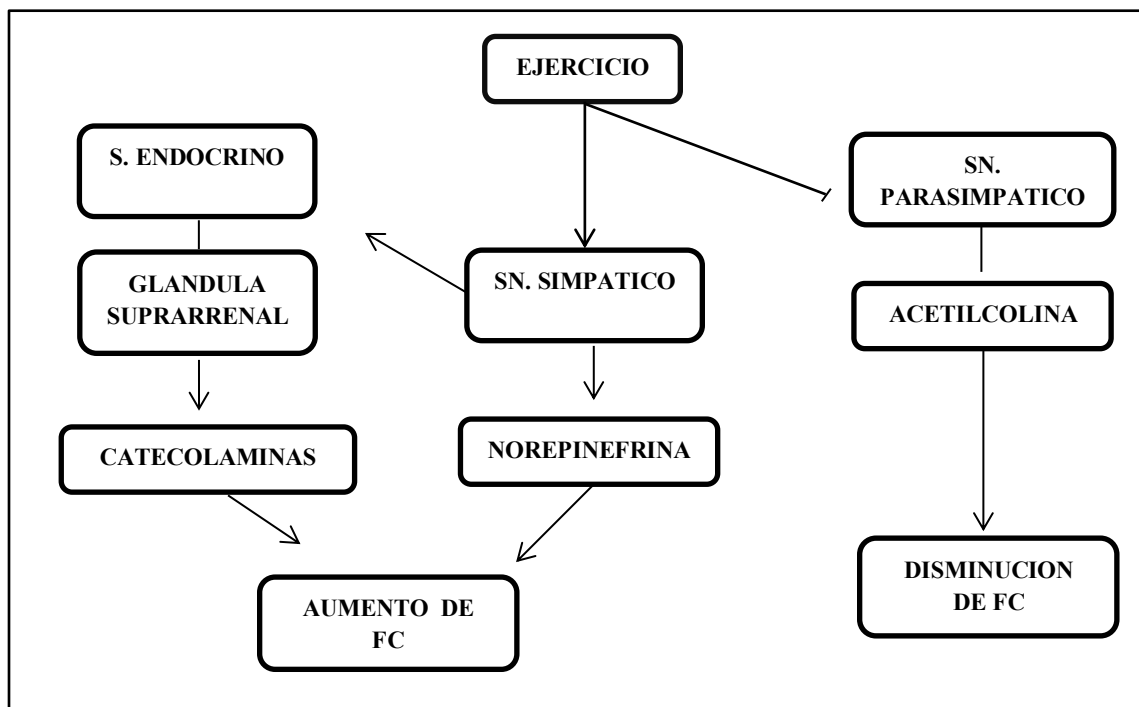


Figura 1: Respuesta nerviosa y endocrina frente al ejercicio físico

La FC en cambio mantendrá un comportamiento lineal directamente proporcional al incremento de la intensidad del ejercicio “la frecuencia cardiaca aumenta en proporción al aumento de la velocidad, llegando finalmente a la frecuencia cardiaca máxima” (Wilmore & Costill, 2007). Este incremento constante se explica por la

predominancia de la actividad simpática por sobre la parasimpática, que normalmente es inhibida (fig.1).

Por otro lado, la respuesta de la FC va a variar dependiendo de las características de los individuos y/o de las condiciones externas en las cuales se desarrolle la actividad (López & Fernández, 2006). Esto quiere decir, por ejemplo, que para una misma intensidad del ejercicio, la FC de dos personas puede variar, al igual que su FCM. No obstante, ambas frecuencias presentarán un comportamiento incremental a medida que la exigencia aumente, independiente de su valor máximo, que puede ser similar o distinto. En la tabla 2 se resumen los principales factores, que van a modular la respuesta de la FC.

Tabla 2: *Factores moduladores de la frecuencia cardiaca*

| Factores condicionantes | Respuesta |
|--|--|
| Tipo de grupos musculares que participan en el ejercicio | El ejercicio con los miembros superiores a una intensidad determinada desencadena una respuesta de la FC mayor que si se realiza con miembros inferiores |
| Sexo | La FC para una misma carga de trabajo será mayor en mujeres |
| Edad | A medida que la edad avanza hay un descenso tanto en la FC de trabajo como en la FCM. |
| Grado de entrenamiento | Los sujetos entrenados presentan FC submáximas inferiores que los no entrenados para una misma carga de trabajo, sin que se detecten modificaciones de la FCM. |
| Condiciones ambientales | Tanto las temperaturas elevadas como el aumento de la humedad relativa del aire provocan una mayor respuesta de la FC, al igual que las condiciones de altura (hipobaría e hipoxia). |
| Variaciones circadianas | Al igual que ocurre en reposo, es posible detectar variaciones en el comportamiento de la FC durante el ejercicio a lo largo del día. |
| Patologías | Son muchas las enfermedades que afectan a la respuesta de la FC al ejercicio, principalmente en aquellas que reducen la capacidad funcional del sujeto (o la tolerancia al ejercicio). En la mayoría de ellas la FC durante el esfuerzo es más elevada que en los sujetos sanos. |

Fuente: (López & Fernández, 2006)

Frecuencia cardiaca y edad

El envejecimiento de las personas evidentemente se produce de forma generalizada, afectando de igual manera a todos los sistemas fisiológicos. Específicamente en el sistema cardiovascular, pueden observarse diversas modificaciones que van a incidir en una disminución del gasto cardiaco y por ende de sus componentes: frecuencia cardiaca y volumen sistólico. Según López & Fernández (2006) las principales modificaciones sufridas por el sistema cardiovascular durante el proceso de envejecimiento son:

- Pérdida gradual de la fuerza contráctil de los miocitos: descenso de elasticidad de las paredes del corazón (rigidez)
- Descenso de la elasticidad y estrechamiento de los vasos sanguíneos
- Disminución de la masa cardiaca total
- Cambios fibróticos en las válvulas
- Reducción de la relación fibra-capilar: dificultad en la irrigación muscular
- Deterioro de las válvulas venosas
- Disminución del número total de miocitos y aumento de su tamaño
- Incremento de la masa ventricular izquierda y del espesor de la pared
- Pérdida de elasticidad de la aorta: incremento del colágeno, calcificación generalizada, entre otros
- Descenso en la sensibilidad de los receptores B adrenérgicos
- Descenso de la distensibilidad arterial y de la *compliance* ventricular: incremento de la presión arterial, resistencia vascular y postcarga

Ciertamente, uno de los cambios más importantes es la reducción de la FCM. De hecho, según la literatura, esta disminución se produce independientemente del estado de entrenamiento de los sujetos “la frecuencia cardiaca máxima (FC máx.) disminuye un

latido por año transcurrido, desde los 10 años de edad, independientemente del nivel de actividad física desarrollado” (López & Fernández, 2006).

Instrumentos de control y predicción de la frecuencia cardiaca

El control de la FC tiene variadas implicancias tanto en el ámbito clínico como deportivo. El monitoreo de la FC en un test de esfuerzo, por ejemplo, va a ser un factor crucial que permitirá conocer la respuesta cardiaca de un sujeto a ciertas intensidades de trabajo.

Por otro lado, el registro de la FC, más específicamente de la FCM, es el método más ampliamente utilizado en el área de la actividad física tanto para la prescripción del ejercicio, como para la evaluación de la respuesta cardiaca y el monitoreo de la recuperación después de un esfuerzo determinado (Robergs & Landwehr, 2002).

El uso de la FC se justifica por ser un valor sencillo de registrar, pero principalmente por tener una correlación con el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{máx}$) (Bouzas Marins et al., 2010). “Quizás la aplicación más importante de la respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio ha sido el uso de la frecuencia cardiaca submáxima, en combinación con la frecuencia cardiaca de reposo y máxima, para estimar el $VO_2\text{máx}$.” (Robergs & Landwehr, 2002). Corroborando esta afirmación, Londeree & Moeschberger (1982) plantean que un 75% de la FCM equivaldría a un 60% del $VO_2\text{máx}$, sin importar el grado de entrenamiento de los sujetos.

Existen al menos tres sistemas de medición de la FC, siendo el electrocardiograma el método más certero “La frecuencia cardiaca se mide contando el número de complejos QRS (u onda R, ya que son las que más sobresalen) por minuto. La longitud del ciclo es el intervalo R-R (el tiempo entre onda R y la siguiente)”(Costanzo, 2011).

Independientemente de la confiabilidad de un electrocardiograma, este método tiene una utilidad más bien clínica, limitando su uso a dicho ámbito. En la vida cotidiana el método más sencillo y directo para medir la FC es contar las pulsaciones colocando uno o dos dedos en el punto radial o carotideo. La limitante de este sistema es que sólo se puede realizar en reposo o una vez terminado el ejercicio. Existe también en el mercado una amplia variedad de dispositivos conocidos como pulsómetros o monitores cardiacos que entregan la FC de forma acertada e inmediata, ya sea en reposo o durante la realización de cualquier tipo de actividad física.

Medición y estimación de la FCM

Tal como se mencionó con anterioridad, la FCM es ampliamente utilizada en la prescripción del ejercicio, en comparación con otros métodos como la escala de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg, o la medición de lactato en sangre (Bouzas Marins et al., 2010).

Los mecanismos de medición de la FCM pueden dividirse en dos: un método directo y otro indirecto. El método directo consiste en someter al individuo a un test de carga incremental hasta llegar a un estado de agotamiento total mientras se monitorea su FC.

El segundo método corresponde a la predicción de dicha frecuencia máxima mediante el uso de ecuaciones matemáticas cuya principal variable moduladora es la edad. Dentro de las ecuaciones más utilizadas, $220 - \text{edad}$ aparece como primera referencia, tanto a nivel práctico como teórico. Wilmore & Costill (2007) en su obra *Fisiología del esfuerzo y del deporte* proponen esta ecuación para estimar la FCM.

Pese a la amplia difusión de $220 - \text{edad}$ son numerosos los estudios que demuestran que esta ecuación es el resultado de un error metodológico (Robergs & Landwehr, 2003). Tanaka (2001), en su metaanálisis, plantea que es un error aplicar

esta fórmula en poblaciones mayores de 60 años, puesto que subestima la FCM alcanzada por este grupo etario.

Los motivos que invalidan la ecuación 220 – edad tienen que ver principalmente con la falta de relación entre dicha ecuación y el conjunto de datos de donde supuestamente fue derivada “el origen de la fórmula es una estimación superficial, basada en la observación a la mejor respuesta lineal de una serie de datos medios y brutos compilados en 1971”(Robergs & Landwehr, 2003).

Su validez es cuestionada también debido a la ausencia en dicha muestra de adultos mayores (mayores de 60 años), “La ecuación de predicción fue determinada de forma “arbitraria” de un total de 10 estudios. La mayor edad incluida fue < 65 años, siendo la mayoría de los sujetos ≤ 55 años” (Tanaka et al., 2001).

Ecuaciones predictivas de frecuencia cardiaca máxima

Tal como se comentó con anterioridad, la ecuación 220 – edad es la fórmula más ampliamente utilizada, pese al débil sustento científico sobre el cual se asienta. No obstante, existen un sinnúmero de fórmulas diseñadas para distintas poblaciones, derivadas de la idea de que la frecuencia cardiaca se ve afectada por otros factores que son independientes de la edad “también está bien descrito que la edad es el principal factor en modular la FCM, representando entre un 70-75%. Pero cuando solamente se considera ésta, es posible un aumento en la probabilidad de error del valor estimado de FCM” (Bouzas Marins et al., 2010).

Ya en el año 1982 Londeree advertía sobre la necesidad de realizar regresiones múltiples con el fin de minimizar los errores derivados de ecuaciones que solo consideraban la edad.

En su artículo *Aplicaciones de la frecuencia cardiaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio*, Bouzas Marins et al., (2010), hacen una recopilación de

numerosas ecuaciones predictivas de FCM. En total presentan una tabla con 56 fórmulas que pueden dividirse en los siguientes grupos específicos: género, nivel de entrenamiento, peso corporal, etnia, patologías y test en cicloergómetro.

Tabla 3: Ecuaciones para el cálculo de la frecuencia cardiaca máxima (extracto)

| Categoría | Población | Ejemplo |
|---|---|---|
| Género | Hombres (5) | Inbar et al (1994) n.1.424 FCM= 205,8 – 0,685 edad |
| | Hombres asintomáticos (9) | Bruce et al (1974) n.2.091 FCM= 210 – 0,662 |
| | Mujeres (5) | Fernández (1998) n.? FCM= 210 – edad |
| | Mujeres asintomáticas (2) | Hossack y Bruce (1982) n.104 FCM=206 – 0,597 edad |
| | Hombres y mujeres (3) | Tanaka et al (2001) n.18.712 FCM= 208,75 – 0,73 |
| | Hombres y mujeres asintomáticos (3) | Jones et al (1975) n.? FCM= |
| | Hombres jóvenes deportistas de competición (1) | Whyte et al (2008) n.92 FCM=202 – 0,55 edad |
| | Mujeres jóvenes deportistas de competición (1) | Whyte et al (2008) n.76 FCM=216 – 1,09 edad |
| | Mujeres entrenadas en resistencia aeróbica (1) | Tanaka et al (1997) n.84 FCM= 199 – 0,56 edad |
| | Género y nivel de entrenamiento | Mujeres sedentarias (1) |
| Hombres y mujeres entrenados (1) | | Lester et al (1968) n.42 FCM= 205 – 0,41 edad |
| Hombres y mujeres entrenados de resistencia (1) | | Tanaka et al (2001) n.229 FCM= 206 – 0,7 edad |
| Hombres y mujeres activos (1) | | Tanaka et al (2001) n.? FCM= 207 – 0,7 edad |
| Hombres y mujeres sedentarios (2) | | Tanaka et al (2001) n.285 FCM= 211 – 0,8 edad |
| Deportista de nivel nacional (1) | Londeree y Moeschberger (1982) n.? FCM= 206,3 – 0,711 edad | |

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| | Hombres de peso normal (1) | Miller et al (1993) n.51 FCM= 219 – 0,85 edad |
| Género y peso corporal | Mujeres de peso normal (1) | Miller et al (1993) n.16 FCM= 218 – 0,98 edad |
| | Hombres y mujeres de peso normal (1) | Miller et al (1993) n.51 FCM= 217 – 0,85 edad |
| Género y etnia | Mujeres hispánicas (1) | Schiller et al (2001) n.53 FCM= 213,7 – 0,75 edad |
| | Mujeres caucásicas (1) | Schiller et al (2001) n.93 FCM= 207 – 0,62 edad |
| | Enfermedad coronaria (4) | Morris n.1388 FCM= 196 – 0,9 edad |
| | Enfermedad coronaria e hipertensión (1) | Bruce et al (1974) n.2.091 FCM= 210 – 0,662 edad |
| Patologías | Normotensos (1) | Graettinger et al (1995) n.73 FCM= 197 – 0,63 edad |
| | Hipertensos (1) | Graettinger et al (1995) n.41 FCM= 200 – 0,71 edad |
| | Retardo mental (1) | Fernhal et al (2001) n.276 FCM= 189 – 0,56 edad |
| Cicloergómetro | Hombres asintomáticos (1) Hombres y mujeres asintomáticos (1) Hombres y mujeres (2) | Ricard et al (1990) n.193 FCM= 205 – 0,687 edad |

Fuente: (Bouzas Marins et al., 2010)

Tal como puede observarse en la tabla 4, la gran mayoría de las ecuaciones diseñadas hasta la fecha consideran el género como segundo factor modulador después de la edad. Las demás categorías como el nivel de entrenamiento, peso corporal, etnia, salud o el uso de cicloergómetro cuentan con muy pocas fórmulas de predicción. De hecho, no ha sido posible, en el transcurso de esta investigación, encontrar una ecuación con datos latinoamericanos.

MARCO METODOLÓGICO

Paradigma de investigación

El paradigma de investigación es de tipo cuantitativo, pues tal como plantean Blaxter, L., Hughes, C., & Tight, M. (2002) “la investigación cuantitativa tiende a incluir conjuntos de datos relativamente representativos y a gran escala...”. La cita anteriormente presentada puede complementarse con el trabajo de Cook & Reichardt, (1986) quienes caracterizan brevemente la perspectiva cuantitativa como “preocupación por el control de las variables y la medida de resultados, expresados con preferencia numéricamente”.

Alcance de investigación

El alcance del estudio es de carácter descriptivo puesto que solo se trabajará con los datos observados de los sujetos al someterlos a un esfuerzo máximo. Tal como indica Hernández, Fernández, & Baptista (2014) “una investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población.” En este sentido la tendencia analizada es la relación entre aumento de la edad y el comportamiento de la frecuencia cardiaca máxima.

Diseño

El diseño de investigación es de tipo no experimental, debido a la naturaleza de las variables implicadas en este estudio. En este sentido, es necesario aclarar las

características de dicho diseño: “investigación no experimental: Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (Hernández et al., 2014).

Muestra

La muestra consta de 208 sujetos de ambos sexos, físicamente activos, de nacionalidad chilena, cuyas edades fluctúan entre los 12 y 67 años.

Tipo de muestreo

La muestra de este estudio es no probabilística, entendiéndose por tal concepto a un proceso de selección que depende del objetivo de los investigadores “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra.” (Hernández et al., 2014).

Selección de la muestra

Es importante precisar que los datos obtenidos provienen de dos orígenes. Por un lado, gran parte de éstos fueron extraídos de la base de datos de sujetos evaluados en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la Clínica Meds durante los años 2014 y 2015. Por otro lado, durante el año 2016, ya con el proyecto del desarrollo de la ecuación de FCM en mente, se fueron reclutando sujetos que permitieron aumentar el tamaño de la muestra.

Operacionalización de las variables

Las variables del presente estudio son las siguientes:

- Frecuencia cardiaca máxima
- Edad

Tabla 4: *Operacionalización de las variables*

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional |
|-----------------------------------|---|---|
| Frecuencia cardiaca máxima | La frecuencia cardíaca es el valor máximo de la frecuencia cardíaca que se alcanza en un esfuerzo a tope hasta llegar al agotamiento (Wilmore & Costill, 2007). | Registro mediante un monitor cardiaco de los cambios que experimenta un sujeto sometido a un esfuerzo de intensidad creciente hasta alcanzar un nivel de agotamiento. |
| Edad | Tiempo que ha vivido una persona o ciertos animales o vegetales (RAE online). | Registro de la edad de los sujetos antes de realizar el test maximal. |

Materiales y métodos

Protocolos

Para determinar la FCM de los sujetos se aplicó un test incremental maximal con el fin de obtener su consumo máximo de oxígeno (VO_2max). La literatura indica que existe una relación directamente proporcional entre ambos factores, es decir, ambos aumentan hasta llegar a un plateau o meseta a medida que el esfuerzo incrementa “El trabajo de Astrand y Ryhming muestra que existe una estrecha correlación entre el máximo consumo de oxígeno de un sujeto y su respuesta cardiaca frente a un ejercicio (Karvonen, Kentala, & Mustala, 1957).

Para el desarrollo de la prueba maximal se tuvo en consideración las directrices de la Declaración de Helsinki. Adicionalmente, todos los sujetos firmaron un

consentimiento informado permitiéndoles retirarse de la prueba o cancelarla si así lo consideran necesario.

Criterios de inclusión

- Hombres y mujeres entre 12 y 70 años
- Sin enfermedades crónicas, ni medicación permanente, a excepción de la administración hormonal en mujeres
- No fumadores
- Físicamente activos, que hayan estado entrenando de forma regular durante los últimos 2 años
- IMC dentro de un rango normal (entre 18.5 y 24.9)
- Sujetos mayores de 50 años con test de esfuerzo realizado y autorizado por un cardiólogo

Estudio de laboratorio

Los test fueron realizados en trotadora en el laboratorio de Ciencias del Ejercicio de la Clínica Meds, sede Isabel la Católica. Todos los sujetos fueron citados a primeras horas de la mañana y se controlaron los niveles de temperatura y humedad en $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $55 \pm 5\%$ respectivamente. Se les pidió además no haber realizado actividad física vigorosa al menos 12 horas antes de la prueba, no haber consumido bebidas estimulantes ni diuréticas como café, alcohol, bebidas energéticas 48 horas de la prueba y haber comido al menos unas dos horas antes de realizar el test.

El protocolo incluyó un calentamiento de unos 5 minutos aproximadamente, entre 4 y 6 km/hr, dependiendo del nivel de entrenamiento de cada sujeto. El test comenzó entre 5 y 8 km/hr con una pendiente de 1,5% que se mantuvo hasta el final de la evaluación. Cada un minuto la velocidad aumentó un km/hr hasta alcanzar un nivel de agotamiento que les impidió realizar un esfuerzo superior.

Las fracciones de los gases inspirados y espirados, oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) fueron analizados con el ergoespirómetro Cortex Metamax 3B, Leipzig Germany. El dispositivo fue previamente calibrado antes de cada test, tanto para el sensor de gases como para el volumen de aire circulante en cada respiración.

Esta información fue directamente enviada al software MetaSoft para el análisis de las siguientes variables: consumo de oxígeno (VO_2), dióxido de carbono producido (VCO_2), ventilación pulmonar (V_E), frecuencia respiratoria (Fr), volumen tidal (V_t), cociente respiratorio (RER), equivalente ventilatorio para el O_2 (V_E/VO_2) y para el CO_2 (V_E/VCO_2) y las fracciones espiradas de O_2 y CO_2 (PET_{O_2} y PET_{CO_2} , respectivamente). La FC fue monitoreada mediante un pulsómetro modelo Polar, cuyo sensor fue conectado directamente al software de análisis de datos.

Los criterios utilizados para definir si los sujetos habían llegado a niveles máximos de esfuerzo fueron los siguientes:

- Duración de la prueba entre 6 y 12 minutos
- FC dentro de 15% de la FCM teórica, calcula por la edad
- RER superior a 1.13
- Análisis del V slope (umbral de intercambio gaseoso entre VCO_2 y VO_2)

Tratamiento estadístico de los datos

Los datos obtenidos fueron tabulados en el software Microsoft Excel para Windows. Posteriormente fueron traspasados al software GraphPad Prism 6.0 para Mac. Análisis de medida de tendencia central fueron aplicados para la caracterización de la muestra. Regresión lineal simple fue aplicada para determinar la ecuación de regresión que permite predecir la FCM asociada a la edad del sujeto.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la tabulación de datos se resumen en la tabla 5 que reúne la media y desviación estándar para las siguientes variables: edad, peso (kg), talla (cm), índice de masa corporal (IMC), consumo máximo de oxígeno (VO_2max en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y frecuencia cardiaca máxima (FCM lat/min). Se calcularon valores para hombres y mujeres por separado y en conjunto.

Tabla 5: Resultados expresados en media y desviaciones estándar respectivas

| | Hombres (n=182) | Mujeres (n=26) | Total (n=208) |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| Edad (años) | 26 ± 10,1 | 28 ± 9,2 | 26 ± 10 |
| Peso (kg) | 72,9 ± 9,6 | 57,4 ± 6,7 | 71 ± 10,6 |
| Talla (cm) | 174,9 ± 6,5 | 162,8 ± 6,6 | 173,4 ± 7,6 |
| IMC | 23,8 ± 2,2 | 21,6 ± 2,1 | 23,5 ± 2,3 |
| VO_2max ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) | 56 ± 7,1 | 46,2 ± 6,8 | 51,8 ± 7,8 |
| FCM (lat/min) | 185,6 ± 9,7 | 186,7 ± 7,8 | 185 ± 9,5 |

Los valores medios para cada variable fueron los siguientes: peso 72,9 kg ± 9,6; edad 26 años ± 10; talla 173,4 cm ± 7,6; IMC 23,5 ± 2,3; VO_2max 51,8 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ± 7,8 y FCM 185 lat/min ± 9,5. Debido al escaso n del grupo femenino, se observa una gran influencia del grupo masculino en los resultados generales.

Análisis de regresión lineal

Las variables fueron graficadas en un diagrama de dispersión colocando en el eje de las abscisas la variable independiente (edad) y en el de las ordenadas la variable dependiente (FCM). Posteriormente se efectuó el análisis de regresión lineal obteniendo un coeficiente de regresión negativo (pendiente negativa), lo que ilustra la tendencia de la FCM a disminuir a medida que aumenta la edad.

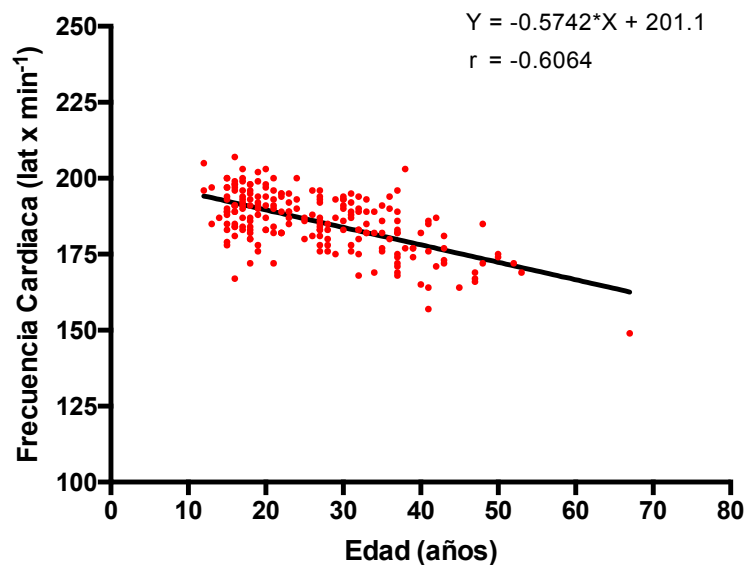


Figura 2: Diagrama de dispersión y ecuación de regresión lineal

El coeficiente de correlación entre ambas variables es de -0.6 , lo que refuerza el nivel de relación negativa entre ellas.

$$F_{cmax} = (201 - 0,6) \times \text{edad}$$

Figura 3: Ecuación predictiva de la FCM para población chilena

La ecuación obtenida de la regresión lineal aplicada a la totalidad de los datos recolectados da como resultado un coeficiente de regresión igual a -0,6 y un punto de intersección de 201.

Tabla 6: *Comparación entre ecuaciones predictivas de la FCM*

| Rangos | FCM | 220 - edad | 207 – (0,7 x edad) | 201- (0,6 x edad) |
|----------------------|-----------|------------|--------------------|-------------------|
| 12-20 años (n=78) | 190 ± 7,7 | 203 ± 1,9 | 195 ± 1,3 | 190 ± 1,1 |
| 21-30 años (n=58) | 187 ± 6,4 | 195 ± 3,0 | 189 ± 2,1 | 186 ± 1,8 |
| 31-40 años (n=50) | 182 ± 8,4 | 185 ± 2,7 | 183 ± 1,9 | 180 ± 1,6 |
| 40 y mas (n=21) | 172 ± 9,4 | 174 ± 5,9 | 175 ± 4,1 | 173 ± 3,5 |

La tabla 6 muestra una comparación entre los valores medios de tres ecuaciones aplicadas a cuatro rangos etarios. La primera columna (FCM) muestra los promedios para dichos rangos obtenidos de la medición directa de la frecuencia cardiaca máxima. Las siguientes columnas contienen los resultados de la aplicación de tres distintas fórmulas para cada rango etario: 220 – edad, Tanaka (207 – 0,7 x edad) y la ecuación para población chilena (201-0,6 x edad), respectivamente. Tal como puede observarse, la ecuación para población chilena es la que mejor se ajusta a los datos recopilados, reduciendo el margen de error en la predicción de la FCM.

DISCUSIÓN

Las ecuaciones de predicción utilizadas actualmente derivan de estudios realizados en poblaciones extranjeras. Hasta la fecha no se conocen estudios publicados para la población chilena que permitan conocer si existen variaciones con respecto a las ecuaciones estandarizadas. Si bien, es ampliamente aceptada la influencia de la edad como principal factor modulador de la FCM, existen otros elementos que podrían modificar esta respuesta. Factores como el peso corporal, la región activa durante el ejercicio, el medio físico donde se realiza el deporte, el nivel de entrenamiento, el sexo, entre otros, sugieren el empleo de ecuaciones específicas (Bouzas, Marins et al., 2010).

Según los autores, se han realizado algunas ecuaciones que consideran el factor etnia como segundo modulador de la FCM. Londeree y Moeschberger (1982) proponen la etnia como un coeficiente en sus ecuaciones multivariadas, encontrando que las diferencias en este ámbito no son significativas. Por otro lado, “Wilmore et al. (2001) comparó a blancos y negros americanos, observando diferencias entre los dos grupos. El trabajo elaborado por Schiller et al. (2001) especifica una ecuación para mujeres hispanas y otra para caucásicas” (Bouzas Marins et al., 2010).

La etnia, al igual que el sexo o la condición física de los sujetos, podría considerarse como un factor de influencia relativa, debido a los distintos puntos de vista asociados a dicha variable. No obstante y como se indicó al principio de esta investigación, ya en el año 1982 Londeree y Moeschberger encontraron diferencias en la FCM de sujetos europeos con respecto a otras poblaciones.

Ente este sentido, aunque la presente ecuación no representa a alguna etnia particular, podría llegar a incluirse dentro de las investigaciones que se han hecho en torno a grupos humanos específicos. De hecho, debido al componente multicultural de la

población chilena, las características fenotípicas de los sujetos evaluados podrían condicionar una respuesta cardiaca particular adaptada a las características del lugar físico donde se asientan. Esta podría ser una respuesta tentativa y que necesitaría ser comprobada en estudios posteriores para responder a las variables poblacionales asociadas a la FCM.

Tabla 7: *Determinación de intensidades de trabajo por método de Karvonen para un sujeto de 75 años con una frecuencia cardiaca de reposo (FCr) de 70 lat/min*

| Fórmula | FCM lat/min | (FCR) lat/min | 40%+FCR lat/min | 60%+FCR lat/min | 80%+FCR lat/min |
|-------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 220-edad | 145 | 75 | 100 | 115 | 130 |
| 207 – (0,7 x edad) | 154 | 84 | 117 | 134 | 151 |
| 201-(0,6 x edad) | 156 | 86 | 120 | 138 | 153 |

Por otro lado, en un plano más práctico, el desarrollo de una ecuación para población chilena es útil a la hora de prescribir ejercicio de forma precisa. El cálculo estimativo del VO₂max mediante la fórmula de Karvonen es una de las aplicaciones más importantes de la FCM (Robergs & Landwehr, 2002). La tabla 7 muestra la aplicación de tres fórmulas de predicción de la FCM (220- edad; 207 – (0,7 x edad) y 201-(0,6 x edad) para un sujeto de 70 años con una frecuencia cardiaca de reposo (FCr) de 70 lat/min. Según el método de Karvonen, cualquier porcentaje de la frecuencia de reserva (FCR) sumado a la FCr sería equivalente al VO₂max de un sujeto.

CONCLUSIONES

La presente investigación dio como resultado la elaboración de una ecuación predictiva de la FCM para la población chilena: $F_{cmax} = (201 - 0,6) \times \text{edad}$.

Su uso en la prescripción del ejercicio podría reducir el error inherente en la predicción de la frecuencia cardíaca máxima, derivado del uso de ecuaciones extranjeras. En consecuencia, su aplicación podría arrojar una valoración mucho más certera en la evaluación del nivel aeróbico de los sujetos, junto con ser un parámetro mucho más confiable a la hora de establecer la FCM como criterio en un test maximal. Adicionalmente, su relación con el $VO_2\text{max}$, mediante el uso de la fórmula de Karvonen, supondría una alternativa válida para aquellas personas que no se encuentran en condiciones de someterse a un test de consumo de oxígeno.

No obstante, un aspecto limitante de este estudio tiene que ver principalmente con los n reducidos tanto para la población femenina como para adultos mayores. La justificación con respecto al bajo número de individuos en los grupos mencionados tiene que ver principalmente con las tendencias observables en la realidad nacional. Efectivamente, la población femenina y la de adultos mayores presentan una baja adhesión a la práctica constante de actividad física. En la Encuesta Nacional de Hábitos de Actividad Física y Deportes del año 2015 se indica que la participación femenina es de sólo un 23,6% mientras que la de los adultos mayores se limita a un 15,8%. No obstante lo anterior, se incluyó en este estudio a un sujeto de 67 años, físicamente activo, que realizó el test de manera voluntaria, siendo derivado y controlado en todo momento por un médico especialista.

Estas limitantes dejan abiertas algunas líneas de investigación, siendo una de ellas precisamente la predicción de FCM para adultos mayores sedentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Blaxter, L., Hughes, C., & Tight, M. (2002). *Como se hace una investigación* (2a ed.). Gedisa. Recuperado a partir de <https://sci-hub.cc/10.1080/02701367.1998.10607673>
- Bouzas Marins, J. C., Ottoline Marins, N. M., & Delgado Fernández, M. (2010). Aplicaciones de la frecuencia cardiaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 45(168), 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2010.04.003>
- Cook, T. D., & Reichardt, C. S. (1986). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Madrid: Morata.
- Costanzo, L. S. (2011). *Fisiología* (4a ed.). España: Elsevier.
- Fox, S. M., & Haskell, W. L. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 44(8), 950.
- Graettinger, W. F., Smith, D. H., Neutel, J. M., Myers, J., Froelicher, V. F., & Weber, M. A. (1995). Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest*, 107(2), 341-345.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (5a ed.). México: McGraw-Hill Education.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales Medicinæ Experimentalis Et Biologiae Fenniae*, 35(3), 307-315.
- Londeree, B. R., & Moeschberger, M. L. (1982). Effect of Age and Other Factors on Maximal Heart Rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53(4), 297-304. <https://doi.org/10.1080/02701367.1982.10605252>
- López, J., & Fernández. (2006). *Fisiología del Ejercicio* (3a ed.). España: Panamericana.
- Michael, J. A., & Sircar, S. (Eds.). (2010). *Fundamentals of medical physiology*. New York: Thieme.

- Ministerio del Deporte. (2015). Encuesta Nacional de Hábitos de Actividad Física y Deportes 2015 en la población de 18 años y más. Recuperado a partir de <http://www.mindep.cl/wp-content/uploads/2016/07/PRESENTACION-ENCUESTA-HABITOS-2015.pdf>
- Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2011). *Exercise physiology for health, fitness, and performance* (3rd ed). Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Robergs, R. A., & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the «HRmax= 220-age» equation. *J Exerc Physiol*, 5(2), 1–10.
- Saladin, K. S. (2013). *Anatomía y fisiología: la unidad entre forma y función* (6a ed.). McGraw-Hill Education. Recuperado a partir de <http://site.ebrary.com/id/10757886>
- Sarzynski, M. A., Rankinen, T., Earnest, C. P., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., & Bouchard, C. (2013). Measured maximal heart rates compared to commonly used age-based prediction equations in the heritage family study: Comparison of Measured and Predicted HR_{max}. *American Journal of Human Biology*, 25(5), 695-701. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22431>
- Silverthorn, D. U. (2008). *Human Physiology. An integrated approach* (4a ed.). United States of America: Pearson.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (5a ed.). España: Paidotribo.

