

# Análisis temporal del índice bilateral en press de banca con diferentes cargas en jugadores masculinos de balonmano

*Temporal analysis of bilateral index in bench press with different loads in male handball players*

Andrés González-Ramírez <sup>1\*</sup> , Carol Torres <sup>1,2</sup> , Carlos Gabriel Fábica <sup>2,3</sup> 

<sup>1</sup> Instituto Superior de Educación Física, Universidad de la República, Uruguay

<sup>2</sup> Unidad Académica de Biofísica, Facultad de Medicina, Universidad de la República. Uruguay

<sup>3</sup> Department of Sports Sciences and Physical Conditioning, Education Faculty, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

\* Correspondence: andres.gonz.ramirez@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17398/1885-7019.20.225>

Recibido: 18/02/2023; Aceptado: 29/04/2024; Publicado: 10/09/2024

## OPEN ACCESS

Sección / Section:  
Balonmano / Handball

Editor de Sección / Edited by:  
Luis Javier Chiroso  
Universidad de Granada, España

Antonio Antúnez  
Sebastián Feu  
Universidad de Extremadura,  
España

Citación / Citation:  
González-Ramírez, A., Carol Torres,  
C., & Fábica, C. G. (2024). Análisis  
temporal del índice bilateral en  
press de banca con diferentes  
cargas en jugadores masculinos de  
balonmano. *E-balonmano Com*,  
20(3), 225-234.

Fuentes de Financiación / Funding:  
No funding reported by autor

Agradecimientos/  
Acknowledgments:  
-

Conflicto de intereses / Conflicts of  
Interest:  
All authors declare no conflict of  
interest

## Resumen

**Objetivo:** Describir el índice bilateral (BI) en press banca para analizar la facilitación y déficit bilateral con diferentes cargas utilizando un análisis de series temporales. **Método:** Dieciocho jugadores de balonmano ( $22,1 \pm 3,8$  años;  $84,5 \pm 15,9$  kg;  $179,3 \pm 7,6$  cm e IMC  $26,2 \pm 4,1$ ) realizaron press de banca utilizando dinamometría electromecánica funcional, de forma bilateral y unilateral, con miembro superior hábil e inhábil, utilizando cargas de 40%, 60% y 75% de la contracción isométrica máxima. Cien valores de fuerza durante la fase concéntrica se utilizaron para el cálculo de BI, se evaluó la tendencia mediante análisis gráfico y descriptivo de las series y se utilizó Dynamic Time Warping para reconocer patrones y agrupar aquellas de características similares. **Resultados:** Existen periodos de facilitación y déficit que varían en duración y magnitud con las diferentes cargas estudiadas. **Conclusiones:** Considerar las series temporales de fuerza en el tiempo durante el empuje del press de banca conducen a una interpretación diferente de BI a la obtenidas con Fmax. La agrupación de las series sugiere la existencia de un patrón predominante independiente de la carga con que se realice el ejercicio, donde ocurre BLF en la etapa final del ejercicio.

**Palabras clave:** déficit bilateral; facilitación bilateral; miembros superiores; series temporales.

## Abstract

**Objective:** To describe the bilateral index (BI) during the push phase of the bench press exercise to analyze bilateral facilitation and deficit across different loads using time series analysis. **Method:** Eighteen handball players ( $22.1 \pm 3.8$  years;  $84.5 \pm 15.9$  kg;  $179.3 \pm 7.6$  cm and BMI  $26.2 \pm 4.1$ ) performed bench press exercises using functional electromechanical dynamometry. The exercises were conducted bilaterally and unilaterally, with both skilled and unskilled upper limbs, using loads set at 40%, 60%, and 75% of maximum isometric contraction. Time series analysis was utilized to calculate the BI, with trend assessment conducted through graphical and descriptive analysis. Dynamic time warping was used to recognize patterns and group those with similar characteristics. **Results:** There are periods of facilitation and deficit that vary in duration and magnitude with the different loads studied. **Conclusions:** Considering the time series of force over time during the bench press push leads to a different interpretation of BI than that obtained with Fmax. The grouping of the series suggests the existence of a predominant pattern independent of the load with which the exercise is performed, where BLF occurs in the final stage of the exercise.

**Keywords:** bilateral deficit; bilateral facilitation; upper limbs; Time series.

## Introducción

El índice bilateral (BI) es una medida utilizada para determinar si la suma de las fuerzas producidas por las extremidades izquierda y derecha por separado es mayor que la fuerza obtenida al actuar con ambos miembros a la vez o viceversa (Skarabot et al., 2016). La primera situación se denomina déficit bilateral (BLD) y la opuesta facilitación bilateral (BLF) (Henry y Smith, 1961; Janzen et al., 2006). Hasta el momento los resultados obtenidos para BLD o BLF calculados a partir de un parámetro de fuerza, por ejemplo, el valor máximo ( $F_{max}$ ), no resultan consistentes presentando una alta variabilidad en magnitud (Skarabot et al., 2016). A pesar de ello, el análisis de BLD y BLF ha sido muy utilizado para evaluar acciones con miembros inferiores (Kozinc y Šarabon, 2021; Nicholson y Masini, 2021; Pleša et al., 2022) y en menor medida en acciones que involucran los miembros superiores (Vandervoort et al., 1987; González et al., 2023). En este último caso, el press de banca es un ejercicio de gran interés dado su amplio uso en el entrenamiento, la evaluación y la investigación (Castillo et al., 2012; García-Ramos et al., 2016).

Comprender los mecanismos subyacentes a la ocurrencia de BLD o BLF en acciones dinámicas como el press de banca y la relación de estos mecanismos con el desempeño, resultaría de gran relevancia para una mejor individualización de programas de entrenamiento (Skarabot et al., 2016). No obstante, lograr esa comprensión a partir de los valores de BI determinados con parámetros discretos de la manifestación de la fuerza constituye una tarea difícil. Esto es debido a que la manifestación de la fuerza depende de la generación de fuerza, la cual es afectada por factores nerviosos, musculares y mecánicos (Aguado et al., 1999), que pueden variar durante el tiempo de ejecución del ejercicio. En ese sentido, analizar la superficie de la curva fuerza-tiempo, como se ha hecho para otros movimientos en el deporte (Kennedy y Drake, 2018), podría contribuir a una mayor comprensión de los mecanismos que determinan el rendimiento del press de banca. Específicamente, utilizar un conjunto de valores que describan la forma de la curva fuerza-tiempo en lugar de  $F_{max}$  para el cálculo de BI, permitiría una discusión a nivel neurofisiológico (Post et al., 2007; Skarabot et al., 2016). Una opción para esto es considerar la curva fuerza-tiempo obtenida durante el press de banca como una serie temporal, es decir, una secuencia de variables aleatorias definidas en intervalos de muestreo fijos (Cowpertwait & Metcalfe, 2009; Box et al., 2015).

Aunque los análisis de series temporales se utilizan habitualmente en diversos campos, su uso en la evaluación durante gestos deportivos es escasa. Los datos de series temporales constan de un patrón sistemático y ruido aleatorio (Box et al., 2015). Dentro del patrón sistemático, una de las características principales de muchas series temporales son las tendencias, las cuales pueden modelarse de manera determinista con funciones matemáticas de tiempo (Cowpertwait & Metcalfe, 2009). Identificar tendencias del BI y posibles cambios durante el press de banca frente a un factor como el nivel de carga utilizado en el ejercicio, permitiría un mayor nivel de comprensión respecto al resultado de las acciones de los músculos implicados en este ejercicio (Stastny et al., 2017). Aunque existen diferentes opciones de análisis de tendencia, por ejemplo, análisis de las medias móviles o modelos autorregresivos, en el contexto del press de banca resulta en principio interesante identificar, si es que existen, periodos de BLF y BLD que sugieran un patrón, por lo que un análisis gráfico de las series con cada carga resulta indispensable. Por otra parte, la comparación entre series temporales que puede realizarse mediante el algoritmo denominado Dynamic time warping (DTW) proporciona una medida de distancia insensible a la compresión y los estiramientos locales que deforma de manera óptima una de las dos series de entrada sobre la otra (Giorgino, 2009). Esta técnica que se ha empleado con éxito, por ejemplo, para el agrupamiento y clasificación de registros electrocardiográficos (Huang y Kinsner 2002; Syeda-Mahmood et al., 2007) y permite reconocer patrones que describen un conjunto de series temporales con características similares, así como comparar estos patrones entre sí.

En base a lo expresado, el objetivo de este trabajo fue describir el índice bilateral (BI) en press banca para analizar la facilitación y déficit bilateral con diferentes cargas utilizando un análisis de series temporales. Este trabajo constituye el primer análisis temporal del BI considerando las curvas fuerza-tiempo durante la acción de un ejercicio. La elección de un gesto que involucra predominantemente miembros superiores se debió a que el efecto de la dominancia de las

extremidades parece ser más prevalente en la parte superior del cuerpo que en la inferior (Leung et al. 2021). En base a estudios previos en los que se analizan las acciones musculares durante el press de banca (Stastny et al. 2017) y considerando aspectos básicos sobre la forma de regulación de fuerza y velocidad de la contracción muscular (Johnson, 2007), esperamos que el análisis temporal del BI en la fase concéntrica del press de banca muestre periodos de BLF y BLD cuya duración y secuenciación permita sugerir un patrón general para este ejercicio, así como identificar variaciones según la carga con que se realiza el ejercicio. De confirmarse dichas observaciones, debería de reconsiderarse la relevancia de la determinación de valores de BI calculados con valores máximos.

## **Materiales y Métodos**

### ***Participantes***

Dieciocho jugadores masculinos de balonmano de categoría senior de la liga de la Federación de handball del Uruguay (edad  $22,1 \pm 3,8$  años, masa corporal  $84,5 \pm 15,9$  kg, altura  $179,3 \pm 7,6$  cm, IMC  $26,2 \pm 4,1$ ) participaron en el estudio. El tamaño de la muestra para este trabajo se estimó con base en los datos reportados en estudios previos (Samozino et al., 2014; González et al., 2023), y en las directrices de Cohen (Cohen, 1988), con un nivel alfa de 0,05 y un nivel de potencia de 0,8. Todos los jugadores no habían sufrido una lesión en los seis meses previos al estudio, contaban con más de 5 años de experiencia deportiva, entrenaban tres o más veces por semana, realizaban el press de banca como ejercicio habitual en sus sesiones de fuerza y estaban familiarizados con el uso del dinamómetro en el ejercicio utilizado.

Los participantes no realizaron actividad física extenuante 48 horas antes de la prueba. Todos los jugadores fueron informados sobre el experimento, los procedimientos y posibles molestias asociadas al estudio antes de dar su consentimiento informado por escrito para participar. El estudio se ajustó a la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética de ISEF–Universidad de la República (Res. N°13/2022).

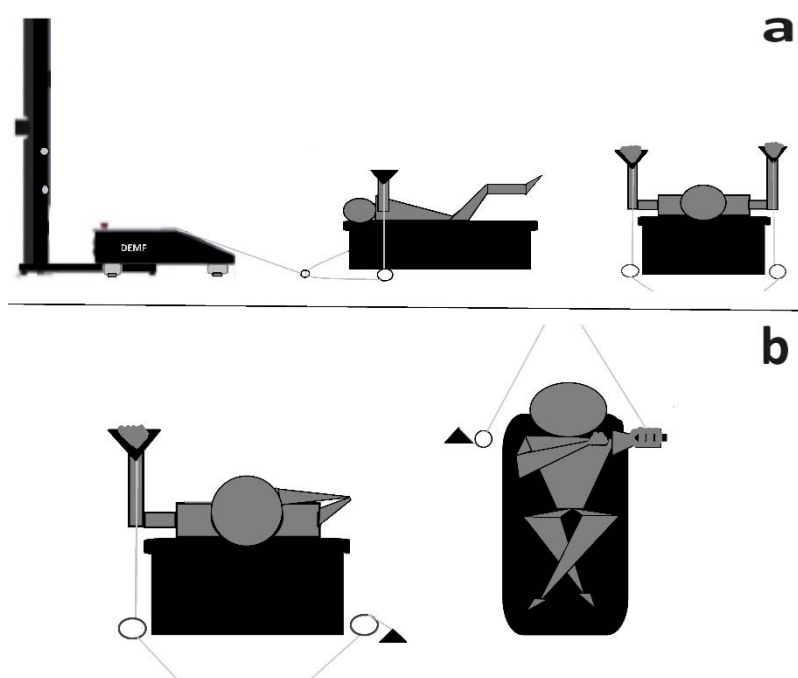
### ***Instrumentos***

Para los registros durante las pruebas se utilizó un dinamómetro electromecánico funcional (Modelo Dynasystem® DynaBlackbox) (DEMF) en modo tónico (Chamorro et al., 2017; Cerda Vega et al., 2018). Este dispositivo estaba conectado mediante cuerdas no extensibles a dos empuñaduras sólidas para máquina de poleas.

### ***Procedimiento***

Las pruebas se realizaron durante el inicio del período precompetitivo. Los participantes realizaron un ejercicio de 15 minutos de movimientos estandarizados de calentamiento y familiarización con cargas bajas (González et al. 2023). Las pruebas fueron realizadas con los participantes acostados boca arriba con las piernas cruzadas sobre el banco y manteniendo la espalda en contacto con el banco para limitar la influencia de la parte inferior del cuerpo.

Los participantes realizaron primero una contracción isométrica máxima durante 5 s con los codos en una posición de  $150^\circ$  de extensión (Vandervoort et al., 1987) en las tres condiciones que requirió el estudio: condición bilateral (BIL), unilateral con el lado superior del cuerpo dominante (ULd), y con el lado no dominante (ULn). Con base en los valores máximos isométricos de fuerza obtenidos se determinaron cargas de 40%, 60% y 75% para cada condición de carga. Posteriormente, cada participante realizó tres repeticiones para cada carga y condición en orden aleatorio, con la consigna de extender sus extremidades superiores lo más rápido posible. La técnica de ejecución del movimiento fue controlada de forma observacional, el tiempo de descanso entre cada prueba dentro de cada condición de carga fue de 2 min, y de 5 min entre cada condición. La figura 1 esquematiza las posiciones iniciales del ejercicio dinámico bilateral y unilateral.



**Figura 1.** Esquemas indicando la posición inicial de los sujetos durante los ejercicios a) bilaterales vistas desde un plano sagital y transversal y b) unilaterales vistas desde un plano transversal y frontal.

La curva completa fuerza-tiempo obtenida con el dinamómetro durante la fase de empuje (concéntrica), en la que cada participante desarrolló su potencia máxima (González et al., 2023), fue considerada para los posteriores análisis. Dado que la masa de miembros superiores corresponde al 10% de la masa corporal (Dempster, 1955), este valor fue considerado para la normalización de los valores de fuerza (González et al., 2023).

El BI se determinó según la relación de Howard y Enoka (1991):

$$BI\% = 100 \times \left[ \frac{BIL}{(ULd + ULn)} \right] - 100$$

Un índice bilateral positivo ( $BI > 0\%$ ) se consideró indicativo de BLF, mientras que un valor negativo ( $BI < 0\%$ ) se consideró BLD (Henry y Smith, 1961; Janzen et al., 2006).

### **Análisis estadístico**

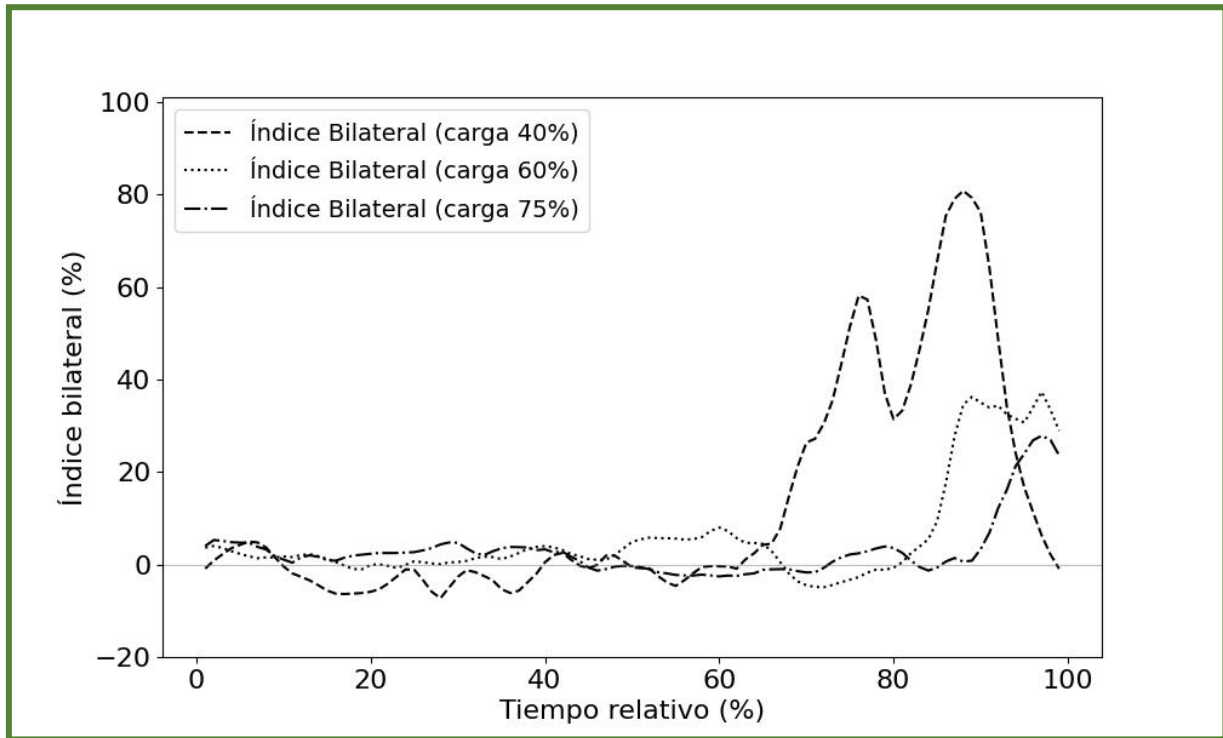
Para el cálculo de las series de BI se siguieron los siguientes pasos: 1) obtención de las series temporales de fuerza normalizada ( $N \cdot Kg^{-1}$ ) para cada sujeto y condición de carga; 2) recorte de la fase concéntrica del movimiento tomando como criterio de corte el punto donde la velocidad fue cero; 3) normalización del tiempo de duración de las series con una escala porcentual (0-100); 4) extrapolación de datos faltantes para obtener los valores en todos los puntos de la serie (101 puntos) con escala porcentual; 4) cálculo de la serie suma obtenida con ULd y ULn; 5) cálculo del BI punto a punto de las series finales de cada sujeto y condición; 6) cálculo de la serie resultante por condición de carga con la mediana temporal de los datos punto a punto.

Se realizó un análisis descriptivo de la tendencia considerando las formas de las series resultantes de BI obtenidas con la mediana del conjunto de todos sujetos y un análisis descriptivo de esas curvas considerando los valores medios, desvíos, percentiles y valores extremos. Por otra parte, se determinaron los tiempos relativos de BLF y BLD durante la fase concéntrica del ejercicio. Finalmente, se utilizó el método DTW a los efectos de agrupar en clústeres con patrones

similares considerando la totalidad de las series temporales de todos los sujetos y condiciones de carga. Una descripción del paquete dtw para el software estadístico R se puede encontrar en Giorgino, (2009). Una versión estable del paquete está disponible en el Archivo Integral de R Network (CRAN), mientras que las versiones de desarrollo están alojadas en R-Forge (Giorgino y Tormene, 2009).

## Resultados

En las gráficas de la figura 2 se muestran los valores de la mediana temporal para los BI calculados a lo largo del tiempo en cada condición de carga.



**Figura 2.** Medianas de los valores del BI durante el tiempo de empuje obtenidos con cargas de 40%, 60% y 75 % de fuerza isométrica máxima.

La tabla 1 presenta los valores de BI obtenidos en cada condición de carga en el conjunto de todos los puntos de las series resultantes del índice bilateral.

**Tabla 1.** Valores de Índice Bilateral (BI) entre las diferentes condiciones de carga en las series resultantes.

<i>Variable</i>	<i>Media</i>	<i>DS</i>	<i>Mínimo</i>	<i>P25</i>	<i>P50</i>	<i>P75</i>	<i>Máximo</i>
<b>BI 40%</b>	12,2	24,3	-7,6	-2,4	0,0	23,0	83,9
<b>BI 60%</b>	6,2	11,3	-5,0	0,7	2,3	5,4	40,5
<b>BI 75%</b>	3,2	6,7	-3,1	-0,8	2,0	3,8	29,2

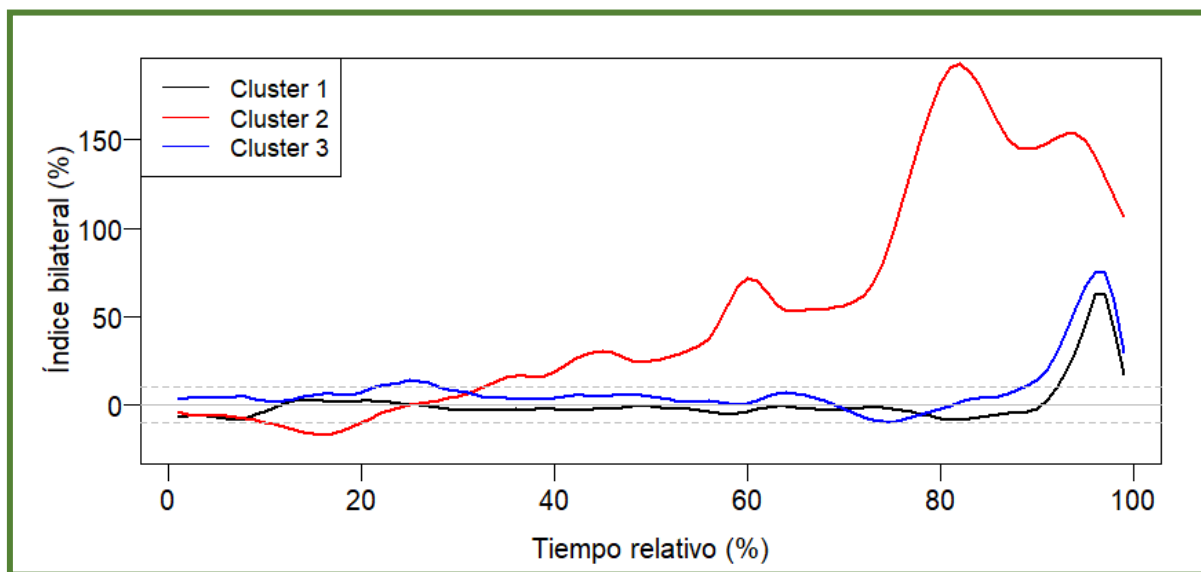
Nota: Los valores se calcularon sobre 101 puntos de la serie del índice bilateral (BI) resultante. DS – desviación estándar; P25; P50 y P75 – percentiles 25, 50 y 75 respectivamente.

En la tabla 2 se observa el porcentaje de tiempo de cada serie resultante de cada condición de carga que presenta un índice bilateral superior a cero (BLF) o inferior (BLD).

**Tabla 2.** Porcentaje de la serie resultante del IB con valores de BLF y BLD.

Variable	Valores IB>0 (BLF)	Valores IB<0 (BLD)
BI 40%	50%	50%
BI 60%	80%	20%
BI 75%	67%	33%

A través del DTW, considerando la totalidad de los registros de todos los participantes en todas las condiciones de carga, se obtuvieron tres agrupaciones (clústeres) de las series temporales (Figura 3).



**Figura 3.** Centroides de las series clasificadas por DTW en tres clústeres. En gris se observan las líneas de referencia de IB = -10%, 0 y 10%. La frecuencia de ocurrencia total fue de 0,55 para el clúster 1; de 0,13 para el clúster 2 y de 0,32 para el clúster 3.

En la tabla 3 se muestra la distribución porcentual de los patrones asociados con los tres clústeres obtenidos tomando en cuenta la carga. Esta información junto a los registros gráficos presentados en la figura 3 hacen posible discutir la tendencia general de cambio temporal de BI durante el empuje del press de banca y el efecto de la carga sobre dicha tendencia.

**Tabla 3.** Distribución de las series en los clústeres según la condición de carga.

Variable	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Total
IB 40%	38%	38%	23%	100%
IB 60%	57%	-	43%	100%
IB 75%	69%	-	31%	100%

## Discusión

Este trabajo tuvo el objetivo de describir el BI durante el tiempo de empuje en el ejercicio de press banca utilizando el análisis de series temporales a los efectos de determinar si la tendencia permite identificar patrones de BLF y BLD con diferentes cargas. Esto lo posiciona como el primer antecedente donde este tipo de enfoque se utiliza para analizar el BI en una acción dinámica. Además, constituye el primer antecedente donde se evalúa desde una perspectiva dinámico-temporal un ejercicio de amplio uso en el entrenamiento, la evaluación y la investigación, como lo es el press de banca (Castillo et al., 2012; García-Ramos et al., 2016). Los resultados del estudio han permitido comprobar que existe una variación temporal del BI durante el transcurso del empuje de la carga en el press de banca, con diferente alternancia de BLF y de BLD según el valor de carga utilizado, aunque con una tendencia general semejante en la mayoría de los gestos analizados. De esta manera el estudio planteado brinda mayor información que los análisis de BI realizados previamente para este ejercicio en base a un parámetro discreto  $t$  (Vandervoort et al., 1987; González et al., 2023).

La mediana temporal determinada para las tres condiciones de carga mostró una tendencia con valores de BI próximos a cero a lo largo de la mayor parte del recorrido y un claro aumento (BLF) en los momentos finales de la fase concéntrica del ejercicio. La observación de las curvas de las medianas sugiere que este aumento ocurre en términos relativos tempranamente en el tiempo y presenta mayor magnitud con las cargas más bajas (40% de contracción isométrica máxima). Las medias para las curvas de medianas temporales, en concordancia con un estudio previo realizado con Fmax para el mismo ejercicio (González et al., 2023), sugieren que ocurrió BLF en todas las condiciones de carga (12,2 en 40%; 6,2 en 60% y 3,2 en 75%). La magnitud de esta supuesta BLF en el press de banca es coherente con que la parte superior del cuerpo generalmente muestra un BI más bajo que la parte superior (Skarabot et al., 2016). De hecho, los resultados de análisis de BI realizados con valores discretos de manifestación de la fuerza para miembros inferiores realizados previamente indican que existe BLD (Kozinc y Šarabon, 2021; Nicholson y Masini, 2021; Pleša et al., 2022).

No obstante, los valores presentados en las tablas 1 y 2, sugieren la existencia de un fenómeno mucho más complejo. Por ejemplo, la sumatoria de tiempo relativo durante el empuje en que  $BI < 0$ , que fueron de 50%, 20% y 33% para las cargas de 40%, 60% y 75% respectivamente, parecen contradecir, al menos parcialmente, el hecho de que exista una BLF en cualquier condición de carga. Además, si bien hay diferencias evidentes en el BI debidas a las características individuales de los sujetos (González et al., 2023), los valores máximos de BLD en las medianas temporales fueron mayores en las cargas menores (-7,6 con 40%; -5,0 con 60% y -3,1 con 70%). Este hecho, junto a las importantes variaciones en los valores máximos de BLF y las desviaciones estándar descritas en la tabla 1, permiten observar que el rango de valores, así como su dispersión, aumentó al disminuir la carga. Además, tanto los valores de los percentiles (tabla 1) como el tiempo de las series en situación de BLD y BLF (tabla 2) indican que existen algunas diferencias en las tendencias del BI entre las cargas.

Por otra parte, las agrupaciones realizadas mediante DTW mostraron tres patrones distintivos en el comportamiento de las series temporales. El clúster 1, que agrupa el 55% de todas las series analizadas, muestra una tendencia con valores de ligero BLD durante la mayor parte del tiempo, con un incremento importante de la BLF en un breve periodo al final del movimiento. El clúster 3, que agrupa el 32 % de todas las series analizadas, presenta un comportamiento semejante, aunque con una ligera BLF y un incremento ligeramente anterior y de mayor magnitud que el clúster 1. Es importante destacar que, en su conjunto, estos dos clústeres engloban al 87% de todas las series estudiadas, lo que sugiere que, más allá de las diferencias discutidas en el párrafo anterior, existe un patrón general predominante (clústeres 1 y 3) para el BI en el press de banca independientemente de la carga.

El clúster 1 incluye el 38%; 57% y 69% de las series realizadas con cargas de 40%, 60% y 75% respectivamente. Estos porcentajes son coherentes con los resultados presentados en la figura 2, los cuales indican que el aumento de la carga mantuvo los valores de BI próximos a cero durante la mayor parte del tiempo y retrasó el incremento final de BLF. Por el contrario, el clúster 2, representa a un reducido grupo de series obtenidas exclusivamente con la carga del 40%. Esto podría reflejar potencialmente una manera diferente de realizar los ejercicios bilaterales y unilaterales para algunos



sujetos, aunque también la aparición de este clúster puede estar asociada con mayores diferencias relativas de la fuerza realizada con uno u otro miembro respecto a ambos miembros al final del empuje, ya que BI es un cálculo expresado en términos porcentuales.

Si bien no es posible establecer una discusión directa de estos resultados con otros estudios, es factible realizar una interpretación teniendo en cuenta trabajos que analizaron las acciones musculares en el press de banca (Stastny et al. 2017). Considerando el modelo muscular tradicional para este ejercicio (Elliot et al. 1989; Barnett et al. 1995), la acción del pectoral mayor podría explicar los valores de BI en los periodos que incluyen la flexión del brazo en el hombro (comienzo del gesto, donde los valores oscilaron en torno a cero) y la participación del tríceps braquial los valores del periodo durante el cual ocurre la extensión del antebrazo en la articulación del codo (final del gesto). Además, dado que el tríceps braquial es el músculo que muestra más variación de actividad en este ejercicio (Stastny et al. 2017), su participación podría ser el factor determinante para la explicación de los clústers observados. Se ha determinado que la actividad de este músculo cambia con la intensidad (Sakamoto & Sinclair, 2012; Schoenfeld et al. 2016), la velocidad (Sakamoto & Sinclair, 2012) y las condiciones de estabilidad (Norwood et al. 2007) durante el press de banca. De manera que, un estudio electromiográfico, considerando los periodos con diferentes resultados para BI, podría contribuir a entender las causas de BLD o BLF. Este enfoque, semejante al propuesto por van den Tillaar et al. (2012), podría permitir determinar qué variaciones de carga son efectivas para aumentar el rendimiento y la adaptación neuromuscular y qué variación puede fortalecer músculos específicos durante el entrenamiento y la readaptación.

## Conclusiones

La utilización de análisis de series temporales permitió estudiar por primera vez el transcurso temporal del BI identificando periodos de facilitación y déficit bilateral con diferentes cargas. El análisis de la tendencia al considerar todos los datos de las curvas fuerza-tiempo como una serie temporal durante el empuje del press de banca, indica que existe una alternancia de BLF y BLD que permite realizar interpretaciones diferentes a las obtenidas para BI con valores máximos de fuerza. La agrupación de las series sugiere que puede existir un patrón que ocurre con mayor frecuencia independientemente de la carga con que se realice el ejercicio, donde durante la mayoría del gesto los valores de BI están cercanos a cero y ocurre BLF en la etapa final del ejercicio.

## Aplicaciones prácticas

La determinación del BI considerando todos los valores de las curvas de fuerza durante el tiempo de empuje del press de banca, permite un análisis que puede tener gran relevancia en el diseño y prescripción del ejercicio, haciendo posible realizar asociaciones temporales entre los periodos de BLD, BLF y las acciones musculares. Esto podría ser relevante para el diseño de ejercicios unilaterales y bilaterales de fuerza que puedan controlar la carga intra-repetición.

**Contribución de los autores:** Todos los autores han participado conjuntamente en las diferentes etapas de la elaboración del artículo. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## Referencias

- Aguado, X., Grande, I., & López, J. L. (1999). Consideraciones sobre conceptos y clasificación de la fuerza muscular desde un punto de vista mecánico. En A. Ferro (Comp.), *Biomecánica de la Fuerza muscular y su valoración: Análisis cinético de la marcha, natación, gimnasia rítmica, bádminton y ejercicios de musculación* (Consejo Superior de Deportes, pp. 7-26).
- Barnett, C., Kippers, V., & Turner, P. (1995). Effects of Variations of the Bench Press Exercise on the EMG Activity of Five Shoulder Muscles. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 9(4), 222-227. <https://doi.org/10.1519/00124278-199511000-00003>



- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C., & Ljung, G.M. (2015). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (5th ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Castillo, F., Valverde, T., Morales, A., Pérez-Guerra, A., de León, F., & García Manso, J. M. (2012). Maximum power, optimal load, and optimal power spectrum for power training in upper-body (bench press): A review. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 5(1), 18-27. [https://doi.org/10.1016/S1888-7546\(12\)70005-9](https://doi.org/10.1016/S1888-7546(12)70005-9)
- Cerda Vega, E., Jerez-Mayorga, D., Machado Payer, R., Campos Jara, C., Guzman-Guzman, I., Reyes Ponce, A., ... et al. (2018). Validity and reliability of evaluating hip abductor strength using different normalization methods in a functional electromechanical device. *PLoS ONE*, 13, e0202248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202248>
- Chamorro, C., Armijo-Olivo, S., De la Fuente, C., Fuentes, J., & Chiroso, L. J. (2017). Absolute reliability and concurrent validity of hand-held dynamometry and isokinetic dynamometry in the hip, knee, and ankle joint: Systematic review and meta-analysis. *Open Medicine*, 12, 359-375. <https://doi.org/10.1515/med-2017-0052>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (2nd ed.). New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cowpertwait, P. S. P., & Metcalfe, A. V. (2009). *Introductory Time Series with R*. Springer.
- Dempster, W. T. (1955). The anthropometry of body action. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 63(4), 559–585. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1955.tb32112.x>
- Elliott, B.C., Wilson, G.J., & Kerr, G.K. (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(4), 450-462. <https://doi.org/10.1249/00005768-198908000-00018>
- García-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Force-velocity relationship of upper body muscles: Traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32, 178–185. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0162>
- Giorgino, T. (2009). Computing and Visualizing Dynamic Time Warping Alignments in R: The DTW Package. *Journal of Statistical Software*, 31(7). <https://doi.org/10.18637/jss.v031.i07>
- Giorgino T, Tormene P (2009). dtw: Dynamic Time Warping Algorithms. R package version 1.13-1, URL <http://CRAN.R-project.org/package=dtw>.
- González-Ramírez, A., Torres, C., Magallanes, C., & Fábrica, C. G. (2023). Bilateral index, power, force, and velocity during bench press with different loads in male handball players. *Frontiers in Physiology*, 14, 1130914. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1130914>
- Henry, F. M., & Smith, L. E. (1961). Simultaneous vs. Separate bilateral muscular contractions in relation to neural overflow theory and neuromotor specificity. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 32(1), 42–46. <https://doi.org/10.1080/10671188.1961.10762069>
- Howard, J. D., & Enoka, R. M. (1991). Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *Journal of Applied Physiology*, 70, 306–316. DOI:10.1152/jappl.1991.70.1.306
- Huang, B., & Kinsner, W. (2002). ECG frame classification using dynamic time warping. IEEE CCECE2002. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Conference Proceedings* (Cat. No.02CH37373), 2, 1105-1110 vol.2. <https://doi.org/10.1109/CCECE.2002.1013101>
- Janzen, C. L., Chilibeck, P. D., & Davison, K. S. (2006). The effect of unilateral and bilateral strength training on the bilateral deficit and lean tissue mass in postmenopausal women. *European Journal of Applied Physiology*, 97, 253–260. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0165-1>
- Johnson A.T. (2007). *Biomechanics and Exercise Physiology. Quantitative Modeling* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Kennedy, RA, & Drake D. (2018). Is a bimodal force-time curve related to countermovement jump performance? *Sports (Basel)*, 6(2), 36. <https://doi.org/10.3390/sports6020036>
- Kozinc, Ž. & Šarabon, N. (2021). Bilateral deficit in countermovement jump and its association with change of direction performance in basketball and tennis players. *Sports Biomechanics*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1942965>
- Leung, A., Greenberg, E., Dyke, J., Lawrence, J. T., & Ganley, T. (2021). Defining limb dominance: A comparison of performance-based and self-selected measures. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(7\_suppl3). <https://doi.org/10.1177/2325967121S00052>
- Nicholson, G., & Masini, D. (2021). Bilateral deficit: Relationships with training history and functional performance. *Kinesiology*, 53, 86–94. <https://doi.org/10.26582/k.53.1.11>

- Norwood, J. T., Anderson, G. S., Gaetz, M. B., & Twist, P. W. (2007). Electromyographic activity of the trunk stabilizers during stable and unstable bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 343-347. <https://doi.org/10.1519/R-17435.1>
- Pleša, J., Kozinc, Ž, & Šarabon, N. (2022). Bilateral deficit in countermovement jump and its influence on linear sprinting, jumping, and change of direction ability in volleyball players. *Frontiers in Physiology*, 13, 768906. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.768906>
- Post, M., van Duinen, H., Steens, A., & Renken, R. (2007). Reduced cortical activity during maximal bilateral contractions of the index finger. *NeuroImage*, 35, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.050>
- Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A., & Morin, J. B. (2014). Force–Velocity Properties' Contribution to Bilateral Deficit during Ballistic Push-off. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(1), 107–114. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a124fb>
- Sakamoto A, & Sinclair PJ. (2012). Muscle activations under varying lifting speeds and intensities during bench press. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 1015-1025. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2059-0>
- Syeda-Mahmood T, Beymer D, & Wang F (2007). S Shape-based Matching of ECG Recordings. *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2012-2018. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4352714>
- Skarabot, J., Cronin, N., Strojnik, V., & Avela, J. (2016). Bilateral deficit in maximal force production. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 2057–2084. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3458z>
- Schoenfeld, B.J., Contreras, B., Vigotsky, A.D., Ogborn, D., Fontana, F., & Tiryaki-Sonmez, G. (2016). Upper body muscle activation during low-versus high-load resistance exercise in the bench press. *Isokinetics and Exercise Science*, 24(3), 217-224. <https://doi.org/10.3233/IES-160620>
- Stastny, P., Gošaš, A., Blazek, D., Maszczyk, A., Wilk, M., Pietraszewski, P., et al. (2017). A systematic review of surface electromyography analyses of the bench press movement task. *PLoS ONE*, 12(2), e0171632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171632>
- Van den Tillaar R, Saeterbakken, A.H., & Ettema G. (2012). Is the occurrence of the sticking region the result of diminishing potentiation in bench press? *Journal of Sports Science*, 30(6), 591-599. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.658844>
- Vandervoort, A. A., Sale, D. G., & Moroz, J. R. (1987). Strength-velocity relationship and fatigability of unilateral versus bilateral arm extension. *European Journal of Applied Physiology*, 56, 201–205. <https://doi.org/10.1007/BF00640644>