

Article

Ecuaciones Predictivas para la Tasa Metabólica en Reposo no Son Apropriadas para Usar en Futbolistas Adolescentes Brasileños

Taillan M. Oliveira¹, Paula A. Penna-Franca¹, Christian H. Dias-Silva¹, Victor Z. Bittencourt¹, Fabio F. L. C. Cahuê¹, Sidnei J. Fonseca-Junior¹ y Anna Paola T. R. Pierucci^{1,2}

¹Graduate Program in Nutrition, Laboratory of Food Development for Special Health Purpose and Education (DAFEE), Nutrition Institute Josué de Castro (INJC), Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil

²Colégio de Aplicação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

RESUMEN

La alta precisión en la estimación del gasto energético es esencial para mejorar el rendimiento deportivo. La tasa metabólica en reposo (RMR), como componente principal del gasto energético total (TEE), se estima comúnmente mediante ecuaciones predictivas. Sin embargo, estas referencias pueden no ser aplicables a los atletas adolescentes. El propósito de este estudio transversal fue analizar las diferencias entre la RMR predicha en relación con el gasto energético medido por calorimetría indirecta (CI) entre 45 deportistas de fútbol adolescentes brasileños. Las mediciones de calorimetría indirecta (CI) y antropométrica (bioimpedancia) se registraron en una sola visita al laboratorio después de ayunar durante la noche. La edad media era de 15.6 ± 1.14 años, la masa corporal de 63.05 ± 7.8 kg y la altura de 172 ± 7.5 cm. Los valores de RMR predichos por las ecuaciones propuestas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Naciones Unidas), Henry y Rees (HR), Harris Benedict (HB) y Cunningham (CUN) se compararon con los valores de CI RMR, mediante análisis de correlación. Las ecuaciones predictivas de FAO y HR arrojaron valores diferentes de CI (CI: 1716.26 ± 202.58 , HR: 1864.87 ± 147.78 , FAO: 1854.28 ± 130.19 , $p = 0.001$). Se encontró una correlación moderada de 0.504 entre los resultados de HB e CI. En el modelo de acuerdo de supervivencia, la ecuación CUN mostró un bajo desacuerdo con CI RMR, con valores de error entre 200 y 300 kcal/día. Los resultados mostraron que HB y CUN arrojaron valores similares a la CI con la ecuación CUN mostrando un bajo desacuerdo con CI; Por lo tanto, los atletas adolescentes deben someterse a una evaluación con métodos de laboratorio precisos para garantizar que se registre información precisa sobre la RMR.

1. INTRODUCCIÓN

Para garantizar un control óptimo de la composición corporal y el máximo rendimiento deportivo, es fundamental equilibrar la ingesta energética con el gasto energético. Estimar el gasto energético diario total (TEE) puede ser un desafío para los nutricionistas porque los objetivos y requisitos nutricionales de los atletas no son estáticos durante el año de entrenamiento [1].

El TEE diario se compone de la tasa metabólica basal o en reposo (TMB o RMR), que se refiere al costo energético de los procesos vitales esenciales (60-75% de la TEE), termogénesis inducida por la dieta (la energía gastada para digerir, absorber y convertir los alimentos, ~10%) y la energía gastada durante las actividades físicas (gasto energético de la actividad, ~15-30%) [2,3]. Aunque existen métodos objetivos para medir el TEE, como el agua doblemente etiquetada y la calorimetría indirecta (CI), estos pueden ser impracticables debido al alto costo del equipo y el mantenimiento relacionado. Por lo tanto, en enfoques prácticos de campo, el TEE generalmente se estima subjetivamente utilizando ecuaciones predictivas del RMR.

Algunas de las ecuaciones propuestas en la bibliografía [4-7] se utilizan comúnmente para estimar la RMR de los atletas. Estas ecuaciones se desarrollaron principalmente en estudios llevados a cabo en América del Norte [4,5], mientras que en algunos estudios no se ha indicado la nacionalidad de los participantes [6,7]. Además, todos los estudios incluyeron niños, adultos y poblaciones de mayor edad y no analizaron exclusivamente a los adolescentes [4-7]. Como resultado, las estimaciones de la RMR de los atletas producidas por estas ecuaciones tienen una confiabilidad cuestionable. Para distintos deportistas adolescentes, la estimación de la RMR es importante para determinar el aumento de peso y talla, así como para mantener la salud y la composición corporal adecuada para dicha modalidad [1].

La composición corporal es un parámetro importante para los futbolistas, que inician sus carreras competitivas en la adolescencia, y desde esa temprana edad están sometidos a un agotamiento físico constante y prolongado. El fútbol es un deporte de resistencia [8], que se caracteriza por una actividad intermitente con turnos de esfuerzo intenso [9]. Las actividades de los jugadores durante un partido incluyen estar de pie, caminar, trotar, correr, correr y dar marcha atrás, y el tiempo dedicado a cada una de esas actividades depende de la posición del jugador en el campo [10]. Los futbolistas pueden competir dos o tres veces por semana, y el número de partidos jugados afecta su respuesta al entrenamiento [11], incluidas las demandas de energía. Por lo tanto, es importante estimar correctamente la RMR porque es la principal variable para estimar el TEE.

En la práctica clínica actual, las ecuaciones predictivas se utilizan ampliamente para estimar la RMR de los atletas adolescentes [1]. Estudios anteriores han demostrado que las ecuaciones de RMR pueden no producir resultados precisos para esta población, y no hay acuerdo entre los estudios sobre la ecuación más adecuada [12]. Hasta la fecha, ningún estudio ha evaluado la precisión de las ecuaciones predictivas para estimar la RMR en futbolistas adolescentes brasileños. Planteamos la hipótesis de que las ecuaciones predictivas y la CI, que se considera el estándar de oro para estimar la RMR, arrojan diferentes valores de RMR [13]. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la idoneidad de cuatro ecuaciones predictivas para evaluar la RMR de jugadores de fútbol adolescentes en Brasil utilizando la CI como método estándar.

2. MÉTODOS

En total, participaron en este estudio transversal 45 jugadores masculinos de las categorías sub-15 y sub-17 de un equipo de primera división en el Campeonato de Fútbol de la Asociación del Estado de Río de Janeiro. Los criterios de inclusión fueron una carga de entrenamiento de al menos 4 horas durante 5 días por semana cada uno, participar en la práctica durante al menos 1 año antes del reclutamiento y competir en al menos una temporada de campeonato nacional oficial. Después de la aprobación del club y la reunión con el comité de entrenadores, se realizó una reunión con los atletas para el reclutamiento. Los participantes y sus padres o tutores legales fueron informados sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos asociados con el estudio, y se obtuvo el consentimiento informado por escrito. Los participantes completaron los procedimientos de prueba en un sólo día. Cuatro atletas fueron evaluados por día durante 3 semanas en el Laboratorio de Evaluación de Nutrición de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Los futbolistas se sometieron a mediciones antropométricas, de composición corporal y calorimetría indirecta después de un ayuno de 8 horas y 24 horas de descanso de entrenamiento. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación del Hospital Universitario Clementino Fraga Filho, Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil (CAAE 58179716.3.0000.5257).

Medidas antropométricas y de composición corporal

La masa corporal se evaluó utilizando una plataforma de báscula digital sin regla antropométrica, marca Filizola®, con una precisión de 0.05 kg y 150 kg. La talla se midió con un estadiómetro portátil Altorexata®, con escala bilateral en milímetros (resolución de 1 mm), y campo de uso de 0.35 a 2.13 m. Se pidió a los participantes que permanecieran descalzos para las mediciones [14]. Se calculó el índice de masa corporal (IMC). El porcentaje de grasa corporal, la masa corporal, la masa libre de grasa (FFM) y la masa grasa (FM) se midieron mediante bioimpedancia (Byodynamics® 450) [15]. Se les indicó a los participantes que evitaran consumir alcohol o cafeína el día anterior a la prueba, que no hicieran ejercicio, que hicieran 8 horas de ayuno y que evitaran el uso de medicamentos diuréticos. Se pidió a los participantes que

se acostaran de manera relajada, en posición supina, descalzos sin ningún ornamento de metal, con las manos inclinadas hacia afuera del cuerpo y las piernas separadas a la distancia de las caderas.

Medidas de calorimetría indirecta

La CI se llevó a cabo según el protocolo de Compher [16]. Se indicó a los participantes que evitaran consumir alimentos termogénicos, suplementos, estimulantes, inhibidores del sueño o del apetito, analgésicos u otras sustancias que se sabe afectan la RMR 1 día antes de la prueba. Además, se les indicó que no participaran en ninguna práctica física el día anterior a la prueba y que ayunaran durante 8 hs antes de realizar las mediciones. A su llegada al laboratorio, los participantes fueron entrevistados individualmente por un nutricionista especializado, y se confirmó la adherencia al protocolo de medición de RMR. Para la CI, se utilizó el calorímetro Vmax Encore 29 System (VIASYS Healthcare Inc., Yorba Linda, CA). Las mediciones se tomaron por la mañana, con los deportistas en decúbito supino. Se examinó un máximo de cuatro participantes por día. Los valores de consumo de oxígeno (VO₂) y producción de dióxido de carbono (VCO₂) fueron recolectados por dosel y revisados continuamente durante 30 min. A efectos de cálculo, se descartaron los primeros 10 minutos para garantizar la homogeneidad de los datos. Los valores de VO₂ y VCO₂ se utilizaron en la ecuación propuesta por Weir [17] [Eq 1].

Ecuaciones: $RMR \text{ kcal/día} = (3.9 \times VO_2 \text{ (ml/min)} + 1.1 \times VCO_2 \text{ (ml/min)}) \times 11440$
(Eq 1)

Ecuaciones predictivas de RMR

The following predictive equations were used:

Harris&Benedic (1919): $66.4730 + (13.7516 \times W) + (5.0033 \times H) - (6.7550 \times A)$ (Eq 2)

Cunningham (1980): $581.6 + 21.6 \times FFM$ (Eq 3)

Henry&Rees (1991): $(0.084 \times W + 2.122) \times 239$ (Eq 4)

FAO (2004): $17.686 \times W + 658:2$ (Eq 5)

Leyenda: peso (W), altura (H), edad (A), masa libre de grasa (FFM)

Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos se utilizó el Programa Estadístico de Ciencias Sociales, versión 20.0 (SPSS, Chicago, IL, EE. UU.). Los métodos se compararon mediante análisis de diferencias, correlación, grado de acuerdo y acuerdo de supervivencia. Además, los datos de la CI también se compararon con variables de edad, medidas antropométricas y de composición corporal para determinar asociaciones entre estos parámetros. Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para establecer la normalidad de los datos y los resultados se expresaron como media y desviación estándar. Se aplicó un ANOVA unidireccional de medidas repetidas para comparar los valores medios de la RMR entre las ecuaciones predictivas y la CI al 95% de significación ($p < 0.05$). Se utilizó la correlación de Pearson para comparar los valores de las ecuaciones predictivas; Valores de CI y las variables de peso, talla, edad, IMC, FM y FFM. Los coeficientes de correlación se consideraron fuertes ($r > 0.8$), moderados ($r < 0.8$ y > 0.5) o débiles ($r < 0.5$). Además, el gráfico de Bland-Altman [18] y el acuerdo de supervivencia [19] se utilizaron para determinar el grado de acuerdo entre los métodos antes mencionados.

3. RESULTADOS

Las características de los participantes se muestran en la Tabla 1. La RMR predicha por las ecuaciones HB y CUN no fue diferente de los valores de CI RMR, pero los valores obtenidos de las ecuaciones HR y FAO fueron estadísticamente diferentes ($CI \times FAO p = 0.0002$, $CI \times HR p = 0.0001$) a partir de los valores de CI RMR (Fig 1). Se encontraron correlaciones moderadas entre los valores de RMR de las ecuaciones y la CI, con una alta correlación con los valores de la ecuación de HB (Fig 2).

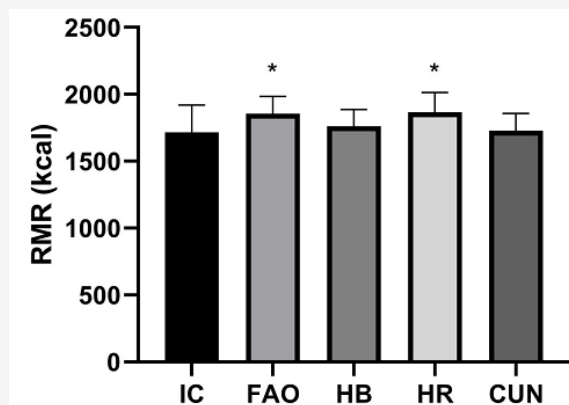


Figura 1. Comparación entre ecuaciones predictivas y calorimetría indirecta.

CI — Calorimetría indirecta, HB — Harris & Benedict, C — Cunningham, HR — Henry & Rees, FAO — Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO). * $p < 0.05$ comparado con CI usando el t-test de Student de 2 vías.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970.g001>

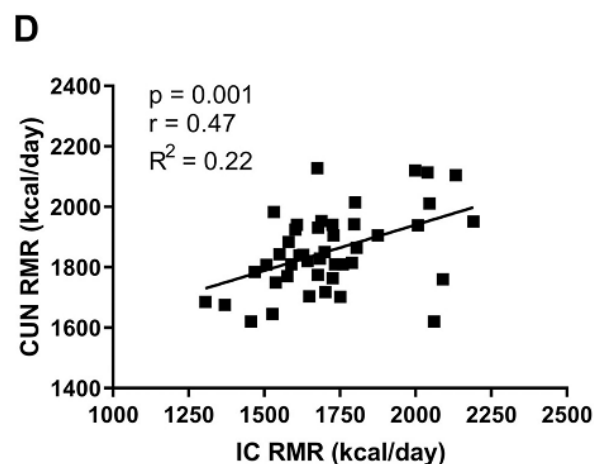
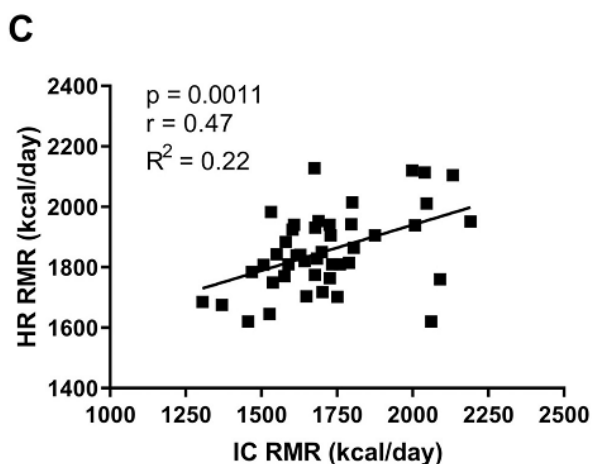
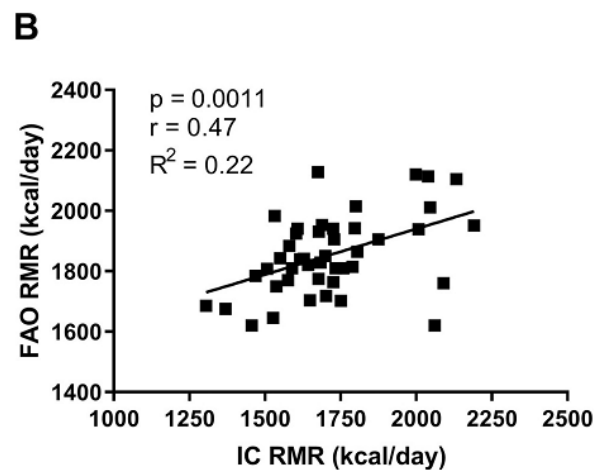
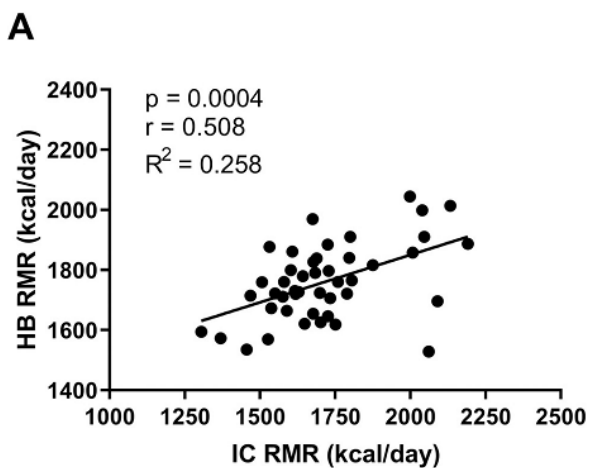


Figura 2. Correlación de ecuaciones predictivas y calorimetría indirecta.

Panel A: Harris y Benedict (HB), Panel B: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Panel C: Henry y Rees (HR), Panel D: Cunningham (C).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970.g002>

Tabla 1. Edad y características corporales de los jugadores de fútbol adolescentes varones (n = 45).

Variables	Mean ± SD
Age (years)	15.69±1.41
Height (cm)	173.00±7.53
Body mass (kg)	67.63±7.36
BMI (kg/m ²)	22.32±1.61
Fat mass (kg)	21.35±4.98
Fat mass (%)	14.53±4.06
Fat-free mass (kg)	53.10±5.95
Fat-free mass (%)	78.26±4.99

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970.t001>

Los diagramas de dispersión de Bland-Altman en la Figura 3, que comparan los datos a nivel individual, mostraron una diferencia significativa entre los valores de CI RMR y los valores de RMR predichos. Las diferencias e intervalos de confianza (IC del 95%) entre los valores predichos y los valores de CI fueron, respectivamente, 138.02±182.07 y 84.82-191.22 para FAO, 44.41±176.11 y -7.04-95.87 para HB, 148.61±186.24 y 94.20-203.02 para HR y 12.25±181.29 y -40.72-65.22 para CUN. Los valores obtenidos de CUN y HB estuvieron más cerca de los valores de CI RMR que los obtenidos de las otras ecuaciones.

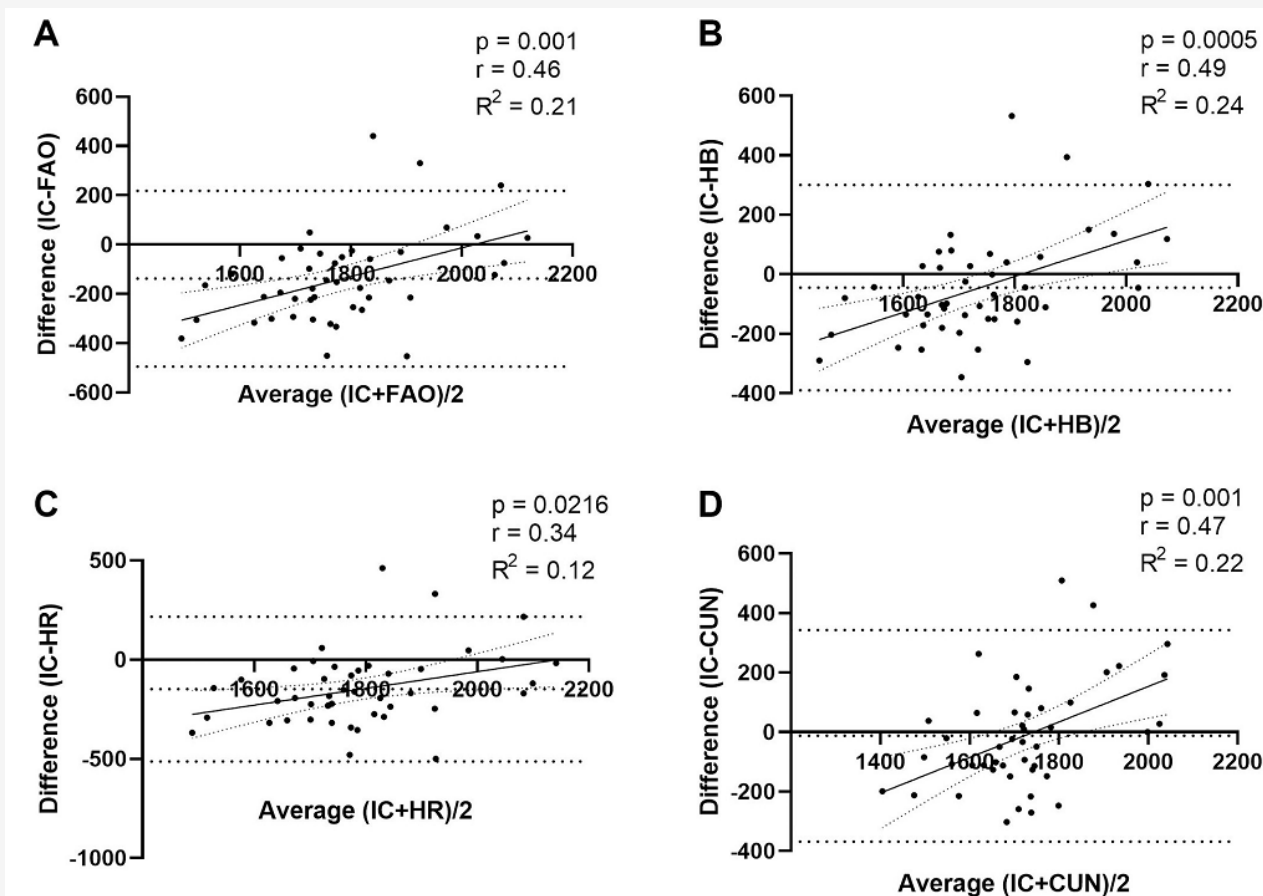


Figura 3. Gráficos de dispersión de Bland-Altman de las ecuaciones de las medidas de RMR (CI) y de RMR predictivas.

Panel A — Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Panel B — Harris y Benedict (HB), Panel C — Henry y Rees (HR), Panel D — Cunningham (CUN). La línea de puntos horizontal indica la diferencia media entre la RMR medida y la ecuación predictiva respectiva; y las líneas horizontales de puntos y espaciados indican el IC del 95% de los límites de concordancia.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970.g003>

Los resultados de acuerdo-supervivencia graficados en la Fig. 4 muestran una falta de acuerdo entre los valores de RMR obtenidos a partir de las ecuaciones y de la CI, con una variación de 200 a 400 kcal entre ellos. Al comparar los valores de RMR a partir de la CI y las ecuaciones, la ecuación CUN mostró una variación menor que las demás, de 200 a 300 kcal/día, mientras que para las otras ecuaciones la discrepancia fue de 300 a 400 kcal/día, a un nivel de desacuerdo de 0.2 (20%) [19] (Figura 4).

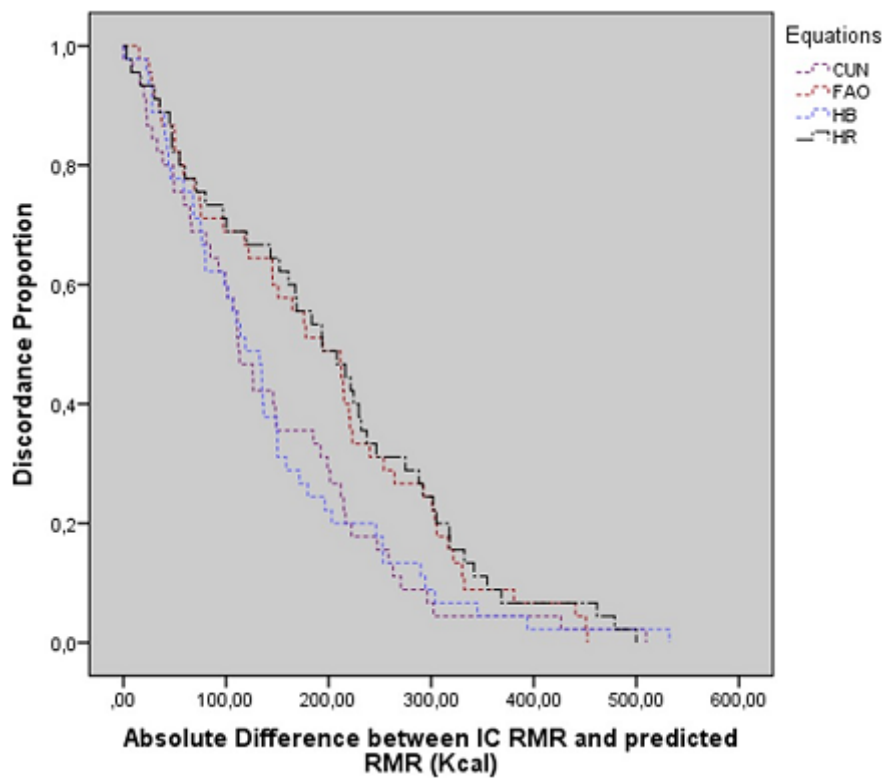


Figura 4. Gráfico de acuerdo de supervivencia para calorimetría indirecta y ecuaciones predictivas.

Cunningham (CUN), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Harris Benedict (HB), Henry y Rees (HR).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970.g004>

Se determinaron las correlaciones de Pearson entre las variables de la composición corporal y los valores de CI. A excepción de la altura ($r = 0.493$) y la masa corporal ($r = 0.446$), todas las variables mostraron correlaciones moderadas con los valores de CI (edad: $r = 0.282$; IMC: $r = 0.130$; FM: $r = 0.396$; FFM: $r = 0.396$).

4. DISCUSIÓN

Nuestro objetivo fue analizar comparativamente la idoneidad de las ecuaciones de predicción de RMR y la RMR medida por CI en deportistas varones adolescentes de fútbol. Nuestro principal hallazgo fue que las ecuaciones arrojaron valores de RMR con variaciones de 200 a 400 kcal de los valores de CI RMR. Las ecuaciones de HB y de CUN mostraron una concordancia moderada en comparación con las ecuaciones de FAO y de HR. Estos resultados están en consonancia con hallazgos previos sobre las diferencias entre los valores obtenidos a partir de la CI y las ecuaciones de predicción [20-22].

La RMR es la variable principal que se utiliza para calcular el TEE diario, por lo que el cálculo preciso es un requisito crucial [1]. Las ecuaciones investigadas en este estudio arrojaron coeficientes de variación similares (7.02-7.92%), que fueron inferiores a los obtenidos por CI (11.80%). Esto indica que las ecuaciones tienen una capacidad mínima de detectar diferencias entre los atletas y las necesidades energéticas individuales reales de cada atleta en comparación con la CI.

Además, el entrenamiento deportivo exige diferentes niveles de esfuerzo físico y gasto energético previsto [23]. En el fútbol, se puede esperar una variación de 1000-2000 kcal [24] en el gasto de energía dependiendo de la posición del jugador durante un partido. El asesoramiento nutricional individualizado es una herramienta fundamental en los programas de entrenamiento para futbolistas de alto rendimiento. Las diferencias de 200-400 kcal en la RMR predicha pueden conducir a un aumento o pérdida de peso y a cambios en la composición corporal [1]. Además, puede afectar la disponibilidad de energía diaria de un atleta [20] y ser perjudicial para su rendimiento deportivo, recuperación y salud en general [25-27].

Aunque las ecuaciones de HB y de CUN arrojaron mejores valores, los resultados no pueden considerarse precisos. Los estudios realizados con atletas de diferentes modalidades han demostrado que las ecuaciones de predicción de la RMR propuestas por la FAO y por HR no concuerdan con los valores de CI RMR [12,23]. Loureiro y cols. [27] investigaron esto en atletas de pentatlón moderno utilizando los mismos procedimientos estadísticos que se utilizaron en el estudio actual y encontraron resultados similares a los del estudio actual. Cherian y cols. [12] también encontraron que las ecuaciones de CUN y de HB son las mejores para predecir la RMR en una pequeña muestra de jugadores de fútbol adolescentes indios. También es importante señalar las diferencias entre las características de la muestra de estudio en el presente artículo y de las poblaciones en las que se basaron los estudios de las ecuaciones [12,23,27].

Se utilizaron gráficos de Bland-Altman para presentar el grado de asociación entre los valores obtenidos a partir de la CI y las ecuaciones predictivas [17], mientras que los gráficos de acuerdo de supervivencia se utilizaron para cuantificar el margen medio de sobreestimación o subestimación de cada ecuación predictiva [18]. Los gráficos de Bland-Altman mostraron que las ecuaciones no estaban de acuerdo con la CI, con la de HB mostrando la mejor asociación gráfica. Sin embargo, los estudios que utilizaron las mismas demostraciones gráficas encontraron resultados aceptables con la ecuación de CUN, al contrario de nuestros datos [12,23,27-29]. Los gráficos de acuerdo de supervivencia mostraron que la proporción de discordancia aceptada de 0.2 (20%) [19] indujo una subestimación de 200 kcal en la estimación de la RMR para las ecuaciones de HB y de CUN.

Las correlaciones entre la CI y los parámetros antropométricos fueron débiles o moderadas. Sagayama y cols. [30] examinaron si la composición corporal estimada por bioimpedancia influía en los valores de la RMR; encontraron que el peso y la masa corporal no se asociaron significativamente con los datos de la RMR, similar a nuestro estudio. En general, se critica el uso de ecuaciones predictivas para evaluar la RMR de los atletas porque su composición corporal interfiere con los resultados, ya que las ecuaciones se propusieron para poblaciones de no deportistas [31].

Nuestro estudio evaluó si las ecuaciones presentaban diferencias entre sus medias de manera que la variación pudiera perjudicar la evaluación de un grupo de deportistas. También verificó la concordancia entre los métodos tanto a nivel individual como grupal. Finalmente, evaluamos la discrepancia entre los métodos para verificar el margen de error que un médico en la práctica clínica debería considerar al elegir cualquiera de los métodos.

Limitaciones

La evaluación de la FM en atletas adolescentes es un desafío en el seguimiento nutricional [32]. Los estudios destinados a determinar los métodos más precisos para evaluar la composición corporal en los atletas aún están en curso y existe una brecha en el conocimiento [33,34]; además, el modelo de cuatro compartimentos es demasiado complejo para ser utilizado en el día a día de las actividades deportivas [35,36].

Otra posible limitación de este estudio es que no se evaluó la ingesta de nutrientes. Aunque los atletas fueron entrevistados sobre el consumo de alimentos y suplementos para garantizar el cumplimiento del protocolo de la RMR, los datos no se analizaron como ingesta de nutrientes. Según Madzima y cols. [37], la ingesta de proteínas y carbohidratos antes del análisis por CI puede influir en las mediciones de la RMR.

5. CONCLUSIÓN

En resumen, este estudio evaluó las diferencias entre los valores de la RMR predichos y los de la CI. Los presentes resultados concuerdan con hallazgos previos en la literatura sobre atletas y diversas modalidades deportivas, mostrando que el uso de ecuaciones para predecir la RMR tiene limitaciones prácticas. Las ecuaciones predictivas probadas en este estudio mostraron diferencias de 200 a 400 kcal de los valores de CI RMR. Por lo tanto, cuando se utilizan ecuaciones predictivas, el equilibrio energético de los atletas, así como el mantenimiento de la composición corporal, el rendimiento físico y la recuperación pueden verse comprometidos. Los atletas deben someterse a una evaluación de la RMR con métodos de laboratorio precisos para obtener prescripciones dietéticas adecuadas.

Declaración de novedad

Las necesidades energéticas de los atletas adolescentes de fútbol se pueden estimar incorrectamente utilizando ecuaciones de RMR. La diferencia entre los valores de RMR a partir de la CI y las ecuaciones predictivas fue de hasta 400 kcal.

Aplicaciones prácticas

Al elegir una ecuación predictiva para determinar la RMR de un atleta, el nutricionista debe considerar su margen de error y su aplicabilidad en el campo.

Información de apoyo

S1 archivo.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970.s001>

Agradecimientos

Todo el apoyo técnico para las evaluaciones fue proporcionado por el Laboratorio de Desarrollo de Alimentos con Propósitos Especiales de Salud y Educación (LabDAFEE) y el Laboratorio de Evaluación Nutricional (LANUTRI).

Disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes están dentro del artículo y sus archivos de información de respaldo.

Financiamiento: El estudio contó con el apoyo financiero de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro (BR), E-26 / 203.319 / 2017 y E26 / 190.227 / 2013 y Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior, Código de Finanzas 001 PROCESO No.: 23038.004469 / 2019-12 / PROEX PPGN / UFRJ.

Conflictos de intereses: los autores han declarado que no existen conflictos de intereses.

REFERENCIAS

1. Ecuaciones Predictivas para la Tasa Metabólica en Reposo no Son Apropriadas para Usar en Futbolistas Adolescentes Brasileños. (2021). Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original.: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970>

Cita Original

Oliveira TM, Penna-Franca PA, Dias-Silva CH, Bittencourt VZ, Cahuê FFLC, Fonseca-Junior SJ, et al. (2021) Predictive equations for resting metabolic rate are not appropriate to use in Brazilian male adolescent football athletes. PLoS ONE 16(1): e0244970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244970>.