

Percepción subjetiva del esfuerzo y lactacidemia. Estudio en jóvenes universitarios

DANIEL ALBA-OSPINA¹, JHON FREDY BETANCUR-PÉREZ², JOSÉ HENRY OSORIO³

Recibido para publicación: 19-08-2025. Versión corregida: 02-09-2025. Aprobado para publicación: 25-09-2025.

Modelo de citación:

Alba-Ospina D., Betancur-Pérez J.F., Osorio J.H. **Percepción subjetiva del esfuerzo y lactacidemia. Estudio en jóvenes universitarios.** Arch Med (Manizales). 2025;25(2).
<https://doi.org/10.30554/archmed.25.2.5461.2025>

Resumen

Introducción: El lactato y la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) son marcadores habituales de la carga interna; sin embargo, su convergencia en esfuerzos anaeróbicos máximos y en población universitaria latinoamericana es limitada. **Objetivo:** Evaluar la asociación entre PSE y lactacidemia después del ejercicio en jóvenes sanos. **Métodos:** Estudio observacional, prospectivo, transversal y analítico en 211 participantes (18-53 años) que completaron un test de salto continuo de 60 segundos (CJ60). Se midió lactato capilar previo y a los 5 minutos postesfuerzo; la PSE se registró al finalizar. Se aplicaron correlaciones de Spearman y regresión lineal múltiple para Δ lactato, con número de saltos, sexo, edad, lactato basal y PSE como predictores. **Resultados:** Δ lactato no se asoció con la PSE ($p = 0.07$; $p = 0.298$), pero sí con el número de saltos ($p = 0.57$; $p < 0.001$). Los hombres mostraron mayor Δ lactato que las mujeres (10.0 ± 2.63 vs. 7.36 ± 3.04 mmol/L). Fueron predictores independientes el número de saltos ($\beta = 0.107$; $p < 0.001$) y el sexo masculino ($\beta = 1.52$; $p < 0.001$), mientras que edad, lactato basal y PSE no fueron significativos. **Conclusiones:** Durante un esfuerzo máximo breve la PSE parece saturarse y no refleja la carga metabólica; su uso aislado podría subestimar diferencias individuales. Se recomienda complementar la monitorización subjetiva con mediciones objetivas (p. ej., lactato).

Palabras clave: ejercicio físico; tolerancia al ejercicio; ácido láctico; esfuerzo físico; fatiga.

- 1 Médico, Especialista en Educación para Profesionales de la Salud, Magister en Ciencias Biomédicas con Énfasis en Fisiología, Docente de Planta Universidad de Manizales; Manizales, Caldas, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2378-4619>. Email: dalba@umanizales.edu.co.
- 2 Licenciado en Biología y Química, Especialista en Biología Molecular y biotecnología, Doctor en Ciencias. Investigador laboratorios Herssen. Manizales, Caldas, Colombia,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6875-3215>. Email: fredy.betancur@gmail.com
- 3 Licenciado en Biología y Química, Magíster en Bioquímica, Médico, Psicólogo, Doctor en Ciencias Biomédicas. Profesor de Planta Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5979-1498>. Email: jose.osorio_o@ucaldas.edu.co.

Subjective perception of effort and lactacidemia. Study in young university students

Abstract

Introduction: Lactate and subjective perception of effort (SPE) are common markers of internal load; however, their convergence in maximal anaerobic efforts and in the Latin American university population is limited. **Objective:** To evaluate the association between subjective perception of effort (SPE) and post-exercise lactacidemia in healthy young people. **Methods:** Observational, prospective, cross-sectional, and analytical study in 211 participants (18-53 years) who completed a 60-second continuous jump test (CJ60). Capillary lactate was measured before and 5 minutes after exercise; SPE was recorded at the end. Spearman's correlations and multiple linear regression were applied for Δ lactate, with number of jumps, sex, age, basal lactate, and PSE as predictors. **Results:** Δ lactate was not associated with PSE ($p=0.07$; $p=0.298$), but it was associated with the number of jumps ($p=0.57$; $p<0.001$). Men showed higher Δ lactate than women (10.0 ± 2.63 vs. 7.36 ± 3.04 mmol/L). The number of jumps ($\beta=0.107$; $p<0.001$) and male sex ($\beta=1.52$; $p<0.001$) were independent predictors, while age, basal lactate, and PSE were not significant. **Conclusions:** During brief maximal effort, RPE appears to saturate and does not reflect metabolic load; its use in isolation may underestimate individual differences. It is recommended to supplement subjective monitoring with objective measurements (e.g., lactate).

Keywords: Physical exercise; exercise tolerance; lactic acid; physical effort; fatigue.

Percepção subjetiva do esforço e lactacidemia. Estudo em jovens universitários

Resumo

Introdução: O lactato e a percepção subjetiva do esforço (PSE) são marcadores comuns da carga interna; no entanto, sua convergência em esforços anaeróbicos máximos e na população universitária latino-americana é limitada. **Objetivo:** Avaliar a associação entre a percepção subjetiva do esforço (PSE) e a lactacidemia pós-exercício em jovens saudáveis. **Métodos:** Estudo observacional, prospectivo, transversal e analítico em 211 participantes (18-53 anos) que completaram um teste de salto contínuo de 60 s (CJ60). O lactato capilar foi medido antes e 5 minutos após o esforço; a PSE foi registrada ao final. Foram aplicadas correlações de Spearman e regressão linear múltipla para Δ lactato, com número de saltos, sexo, idade, lactato basal e PSE como preditores. **Resultados:** Δ lactato não se associou à PSE ($p=0,07$; $p=0,298$), mas sim ao número de saltos ($p=0,57$; $p<0,001$). Os homens apresentaram maior Δ lactato do que as mulheres ($10,0\pm2,63$ vs. $7,36\pm3,04$ mmol/L). O número de saltos ($\beta=0,107$; $p<0,001$) e o sexo masculino ($\beta=1,52$; $p<0,001$) foram preditores independentes, en-

quanto a idade, o lactato basal e a PSE não foram significativos. Conclusões: Durante um esforço máximo breve, a PSE parece saturar-se e não reflete a carga metabólica; seu uso isolado pode subestimar diferenças individuais. Recomenda-se complementar a monitorização subjetiva com medições objetivas (por exemplo, lactato).

Palavras-chave: Exercício físico; tolerância ao exercício; ácido láctico; esforço físico; fadiga.

Introducción

El lactato ha ocupado un lugar central en la fisiología del ejercicio, tradicionalmente asociado al metabolismo anaeróbico y a la fatiga muscular. Por décadas se consideró al lactato (mal llamado “ácido láctico”) un producto de desecho generado por la falta de oxígeno, responsable de la sensación de ardor muscular y del descenso del rendimiento [1]. Sin embargo, esta visión ha cambiado radicalmente a la luz de nueva evidencia. Hoy se reconoce que el lactato se produce incluso en condiciones aeróbicas y cumple funciones fundamentales, tanto como metabolito energético como molécula señalizadora en el organismo [2]. La hipótesis del *lactate shuttle* de Brooks describe cómo durante el ejercicio el lactato actúa como un vector de intercambio energético y de señales entre tejidos; es producido en fibras musculares glucolíticas y transportado vía sanguínea hacia tejidos oxidativos (corazón, fibras lentas, hígado), donde se reutiliza como combustible o sustrato gluconeogénico. Lejos de ser un simple residuo, el lactato se ha redefinido como una mióquina/exerkina, una señal liberada por el músculo durante el ejercicio con efectos locales y sistémicos, modulando procesos metabólicos, inflamatorios, neuronales y la expresión génica [1]. Adicionalmente, el lactato no solo transporta energía sino información, actuando vía receptores específicos y otras vías para inducir adaptaciones fisiológicas al ejercicio [2].

En el contexto del ejercicio, la concentración de lactato en sangre (lactacidemia) es un indicador bioquímico ampliamente utilizado para cuantificar la intensidad del esfuerzo y la contribución del metabolismo anaeróbico. Durante

esfuerzos cercanos al máximo, la producción de lactato por glucólisis se acelera y puede exceder la capacidad de aclaramiento, provocando una acumulación significativa en sangre al finalizar el ejercicio. Valores postejercicio de lactato frecuentemente superan 8–10 mmol/L en pruebas anaeróbicas máximas, reflejando un alto estrés metabólico. Este parámetro se relaciona con la fatiga neuromuscular y el rendimiento: por ejemplo, el umbral de lactato (punto durante el ejercicio incremental donde el lactato sanguíneo se eleva exponencialmente) corresponde aproximadamente al 50–60 % del $\text{VO}_2\text{máx}$ en personas no entrenadas y por encima del 70–80 % en atletas de resistencia, siendo un potente determinante de la capacidad de ejercicio aeróbico [2]. Por ello, la lactacidemia postejercicio es considerada un marcador objetivo de la intensidad relativa del esfuerzo y del grado de activación glucolítica alcanzado [1]. En investigaciones deportivas y clínicas, la medición de lactato sanguíneo ofrece una ventana cuantitativa para evaluar la carga fisiológica interna impuesta por un ejercicio o prueba específica.

Por otra parte, la PSE del individuo durante la actividad física ha demostrado ser un valioso indicador complementario de la intensidad del ejercicio. Esta percepción se cuantifica típicamente mediante la escala de Borg de 6–20 puntos, propuesta por Gunnar Borg en la década de 1970 [3]. La escala RPE (Rating of Perceived Exertion, por sus siglas en inglés) facilita que la persona indique un valor numérico de acuerdo con la intensidad con la que percibe el ejercicio, donde 6 equivale a “reposo” y 20 a “esfuerzo máximo”. Borg calibró originalmente esta escala de modo que el valor reportado multiplicado

por 10 aproximara la frecuencia cardíaca del ejercicio (p. ej., RPE 15, aproximadamente 150 latidos/min) [3]. Su uso se ha difundido ampliamente en el ámbito deportivo y clínico debido a su sencillez y validez: es independiente del idioma, sin costo y provee información inmediata sobre la respuesta psicofisiológica al esfuerzo. Estudios de validación han establecido que la RPE se correlaciona de forma consistente con parámetros fisiológicos objetivos como la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno, la ventilación pulmonar e incluso la concentración de lactato en sangre [4].

Para este estudio es importante tener en cuenta la relación entre la RPE y la respuesta lactacidémica al ejercicio. Existe evidencia sólida de que, a mayor acumulación de lactato, mayor es la percepción de esfuerzo reportada, sugiriendo una asociación estrecha entre la señal bioquímica del esfuerzo y la sensación consciente de fatiga. Scherr et al. [5], por ejemplo, analizaron más de 2.500 pruebas de esfuerzo y hallaron una alta correlación ($r \approx 0.84$) entre los valores de RPE de Borg y las concentraciones de lactato sanguíneo alcanzadas en ese estudio, ciertos puntos fijos de lactato correspondieron a valores específicos de RPE: aproximadamente 4 mmol/L (umbral anaeróbico tradicional) se asociaba a una RPE cercana a 14 (“algo duro”), mientras que concentraciones más moderadas (aproximadamente 3 mmol/L) coincidían con RPE aproximadamente de 13. Hallazgos como este respaldan que la escala de Borg es sensible a los cambios fisiológicos críticos durante el ejercicio. Incluso, investigaciones previas mostraron que el valor de RPE en el umbral de lactato no difiere significativamente entre personas entrenadas y sedentarias (típicamente alrededor de 13 en la escala 6–20) a pesar de que los entrenados alcanzan dicho umbral a intensidades absolutas mayores [6]. Esto sugiere que la percepción “algo dura” del ejercicio se alinea con el punto en que el lactato comienza a acumularse de forma sistemática, reflejando una respuesta psicofisiológica común entre individuos con diferente estado de

entrenamiento. En suma, la correlación entre RPE y lactacidemia reviste gran interés porque valida el uso de una medida subjetiva como estimador indirecto de la carga fisiológica: si un deportista reporta un esfuerzo muy elevado (p. ej., RPE 18–19), es esperable que ello venga acompañado de altos niveles de lactato y estrés metabólico; por el contrario, un esfuerzo percibido bajo sugiere que el metabolismo energético se mantiene predominantemente aeróbico y controlado.

Establecer con rigor científico estas correlaciones entre percepción subjetiva y marcadores bioquímicos es relevante por varias razones. En la práctica deportiva, podría permitir monitorear y regular la intensidad del entrenamiento sin necesidad de mediciones invasivas frecuentes: la escala de Borg, fácil de aplicar en campo, actuaría como proxy de indicadores fisiológicos complejos [7]. De igual manera, en entornos clínicos o de rehabilitación, conocer la relación RPE–lactato ayuda a prescribir ejercicio seguro: los pacientes pueden aprender a “escuchar” sus sensaciones para evitar sobreesfuerzos que conlleven excesiva acidemia láctica. Desde una perspectiva científica, examinar esta relación aporta al entendimiento integrativo de la fatiga: la fatiga percibida es un fenómeno multifactorial con componentes centrales y periféricos, donde las señales metabólicas (p. ej., elevación de hidrogeniones (H^+) y lactato) contribuyen al “feedback” que el cerebro interpreta como esfuerzo [8]. Por tanto, confirmar que la mente (percepción de esfuerzo) refleja fielmente al menos una parte de lo que ocurre en los músculos (acumulación de lactato) apoya los modelos psicobiológicos del control del rendimiento físico. No obstante, también es posible que factores como el nivel de entrenamiento habitual o características individuales (tolerancia al esfuerzo, motivación, genéticas) modulen esta correlación. Por ejemplo, individuos muy entrenados podrían reportar RPE relativamente baja a pesar de niveles altos de lactato, debido a adaptaciones que elevan su tolerancia al lactato; mientras que sujetos

sedentarios tal vez sientan gran esfuerzo con incrementos pequeños de lactato. Estas posibles discrepancias hacen necesario investigar la relación RPE–lactato en distintos subgrupos poblacionales para determinar en qué medida la percepción subjetiva es un indicador universal o específico de carga fisiológica.

La concentración postejercicio de lactato (lactacidemia) se ha vinculado a la potencia anaeróbica, la fatiga y la recuperación, y su monitorización ha trascendido la investigación fisiológica hacia la planificación del entrenamiento y la prevención de lesiones [9,10]. No obstante, hallazgos recientes sugieren que el lactato es algo más que un solo subproducto metabólico: actúa como sustrato energético, señal endocrina y modulador génico, lo que complejiza la relación entre síntomas percibidos y carga metabólica real [11].

En este sentido, resulta particularmente importante estudiar estas variables en poblaciones jóvenes activas de contextos latinoamericanos, dado que la mayor parte de la literatura proviene de atletas de Norteamérica, Europa o Asia. Llevar a cabo estas investigaciones proporciona datos contextualizados de características poblacionales diferentes. Por ejemplo, Colombia tiene regiones montañosas donde la altura podría influir en las respuestas al ejercicio; Manizales, ciudad andina a aprox. 2150 m.s.n.m., ofrece un escenario interesante para analizar el desempeño físico de jóvenes. Adicionalmente, desde la salud pública, los adultos jóvenes son un grupo clave para fomentar estilos de vida activos, pero, paradójicamente, presentan altos índices de inactividad física en Latinoamérica. Informes globales señalan que más del 80 % de los adolescentes y jóvenes no cumplen con las recomendaciones mínimas de actividad de la Organización Mundial de la Salud (OMS), tendencia que también se refleja en poblaciones universitarias colombianas [12].

El presente estudio tiene como propósito determinar la relación entre la PSE (RPE de Borg

modificado) y la lactacidemia postejercicio en una muestra de adultos jóvenes colombianos.

Se espera que los hallazgos obtenidos permitan responder a la pregunta de investigación planteada: ¿Existe relación entre la percepción subjetiva de esfuerzo (escala de Borg modificada) y la lactacidemia postejercicio?; proporcionando evidencia sobre dicha relación en la población colombiana y respaldando el uso combinado de herramientas subjetivas y objetivas para una evaluación integral del rendimiento físico.

Materiales y métodos

Diseño y participantes

Este estudio es de tipo observacional, prospectivo, transversal y analítico.

Participaron 211 individuos saludables (122 hombres y 89 mujeres) con edades entre 18 y 35 años. La muestra fue seleccionada por conveniencia en universidades de la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia).

Criterios de inclusión

Hombres y mujeres entre los 18 y 35 años, sin condiciones médicas conocidas que limitaran la actividad física intensa, quienes firmaron un consentimiento informado para participar.

Criterios de exclusión

Personas con enfermedades crónicas activas (respiratorias, musculoesqueléticas, metabólicas, cardiovasculares), lesiones osteomusculares recientes (últimos 6 meses) o que estuvieran bajo medicación que afectara su desempeño físico, así como quienes no superaron el cuestionario de aptitud para la actividad física (PAR-Q) [13].

Criterios de eliminación

Participantes que no siguieron el protocolo de estudio o que desarrollaron condiciones de salud durante el estudio que les impidieron continuar participando de manera segura.

Procedimiento

Como prueba de ejercicio anaeróbico, todos los participantes realizaron un test de salto continuo de 60 segundos de duración (CJ_{60}). Se instruyó a cada sujeto a efectuar saltos verticales repetidos, comenzando desde una posición erguida, luego flexionando las rodillas aprox. 90° y saltando tan alto como fuera posible con ambas piernas, de forma cíclica durante 1 minuto a la máxima intensidad. Los saltos se realizaron con las manos colocadas en la cintura (sin impulso de brazos) para estandarizar la técnica. Si algún participante no lograba completar los 60 segundos por fatiga, se registraba el tiempo efectivamente alcanzado y el número total de saltos realizados hasta la interrupción. Inmediatamente antes de iniciar la prueba de salto, se tomó una muestra de sangre capilar para medir el lactato basal, y 5 minutos después de finalizado el ejercicio se obtuvo una segunda muestra para determinar la lactacidemia postesfuerzo. Las muestras de sangre capilar se obtuvieron mediante punción dactilar en la yema de un dedo, recogiendo una gota de sangre en tiras reactivas Accutrend® Lactate de un solo uso. La concentración de lactato sanguíneo (expresada en mmol/L) fue analizada *in situ* con un monitor portátil Accutrend Plus (Roche Diagnostics), siguiendo las instrucciones del fabricante.

Al terminar el minuto de salto continuo, cada participante reportó su PSE utilizando la escala de Borg modificada de 0-10 puntos (RPE). Se dieron instrucciones previas sobre el uso de la escala. Para el análisis de los datos, la RPE registrada se categorizó en tres niveles de intensidad percibida: “fácil” (≤ 2 puntos), “moderado” (3–6 puntos) y “difícil” (7–10 puntos).

Plan de análisis de datos: los datos se procesaron en *jamovi* 2.4.

Descriptivos: medias $\pm$ DE, medianas y rangos para variables continuas; frecuencias (n) para variables categóricas.

Asociaciones bivariadas: coeficientes de Spearman (ρ) para la PSE, la lactacidemia y las variables de carga (n.º de saltos, tiempo efectivo).

Modelo multivariable: regresión lineal múltiple para Δ lactato con n.º de saltos, sexo, edad, lactato basal y PSE como predictores.

Supuestos: normalidad y homocedasticidad verificadas mediante inspección gráfica de residuos; colinealidad descartada con $VIF \leq 1.25$.

Se reportaron coeficientes β , IC95 % y valores p. Para robustez se recalcularon errores estándar con corrección HC3.

Criterio de significación: $\alpha = 0.05$ (bilateral).

Resultados

Participantes

Se evaluaron 211 participantes (122 hombres y 89 mujeres) con edades entre 18 y 33 años. La media de edad fue de 20.3 ± 2.4 años, sin diferencias relevantes entre sexos. Los hombres realizaron un mayor número de saltos y presentaron un incremento de lactato más alto que las mujeres, mientras que las concentraciones basales fueron similares. Los estadísticos descriptivos completos se presentan en la Tabla 1.

Δ lactato se correlacionó fuertemente con el número de saltos ($\rho = 0.57$, $p < 0.001$) y el tiempo efectivo ($\rho = 0.61$, $p < 0.001$), mientras que su asociación con la percepción del esfuerzo fue nula ($\rho = 0.07$, $p = 0.30$). (Tabla 2).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos

Archivos de Medicina

Alba-Ospina D., Betancur-Pérez J.F., Osorio J.H.
Percepción subjetiva del esfuerzo y lactacidemia. Estudio en jóvenes universitarios.
Arch Med (Manizales). 2025;25(2).

Variable	Mujeres (n = 89)	Hombres (n = 122)
Edad (años)	19.9 ± 2.02 (18–29)	20.6 ± 2.58 (18–33)
N.º de saltos	33.9 ± 12.8 (5–74)	43.8 ± 11.7 (21–81)
Δ lactacidemia (mmol/L)	7.36 ± 3.04 (0.40–15.6)	10.0 ± 2.63 (3.3–15.9)
Lactato pre (mmol/L)	2.91 ± 0.832 (1.1–5.5)	2.79 ± 0.664 (1.2–4.2)
Lactato post (mmol/L)	10.3 ± 2.98 (4.3–18.8)	12.8 ± 2.65 (6.3–18.6)

Nota: valores de lactato en mmol/L

Tabla 2. Matriz de correlaciones

		Borg_modificado	Delta lactacidemia	Tiempo (s)
delta lactacidemia	Rho de Spearman	0.072	—	
	gl	209	—	
	valor p	0.298	—	
Tiempo (seg)	Rho de Spearman	0.011	0.612	—
	gl	208	208	—
	valor p	0.878	< .001	—
No Saltos	Rho de Spearman	-0.019	0.569	0.961
	gl	208	208	208
	valor p	0.780	< .001	< .001

El modelo final explicó el 38 % de la varianza del Δ lactato (Tabla 3). El número de saltos ($\beta = 0.11$, $p < .001$) y el sexo masculino ($\beta = 1.52$, $p < .001$) fueron predictores significativos; la edad, el lactato basal y la percepción del esfuerzo no lo fueron ($p > .05$). No se observó colinealidad ($VIF \leq 1.25$).

La inspección visual de los residuos confirmó normalidad aproximada y homocedasticidad; los resultados fueron consistentes al aplicar errores robustos.

Tabla 3. Coeficientes y ajuste del modelo de regresión para Δ lactacidemia

Predictor	β (EE)	IC 95 %	t	p
Constante	4.93 (2.64)	-0.27, 10.13	1.87	.064
No saltos	0.107 (0.014)	0.079, 0.135	7.43	< .001
Sexo (M vs. F)	1.52 (0.39)	0.75, 2.29	3.91	< .001
Lactato pre	-0.42 (0.24)	-0.89, 0.05	-1.75	.081
Edad (años)	-0.02 (0.07)	-0.16, 0.12	-0.24	.808
Borg orig. (Moderado)	-1.19 (2.07)	-5.26, 2.88	-0.57	.567
Borg orig. (Difícil)	-1.00 (2.06)	-5.05, 3.05	-0.49	.628

Nota. R = 0.616; R² = 0.380; N = 210. En negrita predictores significativos a $\alpha = .05$.

Análisis

Relación entre la PSE de Borg y la lactacidemia Δ postejercicio

Los datos muestran ausencia de correlación significativa entre la PSE (PSE, escala de Borg modificada) y el incremento en lactato sanguíneo (Δ lactacidemia) tras un ejercicio máximo de saltos. Estadísticamente, el coeficiente de correlación PSE- Δ [La] no difiere de cero ($p > 0.05$), lo que indica que la carga metabólica interna medida por la lactacidemia no se reflejó en la PSE reportada. Este hallazgo contrasta con la validez concurrente típicamente alta de la PSE en esfuerzos submáximos o incrementales, donde suele asociarse fuertemente a indicadores fisiológicos [14].

En un esfuerzo supramáximo breve, la escala de Borg modificada parece saturarse, la mayoría de participantes reportó PSE cercana al máximo, perdiendo sensibilidad para discriminar variaciones fisiológicas individuales. Esto sugiere una disociación psicofisiológica bajo fatiga extrema: la PSE refleja principalmente la percepción neural del esfuerzo inmediato, mientras que la lactacidemia, un constructo metabólico, continúa elevándose durante la recuperación inicial [15]. En concordancia, estudios han reportado que durante intervalos intensos la PSE se acopla más estrechamente a la frecuencia cardíaca instantánea que a la acumulación de lactato retardada.

Correlación del Δ lactato con el número de saltos y el tiempo efectivo

En contraste, el Δ lactato mostró correlaciones altas y significativas con variables de desempeño mecánico en el test CJ60. Los participantes que ejecutaron más saltos y mantuvieron mayor tiempo efectivo produjeron mayores aumentos de lactato. Esta relación evidencia que la producción de lactato guarda

proporción con la cantidad de trabajo mecánico realizado en el esfuerzo máximo.

Estos hallazgos coinciden con estudios en pruebas anaeróbicas de carrera, donde los atletas con mejor rendimiento exhiben lactatos pico superiores [15]. Así, los resultados refuerzan el Δ lactato como un indicador objetivo de la magnitud del esfuerzo anaeróbico realizado, a diferencia de la PSE, que en este protocolo no captó dichas diferencias individuales.

Modelo multivariable: predictores sexo y número de saltos

El análisis de regresión múltiple identificó al sexo biológico y al número de saltos como predictores significativos del Δ lactato, explicando conjuntamente una fracción sustancial de su varianza ($p < 0.001$). No se detectó colinealidad y los residuos mostraron distribución homocédastica y aproximadamente normal. Esto indica un ajuste estadístico robusto y sugiere que sexo y desempeño mecánico ejercen efectos independientes sobre la respuesta de lactato.

El efecto del sexo como predictor concuerda con diferencias fisiológicas documentadas: los hombres presentan mayor masa muscular y mayor porcentaje de fibras tipo II, así como mayor actividad de enzimas glucolíticas, lo que se traduce en potencias pico superiores y lactacidemias más altas en tests máximos [16]. Adicionalmente, el peso del número de saltos reafirma la importancia del componente de rendimiento físico: a mayor volumen de trabajo mecánico en 60 segundos, mayor actividad del metabolismo láctico. La no significancia de la PSE en el modelo refuerza su limitada utilidad para predecir cargas fisiológicas en esfuerzos máximos.

Relevancia metodológica del test CJ60 para evaluar esfuerzos anaeróbicos

Los hallazgos resaltan la utilidad del test de saltos continuos de 60 segundos (CJ60) como

herramienta de evaluación anaeróbica en población joven. El protocolo indujo un importante estrés glucolítico, con lactacidemias postesfuerzo comparables a las obtenidas en tests clásicos como Wingate. Estudios recientes han respaldado la validez de los tests de salto continuo como alternativa de campo a pruebas de laboratorio para medir potencia anaeróbica y fatiga neuromuscular [17]. El estudio, discriminó el CJ60 adecuadamente entre sujetos y mostró respuestas fisiológicas mensurables, evidenciando su validez de criterio.

Validez de la escala de Borg modificada en esfuerzos máximos y consideraciones fisiológicas

Los resultados invitan a reflexionar sobre la validez y límites de la escala de Borg modificada en ejercicios máximos de corta duración. Aunque la PSE ha demostrado correlaciones consistentes con lactato y carga cardiovascular en esfuerzos prolongados [14], en esfuerzos máximos breves puede saturarse prematuramente y perder sensibilidad para reflejar diferencias en la carga fisiológica interna. Factores como la motivación y la anticipación del final pueden llevar a calificaciones máximas independientemente de la magnitud real de la acidosis o la producción de lactato.

Este hallazgo no invalida el valor de la PSE, pero enfatiza que su interpretación depende del tipo de ejercicio y que, en esfuerzos supramáximos, debe complementarse con mediciones objetivas como lactato o frecuencia cardíaca para una evaluación más completa [18].

Discusión

El hallazgo principal de este estudio fue la ausencia de correlación entre la PSE (PSE, escala de Borg modificada) y la concentración de lactato sanguíneo postejercicio ($p = 0.07$; $p = 0.30$). Este resultado contrasta con numerosos trabajos previos que han documentado una relación positiva entre ambas variables

en distintos contextos. Por ejemplo, Scherr et al. [5] evaluaron más de 2.500 sujetos durante pruebas incrementales y encontraron una correlación elevada entre la PSE (escala de 6–20) y el lactato sanguíneo ($r \approx 0.83$), identificando que valores de PSE cercanos a 13–14 correspondían al umbral anaeróbico (aprox. 4 mmol/L). Del mismo modo, el metaanálisis de Chen et al. [4] reportó coeficientes medios de correlación PSE–lactato entre 0.42 y 0.69 en individuos sanos, con asociaciones más consistentes en ejercicios incrementales controlados

Sin embargo, no todos los estudios coinciden en la magnitud de esta asociación. Green et al. [19] observaron que, durante series de sprints en cicloergómetro, la PSE mostró solo correlaciones moderadas con el lactato ($r \approx .34$ – 0.43), siendo más fuerte su relación con la frecuencia cardíaca ($r \approx 0.63$). Vargas-Molina et al. [20] también encontraron correlaciones modestas ($r_s = 0.35$) en entrenamientos de alta intensidad, pero solo bajo protocolos específicos con mayor tiempo bajo tensión. Estos hallazgos sugieren que, en esfuerzos anaeróbicos breves o intermitentes, la PSE puede reflejar más el estrés cardiorrespiratorio inmediato que la acumulación total de lactato.

Desde el punto de vista fisiológico, el lactato sanguíneo es un marcador ampliamente reconocido de la intensidad del ejercicio y del estrés metabólico [21]. Estudios recientes han replanteado su papel, señalando que el lactato no es solo un subproducto de desecho, sino también un metabolito reutilizable y una molécula señalizadora clave en la adaptación al ejercicio [2,3]. Incluso, se ha descrito que participa como mióquina o exerquina, modulando procesos metabólicos, inflamatorios y neuronales [1].

En cuanto a la PSE, la escala de Borg integra información aferente central y periférica desde la ventilación y la frecuencia cardíaca hasta la sensación de fatiga muscular en un índice único [3]. Su uso ha sido validado frente a parámetros fisiológicos en múltiples modalidades de

ejercicio [7], y en pruebas incrementales tiende a correlacionar de manera consistente con el lactato y la frecuencia cardíaca [5]. Sin embargo, su naturaleza subjetiva la hace susceptible a factores como el nivel de entrenamiento, la tolerancia individual al esfuerzo, la experiencia con la escala o el entorno del ejercicio [8].

Una posible explicación para la ausencia de correlación en este estudio es el efecto techo. En esfuerzos máximos breves, es común que la mayoría de los participantes reporten valores cercanos al máximo de la escala, reduciendo la variabilidad de la PSE y, por tanto, la capacidad estadística para detectar asociaciones con variables fisiológicas [19]. Esto es coherente con el hecho de que, en pruebas anaeróbicas de alta intensidad, la terminación del ejercicio puede deberse tanto a fatiga periférica (alta acumulación de lactato e iones H^+) como a fatiga central, limitaciones en el comando neural, y la PSE global no discrimina entre ambas [22].

Factores individuales como el sexo y el nivel de entrenamiento también podrían influir. Estudios previos han mostrado que los sujetos entrenados toleran mayores concentraciones de lactato antes de alcanzar un mismo nivel de PSE que los no entrenados [6]. Asimismo, aunque las diferencias de sexo en la relación PSE lactato no son consistentes [5], variaciones en masa muscular, tipo de fibras y motivación podrían contribuir a la dispersión de los datos.

El contexto de la prueba utilizada es otro elemento relevante. Las tareas que involucran grandes grupos musculares y un alto componente cardiorrespiratorio pueden hacer que la PSE se asocie más a la disnea y el estrés cardiovascular que a la acumulación local de lactato [23]. En este caso, la modalidad empleada probablemente generó un estímulo

mixto, en el que el esfuerzo percibido máximo no siempre estuvo ligado a la mayor carga metabólica periférica.

Desde la perspectiva práctica, estos resultados sugieren que la PSE, aunque útil, no debe utilizarse de forma aislada para estimar la carga interna en esfuerzos máximos de carácter anaeróbico. En entrenamientos de resistencia o esfuerzos prolongados, su correlación con marcadores fisiológicos es más sólida [7]. Sin embargo, en el trabajo anaeróbico intermitente puede ser necesario complementarla con mediciones objetivas como lactato, frecuencia cardíaca o escalas diferenciadas de esfuerzo muscular y cardiorrespiratorio [24].

La ausencia de correlación encontrada en este estudio no invalida el valor de la PSE, pero sí enfatiza que su interpretación depende del tipo de ejercicio, el perfil del sujeto y el objetivo del monitoreo. En esfuerzos anaeróbicos máximos, la relación PSE–lactato puede verse atenuada por factores fisiológicos y metodológicos que deben considerarse al aplicar esta herramienta en la práctica.

Consideraciones éticas

Este estudio contó con la aprobación previa de los comités de bioética institucionales correspondientes. El protocolo fue avalado por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Caldas (Consecutivo: CBCS-089; Acta N.º 020 de 2019) y por el Comité de Bioética de la Universidad de Manizales (Acta N.º CBE02 de 2021). Todos los participantes fueron informados sobre los objetivos, procedimientos, posibles riesgos y beneficios del estudio, y firmaron un consentimiento informado por escrito, en conformidad con la Declaración de Helsinki, antes de iniciar cualquier procedimiento experimental.

Referencias

1. Brooks GA, Osmond AD, Arévalo JA, Duong JJ, Curl CC, Moreno-Santillan DD, et al. Lactate as a myokine and exerkine: drivers and signals of physiology and metabolism. *J Appl Physiol* (1985). 2023;134(3):529-48. doi: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00497.2022>
2. Li X, Yang Y, Zhang B, Lin X, Fu X, An Y, et al. Lactate metabolism in human health and disease. *Signal Transduct Target Ther*. 2022;7(1):305. doi: <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01151-3>
3. Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(5):377-81. doi: <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
4. Chen MJ, Fan X, Moe ST. Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *J Sports Sci*. 2002;20(11):873-99. doi: <https://doi.org/10.1080/026404102320761787>
5. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(1):147-55. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>
6. Demello JJ, Cureton KJ, Boineau RE, Singh MM. Ratings of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and women. *Med Sci Sports Exerc*. 1987;19(4):354-62. Disponible en https://journals.lww.com/acsm-msse/abstract/1987/08000/ratings_of_perceived_exertion_at_the_lactate.6.aspx
7. Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ. Internal and external training load: 15 years on. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(2):270-3. doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
8. Noakes TD. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behaviour to ensure the protection of whole body homeostasis. *Front Physiol*. 2012;3:82. doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00082>
9. Coates AM, Joyner MJ, Little JP, Jones AM, Gibala MJ. A perspective on high-intensity interval training for performance and health. *Sports Med*. 2023;53(Suppl 1):85-96. doi: <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01938-6>
10. Bartoloni B, Mannelli M, Gamberi T, Fiaschi T. The multiple roles of lactate in the skeletal muscle. *Cells*. 2024;13(14):1177. doi: <https://doi.org/10.3390/cells13141177>
11. Brooks GA, Arevalo JA, Osmond AD, Leija RG, Curl CC, Tovar AP. Lactate in contemporary biology: a phoenix risen. *J Physiol*. 2022;600(5):1229-51. doi: <https://doi.org/10.1113/JP280955>
12. Monroy Medrano ADP, Nieto SM, Belalcázar Carvajal CC. Niveles de actividad física en estudiantes universitarios, a partir del cuestionario IPAQ. *Mov Cient*. 2024;18(1):9-15. doi: <https://doi.org/10.33881/2011-7191.mct.18102>
13. Schwartz J, Oh P, Takito MY, Saunders B, Dolan E, Franchini E, et al. Translation, cultural adaptation, and reproducibility of the Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+): The Brazilian Portuguese version. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:712696. doi: <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.712696>
14. Lea JWD, O'Driscoll JM, Hulbert S, Scales J, Wiles JD. Convergent validity of ratings of perceived exertion during resistance exercise in healthy participants: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Open*. 2022;8:2. doi: <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00386-8>
15. Gupta S, Stanula A, Goswami A. Peak blood lactate concentration and its arrival time following different track running events in under-20 male track athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2021;16:1625-33. doi: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0536>
16. Hunter SK, Angadi SS, Bhargava A, Harper J, Hirschberg AL, Levine BD, et al. The biological basis of sex differences in athletic performance: consensus statement of the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc*. 2023;55(12):2328-60. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003300>
17. Acar NE, Umutlu G, Ersöz Y, Akarsu Taşman G, Güven E, Sınar Ulutaş D, et al. Continuous vertical jump test is a reliable alternative to wingate anaerobic test and isokinetic fatigue tests in evaluation of muscular fatigue resistance in endurance runners. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2025;17:88. doi: <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01143-0>
18. Macedo AG, Almeida TAF, Massini DA, de Oliveira DM, Espada MC, Robalo RAM, Hernández-Beltrán V, Gamonalles JM, Vilela Terra AMS, Pessôa Filho DM. Load monitoring methods for controlling training effectiveness on physical conditioning and planning involvement: a narrative review. *Appl Sci*. 2024;14(22):10465. doi: <https://doi.org/10.3390/app142210465>
19. Green JM, McLester JR, Crews TR, Wickwire PJ, Pritchett RC, Lomax RG. RPE-lactate dissociation during extended cycling. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(1-2):145-50. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1311-2>

20. Vargas-Molina S, Martín-Rivera F, Bonilla DA, Petro JL, Carbone L, Romance R, et al. Comparison of blood lactate and perceived exertion responses in two matched time-under-tension protocols. PLoS One. 2020;15(1):e0227640. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227640>
21. Goodwin ML, Harris JE, Hernández A, Gladden LB. Blood lactate measurements and analysis during exercise: a guide for clinicians. J Diabetes Sci Technol. 2007;1(4):558-69. doi: <https://doi.org/10.1177/193229680700100414>
22. Cairns SP, Lindinger MI. Lactic acidosis: implications for human exercise performance. Eur J Appl Physiol. 2025;125(7):1761-95. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05750-0>
23. Coutts AJ, Rampinini E, Marcora SM, Castagna C, Impellizzeri FM. Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. J Sci Med Sport. 2009;12(1):79-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.005>
24. Huang T, Liang Z, Wang K, Miao X, Zheng L. Novel insights into athlete physical recovery concerning lactate metabolism, lactate clearance and fatigue monitoring: a comprehensive review. Front Physiol. 2025;16:1459717. doi: <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1459717>

