

Confiabilidad entre instrumentos (T-Force® y Myotest®) en la valoración de la fuerza

Inter-machine Reliability (T-Force® y Myotest®) in strength assessment

Pedro Tomas Gómez-Piriz, María Eva Trigo Sánchez

Universidad de Sevilla, España

David Cabello Manrique, Esther Puga González

Universidad de Granada, España

Resumen

El estudio pretende caracterizar la confiabilidad entre dos instrumentos, medidor de posicionamiento lineal (MPL, dinamómetro inercial T-Force) y el acelerómetro (AC) 3-D (Myotest Sport, modelo S4P) habituales en la medición de variables de rendimiento. Fueron analizados 40 ensayos en la realización del ejercicio press banca (25 kg) en fase concéntrica a la máxima velocidad por tres sujetos (26.74 ± 1.2 años, 175.74 ± 4.04 cm, 78.7 ± 3.35 kg). Las variables analizadas fueron velocidad máxima, fuerza máxima estimada y pico de potencia estimado. Ambos aparatos obtuvieron los datos simultáneamente. Se desarrollaron tres modelos de regresión lineal simple proporcionados por el medidor de posicionamiento lineal (MPL) a partir de los datos del acelerómetro (AC). Se contrastó el supuesto de independencia de los errores mediante la prueba de Durbin-Watson. Se calcularon autocorrelaciones parciales para un nivel de significación $p < .05$. No ha sido posible confirmar la existencia general de correlaciones entre las medidas de ambos aparatos. Los datos estuvieron caracterizados por una autocorrelación generalizada y se recomienda la utilización de estrategias que contemplen el control del error producido por el factor de dependencia de los datos cuando se miden deportistas. Sólo se encontró correlación entre aparatos en unos de los casos no concluyentes, variable (Pico de Potencia) y sujeto 1, $r(10) = .64$, $p = .024$. No se encontraron autocorrelaciones parciales. AC obtiene mayores valores promedio y de dispersión que MPL. Los resultados evidencian probabilidad de aumento del valor de la incertidumbre de la medida en AC conforme a las orientaciones especificadas en Metrología. Ambos aparatos no deberían usarse indistintamente en la evaluación y control del entrenamiento.

Palabras Claves: entrenamiento de fuerza; press banca; metrología.

Abstract

The purpose of this study was to determine the inter-machine reliability of two devices routinely used to measure variables in sports performance: the linear position measuring device (LPM, isoinertial dynamometer T-Force) and the (AC) 3-D accelerometer (Myotest Sport, S4P model). 40 bench press exercises (25 kg) were analysed at concentric contraction phase and at maximum velocity, carried out by three different subjects (age: 26.74 ± 1.2 years, height: 175.74 ± 4.04 cm, weight: 78.7 ± 3.35 kg). Variables analysed comprised maximum velocity, maximum estimated force and estimated peak power. The data from both devices was collected simultaneously. Three simple lineal regression models were developed, supplied by the linear position measuring device (LPM) on the basis of the accelerometer's (AC) data. The assumption of independence of errors was compared by means of the Durbin-Watson test. Partial autocorrelation coefficients were calculated for a $p < .05$ significance level. It has not been possible to confirm the presence of a general correlation between the measurements of both devices. The data was characterised by a generalised autocorrelation and it is recommended that strategies reflecting error control resulting from the data dependence factor be applied when measuring an athlete's performance. An inter-machine correlation was only found in one of the non conclusive cases: (Peak Power) variable and subject 1, $r(10) = .64$, $p = .024$. No partial autocorrelation was found. The AC device obtained higher average and dispersion values than the LPM device. The results show the probability of an increase to the value of uncertainty of the AC device measurements in accordance with Metrology specified guidelines. Both devices should not be used interchangeably when assessing and monitoring training.

Key words: resistance training; bench press; metrology.

Correspondencia/correspondence: Pedro Tomas Gómez Piriz

Universidad de Sevilla, España

E-mail: pedropiriz@hotmail.com

Introducción

La presente investigación tiene por objeto de estudio incidir en las propiedades mensurables de dos aparatos, habituales instrumentos de medida en el ámbito del Entrenamiento Deportivo, incidiendo en aspectos referidos a la calidad y mejora de sus mediciones. Se trata de contrastar las características de los instrumentos post-proceso, ya comercializados, describiendo sus diferencias y alertando a los profesionales especializados del uso indiscriminado de uno u otro para la valoración y control del rendimiento deportivo. En Metrología, el adecuado funcionamiento de los instrumentos empleados lleva implícito la verificación de éstos como instrumentos fiables; cuando la validez de los resultados existe, la medida depende en gran parte de las propiedades metrológicas del instrumento propuestas por el Centro Español de Metrología, (CEM, 2008).

Entendiendo que ambos instrumentos son sometidos al control sobre el valor de incertidumbre asociada a sus medidas por parte de las empresas que los comercializan, y atribuyendo las características metrológicas más destacables del producto al proceso de trazabilidad sometido (Sensibilidad, Resolución, Estabilidad, Deriva, Transparencia, Tiempo de Respuesta, Exactitud, Veracidad, Precisión, etc.), es necesario establecer condiciones de repetibilidad de la medida bajo un conjunto similar de condiciones: mismo procedimiento de medida (principio y método), mismo sistema de medida, mismas condiciones de operación, mismo lugar y, específicamente, mediciones repetidas entre objetos similares. Cualquier modificación de los parámetros a medir entre objetos similares determinaría una cierta incertidumbre de medida debida a la utilización indiscriminada de uno u otro instrumento.

En opinión de Hopkins (2000), es importante caracterizar la confiabilidad de la medida entre pruebas, así como entre análisis o entre equipos en ensayos repetidos. Esta confiabilidad entre instrumentos debe referirse a la reproductibilidad de valores de la prueba, o a los análisis realizados de las distintas medidas en ensayos repetidos en los mismos individuos o también entre instrumentos. A su vez, indicó que la mayor comprensión de la teoría de la confiabilidad de los investigadores ayudaría a reducir análisis inadecuados en la literatura científica, en general, y, específicamente en las ciencias del deporte.

Los intentos por establecer la fiabilidad de aparatos por métodos de ensayo y reensayo no han sido adecuados debido a que no se espera que los deportistas respondan dos veces de la misma manera (Buela-Casal y Sierra, 1997). Sin embargo, la utilización simultánea de diversos instrumentos para la medición de un mismo movimiento, asociado a decisiones sobre el diseño de investigación, pueden solucionar este impedimento, identificando la replicabilidad con la fiabilidad entre instrumentos. La fiabilidad instrumental es debida a la consistencia con la que un aparato es capaz de responder, sometido repetidamente a un mismo estímulo. La variabilidad entre aparatos para una misma medición nos da información de la necesidad de especificar las características de los instrumentos utilizados en la explicación de los parámetros medidos.

Diversos estudios han profundizado en la idea de la confiabilidad entre instrumentos en materia de entrenamiento deportivo (Gross, Huffman, Phillips y Wray 1991; Earnest, Wharton, Church y Lucia, 2005). Jidovtseff, Croisier, Lhermerout, Serre, Sac y Crielaard (2006) demostraron aún mayor variabilidad en los datos cuando valoraron en deportistas. Esliger y Tremblay (2006) señalaron que las perspectivas futuras de investigación deben dirigirse hacia la aclaración de por qué instrumentos diseñados para medir las mismas variables obtienen valores diferentes.

En estímulos relacionados específicamente con el entrenamiento de fuerza, Bosquet y col. (2010) encontraron una relación en cuanto a la estimación de 1RM mediante las velocidades obtenidas en un protocolo en *press banca* con la utilización de un medidor de posicionamiento lineal (Musclelab, Ergotest, Norway), destacando en sus análisis la necesidad de controlar parámetros de exactitud de la medida en sucesivas investigaciones. La demostración de que la información obtenida por dos instrumentos, habitualmente utilizados en el entrenamiento, sea la misma es de vital importancia.

El dinamómetro inercial (T-Force System Ergotech, Murcia, España) es de uso habitual en la medición y control de entrenamientos con cargas adicionales y se ha utilizado recientemente para: 1, establecer la importancia de estos parámetros cinemáticos en la medición de la cualidad fuerza y la estimación de los mismos durante la fase propulsiva del movimiento a diferentes intensidades de 1 RM (Sanchez-Medina, Pérez y Gonzalez-Badillo, 2010) y 2, para estimaciones de la intensidad de carga mediante la velocidad de movimiento en el ejercicio *press banca* (Gonzalez-Badillo y Sanchez-Medina, 2010)

Por otro lado, el acelerómetro 3-D Myotest Sport modelo S4P (Myotest SA, Sion, Switzerland) es un instrumento usado en la actualidad para monitorizar el entrenamiento deportivo. Kraemer (2009) lo utilizó para establecer su adecuación como instrumento y su validez para medidas de fuerza y potencia en hombres y mujeres de distintos niveles de capacitación deportiva. En Hage y col. (2011) lo han utilizado para la obtención de modificaciones en el factor fuerza, salto vertical, después de un entrenamiento con cargas altas. Hasegawa y col. (2011) han demostrado la mejora de su uso como proveedor de información instantánea en los datos obtenidos en deportistas en esfuerzos de resistencia y salto vertical.

La validación y confiabilidad, desarrollada en Casartelli, Müller y Maffiuletti (2011) entre Myotest y células fotoeléctricas permiten interpretar la necesidad de más estudios sobre esta temática. Estos autores determinaron que el Myotest es una herramienta válida y fiable para la valoración del rendimiento en salto vertical, pero aconsejan que las informaciones de uno a otro aparato no se crucen, debido a la sobrestimación sistemática de la altura de salto por parte de este acelerómetro.

Jidovtseff y col. (2008) dispusieron procedimientos para la validación y reproducibilidad entre Myotest y un medidor de posicionamiento lineal, para las variables máximas velocidad, fuerza y potencia en el movimiento *press banca*, concluyendo que en determinadas cargas no se cumplían los criterios establecidos para la velocidad y potencia; sí para la fuerza, sobre todo en cargas cercanas a 1RM. Estos mismos autores declararon los algoritmos utilizados por ambos instrumentos como el origen de este problema.

Las anteriores motivaciones, además de los indicios demostrados en sucesivas pruebas preexperimentales, no confirmaron rotundamente la adecuación de la alternancia de resultados de uno a otro instrumento. Existen suficientes criterios objetivos para aumentar estas dudas cuando se trata de deportistas.

La hipótesis general de investigación parte de la idea de que las distintas mediciones realizadas en iguales condiciones por dos dispositivos que miden lo mismo presuponen resultados similares. Las predicciones de investigación emanadas de tal consideración general pueden definirse en función de parámetros observables, en este caso, sobre la base de variables habituales en el entrenamiento en el ejercicio *press banca*. Y, por último, al requerirse de estadística se establecen predicciones estadísticas con las siguientes hipótesis:

1. Los resultados obtenidos por ambos aparatos permiten demostrar la confiabilidad entre ellos.
2. Existen autocorrelaciones en las distintas mediciones realizadas en los sujetos que interfieren en la obtención de correlaciones entre instrumentos.
3. Existe correlación estadísticamente significativa entre los resultados obtenidos por ambos instrumentos, en las condiciones de investigación detalladas, entre las variables velocidad máxima, fuerza máxima y pico de potencia estimada en el ejercicio press banca.

Por ello, y para aclarar el ámbito de conocimiento en cuanto al uso de esta instrumentación y su idoneidad como herramienta para el seguimiento del proceso de entrenamiento, en la presente investigación se establecieron los siguientes objetivos:

- Comparar los datos obtenidos por ambos aparatos y observar la evolución de los mismos.
- Establecer estrategias en cuanto al diseño, controlando la variable autocorrelación entre los ensayos de los deportistas.

Método

Participantes

Tres sujetos de investigación independientes (26.74 ± 1.2 años, altura 175.74 ± 4.04 cm, peso 78.7 ± 3.35 kg) realizaron un total de 40 ensayos (sujeto 1: 12; sujeto 2: 12 y sujeto 3: 16).

Todos los participantes dieron su consentimiento informado para la participación voluntaria en el estudio, detallando el objetivo y la naturaleza de cada prueba, los riesgos asociados y los beneficios esperados, asegurándoles la confidencialidad del proceso. Los sujetos eran deportistas habituales en el entrenamiento de fuerza sin ninguna patología ni lesión que le incapacitara para la realización de la prueba. Su participación fue anónima y dieron su consentimiento para el tratamiento informatizado de los datos, cuyos fines son exclusivamente científicos, conforme a las normas legales (Ley 15/1999 de Protección de datos de Carácter Personal). Esta investigación fue aprobada por el Comité Ético de la Universidad de Sevilla, siguiendo las normas de la Declaración de Helsinki (revisión 2004).

Instrumentos

Los datos se obtuvieron simultáneamente bajo un mismo conjunto de condiciones de repetibilidad por los dos instrumentos de investigación: medidor de posicionamiento lineal (MPL), dinamómetro inercial (Model TF-100, T-Force System Ergotech, Murcia, España) con una constante de calibración $K = .4899$ (configurada de fábrica para cada aparato) y Acelerómetro (AC), 3-D Myotest Sport (modelo S4P, Myotest SA, Sion, Switzerland). Los cálculos para las distintas variables se realizaron con los algoritmos propios de cada software (T-Force v. 2.28 y MyotestPRO v.1.0.0.20995 respectivamente).

Procedimiento

Los sujetos de investigación realizaron todos los ensayos en el interior del Centro de Alto Rendimiento de Sierra Nevada (Granada: presión atmosférica absoluta 1003 hPa, Humedad relativa 93.3%, altura 2320 m sobre el nivel del mar y temperatura 15 °C).

Los ensayos consistieron en la realización de movimientos de *press banca* (Bosquet y col., 2010; Sanchez-Medina, Pérez y Gonzalez-Badillo, 2010; Jidovtseff y col., 2008). Este movimiento solicita los miembros superiores siendo la posición inicial decúbito supino en banco, rodillas flexionadas y pies apoyados en el mismo, codos 90° en flexión y hombros 90° en abducción. La distancia de separación de las manos fue evaluada previamente y estuvo sujeta a que el agarre debió permitir las angulaciones en las articulaciones descritas en esa posición inicial. Los sujetos desplazaron hacia arriba verticalmente, de manera libre, una barra (25 kg) en un movimiento concéntrico y con la intención de hacerlo a la máxima velocidad. Después de una activación progresiva a la actividad se realizaron todos los ensayos, cada vez un solo ensayo por sujeto con 3' de descanso. En la barra se colocaron en el mismo lateral los dos dispositivos objeto de comparación bajo las condiciones especificadas. Se midieron de manera instantánea las siguientes variables de investigación:

Velocidad máxima (cm/s), obtenida por la variación del espacio en función del tiempo.

Fuerza máxima (N), relación de la masa desplazada y la aceleración manifestada durante todo el movimiento.

Pico de Potencia máxima (W), relación de la fuerza y la velocidad manifestada durante el movimiento.

Análisis estadístico

El análisis de datos se desarrolló con el paquete Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Inc., version 18, Chicago, IL). Se desarrollaron tres modelos de regresión lineal simple para predecir los datos sobre las tres variables proporcionados por MPL a partir de los datos de AC. Se contrastó en todos los casos el supuesto de independencia de los errores a través de la prueba de Durbin-Watson, debido a su efecto sobre la inflación de la tasa de error tipo I, midiendo el grado de autocorrelación entre el residuo correspondiente a cada observación y la anterior. Se realizaron cálculos de las autocorrelaciones parciales en cada situación considerando una única serie formada por las mediciones de ambos aparatos y un retardo igual al número de ensayos realizados. Se utilizó en todos los casos un valor de $p \leq 0.05$. Se evaluó el tamaño de efecto y la potencia estadística (G*Power 3.1.0 Universität Kiel, Germany), obtenidos en cada caso de acuerdo con los niveles propuestos por Cohen (1988; 1992).

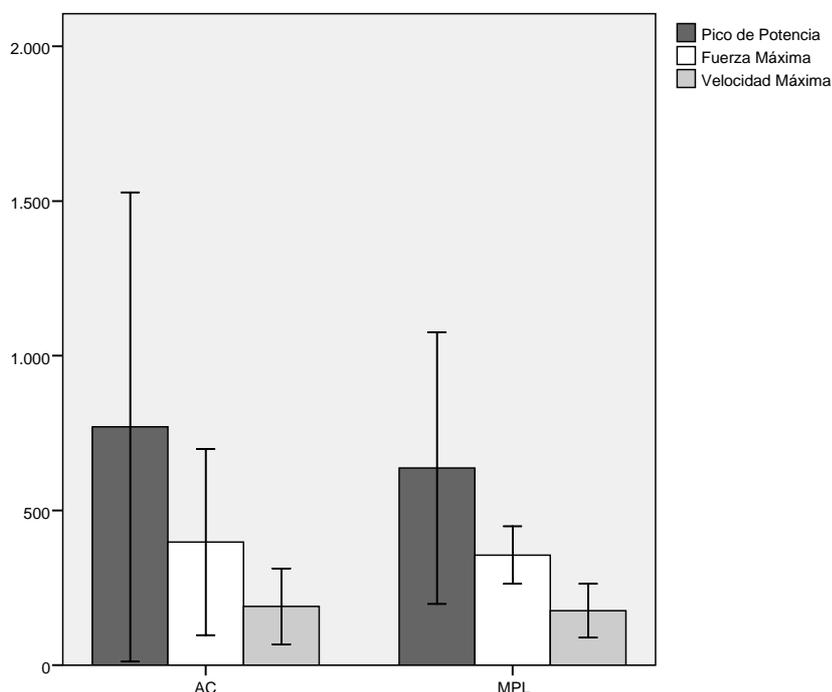
Resultados

En la totalidad de los datos se ha detectado un mayor valor promedio en la mayoría de las variables medidas por el instrumento AC con respecto a MPL (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos (M = media, DT = desviación tipo y CV= Coeficiente de Variación) de las tres medidas registradas por cada aparato utilizado en cada serie de ensayos.

Sujeto		Pico Potencia			Fuerza Máx.			Velocidad Máx.		
		M	DT	CV	M	DT	CV	M	DT	CV
1 (12 ensayos)	MPL	920.27	62.75	6.82	408.39	±17.77	4.35	225.21	±8.46	3.76
	AC	1169.83	316.05	27.02	559.17	±191.70	34.29	<u>215.17</u>	±32.71	15.20
2 (12 ensayos)	MPL	655.17	46.54	7.10	346.98	±12.13	3.50	188.67	±8.61	4.56
	AC	780.58	256.26	32.83	355.67	±27.29	7.67	220.25	±74.20	33.69
3 (16 ensayos)	MPL	410.81	45.22	11.01	322.26	±42.75	13.27	129.45	±20.55	15.87
	AC	462.81	153.27	33.12	<u>307.94</u>	<u>±20.54</u>	6.67	148.19	±42.53	28.70

Las medias y desviaciones tipo para cada una de las medidas en las tres series de ensayos se muestran en la Tabla 1. El promedio de las medidas aportadas por AC fue superior en la mayoría de las ocasiones al promedio de las medidas de MPL, exceptuando la medición de potencia del tercer sujeto y la medición de velocidad del primero. Al mismo tiempo, las desviaciones tipo de las medidas de AC también fueron superiores a las del MPL, en todas las ocasiones menos una, la Fuerza Máxima (20,54) del tercer sujeto. Se constata una relación lógica en los valores de fuerza máxima y la velocidad máxima alcanzada, excepto en el sujeto 2 con el dispositivo AC, en el que esa relación es inversa, en dicho caso la fuerza máxima medida (355.67N), siendo de mayor valor que la obtenida con MPL (346.98N), debería de corresponderse con unos valores de velocidad menores para un mismo movimiento, esto no ocurrió así (220.25 y 188.67cm/s respectivamente). En la Figura 1 se aprecia las diferencias especialmente en los valores de dispersión, con bastantes casos extremos en el caso de AC para las variables Fuerza y Velocidad máxima.



Figural. Medias y Desviaciones típicas. MPL (medidor de posicionamiento lineal) y AC (acelerómetro) para las tres variables: Velocidad Máxima (cm/s), Fuerza Máxima (N) y Pico de Potencia (w).

Puesto que las diferentes observaciones de cada análisis fueron proporcionadas por un mismo sujeto a través de diferentes ensayos, se realizó el contraste en todos los casos del supuesto de independencia de los errores a través de la prueba de Durbin-Watson. En la Tabla 2 se muestran los estadísticos referidos a cada uno de los modelos.

Tabla 2. Valores empíricos y teóricos (intervalo) del estadístico de Durbin-Watson y datos del análisis de regresión lineal simple de cada medida con los datos del Medidor de posicionamiento lineal (MPL) como variable criterio y los del acelerómetro (AC) como variable predictora.

Sujeto	Medida	D-W	Intervalo	b	β	t	gl	Sig.
1 (12 ensayos)	Fuerza Máx.	0.70*	0.81-1.58	.01	.14	0.45	10	.663
	Pico Potencia	1.17 [?]		.13	.64	2.66	10	.024 *
	Velocidad Máx.	1.25 [?]		-.01	-.04	-1.12	10	.904
2 12 ensayos)	Fuerza Máx.	1.49 [?]	0.81-1.58	-.14	-.32	-1.08	10	.304
	Pico Potencia	1.57 [?]		-.05	-.25	-.82	10	.429
	Velocidad Máx.	2.06		-.04	-.31	-1.02	10	.333
3 (16 ensayos)	Fuerza Máx.	1.58	0.98-1.54	.02	.01	0.037	14	.971
	Pico Potencia	1.69		.20	.67	3.35	14	.005 *
	Velocidad Máx.	2.13		.32	.67	3.35	14	.005 *

* autocorrelación estadísticamente significativa; ? datos no concluyentes.

La primera cuestión a destacar es la presencia de bastantes correlaciones bajas e incluso negativas, indicando una disminución de algunas medidas proporcionadas por uno de los aparatos a medida que las proporcionadas por el otro aumentan, por lo que difícilmente puede defenderse la confiabilidad de ambos instrumentos. Sólo se encontraron dos correlaciones estadísticamente significativas y con tamaño de efecto grande en las medidas de potencia y velocidad del tercer sujeto, $r(14) = .67$, $p = .005$, aunque no pueden afirmarse debido a la presencia de autocorrelación entre los errores.

Este supuesto de independencia de los errores, de acuerdo con el estadístico de Durbin-Watson (Tabla 2), sólo se incumple claramente en una de las situaciones, la medida de fuerza en el sujeto 1, en cuatro de estas situaciones los datos de la prueba no fueron concluyentes, por lo que también podría existir autocorrelación, en los demás casos se acepta la existencia de dicha dependencia.

En tales situaciones, en cuanto a los datos no concluyentes, únicamente se encontró una correlación estadísticamente significativa, y con un tamaño de efecto grande, en la medición de la potencia para el primer sujeto, $r(10) = .64$, $p = .024$. Las potencias estadísticas para los grados de libertad establecidos mostraron un valor de $1 - \beta = .60$ (sujeto 3) y $.46$ (sujeto 1 y 2).

La Figura 2 muestra el resultado de las autocorrelaciones parciales y los intervalos de confianza respectivos. Como puede comprobarse, la mayoría de los valores de autocorrelación resultaron negativos, incluyendo algunos de los correspondientes a medidas donde se había detectado una correlación positiva estadísticamente significativa con el análisis de regresión lineal. Ello indica, nuevamente, un aumento de los datos proporcionados por un aparato a medida que los datos proporcionados por el otro disminuían, por lo que no podría defenderse su equivalencia. También apoya esta idea el hecho de que la única autocorrelación parcial positiva sea muy pequeña. En cualquier caso, ninguna de ellas superó los límites del intervalo de confianza para el 95%, por lo que no resultaron estadísticamente significativas.

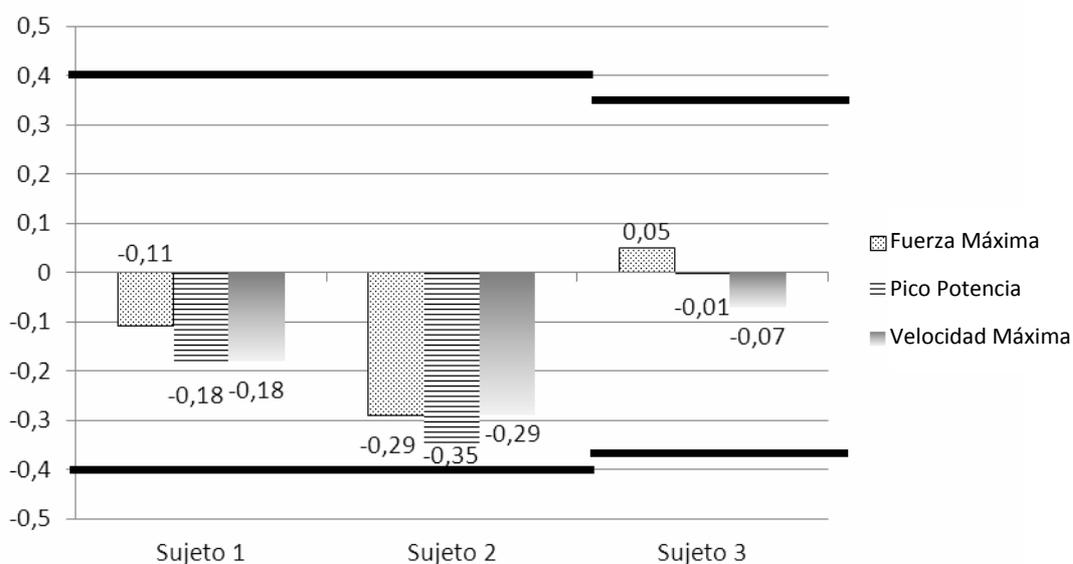


Figura 2. Autocorrelaciones parciales y límites del intervalo de confianza al 95% (líneas inferiores y superiores respecto al eje de abscisas) para las diferentes medidas de cada sujeto.

Discusión

Se han comparado los datos obtenidos por los dos instrumentos utilizados en esta investigación y se ha controlado los mismos mediante el uso del factor autocorrelación de los sujetos en la totalidad de los ensayos. Esta estrategia en el diseño fue debida a que la mayor variabilidad en los datos existe cuando se trata de valorar a deportistas (Jidovtseff y col., 2006), por lo que tomar actuaciones en cuanto al diseño y al análisis estadístico ha sido una decisión prioritaria en este estudio. El control de aspectos referidos al error producido por la dependencia de los datos para un mismo sujeto en sucesivos ensayos ha permitido alcanzar los resultados en cuanto al objetivo de investigación.

No ha sido posible confirmar la posibilidad de utilizar un modelo estadístico que permitiera obtener unos resultados de un instrumento sobre la base de los otros, destacando la presencia de bastantes correlaciones bajas e incluso negativas entre los datos obtenidos por los dos aparatos sometidos a prueba, esto mismo ocurrió en otros estudios para comparaciones entre distintos instrumentos (Gross y col., 1991; Welk, Schaben y Morrow, 2004; Jidovtseff y col., 2006; Esliger y Tremblay, 2006).

Las cuestiones referidas a la confiabilidad entre instrumentos muestran la necesidad de incidir en las características de la medida, detectando problemas de exactitud, de sobrestimación de resultados en la comparación entre instrumentos, de obtención de distintos coeficientes de variación, e incluso de mejora en los algoritmos utilizados para el cálculo de las variables. Los resultados indican cómo el instrumento AC muestra mayores valores promedio y una desviación típica mayor (Tabla 1), excepto en dos casos, la medición de pico de potencia del tercer sujeto y la medición de velocidad máxima del primero. Esto hace deducir que, en el caso de utilizar AC en la medición, los valores se mostrarán más altos, al igual que los datos obtenidos en Casartelli, Müller y Maffiuletti (2011) en relación a la sobrestimación sistemática de la altura de salto con el mismo instrumento respecto a otro medidor de posicionamiento lineal. Además serán menos precisos ya que las distribuciones de los datos han mostrado una mayor dispersión, todo ello en comparación con los datos obtenidos con MPL. Esto se confirmó en 16 de los 18 casos medidos, mostrándose en sentido inverso en los dos casos reseñados, pico de potencia del tercer sujeto y velocidad máxima del primero. Con MPL se obtendrán menores promedios y valores más precisos, con menor dispersión.

Los análisis desarrollados agrupan una serie de pruebas estadísticas que convergen en la demostración de que ambos aparatos no miden lo mismo, y que cuando se utilizan sujetos existe una variable de autocorrelación en los resultados obtenidos que pueden llegar a determinar falsas correlaciones entre ambos dispositivos. En el presente estudio tan sólo se encontró una correlación estadísticamente significativa, con un tamaño de efecto grande y exenta de autocorrelación, en la medición de la potencia para el primer sujeto, $r(10) = .64$, $p = .024$. Por diversas motivaciones explicadas no es posible generalizar la anterior afirmación.

También se podría afirmar que midiendo con AC aumentamos el valor de la incertidumbre de la medida (denominada incertidumbre típica Tipo A en CEM, 2008), parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos a cada mensurando. Los cálculos desarrollados por los algoritmos utilizados pueden llegar a ser la causa de estas cuestiones como se ha reflejado en otras investigaciones para este mismo instrumento (Jidovtseff y col., 2008; Casartelli, Müller y Maffiuletti, 2011).

La existencia del factor incertidumbre del resultado de una medición refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor del mensurando. Esto puede ser debido a diversas causas: una resolución finita del instrumento de medida o umbral de discriminación; valores inexactos de los patrones de medida o de los materiales de referencia; y/o valores inexactos de constantes y otros parámetros tomados de fuentes externas y utilizados en el algoritmo de tratamiento de los datos (CEM, 2008). Al respecto, hay que considerar aspectos relevantes referidos a las especificaciones de calibración existente en el MPL, proceso obtenido mediante comparación directa con patrones de medida o materiales de referencia certificados. Welk, Schaben y Morrow (2004) llegaron a la conclusión, debido a la existencia de variabilidad en los datos obtenidos, de la necesidad de protocolos de calibración apropiados para la obtención de la fiabilidad de la medida analizada en cuatro tipos de acelerómetros distintos.

Según el Centro Español de Metrología (CEM, 2008b) la existencia del protocolo de calibración de un instrumento demuestra la trazabilidad a la que se somete, garantiza que las lecturas del mismo sean compatibles con otras mediciones, determina la exactitud de las lecturas del instrumento y establece su fiabilidad. Esta cuestión no puede ser confundida con aspectos de veracidad de los resultados obtenidos por ambos instrumentos, siendo necesario para ello el contraste con el valor aceptado de referencia (valor real o verdadero) para cada una de las variables estudiadas.

Conclusión

No se ha confirmado la confiabilidad entre el instrumento AC y MPL. Esta conclusión se ha tomado teniendo en cuenta el control de independencia entre los ensayos de cada sujeto de investigación. Por tanto, se debe alertar sobre la utilización de ambos aparatos como instrumento de evaluación y control del entrenamiento de fuerza. El instrumento AC ha mostrado valores más altos y más dispersos que MPL, por lo que existen muestras de sobrestimación e imprecisión de los datos en AC con respecto a MPL. El estudio permite afirmar que los datos estuvieron caracterizados por una autocorrelación generalizada, recomendándose la utilización de estrategias que contemplen el control del error producido por el factor de dependencia de los datos en sucesivos ensayos cuando se miden deportistas.

Se puede afirmar que midiendo las variables de investigación con AC aumentamos el valor de la incertidumbre de la medida con respecto a si medimos con el MPL. Esto es debido a: 1, la mayor dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos a cada mensurando obtenidos por AC, 2, la incidencia de dicho factor que parece alterar en la misma medida los algoritmos necesarios para la estimación de las demás variables, y 3, a la existencia de una constante de calibración en el instrumento MPL que demuestra trazabilidad y determina más indicios de garantía de fiabilidad del instrumento.

Por último, se recomienda el uso de uno de los instrumentos y la comparación de los resultados con el mismo en sucesivas mediciones, de esta manera la interpretación de aumentar o disminuir el resultado de un test no llevaría a ninguna confusión en cuanto a los efectos de entrenamiento o a la introducción de valores de referencia en sucesivas investigaciones.

Referencias bibliográficas

Bosquet, L.; Porta-Benache, J., & Blais, J. (2010) Validity of a commercial linear encoder to estimate bench press 1 RM from the force-velocity relationship. *Journal of Sports Science & Medicine*, Vol. 9 Issue 3, p459, 5p.

- Buela-Casal, J. y Sierra, C. (1997) Manual de evaluación psicológica: fundamentos, técnicas y aplicaciones. Madrid: Siglo XXI
- Casartelli, N.; Müller, R., & Maffiuletti, N. (2011) Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 3186–3193.
- Centro Español de Metrología (2008). Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) (3ª ed.) Madrid. (www.cem.es,_30/05/2011)
- Centro Español de Metrología (2008b). *Metrología Abreviada* (3ª ed.) Madrid. (www.cem.es,_30/05/2011)
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2ª Ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.
- Earnest, C.; Wharton, R.; Church, T., & Lucia, A. (2005) Reliability of the Iode Excalibur sport ergometer and applicability to Computrainer electromagnetically braked cycling training device. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 344–348
- El Hage, R.; Zakhem, E.; Moussa, E., & Jacob C. (2011) Acute effects of heavy-load squats on consecutive vertical jump Performance. *Science & Sports* 26, 44–47
- Esliger, D.W., & Tremblay, M.S. (2006) Technical reliability assessment of three accelerometer models in a mechanical setup. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38, 12, 2173-2181.
- Gonzalez-Badillo, J.J., & Sanchez-Medina, L. (2010) Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *Int J Sports Med* 2010; 31: 347– 352.
- Gross M.; Huffman G.M.; Phillips C.N., & Wray, A. (1991) Intramachine and Intermachine Reliability of the Biodex and Cybex II for Knee Flexion and Extension Peak Torque and Angular Work. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*; Vol. 13 Issue: Number 6 p329-335.
- Hasegawa, H.; Yamauchi, T.; Kawasaki, T.; Adachi, T; Yamashita, M., & Nakashima, N. (2011) Effects of plyometric training using a portable self-coaching system on Running performance and Biomechanical variables in jump Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, supplement 1.
- Hopkins, W. G. (2000) Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Med*, Jul; 30 (1): 1-15
- Jidovtseff, B.; Crielaard, J.M.; Cauchy, S., & Croisier, J.L. (2008) Validity and reliability of an inertial dynamometer using accelerometry. *Science & Sports*, 23, 94–97
- Jidovtseff, B.; Croisier, J.L.; Lhermerout, C.; Serre, L.; Sac, D., & Crielaard, J.M. (2006) The concept of iso-inertial assessment: reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinetics and Exercise Science*, 14, 1, 53-62.
- Kraemer, W. (2009) Construct validity of the Myotest® in measuring force and power production. *32nd National Conference & Exhibition* (NSCA, Las Vegas), p.26.
- Sanchez-Medina L.; Pérez, C.E., & Gonzalez-Badillo J.J. (2010) Importance of the Propulsive Phase in Strength Assessment. *Int J Sports Med*; 31: 123 – 129 1
- Welk, G.J.; Schaben, J.A., & Morrow J.R. (2004) Reliability of accelerometry-based activity Monitors: a generalizability study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 9, 1637-1645.