



Centre universitari adscrit a la



TRABAJO FINAL DEL MÁSTER EN ENTRENAMIENTO
PERSONAL Y READAPTACIÓN FÍSICO-DEPORTIVA

Autor: Néstor Cazorla Milara

Tutor: Víctor Illera Domínguez

Validez y Fiabilidad de una App basada en acelerometría para monitorizar la velocidad de ejecución en el ejercicio de press de banca

Resumen

El objetivo de este estudio fue valorar la validez y la fiabilidad de una aplicación móvil para android basada en acelerometría (APP) que permite medir la velocidad pico concéntrica (VPC) en el ejercicio de press de banca (PB). 10 participantes realizaron un test incremental con 3 diferentes cargas comprendidas entre el 40% y el 80% de la repetición máxima (1RM). La VPC fue registrada simultáneamente por la APP y por un encoder lineal validado (EL). Comparado con el instrumento de referencia, la aplicación móvil basada en acelerometría no mostró diferencias significativas en las variables de fiabilidad. El error típico estandarizado (TEE) resultó pequeño (TEE APP = 0,14, TEE EL = 0,08) y la correlación intraclass (ICC) casi perfecta (ICC APP = 0,98, ICC EL = 0,99). Sin embargo, si se observaron diferencias significativas en el valor medio de VPC mostrado por ambos instrumentos (APP = $1,5 \pm 0,4$ m/s, EL = $1,3 \pm 0,4$ m/s). Estos resultados demuestran la capacidad de la aplicación para replicar datos de velocidad y sugieren una calibración del algoritmo para estudiar su validez.

Palabras Clave: entrenamiento basado en velocidad, acelerómetro, dispositivo móvil

Abstract

The aim of this study was to assess the validity and reliability of an accelerometer-based Android mobile application (APP) that allows measuring the concentric peak velocity (CPV) in the bench press (BP) exercise. Ten participants performed an incremental test with 3 different loads ranging from 40% to 80% of their one-repetition maximum (1RM). The CPV was simultaneously recorded by the APP and a linear encoder (LE). Compared to the reference instrument, the accelerometer-based mobile application did not show significant differences in reliability variables. The typical error of measurement (TEE) was small (TEE APP = 0.14, TEE LE = 0.08) and the intraclass correlation (ICC) was nearly perfect (ICC APP = 0.98, ICC LE = 0.99). However, significant differences were observed in the mean value of CPV displayed by both instruments (APP = 1.5 ± 0.4 m/s, LE = 1.3 ± 0.4 m/s). These results demonstrate the application's ability to replicate velocity data and suggest algorithm calibration for assessing its validity.

Keywords: velocity-based training, accelerometer, smartphone

Introducción

El entrenamiento de resistencia es uno de los métodos más utilizados para ganar fuerza muscular¹. La intensidad del entrenamiento se ha considerado un factor clave para diseñar programas de entrenamiento de resistencia efectivos². Tradicionalmente esta intensidad se ha programado respecto al porcentaje de carga sobre 1RM³, sin embargo, se ha demostrado que programar en base a la velocidad de ejecución induce a mayores incrementos en la fuerza y potencia, reduciendo el volumen total de entrenamiento y provocando una menor fatiga en el deportista⁴.

Respecto a la velocidad de ejecución, se ha tomado tradicionalmente la velocidad media, ya que es la variable más sencilla de obtener y es la que mayor literatura científica ha demostrado ser efectiva. Sin embargo, diferentes estudios han determinado como la VPC es también efectiva como variable de velocidad de ejecución^{5,6}. Además, proporciona información única del pico de velocidad generado, que la velocidad media no es capaz de proporcionar y que es de vital utilidad en deportes con ejecuciones balísticas.

Para valorar la velocidad de ejecución existen diferentes métodos validados científicamente, desde el EL, que es el gold standard, hasta acelerómetros profesionales y métodos de vídeo análisis⁷. Existen aplicaciones móviles validadas científicamente⁸. Sin embargo, únicamente una aplicación móvil basada en acelerometría ha demostrado validez en determinados porcentajes de carga de la 1RM⁹. Otro estudio, demostró la validez y fiabilidad del acelerómetro del dispositivo móvil para calcular diferentes variables mecánicas¹⁰.

Las tecnologías mencionadas, o bien tienen un elevado coste o su uso es poco práctico. Por ello, y debido a que en la actualidad todo el mundo tiene accesible un sensor inercial en su dispositivo móvil, este estudio tiene como propósito valorar la validez y fiabilidad de la APP para medir y mostrar en tiempo real la VPC de un levantamiento en PB.

Métodos

Participantes

10 adultos saludables (edad $25,25 \pm 4,05$, peso $74,75 \pm 5,83$) con al menos dos años de experiencia en entrenamiento de resistencia se ofrecieron voluntarios para participar en este estudio. Todos los participantes estaban familiarizados con el PB, además fueron informados con detalle de los procedimientos y los posibles riesgos del estudio. Los criterios de exclusión fueron: (a) Lesión o afección previa que podría ser agravada por el PB; (b) Menor de edad; (c) Enfermedades cardiovasculares o metabólicas que limiten el rendimiento físico; (d) Haber consumido sustancias o medicamentos que influyan en el rendimiento físico. El protocolo de estudio fue aprobado por la comisión del Trabajo de Fin de Máster de la Escuela Superior de Ciencias de la Salud, Tecnocampus.

Diseño de Estudio

10 sujetos completaron en una misma sesión levantamientos a máxima velocidad en rangos comprendidos entre el 40% y el 80% de su 1RM⁷. Cada sujeto realizó 2 series de 3 repeticiones con el 40% de su 1RM, 3 series de 2 repeticiones con el 60% de su 1RM y 6 series de 1 repetición con el 80% de su 1RM. Esta distribución de la carga pretendía maximizar el número de muestras efectivas, minimizando la fatiga muscular. La VPC fue medida de forma simultánea por un EL validado (MuscleLab 6000, Ergotest Technology, Porsgrunn, Norway) y por la APP, mediante un dispositivo móvil fijado en la barra (Figura 1). Un total de 180 muestras fueron recogidas por cada instrumento con el propósito de valorar la validez y fiabilidad de APP mediante diferentes análisis estadísticos.

Figura 1. Posición del dispositivo móvil en la barra. Fotografía tomada por los autores.



Procedimientos

Todas las medidas fueron tomadas en el mismo laboratorio (Laboratorio de Actividad física, Rendimiento y Salud, Tecnocampus). Los participantes realizaron el test de PB en máquina Smith. La técnica utilizada fue revisada en cada repetición. Se les pidió a los participantes asistir a la sesión en condiciones óptimas, sin haber realizado ningún tipo de actividad física muy intensa las 24 horas antes del estudio y sin haber entrenado los grupos musculares implicados al menos 48 horas antes del estudio¹¹. Previamente al inicio del test, los participantes realizaron un calentamiento compuesto de movilidad articular, seguido de estiramientos dinámicos y series de calentamiento¹². Adicionalmente se realizó un test de 1RM,

donde los participantes realizaron un levantamiento a máxima velocidad con 15 kg de lastre en cada lado¹³. Dada la existente relación entre la velocidad de ejecución y el porcentaje de la repetición máxima¹⁴, una estimación de la RM fue calculada antes de comenzar el test.

El test consistió en 2 series de 3 repeticiones con el 40% de su 1RM, seguido de 3 series de 2 repeticiones con el 60% de su 1RM y de 6 series de 1 repetición con el 80% de su 1RM. El descanso entre series y entre rangos fue de 2 minutos¹⁵. Cuando el participante se había acomodado en el banco, un revisor procedía a activar el acelerómetro mediante la APP. Después de tres segundos, donde el participante debía preparar la barra, una señal acústica indicaba el inicio de la repetición. Es entonces cuando el participante debía realizar la fase excéntrica del movimiento hasta contactar con el pecho, para seguidamente efectuar un levantamiento a máxima velocidad. En los rangos donde se debían enlazar repeticiones (40% 1RM y 60% 1RM), el participante debía permanecer en la posición de inicio tras finalizar la repetición anterior, hasta nuevamente escuchar la señal acústica (6 segundos desde la señal acústica anterior).

Instrumentos

La APP fue desarrollada por uno de los investigadores del estudio, en el entorno MIT App Inventor (Google, Mountain View, CA, USA), utilizando el lenguaje de programación Java (Oracle, Santa Clara, CA, USA). Posteriormente, la APP fue instalada en un Xiaomi Redmi Note 8 (Xiaomi Corporation, Beijing, China) con sistema operativo Android (Google, Mountain View, CA, USA) y un acelerómetro triaxial (BOSCH, Gerlingen, Germany). La frecuencia de muestreo se estableció a 50 Hz. Para convertir la aceleración en velocidad, el algoritmo de APP fue diseñado para integrar los valores de aceleración sobre el eje Y en función del tiempo mediante la ecuación (1), de esta forma es capaz de obtener la velocidad en cada instante de tiempo.

$$v = \int a dt \quad (1)$$

Partiendo de que la velocidad en el inicio de la fase concéntrica es 0, la APP suma cada nueva velocidad instantánea a la velocidad anterior mediante la ecuación (2), donde v es la velocidad que lleva la barra antes de recibir una nueva aceleración.

$$v(t) = v + \int a * dt \quad (2)$$

La APP genera una lista con las velocidades acumuladas en cada instante. El algoritmo de la APP recorre la lista y muestra el valor más alto, que corresponde con la VPC.

Análisis Estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media \pm desviación estándar (SD). La fiabilidad de los datos fue analizada mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC), la diferencia de medias (CIM) y el error típico estandarizado (TEE), mientras que la validez fue analizada mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), el error típico y el sesgo medio estandarizado (MBE), todos con un intervalo de confianza del 90%. Adicionalmente, un gráfico Bland-Altman y un gráfico de dispersión fueron creados para comparar ambos sistemas de medición. Finalmente se determinó una ecuación de regresión general a partir de ambos instrumentos de medición. Todas las variables estadísticas fueron evaluadas mediante una hoja de cálculo de Excel diseñada para determinar la validez y fiabilidad¹⁶.

La magnitud de ICC fue considerada insignificante ($<0,21$), pequeña ($0,21-0,40$), moderada ($0,41-0,60$), sustancial ($0,61-0,80$) o casi perfecta ($0,81-0,99$). El TEE fue considerado insignificante ($<0,1$), pequeño ($0,1-0,29$), moderado ($0,3-0,59$) o grande ($>0,59$). El MBE fue considerado insignificante ($\leq 0,19$), pequeño ($0,2-0,59$), moderado ($0,6-1,19$) o grande ($>1,2$). La magnitud de correlación de Pearson fue considerada insignificante ($<0,1$), pequeña ($0,1-0,29$), moderada ($0,3-0,49$), grande ($0,5-0,69$) muy grande ($0,7-0,89$) o casi perfecta ($0,9-0,99$).

Resultados

Fiabilidad

En los resultados de fiabilidad, el error típico medio estandarizado entre las 6 tomas que realizó APP en cada rango de peso resultó pequeño. La correlación intraclase resultó casi perfecta. La media de la diferencia de medias entre tomas presentó valores muy similares al instrumento de referencia (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de TEE, ICC y CIM entre APP y EL

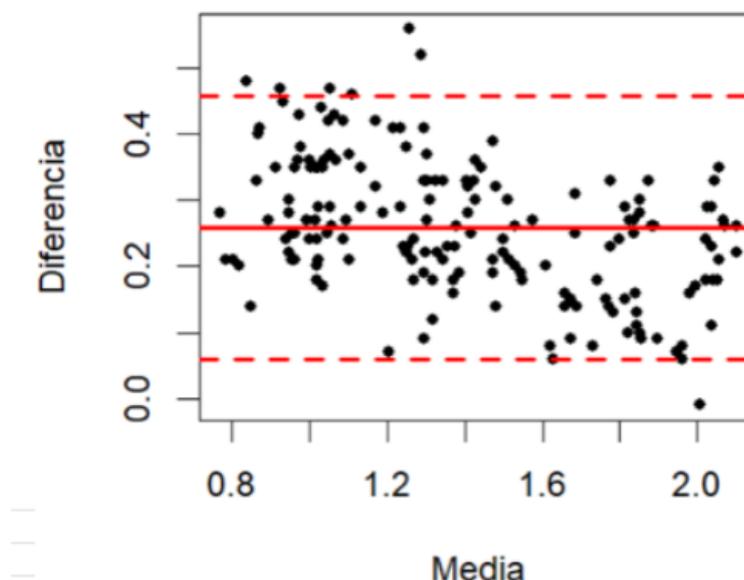
	APP	EL
TEE	0,14 (pequeño)	0,08 (insignificante)
ICC	0,98 (casi perfecta)	0,99 (casi perfecta)
CIM	0,00	0,01

TEE = Error Típico Estandarizado. ICC = Coeficiente Correlación Intraclase.

CIM = Diferencia de medias. EL = Encoder Lineal. APP = Aplicación Basada en Acelerometría

El gráfico Bland-Altman mostró las diferencias en la medición de VPC entre ambos métodos (Figura 2).

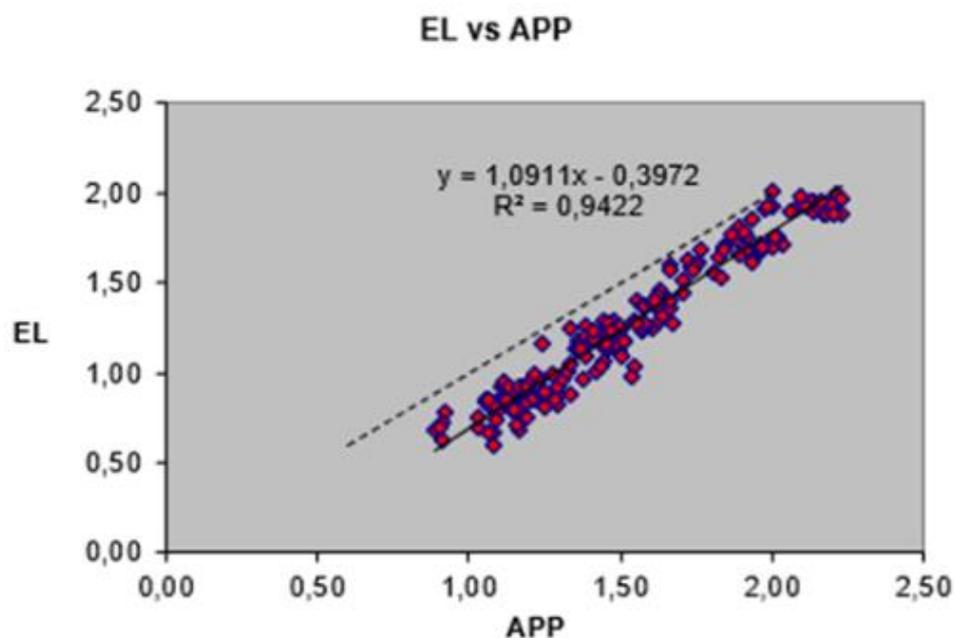
Figura 2. Gráfico Bland-Altman entre APP y EL. La línea central respresenta el sesgo entre instrumentos. Las líneas superior e inferior representan el $\pm 1,96$ SD.



Validez

En los resultados de la validez se observan diferencias significativas en el valor medio de VPC (APP = $1,5 \pm 0,4$ m/s, EL = $1,3 \pm 0,4$ m/s). El error típico resultó pequeño comparado con el instrumento de referencia. El sesgo medio resultó moderado (Tabla 2). La correlación entre APP y EL resultó casi perfecta (Figura 3).

Figura 3. Gráfico de dispersión que muestra la correlación de Pearson entre APP y EL .



Desglosado por los rangos estudiados, 40%, 60% y 80% de la 1RM, el error típico y el sesgo medio estandarizados resultaron grandes en los tres casos. La correlación entre APP y EL resultó muy grande, grande y grande respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de la VPC entre APP y EL en valores generales y desglosado por el porcentaje de la 1RM. Los datos se presentan como el valor medio \pm SD, MBE, TEE y r.

Carga	EL	APP	MBE	TEE	r
Todas	1,3 \pm 0,4 m/s	1,5 \pm 0,4 m/s	0,64 (moderado)	0,25 (pequeño)	0,97 (casi perfecta)
40% 1RM	1,8 \pm 0,1 m/s	2,0 \pm 0,2 m/s	1,35 (grande)	0,64 (grande)	0,84 (muy grande)
60% 1RM	1,2 \pm 0,1 m/s	1,5 \pm 0,1 m/s	2,15 (grande)	1,17 (grande)	0,65 (grande)
80% 1RM	0,8 \pm 0,1 m/s	1,1 \pm 0,1 m/s	3,14 (grande)	1,18 (grande)	0,65 (grande)

VPC = Velocidad Pico Concéntrica. EL = Encoder Lineal. APP = Aplicación Basada en Acelerometría. SD = Desviación Estándar
 MBE = Sesgo Medio Estandarizado. TEE = Error Típico Estandarizado. r = Correlación de Pearson

Ecuación de regresión

La ecuación de regresión general (3) para la VPC que proporciona APP fue determinada para analizar su validez.

$$y = 1,0911x - 0,3972 \quad (3)$$

Aplicando la ecuación de regresión, los resultados obtenidos por APP y por EL no mostraron diferencias significativas en el valor medio de VPC (APP = 1,3 \pm 0,4 m/s, EL = 1,3 \pm 0,4 m/s). El error típico estandarizado resultó pequeño (TEE = 0,25). El sesgo medio estandarizado resultó insignificante (MBE = 0,00). La correlación entre APP y EL resultó casi perfecta (r=0,97).

Discusión

Los hallazgos del presente estudio demuestran que APP es fiable en los rangos estudiados (40% - 80% 1RM). Comparado con la fiabilidad del instrumento de referencia, la VPC obtenida por APP presenta una correlación casi perfecta entre las 6 distintas tomas de cada rango. Además, todas las variables de fiabilidad estudiadas presentan valores muy parejos para APP y EL (Tabla 1), lo que sugiere que APP es realmente capaz de replicar valores toma tras toma, a un nivel de precisión parecido al de EL, considerado el *Gold Standard* para la medición de velocidades.

No obstante, se observan diferencias significativas entre los valores medios de VPC obtenidos por APP y EL, por ello se determina que la versión actual de APP no es válida. Se desconoce la causa de la sobreestimación del valor de VPC que proporciona APP. La ecuación de regresión obtenida abre futuras líneas de investigación para determinar la validez de APP con la pertinente calibración del algoritmo. La aplicación de esta ecuación a la toma de datos del presente estudio ha resultado positiva y el análisis estadístico ha determinado que los valores obtenidos por APP han resultado válidos y fiables cuando la ecuación de regresión ha sido aplicada. Futuros estudios se necesitan para comprobar la validez del nuevo algoritmo con una muestra de datos diferente.

La monitorización de la velocidad de ejecución permite cuantificar de forma precisa la intensidad del ejercicio. Esta metodología de monitorización de la carga es más interesante que otros métodos tradicionales, sobre todo en deportistas⁴. Diferentes métodos se han utilizado para medir la VPC en el PB⁷. Sin embargo, únicamente una aplicación móvil basada en acelerometría ha demostrado validez en determinados porcentajes de carga de la 1RM⁹. Los datos sugieren que APP, con la permitiente calibración del algoritmo mediante la ecuación de regresión, puede ser una herramienta válida para monitorizar la velocidad de ejecución del PB.

Por su asequibilidad de coste y su facilidad de uso, la versión definitiva de APP puede convertirse en una herramienta muy útil para entrenadores y deportistas.

Una de las limitaciones de este estudio es la colocación del dispositivo móvil sobre la barra. En la toma de datos, el dispositivo móvil se fijó en la barra mediante una goma elástica y el ángulo de colocación se realizó de forma manual. Por lo tanto, debido que APP solo detecta la aceleración en el eje vertical, cualquier desviación lateral o frontal puede alterar la VPC mostrada y aumentar el error respecto al instrumento de referencia. Además, como el dispositivo móvil se debe quitar para introducir nuevos pesos, este error deja de ser sistemático y difiere en cada nueva toma. Otra posible limitación ha sido la imposibilidad de realizar el estudio de fiabilidad en condiciones idénticas en cada toma. Las 6 tomas realizadas en cada rango fueron con intencionalidad máxima, sin embargo, diversos factores como la fatiga o la técnica pueden influir en la capacidad de los sujetos para replicar levantamientos. La utilización de un brazo mecánico puede permitir en futuros estudios la obtención de resultados totalmente precisos del estudio de fiabilidad.

Conclusión

La versión actual de APP demostró ser una herramienta fiable para medir la VPC del ejercicio PB en rangos comprendidos entre el 40% y el 80% de la 1RM. Sin embargo, se ha determinado que no es una herramienta válida en su versión actual. Dada la buena fiabilidad de APP, la ecuación de regresión extraída sugiere que una calibración del algoritmo podría garantizar su validez.

APP es una solución tecnológica accesible para entrenadores y deportistas que permite monitorizar la intensidad del ejercicio, por ello, futuras investigaciones se necesitan para valorar su validez con los ajustes del algoritmo pertinentes.

Referencias Bibliográficas

1. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. *Resistance Training for Health and Performance*. Vol 1.; 2002.
2. Fry AC. The Role of Resistance Exercise Intensity on Muscle Fibre Adaptations. Vol 34.; 2004.
3. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness A Review of the Acute Programme Variables. Vol 35.; 2005.
4. Dorrell HF, Smith MF, Gee TI. Comparison of velocity-based and traditional percentage-based loading methods on maximal strength and power adaptations.; 2019. www.nsc.com
5. García A, García-Ramos G, Pestaña FL, et al. Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability?www.nsc.com
6. Banyard HG, Nosaka K, Vernon AD, Gregory Haff G. The reliability of individualized load–velocity profiles. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;13(6):763-769. doi:10.1123/ijsp.2017-0610
7. Thompson SW, Rogerson D, Dorrell HF, Ruddock A, Barnes A. The Reliability and Validity of Current Technologies for Measuring Barbell Velocity in the Free-Weight Back Squat and Power Clean. *Sports*. 2020;8(7). doi:10.3390/sports8070094
8. Silva R, Rico-González M, Lima R, Akyildiz Z, Pino-Ortega J, Clemente FM. Validity and reliability of mobile applications for assessing strength, power, velocity, and change-of-direction: A systematic review. *Sensors*. 2021;21(8). doi:10.3390/s21082623
9. Barraón JP, San Juan AF. Validity and reliability of a smartphone accelerometer for measuring lift velocity in bench-press exercises. *Sustainability (Switzerland)*. 2020;12(6). doi:10.3390/su12062312
10. Viecelli C, Graf D, Aguayo D, Hafen E, Fuchslin RM. Using smartphone accelerometer data to obtain scientific mechanical-biological descriptors of resistance exercise training. *PLoS One*. 2020;15(7 July). doi:10.1371/journal.pone.0235156
11. Judge LW, Burke JR. The effect of recovery time on strength performance following a high-intensity bench press workout in males and females. *Int J Sports Physiol Perform*. 2010;5(2):184-196. doi:10.1123/ijsp.5.2.184
12. Mcmillian DJ, Moore JH, Hatler BS, et al. Dynamic vs. static-stretching warm up: the effect on power and agility performance. Vol 20.; 2006.
13. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*. 2010;31(5):347-352. doi:10.1055/s-0030-1248333

14. Marston KJ, Forrest MRL, Teo SYM, Mansfield SK, Peiffer JJ, Scott BR. Load-velocity relationships and predicted maximal strength: A systematic review of the validity and reliability of current methods. *PLoS One*. 2022;17(10 October). doi:10.1371/journal.pone.0267937
15. Willardson JM, Burkett LN. The effect of rest interval length on bench press performance with heavy vs. light loads. Vol 20.; 2006.
16. Hopkins WG. *SPORTSCIENCE Sportsci.Org Perspectives / Research Resources Understanding Statistics by Using Spreadsheets to Generate and Analyze Samples.*