

Rendimiento en el deporte

Ángulos de salida del cable y precisión de la medición: ¿Influye el ángulo del cable en las mediciones de velocidad en transductores de posición lineal?

Cable Exit Angles and Measurement Accuracy: Does Cable Angle Influence Velocity Measurements in Linear Position Transducers?

López-Moranchel, Ignacio¹, Talayero, Carlos², Díaz-López, Raúl¹, López-Torres, Olga¹

¹ Universidad Europea de Madrid. Faculty of Medicine, Health and Sports. Department of Sports Sciences.

² Universidad Europea de Madrid. School of Architecture, Engineering, Science and Computing – STEAM

Dirección de contacto: ignacio.lopez@universidadeuropea.es

Ignacio López-Moranchel

Fecha de recepción: 11 de marzo de 2025

Fecha de aceptación: 19 de mayo de 2025

RESUMEN

Este estudio analiza el impacto del ángulo de salida del cable en la precisión de las mediciones de velocidad en transductores de posición lineal (LPT). Se evaluaron dos modelos, Vitruve y Chronojump, con cinco ángulos de salida (0°, 10°, 30°, 60° y 90°), utilizando una masa de 2,5 kg en caída libre. Se realizaron cinco mediciones por ángulo y los datos fueron analizados mediante MANOVA.

Los resultados no mostraron diferencias significativas en las mediciones de velocidad debido al ángulo de salida del cable ($p > 0,05$), pero sí diferencias entre los modelos de LPT ($p = 0,005$), con Vitruve registrando velocidades más altas que Chronojump. Esto cuestiona la recomendación de limitar la desviación del cable a 2° para evitar errores de fricción.

Estos hallazgos sugieren que el ángulo de salida del cable en el rango de 0° a 90° no compromete la precisión de las mediciones de velocidad en los modelos evaluados. Esto puede facilitar la implementación de LPT en entornos de entrenamiento, reduciendo restricciones en su colocación y optimizando su uso en protocolos de entrenamiento basados en la velocidad (VBT).

Palabras clave: ángulo de salida del cable, entrenamiento basado en la velocidad, medición de velocidad, transductor de posición lineal.

ABSTRACT

This study analyzes the impact of cable exit angles on the accuracy of velocity measurements in linear position transducers (LPTs). Two models, Vitruve and Chronojump, were evaluated at five cable exit angles (0°, 10°, 30°, 60°, and 90°) using a 2.5 kg mass in free fall. Five measurements were taken per angle, and data were analyzed using MANOVA.

The results showed no significant differences in velocity measurements due to cable exit angle ($p > 0.05$), but there were significant differences between LPT models ($p = 0.005$), with Vitruve recording higher velocities than Chronojump. This challenges the recommendation to limit cable deviation to 2° to avoid friction-related measurement errors.

These findings suggest that cable exit angles within the 0° to 90° range do not compromise the accuracy of velocity measurements in the evaluated models. This may facilitate the implementation of LPTs in training environments by reducing placement restrictions and optimizing their use in velocity-based training (VBT) protocols.

Keywords: cable exit angle, velocity-based training (VBT), velocity measurements, linear position transducers (LPTs).

INTRODUCCIÓN

Cuantificar la velocidad en el entrenamiento de resistencia es crucial para optimizar los resultados de rendimiento y minimizar los riesgos de lesión (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). El entrenamiento basado en la velocidad (VBT) ha ganado popularidad, ya que permite controlar y ajustar en tiempo real las cargas de entrenamiento en función de la velocidad de movimiento del deportista (González-Badillo et al., 2022). Las mediciones precisas de la velocidad son esenciales, y se han desarrollado diversos dispositivos, como los transductores de posición lineal (LPT) y la tecnología vestible, para facilitar este proceso (Weakley et al., 2021).

Los LPT, utilizados habitualmente en los VBT, miden el desplazamiento lineal de un cable retráctil conectado a una carga en movimiento. Aunque los principios de funcionamiento de los LPT son muy similares en todos los fabricantes, existen diferencias técnicas entre los distintos modelos, para (entre 100 Hz y 1000 Hz), o las opciones de conectividad a un ordenador en algunos casos (mediante software), o a un teléfono móvil o tableta (mediante una app).

En general, los LPT se consideran precisos (Weakley et al., 2021), aunque hay algunos autores que cuestionan su fiabilidad en la determinación de las variables de fuerza y potencia debido a su estimación indirecta de estos parámetros (Cormie et al., 2007), o bajo cargas bajas debido a la amplificación del ruido de la señal (Crewther et al., 2011; Dorrell et al., 2019). También se han comparado el rendimiento, la concordancia y la fiabilidad de diferentes modelos de LPT y otros dispositivos (Courel-Íbañez et al., 2019; Banyard et al., 2017).

La precisión de estos dispositivos es fundamental, ya que cualquier desviación puede dar lugar a errores significativos en la medición de la velocidad, afectando a la fiabilidad de los datos de entrenamiento (Harris et al., 2010). Un factor que puede afectar a la precisión de los LPT es el ángulo con el que el cable sale del dispositivo. Por lo general, se recomienda que el cable no se desvíe más de 2° de la línea de acción para minimizar la fricción y garantizar lecturas precisas de la velocidad (Harris et al., 2010). Esta recomendación podría ser la razón por la que parecen predominar los análisis de

movimientos simples, controlados y no pliométricos, siendo los ejercicios más estudiados con LPT son aquellos en los que las cargas se mueven linealmente con trayectorias verticales en una máquina Smith, especialmente el press de banca o la sentadilla (Moreno-Villanueva et al., 2021).

Estudios anteriores han examinado la validez y fiabilidad de varios dispositivos VBT, incluida su sensibilidad diferentes puntos de fijación y ángulos de salida del cable (Clemente et al., 2021). Por ejemplo, Fritschi et al. (2021) evaluaron la validez de varios dispositivos VBT y descubrieron que, aunque la colocación del dispositivo afecta a la validez de la medición, los errores introducidos eran en general lo suficientemente pequeños como para considerarse insignificantes en entornos prácticos. De manera similar, Achermann et al. (2023) investigaron la precisión de los dispositivos portátiles de consumo para el entrenamiento basado en la velocidad VBT y destacaron la importancia de una colocación adecuada del dispositivo para garantizar datos fiables.

A pesar de estos avances, existen pocas investigaciones que aborden directamente el impacto de los ángulos de salida del cable superiores a 2° en la precisión de las mediciones de velocidad en los TPV. El sistema TForce, un LPT muy utilizado en VBT, recomienda explícitamente mantener el cable dentro de este límite angular para evitar errores de medición debidos al aumento de la fricción. Sin embargo, esta recomendación carece de una validación empírica exhaustiva.

El objetivo de este estudio es determinar si surgen diferencias significativas en las mediciones de velocidad proporcionadas por dos modelos de LPT, Vitruve y Chronojump, cuando el cable sale del dispositivo en distintos ángulos. Al variar sistemáticamente el ángulo de salida del cable y comparar las lecturas de velocidad, esta investigación pretende aportar pruebas empíricas que respalden o refuten las directrices del fabricante y mejoren la comprensión de los factores que afectan a la precisión de los dispositivos VBT. Los hallazgos de este estudio pueden tener un impacto significativo en la práctica de la VBT, ayudando a entrenadores y atletas a seleccionar los dispositivos más precisos adaptados a sus necesidades específicas en escenarios prácticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

El experimento se diseñó para evaluar si se producen diferencias significativas en la velocidad registrada cuando el cable sale del transductor en distintos ángulos. El estudio se realizó utilizando tres dispositivos LPT: dos codificadores Vitruve y un codificador Chronojump. Todos los dispositivos se fijaron firmemente a una plataforma metálica horizontal para garantizar la estabilidad y la coherencia en todas las mediciones.

Equipo y configuración

Cada codificador se sometió a mediciones de velocidad con el cable saliendo del transductor en diferentes ángulos (0° , 10° , 30° , 60° y 90°). Los ángulos se fijaron con precisión utilizando un inclinómetro/goniómetro manual para garantizar la exactitud (BOSCH, GAM-220 MF, ©Robert Bosch GmbH). Se utilizó una masa conocida (2,5 kg) como carga, que se aceleró verticalmente hacia abajo con una aceleración aproximada de $9,81 \text{ m/s}^2$, correspondiente a la gravedad. La carga se dejó caer libremente en vertical hacia abajo desde una altura de 0,4 m. Para conseguir el mismo

desplazamiento de la carga en todas las mediciones, y una trayectoria vertical, se utilizaron dos puntos de apoyo para dirigir el cable del codificador. Los puntos de apoyo eran barras de acero pulido con un bajo coeficiente de fricción.

Calibración y configuración del dispositivo

Los codificadores Vitruve se fijaron a la misma carga para registrar mediciones de velocidad simultáneas para cada ángulo con el fin de verificar la coherencia entre dispositivos del mismo modelo. El codificador Chronojump registró la velocidad de la misma carga en condiciones idénticas, pero por separado, para tener en cuenta las diferencias de fricción y sistemas de fijación entre los distintos fabricantes. Aunque las características de la medición (distancia recorrida, carga y ubicación del transductor) eran idénticas, los dispositivos midieron eventos diferentes pero consecutivos. En primer lugar, se midió el evento con ambos codificadores Vitruve, e inmediatamente después, en las mismas condiciones, se realizó la medición con el dispositivo Chronojump. El objetivo de separar los dispositivos para las mediciones era minimizar las posibles interferencias en la medición asociadas a la resistencia en la salida del cable de cada dispositivo, ya que los fabricantes presentan diferentes resistencias en la salida del cable.

Protocolo de medición

Se ajustó la inclinación de la plataforma para conseguir los ángulos de salida del cable deseados. Para cada ángulo, se realizaron cinco mediciones de velocidad para garantizar la fiabilidad. La masa conocida de 2,5 Kg se dejó caer desde una altura fija para mantener una velocidad inicial y una aceleración constantes en todos los ensayos. La plataforma y los codificadores se configuraron para garantizar la misma distancia de desplazamiento de la carga en cada ensayo (véanse las figuras 1 y 2). Cada medición se repitió 5 veces.

Figura 1.

Posición inicial de los codificadores durante el experimento

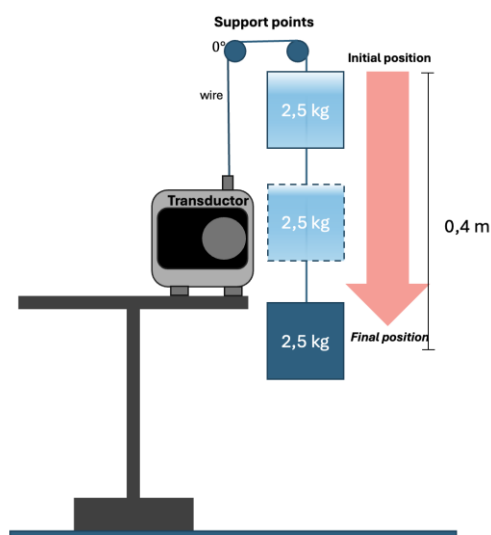
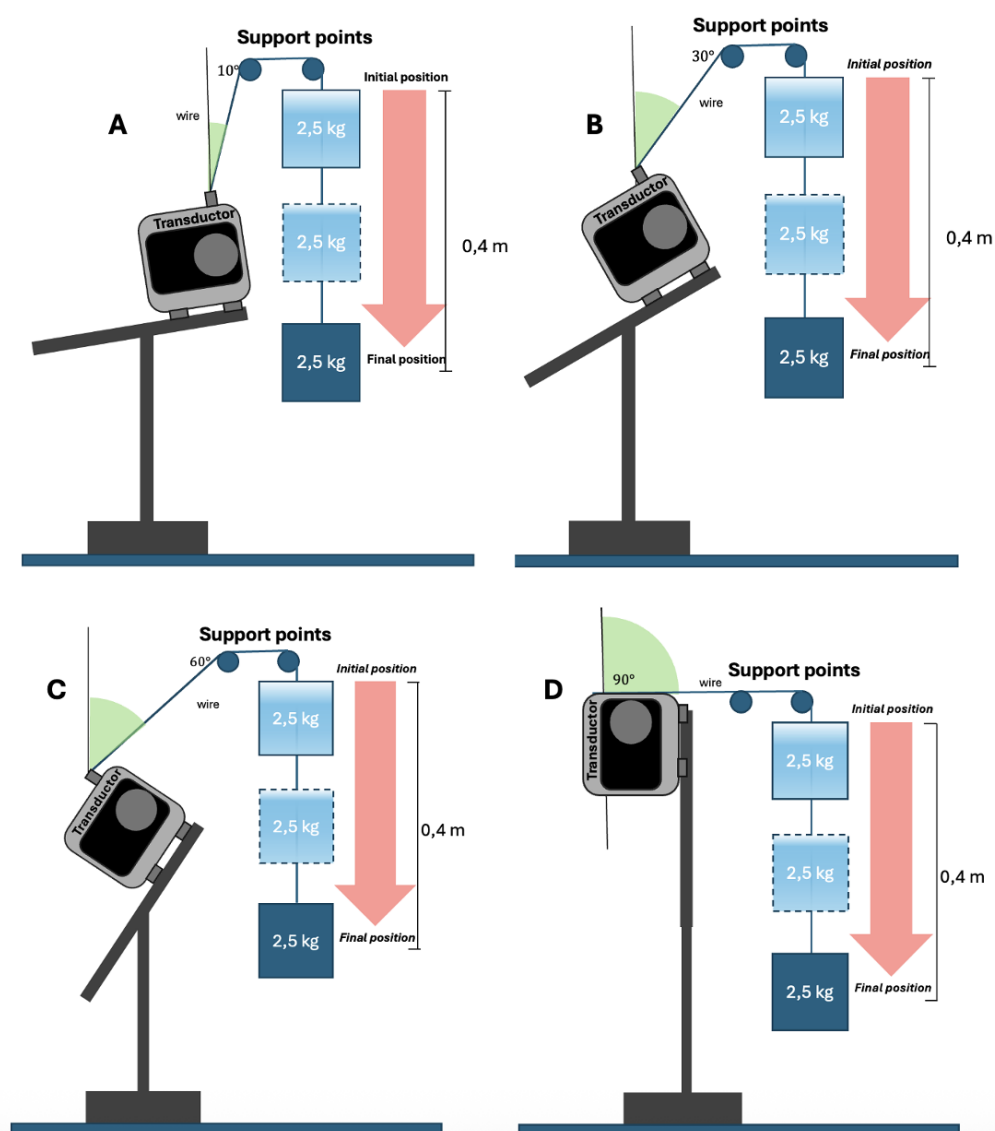


Figure 2.

Posiciones de los codificadores con ángulos de salida del hilo de 10° (A), 30° (B), 60° (C) y 90° (D)



Análisis de los datos

Se analizaron los datos de velocidad registrados para comparar el rendimiento de los codificadores Vitruve (1 y 2) y Chronojump con diferentes ángulos de salida del cable. Los supuestos de normalidad de los datos se confirmaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se realizaron análisis estadísticos para determinar si las diferencias en las velocidades medidas eran significativas en cada ángulo. Se realizó un análisis multivariante de la varianza (MANOVA) para evaluar el impacto del ángulo de salida del cable y el tipo de codificador en las mediciones de velocidad. Tras el MANOVA, se realizaron ANOVA univariantes para examinar los efectos de cada factor por separado. Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico IBM SPSS para Windows, versión 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.) y NSCC Software (<https://www.ncss.com/>). La significación se estableció mediante valores p inferiores a 0,05.

RESULTADOS

El análisis pretendía identificar si alguna discrepancia significativa en las mediciones de velocidad podía atribuirse a los diferentes ángulos de salida del cable. Esto proporcionaría pruebas empíricas respecto a la recomendación de mantener el cable dentro de un límite angular de 2° para garantizar lecturas de velocidad precisas. En la tabla 1 se resumen las mediciones de velocidad obtenidas con los codificadores Vitruve 1, Vitruve 2 y Chronojump en distintos ángulos de salida del cable (0°, 10°, 30°, 60° y 90°). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los ángulos analizados ($p < 0,05$). Por el contrario, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los 3 codificadores diferentes ($p = 0,005$) (véase la tabla 2).

Tabla 1.

Mediciones de la velocidad media (desviación estándar) por codificador y ángulo de salida del cable

Encoder	Ángulo de salida del cable (°)				
	0°	10°	30°	60°	90°
VT 1	0.90 (0.032)	0.93 (0.032)	0.91 (0.032)	0.87 (0.032)	0.91 (0.032)
VT 2	0.91 (0.032)	0.88 (0.032)	0.89 (0.032)	0.92 (0.032)	0.98 (0.032)
CJ	0.88 (0.032)	0.87 (0.032)	0.90 (0.032)	0.82 (0.032)	0.79 (0.032)

VT: Vitruve encoder, CJ: Chronojump encoder

Tabla 2.

Relación entre el ángulo de salida y la velocidad

Effect	Value	F-Value	p-Value
Encoder (A)	0.839	5.76	0.005*
Angle (B)	0.971	0.44	0.778
Encoder*Angle (AB)	0.806	1.81	0.093

*estadísticamente significativo

Cuando se analizaron los distintos dispositivos, los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas según el tipo de codificador en las mediciones de velocidad, mostrando ambos codificadores Vitruve (1 y 2), en general, lecturas de velocidad superiores en comparación con Chronojump. Sin embargo, el objetivo principal del presente estudio no era evaluar la validez o la reproducibilidad de los tres dispositivos, ya que ese tema ya ha sido estudiado. Por lo tanto, no se incluyeron estos resultados.

DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio era confirmar la influencia del ángulo de salida del cable en diferentes codificadores sobre la precisión de la medición. Comúnmente, se estableció que los ángulos de salida superiores a 2° podrían influir en la velocidad medida de estos dispositivos debido a la fricción con la carcasa del codificador. Los ejercicios típicos utilizados a menudo en las sesiones de entrenamiento requieren que la barra o las mancuernas se muevan en diferentes direcciones que no siempre son verticales. Este hecho puede reducir la utilidad de los codificadores en el entrenamiento sobre el terreno o puede provocar dificultades para colocar el dispositivo en una posición que permita que el cable salga con 0°. Este estudio demostró que el ángulo de salida del cable no influye en la velocidad medida, para los modelos estudiados, ya que no existe ninguna interferencia física entre el cable y el soporte. Esta información puede ser de gran ayuda para entrenadores, investigadores y atletas que utilicen codificadores en sus sesiones de entrenamiento. Aunque esta cuestión no era el objetivo principal del presente estudio, el hecho de que el protocolo experimental se realizara con tres dispositivos diferentes permitió realizar un estudio paralelo. El codificador Vitruve ha sido validado previamente (Pérez-Castilla et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019B; Held et al., 2021), así como utilizado en estudios experimentales como dispositivo validado (Rodríguez-Rodríguez et al., 2023). No obstante, los resultados indican un efecto estadísticamente significativo del tipo de codificador en las mediciones de velocidad. Los resultados mostraron que ambos codificadores Vitruve midieron velocidades más altas que el codificador Chronojump. Aunque no se observaron diferencias significativas en la velocidad registrada en el ángulo de salida entre los tres dispositivos estudiados, las diferencias en el diseño de sus carcasas pueden influir en las mediciones registradas. Ambos dispositivos Vitruve comparten la misma carcasa, con un puerto de salida del cable similar. Por el contrario, en el caso del Chronojump, la salida del cable es diferente. Estas diferencias pueden hacer que varíen las mediciones entre los distintos modelos de dispositivos, pero no entre los mismos modelos. Sin embargo, el ángulo de salida del cable no tuvo un impacto significativo en las mediciones de velocidad. Además, no se observó ningún efecto de interacción significativo entre el tipo de codificador y el ángulo de salida del cable.

Un factor crítico que influye en la precisión de los LPT es la fricción que se genera entre el cable y el dispositivo durante la medición. Cuando el cable sale del transductor en un ángulo superior a los 2° recomendados, puede producirse un aumento de la fricción, lo que puede dar lugar a errores en las lecturas de velocidad. Esta fuerza de fricción puede impedir el movimiento suave del cable, provocando fluctuaciones en el desplazamiento medido y afectando así a la precisión de los datos registrados. Al rozar el cable con la carcasa del transductor, la resistencia introducida puede variar con el ángulo y la velocidad del movimiento, lo que da lugar a mediciones incoherentes. Estudios como el de Harris et al. (2010) destacan la importancia de mantener una desviación mínima en los ángulos de salida del cable para reducir estos efectos de fricción y garantizar la fiabilidad de los datos de entrenamiento basados en la velocidad. Comprender y mitigar el impacto de la fricción del cable es esencial para mejorar la precisión de los LPT y, por extensión, la eficacia de las metodologías de entrenamiento basadas en la velocidad (VBT).

Una solución coherente para minimizar la fricción en la salida del cable es modificar la carcasa para que el cable salga por una muesca en lugar de por un orificio circular, lo que permite una salida en ángulo sin generar fricción entre el cable y la carcasa.

Estos resultados sugieren que, si bien el tipo de codificador utilizado puede influir en la precisión de las mediciones de velocidad en el entrenamiento basado en la velocidad (VBT), el ángulo de salida del cable dentro del intervalo probado (de 0° a 90°) no afecta significativamente a las mediciones. Esto contradice la recomendación general de mantener el cable dentro de una desviación de 2° respecto a la línea de acción para minimizar los errores de medición debidos a la fricción.

Futuras investigaciones deberán estudiar los posibles efectos de otros factores, como las diferentes magnitudes de carga y las distintas velocidades de movimiento, sobre la precisión de las mediciones de velocidad realizadas por los transductores lineales de posición (LPT) e incluir más dispositivos.

La metodología descrita garantiza una evaluación exhaustiva del impacto de los ángulos de salida del cable en la precisión de las mediciones de velocidad por los LPT, aportando valiosos conocimientos a la aplicación de la VBT en el entrenamiento de resistencia. Según los resultados obtenidos en el presente estudio, el ángulo de salida del cable no debería ser un factor a tener en cuenta en relación con la precisión de las medidas de velocidad. Los resultados ayudarán a validar o cuestionar las directrices actuales proporcionadas por los fabricantes de LPT y mejorarán la fiabilidad de las evaluaciones basadas en la velocidad en las ciencias del deporte.

DECLARACIÓN DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con la publicación de este manuscrito. Ninguna relación financiera, personal o de otro tipo con otras personas u organizaciones ha influido en el trabajo divulgado en este artículo. Los autores no tienen intereses financieros o no financieros relevantes que revelar que pudieran percibirse como posibles conflictos de intereses.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

En este estudio no participaron seres humanos, animales ni plantas. Todos los experimentos se realizaron utilizando dispositivos electrónicos y objetos inanimados (transductores de posición lineal y pesas), sin intervención de seres vivos. No se requirió el consentimiento informado para este estudio de investigación.

DECLARACIÓN DE FINANCIACIÓN

No se recibió financiación.

REFERENCIAS

- Achermann, B., Oberhofer, K., Ferguson, S. J., & Lorenzetti, S. R. (2023). Velocity-based strength training: The validity and personal monitoring of barbell velocity with the Apple Watch. *Sports*, 11(7), 125. <https://doi.org/10.3390/sports11070125>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1897–1904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>
- Clemente, F. M., Akyildiz, Z., Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). Validity and reliability of the inertial measurement unit for barbell velocity assessments: A systematic review. *Sensors*, 21(7), 2511. <https://doi.org/10.3390/s21072511>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 103–118. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.103>
- Courel-Ibáñez, J., Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Escribano-Peñas, P., Chavarren-Cabrero, J., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Reproducibility and repeatability of five different

- technologies for bar velocity measurement in resistance training. *Annals of Biomedical Engineering*, 47(7), 1523–1538. <https://doi.org/10.1007/s10439-019-02265-6>
- Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Cook, C., Owen, N., & Yang, G. Z. (2011). Validating two systems for estimating force and power. *International Journal of Sports Medicine*, 32(4), 254–258. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1270487>
- Fritschi, R., Seiler, J., & Gross, M. (2021). Validity and effects of placement of velocity-based training devices. *Sports*, 9(9), 123. <https://doi.org/10.3390/sports9090123>
- González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., & Rodríguez-Rosell, D. (2022). Toward a new paradigm in resistance training by means of velocity monitoring: A critical and challenging narrative. *Sports Medicine - Open*, 8, 118. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00513-z>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Harris, N. K., Cronin, J., Taylor, K. L., Jidovtseff, B., & Sheppard, J. (2010). Understanding position transducer technology for strength and conditioning practitioners. *Strength and Conditioning Journal*, 32(4), 66–79.
- Held, S., Rappelt, L., Deutsch, J. P., & Donath, L. (2021). Valid and reliable barbell velocity estimation using an inertial measurement unit. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9170. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179170>
- Moreno-Villanueva, A., Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). Validity and reliability of linear position transducers and linear velocity transducers: A systematic review. *Sports Biomechanics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1988136>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258–1265. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003118>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Garrido-Blanca, G., Delgado-García, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 commercially available devices for predicting bench-press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(10), 1442–1446. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0801>
- Rodríguez-Rodríguez, S., Jovell-Fernández, E., Cuadra-Llopart, L., Rodríguez-Sanz, J., Labata-Lezaun, N., López-de-Celis, C., Bosch, J., & Pérez-Bellmunt, A. (2023). Correlation between power elbow flexion and physical performance test: A potential predictor for assessing physical performance in older adults. *Journal of Clinical Medicine*, 12(17), 5560. <https://doi.org/10.3390/jcm12175560>
- Weakley, J., Morrison, M., García-Ramos, A., Johnston, R., James, L., & Cole, M. H. (2021). The validity and reliability of commercially available resistance training monitoring devices: A systematic review. *Sports Medicine*, 51(3), 443–502. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01382-w>