PubliCE, (PubliCE) 2009

Monograph

Adaptaciones Arteriales Inducidas por el Ejercicio en Judocas de Elite

Panagiotis Baltopoulos, Panagiotis Karagounis, María Maridaki, Xenofon Papaharalampous y Giorgos Prionas

Laboratory of Functional Anatomy and Sports Medicine, Department of Physical Education and Sports Science, Kapodestrian University of Athens, Greece.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue evaluar las adaptaciones arteriales inducidas por el ejercicio en judocas de elite masculinos y femeninos. En el presente estudio participaron 27 judocas varones (edad 24.06 ± 2 años), 11 judocas mujeres (edad 24.27 ± 1 años), 27 hombres (edad 24.01 ± 2 años) y 11 mujeres (edad 24.21 ± 1 años) sedentarios y saludables. Los vasos examinados incluyeron las arterias braquial, radial, cubital, poplítea, tibial anterior y posterior. Los parámetros experimentales se registraron mediante la utilización de ultrasonido dúplex en reposo. Se halló que tanto el diámetro diastólico como la velocidad promedio del flujo sanguíneo de las arterias examinadas en los atletas de judo eran significativamente mayores ($p < 0.05$) en comparación con los grupos de control. En los atletas de judo masculinos la arteria braquial ($p < 0.001$), la radial ($p < 0.001$) y la tibial anterior ($p < 0.001$) presentaron la mayor diferencia en el diámetro diastólico, en comparación con el grupo de control masculino. En las atletas de judo femeninas, las arterias cubital ($p < 0.001$), radial ($p < 0.001$) y braquial ($p < 0.001$) pusieron de manifiesto la mayor diferencia en el diámetro diastólico. La mayor velocidad promedio de flujo sanguíneo se registró en las arterias cubital ($p < 0.001$) y poplítea ($p < 0.001$) de los grupos de atletas de judo. Al registrar diferencias entre los dos géneros, los participantes hombres presentaron arterias más grandes que las mujeres. En conclusión, se halló que el judo es un deporte altamente demandante, que implica que los miembros superiores e inferiores acaben en significativas adaptaciones arteriales. La obtención de los parámetros vasculares brinda una herramienta útil para el equipo médico, no sólo en dirección a la mejora de la eficacia del entrenamiento físico, sino también en parámetros hasta ahora desconocidos que pueden influenciar el rendimiento atlético de los judocas de elite masculinos y femeninos.

Palabras Clave: diámetro diastólico, velocidad promedio de flujo sanguíneo, sonografía dúplex, atletas de judo

INTRODUCCION

Numerosos estudios han intentado cuantificar lo que los estudios genéticos previos (Bloor, 2005; Giannattasio et al., 1992; Green et al., 2004; Huonker et al., 2003; Maiorana et al., 2003; Naylor et al., 2006; Sandgren et al., 1999) han investigado el campo de las adaptaciones vasculares inducidas por el ejercicio. Sin embargo, existen diferencias en los métodos y las características utilizadas en estos estudios (Kasikcioglu et al., 2005; Miyachi et al., 1998). Los cambios vasculares son provocados por el flujo volumétrico sanguíneo ampliado producido por el entrenamiento físico a través de un incremento en el estrés de corte endotelial. Los conocimientos actuales reportan que el incremento en el estrés de corte sobre la pared vascular, como resultado de un sostenido estado de alto flujo sanguíneo en las arterias que alimenta con sangre a los músculos en ejercicio, supone un papel significativo en la regulación del diámetro de lumen de los vasos involucrados (Prior et. al., 2004).

El trabajo muscular inicia una secuencia de procedimientos remodeladores estructurales y funcionales de la vasculatura, como resultado del o los tejidos para alcanzar las exigencias del ejercicio (Abergel et al., 1998; Bloor, 2005; Delp, 1995). Un aumento en la velocidad del flujo sanguíneo incrementa el estrés de corte de los vasos, que juega un papel clave en la ampliación de los vasos de conducción debido al estímulo aplicado. Éstos activan un procedimiento dependiente del endotelio y del óxido nítrico, que lleva a una ampliación vascular (Delp, 1998; Giannattasio et al., 1992; Green et al., 2004; Prior et al., 2003). El flujo sanguíneo intramuscular incrementado, sin que el músculo se contraiga, promueve una mejor capilaridad mediante una angiogénesis intususceptiva, un fenómeno que se caracteriza por la separación capilar de la división longitudinal intraluminal (Perloff et al., 1993; Tronc et al., 1996). Por el contrario, la angiogenesis creciente requiere de una proliferación extensiva de las células endoteliales, con degradación de la matriz extracelular para permitir la migración y la formación del tubo. Esto ocurre durante las adaptaciones musculares hasta las contracciones crónicas y/o la sobrecarga muscular. Un parámetro importante de la angiogénesis parece ser el factor de crecimiento angiogénico VEGF (Green et al., 2004; Maiorana et al., 2003). La complejidad de los factores de crecimiento involucrados y las interacciones con sus correspondientes receptores, la interacción de eventos de señalización celular y varios procesos de reorganización del tejido, coordinados para dar como resultado la remodelación vascular (Maiorana et al., 2003; Miyachi et al., 1998; Prior et al., 2003), suponen hallazgos significativos en la investigación actual, ilustrando el estímulo hemodinámico y mecánico provocando procesos relacionados con la angiogénesis.

Entre los estudios que se llevaron a cabo, varios (Dinenno et al., 2001a; Eriksen, 1992; Gill, 1985; Holland et al., 1998; Hussain et al., 1996) emplearon el método ultrasonido dúplex como herramienta para medir la remodelación muscular. A modo ilustrativo las ventajas del ultrasonido dúplex incluyen la facilidad con que las mediciones se pueden repetir, la habilidad de obtener el flujo sanguíneo en los vasos examinados más que las mediciones del flujo sanguíneo regional, y por último el hecho de que la técnica no es invasiva (Hussain et al., 1996).

El judo competitivo puede describirse como un deporte de combate, de alta intensidad, en el que las exigencias fisiológicas incluyen ambos sistemas, el aeróbico y el anaeróbico (Franchini et al., 2003; Muramatsu et al., 1994). Varios estudios sostienen que existe una relación entre el entrenamiento con sobrecarga y la velocidad de flujo sanguíneo basal (Bloor, 2005; Dinenno et al., 2001a; Huonker et al., 2003; Miyachi et al., 2001; Prior et al., 2004). Más específicamente, está bien documentado que el entrenamiento con sobrecarga consiste de un fuerte estímulo que promueve la síntesis y degradación del tejido muscular y demandas metabólicas en estado basal. Es probable que las elevaciones agudas en la presión sanguínea arterial asociadas con el ejercicio de sobrecarga deriven en cambios a largo plazo en el contenido muscular blando de la pared arterial y las propiedades de soporte de colágeno y elastina (Bloor, 2005). Las consecuencias clínicas de estos hallazgos con respecto al riesgo cardiovascular justifican que se realicen más investigaciones.

La mayoría de la literatura relevante ha examinado las adaptaciones arteriales en el diámetro, la velocidad promedio del flujo sanguíneo y la función endotelial de las arterias de conducción y elásticas. A fin de ilustrar a Abergel et al. (1998) mostraron que el entrenamiento intenso habitual de ciclismo lleva a incrementar las dimensiones de la arteria carótida común. Asimismo, Kool et al. (1992) notaron un incremento significativo en el diámetro de la arteria femoral común en atletas de ciclismo altamente entrenados en comparación con los participantes sedentarios. Pelliccia et al. (1990) informaron que la hipertrofia cardiaca inducida por el ejercicio está relacionada con un incremento del tamaño proximal de las arterias coronarias.

Sin embargo, hasta ahora no hay estudios que hayan evaluado los efectos del entrenamiento sistemático sobre el diámetro diastólico arterial de conducción y la velocidad promedio del flujo sanguíneo en atletas de judo de elite de ambos sexos. Desde un punto de vista médico, hay escasa evidencia científica que calcule el efecto de las adaptaciones arteriales inducidas por el ejercicio sobre los niveles de rendimiento atlético del deporte así como también en los eventos deportivos. El propósito del presente estudio fue evaluar las adaptaciones arteriales en atletas de judo de elite masculinos y femeninos. El examen de seis arterias de los miembros superiores e inferiores en el mismo atleta constituirá una herramienta fisiológica importante para los médicos deportivos en este tipo de ejercicio en particular, en el que hasta ahora no se ha realizado ninguna evaluación vascular. El registro de estas adaptaciones vasculares en atletas de elite femeninos se puede utilizar como fundamento, para sostener que tanto en los atletas de elite masculinos como en los femeninos se producen adaptaciones arteriales inducidas por el ejercicio. La premisa más importante de este estudio fue que los atletas de judo de ambos sexos presentarían un diámetro diastólico y una velocidad promedio del flujo sanguíneo significativamente más elevados en las arterias examinadas en comparación con los grupos de control.

METODOS

Para respaldar la hipótesis experimental se ha registrado el diámetro diastólico y la velocidad promedio del flujo sanguíneo de 6 arterias de conducción de los miembros superiores e inferiores en reposo, mediante la utilización del ultrasonido

dúplex. Se compararon los parámetros evaluados entre los atletas de judo de elite y los participantes sedentarios a fin de confirmar la influencia del deporte en las estructuras vasculares. Además, en el presente estudio se ha examinado a las atletas de judo de elite femeninas a fin de determinar si las adaptaciones vasculares se producen en forma similar a las observadas en los atletas de judo de elite masculinos debido al entrenamiento específico sistemático.

En este estudio participaron 38 judocas de elite (27 hombres y 11 mujeres), miembros del equipo nacional de judo helénico, con más de 12 años de práctica del deporte. Durante el período experimental todos los judocas se encontraban atravesando la temporada de entrenamiento de judo. Con el propósito de evitar efectos vasculares de desacondicionamiento se excluyeron del presente estudio a los atletas que hubieran sufrido lesiones en el período de los últimos 12 meses y que necesitaron de la inmovilización o el cese de la práctica deportiva, así como también a los que eran fumadores (Bleeker et al., 2005).

Se asignaron 38 participantes que no eran atletas (27 hombres y 11 mujeres) a dos grupos de control, cuyas características antropométricas (sexo, edad, altura, peso y área de superficie corporal) se correspondían con los dos grupos experimentales (27 hombres y 11 mujeres judocas). Los criterios de inclusión para ambos grupos de control fueron que los participantes no tuvieran problemas de salud, que no fueran fumadores y que no tomaran ninguna medicación. Se consideraron controles sedentarios a los participantes que ejercitaban (caminata) menos de 2 horas por semana (Kasikcioglu et al., 2005).

La historia de entrenamiento de los atletas de judo, masculinos y femeninos era: a) frecuencia de entrenamiento: 5-6 sesiones de entrenamiento doble (mañana-noche)/ semana, b) duración del entrenamiento matutino: 90 minutos, c) duración del entrenamiento nocturno: 120 minutos. La sesión de entrenamiento matutina consistía de 30 minutos de ejercicio aeróbico y 60 minutos de ejercicio anaeróbico. La sesión de entrenamiento nocturna incluía 30 minutos de calentamiento, 15 minutos de desarrollo de la técnica, 15 minutos de entrenamiento de velocidad, 20 minutos de técnicas de caída, 20 minutos de lucha de judo sobre el suelo y 20 minutos de lucha de judo de pie.

La presión sanguínea se midió por triplicado utilizando una técnica oscilométrica (Dinamap, Johnson & Johnson, Arlington, TX, EUA) sobre la arteria braquial. El promedio de las mediciones se calculó a partir de dos a cuatro valores de presión sanguínea, obtenidos durante la evaluación. Los registros se ajustaron estrictamente a las pautas de la *Asociación Cardiológica Americana* (Pelliccia et al., 1990). La frecuencia cardiaca en reposo se determinó por medio de un electrocardiograma de 5 derivaciones.
La talla y el peso se registraron mediante la utilización de un instrumento SECA (SECA 763, aprobación de CE) (precisión para la talla ± 1 y precisión en el peso ± 1 kg). El fabricante fue quien calibró los instrumentos. El área de superficie corporal se determinó según la fórmula de Dubois y Dubois (Dubois y Dubois, 1989):

$$(ASC)\ (m^2) = \text{masa corporal (kg)}\ (M^{0.425}) \times \text{talla (cm)}\ (H^{0.725}) \times 71.863.$$

Para la medición de la velocidad promedio de la sangre y del diámetro diastólico de las arterias evaluadas se utilizó un instrumento de ultrasonido dúplex (Toshiba SSH-140, Tochigi, Japón) equipado con un transductor lineal de alta resolución (7·5 MHz).

Los vasos examinados en los miembros superiores incluyeron las arterias braquial, radial y cubital, y las arterias poplítea, tibial anterior y posterior de los miembros inferiores. El diámetro diastólico arterial se registró en milímetros (mm). La velocidad promedio del flujo sanguíneo se registró en cm/s. Los datos reportados fueron promedios de tiempo de mediciones > 10 para todas las variables y fueron analizados por el mismo investigador (L.L.), muy experimentado en mediciones de ultrasonido, quien desconocía la pertenencia al grupo/condición de los participantes.

El presente estudio se llevó a cabo en el sector Triplex del hospital KAT en Atenas. A todos los participante se les informó sobre los procedimientos experimentales antes del estudio y ellos dieron su consentimiento por escrito para participar. La presente investigación se ajusta a los principios definidos en la Declaración de Helsinki y fue aprobada por el Comité de Ética de Investigación Local (Comité de Investigación Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Atenas). Todos los participantes eran normotensivos (presión sanguínea arterial < 140/90 mmHg) y no sufrían de enfermedades cardiovasculares crónicas declaradas, pues se los evaluó mediante la historia clínica, un examen físico, un ECG de control y ultrasonido en reposo y un examen químico y hematológico completo de la sangre (es decir, concentración de glucosa en plasma < 130 mg/dl, colesterol total < 220 mg/dl, LDL, VLDL, triglicéridos, concentraciones de fibrinógeno e insulina).

Todos los estudios vasculares se realizaron en una habitación con temperatura controlada (20°C a 22°C) en el mismo momento del día entre las 9:00 y las 12:00 a.m., a fin de evitar potenciales influencias confusas como la variación diurna de la función endotelial (Gaenzer et al., 2000). Todos los análisis de imagen los realizó el mismo investigador, quien desconocía la asignación de los sujetos a los grupos (sedentarios o judocas). El investigador responsable de la evaluación contaba con 14 años de experiencia en este tipo de procedimientos y tuvo una variación menor al 2% entre las medidas,

con una reproducibilidad determinada por el coeficiente de correlación intra-clase de 0.98, dentro del período de evaluación. Las mediciones de la velocidad promedio del flujo sanguíneo se realizaron con el ángulo de isonación < 60º (Gill, 1985), y fueron corregidas por el ángulo de isonación. La longitud del rango de entrada abarcó el lumen de la arteria. El equipo se mantuvo continuamente en la posición correcta mediante el control del volumen de la muestra para la posición con la capacidad del sistema de ultrasonido dúplex (Sandgren et al., 1999). El diámetro arterial se determinó mediante una medición perpendicular desde la interfaz media/adventicia de la pared cercana hasta la interfaz lumen/íntima de la pared lejana de los vasos. El diámetro se midió en el modo ultrasonido M operando a una velocidad de 25 mm/s, y el diámetro diastólico de las arterias investigadas se determinó como el diámetro de lumen más pequeño directamente posterior al pico R en el ECG en la fase de pre-expulsión. En cada lugar de la medición correspondiente, se ubicó un segmento recto del vaso, intentando evitar el nivel de bifurcación debido a los cambios en el perfil de la velocidad del flujo sanguíneo que se produce en cada región particular (Holland et al., 1998). Los datos reportados fueron el promedio de tiempo de al menos 10 mediciones para todas las variables (Eriksen, 1992).

El día del estudio, antes de la evaluación hemodinámica, se le pidió a cada individuo que se abstuviera de consumir estimulantes orales como el té, el café u otras infusiones ricas en cafeína por 4 horas (y fueron al menos 4 horas posprandiales) (Dinenno et al., 2001a; 2001b) y que incluyera un período obligatorio de 20 min de reposo en posición supina, en una habitación tranquila e iluminada por una luz tenue. Se estudió a los atletas de judo de 20 a 24 horas después de su última sesión de ejercicios a fin de evitar cualquier efecto del ejercicio (Huonker et al., 1998). Se realizaron historias médicas detalladas, evaluaciones clínicas y exámenes de Doppler de pulso de onda para cada participante a fin de excluir a cualquier individuo con alguna patología que pudiera influenciar los parámetros de evaluación (por ejemplo, la hipertensión arterial). A los individuos con valores más elevados de 140 mmHg para la presión arterial sistólica y 90 mmHg, para la diastólica respectivamente, se los excluyó de los procedimientos experimentales. Se excluyó a los individuos que según la historia o el examen físico sufrían de enfermedades graves o crónicas. Ningún sujeto tenía antecedentes de hipertensión, diabetes mellitus, abuso de alcohol o cigarrillos; además ninguno tenía alteraciones de electrolitos. Ninguna de las participantes femeninas se encontraba en la fase menstrual (todas se encontraban en la fase lútea durante los procedimientos experimentales) ni bajo ninguna medicación de reemplazo hormonal. El procedimiento experimental incluyó que cada participante estuviera en posición supina por 20 minutos para reducir resistencias periféricas, y el examen con el Doppler de onda pulsátil se llevó a cabo en los miembros inferiores y superiores después de dicho período de 20 minutos. Para calcular el diámetro diastólico de los vasos examinados y la velocidad promedio del flujo sanguíneo, a todos los participantes se les examinó cada vaso en ambos lados, en los miembros superiores e inferiores teniendo en cuenta el promedio del lado izquierdo y el derecho como valor comparativo final. Se examinaron las arterias braquial, radial y cubital de los miembros superiores y las arterias poplítea, tibial anterior y posterior de los miembros inferiores. Todos los procedimientos experimentales se realizaron bajo supervisión médica y los participantes eran libres de retirarse en cualquier momento.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa estadístico para ciencias sociales (SPSS Inc., Chicago). Todos los datos se reportan como medias ± DE. Las pruebas estadísticas se llevaron a cabo utilizando un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías y una prueba *post-hoc* de Scheffe. Se consideraron significativas las diferencias entre los grupos con una probabilidad de error estadístico de < 5%.

RESULTADOS

De los 82 individuos, hombres y mujeres, que participaron voluntariamente en el estudio después de responder un cuestionario que incluía secciones sobre antecedentes médicos y deportivos, medicación recibida, características somatométricas, hábitos fumadores y perfil cardiológico, 76 fueron incluidos al último grupo experimental. 38 participantes (27 hombres y 11 mujeres) del grupo experimental eran atletas de judo de alto nivel y 38 participantes que no eran atletas y tenían un estilo de vida sedentario (27 hombres y 11 mujeres) componían el grupo de control. Se excluyeron del análisis a 3 participantes (2 hombres y 1 mujer) del grupo de control, debido a un diagnóstico reciente de hipertensión (SBP > 140 mmHg) durante el examen clínico, como también a 3 atletas de judo (2 hombres y 1 mujer) debido a lesiones recientes (dentro del período de los últimos 12 meses) con inmovilización del miembro involucrado.

No hubo signos aparentes de enfermedad cardiovascular en ninguno de los grupos experimentales después de la entrevista, el examen clínico, el análisis de sangre, la ecocardiografía, o el electrocardiograma (ECG) para excluir hipertensión, diabetes mellitus y/u otras enfermedades. Además, se descartaron las placas, como signo de evidencia clínica de cambios de los vasos ateroscleróticos en las arterias carótidas, con ultrasonido transcutáneo (Sandgren et al., 1999).

Se halló una diferencia estadísticamente significativa ($p<0.001$) en las características somatométricas (altura, peso y área de superficie corporal) entre los participantes masculinos y femeninos (Tabla 1). Los análisis de los parámetros cardiacos

revelaron adaptaciones inducidas por el ejercicio (Smith et al., 1989) con respecto a la frecuencia cardiaca en reposo, mientras que no hubo una diferencia aparente en la presión arterial sistólica y diastólica entre los grupos experimentales y de control (Tabla 2).

Se halló que el diámetro diastólico de las arterias examinadas en los atletas de judo demostraron un incremento significativo ($p<0.05$), en comparación con los grupos de control, poniendo de manifiesto un incremento homogéneo general de la funcionalidad de los vasos de los miembros superiores e inferiores (Tabla 3). Interesantemente, la excepción fue el diámetro de la arteria tibial posterior en las atletas de judo femeninas, que no presentó ninguna diferencia estadísticamente significativa ($p>0.05$) en comparación con las participantes femeninas del grupo de control.

Grupos	Edad (años)	Altura (m)	Peso (kg)	ASC (m^2)
AJM	24.1 (2.0) (20-29 años)	1.74 (0.08)	78.9 (1.7)	1.94 (0.14)
GCM	24.0 (2.0) (20-27 años)	1.74 (0.04)	78.4 (1.9)	1.93 (0.05)
AJF	24.3 (1.0) (21-27 años)	1.64 (0.03)	66.6 (1.6)	1.73 (0.12)
GCF	24.2 (1.0) (22-26 años)	1.65 (0.02)	66.2 (1.3)	1.73 (0.05)

Tabla 1. *Características físicas de los participantes. Los datos son medias (± DE). AJM = atletas de judo masculinos; GCM = grupo de control masculino; AJF = atletas de judo femeninas; GCF = grupo de control femenino; ASC = área de superficie corporal.*

Si bien se observó un incremento del diámetro de la arteria tibial posterior (atletas de judo femeninos 1.95 mm. versus participantes del grupo de control femenino 1.81 mm), no se halló ninguna significancia estadística, aún cuando éste alcanzó la carga estadística.

Con respecto a la velocidad promedio del flujo sanguíneo, los atletas de judo (hombres y mujeres) no exhibieron un incremento estadísticamente significativo en todas las arterias examinadas ($p < 0.05$), en comparación con el grupo de control relevante (Tabla 4). Por último, en relación con los atletas agrupados por sexo, los participantes hombres y mujeres, tanto atletas como no atletas, no presentaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros hemodinámicos y antropométricos en relación con sus hallazgos correspondientes.

DISCUSION

Si bien diversos estudios transversales han reportado una ampliación de ambos vasos, de conducción (Dinenno et al., 2001a; Huonker et al., 2003; Naylor et al., 2006; Schmidt-Trucksass et al., 2000; Zeppilli et al., 1995) y de resistencia (Green et al., 2004; Sinoway et al., 1986), en los atletas en relación a los controles apareados, ninguno ha examinado a los atletas de judo de elite masculinos y femeninos en los parámetros vasculares en reposo. El presente estudio ha intentado por primera vez examinar el diámetro diastólico y la velocidad promedio de flujo sanguíneo, evaluando 6 arterias en atletas de judo de elite de ambos géneros. Al obtener el diámetro diastólico y la velocidad promedio del flujo sanguíneo se pueden establecer los perfiles de flujo para los grupos musculares específicos y, después de un período de ejercicio conocido, determinar la contribución relativa de estos grupos musculares a este tipo de deporte.

Los grupos experimentales se combinaron por edad con los grupos de control para evitar cualquier fenómeno cardiovascular relacionado con la edad ligado a la disminución funcional y la desnaturalización de los parámetros fisiológicos, principalmente debido a una mejora simpática hacia el sistema parasimpático (Dinenno et al., 2001b; Franzoni et al., 2004). Como era de esperar, los grupos de judocasd presentaron valores de frecuencia cardiaca en reposo más bajos en comparación con los correspondientes grupos de control. Interesantemente, no hubo una diferencia estadísticamente significativa aparente entre los atletas masculinos y femeninos ($p>0.05$) en relación con los valores de frecuencia cardiaca en reposo, sugiriendo que ambos sexos han obtenido adaptaciones cardiovasculares crónicas al ejercicio. El entrenamiento habitual, tanto aeróbico como anaeróbico, influencia de manera significativa el control del sistema nervioso autónomo del sistema cardiovascular (Bleeker et al., 2005). El entrenamiento de resistencia mejora la actividad parasimpática y disminuye la actividad simpática del corazón durante el reposo (Smith et al., 1989). Estos dos efectos autónomos inducidos por el entrenamiento, junto con una posible reducción en la frecuencia cardiaca intrínseca, disminuyen la frecuencia cardiaca durante el reposo. Además, el entrenamiento de resistencia afecta la frecuencia cardiaca en el ejercicio submáximo mediante la reducción de la actividad simpática.

Se agrupó a los participantes masculinos y femeninos de los grupos experimentales y de control según las características somatométricas (altura, peso y área de superficie corporal) a fin de evitar cualquier posible efecto en los parámetros evaluados. En los atletas de judo masculinos las arterias braquial, radial y tibial anterior presentaron el mayor incremento en el diámetro diastólico, en comparación con el grupo de control masculino, 27% para las arterias braquial y radial, y 23% para la arteria tibial anterior respectivamente. Es posible que estas 3 arterias puedan haber influido en un estado más elevado debido a los requerimientos metabólicos físicos de los músculos involucrados en los atletas de judo masculinos. Por otro lado, en las atletas de judo femeninas, se halló que las arterias cubital (43%), radial (39%) y la braquial (21%) presentaron el mayor incremento en el diámetro diastólico. La ausencia de arterias del miembro inferior entre aquellas con la mayor diferencia puede ser un tema para realizar más estudios sobre la contribución/ participación de los miembros en el judo en las atletas femeninas.

Con respecto al diámetro de la arteria tibial posterior, las atletas de judo femeninas registraron valores más elevados que los de las participantes del grupo de control femenino, sin llegar a una significancia estadística. Las judocas femeninas registraron un incremento mayor en el diámetro diastólico en las arterias del antebrazo que los atletas masculinos, los dos grupos atléticos tuvieron un incremento significativo del diámetro diastólico en comparación con los grupos de control, masculinos y femeninos. Cuando se entrena determinados músculos, se produce un incremento en la capacidad de flujo y un incremento en el calibre de los grandes vasos de conducción para responder a las exigencias metabólicas necesarias de los músculos entrenados (Prior et. al., 2003).

Grupos	RHR (latidos/min)	SBP (mmHg)	DBP (mm Hg)	Hábito de fumar y/ o otros deportes
AJM	60 (5) *	119 (1)	73 (1)	No
GCM	78 (5)	120 (1)	74 (1)	No
AJF	64 (5)†	121 (2)	72 (1)	No
GCF	76 (3)	122 (2)	71 (1)	No

Tabla 2. *Parámetros hemodinámicos y hábito de fumar y/o la participación en otros deportes de los participantes. Los datos son medias (± DE). AJM = atletas de judo masculinos; GCM = grupo de control masculino; AJF = atletas de judo femeninas; GCF =grupo de control femenino; FCR = frecuencia cardiaca en reposo; PSS = presión sanguínea sistólica; PSD = presión sanguínea diastólica. *Diferencia significativa en comparación con los AJM y el GCM ($p < 0.05$). †Diferencia significativa en comparación con las AJF y el GCF ($p < 0.05$).*

Arteria	AJM	GCM	Valor p	AJF	GCF	Valor p
AB	3.76 (0.32) *	2.95 (0.27)	<0.001	3.08 (0.24)†	2.56 (0.26)	<0.001
AR	3.06 (0.20) *	2.41 (0.23)	<0.001	2.88 (0.17)†	2.07 (0.19)	<0.001
AC	3.08 (0.20) *	2.52 (0.23)	<0.001	2.89 (0.16)†	2.02 (0.22)	<0.001
AP	5.86 (0.65) *	4.84 (0.27)	<0.001	5.01 (0.22)†	4.21 (0.21)	<0.001
ATA	2.28 (0.30) *	1.79 (0.25)	<0.001	1.96 (0.19)†	1.7 (0.21)	<0.05
ATP	2.27 (0.32) *	1.86 (0.25)	<0.001	1.95 (0.17)	1.81 (0.23)	NS

Tabla 3. *Diámetro diastólico (mm) de los grupos experimentales y de control. Los datos son medias (± DE). AB = arteria braquial; AR = arteria radial; AC = arteria cubital; AP = arteria poplítea; ATA = arteria tibial anterior; ATP = arteria tibial posterior; AJM = atletas de judo masculinos; GCM = grupo de control masculino; AJF = atletas de judo femeninas; GCF = grupo de control femenino. *Diferencia significativa en comparación con los AJM y el GCM ($p < 0.05$). †Diferencia significativa en comparación con las AJF y el GCF ($p < 0.05$).*

El diámetro arterial en reposo depende del tono del sistema nervioso simpático y la modulación de las hormonas paracrina y circulante (Prior et al., 2004; Niebauer y Cooke, 1996). Un posible mecanismo responsable de la ampliación de los vasos de conducción por medio del entrenamiento se relaciona con el efecto de repetidos incrementos episódicos en el flujo y el estrés de corte relacionados con el entrenamiento sistemático. La hipótesis en evolución es que el entrenamiento induce a la ampliación estructural de los vasos de conducción, que depende de la liberación de óxido nítrico (NO) mediante el estrés de corte y puede ser una respuesta de adaptación que actúa para mitigar los incrementos en el estrés de pared ocasionado por las repetidas series de ejercicios (Prior et al., 2003; Tuttle et al., 2001; Tronc et al., 1996). Desde un punto de vista fisiológico, incrementar intensamente el flujo sanguíneo en los vasos de conducción promueve el estrés en la pared de los

vasos por medio del flujo que lleva a la liberación de NO desde el endotelio (Green et al., 2004; Maiorana et al., 2003; Tronc et al., 1996; Tuttle et al., 2001); la vaso dilatación dependiente del flujo se vuelve aparente por la co-infusión de L-NMMA, sugiriendo que la dilatación de los vasos de conducción durante el ejercicio depende del NO. Al parecer el entrenamiento habitual provoca un incremento sostenido en la expresión de la NOS constitutiva endotelial que da como resultado una adaptación crónica del sistema vaso dilatador NO (Maiorana et al., 2003).

Huonker et al. (2003) utilizaron con anterioridad la metodología de investigación no invasiva de las estructuras vasculares en atletas de alto rendimiento y grupos (control) sin entrenamiento. El diámetro diastólico interno de los vasos de la aorta torácica y abdominal, la arteria subclavia y la arteria femoral común se determinó mediante una sonografía dúplex. Se halló en los jugadores de tenis un diámetro significativamente incrementado de la arteria subclavia del miembro dominante en comparación con el brazo opuesto (19%). La arteria femoral común de ciclistas de ruta mostraron incrementos similares. No se hallaron diferencias significativas en el diámetro de la aorta torácica y la abdominal entre cualquiera de los grupos. Los cambios medidos en la arteria subclavia y la arteria femoral común se asociaron a las alteraciones correspondientes en el flujo sanguíneo y el flujo de movimiento en todos los grupos.

La mayor diferencia de velocidad promedio del flujo sanguíneo en los judocas masculinos y femeninos se puso de manifiesto en las arterias cubital (hombres 13%, mujeres 12%) y poplítea (hombres 14%, mujeres 12%).

Las elevaciones en el flujo sanguíneo muscular debido al entrenamiento sistemático inducen a la remodelación arterial expansiva en el sistema arterial humano. Según los conocimientos actuales un estado sostenido de alto flujo sanguíneo en las arterias, como lo es durante el ejercicio, proporciona incrementado un estrés de corte de pared con una velocidad de flujo sanguíneo que es parámetro de amplia significancia para determinar el diámetro de lumen de los vasos que alimentan a los músculos en ejercicio. En todos los grupos del presente estudio, los participantes hombres presentaron valores más elevados de los parámetros evaluados en comparación con los de las mujeres. Los participantes hombres presentaron arterias más grandes que las mujeres. Sin embargo, no se ha calculado una diferencia estadísticamente significativa entre los participantes hombres y mujeres, pues existen diferencias antropométricas significativas que pueden influir en la confiabilidad estadística de los hallazgos. De acuerdo con esto, Sandgren et al. (1999) registraron una arteria femoral común más grande en 59 hombres en comparación con 63 mujeres, sugiriendo que el tamaño vascular está relacionado con la edad y la talla corporal de los participantes.

Los resultados del presente estudio no se pueden aplicar a la población general ni a la población clínica. Asimismo, los hallazgos pueden diferir en los atletas de diferente nivel o tipo de deporte (Abergel et al., 1998; Franzoni et al., 2004; Giannattasio et al., 1992; Huonker et al., 2003). Otra limitación importante es la incapacidad para separar los efectos del judo *per se* del programa de entrenamiento de aptitud física asociados con el judo. Aunque la correlación entre los parámetros vasculares y la predicción del rendimiento atlético supone un tema interesante para una futura investigación en el campo de la medicina del deporte, se observó que los atletas con un rendimiento deportivo más elevado, en combinación con un mayor tiempo de entrenamiento de judo con altas exigencias físicas, presentaron valores vasculares más elevados. No obstante, no se puede arribar a conclusiones firmes dado que la correlación estadística de los parámetros de rendimiento predecibles no estuvo incluida en el objetivo principal del presente artículo.
El presente estudio sugiere que el diámetro y la velocidad promedio de flujo sanguíneo de las arterias del miembro examinadas se pueden ajustar a las necesidades metabólicas de la musculatura correspondiente y pueden acentuar el impacto del entrenamiento de judo en la estructura y la función del sistema arterial. Las adaptaciones arteriales inducidas por el ejercicio que se han observado en el presente estudio con respecto al judo están generalizadas en las 6 arterias de los miembros superiores e inferiores examinadas, en contraste con los deportes que mayormente implican un lado dominante, dando como resultado adaptaciones vasculares locales (Miyachi et al., 2001; Giannattasio et al., 1992; Sinoway et al., 1986).

Arteria	AJM	GCM	Valor p	AJF	GCF	Valor p
AB	73.7 (2.5) *	69.0 (2.4)	<0.001	70.5 (1.8) †	65.4 (5.2)	<0.05
AR	57.5 (3.4) *	52.4 (3.3)	<0.001	57.2 (2.4) †	53.6 (1.6)	<0.001
AC	57.4 (3.1) *	51.0 (2.0)	<0.001	56.1 (2.7) †	50.1 (1.5)	<0.001
AP	50.3 (2.7) *	44.1 (3.0)	<0.001	48.7 (1.3) †	43.4 (1.3)	<0.001
ATA	44.0 (2.2) *	39.4 (1.2)	<0.001	43.4 (1.8) †	39.3 (1.3)	<0.001
ATP	48.0 (2.9) *	43.3 (2.2)	<0.001	44.2 (2.2) †	41.2 (1.5)	<0.05

Tabla 4. *Velocidad promedio de la sangre (cm·seg^{-1}) de los grupos experimentales y de control. Los datos son medias (± DE). AB = arteria braquial; AR = arteria radial; AC = arteria cubital; AP = arteria poplítea; ATA = arteria tibial anterior; ATP = arteria tibial posterior; AJM = atletas de judo masculinos; GCM = grupo de control masculino; AJF = atletas de judo femeninas; GCF = grupo de control femenino. *Diferencia significativa en comparación con los AJM y el GCM (p < 0.05). †Diferencia significativa en comparación*

con las AJF y el GCF ($p < 0.05$).

CONCLUSION

La aptitud física y las características antropométricas suponen parámetros fundamentales para el alto rendimiento en la competencia de judo de elite (Thomas et al., 1989). Las adaptaciones vasculares halladas en el presente estudio pueden ser el factor entre bastidores, ligado a las circunferencias más grandes (brazo flexionado, antebrazo, muñeca y pierna) de los atletas de judo de alto nivel que presentaron Franchini et al., (2005). Se ha reportado que diveros parámetros fisiológicos, como la potencia y la capacidad anaeróbica, la fuerza y la potencia aeróbica, son las características principales que los atletas de judo tienen que desarrollar (Thomas et al., 1989). Además, la literatura sobre la relación entre las diferentes variables mencionadas anteriormente para judocas competitivos de alto nivel es limitada. Con relación a la asociación entre las variables morfológicas y funcionales, y la relación entre la potencia aeróbica y el rendimiento intermitente de alta intensidad en relación a las adaptaciones vasculares es un campo que requiere una mayor investigación.

Puntos Clave

- Los atletas de judo mostraron un incremento homogéneo general de la funcionalidad arterial de los miembros superiores e inferiores en comparación con los grupos de control.
- Se halló que el diámetro diastólico está significativamente incrementado en los atletas de judo masculinos y femeninos, resaltando los efectos del entrenamiento en el sistema vascular.
- Los atletas de judo habían tenido un incremento estadísticamente significativo de la velocidad promedio de flujo sanguíneo en todas las arterias examinadas en comparación con el grupo de control relevante.
- El presente estudio subraya el impacto del entrenamiento de judo en la estructura y la función del sistema arterial.
- Clínicamente, los parámetros arteriales incrementados en los atletas de judo de elite pueden ser elementos esenciales para el mejor rendimiento atlético.
- Los profesionales de la medicina deportiva deberían brindarle un interés especial a la funcionalidad vascular para varias pruebas fisiológicas y médicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los participantes del presente estudio, así como también a la Confederación Helénica de Judo por la oportunidad de llevar a cabo esta investigación. Los experimentos cumplen con las leyes actuales de Grecia.

REFERENCIAS

1. Abergel, E., Linhart, A., Chatellier, G., Gariepy J., Ducardonnet A., Diebold B. and Menard, J (1998). Vascular and cardiac remodeling in world class professional cyclists. *American Heart Journal 136(5), 818-823*
2. Bleeker, M.W.P., De Groot, P.C.E., Poelkens F., Rongen, G.A., Smits, P. and Hopman, M.T.E (2005). Vascular adaptation to 4 week of deconditioning by unilateral lower limb suspension. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology 288(4), 1747-1755*
3. Bloor, C.M (2005). Angiogenesis during exercise and training. *Angiogenesis 8(3), 263-271*
4. Delp, M.D (1995). Effects of exercise training on endothelium-dependent peripheral vascular responsiveness. *Medicine and Science in Sports and Exercise 27(8), 1152-1157*
5. Delp, M.D (1998). Differential effects of training on the control of skeletal muscle perfusion. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30(3), 361-374*
6. Dinenno, F.A., Tanaka, H., Monahan, K.D., Clevenger C.M., Eskurza I., Desouza C.A. and Seals, D.R (2001). Regular endurance exercise induces expansive arterial remodeling in the trained limbs of healthy men. *The Journal of Physiology 534(1), 287-295*
7. Dinenno, F.A., Seals, D.R., Desouza C.A and Tanaka, H (2001). Age-related decreases in basal limb blood flow in humans: time course, determinants and habitual exercise effects. *The Journal of Physiology 531(2), 573-579*
8. Dubois, D. and Dubois, E.F (1989). A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *1916*

Nutrition 5(5), 303311
9. Eriksen, M (1992). Effect of pulsatile arterial diameter variations on blood flow estimated by Doppler ultrasound. *Medical and Biological Engineering and Computing 30(1), 46-50*
10. Franzoni, F., Galetta, F., Morizzo, C., Lubrano V., Palombo, C., Santoro, G., Ferrannini, E. and Quinones-Galvan, A (2004). Effects of age and physical fitness on microcirculatory function. *Clinical Science (Lond) 106(3), 329-335*
11. Franchini, E., Takito, M.Y., Nakamura, F.Y., Matsushigue, K.A. and Kiss, M.A.P.D (2003). Effects of recovery type after a judo combat on blood lactate removal and performance in an intermittent anaerobic task. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 43(4), 424431*
12. Franchini, E., Takito, M.Y., Kiss, M.A.P.D.M. and Sterkowicz, S (2005). Physical fitness and anthropometric differences between elite and nonelite judo players. *Biology of Sport (Warsaw) 22(4), 315-328*
13. Gaenzer, H., Sturm, W., Kirchmair, R., Neumayr, G., Ritsch, A. and Patsch, J.R (2000). Circadian variation of endothelium-dependent vasodilatation of the brachial artery as a confounding factor in the evaluation of endothelial function. *Atherosclerosis 149(1), 227-228*
14. Giannattasio, C., Cattaneo, B.M., Mangoni, A.A., Carugo, S., Sampieri, L., Cuspidi, C., Grassi, G. and Mancia, G (1992). Changes in arterial compliance induced by physical training in hammer-throwers. *Journal of Hypertension 10(6), 53-55*
15. Gill, R (1985). Measurement of blood flow by ultrasound: accuracy and sources of error. *Ultrasound in Medicine and Biology 11(4), 625-641*
16. Holland, C.K., Brown, J.M., Scoutt, L.M. and Taylor, K.J.W (1998). Lower extremity volumetric arterial blood flow in normal subjects. *Ultrasound in Medicine and Biology 24(8), 1079-1086*
17. Huonker, M., Schmid, A., Sorichter, S., Schmidt-Trucksab, A., Mrosek, P. and Keul, J (1998). Cardiovascular differences between sedentary and wheelchair-trained subjects with paraplegia. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30(4), 609-613*
18. Huonker, M., Schmid, A., Schmidt-Trucksass, A., Grathwohl, D. and Keul, J (2003). Size and blood flow of central and peripheral arteries in highly trained able-bodied and disabled athletes. *Journal of Applied Physiology 95(2), 685-691*
19. Hussain, S.T., Smith, R.E., Wood, R.F.M. and Bland, M (1996). Observer variability in volumetric blood flow measurements in leg arteries using duplex ultrasound. *Ultrasound in Medicine and Biology 3(22), 287-291*
20. Kasikcioglu, E., Oflaz, H., Kasikcioglu, H.A., Kayserilioglu, A., Umman, S. and Meric, M (2005). Endothelial flow-mediated dilation and exercise capacity in highly trained endurance athletes. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine 205(1), 45-51*
21. Kool, M.J., Struijker-Boudier, H.A., Wijnen, J.A., Hoeks, A.P. and Van Bortel, L.M (1992). Effects of diurnal variability and exercise training on properties of large arteries. *Journal of Hypertension. Supplement 10(6), 49-52*
22. Miyachi, M., Iemitsu, M., Okutsu, M. and Onodera, S (1998). Effects of endurance training on the size and blood flow of the arterial conductance vessels in humans. *Acta Physiologica Scandinavica 163(1), 13-16*
23. Miyachi, M., Tanaka, H., Yamamoto, K., Yoshioka, A., Takahashi, K. and Onodera, S (2001). Effects of one-legged endurance training on femoral arterial and venous size in healthy humans. *Journal of Applied Physiology 90(6), 2439-2444*
24. Muramatsu, S., Horiyasu, T., Sato, S.I., Hattori, Y., Yanagisawa, H., Onozawa, K. and Tezuka, M (1994). The relationship between aerobic capacity and peak power during intermittent anaerobic exercise of judo athletes. *Bulletin of the Association for the Scientific Study on Judo 8, 151160*
25. Niebauer, J. and Cooke, J.B (1996). Cardiovascular Effects of Exercise: Role of Endothelial Shear Stress. *Journal of the American College of Cardiology 28(7), 1652-1660*
26. Pelliccia, A., Spataro, A., Granata, M., Biffi, A., Caselli, G. and Alabiso, A (1990). Coronary arteries in physiological hypertrophy: echocardiographic evidence of increased proximal size in elite athletes. *International Journal of Sports Medicine 11(2), 120-126*
27. Perloff, D., Grim, C., Flack, J., Frohlich, E., Hill, M., McDonald, M. and Morgenstern, B (1993). Human blood pressure determination by sphygmomanometry. *Circulation 88(1), 2460-2470*
28. Prior, B.M., Lloyd, P.G., Yang, H.T. and Terjung, R.L (2003). Exercise-induced vascular remodeling. *Exercise and Sport Sciences Reviews 31(1), 26-33*
29. Prior, B.M., Yang, H.T. and Terjung, R.L (2004). What makes vessels grow with exercise training?. *Journal of Applied Physiology 97(3), 1119-1128*
30. Sandgren, T., Sonesson, B., Ahlgren, R. and Lanne, T (1999). The diameter of the common femoral artery in healthy human: influence of sex, age, and body size. *Journal of Vascular Surgery 29(3), 503-510*
31. Schmidt-Trucksass, A., Schmid, A., Brunner, C., Scherer, N., Zach, G., Keul, J. and Huonker, M (2000). Arterial properties of the carotid and femoral artery in endurance-trained and paraplegic subjects. *Journal of Applied Physiology 89(5), 1956-1963*
32. Sinoway, L.I., Musch, T.I., Minotti, J.R. and Zelis, R (1986). Enhanced maximal metabolic vasodilatation in the dominant forearms of tennis players. *Journal of Applied Physiology 61(2), 673-678*
33. Smith, L., Hudson, D.L., Graitzer, H.M. and Raven, P.B (1989). Exercise training bradycardia: the role of autonomic balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise 21(1), 40-44*
34. Thomas, S.G., Cox, M.H., Legal, Y.M., Verde, T.J. and Smith, H.K (1989). Physiological profiles of the Canadian National Judo Team. *Canadian Journal of Sport Sciences 14(3), 142-147*
35. Tronc, F., Wassef, M., Exposito, B., Henrion, D., Glagov, S. and Tedgui, A (1996). Role of NO in flow-induced remodeling of the rabbit common carotid artery. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology 16(10), 1256-1262*
36. Tuttle, J.L., Nachreiner, R.D., Bhuller, A.S., Condict, K.W., Connors, B.A., Herring, B.P., Dalsing, M.C. and Unthank, J.L (2001). Shear level influences resistance artery remodeling: wall dimensions, cell density, and eNOS expression. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology 281(3), 1380-1389*
37. Zeppilli, P., Vannicelli, R., Santini, C., Dello Russo, A., Picani, C., Palmieri, V., Cameli, S., Corsetti, R. and Pietrangeli, L (1995). Echocardiographic size of conductance vessels in athletes and sedentary people. *International Journal of Sports Medicine 16(1), 38-44*

Cita Original

Panagiotis Karagounis, Maria Maridaki, Xenofon Papaharalampous, Giorgos Prionas and Panagiotis Baltopoulos. Exercise-Induced Arterial Adaptations in Elite Judo Athletes. Journal of Sports Science and Medicine (2009) 8, 428 - 434.