

Article

Estabilidad del Tronco, Fuerza del Tronco y Nivel de Rendimiento Deportivo en el Judo

David Barbado, Alejandro Lopez-Valenciano, Casto Juan-Recio, Carlos Montero-Carretero, Jaap H. Van Dieën y Francisco J. Vera-Garcia

Sport Research Centre, Miguel Hernández University, Elche, Spain

RESUMEN

Aunque la función muscular del tronco ha sido sugerida de ser un factor determinante del rendimiento del judo, su contribución al rendimiento de alto nivel en este deporte ha sido pobremente estudiada. Por lo tanto, se usaron varios tests para evaluar las diferencias en la función muscular del tronco entre 11 practicantes internacionales y 14 practicantes de nivel nacional de judo (judokas). Se evaluaron la fuerza y resistencia del tronco usando tests isocinéticos y estabilidad del core se evaluó usando dos protocolos: 1) carga súbita, para evaluar las respuestas del tronco a perturbaciones externas inesperadas; 2) sentada estable e inestable, para evaluar la capacidad de los participantes de controlar el equilibrio del tronco. Ninguna diferencia se encontró entre los grupos para la fuerza isocinética flexora del tronco, respuestas del tronco contra la carga lateral y posterior y control del tronco mientras uno está sentado. Sin embargo, los judokas de nivel internacional mostraron una fuerza isocinética de los músculos extensores del tronco significativamente superior ($p < 0.05$) y menor desplazamiento lateral del tronco después de una carga anterior del tronco ($p < 0.05$) que los judokas de nivel nacional. Pocas y bajas correlaciones significativas ($r < 0.512$) se encontraron entre la fuerza, la resistencia y los parámetros de estabilidad que indican que la fuerza y la resistencia del tronco no son factores limitantes para la estabilidad del tronco en los judokas competitivos. Estos resultados apoyan la importancia de la fuerza de los músculos extensores de tronco y la estabilidad del tronco contra perturbaciones frontales en el rendimiento del judo de élite.

INTRODUCCIÓN

El judo competitivo es un deporte de alta intensidad en el que los atletas constantemente están tirándose y empujándose con el oponente, realizando técnicas diferentes (empujes, agarres, ahogos, '*cross armbars*', etc.) [1-3]. Se ha reconocido que el judo es un deporte complejo con demandas que comprenden varias características específicas para lograr un nivel alto de competición.

La fuerza y resistencia del tren superior e inferior, la velocidad, la potencia anaeróbica y la función muscular del tronco se han señalado como factores importantes para tener éxito en la competición del judo [4, 5]. Con respecto a la función muscular del tronco, mejorando la fuerza y la resistencia del tronco permitiría a los practicantes del judo (los judokas) aumentar su capacidad para generar y mantener la fuerza a lo largo de una lucha. En suma, la estabilidad del '*core*' podría contribuir al rendimiento del judo ya que facilitaría la transmisión de fuerzas generadas por el tren inferior hacia el tren superior (y vice-versa) [6] durante las técnicas del judo y mejoraría el control del equilibrio [7], un factor clave para hacer frente a las perturbaciones causadas por el adversario [1-3].

Aunque creíble, la importancia de la función muscular del tronco al rendimiento del judo debería ser demostrada. En los estudios previos en la fuerza muscular del tronco, los judokas de nivel internacional y nacional muestran similar fuerza isocinética flexora y extensora [4], mientras que los judokas adultos y aficionados, muestran una superior fuerza isométrica de la extensión de cadera y flexión del tronco que los judokas juniors (sub-19 años) y cadetes (sub-16 años) [8]. En este estudio último, las diferencias entre los grupos pudieron, sin embargo, ser debido a la edad. Es más, ninguna relación entre la fuerza del tronco y nivel del rendimiento dentro de los grupos se encontró en este estudio [8]. Cuando se compararon los judokas y atletas de otros deportes, los judokas de élite mostraron una fuerza isocinética del tronco superior que los ciclistas [9]. Con respecto a la resistencia muscular del tronco, los judokas mostraron marcas de prueba al ejercicio abdominal [10-12] sobre el 80 percentil de los datos normativos [13]. Finalmente, los judoka de cinturón marrón y verde mostraron una superior estabilidad de todo el cuerpo contra perturbaciones posteriores súbitas que los atletas recreativos [14], pero no se encontró ninguna diferencia entre ambos grupos de judo, y la estabilidad del tronco no fue evaluada. A nuestro conocimiento, ningún otro estudio ha comparado a los judokas de diferentes niveles de rendimiento (por ejemplo, nivel recreativo vs nivel competitivo).

El objetivo de este estudio fue evaluar la relación entre el nivel de habilidad del judo y la función muscular del tronco. Específicamente, la fuerza isocinética y resistencia del tronco, respuestas del tronco a perturbaciones externas inesperadas y control del movimiento del tronco entre judokas de nivel competitivo nacional e internacional. En suma, las relaciones entre parámetros de la fuerza del tronco, la resistencia y la estabilidad, fueron examinados para entender mejor la función muscular del tronco en judokas competitivos.

Veinticinco judokas varones participaron voluntariamente en este estudio. Todos ellos eran cinturón negro con más de 7 años de experiencia y una frecuencia entrenamiento de 3-5 días por semana. Los judokas fueron divididos en dos grupos según su nivel: 14 judokas de nivel nacional (edad = 24.0 ± 8.5 años; años de práctica del judo = 14.1 ± 5.6 años; peso = 74.4 ± 9.9 kg; altura = 1.74 ± 0.07 m; momento de inercia del tronco = 5.0 ± 0.8 kg·m²); y 11 judokas de nivel internacional (edad = 24.5 ± 6.1 años; años de práctica del judo = 13.7 ± 6.1 años; peso = 75.2 ± 13.1 kg; altura = 1.72 ± 0.07 m; momento de inercia del tronco = 5.2 ± 1.2 kg·m²). Los judoka de nivel Internacional eran aquellos que habían sido seleccionados por el equipo nacional español para participar en los torneos internacionales en los 3 últimos años, o habían ganado una medalla en un torneo nacional. Todos los judokas de nivel nacional habían competido en los torneos nacionales pero no habían ganado medallas en éstos. Los participantes dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio e incluir sus imágenes en las figuras de este manuscrito. Los procedimientos experimentales usados en este estudio estaban de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fueron aceptados por la Oficina Universitaria para la Ética de la Investigación.

Se usaron varios tests para evaluar el rendimiento muscular del tronco. Se realizaron dos protocolos para evaluar los diferentes parámetros de estabilidad de tronco (en el siguiente orden): 1) *protocolo de carga súbita* para evaluar las respuestas del tronco a perturbaciones externas inesperadas en direcciones anterior, posterior y lateral (lado derecho). Se pusieron a los participantes en una posición sentada en una silla de madera que restringía el movimiento de la cadera dejando el tronco libre para moverse en todas las direcciones (Fig. 1). Un pistón neumático, atado a un arnés vía un tensor de cable de acero, tiraba con 4.2 barras de presión y 0.5 m/seg de velocidad para sobrecargar el tronco. El cable estaba horizontalmente alineado con el centro de masa del tren superior (referido más adelante como HAT) [15]. La magnitud y el *timing* de la perturbación fueron medidos usando una célula de carga (MLP-100, Transducer Techniques Inc, Temecula, CA, EE.UU.), adjunta al pistón y localizada en serie con el cable tensor y el arnés. Las señales de fuerza fueron amplificadas, y convertidas en A/D (16 bits de resolución sobre $\pm 5V$) a 1000 muestras/seg. El *biofeedback* de las células de carga era provisto para el investigador en tiempo real para mantener las fuerzas del participante constante (25-27.5 N) antes de la perturbación súbita. Se les pidió a los participantes que mantengan una postura neutra de la columna sin tirar de la célula de carga antes de la carga súbita y no responder voluntariamente a la perturbación. Se registró la cinemática del tronco a 200 muestras/ses con siete cámaras T10 del sistema de análisis de movimiento 3D Vicon (Vicon MX, Oxford, Reino Unido). Tres marcadores retro-reflexivos pasivos estaban adjuntos en las siguientes ubicaciones: una encima de la apófisis espinosa de la L5, y dos en el arnés, aproximadamente 2 y 4 cm a la derecha del centro HAT de la masa. Los datos fueron reconstruidos usando el software Nexu 1.8.2 (Vicon MX, Oxford, Reino Unido). Fueron aplicadas cinco perturbaciones súbitas al tronco en dirección anterior, posterior y lateral, con un minuto de pausa entre las pruebas y 5 minutos de descanso entre las direcciones. Cada perturbación tuvo lugar sin advertencias dentro de una ventana de tiempo de 15 segundos. Los participantes tenían una máscara para no ver. El orden de las direcciones de perturbación fue balanceado entre los participantes.

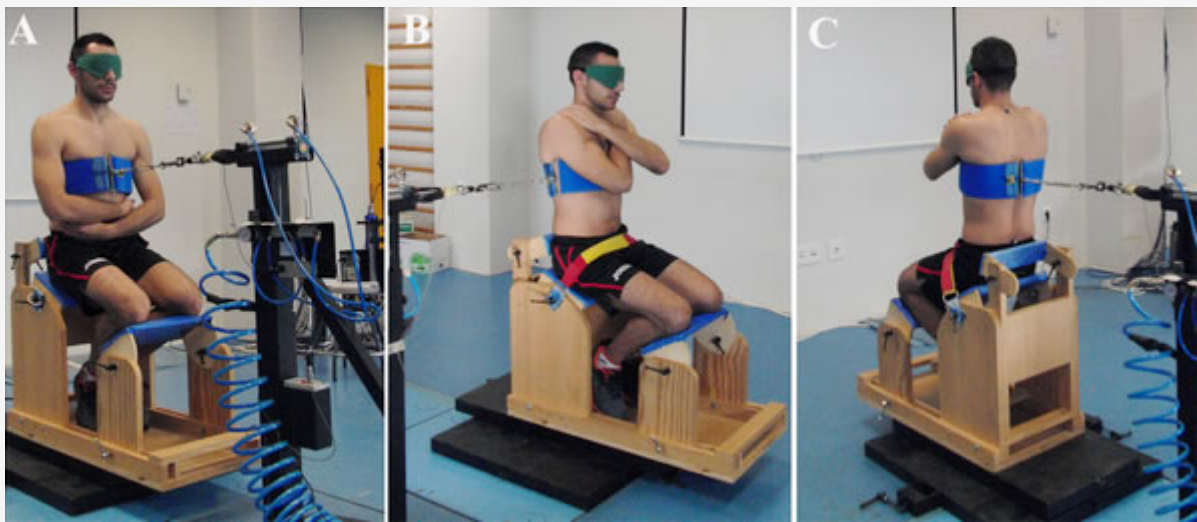


Figura 1. El armado del dispositivo para aplicar cargas usando un mecanismo de tironeo neumático en la dirección de carga 1A) posterior, 1B) anterior y 1C) lateral.

2) protocolo de sentarse en forma estable e inestable para evaluar la capacidad del participante de controlar la postura y el movimiento del tronco mientras está sentado. Los participantes realizaron diferentes tareas mientras estaban sentados en un asiento inestable o un asiento estable (Fig. 2). El asiento estable era una estructura de madera con apoyos de piernas y pies. El apoyo de los pies se ajustaba a cada participante (90° de flexión de rodillas) y las piernas del participante se ataban al asiento para impedir los movimientos del miembro inferior. El asiento de equilibrio era la misma estructura con un hemisferio de resina de poliéster atado al fondo (radio del hemisferio: 35 cm; la altura del asiento respecto al punto más bajo en el hemisferio: 12 cm). Los asientos eran puestos en una placa de fuerza (Kistler, Suiza, Modelo 9286AA) localizado a 0.9 m de altura sobre el suelo en una superficie rígida, estable y plana. La placa de fuerza se probó a 1000 muestras/seg. El *biofeedback* del desplazamiento del centro de presión (CoP) era provisto a los participantes en tiempo real (Fig. 2). En suma, un punto designado era presentado a los participantes en diversas pruebas, para evaluar la capacidad del sujeto de ajustar su posición del CoP a la ubicación de objetivo. Durante este protocolo, los participantes realizaron 2 pruebas estáticas y 3 pruebas dinámicas en ambos asientos. Una de las pruebas estáticas se realizó sin retroalimentación visual en la que se les pidió a los participantes que se sentaran su posición preferida de sentada; y la otra prueba se realizó con retroalimentación visual en la que se les dijo a los participantes que alinearan su posición del CoP con el punto designado localizado en el centro de la pantalla. Durante las pruebas dinámicas, (anterior-posterior, medio-lateral y circular, se les pidió a los participantes que rastrearan el blanco-objetivo que se movía sobre tres posibles trayectorias. Durante las condiciones dinámicas, la amplitud del desplazamiento del punto designado correspondió a un centro HAT del ángulo de inclinación de la masa de 4° . El punto designado tomaba 20 segundos para completar un ciclo (0.05 Hz). La duración de cada prueba era de 70 segundos y el período de descanso entre las pruebas era de 1 minuto. Los participantes realizaron cada prueba con los brazos cruzados en el pecho. En las condiciones inestables, todos los participantes pudieron mantenerse en posición sentada sin agarrarse de la barra de apoyo. El protocolo completo fue realizado dos veces y se dieron 2 minutos de práctica a los participantes antes del registro.

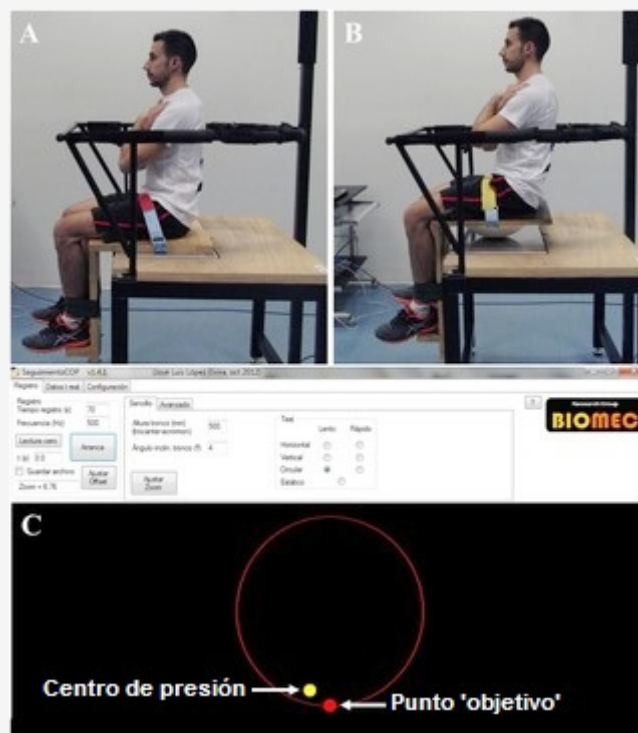


Figura 2. Participante realizando una tarea de sentado: 2A) en el asiento estable; 2B) en el asiento inestable; 2C) Proyección visual provista por retroalimentación del centro de presión de los participantes y un punto designado que se mueve por un trayecto circular.

El trayecto rojo es mostrado en este cuadro para clarificar la trayectoria, pero no fue presentado al sujeto durante la prueba.

Después de las medidas de estabilidad, un protocolo isocinético del tronco se llevó a cabo en un dinamómetro isocinético Biodex® (Model 2000, Multi-joint System 4 Pro, Biodex Corporation, Shirley, NY, EE.UU.) para evaluar la fuerza y resistencia del tronco. Se sentaban a los participantes en posición dual de extensión/flexión del dinamómetro isocinético Biodex® (Fig. 3). El tronco del participante se ponía recto con las caderas y rodillas flexionadas a 90°, los muslos paralelos al suelo y el eje de rotación del dinamómetro alineado con una línea imaginaria que une las espinas iliacas superiores anteriores. Esta fue considerada la posición anatómica de referencia [16]. A fin de fijar al participante al dinamómetro y asegurar la confiabilidad del protocolo, se pusieron almohadillas ajustables detrás de la cabeza, el sacro y el tronco superior y en la cara anterior de la tibia; además, la parte superior del tronco, los muslos y la pelvis fueron fijadas con sujeciones de Velcro. El test isocinético consistió en cuatro series de 15 esfuerzos de flexión y extensión del tronco concéntricas máximas consecutivas a 120°/seg. Esta velocidad de flexión-extensión fue escogida porque se considera que es segura [17] y fiable para medir el trabajo mecánico [18]. En cada serie, el movimiento empezaba en dirección de la flexión y una pausa de 1 minuto era determinada entre las series. Se les dijo a los participantes que mantuvieran sus manos y brazos cruzados en el pecho y se los alentó fuertemente a lo largo del test. El rango de movimiento del tronco se limitó a 50° (Fig. 3), es decir, de 30° de flexión del tronco (-30°) a 20° de extensión del tronco (+20°) respecto a la posición anatómica de referencia (0°).

Según Grabiner y cols. (1990), los rangos de movimiento del tronco de no más que 50° aíslan el movimiento lumbar, evitando la flexión-extensión de la cadera. En suma, la ubicación del eje de rotación del dinamómetro al nivel de la espina iliaco superior anterior, y el uso de la almohadilla detrás del sacro y la sujeción en la pelvis, el movimiento de la cadera era minimizado durante el test.

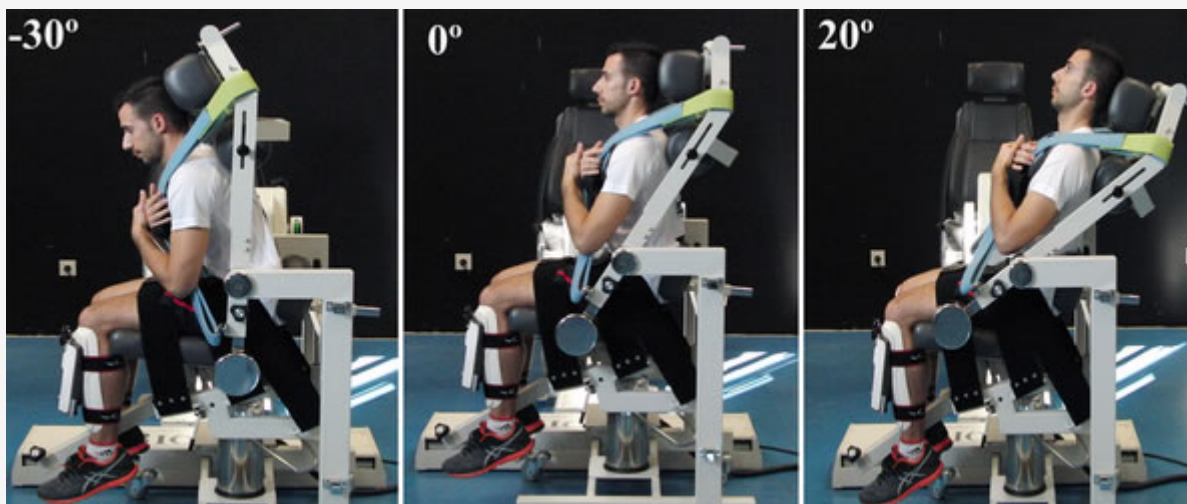


Figura 3. El participante realizando esfuerzos de flexión-extensión máximos sobre el dinamómetro isocinético a lo largo de un rango de movimiento del tronco de 50°: -30° flexión del tronco máxima; 0° posición anatómica de referencia; +20° extensión del tronco máxima.

Antes de la evaluación, los participantes realizaron un precalentamiento que consistió en 5 minutos de pedaleo a 75 rpm en una bicicleta estacionaria (Bike Excite Med Technogym), 2 series de 15 flexiones abdominales y 2 series de 15 extensiones en una silla romana. Una pausa de 30 segundos fue determinada entre las series. Cada sesión de medición duró aproximadamente 2 horas.

Para caracterizar la respuesta a los momentos de carga súbita aplicada al torso, el desplazamiento lateral del tronco máximo ($\theta_{\text{máximo}}$), rigidez (K) y amortiguamiento (β) fue calculado según Cholewicki y cols. [19].

Para estimar K y β , el tronco fue representado como un sistema de segundo orden con propiedades viscoelásticas, oscilando libremente después de una perturbación súbita [19]. En nuestros datos, los parámetros K y β tuvieron el error más bajo y la confiabilidad más alta cuando se analizaron 22 puntos de datos (110 milisegundos). Por lo tanto, teniendo en cuenta que las respuestas voluntarias normalmente no ocurren en los primeros 120-150 milisegundos [20] después de una perturbación, K y β se obtuvieron a partir del método anterior que representa una rigidez eficaz y un amortiguamiento que combina propiedades del músculo intrínsecas y respuestas reflejas [19]. El $\theta_{\text{máximo}}$, K y β fueron promediados sobre las mejores pruebas con los valores $\theta_{\text{máximos}}$ más bajos de cada dirección

Para cuantificar el control del tronco durante las pruebas de sentado, nosotros usamos el error radial promedio (MRE). El MRE era calculado como el promedio de la magnitud de la distancia del vector (mm) del CoP desde el punto designado o de la propia posición del CoP promedio del participante [21] para las pruebas con y sin la retroalimentación visual, respectivamente. La mejor de dos pruebas realizadas para cada condición (MRE más bajo) fue usada para los análisis estadísticos subsecuentes.

Para evaluar la fuerza, el torque pico (PT, *peak torque*) fue determinado para cada serie y luego los tres PT más altos se promediaron tanto para la dirección de la flexión como de la extensión. En suma, en base a Mayer y cols. [22], la relación de la cantidad más alta de trabajo registrado en cualquiera de las repeticiones de prueba y el trabajo promedio realizado en las tres repeticiones últimas del test (última relación de fatiga) fue usada para evaluar la resistencia de flexión y extensión del tronco.

Las estadísticas descriptivas (promedio y desviación estándar) fueron calculadas para cada una de las variables. La normalidad de los datos fue examinada usando la estadística de Kolmogorov-Smirnov. Los análisis de las medidas independiente de sentido único de covarianza (ANCOVAs) fueron realizados para investigar las diferencias entre los grupos para todas las variables. La masa corporal de los participantes se usó como la covariante (donde era aplicable) para asegurarse la diferencia entre los grupos que no era influenciada por la antropometría. Se realizaron ANOVAs cuando la masa corporal de los participantes no mostraba un efecto significativo como covariante. Los cuadrados parciales eta (η^2) fueron calculados como la medida del tamaño del efecto. El coeficiente de correlación de Pearson (r) fue usado para analizar la relación entre la fuerza y resistencia del tronco, y las variables de estabilidad. Todos los análisis se realizaron con el software SPSS (versión 18, SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.) con un nivel de significancia seleccionado a $p < 0.05$

RESULTADOS

Los grupos no eran significativamente diferentes con respecto a la edad, años de práctica del judo, altura, masa corporal y momento de inercia del tronco. Con respecto a los parámetros de carga súbita (Tabla 1), los judokas internacionales demostraron bajo θ_{\max} que los atletas de nivel nacional en la dirección anterior (de frente). En suma, los judokas de nivel internacional tendieron a mostrar un K superior y bajo β contra la carga anterior, pero estas diferencias sólo eran casi significativas (K : $F = 4.194$, $p = 0.052$; β : $F = 3.906$, $p = 0.060$). Como puede verse en la Tabla 1, no se encontró ninguna diferencia entre los grupos en el control del movimiento del tronco en las condiciones de sentado estable e inestable. Por otro lado, los judokas de nivel internacional mostraron un PT superior durante los esfuerzos de extensión que los judokas de nivel nacional (Tabla 1). Sin embargo, no se observó ninguna diferencia significativa entre los grupos en las variables de la fuerza de flexión (Tabla 1). Finalmente, acerca de la resistencia del tronco, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los grupos en la relación de fatiga final durante los esfuerzos de flexión y extensión (Tabla 1).

Tabla 1. Diferencias entre judokas de nivel nacional e internacional para parámetros de estabilidad del tronco obtenidos durante protocolos de carga súbita y de sentado y fuerza isocinética y resistencia del tronco.

Protocolos	Variables	Nacional (n = 14)	Internacional (n = 11)	F	p	η^2	
Protocolo de carga súbita	θ_{\max}	Anterior*	0.0981 ± 0.0184	0.0850 ± 0.0115	4.921	.037	.183
		Lateral	0.0685 ± 0.0154	0.0642 ± 0.015	.482	.494	.021
		Posterior	0.1990 ± 0.0224	0.1994 ± 0.0152	.001	.973	.000
	K	Anterior	1364.9 ± 342.9	1783.6 ± 662.8	4.194	.052	.154
		Lateral	1092.5 ± 343.8	1189.6 ± 379.8	.448	.510	.019
		Posterior	584.2 ± 104.2	587.7 ± 155.6	.005	.946	.000
	β	Anterior	334.7 ± 87.9	448.5 ± 192.0	3.906	.060	.145
		Lateral	687.5 ± 336.7	869.5 ± 336.7	2.576	.122	.101
		Posterior	100.9 ± 32.1	77.3 ± 38.2	2.848	.105	.110
Protocolo de sentado	MRE	SSNF	0.99 ± 0.36	0.98 ± 0.39	.007	.936	.000
		SSWF	0.76 ± 0.48	0.74 ± 0.23	.023	.882	.001
		SSML	2.38 ± 0.78	2.31 ± 0.41	.073	.789	.003
		SSAP	2.17 ± 0.44	2.13 ± 0.39	.052	.822	.002
		SSCD	3.42 ± 1.49	3.21 ± 0.68	.176	.679	.008
		USNF	5.68 ± 1.85	5.65 ± 1.83	.001	.970	.000
		USWF	4.87 ± 1.21	5.11 ± 1.56	.185	.671	.008
		USML	7.59 ± 2.19	7.01 ± 1.98	.466	.501	.020
		USAP	6.89 ± 1.25	7.11 ± 1.82	.123	.729	.005
		USCD	8.48 ± 1.61	8.81 ± 3.64	.096	.759	.004
Protocolo isocinético	PT	Extension*	399.1 ± 59.6	460.4 ± 62.9	9.372	.006	.299
		Flexion*	228.2 ± 25.0	212.1 ± 28.6	3.844	.063	.149
	FFR	Extension	76.6 ± 10.6	70.8 ± 11.6	1.682	.208	.068
		Flexion	62.3 ± 8.4	65.6 ± 9.2	.850	.366	.036

ANOVA de medidas independientes con el factor entre-sujetos con 2 niveles (nacional e internacional).

* El ANOVA de medidas independientes mide se realizó usando la masa corporal del participante como la covariante.

PT = torque pico (N·m); FFR = relación de fatiga última o final (%).

θ_{\max} (rad) = desplazamiento lateral del tronco; K (N·m/rad) = coeficiente de rigidez del tronco; β (N·m·seg/rad) = coeficiente de amortiguamiento del tronco.

MRE = error radial promedio (mm). Condiciones de sentado del tronco: sentado estable sin retroalimentación (SSNF); sentado estable con retroalimentación (SSWF); sentado estable realizando desplazamientos medio-laterales con retroalimentación (SSML); sentado estable realizando desplazamientos anterior-posteriores con retroalimentación (SSAP); sentado estable realizando desplazamientos circulares con retroalimentación (SSCD); sentado inestable sin retroalimentación (USNF); sentado inestable con retroalimentación (USWF); sentado inestable realizando desplazamientos medio-laterales con retroalimentación (USML); sentado inestable realizando desplazamientos anterior-posteriores con retroalimentación (USAP); sentado inestable realizando los desplazamientos circulares con retroalimentación (USCD).

El análisis de correlación (Tabla 2) mostró pocas correlaciones significativas entre la fuerza, resistencia y parámetros de estabilidad, todos ellos debajo de 0.512 y no siempre en la misma dirección.

Tabla 2. Correlaciones de fuerza y resistencia del tronco con parámetros de estabilidad del tronco obtenidos durante protocolos de carga súbita y de sentado

Protocolos	Variables		Fuerza (PT)		Resistencia (FFR)	
			Extensión	Flexión	Extensión	Flexión
			<i>r</i> (<i>p</i> -valor)	<i>r</i> (<i>p</i> -valor)	<i>r</i> (<i>p</i> -valor)	<i>r</i> (<i>p</i> -valor)
Protocolo de carga súbita	θ_{max}	Anterior	-0.419 (.037)	-0.052 (.807)	.259 (.210)	-.207 (.320)
		Lateral	-0.058 (.784)	-0.011 (.958)	.090 (.669)	-.006 (.979)
		Posterior	-0.466 (.019)	-.281 (.173)	.289 (.160)	-.153 (.466)
	K	Anterior	.266 (.198)	-.037 (.862)	-.003 (.989)	.363 (.075)
		Lateral	.269 (.193)	.511 (.009)	-.298 (.148)	.094 (.654)
		Posterior	.385 (.057)	.221 (.289)	-0.417 (.038)	.218 (.296)
	β	Anterior	.264 (.202)	-.053 (.800)	-0.431 (.032)	.341 (.096)
		Lateral	.096 (.649)	-.312 (.129)	.246 (.236)	-.326 (.111)
		Posterior	-.078 (.711)	.274 (.185)	-.380 (.061)	.204 (.328)
Protocolo de sentado	MRE	SSNF	.018 (.931)	.083 (.693)	-.086 (.684)	.217 (.297)
		SSWF	-.163 (.435)	-.091 (.664)	-.115 (.584)	.095 (.652)
		SSML	.028 (.893)	.077 (.713)	-.071 (.737)	.236 (.257)
		SSAP	-.254 (.220)	-.132 (.530)	-.295 (.153)	.451 (.024)
		SSCD	.014 (.946)	.103 (.625)	-.188 (.369)	.068 (.745)
		USNF	.137 (.513)	.069 (.742)	.025 (.904)	-.049 (.816)
		USWF	.086 (.684)	-.080 (.704)	.173 (.409)	-.153 (.467)
		USML	-.140 (.503)	-.004 (.986)	.116 (.581)	-.140 (.506)
		USAP	.154 (.462)	-.055 (.795)	-.080 (.704)	-.098 (.641)
USCD	.157 (.454)	.033 (.874)	-.203 (.330)	-.052 (.807)		

PT = torque pico (N·m); FFR = relación de fatiga última o final (%).

θ_{max} (rad) = desplazamiento lateral del tronco; K (N·m/rad) = coeficiente de rigidez del tronco; β (N·m·seg/rad) = coeficiente de amortiguamiento del tronco.

MRE = error radial promedio (mm). Condiciones de sentado del tronco: sentado estable sin retroalimentación (SSNF); sentado estable con retroalimentación (SSWF); sentado estable realizando desplazamientos medio-laterales con retroalimentación (SSML); sentado estable realizando desplazamientos anterior-posteriores con retroalimentación (SSAP); sentado estable realizando desplazamientos circulares con retroalimentación (SSCD); sentado inestable sin retroalimentación (USNF); sentado inestable con retroalimentación (USWF); sentado inestable realizando desplazamientos medio-laterales con retroalimentación (USML); sentado inestable realizando desplazamientos anterior-posteriores con retroalimentación (USAP); sentado inestable realizando los desplazamientos circulares con retroalimentación (USCD).

DISCUSIÓN

Aunque se ha indicado que el fitness de la musculatura del 'core' es un factor principal en el rendimiento del judo de alto nivel [4, 5] hay evidencia empírica limitada para apoyar esto. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar diferencias de la fuerza del core, la resistencia y la estabilidad entre judokas de alto nivel y de medio nivel, que compiten respectivamente en niveles internacionales y nacionales. El mayor hallazgo fue que los judokas de nivel internacional mostraron una fuerza de extensión isocinética superior y mejores respuestas (desplazamiento lateral del tronco inferior) después de la carga súbita al tronco en la dirección anterior (de frente) que los judokas de nivel nacional.

Nuestros resultados apoyan la noción de que la fuerza del core es un factor determinante del rendimiento del judo de alto nivel. Específicamente, los judokas de nivel internacional mostraron un torque pico de los músculos extensores de tronco más alto que los nacionales (Tabla 1). Estos resultados no apoyan los resultados previos de Iwai y cols. en los que ninguna diferencia se encontró en la fuerza extensión y flexión isocinética del tronco entre los judokas japoneses internacionales

(JJOO) y los judokas japoneses de nivel nacional. Sin embargo, es notable que en nuestro estudio, los judokas de nivel internacional mostraron una superior fuerza isocinética de los músculos extensores de tronco (el promedio del PT respecto a la masa corporal a contracciones concéntricas a 120°/seg: 6.2 N·m/kg) que en el estudio de Iwai y cols. (el promedio del PT respecto a la masa corporal a contracciones concéntricas a 120°/seg: 5.5 N·m/kg) que puede ser la razón para las diferencias encontradas entre los estudios. La importancia de los músculos extensores del tronco estaría en línea con declaraciones previas de que los músculos anti-gravedad son muy intensivamente utilizados durante la mayoría de los empujes en el judo [23]. Específicamente, los músculos extensores del tronco juegan un rol principal rompiendo el equilibrio del oponente durante técnicas de empuje frontales en los que los judokas deben desequilibrar a sus adversarios, moviendo el centro de masa del oponente en la dirección hacia adelante y ascendente [24]. La alta fuerza de los músculos extensores de tronco también podría asociarse con la necesidad de mantener la posición recta en la posición de guardia (mientras de cubre con las perturbaciones de tironeo continuas por el adversario) para evitar tanto la caída como las multas arbitrales por una postura defensiva excesivamente flexionada. Es importante resaltar que durante la competición de alto nivel, las multas pueden ser un factor clave en las victorias; por ejemplo, durante los Juegos olímpicos en Atlanta, las sanciones de los árbitros fueron el segundo factor decisivo en las victorias [25].

Respecto a la estabilidad del 'core', los judokas de nivel internacional mostraron un desplazamiento angular del tronco inferior y tendieron a mostrar una mayor rigidez del tronco y amortiguamiento después de la carga súbita anterior que los judokas de nivel nacional, pero ninguna diferencia se encontró después de la carga lateral y posterior (Tabla 1). Las mejores respuestas en los judokas de nivel internacional después de la carga anterior podría explicarse por las mismas ideas presentadas sobre el mantenimiento de una posición recta contra las perturbaciones de tironeo del oponente. Teniendo en cuenta que la ventana de tiempo después de que las perturbaciones usadas en nuestro análisis era de 110 milisegundos, nuestros resultados podrían relacionarse con el esfuerzo que los judokas hacen para mantener el equilibrio durante la fase de ruptura del equilibrio de las técnicas de empujes hacia adelante, que ocurren dentro de los primeros 150 milisegundos de estos empujes [24]. El menor desplazamiento del tronco de los judokas de nivel internacional después de que la carga anterior fue asociado con una tendencia hacia una alta rigidez y amortiguamiento del tronco. Es importante remarcar que la rigidez y el amortiguamiento del tronco no sólo pueden reflejar las propiedades de los tejidos pasivos, pero también el control reflexivo activo de la postura. En este sentido, el mayor amortiguamiento en los judokas internacionales podría relacionarse a una capacidad superior para disipar las fuerzas de perturbación que son normalmente aplicadas por el adversario con la intención de causar una reacción en la dirección opuesta para perturbar el equilibrio del oponente [26]. Sin embargo, la diferencia en el amortiguamiento y la rigidez del tronco entre los grupos no alcanzó la significancia, con lo cual más investigación es necesaria para confirmar esta hipótesis.

Considerando los resultados de la fuerza y de la estabilidad juntos, la fuerza de los músculos extensores del tronco y la estabilidad contra la carga anterior (de frente) del tronco podrían ser factores importantes para evitar las perturbaciones de los tironeos de los oponentes. Sin embargo, las pocas correlaciones significativas encontradas entre estas variables (Tabla 2) indican que ambas son rasgos diferentes de la función muscular del tronco, lo cual deben entrenarse específicamente en el judo competitivo.

Con respecto a la prueba de equilibrio al estar sentado, podría ser considerado un test no específico para evaluar la estabilidad del 'core' en los judokas dada la postura en la cual el test se realiza y la superficie inestable usada en parte del protocolo. La falta de diferencias entre los grupos (Tabla 1) apoya los resultados previos de Barbado y cols. [27] en los que los judokas competitivos obtuvieron mejores resultados que kayakistas competitivos y atletas recreativos sólo en un protocolo de carga súbita, pero ellos no obtuvieron mejores resultados en un test de sentado inestable en los que los kayakistas mostraron las mejores marcas. Éstos y nuestros resultados indicaron que tests de estabilidad del 'core' necesitan ser diseñados para reflejar demandas específicas deportivas.

Respecto a la resistencia isocinética de la extensión y flexión del tronco, ninguna diferencia se observó entre los grupos (Tabla 1). Aunque los estudios previos han acentuado la importancia de la resistencia anaeróbica y la resistencia del tronco para el rendimiento en el judo, [10-12, 28, 29] nuestros resultados parecen indicar que la fatiga muscular local del tronco es un factor limitante en la competición del judo de alto nivel. Sin embargo, un estudio previo en ese protocolo isocinético demostró que la confiabilidad absoluta y relativa de la relación de la fatiga final era moderada [30], y por lo tanto, la comparación entre los grupos para esta variable debe interpretarse cuidadosamente.

Con respecto al análisis de correlación, las pocas y pequeñas correlaciones significativas encontradas (Tabla 2) indican que la fuerza y la resistencia del tronco no son un factor limitante para la estabilidad del tronco en esta población. Sin embargo, en nuestro estudio las respuestas del tronco contra las perturbaciones súbitas se evaluaron contra una única magnitud de carga submáxima y en una condición de no fatiga. Los estudios futuros deben evaluar la relación entre estas variables sobre un más amplio rango de perturbaciones y en condiciones de fatiga y no fatiga.

El presente estudio presenta algunas limitaciones que podrían sesgar los resultados presentados anteriormente y sus interpretaciones. Aunque el tamaño de la muestra no era pequeño de acuerdo al alto nivel deportivo de los judokas, más

estudios son necesarios para generalizar nuestros resultados. En suma, los aspectos del rendimiento muscular del tronco que no se diferenciaron entre los grupos en el estudio actual, pueden ser todavía importantes para el rendimiento del judo y serían, por ejemplo, diferente entre los judokas recreativos y los judokas competitivos. En este sentido, para obtener un mejor conocimiento del rendimiento muscular del tronco en los judokas competitivos, los estudios futuros deben evaluar la relación entre los parámetros del tronco y las habilidades específicas del judo, en lugar de criterios de deportivo deportivos globales (es decir, *ránking*, nivel de competición, etc.), lo cual puede estar influenciado fuertemente por muchas variables. Es más, como varias capacidades físicas son necesarias para tener éxito en la competición del judo, los futuros estudios sobre la función muscular del tronco deben incluir la valoración de la mayoría de estas capacidades físicas (por ejemplo, fuerza del tren superior e inferior, velocidad, potencia anaeróbica, etc.) y explorar sus interacciones y su influencia sobre el rendimiento del judo. Finalmente, mucha más investigación es necesaria evaluar las respuestas voluntarias de los judokas contra cargas esperadas e inesperadas del tronco, ya que considerar estas demandas deportivas podría ser pertinente al rendimiento del judo.

CONCLUSIONES

El presente estudio examinó las diferencias en la fuerza del *core*, la resistencia y la estabilidad entre judokas competitivos de nivel internacional y nacional. Los judokas de nivel internacional presentaron mejor fuerza de los músculos extensores del tronco y mejores respuestas después de una carga súbita del tronco en dirección anterior (de frente) que los judokas de nivel nacional, indicando que estas variables deben ser consideradas componentes claves de los programas de entrenamiento para atletas de judo de élite. Sin embargo, aunque ciertos niveles de resistencia muscular del tronco y control del equilibrio del tronco son indudablemente necesarios para entrenarse y competir en el judo, no parecen representar un factor limitante del rendimiento del judo de élite, ya que ninguna diferencia se encontró en estas variables entre los judokas de nivel internacional y nacional. Finalmente, la falta de correlaciones significativas entre la fuerza, la resistencia y los parámetros de estabilidad del tronco, indican que el rendimiento de estabilidad de tronco no es limitado por la fuerza del tronco y/o resistencia en condiciones de evaluación.

Agradecimientos

Este estudio fue posible por el apoyo financiero de: Ministerio de Ciencia e Innovación (Plan Nacional de I+D+I; ref.: DEP2010-16493), España; Conselleria de Educación de la Generalitat Valenciana (Ref.: ACOMP/2011/130), España. También, nos gustaría reconocer la ayuda de Diego López-Plaza durante la adquisición de datos.

Cita: Barbado D, Lopez-Valenciano A, Juan-Recio C, Montero-Carretero C, van Dieën JH, Vera-Garcia FJ (2016) Trunk Stability, Trunk Strength and Sport Performance Level in Judo. *PLoS ONE* 11(5): e0156267.

Editor: David B. Allison, University of Alabama at Birmingham, UNITED STATES

Received: February 12, 2016; **Accepted:** May 11, 2016; **Published:** May 27, 2016

Intereses de competencia: Los autores han declarado que ningún interés de competencia existe.

REFERENCIAS

1. Yoshitomi SK, Tanaka C, Duarte M, Lima F, Morya E, Hazime F. (2006). Respostas posturais à perturbação externa inesperada em judocas de diferentes níveis de habilidade. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2006;12:159-63.
2. Perrot C, Deviterne D, Perrin P. (1998). Influence of Training on Postural and Motor Control in a Combative Sport. *Journal of Human Movement Science*. 1998;35(3):37.
3. Perrin P, Deviterne D, Hugel F, Perrot C. (2002). Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait & posture*. 2002;15(2):187-94.
4. Iwai K, Okada T, Nakazato K, Fujimoto H, Yamamoto Y, Nakajima H. (2008). Sport-specific characteristics of trunk muscles in collegiate wrestlers and judokas. *Journal of strength and conditioning research*. 2008;22(2):350-8.
5. Franchini E, Del Vecchio FB, Matsushige KA, Artioli GG. (2011). Physiological profiles of elite judo athletes. *Sports Medicine*. 2011;41(2):147-66.
6. Kibler WB, Press J, Sciascia A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine*. 2006;36(3):189-98.
7. van Dieën JH, Luger T, van der Eb J. (2012). Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(4):1307-13.
8. Lech G, Chwala W, Ambrozny T, Sterkowicz S. (2015). Muscle torque and its relation to technique, tactics, sports level and age group in judo contestants. *Journal of Human Kinetics*. 2015;45:167-75.

9. Kort HD, Hendriks ER. (1992). A comparison of selected isokinetic trunk strength parameters of elite male judo competitors and cyclists. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1992;16(2):92-6.
10. Taylor AW, Brassard L. (1981). A physiological profile of the Canadian judo team. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 1981;21(2):160-4.
11. Krstulovic S, Zuvella F, Katic R. (2006). Biomotor systems in elite junior judoists. *Collegium Antropologicum*. 2006;30(4):845-51.
12. Thomas SG, Cox MH, LeGal YM, Verde TJ, Smith HK. (1989). Physiological profiles of the Canadian National Judo Team. *Canadian journal of Sport Sciences*. 1989;14(3):142-13. Heyward VH. *Advanced fitness assessment and exercise prescription*. 6th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2010. xiii, 465 p. p.
14. Yoshitomi SK, Tanaka C, Duarte M, Lima F, Morya E, Hazime F. (2006). Postural responses to unexpected external perturbation in judoists of different ability levels. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2006;12(3):159-63.
15. Winter DA. (1990). Biomechanics and motor control of human movement. 2nd ed. New York: Wiley; 1990. 277 p.
16. Grabiner MD, Jeziorowski JJ, Divekar AD. (1990). Isokinetic measurements of trunk extension and flexion performance collected with the biodex clinical data station. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1990;11(12):590-8.
17. Watkins MP, Harris BA. (1983). Evaluation of isokinetic muscle performance. *Clinics in Sports Medicine*. 1983;2(1):37-53.
18. Langrana NA, Lee CK, Alexander H, Mayott CW. (1984). Quantitative assessment of back strength using isokinetic testing. *Spine*. 1984;9(3):287-90.
19. Cholewicki J, Simons AP, Radebold A. (2000). Effects of external trunk loads on lumbar spine stability. *Journal of Biomechanics*. 2000;33(11):1377-85.
20. Dort JA, Dickey JP, Potvin JR. (2013). Trunk muscle contributions of to L4-5 joint rotational stiffness following sudden trunk lateral bend perturbations. *Journal of Electromyography and Kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 2013;23(6):1334-42.
21. Hancock GR, Butler MS, Fischman MG. (1995). On the Problem of Two-Dimensional Error Scores: Measures and Analyses of Accuracy, Bias, and Consistency. *Journal Motor Behaviour*. 1995;27(3):241-50.
22. Mayer T, Gatchel R, Betancur J, Bovasso E. (1995). Trunk muscle endurance measurement. *Isometric contrasted to isokinetic testing in normal subjects*. *Spine*. 1995;20(8):920-6; discussion 6-7.
23. Imamura R, Johnson B. (2003). A kinematic analysis of a judo leg sweep: major outer leg reap—osoto-gari. *Sports Biomechanics*. 2003;2(2):191-201.
24. Imamura RT, Hreljac A, Escamilla RF, Edwards WB. (2006). A three-dimensional analysis of the center of mass for three different judo throwing techniques. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2006;5(Cssi):122-31.
25. Franchini E, Sterkowicz S. (2000). Techniques used by judoists during the World and Olympic tournaments 1995-1999. *Human Movement*. 2000;2(2):23-33.
26. Margnes E, Paillard T. (2011). Teaching balance for judo practitioners. *Ido Mov Culture Journal Martial Arts Anthropometrics*. 2011;11:42-6.
27. Barbado D, Barbado LC, Elvira JL, van Dieën JH, Vera-Garcia FJ. (2016). Sports-specific testing protocols are required to reveal trunk stability adaptations in high-level athletes. *Gait & Posture*. 2016;(In review).
28. Azevedo PH, Drigo AJ, Carvalho MC, Oliveira JC, Nunes JE, Baldissera V, et al. (2007). Determination of judo endurance performance using the uchi—komi technique and an adapted lactate minimum test. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2007;6(CSSI-2):10-4.
29. Franchini E, Yuri Takito M, Yuzo Nakamura F, Ayumi Matsushigue K, Peduti Dal'Molin Kiss MA. (2003). Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and on performance in an intermittent anaerobic task. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2003;43(4):424-31.
30. Juan-Recio C, Lopez-Plaza D, Barbado D, Garcia-Vaquero MP, Vera-Garcia FJ. (2016). Reliability and relationship of an isokinetic and two field tests to assess trunk muscle performance. *Journal of strength and conditioning research*. 2016; (In press).

Cita Original

Barbado D, Lopez-Valenciano A, Juan-Recio C, Montero-Carretero C, van Dieën JH, Vera-Garcia FJ (2016) Trunk Stability, Trunk Strength and Sport Performance Level in Judo. PLoS ONE 11(5): e0156267. doi:10.1371/journal.pone.0156267