

Fuerza isocinética y test de salto vertical en paracaidistas acrobáticos

Ignacio Martínez González-Moro, Rocío Navalón Alcañiz, María José Paredes Ruiz, José L. Lomas Albaladejo, Vicente Ferrer López

Grupo de Investigación Ejercicio Físico y Rendimiento Humano. Universidad de Murcia.

Recibido: 03.01.2018

Aceptado: 07.03.2018

Resumen

Introducción: Las rodillas de los paracaidistas pueden sufrir lesiones durante la toma de tierra que se pueden prevenir con una adecuada fuerza muscular. Esta fuerza se puede evaluar de manera directa con dinamómetros isocinéticos y con métodos indirectos mediante el test de salto vertical.

Objetivo: El objetivo del estudio fue determinar y analizar, en paracaidistas profesionales, las relaciones entre los valores fuerza isocinética máxima de cuádriceps e isquiosurales con la altura y el tiempo de vuelo en saltos verticales.

Material y método: Valoramos a los catorce paracaidistas pertenecientes a la Patrulla Acrobática Paracaidista del Ejército del Aire mediante un dinamómetro isocinético (a 60°/s y 180°/s) tanto para el trabajo concéntrico como excéntrico, obteniéndose los picos máximos de fuerza y las ratios isquiosurales/cuádriceps. Evaluamos, sobre una plataforma de contacto, los siguientes saltos verticales: *Squat Jump*, *Counter Movement Jump* y *Abalakov Jump*.

Resultados: Los resultados indican que los picos de fuerza máxima de la musculatura flexo-extensora de la rodilla son mayores en modalidad excéntrica, y en el equipo masculino. Las ratios isquiosurales/cuádriceps muestran un predominio de los primeros. *Abalakov Jump* es el salto donde mayor altura y tiempo de vuelo se consigue. Existe una correlación positiva entre el tiempo de vuelo de todos los saltos y la fuerza concéntrica del cuádriceps. La altura de salto por el peso corporal (Trabajo = Kg x m) se correlaciona con los picos de fuerza concéntrica y excéntrica del cuádriceps. La relación es mayor en la velocidad más alta. La fuerza excéntrica de isquiosurales no se correlaciona con la altura de vuelo, pero sí la fuerza concéntrica.

Conclusiones: Podemos concluir que las rodillas de los paracaidistas presentan un predominio en la fuerza de los isquiosurales, lo que se considera positivo para la actividad que realizan ya que contribuye a mejorar la estabilidad de la rodilla y que hay altas correlaciones entre los picos de fuerza isocinético y el trabajo realizado en los saltos verticales.

Palabras clave:

Dinamometría isocinética.
Salto vertical. Pico de fuerza.
Ratio isquiosurales/cuádriceps.
Paracaidistas.

Isokinetic strength and vertical jump test in acrobatic skydivers

Summary

Introduction: Knees of the parachutists can suffer injuries during the landing that can be avoided with a correct muscular strength. This strength is possible to be evaluated of direct way with isokinetic dynamometers and indirect methods using the test of vertical jump.

Objective: The aim of this study was to determine and analyze, in professional skydivers, the relationship between the values of isokinetic force of quadriceps and hamstrings with height and time of flight in vertical jumps.

Material and methods: We studied the fourteen paratroopers belonging to the (patrol acrobatic jumper of the air force) using an isokinetic dynamometer (60°/s and 180°/s) both for concentric work as eccentric, obtaining the peaks maximum of strength and hamstrings/quadriceps ratios. Evaluate, on a platform of contact, the following vertical jumps: *Abalakov Jump* and *Squat Jump*, *Counter Movement Jump*.

Results: The results indicate that the peaks of maximum strength of flexor and extensor muscles of the knee are greater in eccentric mode, and the men's team. Hamstrings/quadriceps ratios show a predominance of the first. AJ is the jump where greater height and time of flight is achieved. There is a positive correlation between the flight time of all jumps and concentric quadriceps strength. The height of jump by body weight (Work = Kg x m) correlates with the peaks of concentric and eccentric strength of the quadriceps. The ratio is higher in the higher speed. The eccentric strength of hamstrings does not correlate with the height of flight, but the concentric strength.

Conclusions: We can conclude that the knees of the skydivers have a predominance of the hamstrings what is considered positive for the activity carried out, since it helps to improve the stability of the knee and that there are high correlations between the peaks of force isokinetic and the work done in the jumps vertical.

Key words:

Isokinetic dynamometry.
Vertical jump. Peak force.
Hamstrings/quadriceps ratio.
Skydivers.

Correspondencia: Ignacio Martínez González-Moro

E-mail: ignaciomgm@um.es

Introducción

El paracaidismo es una actividad físico-deportiva susceptible de provocar tanto lesiones agudas¹ como crónicas². Recientes estudios sugieren que las lesiones en los miembros inferiores son la localización más frecuente y suponen un 65% de las mismas³ y dentro de éstas cabe destacar las de la articulación de la rodilla.

Como en otros deportes las lesiones agudas están causadas por los traumatismos o accidentes deportivos; mientras que las lesiones crónicas, o por sobrecarga, se asocian con diversos factores etiológicos, entre los que se encuentran una anormal alineación anatómica⁴, una disminución de la fuerza de la musculatura de la cadera y muslo^{5,6} o una mecánica defectuosa de las extremidades inferiores en el desarrollo de actividades específicas⁷.

La identificación y corrección de los desequilibrios en la fuerza muscular de la extremidad inferior es uno de los componentes clave en la prevención y tratamiento de las lesiones deportivas⁸. Para ello es necesario cuantificar y medir esta fuerza con la ayuda de dinamómetros y protocolos específicos. Como la fuerza muscular generada durante la actividad deportiva no siempre es posible de medir en situaciones reales, estas pruebas son a menudo llevadas a cabo en condiciones controladas de laboratorio⁹. De las distintas manifestaciones de la fuerza, las que más se han utilizado para valorar a los deportistas son la fuerza explosiva y la fuerza isocinética. La fuerza explosiva puede evaluarse mediante test y con aparataje deportivo como es el salto vertical sobre determinadas plataformas¹⁰, y la fuerza isocinética con dispositivos de valoración funcional como los dinamómetros específicos¹¹.

El método isocinético es un sistema de evaluación que utiliza la tecnología informática y robotizada para obtener y procesar en datos cuantitativos la fuerza muscular obteniendo sus valores máximos en todo el rango de movimiento y determinando la posición en la que se obtiene el pico de fuerza¹², permitiendo medirla tanto en activación concéntrica como excéntrica, y establecer comparaciones¹³. La ventaja sobre otros métodos se refleja en la posibilidad de evaluar objetivamente las prestaciones dinámicas del grupo muscular responsable para el movimiento en una articulación en particular. Su aplicación se enmarca en campos de rehabilitación¹⁴, entrenamiento muscular¹⁵ y análisis biomecánico¹⁶.

La fuerza explosiva, como una habilidad motora, es uno de los factores determinantes del éxito en todas las actividades que requieren una alta expresión muscular de fuerza en el menor tiempo posible, jugando un papel esencial en una gran cantidad de disciplinas deportivas relacionadas con los saltos y la propulsión; es por ello que forma parte del entrenamiento de casi todas las modalidades¹⁷. Una forma muy extendida de cuantificarla es mediante los conocidos test de salto. Los primeros test de salto, y que todavía se utilizan, se realizaban sin plataformas, como era el test como el "Detente vertical"¹⁸ o el "test de Sargent"¹⁹ que permite conocer los beneficios que la acción de los brazos tiene sobre el mismo salto. En la actualidad se usan plataformas de salto y/o fuerza con test basados y adaptados en los sistemas de Bosco como son el test desde sentadillas (*Squat Jump*), con contramovimiento (*Counter Movement Jump*) o con rebote desde la caída de una altura (*Drop Jump*)²⁰.

Los test basados en el salto vertical tienen por objeto valorar las características funcionales y neuromusculares de la musculatura exten-

sora de los miembros inferiores a partir de las alturas obtenidas en los distintos test. Estos son test máximos estrictamente estandarizados y se pueden diferenciar una fase excéntrica y otra concéntrica^{21,22}. La valoración y entrenamiento de la fuerza mediante saltos verticales da lugar a lo que se conoce como pliometría²³. Los parámetros biomecánicos de las extremidades inferiores son los factores responsables de la altura del salto, incluyendo el uso de la energía elástica, ciclo de acortamiento, velocidad de la contracción muscular y potencia^{24,25}.

La toma de tierra en el paracaidismo de apertura manual y más específicamente en el deportivo se realiza en bipedestación y dando el paracaidista unos pasos, más o menos rápidos, desde el primer contacto hasta su completa detención (Figura 1). Este momento es de especial estrés para la rodilla ya que se une el efecto de las fuerzas de acción (peso del paracaidista) y reacción (contacto contra el suelo), junto con el trote, o carrera, para detener el movimiento sobre una superficie posiblemente irregular y la probable rotación por la tracción del paracaídas sometido a la corriente del viento. Además, en la modalidad de "salto de precisión" el paracaidista debe hacer contacto, con su pie, sobre un punto concreto marcado sobre una colchoneta. Esto le lleva a priorizar la puntería para conseguir la máxima puntuación, sobre la estabilidad, lo que provoca contactos en posiciones inadecuadas y con el consiguiente riesgo de lesión (Figura 2). En ese momento el paracaidista realiza una contracción de cuádriceps para mantener su postura y evitar la caída, esto provoca la extensión de la rodilla y una tendencia al desplazamiento de la tibia sobre el fémur estirando el ligamento cruzado anterior (LCA). La suma de estos elementos supone factores de riesgo para la lesión del LCA que se pueden controlar con un entrenamiento de la propiocepción y de la fuerza muscular, prestando una especial atención al balance muscular entre cuádriceps y musculatura isquiosural²⁶.

Figura 1. Toma de tierra a la carrera.



Figura 2. Caída de pie en un salto de precisión.



La mayoría de las lesiones en el paracaidismo se producen al llegar al suelo²⁷, por eso cuantos más saltos más posibilidad de lesiones. Uno de los grupos que más saltos realiza dentro del paracaidismo español es el formado por los integrantes de la Patrulla Acrobática Paracaidista del Ejército del Aire (PAPEA). Sus actividades fundamentales son las exhibiciones acrobáticas y la competición deportiva representando al Ejército del Aire. Por su entrenamiento específico llegan a realizar 4-5 saltos diarios y acumular varios miles de saltos cada deportista. Este importante número de saltos hace que se consideren sus rodillas de alto riesgo para las lesiones, especialmente del ligamento cruzado anterior, por lo que se hace necesario realizar estudios y actividades encaminados a la prevención de estas lesiones²⁸.

La publicación de resultados acerca de la valoración de la fuerza de la rodilla mediante diferentes técnicas es cada vez más amplia, y la diversidad de métodos utilizados hace difícil comparar los hallazgos en cuanto a picos de fuerza y su posible aplicación como predictores de habilidades deportivas o motoras²⁹⁻³¹, por ello consideramos de interés ver las relaciones que existen entre ambas mediciones

Así, nuestro objetivo es determinar y analizar, en los equipos de paracaidistas acrobáticos profesionales, los parámetros de fuerza isocinética de la musculatura flexo-extensora de la rodilla implicados en la prevención de las lesiones y su relación con la altura y tiempo de vuelo en diferentes saltos verticales.

Material y método

Participantes

En este estudio fueron analizados la totalidad de los miembros de la PAPEA, nueve varones y cinco mujeres, que componen sus equipos masculino y femenino. Se consideró como criterio de exclusión la presencia de lesión aguda o molestias de miembro inferior que le impida desarrollar la máxima fuerza durante las pruebas. Se contó con el permiso de las autoridades militares y el visto bueno de la Comisión de Ética de la Investigación de la Universidad de Murcia.

Procedimiento

Nuestro estudio es de tipo descriptivo, transversal y observacional.

A todos los sujetos se les informó sobre los objetivos y el método del estudio y firmaron el correspondiente documento de consentimiento informado. Tras ello aceptado, se llevó a cabo una anamnesis en la que se recogieron antecedentes lesionales, datos personales (edad) y relacionados con la experiencia paracaidista.

El dinamómetro isocinético utilizado ha sido el KIN-COM AP de Chattanooga, con el software facilitado por el fabricante para calcular el pico de fuerza, tanto en contracciones concéntricas como excéntricas. El dinamómetro permite una fuerza máxima de 2000 Newton y una velocidad máxima de 250°/s.

Para la evaluación del salto vertical se utilizó la plataforma de contacto GLOBUS Ergojump. Este aparato funciona como un cronómetro que se activa cuando el deportista, estando con los pies apoyados sobre la plataforma, despega de la superficie de la misma, y se para cuando el sujeto contacta de nuevo con la plataforma. Mide el tiempo de vuelo en el salto y calcula de forma inmediata la altura equivalente del salto.

Previo a la realización de las pruebas se efectuó una medición cuantitativa de talla y el peso, con báscula SECA 813 y tallímetro SECA 213. Tras un calentamiento de cinco minutos en un cicloergómetro, se procedió a la evaluación isocinética siguiendo el protocolo utilizado por nuestro grupo³². Una semana más tarde, para evitar el efecto de la fatiga, se realizaron tres saltos detallados en el protocolo de Bosco sobre una plataforma de contacto: *Squat Jump* (SJ), *Counter Movement Jump* (CMJ), y *Abalakov Jump* (AJ).

Evaluación y variables isocinéticas

Con el sujeto sentado se analizaron ambas extremidades. El orden para realizar la prueba fue aleatorio, según la disposición inicial de la máquina. Los sujetos se fijaron al asiento y al respaldo del sillón de exploración mediante cinchas regulables, el muslo se mantuvo junto al asiento mediante un soporte adecuado. El eje de rotación del brazo del dinamómetro se colocó lateral al epicóndilo externo del fémur y el extremo móvil se fijó a la parte media de la pierna a 22 cm del eje de rotación (Figura 3). Los grupos musculares explorados fueron cuádriceps e isquiosurales mediante movimientos de flexo-extensión de la rodilla, tanto concéntricos como excéntricos. El arco de movimiento fue entre los 80° y los 10° de flexión de rodilla (0° = extensión completa) y se exploró a las velocidades de 60°/s y 180°/s. El tipo de registro empleado es el denominado "overlay" o contracción a contracción. Se consideró como movimiento válido aquel en el que se conseguía una mayor fuerza (con un mínimo de tres intentos máximos) pidiendo esfuerzos submáximos hasta alcanzar el mayor posible, mediante el seguimiento de las curvas fuerza/posición angular.

Las variables isocinéticas se han descrito para el lado dominante (D) y no dominante (ND) tanto de cuádriceps (Q) como isquiosurales (H), la velocidad (60°/s y 180°/s) y los picos de fuerza en modalidad concéntrica (con) y excéntrica (ecc) del miembro evaluado. Se han obtenido los cocientes, o ratios, convencionales al dividir la fuerza concéntrica de los isquiosurales entre la del cuádriceps (Hcon/Qcon) y los funcionales al hacer lo mismo pero para la fuerza excéntrica de los isquiosurales (Hecc/Qcon)³³.

Figura 3. Posición para la valoración isocinética.



Ejecución y valoración de los saltos verticales

Se realizaron los siguientes saltos: *Squat Jump*, *Counter Movement Jump*, y *Abalakov Jump*. SJ consiste en la realización de un salto partiendo de una flexión de rodillas de 90°, evitando un contramovimiento con el fin de que no se acumule energía elástica. El tronco debe estar recto y las manos deben situarse en las caderas durante la ejecución del test. Las piernas durante la fase de vuelo deben estar extendidas, y cuando los pies contactan con la plataforma se debe apoyar en primer lugar la zona del metatarso y posteriormente la parte posterior o el calcáneo. El salto CMJ se realiza del mismo modo que SJ, pero partiendo el sujeto desde una posición erguida, de modo que durante la fase excéntrica para alcanzar la flexión de 90° de rodilla, la energía elástica potencial se almacena en los elementos elásticos en serie pudiendo ser reutilizada en forma de trabajo mecánico durante la fase concéntrica. El salto denominado *Abalakov Jump* (AJ) se lleva a cabo como en el CMJ, pero con los miembros superiores libres con el fin de ser utilizados de forma

coordinada y sincronizada con la acción de flexo-extensión de las piernas para conseguir un máximo vuelo.

Para determinar las variables pliométricas se han tenido en cuenta el tiempo (T) y la altura de vuelo (A) en cada uno de los saltos. Se ha obtenido el trabajo realizado mediante el producto entre el peso del sujeto y la altura alcanzada.

Análisis estadístico de los datos

Con los datos obtenidos se confeccionó una hoja de Excel en la que cada fila es un sujeto (caso) y cada columna una variable. A partir de aquí se exportaron los datos al paquete estadístico SPSS v.19. Las variables cuantitativas se describieron mediante los valores mínimo y máximo (rango), media, desviación típica y coeficiente de variación. Las variables cualitativas se han descrito mediante las frecuencias absolutas y relativas (porcentajes). Se comprobó la distribución normal de las características iniciales de la muestra mediante la prueba de Saphiro-Wilk y la igualdad de varianzas mediante el test de Levene. La comparación de medias para variables independientes se ha realizado mediante la prueba T-student. La comparación de medias de variables relacionadas se ha hecho mediante el estudio de la T- pareada. La correlación entre variables se ha determinado mediante el test de Pearson. Se ha considerado que existe significación estadística cuando $p \leq 0,05$.

Resultados

La edad media de los participantes es de 34,4 años para el equipo masculino y 35 para el femenino, en la Tabla 1 mostramos las características antropométricas y de experiencia paracaidista separadas por equipos. Se observan diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en todas las variables excepto en la edad.

Los resultados de la valoración isocinética de los picos de fuerza de cuádriceps e isquiosurales se muestran en la Tabla 2, en modalidad concéntrica y excéntrica, a las velocidades de 60°/s y 180°/s separados por sexo. Cabe destacar que la fuerza en modalidad excéntrica supera a la concéntrica, para las dos velocidades evaluadas, y para ambos equipos. En todos los pares de fuerza existe una diferencia significativa entre hombres y mujeres ($p \leq 0,05$), siendo mayores las cifras en el equipo masculino. No se aprecian diferencias bilaterales. Las ratios entre

Tabla 1. Variables antropométricas y experiencia paracaidista de cada equipo.

	Equipo Masculino (n=9)		Equipo Femenino (n=5)	
	$\bar{X} \pm \sigma$	Mín - Máx	$\bar{X} \pm \sigma$	Mín - Máx
Edad (años)	34,44 ± 4,36	29-41	35 ± 2,64	32-39
Talla (cm)	173,6 ± 6,73	162,5-182	158,3 ± 6,135	152,4-168,5
Peso (Kg)	77,18 ± 7,45	65-87	55,8 ± 5,917	48,6-64,7
IMC (Kg/m2)	25,61 ± 1,93	23,3-28,4	22,24 ± 1,702	19,3-23,7
Porcentaje grasa	20,48 ± 3,92	14-26,2	27,18 ± 2,40	24,5-30,3
Años PAPEA	8,55 ± 5,59	3-20	5,6 ± 2,88	2-8
Nº saltos	3944 ± 2781	1200-10000	2060 ± 1212	600-3200

$\bar{X} \pm \sigma$: Media y desviación típica; Min: mínimo; Máx: Máximo.

Tabla 2. Comparación de los Picos de Fuerza isocinética (Newtons) de cuádriceps e isquiosurales y ratios convencional y funcionales entre equipos y lados.

Velocidad	Equipo	Lado Dominante		Lado No dominante		P
		$\bar{X} \pm \sigma$	p	$\bar{X} \pm \sigma$	p	
Q 60°/s con	Masculino	763,22 ± 135,91	0,002**	760,77 ± 159,28	0,003**	0,965
	Femenino	501,2 ± 105,19		478,33 ± 181,58		0,215
Q 60°/s ecc	Masculino	1232,77 ± 245,28	0,009**	1048,44 ± 167,6	0,02*	0,035*
	Femenino	862,8 ± 141,27		804,66 ± 276,92		0,280
Q 180°/s con	Masculino	616,88 ± 89,61	0,0001***	592,22 ± 159,78	0,018*	0,601
	Femenino	364,2 ± 66,61		396,66 ± 57,36		0,866
Q 180°/s ecc	Masculino	1186,66 ± 203,04	0,026*	1273,33 ± 177,85	0,003**	0,194
	Femenino	885,8 ± 185,53		862 ± 267,3		0,358
H 60°/s con	Masculino	604,33 ± 124,27	0,001**	589,22 ± 116,06	0,033*	0,653
	Femenino	392 ± 35,34		423 ± 90,94		0,375
H 60°/s ecc	Masculino	741,44 ± 146,81	0,002**	802,22 ± 141,26	0,020*	0,281
	Femenino	520,2 ± 63,2		566 ± 123,66		0,343
H 180°/s con	Masculino	536 ± 128,61	0,015*	540,66 ± 48,07	0,001**	0,914
	Femenino	353 ± 83,67		427,33 ± 44,63		0,442
H 180°/s ecc	Masculino	735,87 ± 165,16	0,004**	799 ± 115,58	0,008**	0,105
	Femenino	494,2 ± 28,14		587,33 ± 145,52		0,376
60°/s Hcon/Qcon	Masculino	0,80 ± 0,16	0,956	0,78 ± 0,09	0,136	0,729
	Femenino	0,81 ± 0,19		0,96 ± 0,18		0,052
180°/s Hcon/Qcon	Masculino	0,88 ± 0,21	0,420	0,97 ± 0,27	0,508	0,375
	Femenino	0,98 ± 0,25		1,06 ± 0,05		0,272
60°/s Hecc/Qcon	Masculino	0,98 ± 0,17	0,441	1,09 ± 0,26	0,196	0,182
	Femenino	1,07 ± 0,28		1,31 ± 0,25		0,088
180°/s Hecc/Qcon	Masculino	1,17 ± 0,28	0,189	1,45 ± 0,23	0,863	0,089
	Femenino	1,38 ± 0,24		1,50 ± 0,16		0,306

Q = Cuádriceps; H = Isquiosurales. con = Concéntrico; ecc Excéntrico; \bar{X} : Desviación media; σ : Desviación típica; Máximo. Significación estadística: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p < 0,001$

isquiosurales y cuádriceps muestran un predominio de los primeros con valores de ratios convencionales superiores 0,80 y de ratios funcionales mayores de 1.

En la Tabla 3 mostramos los valores medios de tiempo y altura de vuelo en las tres modalidades de salto separados por sexo. En todos los saltos podemos observar valores ligeramente superiores en el equipo masculino, aunque sólo hallamos diferencias significativas en SJ. Como era previsible AJ es el salto en el que mayor altura y tiempo de vuelo se consigue en ambos equipos.

Para analizar la relación entre los tiempos de vuelo en cada salto y los picos de fuerza se han sumado los valores de ambos lados y la resultante se ha correlacionado con los segundos de vuelo. Así sólo se obtiene una correlación positiva y significativa del cuádriceps a 180°/s con el tiempo de vuelo de los varones en los tres saltos: SJ $r=0,738$ ($p=0,023$); CMJ $r=0,873$ ($p=0,002$) y AJ $r=0,910$ ($p=0,001$). Al analizar a la población en conjunto observamos que existe una correlación positiva entre el tiempo de vuelo de todos los saltos y la fuerza concéntrica del cuádriceps, siendo más significativa a 180°/s. Al correlacionar la altura

de salto por el peso corporal (Trabajo = Kg x m) con los picos de fuerza se obtiene que hay una correlación positiva con los picos de fuerza concéntrica y excéntrica del cuádriceps, siendo también superior en la velocidad más elevada. Los picos de fuerza de los isquiosurales se relacionan positivamente en su forma concéntrica con los tres saltos, pero no en su forma excéntrica (Tabla 4).

Discusión

Hemos valorado la fuerza isocinética de cuádriceps e isquiosurales, de forma concéntrica y excéntrica, de la totalidad de los integrantes de la PAPEA. Son un grupo de paracaidistas de elite internacional, a los que también se les ha cuantificado la fuerza y potencia de salto vertical mediante tres test. No existen trabajos que describan estos tipos de fuerza en paracaidistas y pocos los que relacionan ambas modalidades en otros tipos deportistas. En 2002, Tsionakos *et al*³⁴, lo hicieron en jóvenes estudiantes de educación física, al igual que nosotros, encontraron una

Tabla 3. Tiempo (s) y altura de vuelo (m), por equipos, en los saltos verticales.

	Equipo Masculino			Equipo Femenino			p
	$\bar{X} \pm \sigma$	cv	Mín - Máx	$\bar{X} \pm \sigma$	cv	Mín - Máx	
SJ (s)	0,5 ± 0,05	9,79	0,45-0,5	0,44 ± 0,03	7,62	0,39-0,48	0,041*
SJ (m)	0,31 ± 0,06	20,04	0,25-0,31	0,24 ± 0,04	15,16	0,19-0,29	0,048*
CMJ (s)	0,52 ± 0,04	8,28	0,45-0,52	0,47 ± 0,04	8,19	0,41-0,51	0,051
CMJ (m)	0,33 ± 0,05	16,46	0,25-0,33	0,28 ± 0,05	16,95	0,21-0,32	0,103
Abalakov (s)	0,57 ± 0,06	10,01	0,48-0,57	0,52 ± 0,03	6,63	0,48-0,57	0,132
Abalakov (m)	0,4 ± 0,08	20,06	0,29-0,4	0,34 ± 0,04	13,22	0,28-0,4	0,138

\bar{X} : Desviación media; σ : Desviación típica; cv: Coeficiente variación; Mín: Mínimo; Máx: Máximo; SJ: Squat Jump; CMJ: Counter Movement Jump; Significación estadística: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

Tabla 4. Correlación de Pearson y significación (p) entre el tiempo de vuelo (s) y el trabajo realizado en los saltos verticales (Kg x m) con los picos de fuerza de cuádriceps e isquiosurales a ambas velocidades.

60°/s	Cuádriceps		Isquiosurales	
	concéntrico	excéntrico	concéntrico	excéntrico
SJ (s)	0,568 (0,034)*	0,557 (0,038)*	0,418 (0,155)	0,301 (0,318)
SJ (Kg x m)	0,731 (0,006)**	0,689 (0,006)	0,576 (0,039)*	0,499 (0,083)
CMJ (s)	0,611 (0,020)*	0,470 (0,090)	0,428 (0,144)	0,289 (0,338)
CMJ (Kg x m)	0,786 (0,001)**	0,658 (0,011)	0,597 (0,031)*	0,518 (0,070)
AJ (s)	0,616 (0,019)*	0,478 (0,084)	0,500 (0,082)	0,352 (0,238)
AJ (Kg x m)	0,767 (0,001)**	0,660 (0,010)	0,633 (0,020)*	0,545 (0,054)
180°/s				
SJ (s)	0,781 (0,002)**	0,541 (0,056)	0,513 (0,073)	0,361 (0,225)
SJ (Kg x m)	0,912 (0,000)**	0,717 (0,006)**	0,684 (0,010)*	0,474 (0,102)
CMJ (s)	0,774 (0,002)**	0,487 (0,092)	0,462 (0,112)	0,233 (0,444)
CMJ (Kg x m)	0,920 (0,000)**	0,737 (0,004)**	0,684 (0,010)*	0,436 (0,137)
AJ (s)	0,835 (0,000)**	0,636 (0,020)*	0,462 (0,112)	0,318 (0,289)
AJ (Kg x m)	0,944 (0,000)**	0,774 (0,002)**	0,682 (0,010)*	0,465 (0,109)

Significación estadística: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

buena relación entre la fuerza isocinética del cuádriceps y la obtenida con los test de salto, especialmente cuando se calcula en función del peso corporal (trabajo). Ellos solo usaron valores concéntricos y nosotros la encontramos también con la modalidad excéntrica. Esta relación también ha sido descrita en jóvenes futbolistas por Lehnert *et al*¹³ pero indicando que difiere a lo largo de la temporada y siendo superior en velocidades más altas.

La edad media de nuestra población es superior a la de la mayoría de los trabajos publicados en deportistas, que oscilan entre 16 años¹³ y 27 años³⁵, esto se debe a que el paracaidismo es un deporte que empieza a practicarse tras la mayoría de edad y no existen categorías juveniles. Al pertenecer los equipos femenino y masculino a la misma unidad militar y estar sometidos al mismo régimen de entrenamientos permite comparar los efectos del entrenamiento y adoptar unos mismos principios de preparación física.

La fuerza isocinética se ha medido en ambas extremidades buscando diferencias o asimetrías, nosotros no las hemos encontrado ni en el equipo masculino ni en el femenino; González-Ravé *et al*³⁵, en jugadores de balonmano tampoco vieron diferencias significativas entre lado dominante y no dominante mientras que Menzel *et al*³⁶ sí que las des-

criben. Aunque la mayoría de los autores prefiere usar como magnitud física para evaluar la fuerza isocinética el "momento", o su denominación inglesa torque, hemos preferido usar la "fuerza" ya que hemos usado una distancia constante entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de la articulación por lo que al calcular las ratios y las diferencias este factor no influye y lo que realmente hace diferentes a los músculos es la fuerza que realizan, independientemente de dónde se ejecute.

Siguiendo a Alemdaroğlu³⁷, hemos utilizado dos velocidades para la valoración isocinética, 60°/s y 180°/s, y un test de salto para la potencia anaeróbica, encontrando que los valores de fuerza en la velocidad alta son menores que en la baja, aunque para este autor no hay relación con la altura de salto, nosotros sí la hemos encontrado.

Hemos comprobado, al igual que otros autores, que la fuerza excéntrica supera a la concéntrica en todos los casos y al incluir su determinación en la valoración de la rodilla permite obtener información útil para entender su desarrollo y función³⁸ y poder calcular las ratios funcionales³³, es decir la relación entre la máxima fuerza concéntrica del cuádriceps para mantener la postura bípeda y la de lo isquiosurales en excéntrico para frenar el movimiento de hiperextensión y el desplazamiento anterior de la tibia.

Mediante las ratios isquiosurales/cuádriceps observamos que existe un predominio de los isquiosurales sobre el cuádriceps, lo que indica que las rodillas, y en especial el ligamento cruzado anterior (LCA), se encuentran protegidas al prevalecer la acción agonista de esta musculatura con el LCA³³ sobre la actividad del cuádriceps y evitar la distensión del LCA con el desplazamiento brusco de la tibia sobre el fémur en las tomas de tierra y su posible rotura. El estudio particular, a cada paracaidista, de estas ratios permite personalizar su preparación física enfocándola a la prevención de las lesiones debidas a las tomas de tierra y al factor predisponente del desbalance muscular³⁹. Unos isquiosurales potentes en excéntrico contribuyen a frenar este desplazamiento y a proteger al ligamento²⁶.

La evaluación del salto vertical, la hemos llevado a cabo sólo de forma bilateral, al contrario que Laudner *et al*⁴⁰ que además lo hicieron de forma unilateral, por eso hemos sumado la fuerza isocinética de ambas extremidades para correlacionarla con las alturas de vuelo. Según la literatura, los saltos más utilizados para llevar a cabo la valoración pliométrica y establecer una posterior correlación con la medición isocinética son el CMJ^{36,40,41} y SJ^{34,36,37}. De todos los trabajos consultados, sólo hallamos uno que haya utilizado *Abalakov Jump* como en el nuestro, que lo utiliza junto a CMJ³⁵. No hemos encontrado ningún estudio en el que se comparen los tres saltos con la medición isocinética. Nosotros pensamos que es interesante el análisis de los tres para comprobar la influencia de la acumulación de energía elástica durante el salto, así como la colaboración del tren superior, ya que son factores determinantes en la mayoría de los gestos deportivos. Otros autores usan el test *Drop Jump* desde diversas alturas que permite actuar a la musculatura en función del ciclo acortamiento-estiramiento⁴¹.

En nuestro trabajo se ha valorado y comparado tanto el trabajo concéntrico como el excéntrico, y su relación con el salto vertical, a diferencia de la mayoría de autores consultados que sólo han relacionado el salto vertical con la fuerza concéntrica³⁵⁻³⁷ o con la isométrica⁴². Siguiendo el concepto de Bosco²⁰, creemos que es más interesante hacerlo también en excéntrico porque mediante el reflejo activado por la fase excéntrica se obtiene una inervación reforzada que puede reforzar las características elásticas del sistema músculo tendinoso y conducir a una activación más importante de la fase concéntrica, pudiendo generar mayores niveles de fuerza que una contracción concéntrica aislada⁴³. Además es la fuerza excéntrica de los isquiosurales la que se tiene en cuenta para calcular la ratio funcional relacionada con el equilibrio de la rodilla y la protección del LCA³³.

Las medias de pico de fuerza más elevadas se han obtenido durante el trabajo excéntrico en ambos equipos. Como era previsible, nuestros datos evidencian que los varones generan más fuerza isocinética que las mujeres en cualquiera de sus modalidades, hecho repetidamente analizado con semejantes resultados en trabajos previos^{36,40,44}. Por el contrario el único test de salto en el que los varones saltan más que las mujeres son en el SJ, en los otros dos no hay diferencias significativas. Esto puede deberse a que al tener que vencer la resistencia que ofrece el peso corporal este relativiza la fuerza ejercida por las extremidades. Al analizar el trabajo y multiplicar la altura por el peso, reaparecen las diferencias entre hombres y mujeres.

Hemos encontrado correlaciones más altas en el trabajo excéntrico a 180°/s que a 60°/s. Estas correlaciones son más evidentes entre

la fuerza isocinética excéntrica del cuádriceps y el trabajo realizado en el salto vertical que con la altura de vuelo. Wilhelm *et al*⁴¹ refieren una correlación de altura en el CMJ con la fuerza del cuádriceps de $r=0.513$, $p<0,001$, similar a la nuestra ($r=0,659$, $p=0,010$).

Todas las modalidades de salto analizadas mantienen una correlación elevada con el pico de fuerza del cuádriceps. La relación más alta que encontramos es entre la fuerza concéntrica a la velocidad de 180°/s y el trabajo de CMJ y AJ ($r>0,9$, $p<0,001$). Estos datos coinciden con los de Lehnert, *et al*¹³, que además indican que la máxima relación se establece a velocidades angulares más altas, más concretamente a 180°/s para el CMJ y a 180°/s y a 360°/s para AJ. Estas dos modalidades de salto también fueron relacionadas con la fuerza isocinética por Alemardoğlu³⁷, que halló una correlación significativa con las mismas velocidades angulares que en nuestro trabajo.

En cuanto al trabajo de la musculatura isquiosural, nuestros datos reflejan una relación entre el pico de fuerza en concéntrico y los tres saltos, pero expresado en forma de trabajo (altura conseguida por el peso corporal) y no al analizar únicamente el tiempo de vuelo, la correlación también es mayor con la velocidad isocinética más alta. En los saltos verticales la actividad de la musculatura isquiosural la podemos considerar como secundaria, ya que la acción principal recae en el cuádriceps. La presencia de estas correlaciones refleja la importancia del trabajo preventivo de los flexores de la rodilla para mantener el balance muscular de la rodilla y contribuir a la protección del ligamento cruzado anterior.

La relación entre ambos tipos de test se considera útil para valorar la fuerza y la capacidad funcional en sujetos intervenidos de lesiones del ligamento cruzado anterior⁴⁰ y puede servir para el seguimiento de su rehabilitación, nosotros apuntamos que ello puede ser más útil si se cuenta con valores previos a la lesión que muestren la presencia de asimetrías entre músculos antagonistas y entre lados.

Globalmente los datos de nuestra población coinciden con los referenciados al señalar que los picos de fuerza máxima de la musculatura de la rodilla presentan valores más altos en modalidad excéntrica que en concéntrica en ambos grupos musculares, y son mayores en el equipo masculino. La influencia de la participación del tren superior y la energía elástica acumulada influyen en la altura y tiempo conseguidos en los diferentes saltos de una forma significativa. También podemos afirmar que la correlación entre las características de la fuerza isocinética sobre la rodilla con el rendimiento del salto vertical es más alta entre el pico de fuerza de los extensores durante el trabajo concéntrico a mayor velocidad.

Por otro lado, no se ha objetivado una relación significativa entre ninguno de los parámetros correspondientes a los test de salto vertical con la fuerza excéntrica de los isquiosurales, en ningún equipo ni velocidad. Por ello los test de salto no pueden sustituir a la valoración isocinética en la determinación de factores de riesgo para la producción de lesiones del LCA, aunque sí que sirven para evidenciar la fuerza del cuádriceps de los paracaidistas.

Por todo lo anterior concluimos que las rodillas de los paracaidistas presentan un predominio en la fuerza de los isquiosurales lo que se considera positivo para la actividad que realizan ya que mejoran la estabilidad de la rodilla y pueden contribuir en la prevención de las lesiones del LCA. La fuerza isocinética, en excéntrico, de los isquiosurales

no mantiene una correlación con el trabajo realizado en los saltos verticales, mientras que las fuerzas concéntrica y excéntrica del cuádriceps y la concéntrica de los isquiosurales sí la tiene.

Agradecimientos

A la Patrulla Acrobática Paracaidista del Ejército del Aire.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de intereses alguno.

Bibliografía

- Bourghli A, Fabre A. Proximal end clavicle fracture from a parachute jumping injury. *Orthop Traumatol Sur Res.* 2012;98(2):238-41.
- Bricknell MCM, Craig SC. Military parachuting injuries: a literature review. *Occ Med.* 1999;49(1):17-26.
- Ball VL, Sutton JA, Hull A, Sinnott BA. Traumatic injury patterns associated with static line parachuting. *Wild Environ Med.* 2014;25(1):89-93.
- Petersen W, Ellermann A, Gösele-Koppenburg A, Best R, Rembitzki IV, Brüggemann, et al. Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2264-74.
- Papadopoulos K, Stasinopoulos D, Ganchev D. A systematic review of reviews in patellofemoral pain syndrome. Exploring the risk factors, diagnostic tests, outcome measurements and exercise treatment. *The Open Sports Medicine Journal.* 2015; 9:7-17.
- Miao P, Xu Y, Pan C, Liu H, Wang C. Vastus medialis oblique and vastus lateralis activity during a double-leg semisquat with or without hip adduction in patients with patellofemoral pain syndrome. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2015;16(1):289-96.
- Pietraszewski B, Struzik A. Evaluation of selected biomechanical parameters in female team sports players. *Acta Bioeng Biomech.* 2013;15(4):103-8.
- Cheung R, Smith A, Wong D. H:Q ratios and bilateral leg strength in college field and court sports players. *J Hum Kinet.* 2012;33:63-71.
- Kovačević E, Abazović E, Bradić J, Vrcić M. The predictive value of isokinetic assessment on the explosive strength of the lower extremities. *Homo Sporticus.* 2012;14(1):49-55.
- Nikolaidis PT, Alfonso J, Clemente-Suarez VJ, Alvarado JRP, Driss T, Knechtel B, et al. Vertical Jumping Tests versus Wingate Anaerobic Test in Female Volleyball Players: The Role of Age. *Sports.* 2016;4(9):1-7.
- Dalamitros A, Manou V, Christoulas K, Kellis S. Knee Muscles Isokinetic Evaluation after a Six-Month Regular Combined Swim and Dry-Land Strength Training Period in Adolescent Competitive Swimmers. *J Hum Kinet.* 2015;49(1):195-200.
- Huesa Jiménez F, García Díaz J, Vargas Montes J. Dinamometría isocinética. *Rehabilitación.* 2005;39(6):288-96.
- Lehnert M, Svoboda Z, Cuberek R. The correlation between isokinetic strength of knee extensors and vertical jump performance in adolescent soccer players in an annual training cycle. *Acta Univ Palacki Olomuc Gymn.* 2013;43(1):7-15.
- Koutras G, Bernard M, Terzidis IP, Papadopoulos P, Georgoulis A, Pappas E. Comparison of knee flexion isokinetic deficits between seated and prone positions after ACL reconstruction with hamstrings graft: Implications for rehabilitation and return to sports decisions. *J Sci Med Sport.* 2016;19:559-62.
- Śliwowski R, Jadczyk L, Hejna R, Wiecek A. The effects of individualized resistance strength programs on knee muscular imbalances in junior elite soccer players. *PLoS ONE.* 2015;10(12): e0144021.
- Tudisco C, Bisicchia S, Cosentino A, Chiozzi F, Piva M. Knee stability, athletic performance and sport-specific tasks in non-professional soccer players after ACL reconstruction: comparing trans-tibial and antero-medial portal techniques. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2015;3(3):175-80.
- Lockie RG, Schultz AB, Jeffriess MD, Callaghan SJ. The relationship between bilateral differences of knee flexor and extensor isokinetic strength and multi-directional speed. *Isokinet Exerc Sci.* 2012;20(3):211-9.
- Martínez López EJ. *Pruebas de aptitud física.* Barcelona. Paidotribo; 2002. p.133-8.
- Costa Mendes de Salles PG, Vieira do Amaral Vasconcellos F, Costa Mendes de Salles GF, Tavares Fonseca R, Martin Dantas EH. Validity and Reproducibility of the Sargent Jump Test in the Assessment of Explosive Strength in Soccer Players. *J Hum Kinet.* 2012; 33:115-21.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *Eur J Appl Physiol.* 1983;50:273-82.
- Sánchez-Sixto A, Flórida P. Efecto del entrenamiento combinado de fuerza y pliometría en variables biomecánicas del salto vertical en jugadoras de baloncesto. 2017, *Retos.* 2017;31:114-7.
- Jurado-Lavanant A, Fernández-García J, Pareja-Blanco F, Alvero-Cruz J. Efectos del entrenamiento pliométrico acuático vs. seco sobre el salto vertical. *Rev Int Med Cien Ac.* 2007;17(65):73-84.
- Behrens M, Mau-Moeller A, Mueller C, Heisea S, Gubea M, Beuster N, et al. Plyometric training improves voluntary activation and strength during isometric, concentric and eccentric contractions. *J Sci Med Sport.* 2016;19:170-6.
- Bosco C. *La fuerza muscular: aspectos metodológicos.* Barcelona. Inde. 2000. P. 95-116.
- Kim D, Hong J. Hamstring to quadriceps strength ratio and noncontact leg injuries: A prospective study during one season. *Isokin Exerc Sci.* 2011;19(1):1-6.
- Mehl J, Diermeier T, Herbst E, Imhoff AB, Stoffels T, Zantop T, et al. Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018;138: 51-61.
- Westman A Björnstig U. Injuries in Swedish skydiving. *Br J Sports Med.* 2007; 41(6):356-64.
- Knapik JJ, Steelman R, Grier T, Graham B, Hoedebecke K, Rankin S, et al. Military parachuting injuries, associated events, and injury risk factors. *Aviat Space Environ Med.* 2011; 82:797-804.
- Rice DA, McNair PJ, Lewis GN, Mannion J. Experimental knee pain impairs submaximal force steadiness in isometric, eccentric, and concentric muscle actions. *Arthritis Res Ther.* 2015;17(1):259-64.
- Skinner NE, Zelik KE, Kuo AD. Subjective valuation of cushioning in a human drop landing task as quantified by trade-offs in mechanical work. *J Biomech.* 2015; 48(10):1887-92.
- Iossifidou A, Baltzopoulos V, Giakas G. Isokinetic knee extension and vertical jumping: are they related? *J Sports Sci.* 2005;23(10):1121-7.
- Martínez-González-Moro I, Santonja-Medina F, Canteras-Jordana M. Fiabilidad de las valoraciones isocinéticas del cuádriceps e isquiosurales a diferentes velocidades. *Selección.* 2000; 9(1):17-23.
- Andrade MDS, De Lira CAB, Koffes FDC, Mascarin NC, Benedito-Silva AA, Da Silva AC. Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio: The influence of sport modality, gender, and angular velocity. *J Sports Sci.* 2012;30:547-53.
- Tsiokanos A, Kellis E, Jamurtas A, Kellis S. The relationship between jumping performance and isokinetic strength of hip and knee extensors and ankle plantar flexors. *Isokin Exerc Sci.* 2002;10(2):107-15.
- González-Ravé JM, Juárez D, Rubio-Arias JA, Clemente-Suarez VJ, Martínez-Valencia, MA, Abian-Vicen J. Isokinetic leg strength and power in elite handball players. *J Hum Kinet.* 2014; 41(1):227-33.
- Menzel HJ, Chagas MH, Szmuchowski LA, Araujo SR, de Andrade AG, de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(5):1370-7.
- Alemдарoğlu U. The relationship between muscle strength, anaerobic performance, agility, sprint ability and vertical jump performance in professional basketball players. *J Hum Kinet.* 2012;31:149-58.
- Xaverova Z, Dirnberger J, Lehnert M, Belka J, Wagner H, Orechovska K. Isokinetic strength profile of elite female handball players. *J Hum Kinet.* 2015;9(1):257-66.
- Ruas CV, Minozzo F, Pinto MD, Brown LE, Pinto RS. Lower-extremity strength ratios of professional soccer players according to field position. *J Strength Cond Res.* 2015;29: 1220-6.
- Laudner K, Evans D, Wong R, Allen A, Kirsch T, Long B, et al. Relationship between isokinetic knee strength and jump characteristics following anterior cruciate ligament reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10(3):272-80.
- Wilhelm EN, Radaelli R, da Silva BG, Botton, CE, Barbosa R, Bottaro M, et al. Single-joint isometric rate of torque development is not related to counter-movement jump performance in soccer players. *Isokin Exerc Sci.* 2013;21(3):181-6.
- Gantiraga E, Katartzis E, Komsis G, Papadopoulos C. Strength and vertical jumping performance characteristics in school-aged boys and girls. *Biol Sport.* 2006;23(4):367-78.
- Fukutani A, Misaki J, Isaka T. Effect of preactivation on torque enhancement by the stretch-shortening cycle in knee extensors. *PLoS one.* 2016;11(7), e0159058.
- Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Ath Train.* 2001; 36(4):378-83.