

Artículo Original / Original Article

Tasa metabólica en reposo por calorimetría indirecta y ecuaciones de predicción en deportistas con amputación: Análisis de concordancia

Metabolic rate at rest by indirect calorimetry and prediction equations in athletes with amputation: Concordance analysis

María Moreno^{1*}. <https://orcid.org/0000-0002-4601-8703>

Carlos Castaño^{1,2}. <https://orcid.org/0000-0002-5060-8028>

Mercedes Mora³. <https://orcid.org/0000-0001-5396-8726>

Laura Rivera-Amezquita⁴. <https://orcid.org/0000-0002-4038-2117>

Erick Bejarano⁵. <https://orcid.org/0000-0002-3664-2422>

1. Facultad de Nutrición y Dietética, Universidad CES, Medellín, Colombia.

2. Grupo de Rehabilitación Inclusiva - Programa Actividad Física - DIVRI. Colombia.

3. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

4. Grupo de Investigación en Ciencias de la Rehabilitación, Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario. Colombia.

5. Centro de Ciencias del Deporte – Ministerio del Deporte. Colombia.

*Dirigir correspondencia a: María Moreno.

Facultad de Nutrición y Dietética, Universidad CES, dirección, 573203250443.

Email. mkmorenol@unal.edu.co.

Este trabajo fue recibido el 16 de septiembre de 2022.

Aceptado con modificaciones: 24 de abril de 2023.

Aceptado para ser publicado: 22 de mayo de 2023.

RESUMEN

La Tasa Metabólica en Reposo (TMR) suele calcularse utilizando ecuaciones de predicción por su fácil acceso y bajo costo. Sin embargo, estas ecuaciones no se encuentran validadas en población deportista con amputación. Objetivo: determinar la concordancia entre la medición de la TMR realizada por Calorimetría Indirecta (CI) y la calculada por ecuaciones de predicción en deportistas con amputación de miembros inferiores en Bogotá. Sujetos y métodos: Este estudio evaluó 16 deportistas adultos masculinos, con amputación de miembro inferior. La TMR se midió con CI y se calculó con las ecuaciones de predicción de Harris-Benedict, Cunningham, Mifflin -St. Jeor, Schofield y Oxford. Se utilizaron dos variables diferentes de masa corporal: masa corporal total (MCT) y masa magra (MM) determinada por Absorciometría de doble energía de rayos X (DEXA) y por el método antropométrico de fraccionamiento de masas en cinco componentes (5C). La concordancia se determinó a través del coeficiente de correlación intraclase (CCI) y se graficó mediante el método de Bland-Altman. Resultados y conclusión: La TMR determinada por la ecuación de Cunningham a partir de MM evaluada por DEXA, mostró la mejor concordancia con la CI (CCI= 0,709), seguida por Harris-Benedict con MCT (CCI= 0,697) y Cunningham con MM calculada por 5C (CCI= 0,693). La ecuación de Cunningham y Harris Benedict parecen ser las más adecuadas para calcular la TMR, sin embargo, se requieren más estudios con muestras mayores, lo cual permitirá obtener resultados más precisos.

Palabras clave: Amputados; Antropometría; Calorimetría indirecta; Discapacidad; Gasto energético.

ABSTRACT

Prediction equations for calculating resting metabolic rate (RMR) are widely used given their accessibility and low cost. However, they have not been yet validated in the amputee athlete population. Objective: to determine the concordance between the RMR measured by Indirect Calorimetry (IC) and that calculated by prediction equations in athletes with lower limb amputation in Bogota. Subjects and methods: sixteen adult male athletes with lower limb amputation were included. The RMR was measured with IC and calculated with the Harris-Benedict, Cunningham, Mifflin-St. Jeor, Schofield, and Oxford prediction equations. Three different body mass variables were used: total body mass (TBM) and lean body mass (LBM) determined by Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) and by the anthropometric method of mass fractionation into five components (5C). The agreement was determined by intraclass correlation coefficient (ICC) and plotted using the Bland-Altman method. Results and conclusions: RMR determined by the Cunningham equation from LBM assessed by DEXA showed the best agreement with CI (ICC= 0.709), followed by Harris-Benedict with MCT (ICC= 0.697) and Cunningham with LBM calculated by 5C (ICC= 0.693). The Cunningham and Harris-Benedict equation seems to be the most suitable for calculating RMR. However, more studies with larger samples are needed to obtain more accurate results.

Keywords: Amputees; Anthropometry; Disability; Energy expenditure; Indirect calorimetry.

INTRODUCCIÓN

La tasa metabólica en reposo (TMR) es el componente que representa la mayor demanda de energía del gasto energético total (GET) de un individuo¹ y es afectado por variables como edad, sexo, peso, estatura, composición corporal, consumo de cafeína, entre otras². El método de referencia para su medición es la Calorimetría Indirecta (CI), la cual mide el metabolismo energético mediante la medición del intercambio de gases en la respiración, a partir de la producción de dióxido de carbono (CO₂) y consumo de oxígeno (O₂) durante el reposo^{3,4}. La medición de la TMR puede acarrear algunas limitaciones como el sesgo de los datos si se utilizan ecuaciones de predicción o restricciones de costos, si se utilizan métodos como Agua Doblemente Marcada o CI⁵. Sin embargo, las ecuaciones de predicción son el método más comúnmente utilizado para la medición de la TMR en la práctica de evaluación nutricional por su bajo costo y fácil acceso.

Uno de los factores que incide en la TMR es la composición corporal, la cual se puede determinar por medio de diferentes modelos, siendo los más usados el modelo bicompartimental (masa grasa y masa magra [MM]) y el modelo antropométrico de fraccionamiento de la masa corporal en cinco componentes (5C) (masa grasa, masa muscular, masa ósea, masa residual y masa piel). En relación a la composición corporal, la masa magra es el componente más activo metabólicamente^{6,7,8}. El método de referencia para medir la composición corporal es la Absorciometría de doble energía de rayos X (DEXA), la cual utiliza un análisis a nivel molecular de los compartimentos de masa grasa, masa magra no ósea y contenido mineral óseo⁹. Sin embargo, por su alto costo y difícil acceso, el método de 5C se utiliza cada vez con mayor frecuencia. Este método es propuesto por William Ross y Deborah Kerr y fue desarrollado a partir de la disección de cadáveres, por lo que presenta el mejor nivel de validez dentro de los métodos antropométricos¹⁰. Adicionalmente, ha demostrado ser adecuado para la determinación de la composición corporal en diferentes poblaciones¹¹.

En deportistas con amputación, la medición de composición corporal y de TMR con fines de salud se hacen más importantes, debido a la tendencia en ganancia de peso que experimentan. Se ha reportado que las personas que sufren de una amputación incrementan su índice de masa corporal durante el primer año¹² y que la prevalencia de obesidad en esta población oscila entre el 37,9% y el 48%¹³. Por otra parte, los individuos que han sufrido de una amputación traumática experimentan periodos agudos de hipermetabolismo, catabolismo, alteraciones hormonales y del sistema inmunológico. Estos impactan en los procesos de rehabilitación; muchos de ellos empiezan a practicar un deporte como parte del proceso de rehabilitación y de reorganización de su proyecto de vida y es acá donde el consumo energético adecuado, es un componente crítico, tanto para su recuperación, como para su rendimiento deportivo¹⁴.

En los deportistas con amputación, la TMR calculada por ecuaciones de predicción suele ser sobrestimada entre un 5 y un 32%, de acuerdo con la localización de la amputación¹⁵, lo que constituye una dificultad para la atención nutricional. Por este motivo, surge la necesidad de que el personal de salud y del entrenamiento que trabajan con deportistas con amputación, tengan herramientas de evaluación de la TMR adecuadas. Lamentablemente es poca la evidencia disponible sobre métodos de medición válidos para población con amputación. Por ende, los resultados que se reporten en este estudio sumarán a la evidencia limitada en este tema específico. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo determinar la concordancia entre CI y ecuaciones de predicción para el cálculo de la TMR en deportistas con amputación de un miembro inferior en Bogotá en el 2022.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este es un estudio de enfoque cuantitativo, descriptivo, de corte transversal, el cual contó con la aprobación del comité de ética de la Universidad CES (Acta N°161). Todos los participantes firmaron consentimiento informado. Así

mismo, siguió los principios éticos de la investigación, y lo dispuesto en Resolución 8430, de octubre de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud en Colombia. La recolección de datos se realizó durante la fase de preparación general de los deportistas, entre los meses de enero, febrero y marzo de 2022.

Población

Se seleccionó la población mediante muestreo no probabilístico a conveniencia. La muestra se constituyó por 16 deportistas hombres de 18 a 50 años en condición de discapacidad (amputación de un miembro inferior), pertenecientes a 7 deportes (triatlón, powerlifting, tiro, vóleybol sentado, atletismo, esgrima y tenis de mesa) y que se encuentren en la ciudad de Bogotá. Como criterios de exclusión se consideró la existencia de enfermedad metabólica, restricción calórica, existencia de lesiones deportivas menores a 3 meses, no cumplimiento de cualquiera de las condiciones para la medición de calorimetría indirecta, amputación de miembro superior y amputación bilateral de miembros inferiores.

Evaluación de la composición corporal

La determinación de la composición corporal se realizó con el método de referencia DEXA y con el método antropométrico de fraccionamiento de masas en cinco componentes; ambas mediciones se realizaron el mismo día.

Método de referencia DEXA

La composición corporal de los sujetos se evaluó mediante Absorciometría de Rayos X (Hologic QDR 4500A), utilizando el protocolo de Krugh and Langaker¹⁶, donde cada sujeto se posicionó en decúbito supino sobre la base, los brazos en pronación estirados al lado del cuerpo y los pies en dorsiflexión, con el mínimo de ropa, sin ningún accesorio de metal y sin realizar movimientos durante todo el procedimiento. Con este método de medición se obtuvieron las siguientes variables de composición corporal: masa grasa, masa magra (agua, tejidos óseo, tejido muscular), CMO (contenido mineral óseo).

Método antropométrico de fraccionamiento de masas en cinco componentes

La toma de medidas antropométricas se realizó según protocolo de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK)¹⁷, por investigadores con nivel 2 perfil técnico completo. Se determinó la MM (masas piel, masa residual, masa ósea y masa muscular) como la suma de las masas diferentes a la masa grasa (MG). Se tomaron 25 medidas antropométricas para hallar composición corporal por modelo de cinco componentes (5C), las cuales incluyen medidas básicas, pliegues, diámetros, perímetros y alturas. Las mediciones se realizaron en el lado derecho del cuerpo; al presentarse amputación de miembro inferior derecho, este procedimiento se realizó en

el lado izquierdo. Se utilizó báscula para silla de ruedas con transmisión (Seca 676), tallímetro (Seca 213), cinta métrica (Lufkin 2 m), calibre de pliegues cutáneos (Harpender) y calibre de diámetros pequeños y grandes (Rosscraft). Se les indicó a los deportistas asistir en ayunas sin haber realizado ejercicio físico el día anterior.

Prueba de calorimetría indirecta para la determinación de la TMR con ergoespirometría

Se utilizó el equipo MetaLyzer 3B-R3 (ergoespirómetro) con una máscara facial que cubre boca y nariz para evitar el escape del aire. El procedimiento se realizó entre las 7:30 am y 10:00 am. Durante este tiempo se les indicó a los sujetos permanecer relajados y no pronunciar alguna palabra. Las recomendaciones previas a la prueba para los deportistas fueron: asistir en ayuno mínimo de cuatro horas, abstenerse de haber consumido alcohol y nicotina mínimo dos horas antes de la prueba, abstención del consumo de café o bebidas energizantes mínimo cuatro horas antes de la prueba y evitar realizar cualquier tipo de actividad física o entrenamiento vigoroso el día anterior.

La medición empezó con una sesión de 30 minutos de descanso en una camilla. Posterior a esto, se colocó la máscara facial y se inició la medición del consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono durante un periodo de 30 minutos. La TMR se calculó con la ecuación de Weir¹⁸ y se seleccionó la TMR media de 5 min en periodo estacionario¹⁹, descartando los primeros 5 min de toda la medición. Fue necesario la repetición de la medición en un deportista por encontrarse gran variabilidad en los datos y sin lograr periodo estacionario. Los cocientes respiratorios (RQ - Respiratory Quotient) siempre se encontraron en el rango de 0,7 y 1,0.

Para evitar errores en la medición se calibró el equipo antes de cada prueba, de acuerdo con las instrucciones de uso del fabricante.

Para controlar los sesgos de selección se garantizó una adecuada aplicación de los criterios de inclusión y de exclusión. Para el control de sesgos de información como diferencias de medición intra evaluador, se estandarizó la toma de datos antropométricos de los anotadores de acuerdo con el método ISAK. Se garantizó el cumplimiento de mantenimiento preventivo y calibración de los equipos, proceso que se hace anualmente.

Ecuaciones de predicción

La TMR fue calculada por las ecuaciones de predicción descritas en la tabla 1.

Análisis estadístico

El software estadístico SPSS versión 21 se utilizó para realizar los análisis. Las variables cuantitativas se expresaron en medias y desviaciones estándar. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la distribución de los datos. La comparación de los estimadores de la tasa metabólica en reposo entre la calorimetría indirecta y las diferentes

Tablas 1. Ecuaciones de predicción.

Autor	Descripción	Ecuación de predicción
Harris - Benedict ¹²⁸	Muestra de 136 hombres y 103 mujeres de 21 a 70 años, y 94 recién nacidos	$=66.473+13.7516(MCT)+5.0033(E)-6.755(A)$
Cunningham ²¹	Muestra de 120 hombres y 103 mujeres de 21 a 70 años; estimando MM a partir de variables de MCT y edad	$=500+22(MM)$
Mifflin- St. Jeor ¹³³	Muestra de 251 hombres y 247 mujeres de 19 a 78 años	$=9.99 \times MCT + 6.25 \times (E) - 4.92(A) + 5$
Schofield ³⁸	Muestra de 7173 personas de 114 estudios de 0 a > 60 años	$=11,472 \times MCT + 873,1$
Oxford ⁽³⁴⁾	Muestra de 10552 personas (5794 hombres y 4702 mujeres) de 166 estudios de 0 a > 60 años	18 a 30 años $=14,4 \times MCT + 313 \times (H) + 113$ 30 a 60 años $=11,4 \times MCT + 541 \times (H) + 137$

Nota. E: Estatura en centímetros; A: edad; H: Estatura en metros

¹ Ecuaciones fueron creadas a partir de la CI

² Ecuación creada a partir de datos de la ecuación de Harris - Benedict.

fórmulas se realizó mediante la prueba t student, se utilizaron intervalos de confianza del 95% y se consideró significativo un valor de $p < 0,05$. La concordancia entre la calorimetría indirecta y las ecuaciones de predicción se realizó mediante el coeficiente de correlación intraclass (CCI) y se utilizó la escala de Koo & Li²⁰ para su interpretación. Los datos se graficaron mediante el método de Bland-Altman.

Para el cálculo de la TMR mediante las ecuaciones de Harris Benedict, Mifflin - St. Jeor, Schofield y Oxford se usó la masa corporal total (MCT) y para la ecuación de Cunningham se usó la masa magra determinado por cinco componentes (5C) y la masa magra determinada por el DEXA.

RESULTADOS

Se evaluaron 16 deportista de sexo masculino, de los cuales seis presentan amputación transtibial derecha, cinco amputaciones transtibial izquierda, dos amputaciones transfemorales derechas y una amputación supracondilar derecha, una desarticulación de rodilla y una desarticulación de tobillo.

La tabla 2 presenta los resultados de las variables antropométricas y de composición corporal por cinco componentes de la muestra. Para las medidas de pliegue de pierna, perímetro de cabeza y pierna, y diámetro transversal del tórax, anteroposterior del tórax y humero, se presenta la mediana y rangos inter-cuartil 1 y 3, dado que presentaron distribución no paramétrica. De igual manera, se calculó la sumatoria de los 6 pliegues con media de 101,3 mm, donde la acumulación de grasa en el segmento central fue del 47,1%, en el segmento inferior del 21,3% y en el segmento superior del 31,6%.

La tabla 3 resume la caracterización de la composición corporal de los deportistas determinada por DEXA y por el método antropométrico de 5C. Adicionalmente se presenta la TMR diaria medida por CI a partir de la MCT y también por kilogramo de MCT y por kilogramo de MM.

La tabla 4 presenta los valores de la media y la diferencia media entre la TMR calculada por diferentes ecuaciones de predicción (en adelante "TMR de predicción") y la TMR medida por CI en los deportistas evaluados.

Tabla 2. Variables antropométricas (N= 16).

	Media/ME ¹	Desviación estándar /Q1-Q3 ²
Medidas básicas		
Masa corporal (Kg)	76,6	10,1
Talla (cm)	172	6,92
Talla sentado (cm)	91,4	3,43
Pliegues		
Tríceps (mm)	12,1	4,75
Subescapular (mm)	19,9	7,45
Supraespinal (mm)	18,7	8,56
Abdominal (mm)	29,0	8,77
Muslo medio (mm)	14,0	3,79
Pierna (mm)	7,60	7,05-12,2
Perímetros		
Cabeza (cm)	55,5	54,3-57,1
Brazo relajado (cm)	33,7	3,31
Brazo flexionado y contraído (cm)	35,3	3,30
Antebrazo (cm)	28,6	1,87
Tórax (cm)	102	7,26
Cintura (cm)	88,5	5,77
Caderas (cm)	98,1	6,73
Muslo máximo (cm)	59,9	4,41
Muslo medio (cm)	55,7	4,40
Pierna (cm)	37,5	35,2-39,2
Diámetros		
Biacromial (cm)	41,9	2,54
Transverso del tórax (cm)	31,5	30,6-32,9
Anteroposterior del tórax (cm)	20,1	18,5-22,0
Biiliocrestal (cm)	29,9	1,86
Húmero(cm)	7,15	6,77-7,23
Fémur (cm)	9,85	0,544
Composición corporal por cinco componentes		
Masa adiposa (Kg)	21,4	5,33
Masa muscular (Kg)	34,1	4,74
Masa residual (Kg)	9,18	1,59
Masa ósea (Kg)	8,47	1,08
Piel (Kg)	3,47	0,291

Nota. ¹Media/Mediana; ² Desviación estándar/percentil 25-percentil 75.

Las ecuaciones que menos diferencia presentaron en comparación con la CI es la de Harris-Benedict (35,9 Kcal/día), Cunningham utilizando MM estimada por 5C (64,9 Kcal/día), Cunningham utilizando MM estimada por DEXA (49,4 Kcal/día), Oxford (81 Kcal/día), y Schofield (0.929 Kcal/día).

Consecuentemente, no se encontraron diferencias significativas entre la TMR medida por CI y las ecuaciones previamente reportadas.

La tabla 4 también presenta la concordancia (CCI) entre la TMR calculada por CI y cada una de las ecuaciones de predicción. Los resultados mostraron que la ecuación de Cunningham, utilizando la MM determinada por DEXA, presentó el mejor nivel de concordancia con la CI, siendo esta moderada (CCI= 0,709; P= 0,011). La ecuación de Cunningham utilizando MM estimada a través de 5C también demostró una concordancia moderada (0,693; P= 0,012). Adicionalmente, la ecuación de Harris-Benedict

reporta moderada concordancia (CCI= 0,697; P= 0,015). Los resultados para la ecuación Mifflin St. Jeor (CCI= 0,609; P= 0,024), Schofield (CCI= 0,651; P= 0,030) y Oxford (CCI= 0,65; P= 0,019) también reportan concordancias moderadas con la CI.

La figura 1 muestra los resultados del gráfico de Bland Altman para las ecuaciones de Harris-Benedict, Mifflin St. Jeor y Schofield, Oxford y Cunningham con MM por DEXA y Cunningham con MM por 5C. En la figura se observa los límites inferiores y superiores para hallar la concordancia entre la calorimetría indirecta y las ecuaciones de predicción antes mencionadas. Los gráficos de Bland Altman indican que el 95% de los datos se encuentran dentro de los límites de acuerdo. Sin embargo, estos límites para todas las ecuaciones analizadas son muy amplios oscilando aproximadamente entre 550 y -400 kcal de diferencia entre las ecuaciones y la CI.

Tabla 3. Caracterización de la muestra (N= 16).

	Media +/- DE	Min	Max
Edad (años)	34,5 ± 6,83	24,9	49,5
Masa magra DEXA (kg)	55,9 ± 5,37	47,1	67,4
Grasa corporal DEXA (%)	25,6 ± 4,72	19,5	34,2
Masa magra 5C (kg) ¹	55,2 ± 6,38	41,9	67,5
Grasa corporal 5C (%) ²	27,7 ± 4,49	19,3	37,2
TMR (Kcal / día) ³	1780 ± 246	1421	2316
TMR/MCT (Kcal / kg / día) ³	23,4 ± 2,86	20,2	31,0
TMR/MM (Kcal / kg / día) ³	31,8 ± 2,96	27,3	39,4

Nota. TMR, gasto energético en reposo; MCT, masa corporal total; MM, masa magra

¹Σ (masa muscular, ósea, residual y piel); ²Calculado a partir de la diferencia de MCT y MM; ³Datos medidos por calorimetría indirecta Conforme a la distribución de los datos, los valores están expresados en media y desviación estándar (Media ± DE).

Tabla 4. Coeficientes de correlación intraclass (CCI) y estadísticas de prueba de equivalencia entre modelos de predicción y tasa metabólica en reposo (TMR) (N= 16).

	Media +/- DE	Diferencia	95% de intervalo de confianza de la diferencia		CCI
Calorimetría indirecta - TMR	1780 ± 245				
Harris - Benedict (Kcal / día)	1744 ± 182	35,9 ± 210	-76,0	147	0,697
Cunningham (Kcal / día)					
MM 5C	1715 ± 140	64,9 ± 191	-36,9	166	0,693
MM DEXA	1731 ± 118	49,4 ± 182	-47,6	146	0,709
Mifflin - St. Jeor (Kcal / día)	1672 ± 146	108 ± 205	-1,53	216	0,609
Schofield (Kcal / día)	1779 ± 143	0,929 ± 208	-109	111	0,651
Oxford	1699 ± 164	81,0 ± 207	-29,7	191	0,653

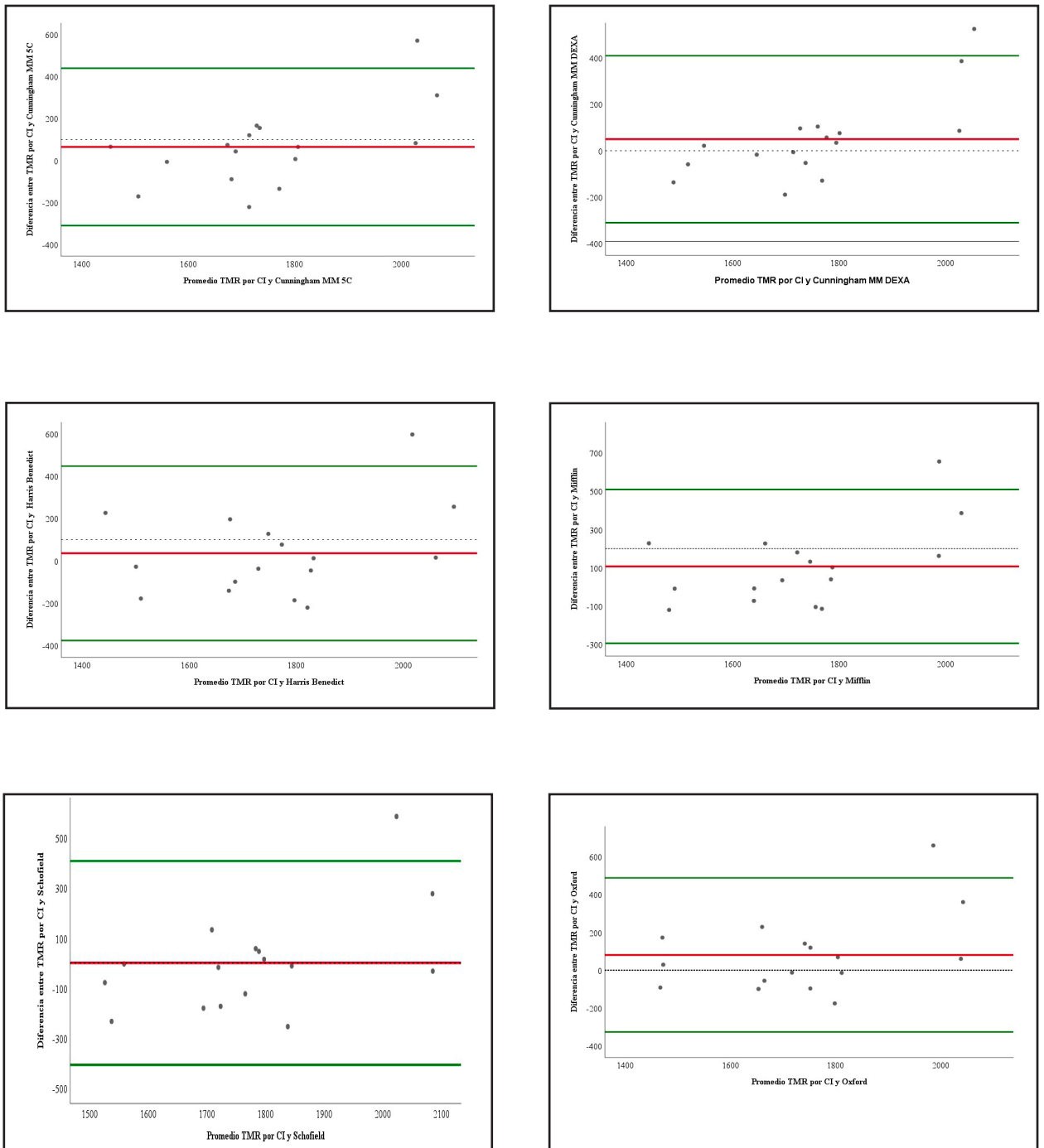


Figura 1: Los gráficos de Bland Altman mide el nivel de sesgo de la predicción de la TMR por calorimetría indirecta y ecuaciones de predicción, donde las líneas superiores e inferiores representan los límites de las concordancias (intervalo de confianza de 95%), (A) representa la ecuación de Cunningham con MM por 5C, (B) representa la ecuación de Cunningham con MM DEXA (C,D,E,F) representa la ecuación de las ecuaciones de Harris Benedict, Mifflin St Jeor, Schofield y Oxford respectivamente.

DISCUSIÓN

La determinación de los requerimientos energéticos de los deportistas con discapacidad ha sido calculada con el mismo método que se utiliza en deportistas convencionales. Por lo cual, esta investigación busca determinar la concordancia de las ecuaciones de predicción con la CI y a partir de estos resultados aportar evidencia en la determinación de la tasa metabólica en reposo en deportistas con discapacidad, específicamente en los deportistas con amputación de un miembro inferior.

Al comparar los valores de la TMR medida por CI y calculada por las ecuaciones de predicción estudiadas en esta investigación, se encontró que la TMR calculada con la ecuación de Cunningham utilizando la MM determinada por DEXA presentó la concordancia más alta (CCI= 0,709); este es un valor de concordancia moderada. Es importante señalar que se midió la TMR por CI y la MM por DEXA para incluir en la ecuación de Cunningham, ambos métodos considerados como los métodos de referencia a nivel mundial para realizar estas mediciones, convirtiéndola en una fortaleza de este estudio. Al evaluar la TMR con CI, se obtuvo una media de 1780 ± 245 Kcal; la desviación estándar es más amplia con respecto a las ecuaciones evaluadas en este estudio. Lo anterior podría explicarse en parte, debido a que la TMR es una medida muy sensible a diferentes variables como la composición corporal, el ejercicio físico, el consumo de cafeína, el consumo de nicotina, la temperatura, el porcentaje de amputación, entre otras².

La baja diferencia y moderada concordancia de la ecuación de Cunningham frente a la CI pueden atribuirse a que esta ecuación es la única que en su desarrollo y aplicación utiliza valores de masa magra²¹. Este hallazgo se correlaciona con la composición corporal, dado que es bien sabido que el gasto de energía se encuentra directamente relacionado con la masa metabólicamente activa. En este estudio la media MM fue $55,9 \pm 5,37$ Kg, dato más alto si se compara con lo reportado en estudios similares con población en discapacidad, el cual oscila entre 39,9 a 53,2 kg de MM^{22,23,24}; esta diferencia puede explicarse dado que la mayoría de los estudios encontrados incluyen deportistas con parálisis, paraplejía o tetraplejía y no con amputación de una pierna.

Al calcular la TMR a partir de la ecuación de Cunningham utilizando la MM obtenida por el método antropométrico de 5C, la concordancia es moderada en referencia al DEXA (CCI= 0,693). Esto es de esperarse dado que no se presentaron diferencias significativas entre la masa magra evaluada por estos dos métodos (diferencia media 0,701 Kg; $p=0,379$), lo que demuestra que el uso de la antropometría, específicamente el modelo antropométrico de 5C, resulta ser un método confiable para calcular la masa magra cuando el uso del método de referencia no es posible. Lo anterior tiene amplia aplicabilidad, debido a que en la práctica deportiva es necesario acudir a procedimientos que se puedan aplicar en campo, de forma periódica, sin necesidad de tener que asumir grandes costos.

Estos resultados coinciden con los datos reportados por Oshima et al²⁵, quien aclaró la contribución de la MM en el gasto energético. En una muestra de 57 deportistas masculinos evaluados mediante CI y DEXA, se estableció que la MM es el principal determinante de la TMR con una correlación significativa ($r= 0,76$, $P<0,001$). De acuerdo a esto, la tasa metabólica en reposo se ve disminuida a medida que las personas aumentan de peso a partir de la masa grasa^{25,26,27}. Estos resultados también coinciden con el estudio reciente de Broad et al.²², el cual evaluó la concordancia de la TMR medida por CI y por ecuaciones de predicción (Chun, Cunningham, Harris-Benedict, Mifflin, Nightingale y Gorgey, y Owen) en 14 deportistas de rugby en sillas de ruedas con lesión de medula espinal cervical, encontraron una TMR media de 1735 ± 257 Kcal/día y la ecuación que demostró la mejor concordancia fue la de Cunningham (CCI= 0,92). Si bien los estudios de ecuaciones de predicción que se encuentran en la literatura no son aplicables a la población deportista con amputación, este estudio demostró que el uso de esta ecuación es una adecuada opción para hallar la TMR.

El estudio clásico de Harris - Benedict sigue estando vigente para la determinación de la TMR, ya que se reportó una correlación alta frente a la CI en población sana $r= 0,8^{28}$. En el presente estudio, la fórmula de Harris - Benedict tuvo una concordancia moderada (CCI= 0,697 y diferencia media de 35,9 Kcal/día), lo que concuerda con otros estudios en deportistas paralímpicos como es el de Herrera et al.²⁷, quien evaluó la concordancia que tiene la ecuación de Harris - Benedict para medir la TMR en quince nadadores (con siete alteraciones locomotoras diferentes) de los cuales uno tenía amputación transtibial. La media de TMR fue de 1529,58 Kcal/día y la diferencia media frente CI fue de $34,24 \pm 241,02$, con una concordancia de CCI= 0,741. Así mismo, Balci et al.²⁹, evaluó la TMR por medio de la CI en 97 personas (deportistas convencionales y personas sedentarias) entre mujeres y hombres utilizando la ecuación de Harris - Benedict. Este estudio encontró una concordancia baja (CCI= 0,524) pero una diferencia media de $-8,9 \pm 257,5$ Kcal/día. Por otra parte, Howell et al. [30] reportó una concordancia baja CCI= 0,179 con diferencia media 435 ± 490 Kcal/día³⁰, cuando comparó la TMR medida y predicha en 100 personas, de las cuales la mitad presentaban alguna amputación de miembro inferior. Al comparar el valor de la CCI en estos estudios se encontró que estos valores son inferiores al encontrado en el presente estudio. La ecuación de Harris - Benedict utiliza las variables peso, talla y edad es una de las más utilizadas a nivel práctico para la determinación de la TMR, pero los estudios publicados reportan resultados inconsistentes.

Otra de las ecuaciones evaluadas es la de Schofield, la cual es la ecuación recomendada por la FAO/OMS para el cálculo de TMR para la población colombiana³¹. Los datos encontrados en la presente investigación revelaron una concordancia moderada CCI= 0,651 y una diferencia media con CI de menos de una caloría. Estos resultados

difieren de los publicados por Xue et al.³², quién, si bien reportó una diferencia media de 28 ± 254 Kcal/día, estimó una correlación de $r = 0,507$ entre ambos métodos de medición. No se encontraron otros estudios que evaluaran la precisión de esta ecuación en población deportista adulta. Por lo anterior, se necesitan realizar más investigaciones que incluyan personas sedentaria y físicamente activas, que permitan confirmar la aplicabilidad de esta ecuación.

También se analizó la ecuación de Mifflin- St. Jeor, la cual fue desarrollada por medio de CI; se reporta un coeficiente de determinación de $r^2 = 0,71$ entre ambos instrumentos³³. Se encontró una concordancia moderada entre esta ecuación y la CI (CCI= 0,609) y una diferencia media de 108 Kcal/día utilizando MCT. Por su parte, Broad et al.²² obtuvo una concordancia alta con esta misma ecuación CCI= 0,92 y límites de acuerdo de -90 y -583 en deportistas con lesión medular. Aunque los hallazgos de este estudio no son similares, se puede evidenciar que Mifflin – St. Jeor es una ecuación válida para deportistas con discapacidad con lesión medular. Sin embargo, para deportistas con amputación es preferible seleccionar las ecuaciones de Cunningham y Harris – Benedict, dado los valores de concordancia reportados frente a la CI y a la diferencia con este instrumento.

Por último, este estudio evaluó la ecuación de Oxford, la cual fue una recopilación de la base de datos de Schofield en los que se excluyó a individuos italianos con TMB extraordinariamente alta y se incluyó a individuos nativos de zonas tropicales³⁴. En un reciente estudio de Verdejo & Galgani³⁵ determinaron, a partir de nuevos análisis matemáticos entre varias ecuaciones, que la ecuación de Oxford es la que mejor validez presenta en población adulta. Estos mismos autores en un estudio anterior sugieren que esta ecuación presenta una validez superior cuando se compara con TMR medida y corregida, en conjunto con las ecuaciones Mifflin y Muller al presentar una diferencia absoluta igual o menor a 200 kcal/día entre la TMR medida y predicha para más del 60% de los individuos estudiados. Sin embargo, es la ecuación de Oxford con mejor validez en hombres, por tanto es ofrecida como una alternativa para utilizar en población sana³⁶. En otro estudio Van Hooren et al³⁷ determinaron el gasto energético de 21 ciclistas profesionales, mostrando una TMR medida por CI más alta que las calculadas por las ecuaciones de Oxford y Ten Haalf, con un sesgo medio de 263 kcal y un coeficiente de determinación de $r^2 = 0,584$ entre CI y Oxford. Esto probablemente tenga relación con la composición corporal con predominio de MLG, ya que la población del estudio fueron deportistas de alto rendimiento, mientras que la ecuación de Oxford se derivó en población no deportista. Para este caso, se obtuvo una diferencia media con CI de 81,0 Kcal y una concordancia moderada (CCI= 0,653) muy similar a los resultados de Schofield.

Es importante referenciar que la ecuación de Oxford es poco popular en Colombia, y son escasos los estudios en población deportista. Por otro lado, no se encontraron

estudios con población en situación de discapacidad.

Los hallazgos generales del presente estudio arrojan límites de acuerdo muy amplios en todas las ecuaciones, superando las 300 y -300 kcal/día del límite superior e inferior respectivamente. Adicionalmente, los rangos amplios de los intervalos de confianza de las diferencias medias revelan la necesidad de continuar aumentando los estudios en esta población, con una muestra superior a la de esta investigación. Lo anterior permitirá reducir los límites de acuerdo de la TMR y así mejorar la precisión de esta estimación. Asimismo, este estudio confirma la necesidad de crear nuevas ecuaciones de predicción de la TMR, que tengan en cuenta la variabilidad fisiológica específica de los deportistas con discapacidad, específicamente con amputación. Esto último, porque las ecuaciones actuales, como nos demuestra este estudio, indican sobreestimación y subestimación de la TMR.

Es importante resaltar que las ecuaciones evaluadas fueron desarrolladas a partir de población sana y no fueron creadas para población deportista, lo que puede explicar la alta variabilidad de los datos arrojados. Adicionalmente, vale la pena señalar que una de las limitaciones de este estudio es el alcance de la muestra y la selección única de hombres, lo cual limita la posibilidad de generalizar los hallazgos a una población de deportistas femeninas. Por lo tanto, se propone, en estudios posteriores, aumentar el tamaño de la muestra e incluir población femenina con el fin de obtener resultados más precisos.

CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que la mejor concordancia de TMR de deportistas con amputación de un miembro inferior fue la ecuación de Cunningham usando MM evaluada por DEXA.

La TMR determinada por Harris & Benedict, Schofield, Mifflin-St Jeor, Cunningham y Oxford, no presentaron diferencias estadísticamente significativas con la TMR medida por CI. Es decir, que los resultados de estas ecuaciones no son estadísticamente diferentes de los obtenidos por la CI.

Los amplios límites de acuerdo indican una alta variabilidad en los resultados, lo cual se podría reducir al aumentar la muestra estudiada.

Agradecimientos. Al Centro de Ciencias del Deporte del Ministerio del Deporte por el apoyo en la ejecución de las mediciones y en especial a Paola Hoyos Mora nutricionista de esta misma entidad. A la Dirección de Veteranos de Rehabilitación Inclusiva por el acceso a los deportistas para la realización de este estudio y al Centro de Estudios para la Medición de la Actividad Física de la Universidad del Rosario

REFERENCIAS

1. Broad E, editor. *Sports Nutrition for Paralympic Athletes*. 1st ed. Boca Raton. CRC Press; 2019; 229 p.
2. Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Energy and

- Protein Requirements (1981: Rome I, Nations F and AO of the U, Organization WH, University UN. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation [held in Rome from 5 to 17 October 1981] [Internet]. World Health Organization; 1985 [cited 2022 Jul 9]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/39527>
3. Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: A review. *Metabolism*. 1988 Mar 1; 37(3): 287-301.
4. Achamrah N, Delsoglio M, De Waele E, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry: The 6 main issues. *Clin Nutr*. 2021 Jan; 40(1): 4-14.
5. Raquel Blasco Redondo. Energy expenditure at rest. Evaluation methods and applications. *Spanish Journal of Community Nutrition*. 2015 Mar 1; (2): 243-251.
6. Scaramella J, Kirihennedige N, Broad E. Key Nutritional Strategies to Optimize Performance in Para Athletes. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2018 May 1; 29(2): 283-298.
7. Nelson KM, Weinsier RL, Long CL, Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *Am J Clin Nutr*. 1992 Nov; 56(5): 848-856.
8. Wang Z, Ying Z, Bosty-Westphal A, Zhang J, Heller M, Later W, et al. Evaluation of Specific Metabolic Rates of Major Organs and Tissues: Comparison Between Nonobese and Obese Women. *Obesity (Silver Spring)*. 2012 Jan; 20(1): 95-100.
9. Lorente Ramos RM, Azpeitia Armán J, Arévalo Galeano N, Muñoz Hernández A, García Gómez JM, Gredilla Molinero J. Dual energy X-ray absorptiometry. Fundamentals, methodology and clinical applications. *Radiology*. 2012; 54(5): 410-423.
10. Ross WDK. Fraccionamiento de la masa corporal: un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva. *Apunts Med Esport*. 1991 Sep 1; 28(109): 175-188.
11. Kerr D. An anthropometric method for fractionation of skin, adipose, bone, muscle and residual tissue masses, in males and females age 6 to 77. Thesis Publ. 1988; (April): 1-140.
12. Rosenberg DE, Turner AP, Littman AJ, Williams RM, Norvell DC, Hakimi KM, et al. Body mass index patterns following dysvascular lower extremity amputation. *Disabil Rehabil*. 2013 Jul; 35(15): 1269-1275.
13. Kurdibaylo SF. Obesity and metabolic disorders in adults with lower limb amputation. *J Rehabil Res Dev*. 1996 Oct; 33(4): 387-394.
14. Robins K, Stankorb SM, Salgueiro M. Energy Expenditure in Acute Posttraumatic Amputation. *Nutrition in Clinical Practice*. 2013; 28(6): 758-765.
15. Buchholz AC, Pencharz PB. Energy expenditure in chronic spinal cord injury. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2004 Nov; 7(6): 635-639.
16. Krugh M, Langaker MD. Dual Energy X-ray Absorptiometry. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 [cited 2021 Mar 17]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519042/>
17. Isak-La Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría. [cited 2023 Apr 15]. Available from: <https://www.isak.global/>
18. Weir JBDB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*. 1949 Aug; 109(1): 1-9.
19. Borges JH, Guerra-Júnior G, Gonçalves EM. Methods for data analysis of resting energy expenditure measured using indirect calorimetry. *Nutrition*. 2019 Mar 1; 59: 44-49.
20. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016 Jun; 15(2): 155-163.
21. Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr*. 1980 Nov; 33(11): 2372-2374.
22. Broad EM, Newsome LJ, Dew DA, Barfield JP. Measured and predicted resting energy expenditure in wheelchair rugby athletes. *J Spinal Cord Med*. 2019 Apr 24; 43(3): 388-397.
23. Chun SM, Kim HR, Shin HI. Estimating the Basal metabolic rate from fat free mass in individuals with motor complete spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2017 Sep; 55(9): 844-847.
24. Innocencio da Silva Gomes A, dos Santos Vigário P, Mainenti MRM, de Figueiredo Ferreira M, Ribeiro BG, de Abreu Soares E. Basal and resting metabolic rates of physically disabled adult subjects: a systematic review of controlled cross-sectional studies. *Ann Nutr Metab*. 2014; 65(4): 243-252.
25. Oshima S, Miyauchi S, Kawano H, Ishijima T, Asaka M, Taguchi M, et al. Fat-free mass can be utilized to assess resting energy expenditure for male athletes of different body size. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 2011; 57(6): 394-400.
26. Ravussin E, Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr*. 1989 May; 49(5 Suppl): 968-975.
27. Herrera-Amante CA, Ramos-García CO, Alacid F, Quiroga-Morales LA, Martínez-Rubio AJ, Bonilla DA. Development of alternatives to estimate resting metabolic rate from anthropometric variables in paralympic swimmers. *J Sports Sci*. 2021 Sep; 39(18): 2133-2143.
28. Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1918 Dec; 4(12): 370-373.
29. Balci A, Badem EA, Yılmaz AE, Devrim-Lanpir A, Akinoğlu B, Kocahan T, et al. Current Predictive Resting Metabolic Rate Equations Are Not Sufficient to Determine Proper Resting Energy Expenditure in Olympic Young Adult National Team Athletes. *Front Physiol*. 2021 Feb 4; 12: 625370.
30. Howell A, Pruziner A, Andrews A. Use of predictive energy expenditure equations in individuals with lower limb loss at seated rest. *J Acad Nutr Diet*. 2015 Sep; 115(9): 1479-1485.
31. Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes (RIEN) [Internet]. 2016. Available from: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203803%20de%202016.pdf
32. Xue J, Li S, Zhang Y, Hong P. Accuracy of Predictive Resting-Metabolic-Rate Equations in Chinese Mainland Adults. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Aug; 16(15): 2747.
33. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr*. 1990 Feb; 51(2): 241-247.
34. Henry CJK. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public*

Health Nutr. 2005 Oct; 8(7A): 1133-1152.

35. Fernández-Verdejo R, Galgani JE. Predictive equations for energy expenditure in adult humans: From resting to free-living conditions. *Obesity (Silver Spring)*. 2022 Aug; 30(8): 1537-1548.
36. Galgani JE, Castro-Sepulveda M, Pérez-Luco C, Fernández-Verdejo R. Validity of predictive equations for resting metabolic rate in healthy humans. *Clin Sci (Lond)*. 2018 Aug 31; 132(16): 1741-1751.
37. Van Hooren B, Cox M, Rietjens G, Plasqui G. Determination of energy expenditure in professional cyclists using power data: Validation against doubly labeled water. *Scand J Med Sci Sports*. 2023 Apr; 33(4): 407-419.
38. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985; 39 Suppl 1: 5-41.