

Rendimiento en el deporte

Análisis de la contribución energética en esfuerzos explosivos en jugadores de baloncesto

Energy system contribution during explosive efforts in basketball players

Tauda, Mauricio¹

¹ Universidad Santo Tomás

Dirección de contacto: taudatauda@icloud.com

Mauricio Tauda

Fecha de recepción: 24 de enero de 2026

Fecha de aceptación: 16 de marzo de 2026

RESUMEN

El baloncesto es un deporte intermitente de alta intensidad que exige acciones explosivas de corta duración, las cuales dependen de la activación integrada de los sistemas energéticos anaeróbico aláctico, glucolítico y aeróbico. El objetivo de este estudio fue describir la contribución relativa de los sistemas energéticos (ATP-CP, glucólisis anaeróbica y metabolismo aeróbico) en jugadores de baloncesto durante esfuerzos máximos de distinta duración. Se realizó un estudio experimental de diseño transversal y comparativo. Participaron 24 jugadores de baloncesto varones ($26,5 \pm 3,2$ años; VO_2/kg : $55,0 \pm 7,0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), distribuidos en tres grupos ($n = 8$) según la duración del esfuerzo máximo (7, 15 y 30 s) realizado en cicloergómetro. El consumo de oxígeno post-ejercicio fue analizado mediante un modelo biexponencial para estimar el EPOC (componentes rápido y lento), y se midió lactato capilar. La energía total se expresó en kilocalorías y se calculó la participación relativa de cada sistema energético. Los resultados mostraron predominio del sistema ATP-CP a los 7 s, una distribución más equilibrada a los 15 s y una mayor contribución glucolítica y aeróbica a los 30 s, evidenciando una transición progresiva entre sistemas. Estos hallazgos permiten optimizar la prescripción del entrenamiento intermitente y las estrategias de recuperación en el básquetbol en función de la duración del esfuerzo.

Palabras clave: baloncesto, sistemas energéticos, VO_2 , bioenergética.

ABSTRACT

Basketball is a high-intensity intermittent sport characterized by short-duration explosive actions that rely on the integrated activation of the anaerobic alactic, glycolytic, and aerobic energy systems. The aim of this study was to describe the relative contribution of the energy systems (ATP-PCr, anaerobic glycolysis, and aerobic metabolism) in basketball players during maximal efforts of different durations. An experimental, cross-sectional, and comparative design was used. Twenty-four male basketball players (26.5 ± 3.2 years; VO_2/kg : $55.0 \pm 7.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) were allocated into three groups ($n = 8$) according to the duration of the maximal effort (7, 15, and 30 s) performed on a cycle ergometer. Post-exercise oxygen uptake was analyzed using a biexponential model to estimate excess post-exercise oxygen consumption (EPOC), and capillary blood lactate was measured. Total energy expenditure was expressed in kilocalories, and the relative contribution of each energy system was calculated. The results showed a predominance of the ATP-PCr system at 7 s, a more balanced energy distribution at 15 s, and a greater glycolytic and aerobic contribution at 30 s, indicating a progressive metabolic transition. These findings support the optimization of intermittent training prescription and sport-specific recovery strategies in basketball according to effort duration.

Keywords: basketball, energy systems, VO_2 , bioenergetics.

INTRODUCCIÓN

El baloncesto es un deporte intermitente de alta intensidad que exige la ejecución repetida de acciones explosivas como sprints, cambios de dirección, saltos y contactos físicos, dentro de un contexto de toma de decisiones constante. Estas demandas generan un elevado estrés fisiológico y requieren la activación integrada y secuencial de los sistemas energéticos fosfágeno (ATP-CP), glucolítico anaeróbico y aeróbico (Archacki et al., 2024). La alternancia de esfuerzos máximos y recuperaciones incompletas convierte al baloncesto en un modelo adecuado para estudiar la cinética de transición entre las distintas vías metabólicas.

Durante los primeros segundos de un esfuerzo explosivo, la resíntesis de ATP depende principalmente del sistema fosfágeno, debido a la alta disponibilidad de fosfocreatina y a la rápida acción de la creatina quinasa, sin requerimiento de oxígeno. No obstante, estas reservas se agotan rápidamente, y la acumulación de subproductos metabólicos estimula la activación temprana de la glucogenólisis y la glucólisis anaeróbica, permitiendo sostener la producción de ATP en esfuerzos de mayor duración (Hargreaves & Spriet, 2020). A medida que el esfuerzo se prolonga más allá de los 15–20 segundos, la contribución del metabolismo aeróbico adquiere mayor relevancia. Evidencia reciente indica que la fosforilación oxidativa participa desde fases tempranas del ejercicio, alcanzando una contribución significativa en esfuerzos de hasta 30 segundos, además de facilitar la resíntesis de fosfocreatina y la remoción de lactato durante la recuperación (Beneke et al., 2021; Buchheit & Laursen, 2013).

En el contexto del baloncesto, estas transiciones bioenergéticas ocurren de manera constante durante el juego. Las acciones explosivas repetidas, con pausas parciales de recuperación, exigen una elevada capacidad anaeróbica y una adecuada eficiencia aeróbica para sostener el rendimiento y limitar la fatiga (Stojanović et al., 2018). Aunque revisiones recientes han destacado la importancia del sistema ATP-CP en las acciones decisivas del juego (Shalom et al., 2023), persiste una limitada evidencia que

cuantifique de forma objetiva la contribución relativa de los sistemas energéticos en función de la duración del esfuerzo en jugadores de baloncesto.

Esta brecha dificulta el diseño de programas de entrenamiento intermitente ajustados a las demandas bioenergéticas reales del deporte. Por ello, el objetivo del presente estudio fue estimar la contribución relativa de los sistemas ATP-CP, glucólisis anaeróbica y metabolismo aeróbico en jugadores de baloncesto sometidos a esfuerzos máximos de distinta duración (7, 15 y 30 segundos), con el fin de describir la secuencia y el predominio de los sistemas energéticos en función del tiempo de esfuerzo y aportar fundamentos fisiológicos para una prescripción del entrenamiento más específica.

MÉTODO

Participantes

Se realizó un estudio cuasiexperimental de tipo analítico, con diseño transversal y comparativo entre grupos independientes. Participaron 24 jugadores de baloncesto varones ($26,5 \pm 3,2$ años; $VO_{2\text{máx}}$ relativo: $55,0 \pm 7,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), seleccionados por conveniencia según disponibilidad y nivel competitivo. Con el fin de minimizar sesgos de selección, los grupos fueron emparejados por edad, capacidad aeróbica ($VO_{2\text{máx}}$) y experiencia deportiva. El tamaño muestral se definió considerando el diseño experimental del estudio y la factibilidad del protocolo. La inclusión de ocho jugadores por grupo es consistente con investigaciones previas que han analizado la contribución de los sistemas energéticos mediante métodos indirectos y permite evaluar adecuadamente la distribución relativa de los sistemas energéticos según la duración del esfuerzo máximo.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Científico de la Universidad Santo Tomás (Chile), institución responsable del proyecto, bajo el número de aprobación N° 23136643/2025. La investigación se desarrolló conforme a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki para estudios en seres humanos y en concordancia con la normativa nacional vigente. Todos los participantes fueron informados verbalmente y por escrito acerca de los objetivos, procedimientos, posibles riesgos y beneficios del estudio, y otorgaron su consentimiento informado por escrito previo a su participación. La confidencialidad de la información fue garantizada mediante la codificación y anonimización de los datos, asegurando que solo el equipo investigador tuviera acceso a la base de datos, la cual fue utilizada exclusivamente con fines científicos.

Criterios de inclusión: jugadores varones entre 18 y 35 años, participación competitiva activa a nivel regional o nacional, experiencia mínima de 5 años en la disciplina y $VO_{2\text{máx}} \geq 40 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

Criterios de exclusión: lesiones musculoesqueléticas recientes, patologías cardiovasculares, metabólicas o respiratorias, consumo reciente de sustancias ergogénicas o fármacos que alteraran la respuesta metabólica, y/o incumplimiento de las indicaciones previas a la evaluación.

Procedimiento

Las evaluaciones se realizaron en un laboratorio bajo condiciones ambientales controladas (20–22 °C; 50–60% HR). Los participantes asistieron en horario matutino tras cumplir ayuno ligero (≥ 3 h),

adecuada hidratación, abstención de ejercicio intenso y sustancias estimulantes durante 48 h, y un descanso nocturno mínimo de 7 h. A su llegada, se verificaron los signos vitales y se realizó una familiarización con el cicloergómetro (Monark 894E) y el analizador metabólico (Cortex Metalyzer 3B-R3). Antes de cada sesión de evaluación, el sistema fue calibrado siguiendo las recomendaciones del fabricante. Los jugadores fueron distribuidos en tres grupos independientes ($n = 8$) según la duración del esfuerzo máximo: 7, 15 y 30 segundos. Previo a la prueba, se realizó un calentamiento estandarizado de 10 minutos. Posteriormente, cada grupo ejecutó un único esfuerzo máximo en cicloergómetro, con una carga equivalente al 7,5% del peso corporal, manteniendo la máxima cadencia durante todo el intervalo.

Medición del consumo de oxígeno (VO_2)

El consumo de oxígeno fue registrado de forma continua durante 6 minutos post-ejercicio mediante ergoespirometría de circuito abierto. La calibración del volumen se realizó mediante una jeringa de 3 litros, mientras que la calibración de los analizadores de gases se efectuó utilizando gases patrón de concentración conocida para O_2 y CO_2 . Asimismo, se verificó la estabilidad de las señales, el correcto ajuste del flujo y la ausencia de fugas en el sistema antes del inicio de cada prueba, asegurando la validez y confiabilidad de las mediciones.

Determinación de lactato sanguíneo

La participación glucolítica se estimó mediante la medición de lactato capilar, obteniendo muestras del lóbulo auricular a los 3 y 5 minutos post-ejercicio. El análisis se realizó con un lactato tester portátil (Lactate Pro 2), siguiendo protocolos de bioseguridad.

Estimación de la contribución energética

La cuantificación de la participación relativa de los sistemas energéticos (anaeróbico aláctico, glucólisis anaeróbica y metabolismo aeróbico) se realizó mediante un enfoque mixto, integrando las medidas de consumo de oxígeno (VO_2) y lactato sanguíneo obtenidas durante el protocolo experimental.

Sistema (ATP-CP): La contribución del sistema anaeróbico aláctico se estimó a partir del componente rápido del EPOC, analizado mediante un modelo biexponencial aplicado al VO_2 durante la recuperación post-esfuerzo. La ecuación empleada fue:

$$VO_{2(t)} = VO_{2\text{baseline}} + A_1 \cdot e^{-\frac{(t-td)}{t_1}} + A_2 \cdot e^{-\frac{(t-td)}{t_2}}$$

donde:

A_1 : amplitud del componente rápido (resíntesis de ATP y fosfocreatina).

t_1 : constante de tiempo del componente rápido.

td : retraso temporal en la respuesta.

VO_2 baseline: consumo de oxígeno en reposo.

El área bajo la curva del componente A_1 refleja el costo energético asociado a la resíntesis de fosfocreatina (ATP-CP), expresado en litros de oxígeno consumido, posteriormente transformado en kilocalorías mediante la equivalencia metabólica de $5 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} O_2$.

El uso de valores fijos para la estimación de la contribución del sistema ATP-CP se fundamenta en la elevada variabilidad interindividual observada en la cinética de resíntesis de fosfocreatina cuando se emplean métodos indirectos basados en el exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio (EPOC). La evidencia disponible indica que, durante esfuerzos máximos de corta duración, la contribución absoluta del sistema fosfágeno se mantiene dentro de rangos relativamente acotados, lo que permite la utilización de valores de referencia estandarizados con fines comparativos.

En el presente estudio, la adopción de valores fijos (10 kcal para 7 s, 7,5 kcal para 15 s y 5 kcal para 30 s) tuvo como objetivo reducir el impacto de la variabilidad interindividual, facilitar la comparación entre grupos y priorizar el análisis de la distribución relativa de los sistemas energéticos en función de la duración del esfuerzo. Este enfoque ha sido utilizado previamente en investigaciones que estiman la contribución energética mediante modelos indirectos basados en el EPOC y la acumulación de lactato sanguíneo, particularmente en protocolos de ejercicio supramáximo, donde la estandarización metodológica resulta clave para la interpretación de los resultados.

Sistema Anaeróbico Láctico (Glucólisis Anaeróbica): La participación de la glucólisis anaeróbica se estimó combinando: El componente lento del EPOC (parámetros A_2 y t_2), que refleja procesos de aclaramiento de lactato y restauración homeostática. La acumulación de lactato sanguíneo, determinada a los 3 y 5 minutos post-ejercicio. La carga glucolítica se cuantificó mediante la siguiente ecuación:

$$O_{2\text{ lactato}} = (Lactato_{post} - Lactato_{basal}) \times 3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$$

donde:

Lactato_{post}: concentración de lactato capilar post-ejercicio ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$).

Lactato_{basal}: valor de referencia en reposo.

$3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$: coste metabólico estimado de la producción de $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ de lactato.

El volumen de oxígeno equivalente se multiplicó por el peso corporal y por $5 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1} \text{ O}_2$ para obtener el gasto energético de la glucólisis anaeróbica.

Metabolismo Aeróbico: La contribución del sistema aeróbico se calculó integrando el consumo de oxígeno neto durante el esfuerzo máximo ($\text{VO}_2 \text{ ejercicio} - \text{VO}_2 \text{ basal}$) a lo largo del tiempo de trabajo (7, 15 o 30 segundos). Este valor refleja el aporte energético directo del metabolismo aeróbico durante la realización del esfuerzo.

$$kcal_{aerobico} = (\text{VO}_2 \text{ ejercicio} - \text{VO}_2 \text{ basal}) \times \text{Tiempo} \times 5 \text{ kcal} \cdot \text{L}^{-1}$$

Cálculo de la Participación Relativa (%): La energía total fue calculada como la suma de las contribuciones de los tres sistemas:

Cada sistema se expresó como porcentaje del total:

$$\%Sistema = \left(\frac{kcal_{Sistema}}{Energia_{total}} \right) \times 100$$

Este procedimiento permitió describir la distribución relativa de los sistemas energéticos en función de la duración del esfuerzo máximo (7, 15 y 30 segundos), evidenciando las transiciones metabólicas en jugadores de básquetbol.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante IBM SPSS Statistics ($p < 0,05$). Se calcularon medidas descriptivas (media $\pm$ DE) e intervalos de confianza al 95%, y la normalidad de los datos se verificó con la prueba de Shapiro–Wilk. Las diferencias en la contribución de los sistemas energéticos, los componentes del EPOC y la concentración de lactato entre los grupos de 7, 15 y 30 s se analizaron mediante ANOVA de un factor, con pruebas post hoc de Bonferroni cuando correspondió. La magnitud de las diferencias se estimó mediante η^2 parcial. Finalmente, se evaluó la asociación entre lactato post-ejercicio y el componente lento del EPOC mediante correlación de Pearson.

RESULTADOS

Tabla 1.

Análisis descriptivo de la muestra (24)

	IC al 95%							Shapiro-Wilk	
	Media	Inferior	Superior	Mediana	DE	Mínimo	Máximo	W	P
Edad	26.542	25.206	27.877	27.000	3.162	19.000	31.000	0.951	0.287
Talla	1.797	1.758	1.837	1.780	0.093	1.690	1.980	0.885	0.011
Peso	73.217	67.876	78.558	72.000	12.648	57.000	99.000	0.933	0.117
%Grasa	23.887	22.842	24.933	24.000	2.475	18.900	28.200	0.946	0.222
%Masa	41.458	40.462	42.454	41.000	2.359	37.000	46.000	0.974	0.762
Vo2/Kg	54.958	52.008	57.909	56.000	6.987	39	67	0.956	0.371
HR	196.125	193.351	198.899	194.000	6.569	182	207	0.931	0.101

Nota: %Grasa: porcentaje de grasa corporal. %Masa: porcentaje de masa muscular. VO2/KG: Consumo máximo de oxígeno relativo. HR: Frecuencia cardíaca.

La Tabla 1 describe las características descriptivas de la muestra, incluyendo edad, talla, peso, composición corporal (% grasa y % masa magra), consumo máximo de oxígeno relativo (VO₂/kg) y frecuencia cardíaca máxima (HR). Los valores se presentan como media $\pm$ desviación estándar (DE), acompañados de sus respectivos intervalos de confianza al 95% (IC95%). Además, se reporta la normalidad de las distribuciones mediante la prueba de Shapiro-Wilk.

Tabla 2.
Contribución Energética - Grupo 7s (8 sujetos)

Sujeto	Peso (kg)	VO ₂ esfuerzo (L/min)	VO ₂ reposo (L/min)	kcal Aeróbico	kcal Glucólisis	kcal ATP-CP	Energía total (kcal)	% Aeróbico	% Glucólisis	% ATP-CP
1	62.2	2.164	0.218	1.135	8.770	10.0	19.906	5.70%	44.06%	50.24%
2	77.0	2.184	0.270	1.117	9.702	10.0	20.819	5.36%	46.60%	48.03%
3	75.0	2.214	0.262	1.138	10.125	10.0	21.263	5.35%	47.62%	47.03%
4	91.0	2.233	0.318	1.117	10.647	10.0	21.764	5.13%	48.92%	45.95%
5	86.0	2.251	0.301	1.138	12.900	10.0	24.038	4.73%	53.67%	41.60%
6	71.0	2.340	0.248	1.220	9.266	10.0	20.486	5.96%	45.23%	48.82%
7	58.0	2.301	0.203	1.224	7.569	10.0	18.793	6.51%	40.28%	53.21%
8	72.0	2.232	0.252	1.155	8.316	10.0	19.471	5.93%	42.71%	51.36%

Nota: La estimación del componente ATP-CP se fijó en 10 kcal para todos los sujetos.

La Tabla 2 muestra la contribución absoluta y relativa de los sistemas energéticos durante un esfuerzo máximo de 7 segundos. El sistema ATP-CP fue el principal contribuyente energético, con un aporte absoluto fijo de 10 kcal y una participación relativa entre 41,6% y 53,2%. La glucólisis anaeróbica presentó una contribución relevante y variable (40,3–53,7%), evidenciando una activación temprana incluso en esfuerzos muy breves. En contraste, el metabolismo aeróbico tuvo una participación marginal, con valores inferiores al 6,5%. La energía total osciló entre 18,8 y 24,0 kcal, siendo mayor en sujetos con mayor masa corporal.

Tabla 3.
Contribución Energética - Grupo 15s (8 sujetos)

Sujeto	Peso (kg)	VO ₂ esfuerzo (L/min)	VO ₂ reposo (L/min)	kcal Aeróbico	kcal Glucólisis	kcal ATP-CP	Energía total (kcal)	% Aeróbico	% Glucólisis	% ATP-CP
1	99	2.164	0.346	2.272	16.484	7.5	26.255	8.65%	62.78%	28.57%
2	62	2.184	0.217	2.459	11.067	7.5	21.026	11.69%	52.64%	35.67%
3	83	2.214	0.290	2.404	13.197	7.5	23.101	10.41%	57.13%	32.47%
4	65	2.233	0.228	2.507	11.310	7.5	21.317	11.76%	53.06%	35.18%
5	57	2.251	0.200	2.564	9.918	7.5	19.982	12.83%	49.63%	37.53%
6	57	2.340	0.200	2.676	9.576	7.5	19.752	13.55%	48.48%	37.97%
7	63	2.301	0.220	2.601	12.096	7.5	22.197	11.72%	54.50%	33.79%
8	62	2.232	0.217	2.519	11.067	7.5	21.086	11.95%	52.49%	35.57%

Nota: El valor de 7,5 kcal se seleccionó como una estimación conservadora, representando aproximadamente un 25-30% de reducción respecto a los 10 kcal fijados para esfuerzos de 7 segundos. Esta aproximación permite reflejar la transición metabólica esperada, al tiempo que proporciona una referencia estandarizada para la comparación entre grupos. La adopción de un valor fijo facilita la homogeneidad en el análisis, minimizando el impacto de la variabilidad interindividual en la capacidad de resíntesis de fosfocreatina

La Tabla 3 presenta la contribución absoluta y relativa de los sistemas energéticos durante un esfuerzo máximo de 15 segundos. La glucólisis anaeróbica fue la principal fuente de energía, con valores absolutos entre 9,6 y 16,5 kcal y una contribución relativa de 48,5% a 62,8%. El sistema ATP-CP mostró una disminución progresiva de su aporte, fijado en 7,5 kcal, con una participación relativa entre 28,6% y 38,0%, reflejando la transición metabólica hacia una mayor dependencia glucolítica. El metabolismo aeróbico incrementó su contribución respecto a los esfuerzos de 7 segundos, alcanzando valores relativos entre 8,7% y 13,6%. La energía total osciló entre 19,8 y 26,3 kcal, siendo mayor en sujetos con mayor masa corporal.

Tabla 4.
Contribución Energética - Grupo 30s (8 sujetos completos)

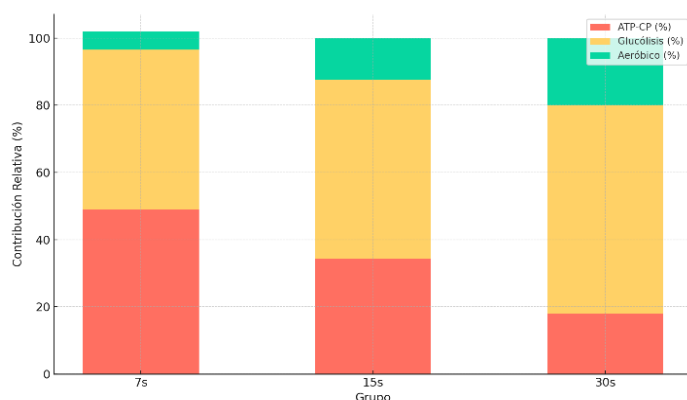
Sujeto	Peso (kg)	VO ₂ esfuerzo (L/min)	VO ₂ reposo (L/min)	kcal Aeróbico	kcal Glucólisis	kcal ATP-CP	Energía total (kcal)	% Aeróbico	% Glucólisis	% ATP-CP
1	75	2.405	0.263	5.355	16.988	5.0	27.342	19.59%	62.13%	18.29%
2	76	2.449	0.266	5.458	16.302	5.0	26.760	20.40%	60.92%	18.69%
3	81	2.452	0.284	5.420	18.468	5.0	28.888	18.76%	63.93%	17.31%
4	85	2.398	0.298	5.250	17.978	5.0	28.228	18.60%	63.69%	17.71%
5	71	2.482	0.249	5.583	16.720	5.0	27.303	20.45%	61.24%	18.31%
6	58	2.502	0.203	5.748	14.529	5.0	25.276	22.74%	57.48%	19.78%
7	72	2.445	0.252	5.482	15.660	5.0	26.142	20.97%	59.90%	19.13%
8	99	2.436	0.347	5.222	25.691	5.0	35.913	14.54%	71.54%	13.92%

Nota: VO₂ esfuerzo = consumo de oxígeno medio registrado durante el esfuerzo máximo; VO₂ reposo = consumo de oxígeno basal previo al ejercicio; kcal Aeróbico = energía estimada a partir del consumo neto de oxígeno durante el esfuerzo; kcal Glucólisis = energía estimada a partir de la acumulación de lactato sanguíneo post-ejercicio; kcal ATP-CP = energía estimada correspondiente al sistema fosfágeno, calculada a partir del componente rápido del EPOC y fijada en 5 kcal para todos los sujetos; Energía total = suma de las contribuciones energéticas de los tres sistemas; % Aeróbico, % Glucólisis y % ATP-CP = contribución relativa de cada sistema energético respecto a la energía total.

La Tabla 4 presenta la contribución absoluta y relativa de los sistemas energéticos durante un esfuerzo máximo de 30 segundos. La glucólisis anaeróbica fue la principal fuente de energía, con valores absolutos entre 14,5 y 25,7 kcal y una contribución relativa de 57,5% a 71,5%. El metabolismo aeróbico mostró una participación intermedia, con aportes entre 5,2 y 5,7 kcal y porcentajes relativos de 14,5% a 22,7%, evidenciando una activación progresiva en esfuerzos de mayor duración. El sistema ATP-CP presentó una contribución constante de 5 kcal, con una participación relativa entre 13,9% y 19,8%. La energía total osciló entre 25,3 y 35,9 kcal, siendo mayor en sujetos con mayor masa corporal.

Figura 1.

Contribución de sistemas energéticos 7, 15 y 30 sg.



La Figura 1 muestra la comparación grupal de la contribución relativa de los sistemas energéticos durante esfuerzos máximos de 7, 15 y 30 segundos. Se observa una disminución progresiva del aporte del sistema ATP-CP, desde el grupo de 7 s hasta 30 s, junto con un incremento sostenido de la contribución glucolítica, que se consolida como la principal vía energética en esfuerzos de mayor duración. Paralelamente, el metabolismo aeróbico incrementa su participación de forma progresiva, alcanzando valores relevantes a los 30 segundos. El gasto energético total aumenta con la duración del esfuerzo, reflejando una mayor demanda metabólica global. Estos resultados evidencian una transición bioenergética dependiente del tiempo de esfuerzo, coherente con la fisiología del ejercicio de alta intensidad.

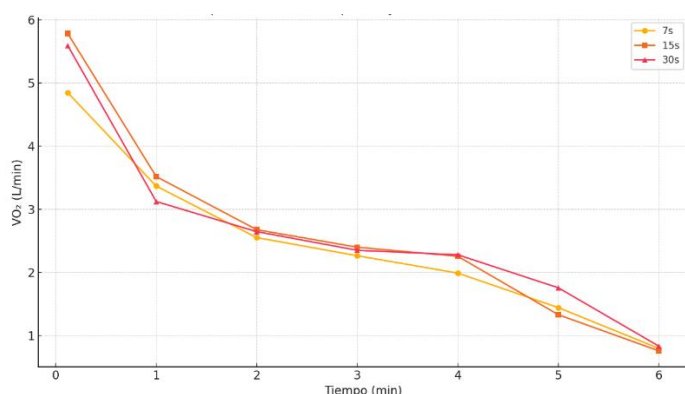
Figura 2.

Media maximal lactato y Vo2max 7, 15 y 30 sg.



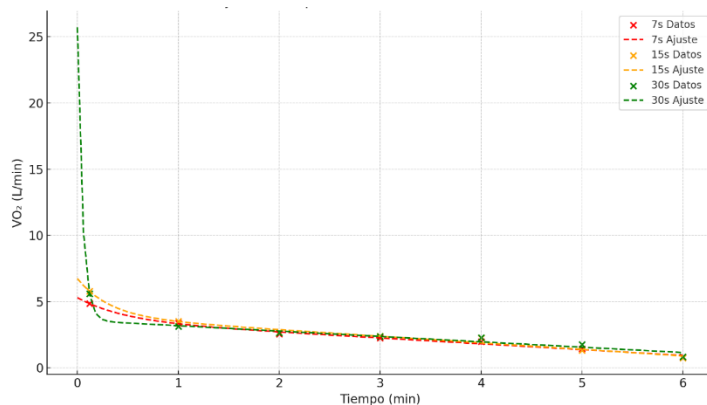
La Figura 2 muestra la relación entre la duración del esfuerzo máximo y las respuestas metabólicas agudas, expresadas como concentración de lactato y consumo de oxígeno (VO₂). Se observa un aumento progresivo del lactato a medida que se incrementa la duración del esfuerzo, indicando una creciente dependencia del metabolismo anaeróbico glucolítico. En contraste, el VO₂ presenta un incremento moderado, evidenciando una activación más lenta del metabolismo aeróbico en esfuerzos de alta intensidad y corta duración. La relación entre lactato y VO₂ aumenta con el tiempo de esfuerzo, reflejando un predominio progresivo de la vía glucolítica sobre la oxidativa. Estos resultados confirman una respuesta metabólica dependiente de la duración del esfuerzo, coherente con la cinética diferencial de activación de los sistemas energéticos.

Figura 3.
Recuperación Vo_2 post-ejercicio 7, 15 y 30sg.



La Figura 3 muestra la evolución del consumo de oxígeno (VO_2) durante la recuperación post-ejercicio tras esfuerzos máximos de 7, 15 y 30 segundos. El grupo de 30 segundos presentó los valores iniciales de VO_2 más elevados, reflejando una mayor carga metabólica acumulada. En todos los grupos se observó un descenso rápido del VO_2 durante los primeros minutos de recuperación, correspondiente al componente rápido del EPOC, seguido de una fase de disminución más gradual. A lo largo de la recuperación, los esfuerzos de mayor duración mantuvieron valores de VO_2 superiores, evidenciando una mayor magnitud y persistencia del EPOC. Estos resultados indican que la duración del esfuerzo condiciona la cinética de recuperación metabólica, siendo más prolongada tras esfuerzos de mayor demanda glucolítica.

Figura 4.
Ajuste biexponencial EPOC 7, 15 y 30sg.



La Figura 4 muestra la cinética de recuperación del consumo de oxígeno (VO_2) post-ejercicio mediante un ajuste biexponencial tras esfuerzos máximos de 7, 15 y 30 segundos. Se observaron diferencias claras en la magnitud del EPOC según la duración del esfuerzo, con valores progresivamente mayores a medida que aumentó el tiempo de ejercicio. El componente rápido del EPOC presentó una mayor amplitud en los esfuerzos de mayor duración, reflejando una mayor demanda de resíntesis de fosfágenos y una alteración metabólica más pronunciada. En términos generales, los esfuerzos de 30 segundos mostraron un EPOC inicial más elevado y una recuperación más prolongada, mientras que los esfuerzos de 7 segundos evidenciaron una recuperación más rápida. El análisis estadístico confirmó

diferencias significativas entre los grupos en las concentraciones de lactato y en la contribución relativa de los sistemas energéticos, con una mayor participación del sistema ATP-CP en 7 segundos y un incremento progresivo de la contribución glucolítica y aeróbica en los esfuerzos de mayor duración.

Comparación de resultados entre estudios que aplicaron la estimación indirecta.

Tabla 5.

Comparación resultados tiempo 7 a 10sg.

Estudio	Tiempo	PCr (%) $\pm$ DS	Glucolítico (%) $\pm$ DS	Oxidativo (%) $\pm$ DS
Presente estudio (Cicloergómetro)	7 s	48.28 $\pm$ 3.2	46.14 $\pm$ 3.2	5.58 $\pm$ 1.2
Özbay et al., 2024 (Sprint)	5 s	60.7 $\pm$ 3.8	24.9 $\pm$ 4.3	14.4 $\pm$ 1.3
Tortu et al., 2024 (Taekwondo)	10 s	61.4 $\pm$ 4.9	31.1 $\pm$ 5.7	7.6 $\pm$ 2.3
Gaitanos et al., 1993 (Ciclismo)	6 s	55.9 $\pm$ 4.0	44.1 $\pm$ 4.5	0.0 $\pm$ 0.0

Nota: Estimación de la contribución energética mediante métodos indirectos basados en lactato sanguíneo, consumo de oxígeno y modelos teóricos de resíntesis de fosfocreatina (PCr).

La Tabla 5 compara la contribución relativa de los sistemas energéticos en esfuerzos máximos de corta duración (5–10 s) estimada mediante métodos indirectos en distintos estudios. En todos los casos, el sistema ATP-CP predomina como principal fuente energética, con valores entre 48,3% y 61,4%, seguido por una contribución glucolítica variable que aumenta a medida que se prolonga la duración del esfuerzo. El aporte oxidativo es reducido en este rango temporal, aunque muestra valores relativamente mayores en protocolos de sprint y en estudios con menor intensidad relativa. Las diferencias observadas entre estudios se explican principalmente por la modalidad del ejercicio, la duración exacta del esfuerzo y las características de los sujetos evaluados, lo que refuerza la influencia de la especificidad de la tarea y del contexto deportivo en la estimación de la contribución energética.

Tabla 6.

Comparación resultados tiempo 15 a 20sg.

Estudio	Tiempo	PCr (%)	Glucolítico (%)	Oxidativo (%)
Presente estudio (Cicloergómetro)	15 s	34.59 $\pm$ 3.2	53.84 $\pm$ 3.2	11.57 $\pm$ 1.2
Broxterman et al., 2017 (Cicloergómetro)	20 s	28.00 $\pm$ 3.5	34.00 $\pm$ 1.2	58.00 $\pm$ 3.1
Seemann et al., 2022 (Gimnasia)	20 s	50.90 $\pm$ 6.6	28.60 $\pm$ 4.8	20.50 $\pm$ 5.2
Zagatto et al., 2001 (Sprint)	20 s	65.40 $\pm$ 1.1	29.50 $\pm$ 1.1	5.10 $\pm$ 0.5

Nota: Estimación de la contribución energética mediante métodos indirectos basados en lactato sanguíneo, consumo de oxígeno y modelos teóricos de resíntesis de fosfocreatina (PCr).

La Tabla 6 compara estudios que estimaron la contribución de los sistemas ATP-CP, glucolítico y oxidativo en esfuerzos de 15 a 20 segundos mediante métodos indirectos (VO_2 , lactato y modelos de resíntesis de PCr). El presente estudio muestra un perfil glucolítico predominante (53.84%), ubicándose entre: Seemann et al., 2022 (equilibrio anaeróbico con 50.9% ATP-CP). Broxterman et al., 2017, con un claro predominio oxidativo (58%). En contraste, difiere de Zagatto et al., 2001, quien reporta mayor participación de ATP-CP (65.4%) y menor glucolítico.

Las correlaciones indican: Relación inversa fuerte entre tiempo y glucólisis ($r = -0.98$), como era esperable. En el presente estudio, la alta glucólisis a 15s se explica por la capacidad anaeróbica de los jugadores de baloncesto y la naturaleza explosiva del protocolo. La relación PCr vs. oxidativo ($r = -0.72$) confirma la competencia entre vías según la especificidad del ejercicio.

Tabla 7.
Comparación resultados tiempo 30 a 60sg.

Estudio	Tiempo	ATP-CP (%)	Glucolítico (%)	Oxidativo (%)
Presente estudio (Cicloergómetro)	30 s	17.89 ± 3.2	62.60 ± 3.2	19.51 ± 1.2
Ulupinar et al., 2022 (Fútbol, Sprint)	30 s	42.30 ± 1.1	12.70 ± 1.1	45.00 ± 2.4
Tortu et al., 2024 (Taekwondo, Golpes)	30 s	48.70 ± 6.9	34.50 ± 8.3	16.80 ± 2.6
Beneke et al., 2002 (Cicloergómetro)	30 s	50.30 ± 5.1	31.10 ± 4.6	18.60 ± 2.5
Bussweiler et al., 2012 (Taekwondo)	30 s	52.80 ± 6.0	25.70 ± 3.4	23.40 ± 4.0

Nota: Estimación de la contribución energética mediante métodos indirectos basados en lactato sanguíneo, consumo de oxígeno y modelos teóricos de resíntesis de fosfocreatina (PCr).

La Tabla 7 compara la contribución relativa de los sistemas energéticos durante esfuerzos máximos de 30 segundos estimados mediante métodos indirectos. El presente estudio muestra un claro predominio glucolítico (62,6%), acompañado de una participación oxidativa intermedia (19,5%) y una menor contribución del sistema ATP-CP (17,9%), reflejando la elevada demanda glucolítica asociada a esfuerzos intensos e intermedios en jugadores de baloncesto. En contraste, estudios previos realizados en fútbol, taekwondo y ciclismo reportan perfiles más fosfágenos o más oxidativos, dependiendo de la modalidad y la intensidad del protocolo. Estas diferencias evidencian la influencia de la especificidad del ejercicio, las características fisiológicas de los sujetos y la intensidad relativa del esfuerzo sobre la distribución energética, explicando la mayor activación glucolítica observada en el presente estudio.

DISCUSIÓN

El presente estudio analizó la contribución relativa de los sistemas energéticos durante esfuerzos máximos de 7, 15 y 30 segundos en jugadores de baloncesto, utilizando métodos indirectos de estimación metabólica. Los resultados concuerdan con los principios de la fisiología del ejercicio de alta intensidad, evidenciando una transición progresiva en la participación de los sistemas ATP-CP, glucolítico y aeróbico a medida que aumenta la duración del esfuerzo. Esta dinámica refleja la interacción simultánea y complementaria de las vías energéticas en la resíntesis de ATP.

En esfuerzos de 7 segundos predominó el sistema ATP-CP (50.24±3.2%), acompañado de una activación glucolítica relevante (46.14±3.2%), mientras que la contribución aeróbica fue mínima (5.58±1.2%). Este patrón coincide con la rápida disponibilidad de fosfocreatina en esfuerzos supramáximos, aunque confirma una activación temprana de la glucólisis, tal como ha sido reportado previamente (Gaitanos et al., 1993; Özbay et al., 2024).

A los 15 segundos se observó una transición metabólica clara, con predominio glucolítico (53.84±3.2%), disminución del aporte ATP-CP (34.59±3.2%) y un incremento progresivo del metabolismo aeróbico (11.57±1.2%). Estos resultados son comparables a los descritos por Seemann et al. (2022), aunque difieren de protocolos de menor intensidad relativa con mayor componente oxidativo (Broxterman et al., 2017).

En los esfuerzos de 30 segundos, la glucólisis anaeróbica se consolidó como la principal vía energética ($62.60 \pm 3.2\%$), acompañada de una participación aeróbica intermedia ($19.51 \pm 1.2\%$) y una menor contribución del sistema ATP-CP ($17.89 \pm 3.2\%$). En comparación con otros estudios (Beneke et al., 2002; Tortu et al., 2024), se observó una mayor dependencia glucolítica, probablemente asociada a la naturaleza explosiva del protocolo y a las características fisiológicas de los jugadores de baloncesto.

En conjunto, estos resultados confirman que la contribución energética no depende exclusivamente de la duración del esfuerzo, sino también de la intensidad relativa y de la especificidad de la disciplina deportiva, factores determinantes en la dinámica bioenergética del ejercicio intermitente de alta intensidad.

En los jugadores de baloncesto evaluados, la naturaleza intermitente y explosiva del juego favorece una mayor dependencia de las vías anaeróbicas, especialmente en esfuerzos de hasta 30 segundos. La comprensión de estas interacciones bioenergéticas permite optimizar la prescripción y periodización del entrenamiento, orientando las cargas hacia el desarrollo específico de cada sistema energético según el perfil fisiológico del jugador y las demandas competitivas. Este enfoque contribuye tanto a la mejora del rendimiento como a la reducción de la fatiga prematura y del riesgo de lesiones asociadas a desequilibrios metabólicos.

El presente estudio utilizó un enfoque de estimación indirecta de la contribución energética, integrando mediciones de lactato sanguíneo, consumo de oxígeno y modelos teóricos de resíntesis de fosfocreatina. Aunque estas metodologías son ampliamente aceptadas, presentan limitaciones, como la imposibilidad de medir directamente la resíntesis de ATP y la depleción intramuscular de fosfocreatina, así como el uso de un valor fijo para el componente ATP-CP, que no considera la variabilidad interindividual. No obstante, estos métodos han sido validados en la literatura y proporcionan una aproximación fiable para el análisis de la contribución energética en esfuerzos máximos de corta duración.

En el presente estudio se observó que, durante esfuerzos máximos de 7 segundos, el sistema ATP-CP fue predominante (50.24%), acompañado de una participación glucolítica relevante (46.14%). Estos resultados coinciden con estudios clásicos y recientes en esfuerzos supramáximos, como los de Gaitanos et al. (1993), quienes reportaron un 55.9% de contribución ATP-CP en esfuerzos de 6 segundos, y Özbay et al. (2024), quienes observaron un 60.7% en esfuerzos de 5 segundos. No obstante, en comparación con estos trabajos, el presente estudio mostró una mayor participación glucolítica, lo que podría atribuirse a las características de los jugadores de baloncesto evaluados, cuyo perfil intermitente y explosivo favorecería una activación glucolítica más temprana bajo condiciones de esfuerzo máximo en cicloergometría.

De forma concordante, Serresse et al. (1988) reportaron que el sistema ATP-CP es la principal fuente energética en ejercicios máximos de hasta 10 segundos, con una contribución cercana al 55–60%, reforzando el modelo secuencial de activación energética. Sin embargo, la elevada participación glucolítica observada a los 7 segundos en el presente estudio (46.14%) sugiere que, bajo ciertas condiciones de intensidad y especificidad deportiva, la glucólisis puede activarse antes de lo tradicionalmente descrito para esfuerzos <10 s.

En los esfuerzos de 15 segundos se evidenció una transición metabólica clara, caracterizada por el predominio de la glucólisis anaeróbica ($53.84 \pm 3.2\%$), una disminución del aporte ATP-CP ($34.59 \pm 3.2\%$) y un incremento progresivo de la contribución aeróbica ($11.57 \pm 1.2\%$), en concordancia con la fisiología clásica del ejercicio intermitente de alta intensidad. Sin embargo, al comparar con la literatura, se observan diferencias asociadas a la modalidad y al perfil de los sujetos, como lo reportado por Broxterman et al. (2017), quienes describieron un mayor componente oxidativo en protocolos de menor intensidad relativa y en poblaciones no especializadas en esfuerzos explosivos.

En contraste, Seemann et al. (2022) observaron en gimnastas un predominio del sistema ATP-CP (50.9%) y una menor participación glucolítica (28.6%), lo que se explica por la naturaleza técnica, breve y con pausas frecuentes de las rutinas de suelo. De forma similar, Zagatto et al. (2001), en sprints de 20 segundos en militares entrenados, reportaron una alta dependencia del sistema ATP-CP (65.4%), con una contribución glucolítica moderada (29.5%) y un aporte oxidativo marginal (5.1%), reflejando la especificidad de tareas explosivas y cíclicas. En conjunto, la comparación con estudios en atletismo, ciclismo, gimnasia y deportes de combate confirma que la distribución energética en esfuerzos de 15–20 segundos depende en gran medida del tipo de deporte, la intensidad aplicada y las características de los atletas. En los jugadores de baloncesto evaluados, se evidencia una rápida activación glucolítica como vía predominante en esfuerzos de duración intermedia, con implicancias directas para la planificación del entrenamiento y la gestión de la fatiga competitiva.

En los esfuerzos máximos de 30 segundos, la glucólisis anaeróbica se consolidó como la principal vía energética ($62.60 \pm 3.2\%$), acompañada de una participación oxidativa intermedia ($19.51 \pm 1.2\%$) y un aporte reducido del sistema ATP-CP ($17.89 \pm 3.2\%$). Este patrón concuerda con la fisiología clásica de ejercicios de alta intensidad y duración intermedia, donde la glucólisis asume un rol central tras la rápida depleción de fosfágenos.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Ouergui et al. (2024), quienes describieron una contribución glucolítica cercana al 68% en pruebas Wingate de 30 segundos en deportes de combate. No obstante, el mayor predominio glucolítico observado en el presente estudio, en comparación con investigaciones en fútbol, ciclismo y taekwondo, resalta la influencia de la modalidad deportiva y de la intensidad del protocolo aplicado. Por ejemplo, Ulupinar et al. (2022) reportaron en futbolistas una mayor participación oxidativa (45%) y una menor contribución glucolítica (12.7%), mientras que Tortu et al. (2024) observaron en taekwondistas un perfil más equilibrado entre los sistemas energéticos, característico de esfuerzos repetidos con pausas entre acciones.

Beneke et al. (2002) reportaron en ciclistas durante pruebas Wingate una distribución de 50.3% ATP-CP, 31.1% glucolítico y 18.6% oxidativo, evidenciando una mayor dependencia inicial del sistema fosfágeno en tareas cíclicas. De forma similar, Bussweiler et al. (2012) observaron en taekwondistas un predominio del sistema ATP-CP (52.8%) y una menor participación glucolítica (25.7%), reforzando la especificidad de los patrones energéticos en deportes de combate.

Las diferencias en la contribución energética entre estudios se explican principalmente por la modalidad del ejercicio, las características fisiológicas de los deportistas y la intensidad relativa del protocolo. Mientras que deportes cíclicos o de combate presentan perfiles bioenergéticos específicos, los jugadores de baloncesto, debido a la repetición de acciones explosivas, muestran una activación glucolítica más temprana en esfuerzos supramáximos. Esta elevada dependencia glucolítica en

esfuerzos de 30 segundos destaca la necesidad de entrenamientos orientados a mejorar la capacidad anaeróbica, la tolerancia al lactato y la recuperación entre esfuerzos intermitentes, en concordancia con las demandas fisiológicas del baloncesto.

En conjunto, los resultados confirman la dinámica progresiva de los sistemas energéticos en esfuerzos de corta duración y subrayan que la modalidad deportiva, la intensidad relativa y las características fisiológicas de los atletas determinan la distribución del aporte energético. La alta participación glucolítica observada en jugadores de baloncesto hasta los 30 segundos aporta evidencia aplicada para optimizar el entrenamiento y el rendimiento en deportes intermitentes de alta intensidad como el baloncesto.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Los resultados del presente estudio aportan información relevante para la planificación y prescripción del entrenamiento en deportes intermitentes de alta intensidad, como el baloncesto. La caracterización de la contribución relativa de los sistemas energéticos según la duración del esfuerzo máximo permite a entrenadores y preparadores físicos ajustar la duración y densidad de los estímulos en función de los objetivos fisiológicos específicos.

En esfuerzos máximos de corta duración, la identificación del predominio del sistema ATP-CP y de la glucólisis anaeróbica facilita el diseño de tareas orientadas al desarrollo de la potencia y capacidad anaeróbica, así como la selección adecuada de pausas de recuperación. Asimismo, el análisis de la participación aeróbica durante la recuperación post-ejercicio aporta criterios para optimizar el entrenamiento de la capacidad de recuperación entre acciones repetidas de alta intensidad.

Desde una perspectiva aplicada, estos hallazgos pueden contribuir a: Optimizar la estructura temporal de los ejercicios específicos del baloncesto. Individualizar cargas de entrenamiento en función de la demanda energética real de esfuerzos máximos. Mejorar la eficiencia del entrenamiento y la toma de decisiones en contextos competitivos.

CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que la contribución relativa de los sistemas ATP-CP, glucolítico y aeróbico varía progresivamente con la duración del esfuerzo, siendo la vía fosfágena dominante en esfuerzos de 7 segundos, la glucólisis anaeróbica en esfuerzos de 15 y 30 segundos, y el metabolismo aeróbico incrementando su participación en función del tiempo. La alta participación glucolítica observada incluso en esfuerzos cortos (7-15 segundos) sugiere una activación más temprana de esta vía en jugadores de básquetbol, en comparación con disciplinas como ciclismo o deportes de combate, lo que refleja adaptaciones específicas a las demandas explosivas e intermitentes del deporte.

Las diferencias respecto a estudios previos evidencian la importancia de considerar la modalidad deportiva, la intensidad relativa y el perfil fisiológico de los atletas al analizar la contribución energética, evitando generalizaciones basadas en modelos cíclicos tradicionales. Estos hallazgos tienen

aplicaciones prácticas directas en la planificación del entrenamiento, destacando la necesidad de potenciar la capacidad glucolítica, mejorar la tolerancia al lactato y optimizar la recuperación entre esfuerzos intermitentes, aspectos clave para el rendimiento competitivo en básquetbol. A pesar de las limitaciones inherentes a los métodos indirectos de estimación energética, los resultados obtenidos ofrecen una aproximación válida y consistente con la literatura, aportando información relevante para el diseño de estrategias de entrenamiento específicas.

REFERENCIAS

- Archacki, R., Sadowski, J., Golaszewska, A., & Kielnar, R. (2024). Energy systems contributions in elite athletes during very short maximal efforts. *European Journal of Applied Physiology*, 124(1), 197–205. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05152-3>
- Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J., & Hütler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4–5), 518–523. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1118-8>
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2021). Aerobic energy contribution at peak power output during Wingate tests. *European Journal of Applied Physiology*, 121(10), 2731–2739. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04729-6>
- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R. M., & Hütler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European Journal of Applied Physiology*, 87(4–5), 388–392. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0622-4>
- Broxterman, R. M., Craig, J. C., Smith, J. R., Wilcox, S. L., Jia, C., Barstow, T. J., & Richardson, R. S. (2017). Influences of oxygen delivery on the oxygen uptake slow component during high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*, 123(2), 445–456. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00119.2017>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Campos, F. A., Bertuzzi, R., Dourado, A. C., Santos, V. G. F., & Franchini, E. (2012). Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1221–1228. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2071-4>
- Davis, P., Connorton, A. J., Driver, S., & Anderson, S. (2015). The energetics of semi-contact 3 x 2 min amateur boxing. *Journal of Sports Sciences*, 33(5), 518–523. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.951953>
- De Campos Mello, F., de Moraes Bertuzzi, R. C., Grangeiro, P. M., & Franchini, E. (2009). Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: A comparison among rowing ergometers and water. *European Journal of Applied Physiology*, 107(5), 615–619. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1172-9>
- Doria, C., Veicsteinas, A., Limonta, E., Maggioni, M., Aschieri, D., & Eusebi, F. (2009). Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 107(5), 603–610. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1157-8>
- di Prampero, P. E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 89, 143–222. <https://doi.org/10.1007/BFb0028003>
- di Prampero, P. E., & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: A reappraisal of older and recent concepts. *Respiration Physiology*, 118(2-3), 103–115. [https://doi.org/10.1016/S0034-5687\(99\)00083-3](https://doi.org/10.1016/S0034-5687(99)00083-3)
- Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(3), 302–313. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(04\)80025-2](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(04)80025-2)

- Egan, B., & Zierath, J. R. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 2(9), 817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
- Figueiredo, D. H., Zagatto, A. M., & Bertuzzi, R. (2022). Metabolic contributions in high-intensity intermittent exercises: A comparative study. *Biology of Sport*, 39(3), 617–624. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.108344>
- Fu, W., Liu, Y., Zhang, S., & Ren, J. (2021). Energy system contributions during badminton match play. *Journal of Sports Sciences*, 39(5), 559–565. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1823103>
- Guidetti, L., Emerenziani, G. P., Gallotta, M. C., & Baldari, C. (2008). Energy cost and energy sources in ballet. *European Journal of Applied Physiology*, 103(3), 287–292. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0701-3>
- Gaesser, G. A., & Brooks, G. A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: A review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 29–43. <https://doi.org/10.1249/00005768-198401000-00006>
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75(2), 712–719. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.2.712>
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>
- Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 2(9), 817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
- Jiang, L., Zhang, Y., Wang, Z., & Wang, Y. (2024). Acute interval running induces greater excess post-exercise oxygen consumption and lipid oxidation than isocaloric continuous running in men with obesity. *Scientific Reports*, 14, 9178. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59893-9>
- Julio, U. F., Panissa, V. L. G., Esteves, J. V., Cury, R. L., Agostinho, M. F., & Franchini, E. (2017). Energy-system contributions to simulated judo matches. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(5), 676–683. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-075>
- Kaufmann, S., Bös, K., & Woll, A. (2022). Energy system contributions during gymnastics routines. *Journal of Sports Sciences*, 40(2), 123–130. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1977783>
- Losnegard, T. (2019). Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology*, 119(8), 1675–1690. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04158-x>
- Milioni, F., Vieira, L. H. P., Barbieri, F. A., Zagatto, A. M., & Gobbi, L. T. B. (2018). Energy system contributions during table tennis matches. *Journal of Sports Sciences*, 36(6), 645–650. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1322212>
- Pelariço, J. G., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2017). Energy system contributions in swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 460–465. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0750>
- Rodrigues-Krause, J., Krause, M., Reischak-Oliveira, Á., & Umpierre, D. (2020). Cardiorespiratory responses and energy contribution in Brazilian jiu-jitsu exercise sets. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(6), 1092–1106. <https://doi.org/10.1080/24748668.2020.1841273>
- Özbay, S., Ulupinar, S., Gençoğlu, C., & Ardigo, L. P. (2024). Energy system contributions during short-duration supramaximal sprint exercise in trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 124(3), 687–696. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05211-9>
- Ouergui, I., Tortu, E., Ulupinar, S., Özbay, S., Gençoğlu, C., & Ardigo, L. P. (2024). Energy system contribution during 30-second Wingate anaerobic test in combat sports athletes. *PLOS ONE*, 19(5), e0303888. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303888>

- Smirmaul, B. P. C., de Moraes, A. C., Gallo, L. H. F., & Teixeira, L. F. M. (2020). Excess post-exercise oxygen consumption: Magnitude, duration, and practical applications. *European Journal of Applied Physiology*, 120(10), 2035–2052. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04407-7>
- Stojanović, E., Stojiljković, N., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., & Milanović, Z. (2018). The activity demands and physiological responses encountered during basketball match-play: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(1), 111–135. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0794-z>
- Serresse, O., Lortie, G., Bouchard, C., & Boulay, M. R. (1988). Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *International Journal of Sports Medicine*, 9(6), 456–460. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1025051>
- Seemann, F., Meyer, T., & Kindermann, W. (2022). Energy system contributions during high-intensity gymnastic routines. *Journal of Sports Sciences*, 40(14), 1582–1590. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2036789>
- Shiraki, S., Fujii, N., Yamamoto, K., Ogata, M., & Kigoshi, K. (2020). Relative aerobic and anaerobic energy contributions during short-duration exercise remain unchanged over a wide range of exercise intensities. *International Journal of Sport and Health Science*, 18, 253–260. <https://doi.org/10.5432/ijshs.202021>
- Shalom, A., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., & Stojanović, E. (2023). Physiological demands and energy system contributions in basketball: A systematic review. *Sports Medicine*, 53(4), 789–808. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01789-5>
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: Specific to field-based team sports. *Sports Medicine*, 35(12), 1025–1044. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535120-00003>
- Shimoyama, Y., Tomikawa, M., & Nomura, T. (2003). Energy system contributions during swimming. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 743–750. <https://doi.org/10.1080/0264041031000102015>
- Tortu, E., Ouergui, I., Ulupinar, S., Özbay, S., Gençoğlu, C., & Ardigò, L. P. (2024). The contribution of energy systems during 30-second lower body Wingate anaerobic test in combat sports athletes: Intermittent versus single forms and gender comparison. *PLOS ONE*, 19(5), e0303888. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303888>
- Ulupinar, S., & Özbay, S. (2022). Energy pathway contributions during 60-second upper-body Wingate test in Greco-Roman wrestlers: Intermittent versus single forms. *Research in Sports Medicine*, 30(3), 244–255. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1895784>
- Ulupinar, S., Hazır, T., & Kin İşler, A. (2023). The contribution of energy systems in repeated-sprint protocols: The effect of distance, rest, and repetition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(1), 173–179. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1950902MDPI+2PubMed+2ResearchGate+2>
- Yang, Y., Park, S., & Kim, J. (2022). Energy system contributions during exergaming: A systematic review. *Games for Health Journal*, 11(2), 123–130. <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0123>
- Zagatto, A. M., Papoti, M., & Gobatto, C. A. (2001). Anaerobic contribution during maximal sprint running in trained subjects. *Journal of Sports Sciences*, 19(12), 981–987. <https://doi.org/10.1080/026404101317108453>
- Zouhal, H., Jabbour, G., Jacob, C., Duvigneau, D., Botcazou, M., Ben Abderrahaman, A., Prioux, J., & Moussa, E. (2010). Anaerobic and aerobic energy system contribution to 400-m flat and 400-m hurdles track running. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2309–2315. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e31287>