

## PREDICCIÓN DE LA ALTURA DE SALTO VERTICAL. IMPORTANCIA DEL IMPULSO MECÁNICO Y DE LA MASA MUSCULAR DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES

Ferragut C, Cortadellas J, Arteaga R.(\*), Calbet JAL  
Laboratorio de Rendimiento Humano. (\*) Departamento de Educación Física

---

### RESUMEN

El objetivo de este estudio ha sido determinar si es posible predecir la altura de vuelo en el salto vertical a partir de variables cinemáticas, dinamométricas y antropométricas, mediante un modelo de regresión múltiple lineal. Participaron en el estudio 53 sujetos, 21 hombres jugadores de voleibol de categorías nacionales (División de Honor y Primera División) y 9 mujeres jugadoras de voleibol de División de Honor, así como 23 estudiantes de Educación Física, de los cuales 12 eran hombres y 11 mujeres. Inicialmente se determinó la altura de vuelo en saltos efectuados sin contramovimiento o "squat jumps" (SJ) y en saltos precedidos por un contramovimiento o "countermovement jumps" (CMJ). Además, se determinó la fuerza isométrica máxima (FIM) en posición de semisentadilla, con las rodillas flexionadas a 90°, 120° y 140°, simultáneamente se tomaron medidas de la actividad electromiográfica del vasto externo del cuádriceps. La masa muscular de las extremidades inferiores se midió mediante absorciometría fotónica dual de rayos X (DEXA). El impulso positivo explicó por sí solo un 77% de la variabilidad en altura de vuelo. La variable anterior combinada con el porcentaje de masa corporal representado por la masa muscular de las extremidades inferiores permitió explicar un 82% de la variabilidad de la altura de vuelo en el CMJ. Al añadir a la ecuación anterior la masa muscular de las extremidades inferiores se pudo explicar un 98% de la variabilidad en altura de vuelo. En los saltos sin contramovimiento, también fue posible explicar un porcentaje similar de la variabilidad de la altura de vuelo utilizando las mismas variables.

**PALABRAS CLAVE:** Salto vertical, DEXA, masa muscular, fuerza

### ABSTRACT

The aim of this study was to find out if it is possible to predict the height of the vertical jump from kinematic, dynamometric and anthropometric variables using a multiple linear regression model. Fifty-three subjects, 21 male and 9 female volleyball players of first National categories (First National League and First League), as well as 23 Physical Education students (12 males and 11 females) participated in this study. First, the height of the flight during the performance of a "squat jump" (SJ) and "countermovement jump" (CMJ) was determined. Then, the maximal isometric strength in the squat position was assessed with the knees bent at 90°, 120° and 140° while the electromyographic activity was simultaneously recorded on the vastus lateralis with surface electrodes. The muscle mass of the lower limbs was obtained by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA). The positive mechanical impulse explained on its own 77% of jumping height variability. Prediction power was increased to 82% by including in the model the percentage of body mass represented by the muscle mass of the lower limbs. The inclusion of the muscle mass of the lower limbs, as a third variable, raised the prediction power to 98% of jumping height variability. The same variables allowed for a similar level of prediction during the squat jumps.

**KEYWORDS:** Vertical jump, DEXA, muscle mass, strength.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La validez del salto vertical como medida de fuerza muscular ha sido cuestionada por algunos autores como Genuario y Dolgener (1980), quienes observaron una relación poco intensa entre la fuerza muscular de las extremidades inferiores y la altura de vuelo en salto vertical. Sin embargo, otros han observado que existe una relación intensa entre la altura de vuelo en el salto vertical y la capacidad máxima e aceleración (Ferragut Fiol y Lopez Calbet 1998). De ahí que los tests de salto vertical se utilicen en la valoración de la fuerza explosiva de las extremidades inferiores. Pero, ¿cuáles son los factores biomecánicos y neuromusculares que determinan el rendimiento en el salto vertical? ¿qué papel tienen las variables antropométricas? Estas son cuestiones que aún no han sido resueltas (Bobbert y Van Soest, 1994; Brown , Mayhew y Boleach, 1986).

Se puede considerar que la altura vuelo en el salto vertical viene condicionada por cuatro factores principales. En primer lugar, por la fuerza con la que el músculo se contrae en el momento del salto y la velocidad a la que el músculo es capaz de generar tensión durante el mismo. Tanto la fuerza de contracción como la velocidad a la que se genera tensión dependen a su vez de otros dos factores: la velocidad de reclutamiento y activación de las motoneuronas implicadas en el salto, así como el número de unidades motoras reclutadas y su frecuencia de descarga (dinámica de estimulación), del tiempo empleado en alcanzar un estado de estimulación máxima muscular o tiempo invertido en el acoplamiento entre estimulación y contracción (dinámica de excitación) y, en parte, de la interacción entre los elementos contráctiles y elásticos (dinámica de la contracción). En tercer lugar, de la eficacia con la que se ejerce el control motor de las órdenes generadas para producir el salto, es decir, la coordinación motora. Hay dos niveles de coordinación motora que son relevantes en el caso de los saltos. Por un lado la coordinación agonista-antagonista tanto intramuscular como intermuscular. Para que los músculos que intervienen en el salto actúen con máxima eficacia es necesario que se produzca un reclutamiento masivo de los músculos agonistas, convenientemente secuenciado en el tiempo. Simultáneamente, la actividad antagonista debe ser reducida al mínimo necesario para garantizar la estabilidad y coaptación articular.

En cuarto lugar, es preciso dirigir adecuadamente el vector de fuerza resultante, de tal manera que se maximice su componente vertical sobre el centro de masas. La dirección de la componente vertical del vector de fuerzas resultante depende

fundamentalmente de la actuación de los músculos biarticulares (Van Ingen Schenau y col 1987, 1992) (Jacobs y Van Ingen Schenau 1992).

A pesar de numerosos esfuerzos desconocemos el valor predictivo que tienen las variables de las que dependen los factores mencionados en el párrafo anterior. Especialmente, no poseemos aún un modelo capaz de establecer la influencia relativa que tienen el salto vertical las variables antropométricas, dinamométricas y electromiográficas (Bobbert y Van Ingen Schenau, 1988; Dowling y Vamos, 1993; Fukashiro y Komi, 1987; Hudson 1986).

Por todo ello el objetivo de este estudio ha sido elaborar un modelo que nos permita integrar aquellas variables que posean un mayor valor predictivo de la altura de vuelo en el salto vertical. Para poderlas identificar más fácilmente, hemos recogido datos tanto de jugadores de voleibol de elite como de estudiantes de Educación Física, que no entrenan la capacidad de salto de forma regular. Además, se ha intentado establecer la importancia que tiene para el rendimiento en el salto vertical, tanto la fuerza isométrica máxima de extensión como la masa muscular de las extremidades inferiores.

## **2. MATERIAL Y METODOS**

Participaron en el estudio 53 sujetos, 21 hombres jugadores de voleibol de categorías nacionales (División de Honor y Primera División) y 9 mujeres jugadoras de voleibol de División de Honor, así como 23 estudiantes de Educación Física, de los cuales 12 eran hombres y 11 mujeres. Sus características generales se muestran en la tabla 1.

Cada sujeto realizó saltos verticales sobre una plataforma de fuerza Kistler (Instruments AG 9281B, Winterthur, Switzerland). Los saltos se realizaron desde una posición inicial erecta, o bien con las rodillas flexionadas a 90°. Durante los saltos efectuados desde la posición de semisentadilla o “squat” no se permitió realizar contramovimiento alguno. Este salto es conocido como salto sin contramovimiento o “Squat Jump” (SJ). El otro tipo de salto se inició desde la posición erecta, en este caso los sujetos realizaron un contramovimiento previo al salto. Este salto se conoce como salto con contramovimiento o “countermovement jump” (CMJ). En ambas condiciones los sujetos mantuvieron sus manos en las caderas para evitar una posible contribución de los brazos al salto. Se realizaron tres intentos por cada tipo de salto y se les dio tres

minutos de descanso entre salto y salto para evitar posibles interferencias debidas al cansancio.

A partir de los registros de fuerza se calculó, la altura de vuelo, los impulsos mecánicos positivos y negativos, la fuerza máxima desarrollada en los saltos, la velocidad máxima de desarrollo de fuerza (RDFmax) y la velocidad media de desarrollo de fuerza (RDFmedia, entre el 25 y el 75% de los valores de fuerza siendo el mínimo el valor correspondiente al peso corporal y máximo el valor correspondiente a la fuerza máxima en el salto). Para el cálculo de la altura de vuelo (AV) primero se calculó la velocidad de despegue (VD) a partir del impulso mecánico y del tiempo empleado para lograr ese impulso. A continuación se calculó la altura de vuelo (AV) como:

$AV = (VD^2) / (2 \times G)$ , donde G es la aceleración de la gravedad. Para el cálculo de la RDFmedia primero se determinaron los valores correspondientes al 25 % y al 75 % del valor de fuerza máxima con respecto al valor del peso corporal. Entonces, se calculó la RFDmedia por regresión lineal de la curva de fuerza con respecto al tiempo.

Durante los tests de salto se midió la actividad electromiográfica superficial mediante un electromiógrafo (Bioamplifier ML 131 ADI instruments, Castle Hill, Australia). Para realizar las mediciones electromiográficas la piel se afeitó previamente y se limpió frotando enérgicamente con una gasa impregnada con alcohol. A continuación se aplicaron los electrodos de superficie (0506 Unilect -P/E) de AG/AgCl (Medical & Surgical Bio- Adhesives, MSB limited Ransbury, Marborough, England). Los electrodos fueron colocados siguiendo la dirección de las fibras musculares con una separación de dos centímetros, y aproximadamente a media distancia entre el punto motor y el tendón de inserción. Todos los datos fueron adquiridos sincrónicamente mediante un equipo de adquisición de datos (Mac Lab / 8E ADI Instruments, Castle Hill, Australia.)

Las variables se midieron con frecuencias de muestreo de 500 Hz y se promediaron de tres formas diferentes: cada 20 ms, 50 ms y 100 ms, para su ulterior análisis. Asimismo se midió la FIM (fuerza isométrica máxima) de la musculatura extensora de las extremidades inferiores con la plataforma de fuerza empleada para los anteriores análisis. Para ello, los sujetos se colocaron de pie sobre la plataforma de fuerza con una barra de halterofilia de 20 Kg sobre los hombros, con las rodillas flexionadas a 90°, 120° y 140°, ángulos que se midieron con un goniómetro

telemétrico (Gait Análisis System Mie Medical Ma 695110. Leeds. UK). La barra de halterofilia estaba anclada al suelo por dos cadenas, una cada lado de la plataforma de fuerza. De este modo, la fuerza generada al tratar de extender las extremidades inferiores, incluida la fuerza necesaria para soportar la barra de halterofilia, se transmitía íntegramente a la plataforma de fuerzas. Se efectuaron tres mediciones de FIM de 5 segundos cada una con descansos de tres minutos entre ellas. En cada intento los sujetos trataron de desarrollar la máxima tensión el menor tiempo posible. El orden de los ángulos fue decidido al azar en cada sujeto. Se tomó el mejor de los tres intentos como representativo de cada ángulo.

En todos los sujetos, excepto en las jugadoras de voleibol, se tomaron las medidas antropométricas incluidas en el protocolo "O-Scale System", es decir la masa corporal, la talla, los pliegues cutáneos y las circunferencias, o perímetros, relacionados a continuación.

El pliegue tricipital: verticalmente, en la parte posterior del brazo a media distancia entre acromion y el borde superior de la cabeza del radio. El pliegue subescapular: de uno a dos centímetros por debajo del ángulo de la escápula, con una inclinación de 45°. El pliegue bicipital: verticalmente, a la misma altura que el pliegue tricipital pero en la cara anterior del brazo. El pliegue iliocrestal: por encima de la cresta iliaca, en la línea axilar media. Se tomó con una inclinación de 45° de arriba hacia delante y abajo. El pliegue Abdominal: verticalmente, de 3 a 5 cm a la izquierda de la cicatriz umbilical. El pliegue anterior de muslo: verticalmente, en el punto medio de la línea que une el pliegue inguinal y el borde superior de la rótula. Esta medida se tomó con el sujeto en bipedestación, pero apoyando la pierna sobre un taburete de tal forma que la rodilla quedó doblada a 90°. El pliegue medial de la pierna: verticalmente, a la altura de la máxima circunferencia de la pierna en su cara medial. Este pliegue también se midió en bipedestación, con la rodilla flexionada a 90° y el pie apoyado sobre un taburete.

Todos los pliegues cutáneos fueron medidos mediante un plicómetro Holtain, que ejerce una presión constante de 10 g/mm<sup>2</sup> y tiene una precisión de 0.1 mm. Cada pliegue se determinó por triplicado, eligiendo el valor medio de las tres mediciones. Aquellas medidas que se apartaron 2 ó más desviaciones estándar de la media fueron descartadas y nuevamente repetidas. Las lecturas del grosor de los pliegues se efectuaron hacia el 4º segundo de la aplicación del plicómetro, para reducir la variabilidad asociada a diferencias de comprensibilidad cutánea (Becque y col 1989).

Asimismo, se midió el perímetro torácico: a la altura de la cuarta articulación

condrocostal, al final de una espiración normal. El perímetro abdominal o umbilical: a la altura del ombligo, al final de una espiración normal. El perímetro del brazo: a media distancia entre acromion y el borde superior de la cabeza del radio. El perímetro del brazo flexionado: en la misma localización que el anterior, pero con el brazo en flexión a 90° y en contracción isométrica máxima. El perímetro del antebrazo: en la zona de mayor circunferencia del antebrazo. El perímetro de la muñeca: en la zona de menor circunferencia, a la altura de la articulación de la muñeca. El perímetro glúteo: máximo perímetro en la región glútea, con el sujeto en bipedestación. El perímetro superior del muslo: de 1 a 2 cm por debajo del pliegue glúteo. El perímetro medio del muslo: a la misma altura que el pliegue anterior del muslo. El perímetro de la pierna en la zona en que el vientre muscular es más voluminoso, cuando la rodilla está apoyada en un taburete y flexionada a 90°. El perímetro del tobillo: en la zona de menor circunferencia, justo por encima del maleolo interno.

Todos los perímetros fueron medidos tres veces con una cinta métrica metálica inextensible de 1 mm de precisión. Como valor correspondiente a cada perímetro se tomó la media de las tres mediciones efectuadas. Cuando alguna medida se apartó 2 ó más desviaciones estándar de la media, ésta fue descartada y repetida. La talla se midió en bipedestación con los talones, los glúteos, la espalda y la región occipital en contacto con el plano del tallímetro. Estas medidas se efectuaron mediante un tallímetro de 1 mm de precisión (Atlántida, Año Sayol, Barcelona), manteniendo la cabeza en plano de Francfort. La masa corporal se midió mediante una báscula (Atlántida, Año Sayol, Barcelona) de 50 gramos de precisión, calibrada a 50.0, 70.0 o 90.0 Kg, mediante masas patrón de la clase M1.

Seguidamente se determinó el porcentaje de grasa (% GC) mediante absorciometría fotónica dual de rayos x (DEXA) (QDR-1500, Hologic). El equipo de DEXA se calibró según las especificaciones del fabricante, mediante un fantoma de columna lumbar y fue operado en el modo de máxima resolución. Los sujetos fueron escaneados en posición supina, junto con una barra de calibración de diferentes grosores y densidades. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Análisis estadístico. Las relaciones simples entre variables se determinaron mediante análisis de correlación de Pearson. Para determinar cuáles eran las variables con mayor valor predictivo de la altura de vuelo en los SJ y en los CMJ se empleó análisis de regresión múltiple paso a paso. Se consideraron como significativas aquellas relaciones cuya probabilidad de ser debidas al azar fue igual o inferior al 5 % ( $p \leq 0.05$ ).

### 3. RESULTADOS

#### *Salto con contramovimiento (CMJ).*

Se puede predecir la altura de vuelo en los CMJs, usando los datos recogidos en la totalidad de los sujetos estudiados (n=53) a partir del impulso positivo, la masa muscular de las extremidades inferiores y la contribución relativa de la masa muscular de las extremidades inferiores a la masa corporal total mediante la siguiente ecuación:

$$AVi=(0.0315 \times \text{Imp}+) - (0.02808 \times \text{MmPns}) + (0.019 \times \% \text{MmPns}) \quad (R=0.99, P<0.001).$$

Donde: AVi es la altura de vuelo determinada por integración; Imp+ es el impulso mecánico durante la fase positiva del salto; MmPns es la masa muscular de las extremidades inferiores y %MmPns el porcentaje de masa corporal representado por la masa muscular de las extremidades inferiores.

Sin embargo, no contribuyeron a explicar la altura de vuelo integrada: la actividad electromiográfica (Fig 1d), el impulso mecánico negativo (generado para frenar el movimiento del centro de masas hacia abajo durante la fase de contramovimiento) (Fig 1e), la pendiente de generación de fuerza en la fase excéntrica del movimiento ni la fuerza máxima ejercida en el salto (Fig 1f y 1g).

De todas estas variables, el impulso mecánico positivo permitió explicar un 77% de la variabilidad en altura de vuelo (Fig 1a). La siguiente variable en importancia relativa fue el porcentaje de masa corporal representado por la masa muscular de las extremidades inferiores (Fig 1c), de tal manera, que cuanto más masa muscular en las extremidades inferiores y menos peso corporal tiene un sujeto mayor altura de vuelo consigue. Al añadir esta última variable a la ecuación, mejoró el valor predictivo del modelo de regresión múltiple, siendo entonces la ecuación capaz de explicar un 82 % de la variabilidad en la altura de vuelo. Es decir, la inclusión del porcentaje de masa corporal

representado por la masa muscular de las extremidades inferiores aumentó el valor predictivo de la ecuación de regresión múltiple en un 5 %. Finalmente, al introducir la masa muscular de las extremidades inferiores en la ecuación (Fig 1b), el valor predictivo del modelo alcanzó un 98 %, mejorando, por tanto, en un 16 %.

Aunque la fuerza isométrica de la musculatura extensora de las extremidades inferiores correlacionó con la altura de vuelo, ésta correlación fue más intensa para el

ángulo articular de la rodilla de  $140^\circ$  ( $r = 0.60$ ,  $p < 0.001$ ). No obstante, la FIM quedó excluida de la ecuación por el algoritmo de regresión múltiple. Por otro lado, si excluimos del modelo todas aquellas variables de fuerza obtenidas mediante la plataforma de fuerzas, la masa muscular de las extremidades inferiores se convierte en la principal variable predictora de la altura de vuelo en los CMJs.

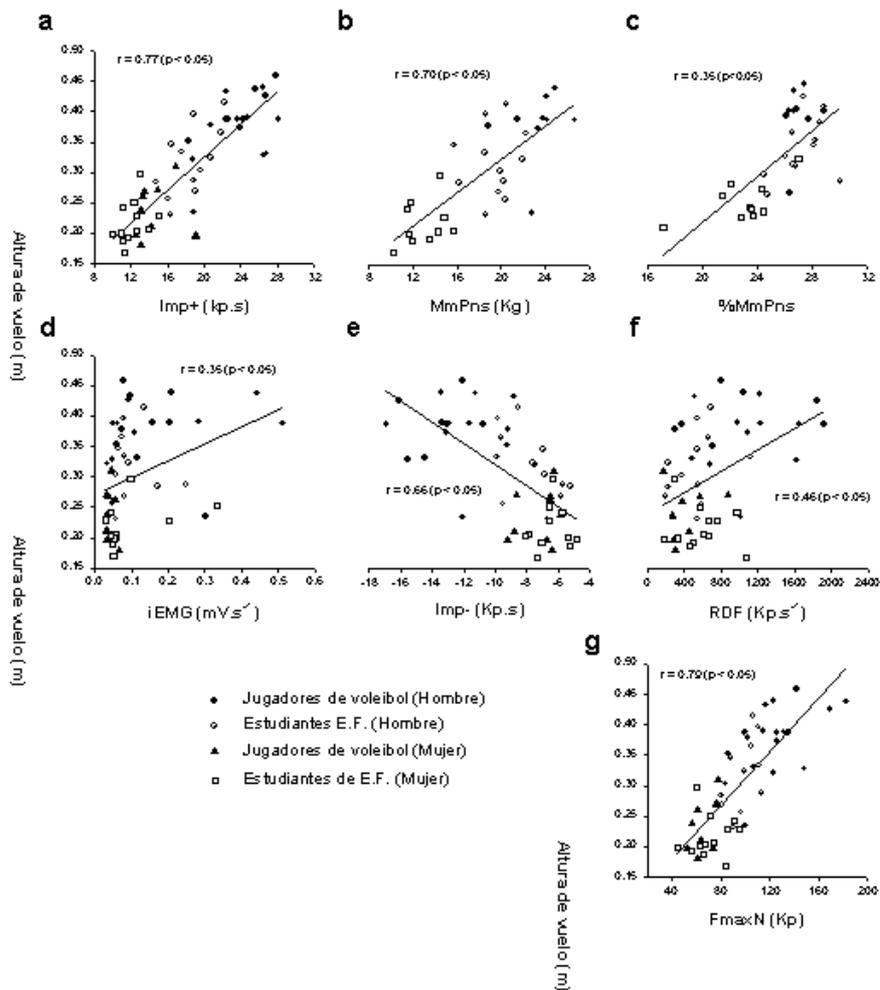


Figura 1. CMJ

*Salto sin contramovimiento (SJ).*

Mediante análisis de regresión múltiple paso a paso obtuvimos la siguiente ecuación para la predicción de la altura de vuelo en los SJs:

$$\text{Avi} = (0.0327 \times \text{Imp}+) - (0.03082 \times \text{MmPns}) + (0.0214 \times \% \text{MmPns}) \quad (R=0.98, P<0.001).$$

Quedaron excluidas de la ecuación: la pendiente media de generación de fuerza durante la fase inicial del salto (Fig 2a), la fuerza máxima neta (Fig 2b), la actividad electromiográfica (Fig 2c) y la fuerza isométrica máxima (Fig 2d), ya que no contribuyeron de forma significativa a la predicción de la altura de vuelo.

El impulso positivo permitió explicar el 77% de la variabilidad de la altura de vuelo siendo la variable más importante (Fig 2e). Al incluir la masa muscular de las extremidades inferiores (Fig 2f) la capacidad predictiva de la ecuación mejoró un 5 % adicional, alcanzando un 82 %. Finalmente, la inclusión en el modelo del porcentaje de masa muscular representado por las extremidades inferiores elevó la capacidad predictiva de la ecuación hasta el 96 % (Fig 2g).

Aunque la FIM medida a 140° correlacionó con la altura de vuelo en los SJs ( $r=0.70$ ,  $P<0.001$ ), sólo permitió mejorar marginalmente la capacidad predictiva de nuestro modelo en menos de un 0.5 % por lo que esta variable no fue incluida en la ecuación final.

Al excluir del modelo todas las variables proporcionadas por la plataforma de fuerza se puede observar que la masa muscular de las extremidades inferiores es la variable con mayor capacidad predictiva de la altura de vuelo ( $R=0.73$ ,  $P<0.001$ ).

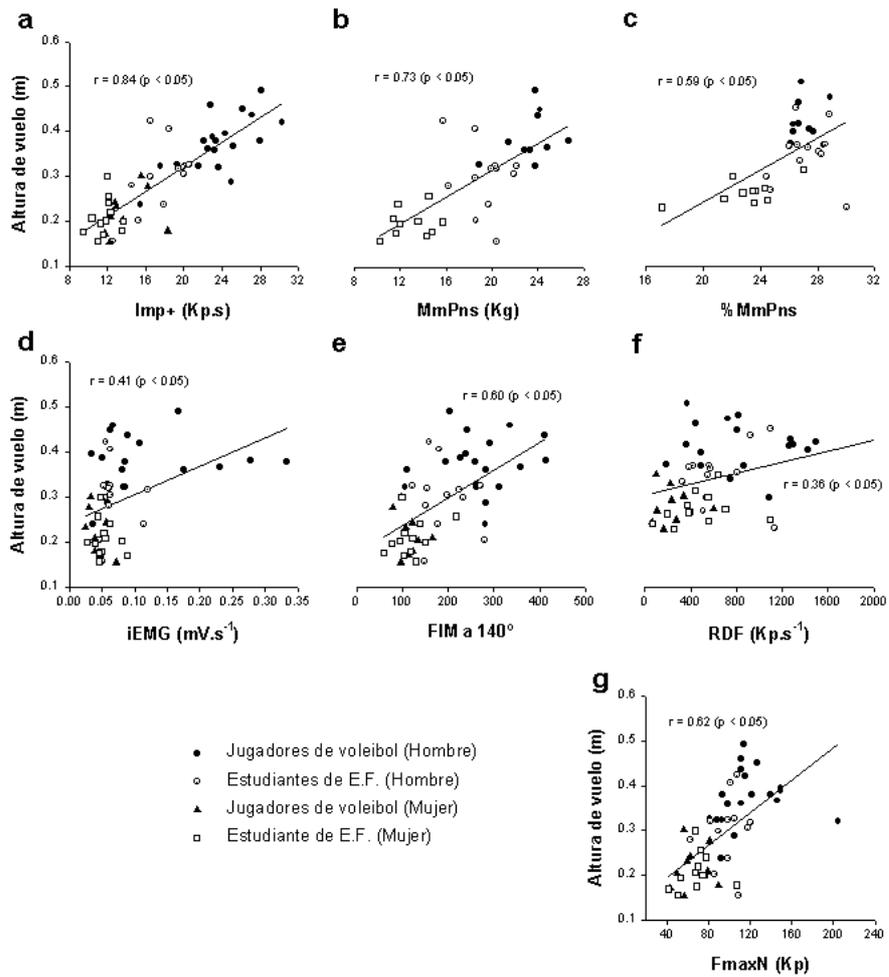


Figura 2. (SJ)

#### 4. DISCUSIÓN

En este estudio demuestra la gran importancia que tiene para el salto vertical el impulso positivo generado durante la fase de impulsión hacia arriba. Pero además, nuestro estudio también demuestra la importancia que tienen variables de carácter antropométrico como la masa muscular de las extremidades inferiores y el porcentaje que representa la masa muscular de las extremidades inferiores sobre la masa corporal total. Otro aspecto destacable es que no se han observado diferencias entre las variables que mejor predicen el rendimiento en los saltos realizados con y sin contramovimiento, respectivamente. Aunque algunos autores han desarrollado ecuaciones para predecir la potencia máxima alcanzada en un salto vertical (Lewis y col (1974, Harman y col (1991) y Sayers y col (1999)), no se ha publicado hasta la fecha ningún estudio en el que se haya tratado de predecir la altura de vuelo mediante la combinación de variables antropométricas y de fuerza.

Para predecir la altura de vuelo en los CMJs se barajaron las siguientes variables: el impulso positivo generado durante el salto, actividad electromiográfica, impulso negativo, pendiente de generación de fuerza en la fase excéntrica, fuerza máxima ejercida durante el salto, masa muscular de las extremidades inferiores y la contribución de la masa muscular de las extremidades inferiores a la masa corporal total. De todas estas variables sólo contribuyeron a explicar la altura de vuelo el impulso positivo, la masa muscular de las extremidades inferiores y la contribución de la masa muscular a la masa corporal total.

El impulso negativo no contribuyó a explicar la altura de vuelo en el salto con contramovimiento y ello a pesar de que el impulso negativo ha sido propuesto como una de las variables que determinan el rendimiento en el salto con contramovimiento (Cavagna 1977, Komi y Bosco 1978). Nuestros resultados, no obstante, concuerdan con los obtenidos por Aragón-Vargas y Gross (1997) y por Voight y col (1995). Estos investigadores sugieren que quizá se obtendrían mejores correlaciones entre la fase excéntrica del movimiento y la altura de vuelo utilizando como variable dependiente la velocidad a la cual se logra el menor valor del impulso negativo, ya que los factores de tiempo son importantes para el ciclo estiramiento-acortamiento (Cavagna 1977). Sin embargo, en el presente estudio no hemos observado que exista una relación entre la altura de vuelo y la pendiente de generación de fuerzas durante el desarrollo de la fase excéntrica del salto.

Aunque la altura alcanzada en los saltos verticales depende de la fuerza con la que el músculo se contrae Ashley y Weiss (1994), ni la fuerza isométrica máxima

ni la fuerza máxima desarrollada durante el salto permiten aumentar la capacidad predictiva de la ecuación desarrollada en este estudio. Estos resultados coinciden con los publicados por Young y col (1999) quienes no encuentran relación entre el rendimiento en el salto vertical y la fuerza. En cambio, nuestros resultados contrastan con los de Kollias y col (2001), quienes encuentran dos tipos de variables predictoras de la altura de vuelo: aquellas relacionadas con los aspectos temporales del salto y la fuerza máxima desarrollada durante el mismo.

Tampoco podemos considerar la actividad electromiográfica integrada como variable predictora de la altura de vuelo. Hay que tener en cuenta que la electromiografía de superficie posee gran variabilidad la cual se ve acentuada con los ejercicios de tipo dinámico (De Luca 1995), además al estar la actividad electromiográfica integrada relacionada con el desarrollo de fuerza era previsible pensar que tampoco la electromiografía pudiera contribuir significativamente a predecir la altura de vuelo.

El impulso positivo nos permitió explicar un 77% de la variabilidad en la altura de vuelo en ambos tipos de salto, esto nos vendría a indicar que la fuerza generada durante el salto por sí misma no es determinante de la altura del mismo sino la relación entre la fuerza generada en la fase positiva y el tiempo que dura esta fase. Al respecto es importante señalar que mientras la fuerza desarrollada durante los saltos puede ser muy diferente entre unos sujetos y otros, el tiempo de aplicación de fuerza durante la fase de impulsión es menos variable (Ferragut y col. 2002).

Uno de los principales hallazgos de este estudio es la demostración de la importancia que tiene la masa muscular de las extremidades inferiores en la capacidad de salto vertical. Pero además, no sólo es importante que los deportistas tengan una masa muscular en las extremidades elevada, sino que ésta debe representar el mayor porcentaje posible con respecto a la masa corporal. Es decir, nuestro modelo indica que cuanto mayor sea la proporción de masa muscular concentrada en las extremidades inferiores con respecto al resto de la masa corporal, mayor es la capacidad de salto. Esta observación coincide en cierta medida con la realidad, los grandes saltadores presentan delgadez en el tronco y extremidades superiores, mientras que muestran hipertrofia muscular marcada en las extremidades inferiores (Gualdi-Russo 2001). Estos resultados concuerdan, en parte, con los obtenidos por Sayers y col (1999) quienes al desarrollar una ecuación que predijera la potencia pico

alcanzada en el salto vertical observaron que la masa corporal total es una variable a considerar en la ecuación.

La importancia de la masa muscular de las extremidades queda aún más patente al efectuar el análisis de regresión múltiple excluyendo el resto de variables proporcionadas por la plataforma de fuerza. Nuestros resultados indican, por tanto, que cuanto mayor es la masa muscular de las extremidades inferiores de un sujeto y menor es su masa corporal total mayores alturas de vuelo obtiene en los saltos verticales. Esto ha sido corroborado experimentalmente, en estudios anteriores (Viitasalo y col (1987). Viitasalo y col (1987) observaron que la reducción de masa corporal causada por deshidratación se asocia a un incremento de la altura de vuelo en el salto vertical, al menos, en aquellos sujetos que no experimentaron un deterioro de sus cualidades neuromusculares con la deshidratación.

En resumen, independientemente de la realización o no de un contramovimiento previo al salto, la altura de vuelo alcanzada en un salto vertical se puede predecir con gran exactitud a partir del impulso mecánico positivo generado durante la fase de impulsión vertical hacia arriba, la masa muscular de las extremidades inferiores y el porcentaje de la masa corporal representado por la masa muscular de las extremidades inferiores. Si prescindimos de las variables dinamométricas, entonces la masa muscular de las extremidades inferiores, así como el porcentaje que ésta representa con respecto a la masa corporal total son las principales variables predictivas de la altura de vuelo.

## 5. REFERENCIAS

- ARAGÓN-VARGAS, L.T. & GROSS, M.M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences within individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 45-65.
- ARAGÓN-VARGAS, L.T. & GROSS, M.M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 45-65.
- ASHLEY, C.D. & WEISS, L.W. (1994). Vertical jump performance and selected physiological characteristics of women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8, 5-11.

- BOBBERT, M.F.; GERRITSEN, K.G.M.; LITJENS, C.A. & VAN SOEST, A.J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1402-1412.
- BOBBERT, M.F. & VAN INGEN SCHENEAU, G.J. (1988). Coordination on vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21, 249-262.
- BOBBERT, M.F. & VAN SOEST, A.J. (1994). Effects on muscle strengthening on vertical jump height: a simulation study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1012-1020.
- BROWN, M.E.; MAYHEW, J.L. & BOLEACH, L.W. (1986). Effect of plyometric training on vertical jump performance in high school basketball players. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 26, 1-4.
- CAVAGNA, G.A. (1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 5, 89-129.
- DE LUCA, C.J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 135-163.
- DOWLING, J.J. & VAMOS, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 95-100.
- ENOKA, R.M. (1988). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- FERRAGUT FIOL, C. & LÓPEZ CALBET, J.A. (1998). Mecanismos responsables de la potenciación de la contracción muscular concéntrica en el curso del ciclo estiramiento-acortamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 12, 5-10.
- FERRAGUT FIOL, C.; CORTADELLAS IZQUIERDO, J.; NAVARRO DE TUERO, J.; ARTEAGA ORTIZ, R. & LÓPEZ CALBET, J.A. (2002). ¿Por qué saltan más los jugadores de voleibol?. *Archivos de Medicina del Deporte*. (En prensa)
- FUKASHIRO, S. & KOMI, P.V. (1987). Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *International Journal Sports Medicine*, 8, 15-21.

- GENUARIO, S.E. & DOLGENER, F.A. (1980). The relationship of isokinetic torque at two speeds to the SJ. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 5, 593-598.
- GUALDI-RUSSO, E. & ZACCAGNI, L. (2001). Somatotype, role and performance in elite volleyball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41, 256-262.
- HARMAN, E.A.; ROSENSTEIN, M.T.; FRYKMAN, P.N. & ROSENSTEIN, R.M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 825-833.
- HUDSON, J.L. (1986). Coordination of segments on the vertical jump. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 242-251.
- JACOBS, R. & VAN INGEN SCHENAU, G.J. (1992). Control of external force in leg extensions in humans. *Journal of Physiology*, 457, 611-626.
- KHALID, W.; AMIN, H. & BOBER, T. (1989). *The influence of upper extremities movement of take off in vertical jump*. Athens: Hellenics Sports Research Institute.
- KIBELE, A. (1998). Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a metodological study. *Journal of Applied Biomechanics*, 14, 105-117.
- KOMI, P.V. & BOSCO, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensors muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*, 10, 261-265.
- SAYERS, S.P.; HARACKIEWICZ, D.V.; HARMAN, E.A.; FRYKMAN, P.N. & ROSENSTEIN, M.T. (1999). Cross validation of three jump power equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 572-577.
- VAN INGEN SCHENAU, G.J.; BOBBERT, M.F. & ROZENDAL, R.H. (1987). The unique action of biarticular muscles. *Journal of Anatomy*, 155, 1-15.
- VAN INGEN SCHENAU, G.J.; BOOTS, P.J.M.; DE GROOT, G.; SNACKERS, R.J. & VAN WOENSEL, W.W.L.M. (1992). The constrained control of force and position in multijoint movements. *Neuroscience*, 46, 197-207.

- VIITASALO, J.T.; KYROLAINEN, H.; BOSCO, C. & ALEN, M. (1989). Effects of rapid weight reduction on force production in vertical jumping height. *International Journal of Sports Medicine*, 8, 281-285.
- VOIGHT, M.; SIMONSEN, E.B.; DYHRE-POULSENT, P. & KLAUSEN, K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jump height after different prestrech loads. *Journal of Biomechanics*, 28, 293-306.
- YOUNG, W.; WILSON, G. & BYRME, C. (1999). Relationship between strenght qualities and performance in standing and run up vertical jump. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39, 285-293.