

INSTITUTO UNIVERSITARIO ASOCIACIÓN CRISTIANA DE JÓVENES

LICENCIATURA EN EDUCACIÓN FÍSICA, RECREACIÓN Y DEPORTE

**ESTUDIO DE LA COORDINACIÓN DE CADERA, RODILLA Y
TOBILLO Y LA MECÁNICA DEL CENTRO DE MASA DEL
CUERPO DURANTE LA EJECUCIÓN DE CMJs MÁXIMOS Y
SUBMÁXIMOS**

Trabajo Final de grado presentado al Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes Como parte de los requisitos para la obtención del Diploma de Graduación en la Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deporte

Tutor: Gabriel Fábrega

MATIAS RODRIGUEZ

JOAQUÍN SEVES

**MONTEVIDEO
2015**

ESTUDIO DE LA COORDINACIÓN DE CADERA, RODILLA Y TOBILLO Y LA MECÁNICA DEL CENTRO DE MASA DEL CUERPO DURANTE LA EJECUCIÓN DE CMJs MÁXIMOS Y SUBMAXIMOS

Matías Rodríguez Gonsalves (estudiante de Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deporte. Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes) Contacto: matorodríguez@gmail.com

Joaquín Ezequiel Seves Rodríguez (estudiante de Licenciatura en Educación Física, Recreación y Deporte. Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes) Contacto: joaquinseves@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue realizar un análisis cinemático durante el tiempo de impulso en *Countermovement Jumps* máximos y submáximos a los efectos de evaluar la influencia de la coordinación de los segmentos en miembros inferiores sobre la performance en ambas condiciones. Diez deportistas realizaron cinco saltos máximos y cinco submáximos. Se realizó una reconstrucción 3D de los movimientos. Se analizó el desplazamiento vertical de centro de masa, los tiempos de contacto, momentos de inicios de movimiento articulares de cadera, rodilla y tobillo, picos de velocidades articulares y la energía cinética en el instante del despegue. Se evidenció un aumento en la duración de los tiempos de contacto, siendo más extensos en los saltos submáximos. Con respecto a los picos de velocidad, se observaron variaciones significativas entre un tipo de salto y otro, siendo la rodilla la articulación que parece tener un rol protagónico. El conjunto de los resultados obtenidos en este estudio conducen a concluir que la secuencia de acción articular no cambia en un salto submáximo y sugieren que el nivel de potencia articular generado principalmente a nivel de la rodilla podría variar. Todos estos factores se traducen en cambios en la energía mecánica al final del impulso, principalmente por variar la energía cinética variando la altura máxima alcanzada por el centro de masa.

Palabras claves: Saltos contramovimientos. Coordinación segmentaria. Velocidades articulares.

1. INTRODUCCIÓN

Varios trabajos han destacado la importancia que tiene para los deportistas la capacidad para propulsar el centro de masa (CM) lo más alto posible (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; FABRICA *et al.*, 2008). Por esta razón, realizar estudios que contribuyan a la comprensión de los aspectos que determinan el rendimiento en los saltos verticales resulta de interés en el contexto del deporte. Entre los saltos más estudiados tanto en el área deportiva como básica, se encuentra el *Countermovement Jump* (CMJ) cuyo periodo de apoyo está caracterizado por contar con dos fases claramente identificables una de trabajo mecánico negativo (cuando el centro de masa desciende) y una de trabajo mecánico positivo (cuando el centro de masa sube) separadas por una corta fase de transición (BOSCO, 2000).

Bosco (2000), establece que durante un salto vertical como el CMJ la mejora del rendimiento, es decir el aumento de la altura alcanzada, está directamente relacionada con la mejora de la potencia muscular desarrollada en la fase de trabajo mecánico positivo. Además Bosco (1994 y 2000) en sus publicaciones plantea que esa potencia muscular depende de dos componentes fundamentales que están interrelacionados, uno de carácter energético y otro neuromuscular y nombra algunos factores como determinantes del componente neuromuscular que influye en la potencia desarrollada. Estos factores son: la frecuencia de los impulsos nerviosos, el número y tipo de fibras que son activadas y las condiciones fisiológicas en las que se encuentran las fibras musculares al momento de desarrollar la fuerza. En su conjunto estos factores van a determinar la secuencia de movimiento de los segmentos corporales durante un salto, que a su vez, van a afectar el grado de energía mecánica a nivel del CM del cuerpo en momento de despegue del piso (FERRARO; FÁBRICA, 2012).

Maximizar el nivel de energía en el instante final del tiempo de impulso contra el piso conduce a que el CM llegue lo más alto posible durante el vuelo y esto se logra maximizando la suma de dos componentes, la energía potencial gravitatoria y energía cinética. De estos dos componentes de energía mecánica, se destaca por tener un mayor rango de variabilidad y por lo tanto más posibilidades de hacer variar el rendimiento del salto (FERRARO; FÁBRICA, 2012).

Por otra parte trabajos como el Bobbert y Cassius (2011), sugieren que la coordinación intermuscular es el factor determinante de las alturas alcanzadas en CMJ máximos (cuando el individuo busca lograr una máxima performance) y también en submáximos (cuando por algún factor controlable o no el individuo alcanza una altura menor al 70% de su mejor

desempeño). En ese trabajo, mediante el empleo de un modelo físico-matemático en el que se utilizan funciones de optimización, Bobbert y Cassius (2011) arriban a la conclusión de que para saltar alto la secuencia de movimientos articulares durante el impulso debe ser lo más continua posible. Más específicamente, ellos establecen que no debería de haber cambios bruscos en el movimiento de cadera, rodilla y tobillo durante el tiempo de impulso. No obstante, hasta el momento este tipo de análisis no ha sido confirmado experimentalmente.

Un estudio experimental que busque analizar si en realidad existe una secuencia de movimiento óptima que explica la ejecución de un CMJ máximo en comparación con uno sub máximo debería contemplar variables espacio-temporales cuya relación refleje la secuencia de movimiento de los segmentos de ambos miembros inferiores. Según los antecedentes esta secuencia debería ser proximal-distal de forma de transferir la potencia desde la articulación de la cadera a la rodilla y luego al tobillo (RODAKI; FOWLER; BENNETT, 2001; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002; BOBBERT; CASSIUS, 2011).

El análisis de la coordinación se realiza habitualmente considerando los valores angulares de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo en el plano sagital. Rodacki, Fowler y Bennett (2001), analizaron el CMJ con fatiga y sin fatiga muscular, considerando como parámetros cinemáticos el tiempo en que comienza el movimiento de las articulaciones de cadera rodilla y tobillo y los picos de velocidad angular de estas tres articulaciones. Además de ello, los autores cuantifican los tiempos relativos de las fases y en que ocurren los picos de velocidad angular articular. El trabajo de Rodacki, Fowler y Bennett (2001) mostró que durante los CMJ realizados con fatiga que podrían considerarse como submáximos porque la altura alcanzada correspondió al 70% de la altura alcanzada sin fatiga, los individuos aumentaron el tiempo de contacto total. Además sugirieron el pico de velocidad angular de rodilla como el parámetro más importante para la altura de un salto CMJ.

En la literatura no se presentan análisis donde se comparen los movimientos de las articulaciones de miembros inferiores y la mecánica general de los CMJ máximos con submaximos, estos últimos se realizan buscando lograr una altura menor y no por la presencia de un factor que el sujeto no pueda controlar. El interés de enfoque se da en muchas situaciones deportivas, los individuos no buscan alcanzar la máxima altura posible en todas las situaciones. Además un estudio de este tipo podría aportar nuevos elementos a los efectos de establecer qué capacidades o factores se están realmente evaluando a través de la altura alcanzada durante un CMJ así como contribuir a entender más sobre la coordinación en este tipo de saltos.

En este trabajo se cuantifican las alturas alcanzadas por el CM, los tiempos de duración de las fases de trabajo positivo y negativo, variables asociadas con la secuencia de movimiento articular de cadera, rodilla y tobillo y se evalúan relaciones de estas con la altura y energía cinética en el momento del despegue en saltos CMJ máximos (CMJm) y submáximos (CMJs). Para ello se realizó un análisis cinemático a través de cinemetría (reconstrucción tridimensional del movimiento a partir de imágenes) en 10 deportistas. Se observaron diferencias en la técnica de los CMJm y CMJs que se reflejan en cambios en las variables espacio-temporales en la secuencia proximal-distal de las articulaciones de miembros inferiores, en los picos de velocidad angular y el valor de energía cinética al momento del despegue.

2. METODOLOGÍA

2.1 Sujetos

Una muestra de 10 individuos, 8 hombres y 2 mujeres (edad $24,2 \pm 2,5$ años, altura $1,85 \pm 0,02$ m, masa corporal $77,9 \pm 2,81$ kg), todos jugadores de voleibol con experiencia previa en test de saltos verticales y sin antecedentes de lesiones en los últimos seis meses participaron de este estudio. Todos ellos fueron previamente informados sobre los objetivos del mismo y posteriormente firmaron un consentimiento informado, aprobado por el Comité de Ética del Hospital de Clínicas.

2.2 Protocolo experimental

El registro de datos fue realizado en la Unidad de Investigación en Biomecánica de la Locomoción Humana, Departamento de Biofísica, Hospital de Clínicas, Facultad de Medicina. Los individuos fueron equipados con ropa negra ajustada y utilizaron calzado deportivo de su propiedad. Una vez preparados, se les explicó la tarea a realizar, le fueron colocados a cada individuo 40 marcadores reflectivos sobre referencias anatómicas externas preestablecidas y se les tomaron una serie de medidas antropométricas a los efectos de utilizar un modelo de cuerpo completo para analizar el movimiento mediante un sistema de reconstrucción 3D.

Previo a la ejecución de los saltos los deportistas realizaron una entrada en calor con una duración de diez minutos que consistió en movilidad articular general, seguida por estiramientos estáticos de los principales grupos musculares intervinientes en los saltos, cinco minutos de trote continuo a una velocidad de 8 km/h, finalizando la misma con estiramientos

dinámicos de los mismos grupos musculares y ejecutando 5 CMJ máximos con pausa completa entre cada uno de ellos. Una vez realizada la entrada en calor cada sujeto realizó 5 CMJm y 5 CMJs en forma alternada. Durante los CMJm al deportista se le solicitó saltar tan alto como le sea posible, sin ayuda de los brazos y con las manos en la cintura durante toda la ejecución realizando un contramovimiento hasta alcanzar una flexión máxima de rodilla en el plano sagital de 90°. Con respecto a los CMJs, la instrucción fue mantener la misma técnica empleada en el máximo, pero disminuyendo la altura buscada. Se consideró un CMJs a todo aquel salto que estuvo por debajo del 70% del máximo alcanzado para cada individuo.

La captura de imágenes para el estudio se realizó a una frecuencia de 200 cuadros por segundo utilizando 8 cámaras sincronizadas. Los datos fueron colectados con el sistema VICON MOTION SYSTEMS (Oxford Metrics Ltd.).

2.3 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa Nexus 1.8.5.61009h (ViconMotionSystems) y utilizando rutinas de cálculo implementadas Matlab R2007b[®] (Mathworks, Inc.).

Se identificaron los instantes de tiempo en que se produjo el inicio del movimiento del CM en la dirección vertical, el momento en el que se produce la mayor flexión de la rodilla, y el momento de despegue.

Con estos tres valores se determinaron la duración total del contacto y las fases de trabajo mecánico positivo y negativo según el criterio establecido por Rodacki, Fowler y Bennett (2001). El inicio del movimiento fue considerado como el instante en el que la coordenada vertical del centro de masa corporal disminuyó más de 5,0% a partir de la posición asumida antes de iniciar el movimiento considerado como el 100% el punto más bajo del CM. La diferencia entre este instante y el momento en que ocurre la máxima flexión de rodilla se consideró como tiempo de fase de trabajo negativo (TWN). El tiempo de fase de trabajo positivo (TWP) quedó definida como la diferencia de tiempo entre el cuadro siguiente a la máxima flexión de rodilla y el instante de despegue que se determinó a partir de la curva de aceleración del CM (cuando su valor es el de $g=9,81\text{m/s}^2$).

El tiempo de contacto total (TCT) correspondió a la diferencia entre inicio de movimiento y despegue

La altura máxima alcanzada en salto (H) fue determinada de la diferencia entre el valor máximo de la componente vertical de posición del CM y el valor en el instante del despegue (cuando la aceleración vertical vale $9,8\text{m/s}^2$).

De las curvas de ángulos en el plano sagital se determinaron los momentos de inicio de movimientos articulares relativos al momento de despegue para poder evaluar las diferencias entre inicios de movimientos de cadera y rodilla (DCR) entre rodilla y tobillo (DRT) y entre cadera y tobillo (DCT):

De las curvas de velocidad angular se determinaron las siguientes variables:

PVC: Máximo valor de velocidad angular de cadera en el plano sagital durante la fase de trabajo positivo.

PVR: Máximo valor de velocidad angular de rodilla en el plano sagital durante la fase de trabajo positivo.

PVT: Máximo valor de velocidad angular de tobillo en el plano sagital durante la fase de trabajo positivo.

Finalmente se calculó una de las componentes de energía mecánica en el instante de despegue:

MECV: valor máximo de energía cinética del centro de masa calculado con la componente vertical de velocidad según la relación $1/2mV^2$.

2.4 Análisis de datos

Los datos fueron comparados utilizando el programa SPSS Statistics 17.0. En primera instancia se contrastó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk. Se seleccionó este test por ser uno de los más potentes para muestras pequeñas (SHAPIRO; WILK, 1995)

Los valores medios de las variables para cada individuo fueron comparados entre condiciones (CMJm, CMJs). Para ello se utilizó en cada caso un test de t dependiente para muestras apareadas. Se rechazó la hipótesis nula de que las medias de valores obtenidos son iguales en ambos saltos cuando $p \leq 0,05$.

3. RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores de altura alcanzada en los saltos analizados y la duración de las diferentes fases del apoyo consideradas en este análisis. Todos los valores resultaron significativamente diferentes al comparar los resultados obtenidos en ambos saltos.

Tabla 1: Valores generales de alturas alcanzadas en ambas situaciones estudiadas y fases de tiempos de contacto. En cada caso se indica la media y SD. La tercera columna indica el p resultante del análisis del test t de medidas apareadas.

Fuente: Elaboración propia (2015)

	CMJm	CMJs	P
H (cm)	48,29±10,9	26,9±1,95	0,00
TCT (s)	0,62±0,07	0,82±0,12	0,005
TWP(s)	0,19±0,02	0,23±0,04	0,001
TWN (s)	0,44±0,09	0,59±0,08	0,024

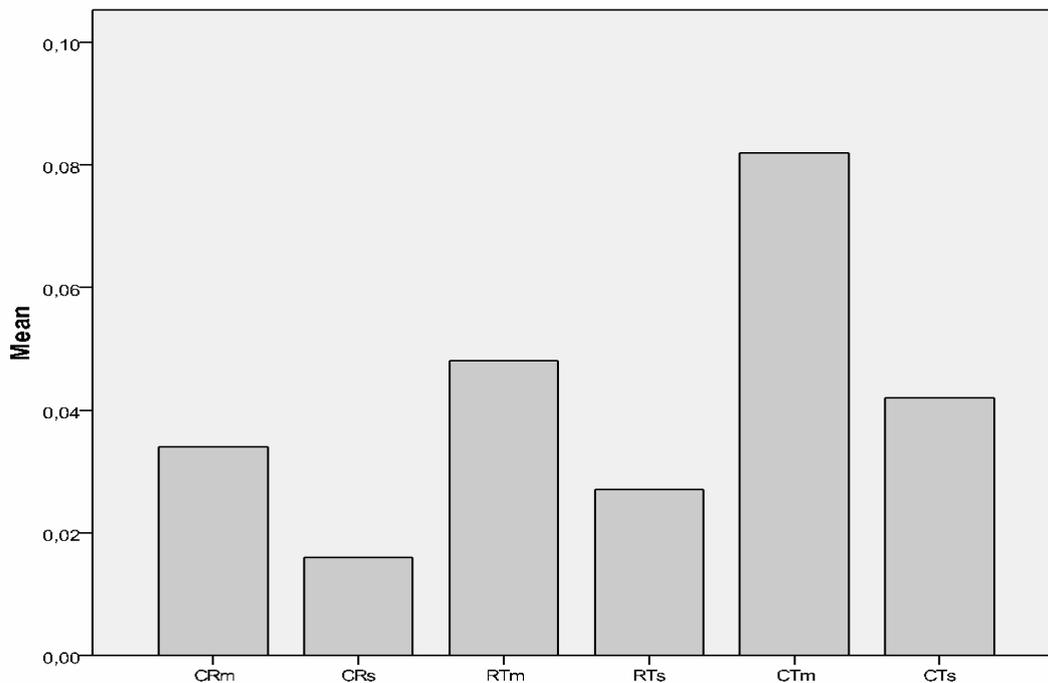


Figura 1: Representación de los valores medios para las diferencias de inicios de movimiento en s. Los subíndices m y s indican la condición de máximo y submáximo respectivamente para cada par de articulaciones. Todos los inicios de movimiento presentaron diferencias significativas (ver texto).

Fuente: Elaboración propia (2015)

La figura 1 resume los valores obtenidos para la secuencia de inicios de movimiento articular. Los valores de p que resultaron de las comparaciones de los inicios de movimientos fueron para CR ($p=0,000$), para RT ($p=0,045$), para CT ($p=0,002$).

La figura 2 resume los valores obtenidos para los valores máximos de velocidades angulares durante el tiempo de impulso. Los valores de p que resultaron de las comparaciones de velocidades máximas fueron para PVC ($p=0,000$), para PVR ($p=0,000$), y para PVT ($p=0,002$). En esa figura se puede apreciar que en términos relativos durante los CMJ máximos la mayor velocidad angular correspondió a la rodilla seguida de tobillo y cadera, mientras que en los CMJ submáximos la secuencia de valores de velocidades fue tobillo rodilla y cadera.

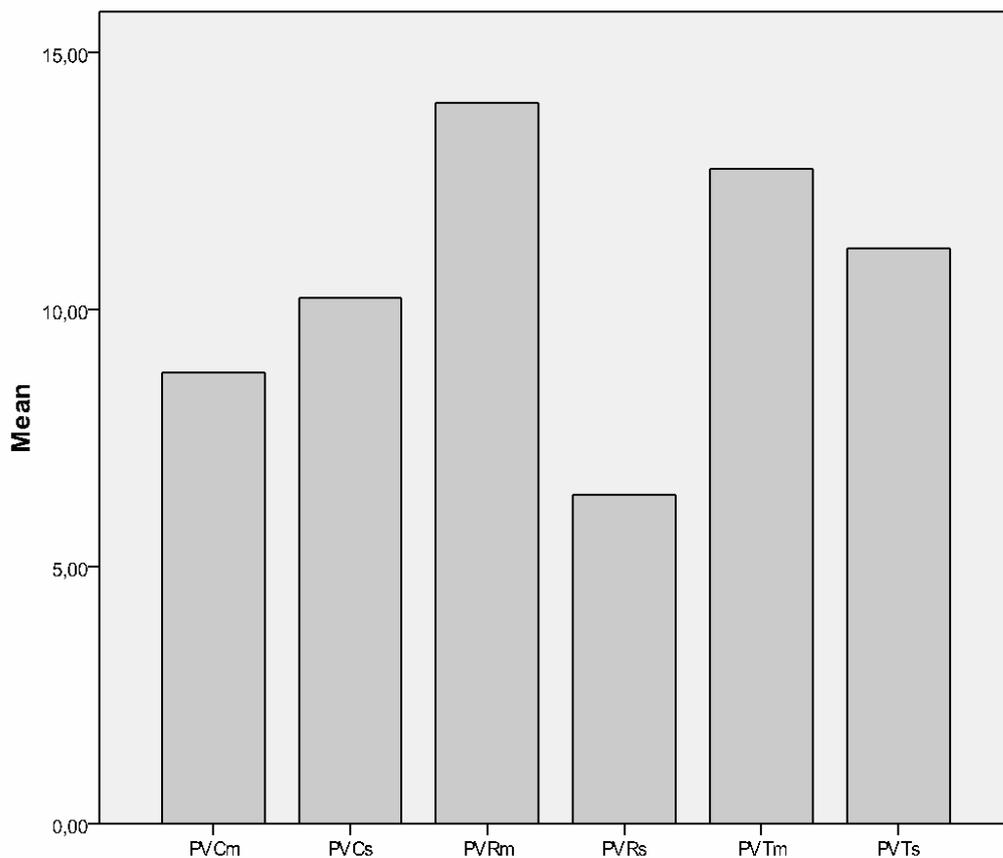


Figura 2: Representación de los valores medios obtenidos para los máximos de velocidades angulares en cada salto. Los subíndices m y s indican la condición de máximo y submáximo respectivamente para cada par de articulaciones. Todas las articulaciones presentaron velocidades significativamente diferentes al comparar los valores obtenidos en saltos máximos y submáximos (ver texto).

Fuente: Elaboración propia (2015)

La figura 3 muestra los resultados obtenidos para los valores de energía cinética máxima alcanzada en cada tipo de salto, valor que corresponde al instante de despegue. La energía cinética a nivel del centro de masa resultó significativamente mayor ($p=0,000$) para los CMJm.

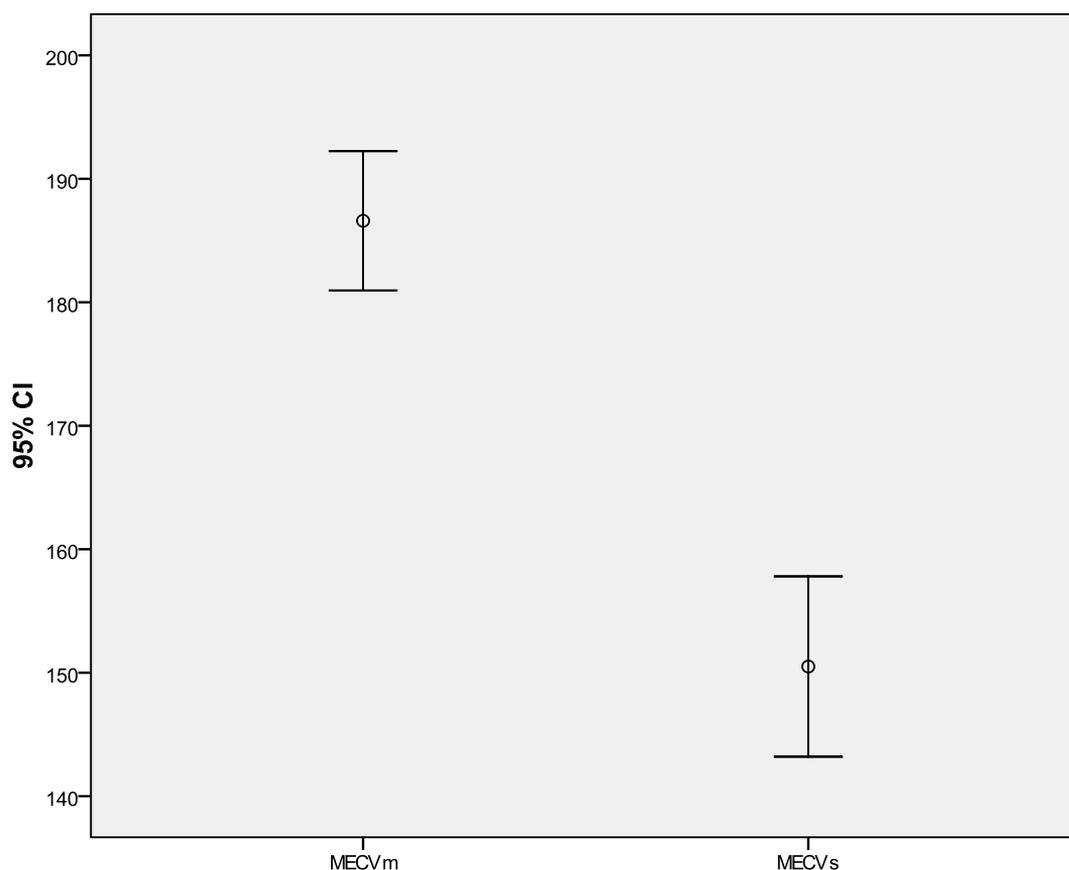


Figura 3: valores medios con sus correspondientes desvíos obtenidos para la energía cinética del CM en el instante del despegue. Los subíndices m y s indican la condición de máximo y submáximo. Se observaron cambios significativo al comparar los valores obtenidos en saltos máximos y submáximos (ver texto).

Fuente: Elaboración propia (2015)

4. DISCUSIÓN

En este estudio se compararon las performances y la coordinación de los segmentos de miembros inferiores en saltos de tipo CMJ cuando los individuos buscan el mayor rendimiento posible y cuando el objetivo es alcanzar una altura menor.

Los valores de altura alcanzada en cada tipo de salto (CMJm $48,29 \pm 10,9$ cm y CMJs $26,9 \pm 1,95$ cm) determinaron que porcentualmente los CMJs corresponden aproximadamente al 55% de los CMJm, lo que permite clasificarlos como máximos y submáximos según el criterio establecido por Rodacki, Fowler y Bennett (2001). Si bien en el estudio la fatiga no fue un condicionante, la disminución semejante en la altura encontrada en los saltos submáximos permite realizar una comparación de los parámetros espacio-temporales con los reportados por Rodacki, Fowler y Bennett (2001).

En cuanto a los tiempos asociados al apoyo, los saltos CMJs presentaron un incremento significativo en el tiempo de contacto total. Este resultado es consistente con lo reportado por Van Zandwijk *et al.* (2000), aunque en ese estudio, los autores establecen que existe una gran variabilidad en aquellos saltos en los que la altura alcanzada no fue máxima y en este trabajo los desvíos de los valores medios aunque no fueron analizados específicamente, parecen ser semejantes en ambos saltos. El aumento en el tiempo de contacto también fue identificado para los CMJ realizados en fatiga en el estudio de Rodacki, Fowler y Bennett (2001). Además en el estudio se encontraron diferencias significativas entre las fases de trabajo negativo y positivo al comparar los tipos de salto, no obstante cada fase mantuvo su proporción respecto del tiempo total de impulso que fue de aproximadamente 70% de descenso y 30% de ascenso del CM, como se desprende de los resultados presentado en la tabla 1. Aunque en el análisis de Rodacki, Fowler y Bennett (2001) se realiza una comparación porcentual, ese estudio también reveló un aumento en los tiempos de trabajo negativo y positivo en los CMJ realizados con fatiga, que es donde se salta menos. Rodacki, Fowler y Bennett (2001) reportan un aumento en el tiempo de trabajo positivo y negativo de 9,6% y 12,2 % respectivamente. Los resultados de los tiempos obtenidos en este trabajo indican que el aumento en las dos fases resultó mayor al reportado por Rodacki, Fowler y Bennett (2001) (18% y 26% aproximadamente). Más allá de las diferencias en las condiciones del análisis y de los valores concretos ambos trabajos muestran un cambio en la duración de las fases proporcionales a la duración del tiempo de impulso, pareciendo ser ésta una primera característica distintiva al comparar CMJm y CMJs.

En cuanto a los resultados de los movimientos articulares del tren inferior, lo primero que surge de la observación de las diferencias de los inicios de movimiento articular en relación al instante de despegue es que la secuenciación se mantiene. Esto surge de comparar las alturas de las barras de la figura 1 en forma intercalada, el aumento de las diferencias para cada situación al comparar las alturas de las barras en el orden que se presenta en la figura, permite confirmar que existe una secuencia proximal-distal de acciones articulares como ha sido sugerido en trabajos anteriores (RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2001; RODACKI; FOWLER; BENNETT, 2002; BOBBERT; CASSIUS 2011).

Con respecto a la variable velocidad angular, lo más notorio al observar la figura 2 es un cambio en la relación de valores máximos al cambiar el tipo de salto. Mientras que en los CMJm la secuencia de valores de velocidad articular de mayor a menor fue rodilla, tobillo y cadera. En los CMJs la relación fue tobillo cadera y rodilla. La variación más marcada al

comparar las dos condiciones ocurrió a nivel de la rodilla donde disminuyó mucho la velocidad angular al realizar saltos submáximos. Esa variación explica el cambio de secuencia de velocidades pico ya que la velocidad del tobillo aunque disminuyó significativamente en situación submáxima, presentó un cambio de menor magnitud mientras que la cadera presentó un aumento significativo. Dado que la potencia corresponde al producto del momento articular neto y la velocidad articular. En función de estos resultados se puede sugerir la existencia de un cambio en los valores de potencia a nivel articular. Para poder estimar esto, se requeriría un estudio sincronizado de registros de plataformas de fuerza y cinemetría (WINTER, 1990).

Estudios previos habían marcado el rol preponderante de la articulación de la rodilla en la altura alcanzada en el salto. Bobbert y Cassius (2011) por ejemplo encontraron que la articulación de la rodilla generaba su pico de velocidad antes que la cadera y el tobillo. Una posible explicación para este desarrollo de velocidad a nivel de la rodilla es que un alto valor de potencia en esa articulación medial puede ser transmitida hacia el centro de masa a través de la cadera y aumentar el impulso hacia el piso a través del tobillo, es decir actuar como una veloz “bisagra” que transmite potencia a los extremos de sus segmentos.

Finalmente la comparación de los valores de energía cinética máxima (en el instante de despegue) reflejó que durante los CMJm se logra maximizar el nivel de energía en el instante final del tiempo de impulso contra el piso. Se puede decir esto aunque no se presentan los valores de energía potencial porque al determinar la altura alcanzada en los saltos se pudo apreciar que la altura del CM en el momento del despegue se mantuvo aproximadamente constante en ambos tipos de saltos. En base a ello y en concordancia con trabajos previos (FERRARO; FÁBRICA, 2012), se puede decir que la altura de los saltos depende principalmente del valor de energía cinética logrado en el instante de despegue.

5. CONCLUSIONES

El conjunto de los resultados obtenidos en este estudio conducen a concluir que para realizar un CMJs la secuencia de acción articular no cambia con respecto a un CMJm. No obstante, aumentan los tiempos de acción de las fases de trabajo positivo y negativo y podría variar el nivel de potencia articular generado principalmente a nivel de la rodilla, dado que se verificaron cambios en los picos de velocidad angular. Todos estos factores hacen que se dé un cambio en la energía mecánica al final del impulso principalmente por variar la energía cinética y cambiando por tanto la altura máxima alcanzada por el CM.

En futuros estudios, resultaría interesante obtener datos sincronizados combinando registros de fuerza y electromiografía para comprender aún más sobre la mecánica de este

gesto y en particular contar con elementos más precisos para discutir sobre la acción de los diferentes músculos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOBERT, Maarten; CASSIUS, Richard. Spring-like leg behaviour, musculoskeletal mechanics and control in maximum and submaximum height human hopping. **Philosophical transactions of the royal society**. Amsterdam, n. 366, p. 1516-1529, abr., 2011.

BOSCO, Carmelo. **La fuerza muscular: Aspectos metodológicos**. 1. ed. España: INDE, 2000, 390 p.

BOSCO, Carmelo. **La valoración de la fuerza con el test de Bosco**. Barcelona: Paidotribo. 1994. 190 p.

FÁBRICA, Gabriel *et al.* Explosive force in football association: effects of competition and field location. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, Cardiff, v. 8, n. 2, p. 56-67. Jul., 2008.

FERRARO, Damián; FÁBRICA, Gabriel. Un modelo de optimización aplicado a saltos máximos en humanos. **Anales del III Encuentro de Investigadores del Norte**, Salto, 2012

RODACKI, André; FOWLER, Neil; BENNETT, Simon. Multi-segment coordination: fatigue effects. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 7, p. 1157-1167, 2001.

RODACKI, André; FOWLER, Neil; BENNETT, Simon. Vertical jump coordination: fatigue effects. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 34, n. 1, p. 105-116, 2002.

SHAPIRO, Samuel; WILK, Martin. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, dec, 1965.

VAN ZANDWIJK, Janet *al.* Control of maximal and submaximal vertical jump. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n 2, p. 477-485. 2000

WINTER, David. **Biomechanics and motor control of human movement**. Toronto: John Wiley and Sons, Inc., 1990, 384 p.