

Funció cardíaca i lactatèmia en esportistes paraplàgics

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

⁽¹⁾G. D. Fundación ONCE

⁽²⁾IVEF / SHEE

⁽³⁾Rehabilitative und Präventive Sportmedizin, Medizinische Universitätsklinik Freiburg

CORRESPONDÈNCIA

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

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 1999; 130: 5-10

RESUM: OBJECTIU: Determinar la influència de l'entrenament de resistència en la grandària i la funció cardíaca i en la corba de lactatèmia d'esportistes paraplàgics. SUBJECTES: Grup P: 8 esportistes paraplàgics barons (37,5 [25-47] anys) amb un volum d'entrenament $8,3 \pm 3,1$ h/setmana. Grup C: grup control 11 estudiants d'Educació Física barons (26,4 [23-30] anys) amb un volum d'entrenament $5,6 \pm 1,3$ h/setmana. DETERMINACIONS: Se'ls va practicar una ecocardiografia i una ergometria de manovella, escalonada amb determinació de la concentració de lactat (La) i la freqüència cardíaca (FC) a cada esglaó. RESULTATS: El grup P va presentar un volum ventricular esquerre significativament menor que C (771 ± 84 ml vs. 976 ± 84 ml). El volum de batec també va ser menor a P (83 ± 13 ml vs. 104 ± 11 ml), mentre que els dos grups van presentar gruixos de parets similars. La potència màxima relativa al pes corporal aconseguida pels dos grups va ser similar ($2,1 \pm 0,34$ vs. $2,1 \pm 0,37$ W/kg, per a P i C respectivament). Tampoc la concentració màxima de La, ni l'FC màxima no van ser significativament diferents ($8,6 \pm 2,6$ mmol/l vs. $10,5 \pm 2,9$ mmol/l; i 177 ± 12 vs. 170 ± 9 bat/min). Els valors de l'FC i de La no es van diferenciar significativament a cada esglaó d'esforç. CONCLUSIONS: L'entrenament de resistència pot compensar la disminució de les dimensions i funció cardíaca que produeix la inactivitat física que comporta la paraplegia. Els paraplàgics entrenats en resistència poden arribar a tenir dimensions cardíaca i valors de funció comparables amb subjectes sedentaris no discapacitats, sense aconseguir els nivells dels esportistes de resistència no discapacitats. Les respostes de l'FC i del La a l'esforç a P són similars a les dels esportistes no discapacitats.

PARAULES CLAU: paraplegia, lesions medul·lars, medicina de l'esport, freqüència cardíaca, ecocardiografia, lactat.

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 an 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, echocardiography, lactate.

INTRODUCCIÓ

En la bibliografia existeixen molts treballs sobre les reaccions cardíaques i metabòliques a l'esforç en persones no discapacitades, tant entrenades com no entrenades. Aquestes dades ens permeten emetre judicis sobre la capacitat funcional i indicacions d'entrenament en subjectes físicament actius i en sedentaris.¹ No obstant això, fins ara s'han investigat poc les reaccions i les adaptacions a l'exercici en persones paraplàgiques. Juntament amb les parèsies motores i pèrdues sensitives com a conseqüència de les lesions medul·lars (LM) es produeixen també diferents alteracions del sistema nerviós vegetatiu –en dependència del nivell de la lesió– que comporten una disminució de les capacitats respiratòria, cardiocirculatòria i metabòlica.^{3, 4, 16, 33, 34} Malgrat que els coneixements sobre els processos adaptatius cardiocirculatoris i metabòlics en paraplàgics entrenats i sedentaris són insuficients, ja Guttman¹⁹ atribueix una gran importància a l'activitat física en la rehabilitació i en la fase postclínica de les LM, i altres autors corroboren la importància de l'exercici físic per a la millora de la capacitat funcional i la prevenció de diverses patologies.^{5, 6, 8, 9, 14, 17, 39}

L'objectiu d'aquest treball va ser comprovar la hipòtesi que els esportistes paraplàgics tenen les mateixes adaptacions cardiocirculatòries i metabòliques a l'entrenament de resistència que els subjectes no discapacitats.

MATERIAL I MÈTODE

Subjectes

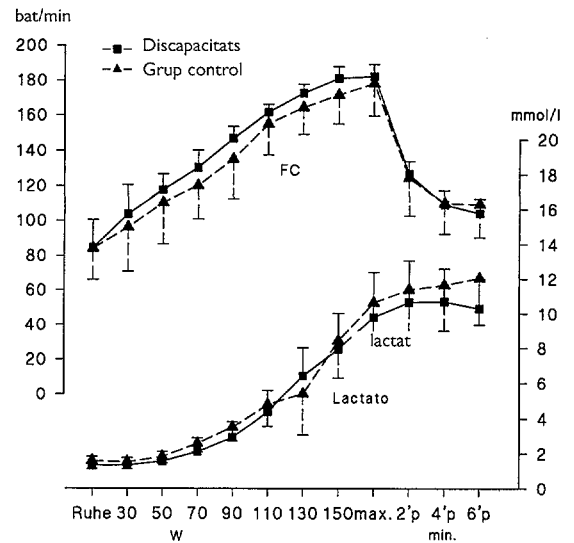
El grup d'estudi (P) estava format per 8 esportistes paraplàgics barons, tots ells integrants de diferents especialitats de la Selecció Nacional Alemanya d'Esportistes Discapacitats com ara esquí de fons amb trineu (aparell en el qual els esportistes van asseguts i es desplacen mitjançant dos bastons curts), atletisme i basquetbol en cadira de rodes. Com a grup de control (C) van participar voluntàriament 11 estudiants d'Educació Física barons. El nivell de LM del grup P estava entre T6 i L1. Les dades antropomètriques i de volum d'entrenament dels dos grups estan resumides a la Taula I.

Ecocardiografia

Es va dur a terme una ecocardiografia en repòs. Mitjançant talls d'imatges bidimensionals i en mode M presos amb un transductor mecànic de 3,5 MHz (SSD-725; Aloka, Japó) es van estimar els valors següents: diàmetre de l'arrel aòrtica i de l'aurícula esquerra (LA); diàmetre telediastòlic (TEDD) i telesistòlic (TESD) total del ventricle esquerre (LV), a nivell mitral (TEDDm i TESDm respectivament) i

Figura 1

Evolució de la Freqüència Cardíaca i del lactat en els discapacitats i en el grup control durant l'ergometria de manovella i fase de recuperació.



papil·lar (TEDDp i TESDp), diàmetre telediastòlic (EDp) i telesistòlic (ESp) intern del LV a nivell papil·lar; diàmetre telediastòlic longitudinal del LV, pres de la imatge bidimensional (L4d); i els gruixos del septe (STd) i de la paret posterior (PWTd) del LV al final de la diàstole. Segons una regla modificada de Simpson es va calcular el volum cardíac (HV) absolut i el relatiu al pes corporal.¹² La fracció d'escurçament es va determinar a partir de l'EDp i de l'ESp, i de la diferència dels volums telediastòlic i telesistòlic es va determinar el volum de batec (SV).^{12, 13, 21}

Ergometria

Els participants en l'estudi van dur a terme una ergometria escalonada progressiva en un ergòmetre de manovella modificat, de fre elèctric dependent del nombre de revolucions (Ergotest, Jäger, Alemanya). Després d'un calentament de 3 minuts a 10 W, seguits d'una pausa de 2 minuts, es va dur a terme la prova d'esforç amb començament a 20 W i un increment de 10 W per esglaó en intervals d'1 minut, fins a l'esgotament subjectiu. Durant el test els subjectes havien de mantenir una cadència entre 50 i 60 r.p.m. La freqüència cardíaca (FC) es va gravar contínuament durant l'esforç i la recuperació mitjançant pulsòmetres (Polar Sporttester, Unilife, Finlàndia). Abans de l'esforç, al final de cada esglaó, en la càrrega màxima aconseguida i als minuts 2, 4 i 6 de la fase de recuperació, es van fer preses de sang capil·lar del lòbul hiperemitzat de l'orella per tal de mesurar les

Taula I

Valors mitjans de les dades antropomètriques i del volum d'entrenament setmanal.

	Paraplègics (n = 8)	Control (n = 11)	Significació
Edat (anys)	35,7	26,4	p < 0,05
Talla (cm)	175,0	182,9	n.s.
Pes (kg)	68,8	76,6	p < 0,05
Volum (h/setmana)	8,3	5,6	p < 0,05

concentracions de lactat (La), mitjançant el mètode enzimàtic (EPOS Analyzer 5060, Eppendorf, Alemanya).

Anàlisi estadística

Es van calcular la mitjana i les derivacions estàndard com a mesures de tendència central i de dispersió, respectivament. La comparació entre grups es va dur a terme mitjançant el test de Mann i Whitney per a mostres independents. El nivell de significació estadística es va fixar en una $p < 0,05$.

RESULTATS

L'edat dels P va ser significativament més gran que a C ($p < 0,05$), així com el volum d'entrenament setmanal que portaven a terme ($8,3 \pm 3,1$ vs. $5,6 \pm 1,3$ h/setmana, $p < 0,05$). No obstant això, els P van presentar un pes corporal menor (Taula I).

Les dimensions del LV dels P (EDp, ESp, TEDDM i TEDDP) van ser significativament menors que les del grup C, així com el volum cardíac (HV) dels P, tant expressat en forma absoluta ($p < 0,01$) com relatiu al pes corporal ($p < 0,05$). L'estimació del volum de batec també va ser menor en P ($p < 0,01$) (Taula II).

L'FC i la La basals dels P van ser de 81 bat/min i 1,4 mmol/l, sense ser estadísticament diferents dels del grup C (89 bat/min i 1,6 mmol/l, respectivament). Al test escalonat a l'ergòmetre de manovella els P van aconseguir una potència màxima de $145 \pm 23,7$ W, que en relació al pes corporal suposaven $2,1 \pm 0,34$ W/kg; una FC màxima de 177 ± 12 bat/min i una La màxima de $8,6 \pm 2,6$ mmol/l (Taula III). El grup C va aconseguir una potència màxima de $160 \pm 28,2$ W ($p < 0,05$), que en relació al pes corporal suposava $2,1 \pm 0,37$ W/kg ($p > 0,05$); amb una FC màxima de 170 ± 9 bat/min i una La màxima de $10,5 \pm 2,9$ mmol/l (Taula III). Tant l'FC com les La als diferents esglaons d'esforç i durant la fase de recuperació no van presentar diferències significatives entre els grups (Fig. I). Tampoc la potència desenvolupada al llindar de 4 mmol/l de La ($108,9 \pm 20,1$ vs. $107,8 \pm$

$12,9$ W per a P i C, respectivament) no va ser estadísticament diferent als dos grups.

DISCUSSIÓ

El nostre grup de P, en comparació amb C, malgrat tenir volums d'entrenament més grans, van mostrar diàmetres (EDp, ESp, TEDDM i TEDDP) i volums cardíacs (tant absoluts com relatius al pes corporal) menors, amb un gruix de les parets i una fracció d'escurçament similars als dos grups (Taula II). En estudis longitudinals sobre les adaptacions estructurals cardíques a l'activitat física en subjectes amb LM, vam trobar resultats en part contradictoris. Mentre que Davis i col.⁷ troben efectes circulatoris perifèrics i metabòlics sense adaptacions centrals cardíques després de 16 setmanes d'entrenament, Nash i col.³⁰ després de 6 mesos d'electroestimulació del múscul quàdriceps en subjectes tetraplègics troben un augment del diàmetre telediastòlic i de la massa muscular ventricular esquerra. Les dades d'aquest treball concordarien amb les d'altres autors, els quals afirmen que en subjectes amb LM, a causa de la disminució de la massa muscular estimulable i de la manca d'activitat física, es produeix una disminució de les dimensions cardíques per sota dels valors de subjectes control no discapacitats, essent les dimensions cardíques d'esportistes d'elit amb LM similars a les de subjectes sedentaris no discapacitats.^{23, 24, 26, 35, 37} Aquesta manca d'activitat que es produeix en els paraplègics des del moment en què té lloc la lesió en general és deguda a la seva mobilitat reduïda, freqüentment produeix una disminució en la capacitat de rendiment,^{1, 8, 25} i augmenta el risc de patir diverses malalties com ara l'arteriosclerosi, la malaltia coronària, la diabetis tipus II, l'obesitat i la hipertensió.^{6, 17, 21}

És conegut que perquè es produeixi la hipertròfia cardíaca fisiològica —o cor de l'esportista— calen grans volums d'entrenament de forma regular i durant un espai de temps prolongat, i que aquest tipus d'hipertròfia consisteix en un augment harmònic de les cavitats cardíques mantenint-se constant la relació entre la massa muscular i el volum cardíac.^{12, 22, 27, 32} Sembla ser que un estímul important perquè es produeixin aquestes adaptacions funcionals i estructurals és la sobrecàrrega de volum crònica i intermitent, amb augment del volum de batec i de l'ús cardíac, que es produeix en els esportistes de resistència.³² Aleshores podem especular que en tenir els subjectes amb LM una reducció de la seva massa muscular, tinguin també una menor sobrecàrrega cardíaca de volum, la qual cosa podria ser una causa de la seva menor adaptació estructural cardíaca a l'esport de resistència. Aquesta teoria tindria el suport de la relació positiva que

Taula II

Valors mitjans i desviacions estàndard de les dades ecocardiogràfiques.

	Paraplègics (n = 8)	Control (n = 11)	Significació
Diàmetre de l'arrel aòrtica (mm)	32 ± 3	32 ± 1	n. s.
Diàmetre de l'LA (mm)	32 ± 4	35 ± 2	n. s.
Dimensions 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.
Volum cardíac absolut (ml)	771 ± 84	976 ± 84	p < 0,01
Volum cardíac relatiu (ml/kg)	10,8 ± 1,1	12,6 ± 1,6	p < 0,05
Volum de batec (ml)	83 ± 13	104 ± 11	p < 0,01
Fracció d'escurçament (%)	34 ± 6	34 ± 2	n. s.

n. s. = no significativa; LA = aurícula esquerra; LV = ventricle esquerre; EDp = diàmetre intern telediastòlic a nivell papil·lar; ESp = diàmetre intern telesistòlic a nivell papil·lar; TEDDm = diàmetre total telediastòlic a nivell mitral; TEDDp = diàmetre total telediastòlic a nivell papil·lar; L4d = diàmetre telediastòlic longitudinal del LV, pres de la imatge bidimensional; Std = gruix del septe interventricular; PWTD = gruix de la paret posterior.

existeix entre la massa corporal o la massa muscular i el volum i la massa del ventricle esquerre (LV). La lesió del Sistema Nerviós Simpàtic, bàsicament en subjectes tetraplègics, també té amb seguretat un efecte cardiocirculatori important.^{21, 28}

Els nostres resultats demostren que l'entrenament de resistència produeix en els P adaptacions funcionals i estructurals en comparació amb sedentaris amb LM; no obstant això, les seves dimensions no arriben a ser les d'esportistes no discapacitats, sinó que es corresponen més a les de subjectes sedentaris sense discapacitat.^{23, 24}

En la literatura existeix acord sobre el fet que l'entrenament produeix en els paraplègics les corresponents adaptacions i que els paraplègics entrenats presenten més capacitat de rendiment que els paraplègics no entrenats.^{8, 10, 11, 14, 17, 20, 29, 31, 36, 38} El nostre grup de P va aconseguir de mitjana una potència màxima de 145 W, cosa que correspon a 2,1 W/kg de pes, que, si ho comparem amb les dades esmentades, es troba molt per damunt de la capacitat dels paraplègics sedentaris.¹ No podem descartar que la major potència màxima aconseguida pel grup C no sigui deguda a la major participació de grups musculars de la part inferior del tronc i de

la cintura pèlvica, moviments que són metodològicament difícils de controlar en aquestes càrregues màximes. Les nostres dades, amb concordança amb altres treballs de la bibliografia, mostren FC màximes i La màximes similars en subjectes entrenats amb LM i en els subjectes de control no discapacitats.^{1, 8, 14} Malgrat tot, en lesions entre els nivells T6 i T12, es poden trobar FC màximes reduïdes a causa de l'afectació de l'activitat adrenèrgica.⁵ En el nostre estudi no hem trobat cap relació entre FC màxima o La màxima i el nivell de la LM, com és el cas d' Eriksson i col.¹⁴

Les FC basals van ser de 81 i 89 bat/min per als grups P i C, respectivament, tot i que aquesta diferència no va ser estadísticament significativa. La manca d'una bradicàrdia és deguda als efectes de la fase d'escalfament. Les La basals per al grup de P van ser de 1,4 mmol/l, valors similars als del grup C i comparables a dades de referència del nostre laboratori per a subjectes no discapacitats.¹

A l'igual que està descrit en la literatura, quan es produeix la mateixa sol·licitació muscular,^{14, 29, 31, 36} tant les corbes d' FC, com les de La respecte a la potència desenvolupada en un ergòmetre de manovella en el grup P, no van mostrar cap diferència significativa amb les dels subjectes C. El grup P va presentar una tendència, no estadísticament significativa, a presentar una major potència per a una La de 4 mmol/l (Fig. I i Taula III). Això podria ser degut a una major capacitat aeròbica de la musculatura activada amb aquest tipus d'esforç, a causa dels majors volums d'entrenament específic d'aquests grups musculars en els P. Malgrat aquests majors volums d'entrenament, els subjectes P van presentar freqüències cardíques més grans en la majoria de les càrregues submàximes, tot i que aquestes diferències tampoc no van ser significatives. Una explicació d'això la trobaríem en els menors volums cardíacs d'aquest grup, la qual cosa provocaria menors volums de batec, que com a mecanisme de compensació necessitaria FC majors per a aconseguir usos cardíacs similars.^{8, 23, 24}

En tetraplègics la funció cardiocirculatoria i metabòlica, tant en repòs com especialment durant l'esforç, és molt diferent a la dels paraplègics i els subjectes no discapacitats.^{2, 5, 16, 33, 34, 36} Aquestes diferències no es poden explicar solament a causa de la menor massa muscular activa, sinó que són conseqüència de la interrupció de les vies eferents procedents dels centres motors centrals i que es dirigeixen al sistema nerviós simpàtic perifèric. Com a conseqüència d'aquesta lesió no es produeix en aquests esportistes l'esperada pujada en les concentracions d'adrenalina i noradrenalina durant l'esforç.^{3, 4, 16} Tant en subjectes no discapacitats com en paraplègics, la relació entre la potència i les concentracions plasmàtiques d'

Taula III

Valors mitjans i desviacions estàndard d'algunes dades ergomètriques.

	Paraplègics (n = 8)	Control (n = 11)	Significació
FC màxima (lat/min)	177 ± 12	170 ± 9	n. s.
La màxim (mmol/l)	8,6 ± 2,6	10,5 ± 2,9	n. s.
Potència màxima absoluta (W)	145 ± 23,7	160 ± 28,2	p < 0,05
Potència màxima relativa (W/kg)	2,1 ± 0,34	2,1 ± 0,34	n. s.
Potència per La de 4 mmol/l (W)	108,9 ± 20,1	107,8 ± 12,9	n. s.

adrenalina i noradrenalina lliures segueix una corba exponencial fisiològica, que es relaciona positivament amb l'FC, el volum de batec i la tensió arterial.²⁸ Durant l'esforç en els tetraplègics, motivat pel menor estímul simpàtic, es produeix un menor augment de l'FC i una menor activació de la lipòlisi, glucogenòlisi i glucòlisi, que sumat a la menor massa muscular activa produeix en ells una disminució de la capacitat aeròbica i anaeròbica, i com a conseqüència una menor capacitat de rendiment.^{5, 14, 20} Així mateix, a més de tenir una certa tendència a la hipotensió en repòs, tampoc no es produeix en ells un augment fisiològic tan marcat de la tensió arterial sistòlica durant l'esforç com el que trobem en paraplàgics o en subjectes no discapacitats. En la tetraplegia, a l'afectació de la innervació vegetativa del sistema vascular perifèric i a la manca d'activitat de la "bomba muscular" venosa dels membres inferiors, se suma una disminució en la capacitat de treball cardíac, que es tradueix en una disminució de l'FC, del volum de batec i de l'ús cardíac.^{5, 10, 14, 15, 18, 26, 38}

CONCLUSIONS

1. La lesió medul·lar condueix a una disminució de les dimensions i funció cardíques.
2. Mitjançant l'entrenament de resistència es poden aconseguir adaptacions cardíques que fan que les dimensions cardíques de subjectes paraplàgics entrenats siguin comparables amb les de subjectes sedentaris no discapacitats, però no arriben als valors dels esportistes de resistència sense discapacitat.
3. Aquestes adaptacions tenen com a conseqüència que el comportament de l'FC i de les concentracions de lactat durant l'esforç en els subjectes paraplàgics sotmesos a aquest estudi sigui comparable amb el dels subjectes control.
4. L'entrenament físic en subjectes amb lesió medul·lar condueix a una millora de la seva condició física, amb el que això suposa per a la millora de la seva salut i qualitat de vida.

AGRAÏMENTS:

Voldríem agrair a Kirsten König i Brigitte Wel·le la seva tasca de realització de les ergometries, a Gisel·la Zöllner i Bärbel Spielberger per les anàlisis realitzades al laboratori i a Dominik Grathwohl per la seva ajuda en l'anàlisi estadística de les dades. El nostre especial agraïment i admiració a tots els esportistes discapacitats que han format part d'aquest estudi, així com als estudiants d'Educació Física. Aquest treball ha estat possible gràcies al suport del Bundesinstitut für Sportwissenschaft Köln i del Deutschen Behindertensportverband.

Bibliografia

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 endocrino 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 endocrino 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. SHEPHARD: 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. EKBLOM: 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 de-training in one C5 - 6 quadriplegic man. *Phys Ther*, 1986; 66: 779.
 16. FIGONI, S. F.: Exercise responses and quadriplegia. *Med Sci Sport Exer*, 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.