

A. COARASA LIRON DE ROBLES
R. ROS MAR
M. T. MOROS GARCIA
A. VILLARROYA APARICIO

Departamento de Fisiatría y Enfermería.
Facultad de Medicina. Zaragoza.

Función muscular y esfuerzo: Contribución de las características físicas del individuo

Muscular function and effort: Contribution of individual physical characteristics

Resumen

Se ha planteado la posibilidad de diferentes mecanismos en la regulación de la fuerza y fatigabilidad muscular según ciertas características del individuo. En este estudio se examina en 42 sujetos jóvenes la influencia del sexo y de parámetros cineantropométricos sobre la fuerza máxima voluntaria y producida con estimulación eléctrica del cuádriceps femoral, sobre la capacidad de esfuerzo en cicloergómetro y en la fatiga muscular desarrollada con el ejercicio. En los resultados no se encuentra diferencia intersexual para la fuerza voluntaria por unidad de volumen muscular del muslo, aunque sí la hay para la capacidad de ejercicio por unidad de masa muscular corporal o regional, superior en el hombre por factores ajenos a la cantidad de músculo. La grasa corporal enlaza con una menor capacidad oxidativa y una pérdida de fuerza superior tras el ejercicio. La fuerza involuntaria y la fatiga muscular no dependen del sexo, de la masa muscular o del somatotipo.

Palabras clave: Fuerza. Fatiga. Esfuerzo. Cineantropometría. Sexo.

Summary

Different mechanisms for regulating force and muscular fatigue, based on individual characteristics, have been proposed. In 42 young subjects, a study was made of the influence of sex and kineanthropometric parameters on maximum voluntary force and electrically stimulated force in the femoral quadriceps, and on exercise capacity and muscle fatigue during cycloergometer exercise. No sexual differences were found in voluntary force per unit volume of thigh muscle, but the exercise capacity per unit body or regional muscle mass was greater in men because of muscle-volume independent factors. Body fat was linked with lower oxidative capacity and greater post-exercise loss of strength. Involuntary effort and muscle fatigue were not dependent on sex, muscle mass, or somatotype.

Key words: Strength. Fatigue. Effort. Kineanthropometry. Sexual differences.

Introducción

La relación entre la fuerza muscular y la aptitud de ejercicio con características físicas del individuo, tales como el sexo, la composición corporal y la morfología externa (somatotipo), ha sido desde hace tiempo interés de numerosas investigaciones.

La intensidad del esfuerzo dinámico máximo y submáximo depende de la cantidad de músculo implicado^{1, 2}, el cual es protagonista indiscutible del ejercicio. El significado fisiológico de la capacidad máxima individual de consumir O₂ está subordinado a los factores que la condicionan, citándose entre ellos parámetros biométricos que realmente son contemplados más como índices de adaptación morfológica del sistema de aporte de O₂ a la demanda corporal que como factores limitantes. No obstante, desde algunos estudios³ no parece tan clara la clásica correlación admitida entre el límite del consumo de O₂ (VO₂) y ciertos factores biométricos. Se ha documentado una desigual ca-

Correspondencia:

A. COARASA LIRON DE ROBLES. Amantes de Teruel, 4. 50012 Zaragoza.

pacidad de ejercicio entre los sexos en relación al peso total⁴, apuntando que la diferencia intersexo desaparece cuando el VO_2 máximo se expresa respecto a la unidad de masa magra^{5,6}.

La cantidad de maquinaria contráctil es indicadora de la fuerza^{7,8} y se ha demostrado la superior fuerza isométrica máxima en el hombre debido a su mayor tamaño muscular. Los estudios de IKAI y FUKUNAGA, utilizando ultrasonografía^{9,10}, y otros posteriores empleando tomografía axial computarizada (TAC)^{11,12,13,14,15} han revelado que la fuerza sostiene una correlación lineal con el área de sección transversa del músculo —estimadora del tamaño muscular— que es independiente de la edad, el sexo o el grado de entrenamiento del sujeto. Sin embargo, los trabajos de DAVIES^{16,17} sí han encontrado diferencia intersexual al referir la fuerza en unidad de volumen muscular obtenido por método regional cineantropométrico, considerando que el TAC incluye muy diversos tejidos en la sección transversa, a pesar de que otras investigaciones¹⁸ no han concedido importancia a tal observación. Este autor ha propuesto, para explicar que una misma masa de músculo produzca distinta fuerza de contracción en el hombre y en la mujer, la intervención de otros factores como la diferente dotación en la composición del tipo de fibras musculares o la influencia de las hormonas sexuales sobre la capacidad contráctil.

Hay desacuerdos también en cuanto a la fatigabilidad muscular en virtud de la existencia de mecanismos variables para el control y la regulación de la fuerza. Así se ha citado una correlación inversa entre la fuerza y la potencia de un ejercicio con el porcentaje de fibras tipo II¹⁹ o entre la fatiga y la concentración de lactatos²⁰ para ambos sexos.

El objetivo de este trabajo es examinar la influencia del sexo y de la masa muscular sobre la fuerza del cuádriceps femoral, voluntaria e involuntaria generada con estimulación eléctrica, sobre la capacidad de esfuerzo dinámico en cicloergómetro y en la fatiga muscular desarrollada durante el ejercicio.

Material y métodos

La población estudiada ha sido de 42 individuos jóvenes y sanos, de los cuales 21 eran hombres de edad media 24,89 años (SD: 5,50) y peso corporal de 71,42 kg (SD: 7,60), y los otros 21 eran mujeres de edad media 21,48 años (SD: 2,07) y peso de 60,09 kg (SD: 9,10).

En todos ellos se ha realizado una medición cineantropométrica en el lado derecho, con el individuo en posición anatómica y la cabeza en el plano de Frankfurt, marcando previamente los puntos anatómicos de referencia con un lápiz dermatográfico, y siguiendo la técnica recomendada por el Grupo Internacional de Trabajo en Cineantropometría (IWGK) establecidas por la Universidad de Columbia en el año 1973²¹. El material instrumental utilizado ha sido el habitual en este tipo de estudios: tallímetro con precisión de 1 mm, balanza de exactitud de 100 g, escala métrica horizontal graduada en milímetros, cinta antropométrica flexible, antropómetro de capacidad de 1-2.000 mm, paquímetro de corredera graduada en milímetros y compás

de pliegues con precisión de 0,2 mm y presión constante en sus ramas de 10 g/mm². Las medidas directas de peso total, alturas (trocanterea, tibial y estatura), diámetros (biepicondíleo del húmero, biestiloideo del radio y bicondíleo del fémur), perímetros (muslo, brazo en máxima contracción del bíceps y pierna) y pliegues cutáneos (subescapular, tricéptica, suprailíaco, abdominal, anterior del muslo y medial de la pierna) se han tratado informáticamente (ordenador IBM) para la obtención de la composición corporal y el somatotipo.

Se ha aplicado un modelo regional descrito por DRINK-WATER y MARTIN^{22,23} a partir de un símil geométrico de conos truncados concéntricos, validado con estudios anatómicos, para el cálculo de los 4 volúmenes tisulares del muslo en I (volumen de piel, adiposo, muscular y óseo), deduciendo el volumen magro (sumatorio del volumen muscular y óseo) y el total de este segmento (sumatorio de los 4 volúmenes). El fraccionamiento de la composición corporal total (en kg) en 2 compartimentos (peso graso y peso magro) se ha llevado a cabo empleando el método de FAULKNER²⁴ y el fraccionamiento tetracompartimental corporal (peso graso, óseo, residual y muscular) mediante el método de ROSE y GUIMARAES²⁵ para estimar la división del peso magro en sus 3 compartimentos. El estudio se ha completado con el análisis de la configuración morfológica expresada en los componentes del somatotipo (I o endomorfo, II o mesomorfo y III o ectomorfo) siguiendo el método de HEATH-CARTER²⁶.

La fuerza voluntaria del cuádriceps femoral derecho se ha determinado como la mayor de 3 contracciones isométricas máximas de 3 segundos de duración y con 2 minutos de intervalo entre ellas (fuerza máxima voluntaria: FMV). El registro se ha hecho con el sujeto sentado y bien estabilizado con cinchas, estando la rodilla flexionada en 90°. El tobillo se ha conectado mediante un sistema rígido —barra paralela al suelo— al sensor de un dinamómetro digital de 80 kg de capacidad, alojado de manera regulable en un raíl metálico vertical adosado a la pared. El lector del aparato, calibrado diariamente ($\pm 3\%$), ha sido visualizado por el sujeto favoreciendo el sobreesfuerzo. Con el mismo dinamómetro y en iguales condiciones se ha medido la fuerza producida en la estimulación eléctrica percutánea y parcial del cuádriceps a través de un par de amplios electrodos (130 cm²) en frecuencias de 20 y 200 Hz, según la técnica de estimulación descrita por EDWARDS (impulsos unidireccionales cuadrados de 50 microsegundos y voltaje constante entre 50-80 V durante 10 segundos en frecuencia de 20 Hz y 2 segundos en 200 Hz)²⁷. La fuerza en 200 Hz (F 200 Hz) se ha expresado en valor absoluto (kg) y en 20 Hz (F 20 Hz), en porcentaje de la fuerza tetánica (200 Hz), siendo en este caso independiente de la masa muscular activada. La exploración de la fuerza, tanto voluntaria como involuntaria, se ha efectuado antes e inmediatamente después del ejercicio para detectar la fatiga muscular, manteniendo la posición de los electrodos constante con unas bandas elásticas adhesivas.

La prueba de esfuerzo, previo control basal cardiorrespiratorio y con ayuno de 3 horas, se ha desarrollado en un cicloergómetro de freno electromagnético programado para

Tabla I. Características cineantropométricas corporales

Somatotipo	Hombres (n = 21)	Mujeres (n = 21)	P
C. endo (I)	3,06 (± 1,15)	4,21 (± 1,33)	< 0,01
C. meso (II)	4,75 (± 1,12)	3,27 (± 1,24)	< 0,001
C. ecto (III)	2,47 (± 1,15)	2,71 (± 1,31)	NS
<i>Fraccionamiento corporal (kg)</i>			
P. graso	8,85 (± 2,29)	9,12 (± 3,18)	NS
P. magro	61,66 (± 4,84)	50,96 (± 6,36)	< 0,001
P. óseo	11,64 (± 1,04)	9,23 (± 1,22)	< 0,001
P. residual	16,99 (± 1,60)	12,71 (± 1,84)	< 0,001
P. muscular	33,03 (± 2,80)	29,03 (± 3,68)	< 0,001

un incremento de 30 W de carga cada 3 minutos (test triangular 30 W/3 minutos), hasta la detención voluntaria del ejercicio con animación verbal al máximo esfuerzo en la última fase del mismo. Se ha considerado la potencia del ejercicio (W), el VO₂ alcanzado y su incremento en la prueba (l/minuto) y el tiempo (minutos) anterior y posterior a la elevación del cociente respiratorio por encima de la unidad, evaluando los intercambios gaseosos con un analizador de gases anteriormente calibrado (30 minutos) y en condiciones de presión y temperatura constantes.

El análisis estadístico de los datos se ha tratado informáticamente (programas Statview SE Graphics y Cricket Graph en un ordenador Macintosh), estableciendo la normalidad de distribución de la variable a partir de criterios de similitud en las medidas de tendencia central y del valor de los coeficientes de forma (inferiores a ±0,99). La dependencia entre las variables se ha estudiado a través de una regresión lineal, siguiendo el criterio de los mínimos cuadrados, y la comparación en grupos de sexo mediante una inferencia estadística sobre medias (test «t» de Student-Fisher para series no apareadas). El nivel de significación aceptado ha sido de una probabilidad inferior a 0,05.

Resultados

Las características cineantropométricas corporales y regionales y la diferencia intergrupos han sido las mostradas en las tablas I y II. En la tabla III se han expresado los valores obtenidos de la FMV —absoluta y respecto a los vo-

Tabla II. Fraccionamiento de los componentes tisulares del muslo

Volumen tisular (L)	Hombres (n = 21)	Mujeres (n = 21)	P
V. adiposo	2,52 (± 0,69)	3,40 (± 0,99)	< 0,001
V. muscular	7,17 (± 1,11)	5,68 (± 1,27)	< 0,001
V. magro	8,68 (± 1,30)	6,82 (± 1,47)	< 0,001
V. total	11,83 (± 1,52)	10,62 (± 1,46)	< 0,05

Tabla III. Valores de los indicadores de fuerza (voluntaria y obtenida con estimulación eléctrica)

	Hombres (n = 21)	Mujeres (n = 21)	P
FMV (kg)	59,77 (± 10,35)	43,72 (± 10,72)	< 0,01
FMV/V. muscular M. (kg/l)	8,34 (± 1,37)	7,70 (± 0,82)	NS
FMV/V. magro M. (kg/l)	6,89 (± 1,07)	6,64 (± 0,71)	NS
FMV/P. total C. (kg). FMV/P. magro C. (kg)	0,85 (± 0,12)	0,72 (± 0,10)	< 0,05
.....	0,96 (± 0,23)	0,86 (± 0,08)	NS
F 200 Hz (kg)	15,89 (± 2,52)	13,81 (± 3,98)	NS
F 20 Hz (%)	52,08 (± 2,52)	50,95 (± 9,54)	NS

lúmenes tisulares del muslo y pesos corporales— y de los índices contráctiles en alta y baja frecuencia de estimulación. La variación intersexo hallada para los parámetros de función muscular queda expuesta en las figuras 1 y 2.

En el estudio de la dependencia entre variables para el total de la población (n = 42; promedio de valores presentados), la FMV del cuádriceps ha mantenido correlación lineal con el volumen muscular del muslo (r = 0,82, p < 0,001) (fig. 3), con su volumen magro (r = 0,80, p < 0,001), pero no con el volumen adiposo de este segmento. Respecto a la composición corporal: el peso total (r = 0,85, p < 0,001), el peso magro (r = 0,87, p < 0,001) e indistintamente sus 3 componentes (peso óseo: r = 0,70, p < 0,001; peso residual: r = 0,82, p < 0,001; peso muscular: r = 0,88, p < 0,001) y también, aunque con menor significación, el peso graso (r = 0,34, p < 0,05) se han relacionado con la FMV (fig. 4), la cual equivale al 79% (SD: 12,01) del peso total. De los 3 componentes que definen el somatotipo, el mesomorfo ha tenido dependencia directa (r = 0,71, p < 0,001) con la FMV y el ectomorfo la ha establecido más débilmente y de forma inversa (r = -0,32, p < 0,05), no existiendo para el endomorfo.

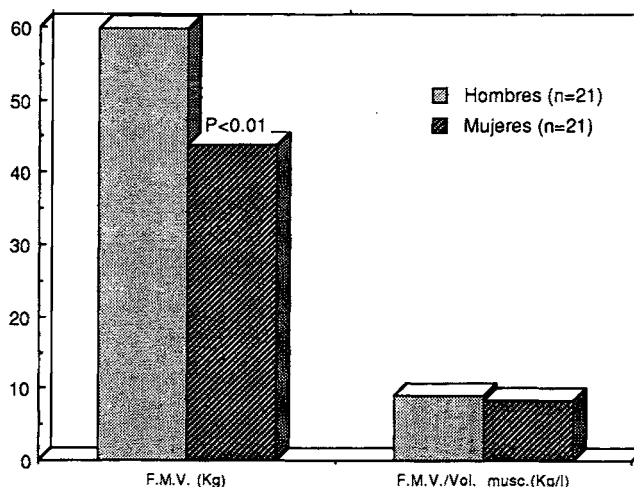


FIG. 1.—Diferencia intersexo de la fuerza muscular voluntaria.

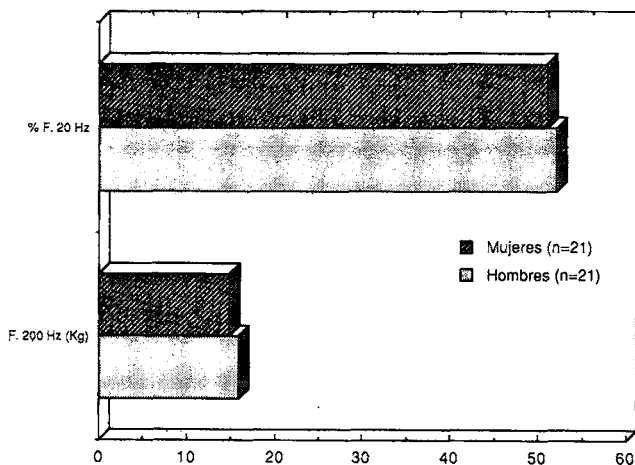


FIG. 2.—Diferencia intersexo de la fuerza conseguida en la estimulación eléctrica.

En el análisis de correlación entre la F 20 Hz y la F 200 Hz con los volúmenes del muslo, los pesos corporales y los componentes del somatotipo, no se ha observado ningún estadístico significativo.

Los indicadores de esfuerzo en el test practicado (tabla IV) han tenido la misma probabilidad de diferencia entre los grupos de sexo (ΔVO_2 , VO_2 final y potencia; $p < 0,001$) al referirlos al volumen muscular del muslo y al peso corporal magro y total (fig. 5).

En el global de los sujetos ($n = 42$; valores medios de las variables en los grupos) la masa magra corporal se ha relacionado con el incremento de VO_2 en la prueba ($r = 0,72$, $p < 0,001$), su valor al final del ejercicio ($r = 0,73$, $p < 0,001$) y la potencia desarrollada ($r = 0,66$, $p < 0,001$) (fig. 6). Los elementos tisulares de este peso —residual (ΔVO_2 : $r = 0,70$; VO_2 final: $r = 0,73$; potencia: $r = 0,63$), óseo (ΔVO_2 : $r = 0,68$; VO_2 final: $r = 0,70$; potencia: $r = 0,70$) y muscular (ΔVO_2 : $r = 0,62$; VO_2 final: $r = 0,63$; potencia: $r = 0,53$)— y el peso total (ΔVO_2 : $r = 0,64$; VO_2 fi-

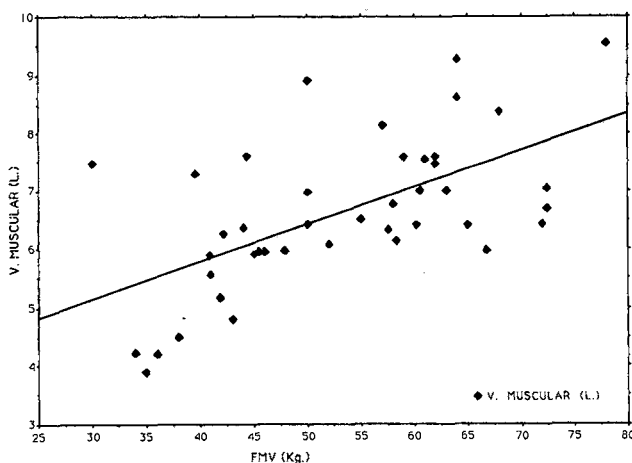


FIG. 3.—Relación entre la fuerza máxima voluntaria y el volumen muscular del muslo ($n = 42$).

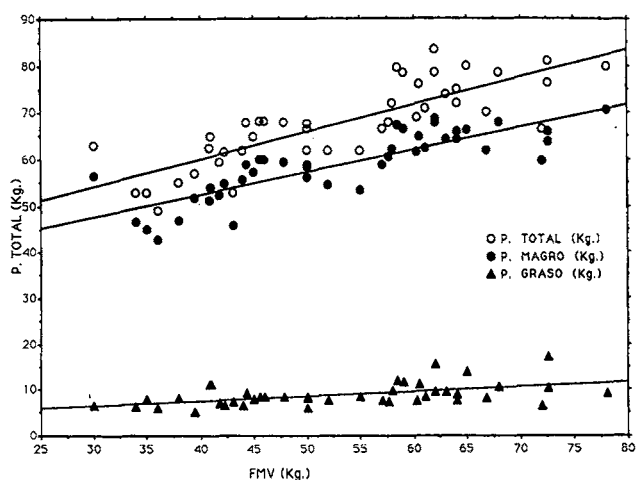


FIG. 4.—Relación entre la fuerza máxima voluntaria y los componentes de la composición corporal ($n = 42$).

nal: $r = 0,65$; potencia: $r = 0,53$) han sostenido correlaciones lineales de similar significación ($p < 0,001$). Estos resultados se han repetido para la dependencia entre el volumen magro ($r = 0,60$, $p < 0,001$), el volumen muscular ($r = 0,63$, $p < 0,001$) y el total del muslo ($r = 0,40$, $p < 0,05$) y para el componente mesomorfo ($r = 0,52$, $p < 0,001$) con la potencia del ejercicio y con el incremento del VO_2 y el VO_2 final (igual significación respectivamente en la recta de regresión). No se ha evidenciado relación de los parámetros ergoespirométricos con los otros volúmenes tisulares del muslo ni con el componente ectomorfo.

El tiempo de trabajo anterior a la elevación del cociente respiratorio por encima de la unidad se ha correlacionado con el peso magro corporal ($r = 0,52$, $p < 0,001$) (fig. 7), con el volumen muscular del muslo ($r = 0,50$, $p < 0,01$) y con el componente mesomorfo ($r = 0,41$, $p < 0,01$), el cual también ha mostrado dependencia lineal con valores más altos de cociente respiratorio al final del ejercicio ($r = 0,33$, $p < 0,05$) y con tiempos posteriores a la elevación del cociente respiratorio superiores ($r = 0,30$, $p < 0,05$). Por el contrario, el peso graso corporal ($r = -0,31$, $p < 0,05$) y el componente endomorfo ($r = -0,34$, $p < 0,05$) se han relacionado inversamente con el VO_2 por unidad de peso total (fig. 8) y con el tiempo anterior al sobrepaso de la unidad del cociente respiratorio ($r = -0,33$, $p < 0,05$).

La pérdida de FMV que ha acontecido con el ejercicio ($n = 42$) ha presentado correlación con el peso graso ($r =$

Tabla IV. Parámetros de esfuerzo (test: 30 W/3 min)

Esfuerzo	Hombres (n = 21)	Mujeres (n = 21)	p
Potencia (w)	250,77 ($\pm 38,00$)	155,45 ($\pm 32,36$)	< 0,001
VO_2 final (l/min)	3,85 ($\pm 0,57$)	2,39 ($\pm 0,71$)	< 0,001
ΔVO_2 (l/min)	3,49 ($\pm 0,57$)	2,12 ($\pm 0,69$)	< 0,001
T. ant. Rq > 1 (min).	20,50 ($\pm 3,98$)	16,38 ($\pm 2,17$)	< 0,01
T. post. Rq > 1 (min).	3,94 ($\pm 3,01$)	2,96 ($\pm 2,62$)	NS

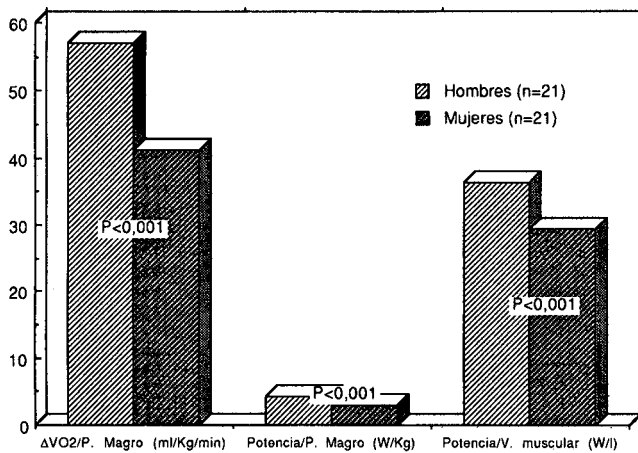


FIG. 5.—Diferencia intersexo de la capacidad de esfuerzo ergométrico.

0,54, $p < 0,001$) (fig. 9) y con el componente endomorfo ($r = 0,45$, $p < 0,01$), pero no con la masa magra corporal (fig. 10) ni con otros pesos, volúmenes regionales o el somatotipo. Tampoco se ha observado relación de la pérdida de F 20 Hz o de F 200 Hz con las características cineantropométricas. En el test de comparación de medias entre los grupos muestrales no hay diferencia para la disminución de la FMV (hombres: 6,80 kg, SD: 3,95; mujeres: 6,49 kg, SD: 4,97), o la caída de F 20 Hz (hombres: 30,03% de la fuerza tetánica preejercicio, SD: 18,64; mujeres: 29,64%, SD: 18,24) y de F 200 Hz (hombres: 38,95% de la fuerza tetánica preejercicio, SD: 19,26; mujeres: 36,08%, SD: 25,3).

Discusión

En el presente estudio las diferencias cineantropométricas corporales entre los sexos son similares a las descritas para los deportistas aragoneses²⁸, pareciendo que se generalizan a la población normal. Así, las mujeres son de somatotipo medio mesoendomorfo frente a los hombres de

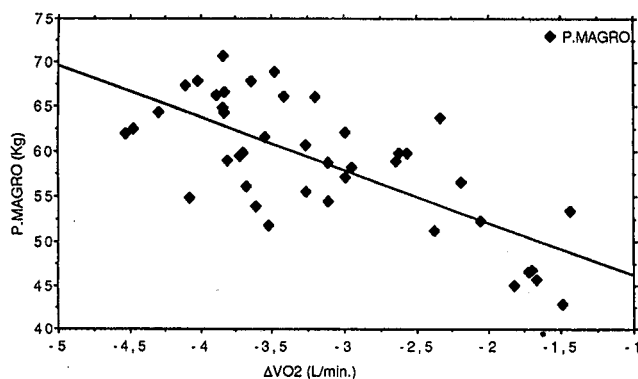


FIG. 6.—Relación del peso magro corporal con la variación del VO_2 en el ejercicio ($n = 42$).

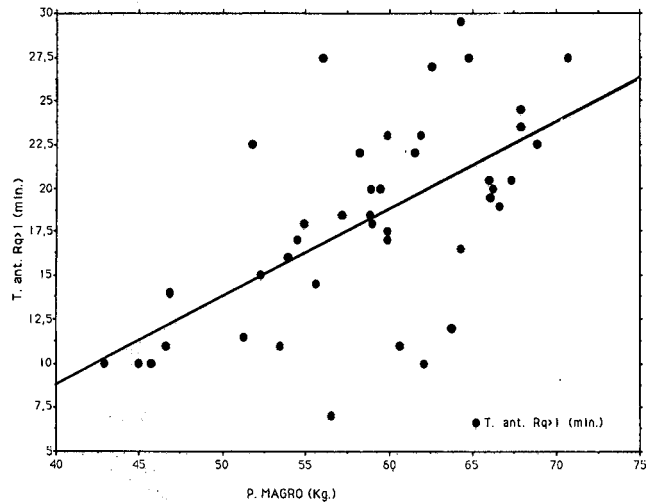


FIG. 7.—Relación del peso magro corporal con el tiempo de ejercicio anterior a la elevación del cociente respiratorio (Rq) ($n = 42$).

somatotipo endomesomorfo y tienen proporcionalmente una menor masa magra y más grasa para un peso total inferior. En el fraccionamiento de los componentes del músculo los valores obtenidos difieren de los presentados por DRINKWATER²² a partir de una serie de cadáveres de edad avanzada y cuya causa de fallecimiento corresponde a diversas enfermedades que pueden haber alterado la composición tisular. Sin embargo, los volúmenes regionales encontrados son consistentes con los aportados por JONES y PEARSON²⁹—procedentes de una población similar a la investigada—, estando validado su método por densitometría y confirmado posteriormente por TAC³⁰.

La FMV del cuádriceps es mayor en la población masculina, pero cuando la fuerza se refiere a unidad de tamaño la diferencia intersexual desaparece, dato que coincide con los estudios de área de sección transversa y niega las discrepancias anteriormente planteadas. De este modo la misma cantidad de músculo estimado cineantropométricamente desarrolla igual fuerza independientemente del sexo, y

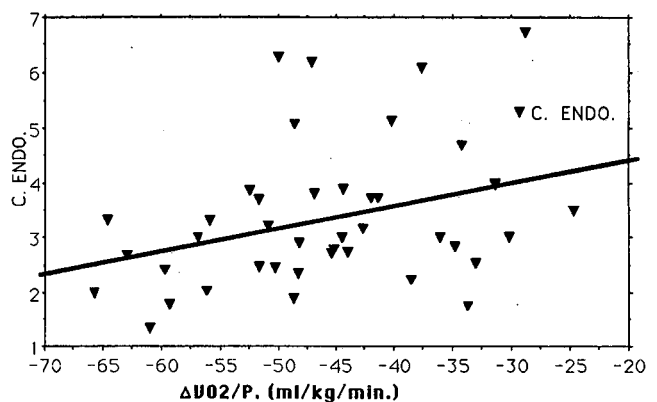


FIG. 8.—Relación del componente endomorfo con la variación del VO_2 por unidad de peso total ($n = 42$).

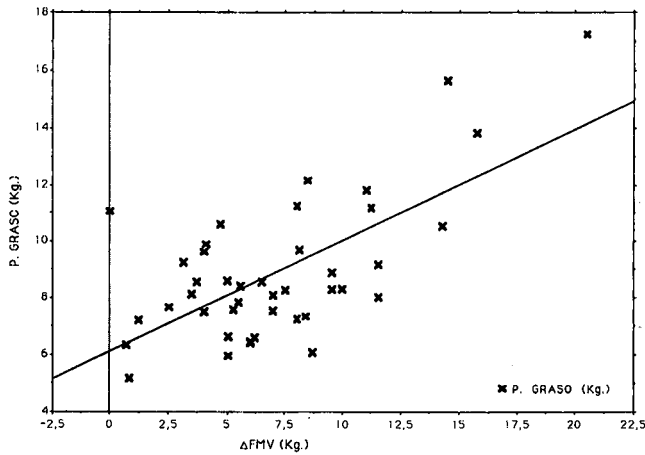


FIG. 9.—Relación del peso graso corporal con la pérdida de fuerza voluntaria en el ejercicio (n = 42).

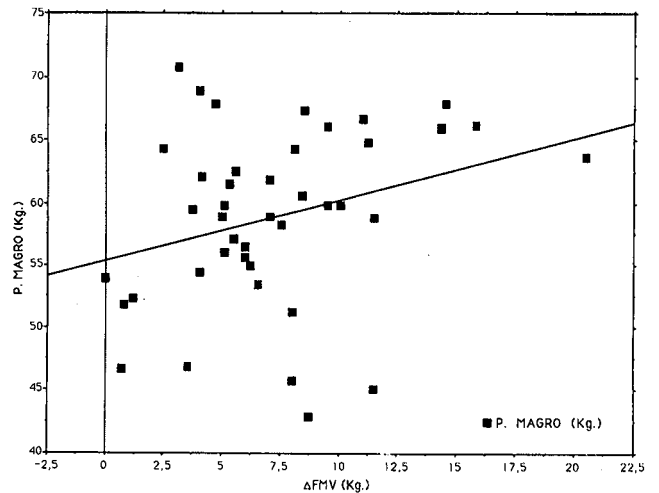


FIG. 10.—Relación del peso magro corporal con la pérdida de fuerza voluntaria en el ejercicio (n = 42).

así, la desigual fuerza absoluta es consecuencia simplemente de la buena correlación lineal de este parámetro con el volumen muscular en el caso del cuádriceps. De esta dependencia derivan las otras relaciones entre FMV y componentes tisulares del muslo, no existiendo, como era de esperar, con el volumen adiposo regional.

La diferencia intersexo de la FMV respecto al peso total es menos relevante que el resultado anterior, ya que no hay distinción para la FMV que produce una unidad de peso magro. Posiblemente tal hallazgo corresponde a la función mecánica del cuádriceps en la vida diaria para soportar el peso del cuerpo, considerando en este sentido la significativa correlación entre el peso magro y la FMV y que el hombre es más magro en su peso total. La especialización de este gran músculo explicaría también la débil dependencia entre FMV y peso graso corporal, habiéndose observado estos hechos en otras experiencias, en las cuales se citan como patológicas cifras de fuerza del cuádriceps inferiores al 50% del peso corporal³¹, siendo el mínimo en esta población un 63%.

La superior FMV con mayor componente mesomorfo es lógica, dado que este componente indica el predominio del desarrollo musculoesquelético en la morfología individual e igualmente la relación inversa con el componente ectomorfo, expresivo de la linealidad del sujeto. Sin embargo, no se evidencia ninguna dependencia entre los índices contráctiles obtenidos por estimulación eléctrica con los componentes del somatotipo o de la composición corporal y regional del muslo. El sexo tampoco influye sobre estos parámetros neuromusculares involuntarios de acuerdo con los resultados de otros autores^{32, 33}.

El esfuerzo dinámico en el test empleado es más intenso en los sujetos con mayor masa magra, componente mesomorfo y volumen de uno de los músculos implicados en el ejercicio, pero, además, en ellos la elevación del cociente respiratorio es más tardía y, por tanto, la capacidad aeróbica es superior. El componente mesomorfo parece enlazar con una mejor tolerancia a la acidosis, permitiendo mayor trabajo anaeróbico. Si bien, en consecuencia, el somatotipo

y la división corporal en 2 compartimentos pueden orientar sobre el nivel de potencia del ejercicio, el fraccionamiento en 4 compartimentos resulta bastante inespecífico, ya que los 3 componentes del peso magro mantienen la misma significación con el esfuerzo, no pudiendo tener la misma importancia el peso residual que el muscular en estos aspectos.

La mayor capacidad de esfuerzo del hombre en este protocolo persiste cuando los índices ergoespirométricos se expresan en términos de unidad de peso total, de masa magra corporal y de volumen muscular del muslo. Estos hallazgos hacen suponer, al contrario de lo que sucede con la fuerza, la intervención de otros factores ajenos a la cantidad de músculo y su fuerza para la distinta capacidad de ejercicio entre los sexos, de manera que las mujeres no realizan un ejercicio de inferior potencia únicamente porque tengan menos masa muscular. Numerosas investigaciones han vinculado la aptitud al ejercicio con el tipo de fibras musculares, y los trabajos de YOUNG³⁴ obligan a admitir que las fibras tipo II son capaces de generar más fuerza por unidad de área de sección transversa. A pesar de ello, los estudios de HAEKKINEN y KOMI^{35, 36} en sujetos normales y con entrenamiento selectivo no han revelado que una mayor área de fibras tipo II se relacione con la máxima fuerza isométrica o con los perímetros musculares, como sí lo hace con un test de fuerza rápida o explosiva. Es probable que sean las distintas variedades de fuerza desarrolladas en cada modalidad de ejercicio las que se correspondan con el tipo de fibras, siendo la máxima fuerza isométrica un indicador de hipertrofia de todas ellas, como se ha visto en experiencias con entrenamiento isocinético, mediante el cual se consiguen aumentos paralelos del volumen muscular y la FMV³⁷. Realmente todavía no hay evidencia de una distinta dotación genética en la composición del tipo de fibras entre los sexos, y es más verosímil que la diferente capacidad de ejercicio entre ellos radique en el grado y tipo de actividad física, en la acción de las hormonas sexuales o en otras influencias no determinadas.

Los sujetos con más grasa corporal (endomorfa y peso graso) consumen menos O₂ por unidad de peso total en este estudio, lo cual es natural, puesto que la grasa no gasta O₂ durante el ejercicio, pero no descarta que a ello pueda contribuir una menor utilización de O₂ por parte del músculo. A este respecto se comprueba en estos sujetos una elevación precoz del cociente respiratorio que sugiere un inicio temprano de los procesos glucolíticos debido a una menor capacidad oxidativa muscular. Estos mismos datos han sido ligados en otros estudios³⁸ a una menor proporción de fibras tipo I, de metabolismo eminentemente aeróbico, frente a las tipo II, lo cual originaría una inferior combustión de las grasas en las actividades cotidianas, proponiéndola como un factor de obesidad genéticamente determinado (hipótesis que requiere ser confirmada). En esta población se observa que la fatiga muscular, en términos de pérdida de FMV, parece ser más intensa cuanto más tejido adiposo tiene el individuo, dato de interés si se tienen en cuenta que las fibras tipo II son más rápidamente fatigables. No obstante, no hay correlación con la disminución de la fuerza en la estimulación eléctrica, estando discutido el tipo de fibras que la producen, dado que la activación de las mismas es sincrónica.

Con excepción del resultado comentado, la fatigabilidad muscular es bastante independiente de las características cineantropométricas del individuo y de la propia cantidad de músculo, no estando influenciada la variación de los índices contráctiles voluntarios o involuntarios por el sexo.

Conclusiones

1. No existe diferencia intersexual para la fuerza voluntaria máxima por unidad de volumen muscular cuantificado cineantropométricamente, ni para la fuerza generada con estimulación eléctrica.
2. La capacidad de esfuerzo varía con las características cineantropométricas del individuo, y es menor en la mujer que en el hombre por factores independientes de la masa muscular.
3. No hay evidencia de influencia de la cantidad de músculo, considerando o no el sexo, sobre la fatiga muscular producida con el ejercicio dinámico.

Bibliografía

1. COTES, S. E., y DAVIES, C. T. M.: «Factors underlying the capacity for exercise: A study in physiological anthropology». *Proc. Roy. Med. Soc. Biol.*, 62: 620-624, 1969.
2. COTES, S. E.; DAVIES, C. T. M.; EDHOLM, O. G.; HEALEY, M. J. R., y TANNER, J. M.: «Factors relating to aerobic capacity of 46 British males and females ages 18 to 26 years». *Proc. Roy. Med. Soc. Lond.*, 174: 91-144, 1969.
3. JONES, N. L.; SUMMERS, E., y KILLIAN, K. J.: «Influence of age and stature on exercise capacity during incremental cycle ergometry in men and women». *Am. Rev. Respir. Dis.*, 140 (5): 1373-1380, 1989.
4. BALE, P.: «The relationship between physique and body composition to strength in a group physical education students». *Br. J. Sports Med.*, 14: 193-198, 1980.
5. BALE, P.; COLLEY, E., y MAYHEW, J. J.: «Size and somatotype correlates of strength and physiological performance in adult male students». *Aust. J. Sci. Med. Sports*, 16: 2-6, 1984.
6. BALE, P.; COLLEY, E., y MAYHEW, J. J.: «Relationships away physique, strength, and performance in woman students». *J. Sports Med. Physiol. Fit.*, 25: 98-103, 1985.
7. LAMPHEAR, D. E., y MONTROYE, H. J.: «Muscular strength and body size». *Hum. Biol.*, 48: 147-160, 1976.
8. MALINA, R. M., y LITTLE, B. B.: «Body composition strength and motor performance in undernourished boys». En: Binkhorst, R. A.; Kemper, H. C. G., y Saris, W. H. M. (eds.): *Children and exercise XI*. Human Kinetics Publishers, Inc. Illinois, 293-300, 1985.
9. IKAI, M., y FUKUNAGA, T.: «Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurements». *Int. Z. Angew. Physiol.*, 26: 26-32, 1968.
10. IKAI, M., y FUKUNAGA, T.: «A study of training effect on strength per unit cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement». *Int. Z. Angew. Physiol.*, 28: 173-180, 1970.
11. BRUCE, S. A.; PHILLIPS, S. K., y WOLEDGE, R. C.: «Isometric force in maximum voluntary contractions related to an estimate of the cross-sectional area of adductor pollicis in the human subject». *J. Physiol.*, 372: 31-36, 1986.
12. CHAPMAN, S. J.; GRINDOD, G., y JONES, D. A.: «Cross-sectional area and force production of the quadriceps muscle». *J. Physiol.*, 353: 53-58, 1984.
13. HUDASH, G.; ALBRIGHT, J. P.; McAULEY, E.; MARTIN, R. K., y FULTON, M.: «Cross-sectional thigh components computerised tomographic assessment». *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17: 417-421, 1985.
14. MAUGHAN, R. J.; WATSON, J. S., y WEIR, J.: «Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners». *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50: 309-318, 1983.
15. SCHANTZ, P.; RANDALL-FOX, E.; HUTCHINSON, W.; TYDON, A., y ASTRAND, P. O.: «Muscle fiber type distribution, muscle cross sectional area and maximal voluntary strength in humans». *Acta Physiol. Scand.*, 117: 219-226, 1983.
16. DAVIES, B. N.; GREENWOOD, E. S., y JONES, S. R.: «The relationships between lean, limb, volume and performance in the stading long-jump and handgrip test in young adult males and females». *J. Physiol.*, 382: 196-201, 1987.
17. DAVIES, B. N.; GREENWOOD, E. S., y JONES, E. J.: «Gender difference in the relationships tests to lean limb volume in young adults». *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 315-320, 1988.
18. EDWARDS, R. H. T.; GRINDROD, S.; NARK, M.; RUTHERFORD, O., y SARGEANT, A.: «Assessment of leg muscle size by anthropometry and x-ray computerised tomography». *J. Physiol.*, 353: 4-8, 1984.
19. BELL, D. G., y JACOBS, I.: «Electro-mechanical response times and rate of force development in males and females». *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18 (1): 31-36, 1986.
20. KARLSSON, J.; SJODIN, B.; JACOBS, I., y KAISER, P.: «Relevance of muscle fiber type to fatigue in short intense and prolonged exercise in man». En: *Human muscle fatigue: Physiological mechanism*. Ciba Foundation symposium. Pitman Medical. London, 59-74, 1981.
21. CARTER, J. E. L.; ROSS, W.; AUBRY, S. P.; HEBBELINK, M., y BORNIS, J.: «Anthropometry of Montreal Olympic». *Med. Sport.*, 16. Karger, Basel, 25-52, 1982.
22. DRINKWATER, D. T.: «An atomically derived method for the anthropometric stimation of human body composition». *Thesis in Kinesiology*. Simon Fraser University, 1984.
23. MARTIN, A. D.: «An anatomical basis for assessing human body composition: Evidence from 25 dissections». *Doctoral Dissertation*. Simon Fraser University, 1984.
24. ROSE DE, E.: «Técnicas de avaliação de composição corporal». *Med. de Sporte*, 1: 45-71, 1973.
25. ROSE DE, E.: *Manual de cineantropometria*. Portoalegre, Brasil, 1985.

26. CARTER, J. E. L.: «The contribution of somatotype in Kinanthropometry». En: Ostry, M.; Bremen, G., y Simmons, J. (eds.): *Kinanthropometry II*. University Park Press. Baltimore, 65-87, 1980.
27. EDWARDS, R. H. T.: «New techniques for studying human muscle function, metabolism and fatigue». *Muscle Nerve*, 7 (8): 599-609, 1984.
28. ARAGONES, M. T., y LAYUS, F.: *Estudio cineantropométrico de los deportistas aragoneses*. Beca de Investigación del Instituto de Ciencias de la Educación Física y el Deporte. Centro de Medicina del Deporte de la DGA. Zaragoza, 1986.
29. JONES, P. R. M., y PEARSON, J.: «Anthropometric determination of leg fat and muscle plus volume on young male and female adults». *J. Physiol.*, 204: 63-66, 1969.
30. MAUGHAN, R. J.; ABEL, R. W.; WATSON, J. S., y WEIR, J.: «Forearm composition and muscle function in trained and untrained limbs». *Clin. Physiol.*, 6: 389-396, 1986.
31. EDWARDS, R. H. T.; CHAPMAN, S. J.; NEWHAM, D. J., y JONES, D. A.: «Practical analysis of variability muscle function measurements in Duchenne muscular dystrophy». *Muscle Nerve*, 10: 6-14, 1987.
32. BAECKMAN, E., y HENRIKSSON, K. G.: «Skeletal muscle characteristics in children 9-15 years old: Force relaxation rate and contraction time». *Clin. Physiol.*, 8 (5): 521-527, 1988.
33. LENNMARKEN, C.; BERGMAN, T.; LARSSON J., y LARSSON, L. E.: «Skeletal muscle function in man: Force, relaxation rate, endurance and contraction time. Dependence on sex and age». *Clin. Physiol.*, 5 (3): 243-255, 1985.
34. YOUNG, A.: «The relative isometric strength of types I and II muscle fibres in the human quadriceps». *Clin. Physiol.*, 4: 23-32, 1984.
35. HAKKINEN, K.; KOMI, P. V., y ALEN, M.: «Effects of explosive type strength training on isometric force and relaxation-time electromyographic and muscle fiber characteristics of leg extensor muscles». *Acta Physiol. Scand.*, 125: 587-600, 1985.
36. HAKKINEN, K.; KOMI, P. V., y KAUKANEN, M.: «Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric concentric and various stretch shortening cycle exercise». *Int. J. Sports Med.*, 7 (3): 144-151, 1986.
37. NARICI, M. V.; ROI, G. S.; LANDONI, L.; MINETTI, A. E., y CERRETELLI, P.: «Changes in force, cross sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps». *Eur. J. Appl. Physiol.*, 59 (4): 310-319, 1989.
38. WADE, A. J.; MARBUT, M. N., y ROUND, J. M.: «Tipos de fibra muscular y etiología de la obesidad». *Lancet*, 17 (2): 85-88, 1990.