

Función cardíaca y lactatemia en deportistas parapléjicos

J. F. ARAMENDI⁽¹⁾⁽²⁾,
A. SCHMID⁽³⁾,
I. ARRATIBEL⁽²⁾,
J. M. BARTUREN⁽³⁾,
M. HUONKER⁽³⁾,
H. DÜRR⁽³⁾,
E. KIÜPPEL⁽³⁾
Y J. KEUL⁽³⁾

⁽¹⁾G. D. Fundación ONCE

⁽²⁾IVEF / SHEE

⁽³⁾Rehabilitative und Präventive Sportmedizin, Medizinische Universitätsklinik Freiburg

CORRESPONDENCIA

Dr. J. F. Aramendi Aramendi
Atari eder 4, 2ªA
0014 SAN SEBASTIÁN
Tel.: 943 473986

RESUMEN: OBJETIVO: determinar la influencia del entrenamiento de resistencia en el tamaño y la función cardíacas y en la curva de lactatemia de deportistas parapléjicos. SUJETOS: grupo P: 8 deportistas parapléjicos varones (37,5 [25-47] años) con volumen de entrenamiento 8,3 ± 3,1 h/semana. Grupo C: grupo control 11 estudiantes de Educación Física varones (26,4 [23-30] años) con un volumen de entrenamiento 5,6 ± 1,3 h/semana. DETERMINACIONES: Se les practicó una ecocardiografía y una ergometría de manivela, escalonada con determinación de la concentración lactato (La) y de frecuencia cardíaca (FC) en cada escalón. RESULTADOS: el grupo P presentó un volumen ventricular izquierdo significativamente menor que C (771 ± 84 ml vs. 976 ± 84 ml). El volumen latido fue también menor en P (83 ± 13 ml vs. 104 ± 11 ml), mientras que ambos grupos presentaron grosores de paredes similares. La potencia máxima relativa al peso corporal lograda por ambos grupos fue semejante (2,1 ± 0,34 vs. 2,1 ± 0,37 W/kg), para P y C respectivamente. Tampoco la concentración máxima de La, ni la FC máxima fueron significativamente diferentes (8,6 ± 2,6 mmol/l vs. 10,5 ± 2,9 mmol/l; y 177 ± 12 vs. 170 ± 9 lat/min). Los valores de la FC y de La no se diferenciaron significativamente en cada escalón de esfuerzo. CONCLUSIONES: el entrenamiento de resistencia puede compensar la disminución de las dimensiones y función cardíacas que produce la inactividad física que conlleva la paraplejía. Parapléjicos entrenados en resistencia pueden llegar a tener dimensiones cardíacas y valores de función comparables con sujetos sedentarios no discapacitados, sin alcanzar los niveles de los deportistas de resistencia no discapacitados. Las respuestas de la FC y del La al esfuerzo en P es semejante a las de los deportistas no discapacitados.

PALABRAS CLAVE: paraplejía, lesiones medulares, medicina del deporte, frecuencia cardíaca, ecocardiografía, lactato.

SUMMARY: OBJECTIVE: to determine the effect of endurance training on cardiac dimensions and function, and in blood lactate in paraplegics SUBJECTS: group P: 8 trained paraplegics (35.7 [25-47] years) with a training volume of 8.3 ± 3.1 h/week. Group C: or control group, 11 male sport students (26.4 [23-30] years), who had trained for 5.6 ± 1.3 h/week. DETERMINATIONS: they performed a echocardiography and a graded arm crank ergometry. Blood lactate concentration (La) and heart rate (HR) were measured after different levels of the graded exercise test. RESULTS: P had a significantly smaller left ventricular volume than C (771 ± 84 ml vs. 976 ± 84 ml) and smaller stroke volume (83 ± 13 ml vs. 104 ± 11 ml), with comparable wall thickness. P and C achieved similar maximal power relative to body mass (2.1 ± 0.34 vs. 2.1 ± 0.37 W/kg, respectively). Neither maximal HR (177 ± 12 beats/min vs. 170 ± 9 beats/min) nor maximal La (8.6 ± 2.6 mmol/l vs. 10.5 ± 2.9 mmol/l) were significantly different. No differences between the groups were found in HR or La at the various exercise steps. CONCLUSIONS: although paraplegia leads to a diminution of cardiac dimensions and function, regular endurance training can compensate these decreases. The cardiac dimensions of P were comparable with those of able-bodied untrained people but not of endurance trained healthy controls. P and C showed similar HR or La reactions to exercise.

KEY WORDS: paraplegia, spinal cord injuries, sports medicine, heart rate, echoocardiography, lactate.

INTRODUCCION

En la bibliografía existen muchos trabajos sobre las reacciones cardíacas y metabólicas al esfuerzo en personas no discapacitadas, tanto entrenadas como no entrenadas. Estos datos nos permiten emitir juicios sobre la capacidad funcional e indicaciones de entrenamiento en sujetos físicamente activos y en sedentarios.¹ Sin embargo, hasta ahora se han investigado poco las reacciones y las adaptaciones al ejercicio en personas paraplégicas. Junto a las paresias motoras y pérdidas sensitivas tras las lesiones medulares (LM) se producen también diferentes alteraciones del sistema nervioso vegetativo —en dependencia del nivel de la lesión—, que conllevan una disminución de las capacidades respiratoria, cardiocirculatoria y metabólica.^{3, 4, 16, 33, 34} Aunque los conocimientos sobre los procesos adaptativos cardiocirculatorios y metabólicos en paraplégicos entrenados y sedentarios son insuficientes, ya Guttman¹⁹ atribuye una gran importancia a la actividad física en la rehabilitación y en la fase postclínica de las LM, corroborando otros autores la importancia del ejercicio físico para la mejora de la capacidad funcional y la prevención de diversas patologías.^{5, 6, 8, 9, 14, 17, 39}

El objetivo de este trabajo fue el de comprobar la hipótesis de que los deportistas paraplégicos tienen las mismas adaptaciones cardiocirculatorias y metabólicas al entrenamiento de resistencia que sujetos no discapacitados.

MATERIAL Y METODO

Sujetos

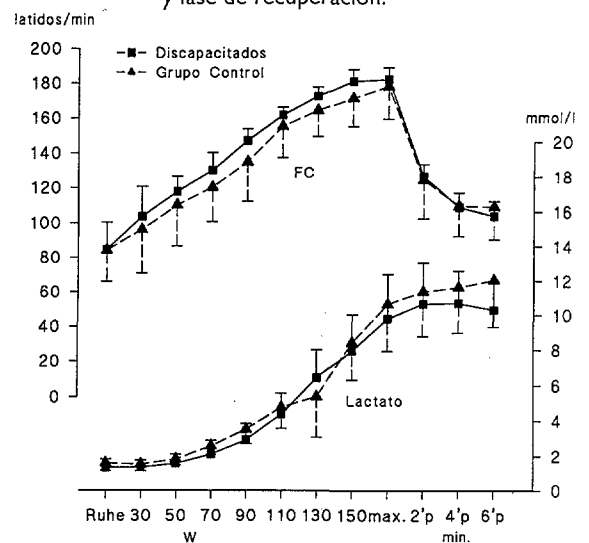
El grupo de estudio (P) estaba formado por 8 deportistas paraplégicos varones, todos ellos integrantes de diferentes especialidades de la Selección Nacional Alemana de Deportistas Discapacitados como esquí de fondo con trineo (aparato en el cual los deportistas van sentados y se desplazan por medio de dos bastones cortos), atletismo y baloncesto en silla de ruedas. Como grupo control (C) tomaron parte voluntariamente 11 estudiantes de Educación Física varones. El nivel de LM del grupo P se encontraba entre T6 y L1. Los datos antropométricos y de volumen de entrenamiento de ambos grupos se encuentran resumidos en la Tabla I.

Ecocardiografía

Se realizó una ecocardiografía en reposo. Mediante cortes de imágenes bidimensionales y en modo-M tomados con un transductor mecánico de 3,5-MHz (SSD-725; Aloka, Japón) se estimaron los siguientes valores: diámetro de la raíz aórtica

Figura 1

Evolución de la Frecuencia Cardíaca y del lactato en los discapacitados y en el grupo control durante la ergometría de manivela y fase de recuperación.



y de la aurícula izquierda (LA); diámetro telediastólico (TEDD) y telesistólico (TESD) total del ventrículo izquierdo (LV), a nivel mitral (TEDDm y TESDm respectivamente) y papilar (TEDDp y TESDp), diámetro telediastólico (EDp) y telesistólico (ESp) interno del LV a nivel papilar; diámetro telediastólico longitudinal del LV, tomado de la imagen bidimensional (L4d); y los grosores del septo (STd) y de la pared posterior (PWTd) del LV al final de la diástole. Según una regla modificada de Simpson se calculó el volumen cardíaco (HV) absoluto y el relativo al peso corporal.¹² La fracción de acortamiento se determinó a partir del EDp y del ESp, y de la diferencia de los volúmenes telediastólico y telesistólico se determinó el volumen latido (SV).^{12, 13, 27}

Ergometría

Los participantes en el estudio llevaron a cabo una ergometría escalonada progresiva en un ergómetro de manivela modificado, de freno eléctrico dependiente del número de revoluciones (Ergotest, Jäger, Alemania). Tras un calentamiento de 3 minutos a 10 W seguidos de una pausa de 2 minutos, se realizó la prueba de esfuerzo con comienzo en 20 W y un incremento de 10 W por escalón en intervalos de 1 minuto, hasta el agotamiento subjetivo. Durante el test los sujetos debían mantener una cadencia entre 50 y 60 r.p.m. La frecuencia cardíaca (FC) fue grabada continuamente durante el esfuerzo y la recuperación por medio de pulsómetros (Polar Sporttester, Unilife, Finlandia). Antes del esfuerzo, al final de cada escalón, en la carga máxima alcanzada y en los minutos

Tabla I Valores medios de los datos antropométricos y del volumen de entrenamiento semanal

	Paraplégicos (n = 8)	Control (n = 11)	Significación
Edad (años)	35,7	26,4	p < 0,05
Talla (cm)	175,0	182,9	n.s.
Peso (kg)	68,8	76,6	p < 0,05
Volumen (h/semana)	8,3	5,6	p < 0,05

2, 4 y 6 de la fase de recuperación, se realizaron tomas de sangre capilar del lóbulo hiperemizado de la oreja para la medición de las concentraciones de lactato (La), mediante método enzimático (EPOS Analyzer 5060, Eppendorf, Alemania).

Análisis estadístico

Se calcularon la media y las derivaciones estandard como medidas de tendencia central y de dispersión respectivamente. La comparación entre grupos se llevó a cabo mediante el test de Mann y Whitney para muestras independientes. El nivel de significación estadística se fijó en una $p < 0,05$.

RESULTADOS

La edad de los P fue significativamente mayor que en C ($p < 0,05$), siendo también mayor el volumen de entrenamiento semanal que llevaban a cabo ($8,3 \pm 3,1$ vs. $5,6 \pm 1,3$ h/semana, $p < 0,05$). Sin embargo los P presentaron un peso corporal menor (Tab. I).

Las dimensiones del LV de los P (EDp, ES_p, TEDD_m, y TEDD_p) fueron significativamente menores que las del grupo C, siendo también menor el volumen cardíaco (HV) de los P, tanto expresado en forma absoluta ($p < 0,01$) como relativo al peso corporal ($p < 0,05$). La estimación del volumen latido fue también menor en P ($p < 0,01$) (Tab. II).

La FC y la La basales de los P fueron de 81 lat/min y 1,4 mmol/l, no siendo estadísticamente diferentes de los del grupo C (89 lat/min y 1,6 mmol/l, respectivamente). En el test escalonado en el ergómetro de manivela los P alcanzaron una potencia máxima de $145 \pm 23,7$ W, que en relación al peso corporal suponían $2,1 \pm 0,34$ W/kg; una FC máxima de 177 ± 12 lat/min y una La máxima de $8,6 \pm 2,6$ mmol/l (Tab. III). El grupo C alcanzó una potencia máxima de $160 \pm 28,2$ W ($p < 0,05$), que referido al peso corporal suponía $2,1 \pm 0,37$ W/kg ($p > 0,05$); con una FC máxima de 170 ± 9 lat/min y una La máxima de $10,5 \pm 2,9$ mmol/l (Tab. III). Tanto la FC como las La en los diferentes escalones de esfuerzo y durante la fase de recuperación no presentaron diferencias significati-

vas entre los grupos (Fig. I). Tampoco la potencia desarrollada en el umbral de 4 mmol/l de La ($108,9 \pm 20,1$ vs. $107,8 \pm 12,9$ W para P y C respectivamente) fue estadísticamente diferente en ambos grupos.

DISCUSION

Nuestro grupo de P, en comparación con C, a pesar de tener volúmenes de entrenamiento mayores, demostraron menores diámetros (ED_p, ES_p, TEDD_m y TEDD_m) y volúmenes cardíacos (tanto absolutos como relativos al peso corporal), siendo el grosor de las paredes y la fracción de acortamiento semejantes en ambos grupos (Tab. II). En estudios longitudinales sobre las adaptaciones estructurales cardíacas a la actividad física en sujetos con LM encontramos resultados en parte contradictorios. Mientras Davis y col.⁷ encuentran efectos circulatorios periféricos y metabólicos sin adaptaciones centrales cardíacas después de 16 semanas de entrenamiento,³⁰ tras 6 meses de electroestimulación del músculo cuádriceps en sujetos tetraplégicos encuentran un aumento del diámetro telediastólico y de la masa muscular ventricular izquierda. Los datos de éste trabajo concordarían con los de otros autores, quienes afirman que en sujetos con LM, debido a la disminución de la masa muscular estimulable y a la falta de actividad física se produce una disminución de las dimensiones cardíacas por debajo de los valores de sujetos controles no discapacitados, siendo las dimensiones cardíacas de deportistas de élite con LM semejantes a las de sujetos sedentarios no discapacitados.^{23, 24, 26, 35, 37} Esta falta de actividad que se produce en los paraplégicos desde el momento en el que se produce la lesión se debe en general a su reducida movilidad, que les produce frecuentemente una disminución en la capacidad de rendimiento,^{1, 8, 25} y aumenta su riesgo a padecer diversas enfermedades como son la arterioesclerosis, la enfermedad coronaria, la diabetes tipo II, la obesidad y la hipertensión.^{6, 17, 21}

Es conocido que para que se produzca la hipertrofia cardíaca fisiológica —o corazón del deportista— son necesarios grandes volúmenes de entrenamiento de forma regular y durante un espacio de tiempo prolongado, y que este tipo de hipertrofia consiste en un aumento armónico de las cavidades cardíacas manteniéndose constante la relación entre la masa muscular y el volumen cardíaco.^{12, 22, 27, 32} Parece ser que un estímulo importante para que se produzcan estas adaptaciones funcionales y estructurales es la sobrecarga de volumen crónica e intermitente, con aumento del volumen latido y del gasto cardíaco, que se produce en los deportistas de resistencia.³² Podemos entonces especular que al tener los sujetos con LM una reducción de su masa muscular, tengan también una

Tabla II

Valores medios y desviaciones estándar de los datos ecocardiográficos

	Parapléjicos (n = 8)	Control (n = 11)	Significación
Diámetro de la raíz aórtica (mm)	32 ± 3	32 ± 1	n. s.
Diámetro de la LA (mm)	32 ± 4	35 ± 2	n. s.
Dimensiones del LV (mm)			
EDp	49 ± 2	55 ± 4	p < 0,01
ESp	33 ± 3	37 ± 3	p < 0,05
TEDDm	67 ± 4	74 ± 3	p < 0,01
TEDDp	69 ± 3	75 ± 4	p < 0,01
L4d	95 ± 8	103 ± 5	n. s.
STd	10 ± 2	9 ± 1	n. s.
PWTD	10 ± 1	10 ± 1	n. s.
Volumen cardíaco absoluto (ml)	771 ± 84	976 ± 84	p < 0,01
Volumen cardíaco relativo (ml/kg)	10,8 ± 1,1	12,6 ± 1,6	p < 0,05
Volumen latido (ml)	83 ± 13	104 ± 11	p < 0,01
Fracción de acortamiento (%)	34 ± 6	34 ± 2	n. s.

n. s. = no significativa; LA = aurícula izquierda; LV = ventrículo izquierdo; EDp = diámetro interno telediastólico a nivel papilar; ESp = diámetro interno telesistólico a nivel papilar; TEDDm = diámetro total telediastólico a nivel mitral; TEDDp = diámetro total telediastólico a nivel papilar; L4d = diámetro telediastólico longitudinal del LV, tomado de la imagen bidimensional; Std = grosor del septo interventricular; PWTD = grosor de la pared posterior.

menor sobrecarga cardíaca de volumen, lo que podría ser una causa de su menor adaptación estructural cardíaca al deporte de resistencia. Esta teoría estaría apoyada por la relación positiva que existe entre la masa corporal o la masa muscular y el volumen y la masa del ventrículo izquierdo (LV). La lesión del Sistema Nervioso Simpático, fundamentalmente en sujetos tetrapléjicos, tiene también con seguridad un efecto cardiocirculatorio importante.^{21, 28}

Nuestros resultados demuestran que el entrenamiento de resistencia produce en los P, adaptaciones funcionales y estructurales en comparación con sedentarios con LM. Sin embargo, sus dimensiones no llegan a ser las de deportistas no discapacitados, sino que se corresponden más a las de sujetos sedentarios sin discapacidad.^{23, 24}

En la literatura existe acuerdo sobre el hecho de que el entrenamiento produce en los parapléjicos las correspondientes adaptaciones, presentando los parapléjicos entrenados mayor capacidad de rendimiento que parapléjicos no entrenados.^{8, 10, 11, 14, 17, 20, 29, 31, 36, 38} Nuestro grupo de P consiguió como media una potencia máxima de 145 W, lo que corresponde a 2,1 W/kg de peso, que si la comparamos con los datos citados se encuentra muy por encima de la capacidad de los parapléjicos sedentarios.¹ No podemos descartar que la mayor potencia máxima lograda por el grupo C no sea debida a la mayor

participación de grupos musculares de la parte inferior del tronco y de la cintura pélvica, movimientos que son metodológicamente difíciles de controlar en estas cargas máximas. Nuestros datos, en acuerdo con otros trabajos de la bibliografía, demuestran FC máximas y La máximas semejantes en sujetos entrenados con LM y en los sujetos control no discapacitados.^{1, 8, 14} Sin embargo, en lesiones entre los niveles T6 y T12 se pueden encontrar FC máximas reducidas debido a la afectación de la actividad adrenérgica (Coutts y col.,⁵ 1985). En nuestro estudio no hemos encontrado una relación entre FC máxima o La máximo con el nivel de la LM, como las encontradas por Eriksson y col.¹⁴

Las FC basales fueron de 81 y 89 lat/min para los grupos P y C respectivamente, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. La falta de una bradicardia se debe a los efectos de la fase de calentamiento. Las La basales para el grupo de P fueron de 1,4 mmol/l, siendo estas semejantes las del grupo C y comparables a datos de referencia de nuestro laboratorio para sujetos no discapacitados.¹

Al igual que esta descrito en la literatura, cuando se produce la misma sollicitación muscular,^{14, 29, 31, 36} tanto las curvas de FC, como las de La con respecto a la potencia desarrollada en un ergómetro de manivela en el grupo P no mostraron ninguna diferencia significativa con las de los sujetos C. El grupo P presentó una tendencia, no estadísticamente significativa, a presentar una mayor potencia para una La de 4 mmol/l (Fig. I y Tab. III). Esto podría ser debido una mejor capacidad aeróbica de la musculatura activada con este tipo de esfuerzo, debido a los mayores volúmenes de entrenamiento específico de estos grupos musculares en los P. A pesar de estos mayores volúmenes de entrenamiento, los sujetos P presentaron mayores frecuencias cardíacas en la mayoría de las cargas submáximas, aunque estas diferencias tampoco fueron significativas. Una explicación para ello la encontraríamos en los menores volúmenes cardíacos de este grupo, lo que provocaría menores volúmenes latido, que como mecanismo de compensación precisaría de FC mayores para lograr gastos cardíacos semejantes.^{8, 23, 24}

En tetrapléjicos la función cardiocirculatoria y metabólica, tanto en reposo como especialmente durante el esfuerzo es muy distinta a la de los parapléjicos y los sujetos no discapacitados.^{2, 5, 16, 33, 34, 36} Estas diferencias no se pueden explicar solamente a causa de la menor masa muscular activa, sino que son consecuencia de la interrupción de las vías eferentes procedentes de los centros motores centrales y que se dirigen al sistema nervioso simpático periférico. Como consecuencia de esta lesión no se produce en estos deportistas la esperada subida en las concentraciones de adrenalina y noradrenalina

Tabla III

Valores medios y desviaciones estandar de algunos datos ergométricos

	Parapléjicos (n = 8)	Control (n = 11)	Significación
FC máxima (lat/min)	177 ± 12	170 ± 9	n. s.
La máximo (mmol/l)	8,6 ± 2,6	10,5 ± 2,9	n. s.
Potencia máxima absoluta (W)	145 ± 23,7	160 ± 28,2	p < 0,05
Potencia máxima relativa (W/kg)	2,1 ± 0,34	2,1 ± 0,34	n. s.
Potencia para La de 4 mmol/l (W)	108,9 ± 20,1	107,8 ± 12,9	n. s.

durante el esfuerzo.^{3, 14, 16} Tanto en sujetos no discapacitados como en parapléjicos, la relación entre la potencia y las concentraciones plasmáticas de adrenalina y noradrenalina libres siguen una curva exponencial fisiológica, que se relaciona positivamente con la FC, el volumen latido y la tensión arterial.²⁸ Durante el esfuerzo en los tetrapléjicos, motivado por el menor estímulo simpático, se produce un menor aumento de la FC, y una menor activación de la lipólisis, glucogenólisis y glucólisis, lo que sumado a la menor masa muscular activa produce en ellos una disminución de la capacidad aeróbica y anaeróbica, y como consecuencia una menor capacidad de rendimiento.^{5, 14, 20} Asimismo, además de tener cierta tendencia a la hipotensión en reposo, tampoco se produce en ellos un aumento fisiológico tan marcado de la tensión arterial sistólica durante el esfuerzo, como el que encontramos en parapléjicos o en sujetos no discapacitados. En la tetraplejía, a la afectación de la inervación vegetativa del sistema vascular periférico y a la falta de actividad de la "bomba muscular" venosa de los miembros inferiores, se suma una disminución en la capacidad de trabajo cardíaco, que se traduce en una dis-

minución de la FC, del volumen latido y del gasto cardíaco.⁵

10, 14, 15, 18, 26, 30

CONCLUSIONES

1. La lesión medular conduce a una disminución de las dimensiones y función cardíacas.
2. Mediante el entrenamiento de resistencia se pueden conseguir adaptaciones cardíacas, que hacen que las dimensiones cardíacas de sujetos parapléjicos entrenados sean comparables con las de sujetos sedentarios no discapacitados, pero no llegan a los valores de los deportistas de resistencia sin discapacidad.
3. Estas adaptaciones tienen como consecuencia, que el comportamiento de la FC y de las concentraciones de lactato durante el esfuerzo en los sujetos parapléjicos sometidos a este estudio sea comparable con el de los sujetos control.
4. El entrenamiento físico en sujetos con lesión medular conduce a una mejora de su condición física, con lo que esto lleva consigo para la mejora de su salud y calidad de vida.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Kirsten König y Brigitte Welle su labor en la realización de las ergometrías, a Gisela Zöllner y Bärbel Spielberger por los análisis realizados en el laboratorio y a Dominik Grathwohl por su ayuda en el análisis estadístico de los datos. Nuestro especial agradecimiento y admiración a todos los deportistas discapacitados que han tomado parte en este estudio, así como a los estudiantes de Educación Física. Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del Bundesinstitut für Sportwissenschaft Köln y del Deutschen Behindertensportverband.

Bibliografía

1. BERG, A., M. LEHMANN, J. KEUL: Körperliche Aktivität bei Gesunden und Koronarkranken. Stuttgart. Georg Thieme Verlag, 1986.
2. BURKETT, L. L., J. CHISUM, W. STONE, B. FERNHALL: Exercise capacity of untrained spinal cord injured individuals and the relationship of peak oxygen uptake to level of injury, *Paraplegia*, 1990; 28: 512-521.
3. CLAUS-WALKER, J., L. S. HALSTEAD: Metabolic and endocrine changes in spinal cord injury. I. The nervous system before and after transection of the spinal cord, *Arch Phys Med Rehab*, 1981; 62: 595-601.
4. CLAUS-WALKER, J., L. S. HALSTEAD: Metabolic and endocrine changes since spinal cord injury. II. Consequences of partial de-
- centralization of the autonomic nervous system, *Arch Phys Med Rehab*, 1982; 63: 569-580.
5. COUTTS, K. D., E. C. RHODES, D. C. MCKENZIE: Submaximal exercise responses of tetraplegics and paraplegics, *J Appl Physiol*, 1985; 59: 237-241.
6. COWELL, L., W. SQUIRES, P. RAVEN: Benefits of aerobic exercise for the paraplegic: a brief review. *Med Sci Sport Exerc*, 1986; 18: 501-508.
7. DAVIS, G. M., R. J. SHEPHARD, F. H. LEENEN: Cardiac effects of short term arm crank training in paraplegics. Echocardiographic evidence, *Eur J Appl Physiol*, 1987; 56: 90-96.
8. DAVIS, G. M., R. J. SHEPHARD: Cardiorespiratory fitness in

- highly active versus inactive paraplegics. *Med Sci Sport Exerc*, 1988; 20: 463-468.
9. DAVIS, G. M., J. M. PLYLEY, R. J. SHEPARD: Gains of cardiorespiratory fitness with arm-crank training in spinally disabled men. *Can J Sport Sci*, 1991; 16: 64-72.
 10. DICARLO, S. E.: Improved cardiopulmonary status after a two-month program of graded arm exercise in a patient with C6 quadriplegia. *Phys Ther*, 1982; 62: 456-459.
 11. DICARLO, S. E.: Effect of arm ergometry training on wheelchair propulsion endurance of individuals with quadriplegia. *Phys Ther*, 1988; 68: 40-44.
 12. DICKHUTH, H. H., A. NAUSE, J. STAIGER, T. BONZEL, J. KEUL: Two-dimensional echocardiographic measurement of left ventricular volume and stroke volume of endurance-trained athletes and untrained subjects. *Int J Sports Med*, 1983; 4: 21-26.
 13. DICKHUTH, H. H., M. LEHMANN, W. AUCH-SCHWELK, T. MEINERTZ, J. KEUL: Physical training, vegetative regulation, and cardiac hypertrophy. *J Cardiovasc Pharm*, 1987; 10: 71-78.
 14. ERIKSSON, P., L. LÖFSTRIJM, B. EKBLUM: Aerobic power during maximal exercise in untrained and well-trained persons with quadriplegia and paraplegia. *Scand J Rehab Med*, 1988; 20: 141-147.
 15. FIGONI, S. F.: Circulorespiratory effects of arm training and detraining in one C5 - 6 quadriplegic man. *Phys Ther*, 1986; 66: 779.
 16. FIGONI, S. F.: Exercise responses and quadriplegia. *Med Sci Sport Exerc*, 1992; 25: 433-441.
 17. GASS, G. C., E. M. CAMP: Effects of prolonged exercise in highly trained traumatic paraplegic men. *J Appl Physiol*, 1987; 23: 1846-1852.
 18. GREENHOOT, J. H., H. P. MAUCK: The effect of cervical cord injury on cardiac rhythm and conduction. *Am Heart J*, 1972; 83: 659-662.
 19. GUTTMANN, L.: *Textbook of Sport for the Disabled*. England. Aylsbury Bucks, 1976.
 20. HJELTNES, N.: Control of medical rehabilitation of para- and tetraplegics by repeated evaluation of endurance capacity. *Int J Sports Med*, 1984; 5: 171-174.
 21. HOFFMAN, M. D.: Cardiorespiratory fitness and training in quadriplegics and paraplegics. *Sports Med*, 1986; 3: 312-330.
 22. HUONKER, M., H. H. DICKHUTH, E. DINKEL, W. WENZ, J. KEUL: Form, Größe und Funktion des Sportsherzens - Abgrenzung gegenüber pathologischen Befunden. *Radiologie*, 1989; 29: 561-568.
 23. HUONKER, M., O. SCHUMACHER, A. SCHMID, J. KEUL: Effects of dynamic wheelchair training on the dimensions and functions of the heart and extremity arteries in paraplegics. *Eur J Physiol*, 1994a; 69: 40.
 24. HUONKER, M., A. SCHMID, F. DIMEO, J. MORMANN, J. KEUL: Dimensionen des linken Ventrikels und der Extremitätenarterien in Relation zum Funktionszustand der Extremitätenmuskulatur. *Münch Med Wschr*, 1994b; 8: 6.
 25. JEHL, J. L., M. GRANDMONTAGNE, G. PASTENE, M. EYSSETTE, R. FLANDROI, J. CONDUT: Cardiac output during exercise in paraplegic subjects. *Eur J Appl Physiol*, 1991; 62: 256-260.
 26. KESSLER, M.K., L. PINA, B. GREEN, B. BURNETT, M. LAIGHOLD, M. BILSKER, A.R. PALOMO, R.J. MYERBURG: Cardiovascular findings in quadriplegic and tetraplegic patients and in normal subjects. *Am J Cardiol*, 1986; 58: 525-530.
 27. KEUL, J., H. H. DICKHUTH, M. LEHMANN, J. STAIGER: The athlete's heart haemodynamics and structure. *Int J Sports Med*, 1982; 3: 33.
 28. LEHMANN, M., H. H. DICKHUTH, P. SCHMID, H. PORZIG, J. KEUL: Plasma catecholamines, betaadrenergic receptors, and isoproterenol sensitivity in endurance trained and non-endurance trained volunteers. *Eur J Appl Physiol*, 1984; 52: 362.
 29. MAGEL, J. R., W. D. MCARDLE, M. TONER, D.J. DELIO: Metabolic and cardiovascular adjustment to arm training. *Am J Physiol*, 1978; 45: 75-79.
 30. NASH, M. S., S. BILSKER, A. E. MARCILLO, S. M. ISAAC, L. A. BOTELHO, K. J. KLOSE, B. A. GREEN, M. T. ROUNTREE, J. D. SHEA: Reversal of adaptive left ventricular atrophy following electrically stimulated exercise training in human tetraplegics. *Paraplegia*, 1991; 29: 590-599.
 31. PULLOCK, M. L., H. S. MILLER, A. C. LINNERUD, E. LAUGHRIDGE, E. COLEMAN, E. ALEXANDER: Arm pedaling as an endurance training regimen for the disabled. *Arch Phys Med Rehabil*, 1974; 55: 418-424.
 32. REINDELL, H.: *Herz, Kreislaufkrankheiten und Sport*. München. Barth, 1960.
 33. SCHMID, A., M. LEHMANN, M. HUONKER, J. M. BARTUREN, F. STAHL, J. KEUL: Plasma catecholamines, cardiocirculatory and metabolic parameters in tetraplegics and paraplegics at rest and during graded exercise. *Eur J Appl Physiol*, 1994a; 69: 27.
 34. SCHMID, A., M. LEHMANN, J. M. BARTUREN, M. HUONKER, A. LÖHLEIN, H. G. PETERSEN, T. PRINZBACH, F. STAHL, J. KEUL: Kardiozirkulatorische, pulmonale, metabolische und hormonelle Adaptation von ausdauerstreibenden Paraplegikern im Vergleich mit untrainierten Paraplegikern und Tetraplegikern. *Münch Med Wschr*, 1994b; 110: 13.
 35. TAYLOR, P. N., D. J. EWINS, B. FOX, D. GRUNDY, L. D. SWAIN: Limb blood flow, cardiac output and quadriceps muscle bulk following spinal cord injury and the effect of training for the Odstock functional electrical stimulation standing system. *Paraplegia*, 1993; 31: 303-310.
 36. VAN LOAN, M., S. MCCLUER, J. M. LOFTIN, R. A. BOILEAU: Comparison of maximal physiological responses to arm exercise among able-bodied, paraplegics and quadriplegics. *Paraplegia*, 1987; 25: 397-405.
 37. WASHBURN, R. A., D. D. SAVAGE, R. S. DEARWATER, R. E. LAPORTE, S. J. ANDERSON, G. BREUES, L. L. ADAMS, H. K. LEE, J. HOLLAND, M. COWAN: Echocardiographic left ventricular mass and physical activity: Quantification of the relation in spinal cord injured and apparently healthy active men. *Am J Cardiol*, 1986; 58: 1248-1253.
 38. WHITING, R. B., I. E. DREISINGER, R. B. DALTON, B. R. LONDEREE: Improved physical fitness and work capacity in quadriplegics by wheelchair exercise. *J Cardiac Rehabil*, 1983; 3: 251-255.
 39. ZWIREN, L. D., O. BAR-OR: Responses to exercise of paraplegics who differ in conditioning level. *Med Sci Sports Exerc*, 1975; 7: 94-98.