

Evaluación de una APP para medir la velocidad de levantamientos de *press* banca: resultados preliminares

Javier Peláez Barraión, Alejandro F. San Juan

Laboratorio de Biomecánica Deportiva. Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF. Universidad Politécnica de Madrid.

Recibido: 21.12.2018
Aceptado: 14.04.2019

Resumen

Introducción: Cada vez es más frecuente encontrar aplicaciones móviles relacionadas con el deporte de fácil acceso y uso. Sin embargo, su precisión general de medida tiene aún mucho margen de mejora. El objetivo de este estudio fue determinar la precisión de una Aplicación móvil (APP) Android y del acelerómetro del teléfono móvil, para medir la velocidad media de un levantamiento de *Press Banca* (PB).

Material y método: Participaron en el estudio 5 sujetos (edad $23,8 \pm 2,94$ años), con una experiencia mínima de un año en el entrenamiento con resistencias en PB. Todos realizaron 3 repeticiones con un 70% y 90% del valor estimado de 1 Repetición Máxima (1RM). En cada repetición se midió y comparó la velocidad media simultáneamente con un Encoder lineal validado y la APP.

Resultados: Observamos una correlación positiva fuerte de la velocidad media entre el *Encoder* lineal y la APP ($r = 0,685$, $p < 0,001$, $SEE = 0,09 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$). El coeficiente de correlación intraclase (ICC = $0,707$) mostró un buen acuerdo entre ambos dispositivos. La APP mostró diferencias significativas en las velocidades medias de levantamientos del 90% 1RM (APP = $0,44 \pm 0,08 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; Encoder = $0,30 \pm 0,03 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$), no encontrando diferencias significativas en velocidades medias con cargas del 70% 1RM (APP = $0,54 \pm 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; Encoder = $0,51 \pm 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$).

Discusión: La APP no es por el momento totalmente válida y fiable a bajas velocidades de ejecución. Sin embargo, con filtros de señal específicos puede llegar a ser una herramienta de medición suficientemente precisa, accesible, fácil de usar, y que permitirá estimar la velocidad de los levantamientos de forma cómoda y adecuada.

Palabras clave:

Acelerómetro. Teléfono móvil.
Resistencias. Entrenamiento.
Tecnología. Fuerza. APP. Test.

APP evaluation to measure bench press lifts speed: preliminary results

Summary

Introduction: It's becoming more common to find sports mobile applications that have easy access and are easy to use. Nevertheless their general measure precision still needs improvement. The objective of this study was to determine the precision that a Smartphone application (APP) and a Smartphone accelerometer can provide to measure the mean velocity of a bench press (BP) on Smith machine.

Material and methods: 5 subjects participated in the study (age $23,8 \pm 2,94$ years), they had a minimum lifting experience of 1 year. All of them did 3 repetitions with a load of 70% and 90% of the estimated value of 1 Repetition Maximum (1RM), and a lift with their 1RM. In each repetition mean velocity was measured by a validated linear encoder and the APP.

Results: there was a strong positive correlation in mean velocity between linear encoder and the APP ($r = 0,685$, $p < 0,001$, $SEE = 0,09 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$). Intraclass correlation coefficient (ICC = $0,707$) showed a good agreement between both devices. The APP showed significant differences in the mean velocities of lifts with the 90% 1RM (APP = $0,44 \pm 0,08 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; Encoder = $0,30 \pm 0,03 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$), not showing significant differences in mean velocities of lifts with 70% 1RM (APP = $0,54 \pm 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; Encoder = $0,51 \pm 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$).

Discussion: At this moment the APP is not totally reliable and valid at low velocity lifts. Nevertheless, with proper signal filters it could be a precise, accessible and easy to use tool to measure lifts velocity in an easy and proper way.

Key words:

Accelerometer. Smartphone.
Resistances. Training. Technology.
Strength. APP. Test.

Correspondencia: Javier Peláez Barraión
E-mail: javi.pelaezb@gmail.com

Introducción

El entrenamiento con cargas o resistencias ha sido el método más utilizado para aumentar la fuerza muscular de un atleta¹. Para prescribir un programa de entrenamiento con cargas adaptado a las capacidades del individuo es necesario poder conocer la carga máxima que el individuo es capaz de mover en un ejercicio o la velocidad con la que se lleva a cabo un levantamiento².

La realización de un test de valoración de la fuerza de 1 Repetición Máxima (1RM), conlleva un alto riesgo de lesión en poblaciones desentrenadas, o más frágiles como niños y ancianos³. En el caso de deportistas de alto rendimiento la realización de un test de 1RM sigue suponiendo un riesgo y puede alterar la planificación de sus entrenamientos⁴. Es por ello que se han propuesto diferentes métodos indirectos de estimación de la 1RM: métodos basados en la resistencia muscular⁵⁻⁷, métodos basados en medidas antropométricas⁸⁻¹¹, y basados en la velocidad del levantamiento^{12,13}.

El método de estimación de 1RM a través de la velocidad de un levantamiento submáximo se ha demostrado como un método válido y fiable que permite estimar de una forma precisa la 1RM sin realizar el levantamiento^{12,13}. El instrumento considerado *gold standard* para la medición de la velocidad de un levantamiento es el *encoder* lineal^{12,13}, sin embargo, el principal inconveniente de esta herramienta es su elevado precio. Existen otros métodos para medir la velocidad de un levantamiento mediante análisis de vídeo^{14,15} o acelerómetros profesionales^{16,17}. Además cada vez es más frecuente encontrar aplicaciones móviles relacionadas con el deporte y concretamente con el análisis de la velocidad de los levantamientos¹⁴, o los saltos¹⁸.

Los *smartphones* actuales tienen sensores inerciales (acelerómetro, magnetómetro y giroscopio), para conocer la posición y el movimiento del dispositivo, por lo que podría utilizarse esta tecnología para medir la velocidad del levantamiento¹⁹. Sin embargo hasta el momento, y según nuestro conocimiento, no existe ninguna Aplicación móvil (APP), que utilice este *hardware* para medir la velocidad y estimar la fuerza.

El objetivo principal del presente estudio es comprobar la fiabilidad y la validez de la APP que utiliza el acelerómetro del teléfono móvil para obtener la velocidad media concéntrica de un levantamiento de Press Banca (PB) en máquina Smith, comparado con un *encoder* lineal validado. Además, los objetivos específicos son: 1) comprobar el grado de validez del acelerómetro del teléfono móvil, 2) verificar la utilidad de la aplicación en un entorno de pruebas real, y 3) encontrar posibles errores e inconvenientes de la APP para poder corregir futuras versiones del *software*.

Nuestra hipótesis es la siguiente: la APP será válida y fiable para la medición de la velocidad media del levantamiento respecto a un *encoder* lineal validado.

Material y método

Enfoque experimental del problema

Participaron en el estudio cinco sujetos varones jóvenes con experiencia en el entrenamiento con resistencias, y específicamente con experiencia de al menos 1 año en el ejercicio de PB. Todos los sujetos

Figura 1. Disposición del encoder lineal y el TLF durante el experimento.



realizaron 3 repeticiones de PB a máxima velocidad en la máquina Smith con un 70% 1RM, 3 repeticiones con 90% 1RM y un intento de 1RM. Se eligieron estas intensidades-porcentajes, ya que se han demostrado útiles para estimar el valor de 1RM mediante una ecuación lineal, tal y como describe Jaric, S.²⁰. Cada repetición fue medida simultáneamente con un *encoder* lineal validado¹⁹ (Speed4Lifts, Madrid, España), y el Teléfono móvil (TLF), ambos fijados a la barra. El TLF se fijó mediante un brazalete de *running* para TLF (Figura 1), y el *encoder* gracias a un accesorio propio (cinta con velcro). Las velocidades concéntricas medias de 70 levantamientos se compararon mediante análisis estadísticos con el objetivo de verificar la validez y fiabilidad de la APP.

Participantes

5 sujetos con una experiencia mínima de un año en el entrenamiento con cargas y específicamente en el ejercicio de PB participaron en el estudio (Datos media \pm Desviación estándar: Edad = $23,8 \pm 2,9$ años; Altura = $177,6 \pm 9,2$ cm; Peso = $77,5 \pm 9$ kg; 1-RM PB = $80,8 \pm 16,7$ kg). Los criterios de exclusión fueron: 1) ser más joven de 18 años; 2) haber consumido algún narcótico y/o psicotrópico antes o durante la prueba; 3) cualquier enfermedad cardiovascular, metabólica, neurológica, pulmonar o desorden ortopédico que pudiese limitar el rendimiento en las diferentes pruebas; 4) tener menos de 12 meses de experiencia en el ejercicio de PB. Todos los participantes fueron estudiantes de la Facultad de Actividad Física y Deportes donde se realizó el experimento.

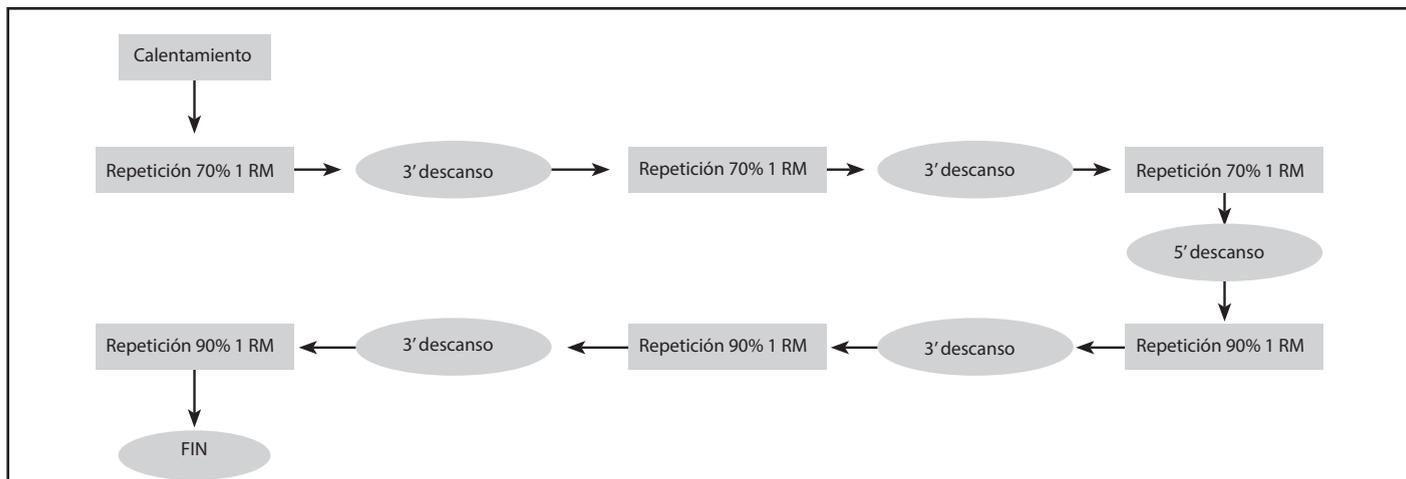
El estudio fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad Politécnica de Madrid y cumple con la declaración de Helsinki para Experimentos con Humanos. Cada participante fue informado del estudio de forma oral y escrita mediante hoja informativa y todos ellos firmaron un consentimiento informado.

Procedimiento

Test de PB

Todos los sujetos participantes realizaron un calentamiento basado en la literatura^{18,21}. Comenzaron con 5 minutos de ejercicio aeróbico. Posteriormente realizaron estiramientos dinámicos (Ej. Rotaciones internas y externas de hombro, extensiones de codo y rotaciones de

Figura 2. Diagrama de flujo con el desarrollo del test de PB.



muñecas), y ejercicios de movilidad articular del tren superior. Después se siguió con 2 series de 5 repeticiones de PB con una carga aproximada del 50% 1RM del sujeto y un descanso de 2 minutos entre series. Para finalizar el calentamiento se realizaron dos series de 1 repetición con una carga del 50% 1RM del sujeto a máxima velocidad para preparar de forma adecuada la musculatura.

Durante el test cada sujeto realizó 3 repeticiones con una carga del 70% 1RM y un descanso de 3 minutos entre cada repetición. Tras la última repetición con el 70% 1RM descansaron 5 minutos y comenzaron las 3 repeticiones con el 90% 1RM, con 3 minutos de descanso entre cada repetición (Figura 2).

Cada repetición comenzaba con una pausa de 3 segundos tras desenganchar la barra. A continuación, la APP emitía una señal acústica ("LETS GO") y los sujetos realizaban la fase excéntrica del levantamiento hasta tocar la barra con el pecho. Posteriormente realizaban una parada de 1 segundo y con el segundo aviso acústico de la aplicación ("BIP"), realizaban la fase concéntrica del levantamiento a la máxima velocidad posible. Tanto la APP como el *encoder* registraron la velocidad media de la fase concéntrica del levantamiento. Todos los levantamientos se realizaron en una máquina Smith.

Se solicitó a todos los sujetos que no entrenaran los grupos musculares involucrados al menos 2 días antes del experimento.

Instrumentos

La APP se desarrolló en el entorno de desarrollo integrado *Android Studio* (Google, California, USA), mediante el lenguaje de programación *Java* (Oracle, California, USA). Para la captura de los valores de aceleración se utilizó la librería *sensorManager*. La APP se instaló en un teléfono Huawei G620S (Huawei Technologies Co., Guangdong, China), con sistema operativo *Android* (Google, California, USA), y un acelerómetro tri-axial modelo *lis3dh* (STMicroelectronics, Geneva, Switzerland). La frecuencia de muestreo de aceleraciones se estableció en 50 Hz. Para calcular la velocidad media del levantamiento se tomaron las aceleraciones de la fase concéntrica en el eje z del móvil y se realizó la integración de dichos valores siguiendo el principio de integración:

$$v = \int a dt$$

Para realizar la aproximación del valor de la integración se desarrolló en código la regla del trapecio:

$$\int_a^b f(x) dx \sim h/2 [f(a)+2f(a+h)+2f(a+2h)+\dots+f(b)]$$

Donde $h = \frac{(b-a)}{n}$ y n es el número de divisiones.

La regla del trapecio divide el área de debajo de la curva que definen los distintos valores de aceleración en n trapecios con diferente área. La suma del área de todos los trapecios que están contenidos debajo de la curva resultará ser el valor aproximado de la integral de dicha curva. Cuanto mayor es el número de trapecios, el cual coincide con el número de eventos de aceleración tomados durante la fase concéntrica, mayor será la precisión de la aproximación de la integral²².

Puesto que el acelerómetro del TLF tiene bastante ruido se utilizaron distintos procesos de filtrado de la señal. Entre ellos se utilizó un filtro "mecánico" para eliminar aquellos valores residuales que deberían ser 0 pero el acelerómetro daba un valor superior o inferior. Además, se utilizó un filtro de bajo paso el cual recibe un factor de filtrado que hará la curva que describen las aceleraciones más suave cuanto mayor sea su valor.

Análisis estadístico

Se analizó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk. Una vez confirmada la normalidad de las variables dependientes ($p > 0,05$), los resultados fueron presentados como media (M), y desviación estándar (DE). Se utilizaron varios análisis estadísticos para probar la validez y fiabilidad de la APP con respecto al *encoder* lineal en el ejercicio de PB en máquina Smith. En primer lugar, la validez concurrente de la APP fue probada mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r). Para calcular la fiabilidad de las mediciones de la APP en comparación con el *encoder* lineal se utilizó el Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI). El cálculo de las diferencias entre las medias de las dos mediciones se realizó mediante una prueba t para muestras relacionadas. El error estándar estimado (SEE) se utilizó para mostrar el error típico en las mediciones. El nivel de significación se fijó en $p = 0,05$. Todos los cálculos se realizaron mediante IBM® SPSS® *Statistics* 23 software (IBM Co., USA).

Resultados

Validez concurrente de la app

Analizando el total de datos de 30 velocidades medias, la correlación de Pearson nos mostró una relación positiva fuerte entre las velocidades tomadas con el *encoder* y la APP simultáneamente ($r=0,685$, $p<0,001$, $SEE=0,09 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$) (Figura 3).

Fiabilidad de las medidas

Hubo una buena concordancia entre los valores de la velocidad media obtenidos con la APP y el *encoder* lineal como nos muestra el CCI y el α de Cronbach ($ICC=0,707$; $CI=0,076-0,886$; $\alpha=0,812$).

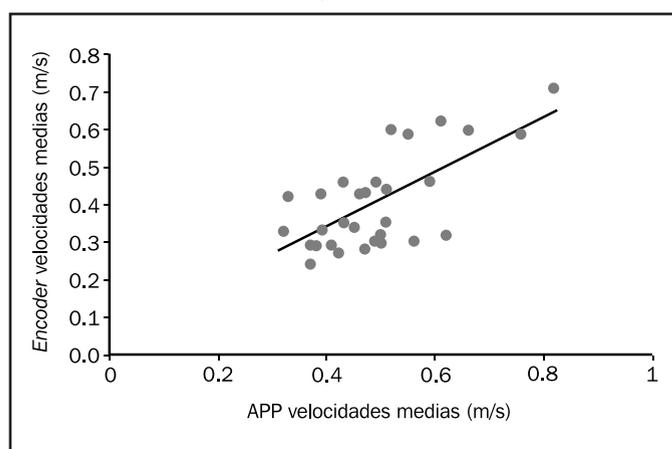
La prueba *t* para muestras relacionadas usada en la velocidad media de los levantamientos para comparar el *encoder* lineal y la APP mostró una diferencia significativa en las velocidades ($APP=0,49 \pm 0,12 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; $Encoder=0,41 \pm 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; $p<0,001$) siendo las velocidades medias medidas por la APP superiores (diferencia media: $0,08 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$).

Se realizó la prueba *t* para muestras relacionadas para comparar las velocidades medias por porcentajes de 1RM no encontrándose diferencias significativas entre las medias de las velocidades al 70% de 1 RM medidas por la APP y el *encoder* lineal ($p>0,05$). Sin embargo para los levantamientos con una carga de un 90% del 1 RM si se encontraron diferencias significativas en las medias de las velocidades medidas, siendo claramente superiores las mediciones de la APP ($p<0,001$) (Tabla 1).

Tabla 1. Velocidad media ($\text{m} \cdot \text{s}_{-1}$) del levantamiento en función del porcentaje de 1 RM. Los datos están expresados como media \pm DE (desviación estándar).

	App Media \pm DE	Encoder Media \pm DE
Velocidad media 70% 1 RM	0,54 \pm 0,13	0,51 \pm 0,10
Velocidad media 90% 1 RM	0,44 \pm 0,08	0,30 \pm 0,03

Figura 3. Correlación de Pearson entre las velocidades medias medidas por el encoder lineal y la APP para las 30 velocidades.



Discusión

La APP no ha resultado totalmente válida y fiable para la medición de la velocidad media del ejercicio PB en máquina Smith comparado con un *encoder* lineal validado. Se observó que los valores de velocidad media de los levantamientos obtenidos con la APP tuvieron una correlación positiva fuerte ($r=0,685$) con un nivel de acuerdo bueno ($CCI=0,707$) respecto al *encoder* lineal. También observamos que las velocidades medidas con la APP fueron significativamente superiores a las obtenidas con el *encoder* lineal (diferencia media: $0,08 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$).

Analizando específicamente las diferencias en las mediciones de velocidad en los distintos porcentajes de 1RM, podemos observar que para velocidades de levantamientos cercanos al 70% de 1RM no hay diferencias significativas entre la media de las mediciones de la APP y el *encoder* ($APP=0,54 \pm 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; $Encoder=0,51 \pm 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$). Sin embargo, para velocidades cercanas al 90% de 1RM, sí se encontraron diferencias significativas en las velocidades medias de la APP respecto al *encoder* ($APP=0,44 \pm 0,08 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$; $Encoder=0,30 \pm 0,03 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$).

Parece que la APP mide de forma precisa velocidades medias con cargas cercanas al 70% 1RM, con errores muy pequeños ($0,03 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$). En el caso de las cargas cercanas al 90% 1RM el error en las mediciones de velocidad de los levantamientos se mantiene constante en unos $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}_{-1}$. Esto puede ser debido a que el filtrado de la señal del acelerómetro a velocidades más bajas no se ha programado correctamente. Desde un punto de vista constructivo, los resultados obtenidos en este estudio exploratorio nos permitirán ajustar más el proceso de filtrado para estas velocidades y así obtener resultados tan o más cercanos que los obtenidos a velocidades de levantamientos al 70% de 1RM.

El *encoder* lineal utilizado en este estudio para comparar la precisión de nuestra APP, mide la velocidad de desplazamiento vertical del cable fijado a la barra mediante la transducción de señales eléctricas. Es por ello que los *encoder* lineales son considerados el *gold standard*²³, para la medición de la velocidad de los levantamientos por muchos autores. Otros sistemas de medición de velocidad^{16,24}, y potencia muscular (25) en levantamientos mediante el uso de acelerómetros se han comprobado como válidos y fiables.

Anteriormente se han determinado como válidas y fiables APPS para la medición de la velocidad de levantamientos¹⁴. El inconveniente de estas aplicaciones es la necesidad de medir el rango de movimiento del atleta en el ejercicio y seleccionar correctamente los fotogramas en los que comienza y termina el levantamiento. Por ejemplo, la aplicación *Powerlift*¹⁴ necesita una cámara con capacidad de grabación de alta velocidad, ya que cuanto más alta sea la frecuencia de muestreo en fotogramas/segundo, mayor precisión obtendremos a la hora de determinar el tiempo que dura un levantamiento. Aun así, siempre se pierde información en cuanto al espacio recorrido entre fotogramas, lo que provoca una pérdida de datos en relación con la velocidad de desplazamiento de la barra. La medición del rango de movimiento debe ser realizada de forma similar y lo más precisa posible para evitar diferencias entre levantamientos, lo que junto a las decisiones que debe tomar el evaluador (qué fotogramas son o no válidos), aumenta la probabilidad de error y complica la reproductibilidad de la medida.

En el presente estudio se ha combinado el uso del acelerómetro del teléfono móvil con el desarrollo de una aplicación móvil (APP) para

tratar las aceleraciones obtenidas durante el levantamiento y medir así de forma directa la velocidad. Anteriormente se ha estudiado la fiabilidad y validez de otros acelerómetros¹⁹ como el *Beast Sensor* encontrándose una reducida fiabilidad y validez en velocidades bajas, además de unas velocidades medias superiores respecto a un *encoder* lineal así como una pérdida considerable de repeticiones no detectadas correctamente por el sensor. APPs como *Powerlift*¹⁴ han mostrado una medición precisa aunque ligeramente superior a la velocidad medida por un *encoder* lineal, dependiendo la fiabilidad y validez de los resultados de los Hz de grabación y de la correcta medida del rango de movimiento. Es por ello que estas tecnologías concuerdan con nuestra APP en sobreestimar la velocidad media del levantamiento a pesar de que usen acelerómetros de mayor calidad o procesos manuales de selección de fotogramas y medición del rango de movimiento.

No se ha podido asegurar la validez y fiabilidad de la APP, esto podría ser debido a que la frecuencia de muestreo que se decidió fijar era de 50Hz, la cual es inferior respecto a otros sistemas de medición de velocidad con acelerómetros (Ej. 200 Hz a 500 Hz)^{16,24}. Además la calidad de los acelerómetros que utilizan estos dispositivos (Ej. Push band, *Beast*)^{16,24}, y su precio (Ej. 350-250\$), es superior a los acelerómetros que usan los teléfonos móviles actuales los cuales no precisan analizar movimientos con tanta precisión y cuyo precio generalmente es inferior a los 5\$. Por tanto, nuestra APP es difícil que en un futuro tenga mejores resultados de precisión de medida que los acelerómetros de mayor calidad o los *encoder* lineales, pero nuestro objetivo es acercarnos al máximo y superar a APPs basadas en estimaciones a través de fotogramas. Nuestra APP es una aproximación a un *encoder* muy barata, que permite medir múltiples movimientos, de fácil accesibilidad y útil para que los entrenadores tengan una idea aproximada de la velocidad a la que un sujeto está moviendo una carga.

En conclusión, nuestra APP que utiliza el acelerómetro del TLF aún no es válida ni fiable en todos los rangos de velocidad media concéntrica de un levantamiento de PB en máquina Smith, comparado con un *encoder* lineal validado.

En futuros estudios se mejorará el filtrado de la señal del acelerómetro para levantamientos con velocidades bajas para así mejorar el resultado de la medición en rangos cercanos al 90% de 1RM, y para permitir una buena estimación del valor de 1RM. Además, se comprobará el comportamiento de la APP distintos teléfonos móviles con distintos acelerómetros y sistemas operativos, intentando aumentar y ajustar de forma más eficiente la frecuencia de muestreo de la APP.

En futuras líneas de investigación se explorará el uso del acelerómetro y los sensores inerciales dentro del área de conocimiento de la biomecánica deportiva y de la salud, así como a nivel pedagógico.

Aplicación práctica

Nuestra APP permitirá medir de forma lo más precisa posible la velocidad media del levantamiento para que el entrenador de una forma barata, rápida, sencilla y sin material adicional, pueda planificar de una forma adecuada la sesión de entrenamiento de fuerza.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(4):674-88.
- Folland JP, Williams AG. The Adaptations to Strength Training. *Sport Med.* 2007; 37;145-68.
- Shaw CE, McCully KK, Posner JD. Injuries during the one repetition maximum assessment in the elderly. *J Cardiopulm Rehabil.* 1995;15(4):283-7.
- Izquierdo-Gabarrén M, De Txabarri Expósito RG, García-Pallarés J, Sánchez-Medina L, De Villarreal ESS, Izquierdo M. Concurrent Endurance and Strength Training Not to Failure Optimizes Performance Gains. *Med Sci Sport Exerc.* 2010;42;1191-9.
- Chapman PP, Whitehead JR, Binkert RH. The 225-1b Reps-to-Fatigue Test as a Submaximal Estimate of 1-RM Bench Press Performance in College Football Players. *J Strength Cond Res.* 1998;12(4):258-61.
- Dohoney P, Chromiak JA, Lemire D, Abadie BR, Kovacs C. Prediction of one repetition maximum (1-RM) strength from a 4-6 RM and a 7-10 RM submaximal strength test in healthy young adult males. *J Exerc Physiol.* 2002;5(3):54-9.
- Mayhew JL, Ball TE, Bowen JC. Prediction of bench press lifting ability from submaximal repetitions before and after training. *Res Sports Med.* 1992;3(3):195-201.
- Cadore E, Pinto RS, Brentano MA, Silva RF, da Silva EM, Spinelli R, et al. Prediction of one repetition maximum load by total and lean body mass in trained and untrained men. *Med Sportiva.* 2012;16(3):111-7.
- Caruso J, McLagan J, Shepherd C, Olson N, Taylor S, Gilliland L, et al. Anthropometry as a predictor of front squat performance in American college football players. *Isokinet Exerc Sci.* 2009;17(4):243-51.
- Fry AC, Ciroslan D, Fry MD, LeRoux CD. Anthropometric and performance variables discriminating elite American junior men weightlifters. *J Strength Cond Res.* 2006;20(4): 861.
- Schumacher RM, Arabas JL, Mayhew JL, Brechue WF. Inter-Investigator Reliability of Anthropometric Prediction of 1RM Bench Press in College Football Players. *Int J Exerc Sci.* 2016;9(4):427.
- González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med.* 2010;31(05):347-52.
- Jidovtseff B, Harris NK, Crielaard JM, Cronin JB. Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):267-70.
- Balsalobre-Fernández C, Marchante D, Muñoz-López M, Jiménez, SL. Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *J Sports Sci.* 2018;36(1):64-70.
- Lake JP, Lauder MA, Smith NA. Barbell kinematics should not be used to estimate power output applied to the barbell-and-body system center of mass during lower-body resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2012;26(5):1302-7.
- Comstock BA, Solomon-Hill G, Flanagan SD, Earp JE, Luk HY, Dobbins KA, et al. Validity of the Myotest® in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res.* 2011;25(8):2293-7.
- Thompson CJ, Bemben MG. Reliability and comparability of the accelerometer as a measure of muscular power. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(6):897-902.
- Balsalobre-Fernández C, Glaister M, Lockey RA. The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *J Sports Sci.* 2015;33(15):1574-9.
- Albalá-Gómez B. *Validez y fiabilidad de un sensor basado en acelerometría y de un transductor lineal de posición para medir la velocidad de ejecución en el ejercicio de press de banca.* Master's thesis, University of Leon, 2017. <https://bit.ly/2HhFxVv>
- Jaric S. Two-load method for distinguishing between muscle force, velocity, and power-producing capacities. *Sports Med.* 2016;46(11):1585-9.
- McMillian DJ, Moore JH, Hatler BS, Taylor DC. Dynamic vs. static-stretching warm up: the effect on power and agility performance. *J Strength Cond Res.* 2006;20(3):492-9.
- Cruz-Uribe D, Neugebauer CJ. Sharp error bounds for the trapezoidal rule and Simpson's rule J. *Inequal. Pure Appl. Math.* 2002;3(4):1-2.
- Garnacho-Castaño MV, López-Lastra S, Maté-Muñoz JL. Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *J Sports Sci Med.* 2015;14(1):128.
- Balsalobre-Fernández C, Kuzdub M, Poveda-Ortiz P, del Campo-Vecino J. Validity and reliability of the push wearable device to measure movement velocity during the back squat exercise. *J Strength Cond Res.* 2016;30(7):1968-74.
- Thompson CJ, Bemben MG. Reliability and comparability of the accelerometer as a measure of muscular power. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(6):897-902.