

Article

Ecuación para Analizar la Potencia Máxima en el Medio Acuático: Una Alternativa para los Deportistas de Remo Olímpicos

Paulo Francisco de Almeida-Neto¹, Luíz Felipe da Silva¹, Dihogo Gama de Matos^{2,3}, Ian Jeffreys⁴, Tatianny de Macedo Cesário¹, Rui Barboza Neto¹, Wagner de Almeida Barbosa⁵, Felipe J. Aidar^{3,6,7,8}, Paulo Moreira Silva Dantas¹ y Breno Guilherme de Araújo Tinoco Cabral¹

¹Department of Physical Education, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, Brazil

²Research Center in Sports Sciences, Health Sciences and Human Development, CIDESD, Trás dos Montes and Alto Douro University, Vila Real, Portugal

³Group of Studies and Research of Performance, Sport, Health and Paralympic Sports GEPEPS, The Federal University of Sergipe—UFS, São Cristovão, Sergipe, Brazil

⁴Faculty of Life Sciences and Education, University of South Wales, Pontypridd, Wales, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

⁵Department of Theoretical and Experimental Physics—Federal University of Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, RN, Brazil

⁶Department of Physical Education, Federal University of Sergipe—UFS, São Cristovão, Sergipe, Brazil

⁷Graduate Program in Master's Level at Department of Physical Education, Federal University of Sergipe—UFS, São Cristovão, Sergipe, Brazil

⁸Program of Physiological Science, Federal University of Sergipe—UFS, São Cristovão, Sergipe, Brazil

RESUMEN

Objetivo: Desarrollar una ecuación que proporcione la potencia pico (PP) a través de un estímulo específico realizado en un medio acuático, así como correlacionar variables morfológicas, antropométricas y de fuerza con el rendimiento del remo. **Métodos:** La muestra estuvo formada por 16 deportistas jóvenes de remo de élite de ambos sexos (15.7 ± 1.21 años). Se verificó la fuerza de miembros superiores e inferiores. Para analizar la PP, se realizó una prueba de Sprint de 100 m en un ergómetro tipo remo indoor, y después de un descanso de 72 horas, la prueba se repitió en un ambiente acuático en una embarcación equipada con un sistema de posicionamiento global (GPS). La composición corporal se analizó examinando la densitometría ósea con una fuente de rayos X y la maduración se verificó mediante antropometría. **Resultados:** Las pruebas de sprint acuático y remo interior mostraron una confiabilidad significativa ($ICC = 0.695$; $p = 0.0007$). La PP acuática mostró confiabilidad con el adquirido en el remo indoor ($ICC = 0.897$; $p < 0.0001$) y se relacionó con la maduración ($p < 0.05$). La morfología, antropometría y fuerza de los miembros superiores se relacionaron con el sprint y la fuerza pico en ambas pruebas ($p < 0.05$). **Conclusión:** La ecuación para el PP en el medio acuático presentada por el presente estudio es altamente confiable con un ergómetro digital de interior. **Disponibilidad de datos:** Todos los datos relevantes están dentro del artículo y están los archivos de información de respaldo. **Financiamiento:** Los autores no recibieron financiamiento específico para este trabajo. **Conflictos de intereses:** los autores han declarado que no existen conflictos de intereses.

INTRODUCCIÓN

El deporte olímpico de remo se disputa en un recorrido de 2000 m y requiere una combinación de potencia aeróbica y anaeróbica [1]. Los tiempos para completar el recorrido están influenciados por factores que incluyen el número de tripulantes, la clasificación de la competencia (peso abierto o peso ligero), remo corto (2 remos) o remo largo (1 remo) y el sexo de los participantes [1]. El remo es fisiológicamente extremadamente exigente, implica un alto grado de potencia y resistencia, al mismo tiempo que requiere que los remeros sean técnicamente muy competentes [2]. En última instancia, el objetivo es completar el curso en el menor tiempo posible y esto requiere la capacidad de ejercer grandes fuerzas durante un período sostenido [1].

Es importante destacar que el remo es una modalidad que interactúa directamente con el medio acuático y, por lo tanto, depende de cómo las capacidades de un remero interactúan con el medio ambiente para producir una propulsión eficaz [3,4]. En este sentido, la fuerza que ejerce el remero contra la resistencia al agua es una realidad constante del deporte, y la prescripción de entrenamiento debe ser precisa y tener en cuenta todas las variables que inciden en el rendimiento del remo (es decir, características físicas, técnicas y ambientales). Por esta razón, se recomiendan pruebas específicas que proporcionen la mejor base posible para prescribir el entrenamiento de atletas y equipos de remo [5].

Así, la realización de simulaciones de las competiciones oficiales del deporte puede ser de gran valor para la evaluación y el avance del rendimiento de los deportistas [2,6]. Además, dada la importancia de las capacidades de fuerza, las variables antropométricas (es decir, el peso, la altura, la longitud de las piernas y la envergadura del cuerpo) y la fuerza muscular del tronco y las extremidades superiores e inferiores también se asocian con el desempeño de los remeros [2,6-8]. Para apoyar aún más esta relación, Durkalec-Michalski y cols. [9], afirmaron que la potencia muscular y la masa corporal son determinantes para el rendimiento específico de los remeros durante las pruebas y competiciones oficiales.

Las variables antropométricas (es decir, altura, longitud de las extremidades, etc.) no pueden ser moduladas por el entrenamiento deportivo [2,5-9]. Sin embargo, estas variables influyen en las “palancas biomecánicas” del cuerpo humano durante la producción de fuerza muscular [2,5-9]. Este hecho puede resultar interesante durante el proceso de selección de jóvenes talentos deportivos en relación con la especificidad de la producción de fuerza en el remo [2,5-9].

Además, el análisis del rendimiento específico en un medio acuático también puede ser útil durante el proceso de selección de talentos, así como para el entrenamiento diario de los deportistas de remo [10,11]. Una herramienta que se utiliza para ello es un ergómetro digital indoor, ya que se considera de alto estándar para evaluaciones específicas en la modalidad: es fácil de usar, puede simular la resistencia al agua, proporciona datos sobre el tiempo de prueba en segundos y potencia máxima (es decir, consumo de energía por segundo en vatios) y algunos modelos incluso logran simular el equilibrio de las embarcaciones [12-14]. Entre los datos que aporta el equipo, la potencia pico es utilizada por los entrenadores de remo como parámetro para el seguimiento y prescripción del entrenamiento en la modalidad, ya que se entiende que cuanto más cerca esté un deportista de su pico de fuerza máxima, mejor será la calidad del desplazamiento de la embarcación en un medio acuático [15,16].

En este sentido, es necesario trazar el perfil de remada individual de cada sujeto para evaluar el rendimiento y prescribir intervenciones de entrenamiento adecuadas. Cabe mencionar que los remeros pueden clasificarse según las características del pico de potencia desarrollado por la fuerza generada a través del movimiento de las palas, o pueden clasificar patrones de remada en 'stroke' (caracterizado por generar un pico de mayor fuerza en la primera mitad del impulso) y en 'bow' (caracterizado por generar un pico de fuerza mayor en la segunda mitad del impulso) [9,11]. Por tanto, cada perfil exigirá un énfasis diferente en relación con el enfoque del entrenamiento (es decir, aspectos técnicos, biomecánicos, desarrollo de la fuerza, etc.) [9,11].

Por otro lado, la probabilidad de que la potencia pico generada en el remo indoor sobrestime o subestime el esfuerzo real realizado en el medio acuático puede llevar a una clasificación errónea del perfil de remo de los atletas [6,17]. Por lo tanto, aún no está claro en la literatura cuál es la mejor manera de estimar la potencia máxima en un ambiente acuático [11]. Así, esta investigación tuvo como objetivo desarrollar una ecuación para proporcionar la potencia pico en remeros a través de un estímulo específico realizado en un medio acuático, así como correlacionar variables morfológicas, antropométricas y de fuerza con el desempeño de los remeros. Por lo tanto, el presente estudio planteó la hipótesis de que podría ser posible medir la potencia máxima en un ambiente acuático a través de un modelo matemático basado en el tiempo de desplazamiento de la embarcación de los remeros.

MÉTODOS

Sujetos

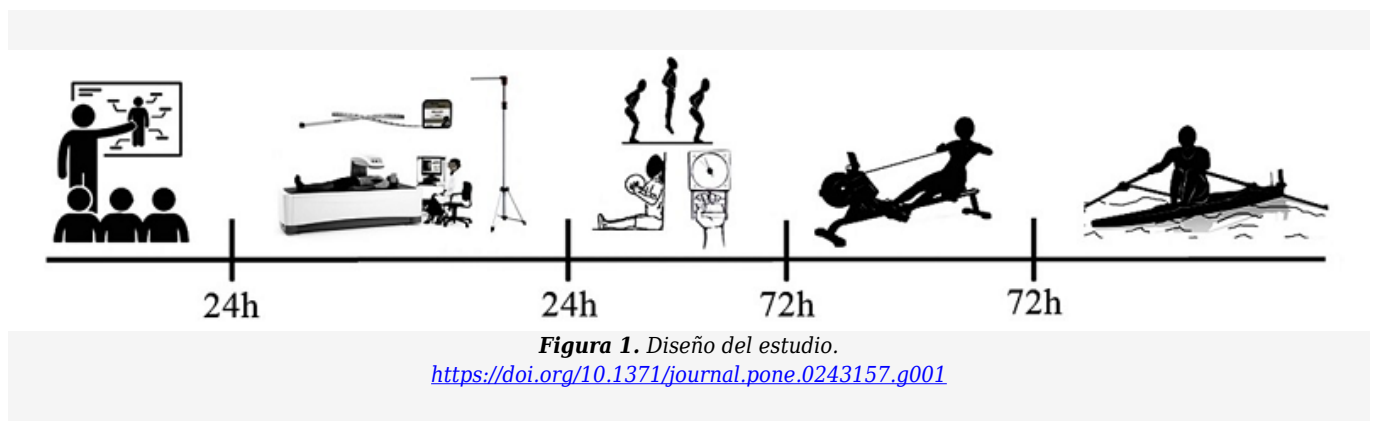
El estudio fue un estudio transversal con una muestra de 16 jóvenes remeros (competidores de nivel nacional del equipo de nuevos talentos incluidos en el top 20 en las posiciones entre el 7° y 12° lugar (final B) y entre el 13° y 19° lugar (final C)) de ambos sexos con una edad media de 15.7 ± 1.21 (81% hombres y 19% mujeres). Utilizando los estudios de Riechman y cols., [18] y Cataldo y cols., [19], el número de muestra se estableció a priori (considerando la variable de rendimiento de la prueba de sprint) adoptando un tamaño del efecto = 0.80, una $\alpha = 0.05$ y una $\beta = 0.80$. Para una muestra de 16 sujetos, la potencia muestral calculada fue 0.88.

Ética

La investigación fue analizada y aprobada por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Federal de Rio Grande del Norte (CAAE: 15865619.7.0000.5537. Opinión: 3.552.010), que sigue respetuosamente los principios éticos contenidos en la Declaración de Helsinki. Se obtuvo el consentimiento informado (TALE e ICF) de los participantes y sus respectivos tutores legales de acuerdo con la Resolución 466/12 del Ministerio de Salud (Brasil). Este estudio cumplió con todos los requisitos y estándares internacionales de la lista de verificación STROBE para estudios de observación [20].

Procedimientos

La Fig. 1 informa, a través de ilustraciones, el segmento que ocurrió en el diseño del estudio. En este sentido, la recolección de datos se llevó a cabo durante 5 días de acuerdo con los siguientes temas: (i) explicaciones sobre la investigación; (ii) pruebas antropométricas y de composición corporal; (iii) pruebas neuromotoras referentes a la fuerza muscular de los miembros superiores e inferiores (iv) prueba realizada en un ergómetro digital de remo indoor, (v) realización del protocolo de rendimiento específico propuesto por la presente investigación.



Cabe mencionar que los deportistas no tuvieron acceso a sus resultados durante la investigación. Por tanto, los protocolos fueron realizados por tres evaluadores diferentes. Todos los evaluadores eran profesionales de la educación física con experiencia en la aplicación de las pruebas y tenían formación previa por la Confederación Brasileña de Remo. De esta forma, el evaluador "A" realizó las pruebas de antropometría y fuerza muscular, el evaluador "B" realizó la prueba de composición corporal y el evaluador "C" aplicó las pruebas de rendimiento específicas.

Análisis de antropometría y composición corporal.

Las evaluaciones antropométricas se basaron en el protocolo ISAK y fueron realizadas por un antropometrista experimentado (*International Society of the Advancement of Kinanthropometry*) [21]. La masa corporal se midió mediante una balanza digital con una variación de 0.10 kg (FILIZOLA®, São Paulo, Brasil). La altura de pie y de sentado se evaluó con un estadiómetro con una precisión de 0.01 cm (SANNY®, São Paulo, Brasil). El perímetro se midió con cinta antropométrica (SANNY®, São Paulo, Brasil). La edad cronológica en años se calculó a partir de la fecha de nacimiento del sujeto analizado en relación al día de la evaluación [5]. La composición corporal se analizó mediante densitometría de emisión de rayos X de energía dual (DXA) (LUNAR®/GE PRODIGY — LNR 41,990, Washington, Estados Unidos), este procedimiento se considera el estándar de oro para medir la composición corporal [16].

Evaluación de la maduración somática.

Recientemente, nuestro grupo ha demostrado que las etapas de la pubertad influyen en la producción de fuerza muscular en atletas jóvenes de remo [3]. Dada la suposición, la maduración podría ser una variable significativa para el análisis de la potencia pico en el presente estudio. De esta manera, en el presente estudio se calculó la maduración somática utilizando las ecuaciones predictivas de Mirwald y cols., [22]. La fórmula mide y clasifica la velocidad pico de altura (PHV) en relación con la edad cronológica, utilizando variables antropométricas:

$$\text{PHV in male sex} = -9.236 + [0.0002708 * (\text{Leg length} * \text{Trunk Height})] + \\ [-0.001663 * (\text{Age} * \text{Leg length})] + [0.007216 * (\text{Age} * \text{Trunk Height})] \\ + [0.02292 * (\text{Weight} / \text{Stature}) * 100]$$

$$\text{PHV in female sex} = -9.376 + [0.0001882 * (\text{Leg length} * \text{Trunk Height})] + \\ [0.0022 * (\text{Age} * \text{Leg length})] + [0.005841 * (\text{Age} * \text{Trunk Height})] \\ - [0.002658 * (\text{Age} * \text{Weight})] + [0,07693 * (\text{Weight} / \text{Stature}) * 100]$$

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.t001>

Una vez que se estiman los años desde el PHV, representando un estado de la madurez, los individuos se pueden agrupar en tres estados de madurez: 1) Pre-PHV = donde el estado de madurez es <-1; 2) circum-PHV = estado de madurez >-1 y <+1; y 3) Post-PHV = estado de madurez >+1. El método tiene una fuerte validación con el seguimiento longitudinal pediátrico de la maduración somática (sexo masculino: $r = 0.959$; $r^2 = 0.920$; $p < 0.05$; sexo femenino: $r = 0.953$; $r^2 = 0.910$; $p < 0.05$) [22].

Análisis del rendimiento neuromuscular de los miembros superiores.

La fuerza de las extremidades superiores se analizó mediante la prueba de *medicine ball* [23]. El participante estaba sentado con la espalda contra una pared y las rodillas extendidas. A la señal del evaluador, una pelota medicinal (Axe Sports®, Tangará, Brasil) con una masa de 2 kg colocada a la altura del esternón con los codos flexionados, se lanzó horizontalmente desde la extensión del codo con ambas manos y la ayuda del movimiento del tronco no estaba permitido. Cabe señalar que la pelota medicinal se envolvió con magnesio en polvo, y que después del lanzamiento se tomó como resultado de la prueba la distancia horizontal al primer contacto de la pelota medicinal con el suelo [23]. La prueba se realizó tres veces consecutivas intercaladas con un período de recuperación pasiva de tres minutos [23]. El mejor intento se calculó con fines de análisis de acuerdo con el procedimiento de Mello y cols. [23].

También se utilizó la prueba de agarre manual para comprobar la fuerza de los miembros superiores, lo mismo se hizo con un dinamómetro hidráulico (JAMAR®, Cambuci, Brasil; calibrado antes de cada evaluación) [24]. Los sujetos permanecieron sentados en un banco con altura ajustable y el antebrazo flexionado en un ángulo de 90° [24]. Todos los participantes realizaron tres contracciones voluntarias máximas (3 seg/duración) con la mano derecha e izquierda, intercaladas con períodos de recuperación de 60 segundos, y se adoptó el mejor desempeño para el análisis estadístico, según el procedimiento de Reijnierse y cols. [24].

Análisis del rendimiento neuromuscular de los miembros inferiores.

El desempeño de los miembros inferiores fue analizado mediante pruebas de salto vertical (VJ) y salto contra movimiento (CMJ), ambos saltos fueron analizados a través de una plataforma de fuerza (CEFISE®, São Paulo, Brasil). Así, se utilizaron los protocolos establecidos por Forza y Edmundson [25]. Antes de las evaluaciones, los voluntarios realizaron un salto de cada tipo para familiarizarse con las pruebas, buscando reducir los errores durante la ejecución de los protocolos [25]. Luego, partiendo desde una posición ortostática, mantenida durante tres segundos, con las rodillas flexionadas aproximadamente a 90° y las manos fijas en la cintura, se instruyó a los voluntarios para que realizaran el salto vertical lo más alto posible [25].

Para el análisis del CMJ se adoptaron las mismas recomendaciones, sin embargo, los voluntarios realizaron una sentadilla

seguida del salto [25]. Se estableció un intervalo de recuperación de 10 minutos entre los saltos VJ y CMJ [25]. Para ambas pruebas se realizaron tres intentos, intercalados con 60 segundos de recuperación pasiva y se adoptó el mejor intento para el análisis de datos, según el procedimiento de Forza y Edmundson [25]. Es de destacar que la altura de los saltos (VJ y CMJ), fue calculada por la plataforma de fuerza utilizando la siguiente fórmula [25]:

$$\text{Altura del Salto} = t^2 * g * 8^{-1}$$

t = tiempo de vuelo en segundos, g = aceleración de la gravedad, con un valor de 9.81 m/seg²

Evaluación de desempeño específico: diseño experimental.

Se estableció una distancia de 100 m para la prueba de Sprint, considerando que esta es la distancia promedio alcanzada en un espacio de 20 segundos en las pruebas realizadas en un ergómetro de remo digital indoor [19]. Luego de un calentamiento general (10 minutos) consistente en un circuito de movimientos realizados con el peso corporal, los atletas realizaron una prueba contrarreloj de 100 m en un remoergómetro indoor (Concept® modelo-D equipado con monitor digital PM5, Florida, Estados Unidos). La prueba se llevó a cabo en un ambiente con aire acondicionado (26° C). El equipo fue calibrado con un factor de resistencia de 120 para mujeres y 125 (N.s2/m2) para hombres de acuerdo con las especificaciones de la federación internacional de remo. Al final de las pruebas, los resultados de la potencia pico en vatios y el tiempo de prueba en segundos fueron recolectados del equipo por una computadora conectada a su monitor digital PM5.

Después de un descanso de 72 horas, los voluntarios se sometieron de nuevo a un calentamiento corporal general (10 minutos) e inmediatamente después realizaron una prueba de tiempo de 100 m en un ambiente acuático. La prueba se realizó en una embarcación Single Scull (modelo J9 marca Cucchiatti®, Buenos Aires, Argentina; peso de 14 kg con una capacidad máxima de soporte de peso de 85 kg; 820 cm de largo y 29 cm de ancho) en aguas abiertas ubicadas en la sede del Sport Club (Las orillas del río Potengi) con una temperatura ambiente de 26° C (se usó un termómetro digital para el ambiente exterior). Por lo tanto, la prueba de agua se realizó en un momento específico sin influencias climáticas significativas (es decir, vientos; corriente del río) previamente verificadas en el centro de hidrografía de la armada brasileña - tablas de mareas de puertos marítimos (Natal-RN; Brasil).

La embarcación Single Scull estaba equipada con un GPS NK-Sports® (Washington, Estados Unidos) (Speed coach model-2), conectado a una computadora portátil vía bluetooth para monitoreo en tiempo real a través del software (NK Link) que fue programado en la opción de trabajo para una distancia de 100 m. El sensor de movimiento del equipo identificó la salida de la embarcación que se produjo automáticamente, cuando se completaron los 100 m el equipo emitió una señal audible para informar a los remeros que la prueba había terminado, y la puntuación del tiempo de prueba en segundos se guardó en la memoria de la computadora. Se indicó a los voluntarios que excluyeran de la rutina cualquier tipo de actividad vigorosa en las 72 horas anteriores a las pruebas específicas mencionadas anteriormente. Es importante señalar que no se agregaron cargas adicionales durante la prueba en un ambiente acuático.

Todas las pruebas se realizaron a la misma hora (8 a.m.), y en condiciones climáticas similares en relación a la temperatura ambiente de 26° C.

Análisis de la potencia pico en medio terrestre.

La potencia máxima en el medio terrestre fue adquirida por el remoergómetro indoor (Concept®, Florida, Estados Unidos).

Análisis de la potencia pico en medio acuático.

Para adquirir los datos de la potencia pico en un medio acuático, el presente estudio utilizó una fórmula matemática diseñada en un modelo teórico por los autores. Inicialmente, las variables se agruparon según la similitud de los patrones mediante análisis estadísticos basados en la técnica de aprendizaje automático no supervisado de clústeres K-mean. Así, se encontraron las correlaciones entre las variables y la potencia pico generada en un ergómetro de remo indoor.

Por lo tanto, continuamos con la modulación de las variables que indicaron correlaciones significativas con la potencia pico analizada en el ergómetro y mediante un análisis de regresión multivariante, verificamos las capacidades predictivas de las variables. Así, el modelo teórico fue posteriormente probado mediante un análisis factorial confirmatorio y mediante el índice de reproducibilidad en relación a la potencia pico obtenida por el ergómetro digital indoor. Las variables utilizadas en la ecuación fueron: el desplazamiento en metros por segundo, la distancia recorrida en metros, la duración de la prueba en segundos, el peso corporal total y el peso total del equipo (en este caso, la embarcación) en kilogramos.

Estadísticas.

La normalidad de los datos se evaluó mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y la puntuación Z de asimetría y curtosis (-1.96

a 1.96). Los factores de confusión por sexo (masculino y femenino) y la edad cronológica presentes en la muestra se controlaron durante las regresiones. Se utilizó la aritmética Backdoor para inhibir el efecto de los factores de confusión durante el análisis estadístico [26,27]. La homogeneidad de los modelos de regresión se probó mediante la prueba de Breush-Pegan y no se negaron los supuestos de normalidad, varianza e independencia de los datos. Para probar la multicolinealidad de los modelos de regresión, se utilizó la prueba de Durbin Watson. Las correlaciones de datos se realizaron mediante la prueba de Pearson. Para las correlaciones parciales, controlamos el efecto de la variable de masa magra, por lo que la magnitud utilizada fue la de Schober y cols., [28]: Insignificante: $r < 0.10$; Débil: $r = 0.10-0.39$; moderado: $r = 0.40-0.69$; Fuerte: $r = 0.70-0.89$; Muy fuerte: $r = 0.90-1.00$. Para medir la reproducibilidad y la confiabilidad, los métodos realizaron el cálculo del coeficiente de correlación intraclase y la magnitud utilizada fue determinada por Miot [29]: ausencia: $ICC = < 0$; pobre: $ICC = 0-0.19$; débil: $ICC = 0.20-0.39$; moderado: $CCI = 0.30-0.59$; sustancial: $CCI = 0.60-0.79$; y casi completo: $ICC = \geq 0.80$.

Se realizó el método de Bland y Altman [30] para verificar la dispersión de los datos dentro de los límites de concordancia definidos por las diferencias en las medias entre las medidas de las variables. Los análisis de comparación ([pico de potencia terrestre x pico de potencia acuática]; [sprint terrestre X sprint acuático]) se realizaron utilizando el t-test dependiente de Student. El tamaño del efecto se calculó mediante la prueba de Cohen (d), la magnitud adoptada fue [31]: insignificante: < 0.19 ; pequeño: $0.20-0.49$; promedio: $0.50-0.79$; grande: $0.80-1.29$; muy grande: > 1.30 . Para el error técnico de las medidas antropométricas, se utilizó la siguiente magnitud: Aceptable para pliegues cutáneos $\leq 5.0\%$; Aceptable para otras medidas antropométricas $\leq 1.0\%$ [32]. Todos los análisis se realizaron utilizando el software de código abierto R (versión 4.0.1, R Foundation for Statistical Computing®, Viena, Austria) considerando la significancia de $p < 0.05$.

Resultados

La tabla 1 caracteriza la muestra del presente estudio. Los individuos presentaron maduración somática después de la velocidad máxima de crecimiento, baja cantidad de grasa corporal y una fuerte concentración de masa magra. El margen de posibilidad de error señalado para el tamaño de la muestra fue un α equivalente al 4.90%, siendo inferior al 5%, lo que sugiere una confiabilidad del 95% en los resultados obtenidos en función de la muestra utilizada. Cabe mencionar que no hubo pérdidas de muestra. Para todas las variables antropométricas, el error técnico de medición fue inferior al 1%.

Tabla 1. Caracterización de la muestra.

Variables	Values
n*(%)	16 (100%)
Male	13 (81%)
Female	03 (19%)
Age (years)	15.7 ± 1.21
Somatic maturation	1.79 ± 1.44
Height (Cm)	169.0 ± 9.59
Wingspan (Cm)	160.42 ± 44.8
Body weight (Kg)	64.7 ± 15.0
Body mass index (m ²)	22.3 ± 3.63
Fat mass (kg)	16.1 ± 6.87
Lean mass (kg)	46.0 ± 9.63
Hand Grip (Kgf)	36.5 ± 8.04
Medicineball test (Cm)	4.75 ± 1.02
Vertical jump(Cm)	30.9 ± 7.43
Countermovement jump (Cm)	31.5 ± 8.50
Peak power (watts)/ indoor rowing	331.1 ± 100.3
Peak power (watts)/Mathematical model	331.6 ± 104.1

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.t002>

La velocidad en metros por segundo, el tiempo de ejecución en segundos, el peso corporal total y el modelo matemático para el análisis de la potencia pico mostraron correlaciones significativas con la potencia pico realizada en el remoergómetro digital indoor. La maduración somática sólo mostró una relación significativa con el pico de la curva de fuerza analizada por el modelo matemático propuesto por el presente estudio (ver Tabla 2).

Tabla 2. Correlaciones de variables con el pico de la curva de fuerza

Variables	Peak power in indoor rowing (Watts)		
	r	r ²	p Value
Velocity (m / s)	0.926*	0.857	<0.0001
Run time (Sec)	-0.925*	0.855	<0.0001
Body weight (Kg)	0.817*	0.667	0.0001
Somatic Maturation	0.396	0.156	0.12
Peak power (Watts) /Mathematical model	0.891*	0.793	<0.0001
	Peak power (Watts) /Mathematical model		
Somatic Maturation	0.575*	0.330	0.01

* statistically significant.

Las variables velocidad, tiempo de ejecución y peso corporal expuestas en el modelo de regresión 1, son capaces de predecir el desempeño de la potencia pico con alta precisión (en 98%) (Tabla 3). No se observó multicolinealidad en relación al modelo 1.

Tabla 3. Modelo de regresión de variables con capacidad predictiva para la ecuación de la potencia pico en un medio acuático.

Regression Model	r ² Adjusted	B	p Value
1) Velocity (m / s)			
Runtime (Sec)	0.987*	8.06	<0,0001
Body weight (Kg)			

* statistically significant.

En la Tabla 4 se muestra la ecuación propuesta por el presente estudio para el análisis de la potencia pico (Watts) por el test específico realizado en un medio acuático. Para estimar la potencia pico se utilizaron las variables peso corporal (Kg), peso del equipo (Kg) y velocidad (m/seg) en las que se realizó el test (en el caso de 100 m), como se muestra en la Tabla 4 .

Tabla 4. Fórmula predictiva para el análisis de la potencia pico (vatios) por el test realizado en un medio acuático.

Mathematical model for peak power (watts)

$$\text{Vel (m/s)} = \text{DC (m)} / \text{t (s)}$$

$$\text{Peak power (Watts)} = [(\text{BW(Kg)} + \text{WE(Kg)}) * \text{Vel (m/s)}] - 22$$

Vel (m / s) = Velocity in meters per second; DC (m) = Distance covered in meters; t (s) = Execution time in seconds; Pfc (Watts) = Peak power curve in watts; BW (Kg) = Body weight in kilograms; WE (Kg) = Weight of the equipment in kilograms.

No hubo diferencia estadística en la comparación entre la potencia pico analizada por el ergómetro de remo indoor y el modelo matemático propuesto por el presente estudio (Tamaño del efecto: -0.03; error estándar remo indoor = 25.08; error estándar modelo matemático = 26.03; p = 0,98). Además, el índice de reproducibilidad del coeficiente de correlación intraclase señaló un alto grado de reproducibilidad entre los métodos (ICC = 0.897; IC del 95% = [0.737; 0.962]; F(15.16) = 18.4; p <0.0001) (Fig 2).

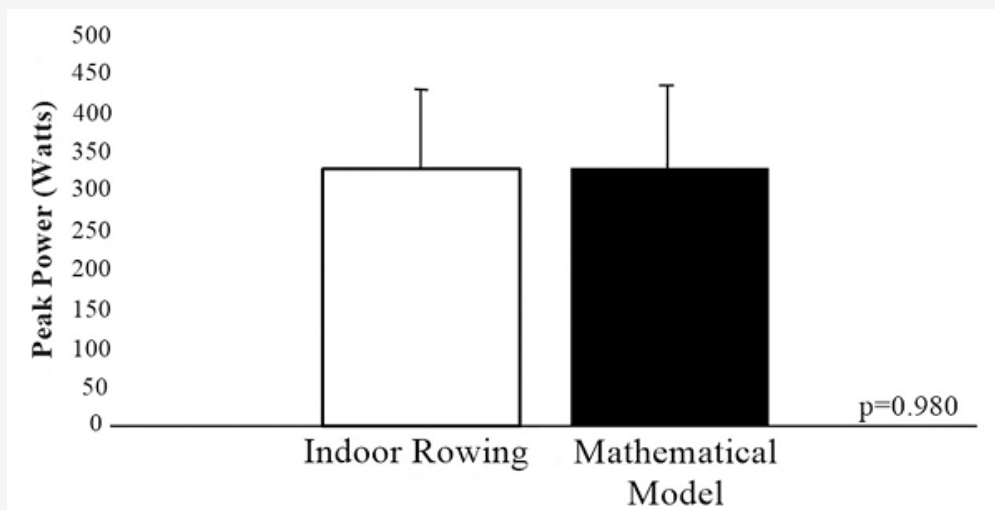


Figura 2. Comparación entre la potencia pico del remo indoor con la adquirida por el modelo matemático propuesto por el presente estudio.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.g002>

Mediante el método de Bland-Altman, se encontró un límite de concordancia significativamente positivo (entre -0.5 y 0.5; IC 95%: [-10.0; 10.0]) para los resultados de los métodos utilizados para evaluar la potencia pico (vatios). Así, el modelo matemático desarrollado por el presente estudio no señaló ningún sesgo proporcional significativo (diferencia entre los métodos = 0.54 ± 47.8 ; $r^2 = 0.020$; $\beta = -0.330$; IC 95% β : [-1.415; 0.754]; $p = 0.550$), lo que sugiere una efectividad significativa del modelo matemático (Fig 3).

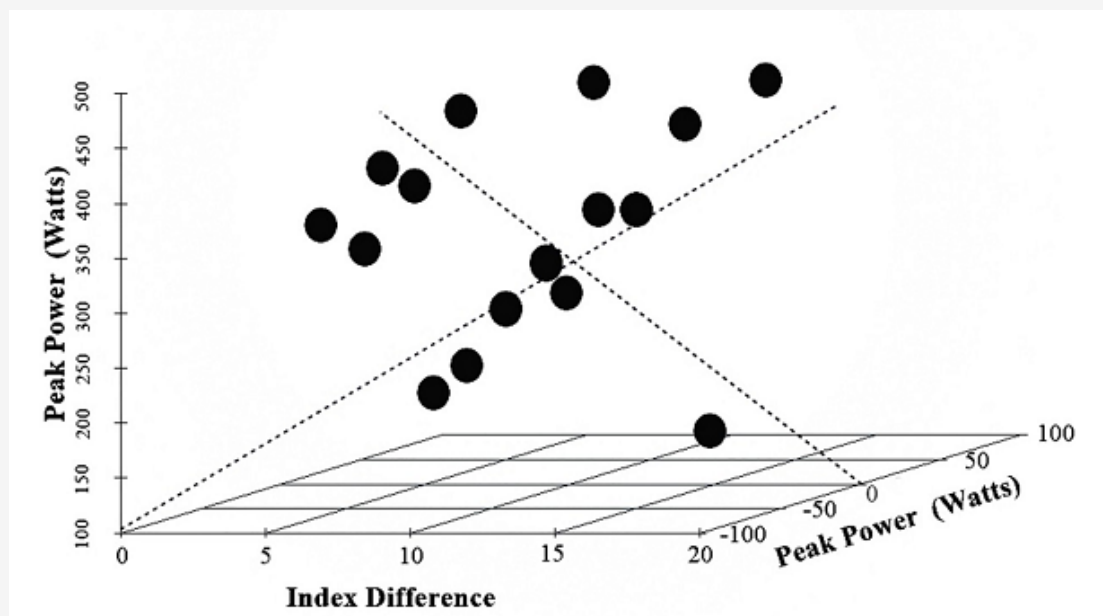


Figura 3. Proporción del sesgo.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.g003>

Teniendo en cuenta que el sprint de 100 m fue la distancia utilizada por el presente estudio para determinar la potencia máxima, buscamos entender qué variables estarían asociadas con el rendimiento de 100 m. Así, la Tabla 5 muestra correlaciones significativas y negativas entre variables antropométricas, curva de fuerza, desempeño neuromuscular de miembros superiores y masa magra con el desempeño en el sprint en ambas condiciones. Las relaciones negativas indican

que a medida que aumentan el rendimiento neuromuscular y la potencia máxima, se reduce el tiempo de sprint. Es decir, cuanto mayor sea la fuerza y la potencia máxima, más rápido será el sprint.

Tabla 5. Correlaciones de variables con el rendimiento del sprint.

Variables	Sprint indoor rowing			Sprint Single Scull		
	r	r ²	p Value	r	r ²	p Value
Somatic maturation	-0.300	0.090	0.2	-0.380	0.140	0.1
Lean mass (kg)	-0.900*	0.810	<0.0001	-0.790*	0.620	0.0002
Vertical jump (cm)	-0.490	0.240	0.07	-0.530*	0.280	0.04
CMJ (cm)	-0.370	0.130	0.1	-0.390	0.150	0.1
Medicineball test (cm)	-0.650*	0.420	0.006	-0.660*	0.430	0.004
Hand Grip (kgf)	-0.650*	0.420	0.005	-0.720*	0.510	0.001
Peak Power Indoor R (watts)	-0.990*	0.980	<0.0001	-0.880*	0.770	<0.0001
Peak Power Mm (watts)	-0.860*	0.739	<0.0001	-0.900*	0.810	<0.0001
Weight (kg)	-0.810*	0.650	0.0001	-0.810*	0.650	0.0001
Height (cm)	-0.760*	0.570	0.0006	-0.620*	0.380	0.009

CMJ = Countermovement jump test. Peak Power Indoor R = Peak Power in indoor rowing. Peak Power Mm = Peak Power in Mathematical model.

* statistically significant.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.t006>

Asimismo, se observó en relación a las variables morfológicas (masa magra, peso y talla). Sin embargo, se observa que aunque la maduración fue estimada por variables morfológicas, no mostró una relación significativa con el rendimiento de los sprints.

La masa magra mostró una fuerte asociación con el rendimiento del sprint en remeros (Tabla 5). Por lo tanto, para verificar la importancia de esta relación, controlamos el efecto de la masa magra durante las asociaciones con el rendimiento del sprint (Tabla 6). En este sentido, al controlar por masa magra, mostramos que, a excepción de la potencia pico, todas las relaciones de las variables con el sprint desaparecieron en ambas condiciones. Así, las relaciones fueron positivas, indicando que a medida que aumentaba el desempeño de las variables, también aumentaba el tiempo de sprint (Tabla 6).

Tabla 6. Correlaciones que controlan el efecto de la masa magra en el sprint.

Variables	Sprint indoor rowing			Sprint Single Scull		
	r	r ²	p Value	r	r ²	p Value
Lean Mass Variable Effect Control						
Vertical jump (Cm)	0.150	0.020	0.5	0.130	0.010	0.8
CMJ(Cm)	0.170	0.020	0.7	0.150	0.020	0.1
Medicineball test (Cm)	0.220	0.040	0.4	0.30	0.090	0.2
Hand Grip (Kgf)	0.220	0.040	0.4	0.260	0.060	0.3
Peak Power Indoor R (watts)	0.990*	0.980	<0.0001	0.620*	0.380	0.01
Peak Power Mm (watts)	-0.040	0.000	0.8	-0.400	0.160	0.1
Weight (Kg)	0.090	0.000	0.7	0.360	0.120	0.1
Height (Cm)	0.400	0.160	0.1	0.140	0.010	0.6

CMJ = Countermovement jump test. Peak Power Indoor R = Peak Power in indoor rowing. Peak Power Mm = Peak Power in Mathematical model.

* statistically significant.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.t007>

En la tabla 7 se muestran los modelos de regresión que intentan explicar el rendimiento del sprint en la muestra estudiada, y según los datos, tanto el modelo 1 que incluye la potencia pico medida por el remo indoor como el modelo 2 que incluye la potencia pico medida por modelo matemático, sirvieron para predecir el rendimiento del sprint en más del 90%. Es de destacar que no hubo multicolinealidades en relación a los modelos 1, 2 y 3 (Tabla 7).

Tabla 7. Regresión lineal ajustada para estimar el rendimiento de sprint en remeros.

Regression Model	r ² Adjusted	β	p Value
1) Lean mass (Kg)			
Medicineball test (Cm)			
Hand Grip (Kgf)	0.927*	-1.921	<0.0001
Height (Cm)			
Weight (Kg)			
Peak Power /Indoor Rowing (watts)			
2) Lean mass (Kg)			
Medicineball test (Cm)			
Hand Grip (Kgf)			
Height (Cm)	0.915*	-0.080	<0.0001
Weight (Kg)			
Peak Power /Mathematical model(watts)			

* statistically significant.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.t008>

Cabe mencionar que para el índice de reproducibilidad entre las pruebas realizadas en el remo indoor y en el medio acuático en una embarcación scull, se indicó un coeficiente de correlación intraclase sustancial (ICC = 0.695; IC del 95% [0.332; 0.881]; F(15.16) = 5.56; p = 0.0007). Sin embargo, en la comparación entre las condiciones de los sprints, el rendimiento en el remo indoor fue estadísticamente superior a la condición en una embarcación de un single scull, por lo que la prueba de laboratorio duró menos tiempo que la prueba específica en agua (Tamaño del efecto: 0.73; error estándar sprint remo indoor= 0.65; error estándar sprint acuático = 0.83; p = 0.04) (Fig 4).

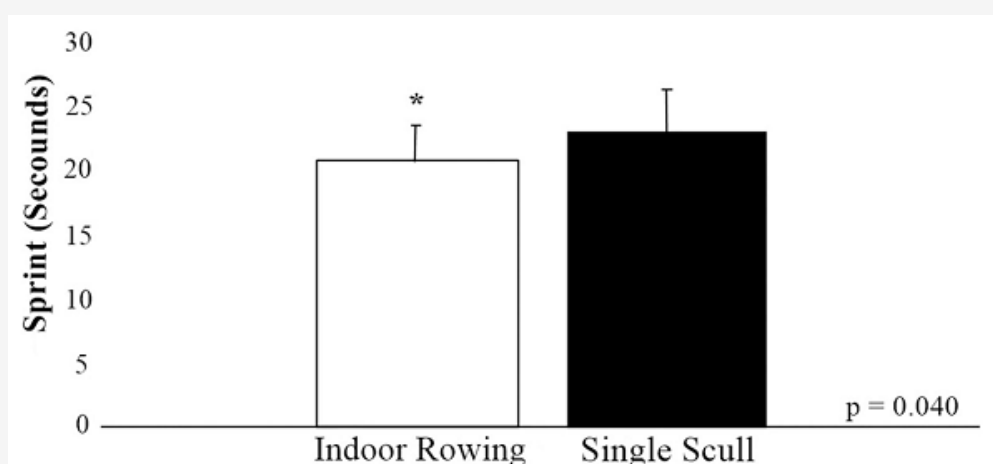


Figura 4. Comparación entre las condiciones de sprint.

* Estadísticamente significativo.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.g004>

Discusión

El objetivo del estudio fue desarrollar una ecuación para proporcionar la potencia pico en remeros a través de un estímulo

específico realizado en un medio acuático, así como correlacionar variables morfológicas, antropométricas y de fuerza con el rendimiento del remo. Los principales hallazgos del presente estudio fueron: (i) Una confiabilidad significativa, entre la potencia pico proporcionada por el modelo matemático y la proporcionada por el remo indoor. (ii) La maduración se relacionó con la potencia máxima en un ambiente acuático. (iii) La morfología, antropometría y fuerza de los miembros superiores se relacionaron con el sprint y el pico de potencia en ambas pruebas. (iv) Las pruebas de velocidad en el medio acuático y de remo interior mostraron una confiabilidad significativa entre ellos.

Este es el primer estudio que propone una ecuación que proporciona una medida directa de la potencia máxima de un remero en el medio acuático. Según la literatura, previamente Riechman y cols., [18] y Cataldo y cols., [19] desarrollaron modelos matemáticos destinados a predecir el rendimiento de 2.000 m a partir de pruebas de 30 seg y 20 seg, respectivamente. Ambos autores presentaron pruebas realizadas en ergómetro, y las herramientas no muestran reproducibilidad en medio acuático, y en relación a la potencia pico, ninguno de los referidos autores presentó modelo matemático o prueba específica para esta variable.

Se tiene en cuenta que se fomentan nuevas técnicas con aplicabilidad práctica en el seguimiento del rendimiento de los remeros [4]. Si bien las pruebas se llevaron a cabo en un ambiente controlado, el modelo matemático presentado por el presente estudio se puede aplicar en condiciones similares a las específicas impuestas por el medio acuático (es decir, vientos, resistencia al agua, corriente del agua). Además, esto puede mitigar la necesidad de recursos y equipos de laboratorio que tienen un costo financiero relativamente alto para los atletas o clubes competitivos.

Además, la herramienta descrita en esta investigación se puede utilizar para clasificar el perfil de potencia de remada actual de los atletas (es decir, stroke o bow), teniendo en cuenta la potencia máxima en el entorno acuático. De esta forma, resulta sencillo orientar el entrenamiento de estos sujetos según las características de su perfil de potencia de remo, o agrupar a los remeros en una embarcación colectiva para competiciones por equipos a partir de su perfil de potencia individual, o incluso calcular la potencia pico de botes de equipo.

Además, entre los factores asociados con la producción de máxima potencia y de fuerza muscular en deportes acuáticos y terrestres se encuentran la masa magra y el peso corporal total [33-35]. Este hecho corrobora los hallazgos del presente estudio, donde si bien el tiempo de sprint en el medio acuático fue menor en relación al medio terrestre, hubo una asociación significativa entre el peso corporal y la masa magra en relación al rendimiento en el sprint de 100 m en el pico de potencia de los remeros en el agua y en el remo indoor ($p < 0.05$). Es importante señalar que en el presente estudio la diferencia observada entre los sprints (terrestre y acuático), se puede explicar por la influencia hidrodinámica del casco del bote sobre el agua [10,12-14].

Además de las características morfológicas, Hatchett y cols., [36], destacan que el rendimiento del remo en distancias cortas y largas (100 m y 2000 m) parece estar influenciado por atributos físicos como la fuerza muscular específica de los miembros superiores. Esta información está de acuerdo con los datos del presente estudio, que encontró una asociación significativa entre el rendimiento de la fuerza de las extremidades superiores y el remo indoor y el sprint acuático ($p < 0.005$; Tabla 4). En relación con la fuerza muscular, estudios previos han identificado que la maduración biológica influye en la fuerza de los remeros y de los atletas jóvenes [3,8,37,38]. Este hecho se puede observar en el presente estudio, donde se encontró una asociación significativa entre el pico de potencia en el medio acuático y la maduración somática ($r^2 = 0.330$; $p = 0.01$).

En el medio acuático, generar un pico de potencia que permita incrementar la velocidad de locomoción del bote, puede ser ventajoso en los eventos deportivos [1,3,10]. Sin embargo, requerirá una gran producción de fuerza de tracción generada a partir de los movimientos realizados por los remeros, y tener concentraciones más altas de masa magra puede favorecer la producción de fuerza [1,3,10,39]. Al mismo tiempo, el proceso de maduración tiene una relación significativa con la masa magra y, por tanto, también con el rendimiento de los remeros jóvenes [38]. Los resultados de la presente investigación mostraron que al controlar estadísticamente el efecto de la masa magra sobre la relación entre el rendimiento de la fuerza muscular de las extremidades superiores e inferiores con el remo en indoor y el rendimiento del sprint acuático, las correlaciones significativas desaparecieron (Tabla 6). Por lo tanto, fue evidente que la masa magra tiene una influencia significativa en el rendimiento de los remeros.

Recientemente, nuestro grupo investigó la interacción de la maduración y la masa magra con el rendimiento neuromuscular de jóvenes atletas de élite [39]. Se demostró que la masa magra interactúa significativamente con el rendimiento neuromuscular de las extremidades superiores e inferiores de jóvenes deportistas de remo de élite brasileños [39]. Este hecho corrobora los hallazgos del presente estudio en relación a la masa magra. Además, aunque la maduración se ha asociado con mayores concentraciones de fuerza muscular [37,40-42], encontramos que la maduración no se asoció con la potencia máxima estimada por el modelo matemático propuesto por nuestro estudio. Sugiere que no es necesario tener en cuenta la maduración al estimar la potencia pico.

Teniendo en cuenta todos los aspectos antes mencionados, es de destacar que además de dirigir el entrenamiento, la

especificidad de la tarea es útil para acercar al deportista de remo al verdadero desafío que se encontrará en una competición deportiva [5]. Por lo tanto, el modelo matemático desarrollado por el presente estudio será de suma importancia para países con clima tropical, donde es posible realizar pruebas específicas en cualquier época del año, en lugar de países donde el invierno es más extremo y evitaría la ejecución de pruebas en un entorno específico en un período determinado del año cronológico, lo que perjudica el seguimiento frecuente del rendimiento deportivo de los atletas.

A pesar de la relevancia de este estudio, se observaron algunas limitaciones: (i) Se evaluó la maduración biológica mediante un modelo predictivo, los resultados basados en el estándar de oro (radiografías de mano y muñeca y monitoreo longitudinal durante la pubertad) pueden ser diferentes en relación a la etapa de maduración; (ii) el diseño del estudio fue observacional, lo que no permitió establecer una relación de causa y efecto en los análisis de correlación.

A la vista de los resultados presentados por el presente estudio, la ecuación del pico de la potencia acuática brinda oportunidades para usos futuros, incluida la posibilidad de monitorear el rendimiento de la fuerza durante una competencia, lo que permite analizar la potencia máxima alcanzada entre diferentes carreras. Esto permitiría a los entrenadores impulsar un cambio de estrategia si fuera necesario. Además, el modelo matemático presentado en esta investigación se puede utilizar para estimar la potencia máxima de antemano. En este contexto, los entrenadores pueden prescribir objetivos de tiempo para sus atletas con el fin de alcanzar el pico de potencia necesario para el desplazamiento en el menor tiempo deseado.

Conclusión

Es posible concluir que la ecuación para la potencia máxima en un ambiente acuático es altamente confiable con análisis realizados en el ergómetro digital de remo indoor. Además, la maduración somática, las variables neuromusculares y antropométricas están relacionadas con el rendimiento del sprint de 100 metros y el pico de potencia de los remeros de categoría Junior.

Información de apoyo.

S1 Datos brutos.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157.s001>

Agradecimientos

Por su apoyo y estímulo para el desarrollo de este artículo académico, agradecemos a la Universidad Federal de Rio Grande del Norte (UFRN), al centro de investigación de Actividad Física y Salud (AFISA), al Grupo de Investigación de Maduración Infantil y Adolescente (GEPMAC), el Consejo Nacional de Desarrollo Científico (CNPQ), la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior (CAPES) y al Remo Sport club, Natal — Brasil por su apoyo y estímulo para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

1. Ecuación para Analizar la Potencia Máxima en el Medio Acuático: Una Alternativa para los Deportistas de Remo Olímpicos (2020). Para ver las referencias bibliográficas remitirse al artículo original.: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157>

Cita Original

Cita: Almeida-Neto PFd, Silva LFd, Matos DGd, Jeffreys I, Cesário TdM, Neto RB, et al. (2020) Equation for analyzing the peak power in aquatic environment: An alternative for olympic rowing athletes. PLoS ONE 15(12): e0243157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243157>