

# OBREMITVENO TESTIRANJE PRI OSEBAH Z OKVARO HRBTENJAČE *EXERCISE TESTING IN PERSONS WITH SPINAL CORD INJURY*

Marijana Žen Jurančič, dr. med., prim. Tatjana Erjavec, dr. med, prim. Rajmond Šavrin, dr. med.  
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

## Povzetek

Obremenitveno testiranje pri diagnostiki srčno-žilnih obolenj uporabljamo zelo pogosto. Test je standardiziran za ljudi, ki nimajo težav pri gibanju. Pri izvedbi testa pri osebah z okvaro hrbtenjače in razlagi rezultatov moramo upoštevati nekatere posebnosti zaradi omejitev pri delovanju bolnikovega pljučnega, srčno-žilnega in gibalnega sistema. Telesna zmogljivost oseb z okvaro hrbtenjače je manjša v primerjavi z osebami brez težav pri gibanju. Posledica je tudi večja nagnjenost k srčno-žilnim boleznim.

## Ključne besede:

obremenitveno testiranje, okvara hrbtenjače, mišična disfunkcija, pljučna disfunkcija, avtonomna disfunkcija

## Abstract

*Exercise testing is a frequently used diagnostic procedure in the field of cardio-pulmonary diseases. The test is standardized, but performance in persons with spinal cord injury has some specifics. Because of their limitations of muscular, pulmonary and autonomic function, the preparation before the test, the performance and the interpretation of the results are different. Functional capacity in persons with spinal cord injury is low compared to the general population. This leads to higher incidence of cardiovascular diseases.*

## Key words:

*exercise test, spinal cord injury, muscular dysfunction, pulmonary dysfunction, autonomic dysfunction*

## UVOD

Obremenitveno testiranje je pri bolnikih brez gibalnih omejitev diagnostični test, ki ga izvajamo pri številnih indikacijah po kliničnem pregledu. Glavni namen testiranja pri srčno-žilnih obolenjih je ugotovitev morebitne ishemične bolezni srca. Obremenitveno testiranje v rehabilitaciji oseb z zmanjšanimi zmožnostmi za gibanje je pomembno predvsem zaradi ugotavljanja ustrezne srčne zmogljivosti le-teh za uporabo različnih pripomočkov za hojo (proteze, ortoze, FES), pri predpisovanju fizikalne terapije bolnikom z velikim tveganjem za nenadne srčne dogodke in spremljanju izboljšanja telesne zmogljivosti v procesu rehabilitacije.

V članku opisujemo posebnosti obremenitvenega testiranja na ročnem kolesu pri osebah z okvaro hrbtenjače in rezultate obremenitvenega testiranja preiskovancev pred odpustom z URI – Soča po končani primarni rehabilitaciji.

## Posebnosti kardiovaskularnega odgovora pri obremenitvi pri osebah z okvaro hrbtenjače

Stopnja telesne aktivnosti je odvisna predvsem od ravni (višine okvare) in stopnje okvare hrbtenjače (popolna, nepopolna) (1). Pri osebah z okvaro hrbtenjače je odgovor na obremenitev spremenjen pri številnih organskih sistemih, in sicer na ravneh: mišične funkcije, okvare avtonomnega živčevja in okvare pljučne funkcije (2).

### • Spremembe na ravni mišične funkcije

Zaradi pareze/plegije mišic trupa in spodnjega dela telesa je telesna zmogljivost večine bolnikov z okvaro hrbtenjače manjša v primerjavi s splošno populacijo. Telesna zmogljivost oseb s tetraplegijo je trikrat manjša kot pri tistih s paraplegijo, predvsem zaradi oslavljenih mišic zgornjega dela telesa ter okvar pri delovanju avtonomnega živčevja (3).

### • Okvara avtonomnega živčevja

Pri popolni prekinitvi hrbtenjače nad ravnijo šestega prsnega vretenca je moteno uravnavanje avtonomnega živčevja.

Zaradi prekinitve pride do motenega supraspinalnega uravnavanja simpatičnih preganglijskih nevronov v prsnem in ledvenem delu hrbtenjače. Po drugi strani pa ni moteno oživčenje parasimpatičnih preganglijskih vlaken pljuč, srca in prebavil, ki izhajajo iz možganskega debla. Pri obremenitvah torej prevlada parasimpatični tonus živca klateža, ki ga centralno uravnavajo višje živčne funkcije ali aferentna vlakna v mišicah zgornjih udov (obremenitveni tlačni refleksi) (4). Okvara avtonomnega živčevja povzroči različne simptome: bradikardijo, ortostatsko hipotenzijo, avtonomno disrefleksijo, motnje uravnavanja temperature in potenja. Zaradi avtonomne disfunkcije je pri obremenitvi motena razporeditev krvi v aktivne mišice in vazokonstrikcija. Pri popolni tetraplegiji utripnega volumna srca ni možno povečati zaradi omejitve pri maksimalni srčni frekvenci (100-130/min) (4, 5). Zaradi pareze/plegije je moteno delovanje mišične črpalke goleni in vračanje venozne krvi v srce, kar onemogoča povečanje krvnega tlaka in utripnega volumna (6). Pri obremenitvi se lahko sproži tudi avtonomna disrefleksija, ki je urgentno stanje in nastane pri poškodbi nad ravnijo okvare šestega prsnega segmenta (Th 6). Avtonomno disrefleksijo sprožijo škodljivi in neškodljivi dražljaji pod ravnijo poškodbe hrbtenjače (poln mehur, debelo črevo, anestezija, nosečnost, porod). Za avtonomno disrefleksijo je značilno povišanje sistoličnega krvnega tlaka (nad običajnim krvnim tlakom v mirovanju za 20-30 mm Hg) in bradikardija, včasih pa tudi tahikardija. Vse to spremlja značilna klinična simptomatika: hud glavobol, tesnoba, potenje in rdečica nad ravnijo okvare, suha, hladna in bleda koža pod ravnijo okvare, moten vid, slabša prehodnost nosu, motnje srčnega ritma (7).

#### • Okvara pljučne funkcije

Pri okvarah hrbtenjače nad ravnijo dvanajstega prsnega vretenca (Th 12) zaradi plegije ali pareze pomožnih dihalnih mišic pride do restriktivnih motenj dihanja (8). Restriktiven vzorec dihanja pomeni, da osebe dihajo z manjšimi pljučnimi volumni in večjo frekvenco. Pri hujši restriktivni motnji (vitalna kapaciteta pod 50 % glede na pričakovano) lahko zaradi povečanja mrtvega prostora in znižanja parcialnega tlaka kisika pri obremenitvah pride do motenj izmenjave dihalnih plinov (9). V praksi redkeje ugotavljamo omejitve zaradi dihalnega sistema, ker je rezerva ventilacije v primerjavi s srčno-žilno funkcijo velika. Omejitve pri ventilaciji imajo predvsem osebe, ki imajo pridružena pljučna obolenja (kronična obstruktivna pljučna bolezen, astma). Okvare hrbtenjače nad ravnijo Th6 povzročijo zmanjšanje simpatične aktivnosti in povečanje parasimpatikolitične aktivnosti. Posledica je povečanje bronhokonstrikcije in vzdražljivosti na nespecifične alergene, zato imajo osebe z visoko poškodbo hrbtenjače brez klinično potrjene astme, povečano pljučno funkcijo po aplikaciji bronhodilatatorja (10).

Poleg vseh dejavnikov, ki ob okvari hrbtenjače vplivajo na telesno zmogljivost, se v kroničnem obdobju pridruži še

telesna nedejavnost, ki je glavni neodvisni dejavnik tveganja za srčno-žilna obolenja (11). Tako kot v splošni populaciji so bolezni srca in ožilja tudi pri osebah po okvari hrbtenjače glavni vzrok za smrt, vendar se pri njih pojavijo prej (12). Poleg telesne neaktivnosti so pri tej skupini še drugi dejavniki tveganja za srčno-žilna obolenja: spremenjena sestava telesa s povečanjem maščob, debelost, zmanjšana odzivnost na inzulin v denerviranih mišicah in motnje pri presnavljanju maščob (13). Intenzivnost telesnega napora, ki jo pri bolnikih po okvari hrbtenjače predstavlja izvajanje dnevnih aktivnosti, ni dovolj velika niti časovna zadostna za preprečevanje bolezni srca in ožilja (14).

Poleg pljučnih in srčno-žilnih zapletov ter zapletov pri gibanju pride tudi še do zgodnjih in poznih sekundarnih posledic, ki omejujejo posameznikovo telesno zmogljivost. Mednje sodijo predvsem okužbe spodnjih sečil in dihal, preležanine in veliko tveganje za vensko tromboembolijo. V kroničnem obdobju se pridružijo še osteoporoza, heterotopne osifikacije, kontrakture in povečana spastičnost. Nefiziološko in nepravilno sedenje v invalidskem vozičku, čezmerna uporaba ramenskega obroča in sklepov rok pri izvajanju dnevnih aktivnosti in poganjanju invalidskega vozička privedejo do degenerativnih sprememb hrbtenice, ramenskega obroča in drugih sklepov zgornjih udov (bolečina in omejena gibljivost v ramenu, sindrom zapestnega kanala, degenerativne spremembe hrbtenice) (15, 16).

#### • Načini obremenitvenega testiranja po okvarah hrbtenjače

Pri osebah z okvaro hrbtenjače je način izvedbe obremenitvenega testiranja prilagojen. Obremenitev lahko izvajamo na ročnem kolesu, s kombinirano ročno in nožno obremenitvijo s pomočjo FES ali na tekočem traku, prilagojenim za testiranje na invalidskem vozičku (17).

Na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu Republike Slovenije – Soča (URI-Soča) obremenitve izvajamo na ročnem kolesu z možnostjo merjenja neposredne porabe kisika s sistemom Oxicon Mobile (Viasys). Uporabljamo več različnih protokolov: prekinjeni stopenjski protokol z dviganjem obremenitve za 10 ali 25 W in neprekinjeni zvezni protokol z naraščanjem obremenitve 5 W na 20 sekund (protokol ramp).

#### • Posebnosti pri izvajanju testa

Pri obremenitvi je poleg standardnih zahtev potrebno upoštevati še določene posebnosti. Zaradi motene sposobnosti oseb z okvaro hrbtenjače za uravnavanje telesne temperature je treba več pozornosti nameniti zagotavljanju stalne temperature zunanega okolja. Zaradi nestabilnosti trupa preiskovancev je pri sedenju večja možnost za padce. Izogibati se moramo vseh dejavnikov, ki lahko sprožijo avtonomno

disrefleksijo. Zagotoviti je potrebno, da ima preiskovanec pred obremenitvijo prazen sečni mehur in črevo. Izogniti se je treba tudi večjim pritiskom na sedežno površino vozička, če ima preiskovanec preležanine. Ker je volumen obtoka krvi v perifernih venah manjši in venska črpalka ne deluje, spodnja uda preiskovancev povijemo z elastičnimi povoji. Za pogon ročnega kolesa osebe s tetraparezo uporabljajo posebne rokavice.

Zaradi spremenjene sestave telesa je težko oceniti dejansko aktivno mišično maso, zato porabo kisika ( $VO_2$ ) izražamo v ml/min. Pri osebah s tetraplegijo je vzorec dihanja restriktiven. Mrtvi prostor v dihalih je povečan, zaradi česar meritve porabe kisika niso realne. Pri prekinjeni stopenjski metodi obremenitve z dve-minutnimi stopnjami ne dosežemo uravnoveženja porabe kisika, kar prav tako moti meritve  $VO_2$ . Podaljšana stopnja obremenitve ni ugodna zaradi zgodnjega utrujanja in bolečin v mišicah zgornjih udov preiskovancev. Pri neprekinjeni zvezni metodi s protokolom ramp je težko spremljati krvni tlak med obremenitvijo. S tem je onemogočeno zgodnje registriranje znižanja krvnega tlaka pri visokih torakalnih poškodbah ali hipertenzivnega odgovora pri avtonomni disrefleksiji.

Ker so elektrode za elektrokardiografijo (EKG) pritrjene na prsni koš preiskovanca, je ob gibanju zgornjih udov in mišic trupa natančno registriranje signalov moteno. Motnje ritma pa so tako v akutnem kot v kroničnem obdobju pogoste. Pri prekinjenih stopenjskih testih to pomanjkljivost deloma nadomestimo v času mirovanja, ko so EKG krivulje brez artefaktov.

Kontraindikacije za izvajanje testa so enake kot pri obremenitvenem testiranju bolnikov brez težav pri gibanju (akutni srčni infarkt, nestabilna angina pektoris, maligne motnje ritma, neobvladljiva huda sistolična hipertenzija). Pri delu upoštevamo priporočila Evropskega kardiološkega združenja (18).

## OBREMENITVENO TESTIRANJE OSEB Z OKVARO HRBTENJAČE NA URI – SOČA

Na URI – Soča smo 1. 1. 2010 pričeli izvajati program spremljanja poznih posledic, ki nastanejo pri osebah z okvaro hrbtenjače. V okviru programa izvajamo tudi intervalno obremenitveno testiranje v rednih časovnih presledkih (ob odpustu, pol leta po odpustu in kasneje enkrat letno). S testiranjem želimo oceniti njihovo srčno-žilno zmogljivost po končani primarni rehabilitaciji, kar je osnova za predpisovanje aerobne vadbe v domačem okolju.

Pred testom na ročnem kolesu smo opravili antropometrične meritve (telesna teža, telesna višina) in izmerili krvni tlak. Ob tem smo upoštevali vse posebnosti obremenitve oseb po okvari hrbtenjače (prazen mehur, varno sedenje, uporaba rokavic idr.).

Glede na njihovo zmogljivost za obremenitev smo uporabili dva protokola. Pri manj zmogljivih preiskovancih (tetrapareza, starejši bolniki s sočasnimi obolenji) smo uporabili prekinjeni stopenjski protokol z naraščanjem obremenitve za 10 W na stopnjo, pri nižjih okvarah hrbtenjače pa enak protokol z naraščanjem obremenitve za 25 W na stopnjo.

Bolniki so sedeli na svojem invalidskem vozičku. Za obremenitev smo uporabljali ročno kolo z elektromagnetno zaporo (LODE B.V. Medical engineering). Centralna os kolesa je bila v višini preiskovančevih ramen. Hitrost poganjanja kolesa je bila med 50 in 60 obrati na minuto. Na prsni koš smo namestili elektrode 6-kanalnega telemetričnega EKG. Vsaka stopnja obremenitve je trajala dve minuti z enominutnim odmorom, med katerim smo izmerili krvni tlak. Metabolične parametre ( $VO_2$ ,  $VCO_2$ , respiratorni kvocient) smo spremljali po metodi kontinuiranega neposrednega merjenja z aparatom Oxicon Mobile (Viasys – Jager). Bolniki so dihali skozi obrazno masko. Pred vsako meritvijo smo aparat umerili po priporočenem protokolu. Po končanem obremenitvenem testiranju smo merili krvni tlak po eni, treh in petih minutah.

Testiranje smo prekinili, če je bil preiskovanec izčrpan, če zaradi motenj ravnotežja testiranje ni bilo več varno, če poraba kisika ni več naraščala, če je bila srčna frekvenca več kot 90 % maksimalno predvidene, izračunane po obrazcu  $((220 - \text{leta}) \times 0,9)$ , in če je bil RER (respiratorni kvocient) 1,15 ali več (19, 20).

## REZULTATI

Zajeli smo podatke bolnikov z okvaro hrbtenjače, ki so opravili obremenitveno testiranje v obdobju med 1. 6. 2010 in 1. 6. 2011 po zaključeni primarni rehabilitaciji, povprečno pol leta po nastanku okvare.

Čas testiranja je bil odvisen od stopnje dosežene obremenitve. Najdaljši test je trajal 12 minut, kar je v okviru priporočil za optimalni čas testiranja (18).

V testiranje je bilo vključenih 20 bolnikov, starih povprečno 44,5 let. V skupini je bilo 19 moških, največ jih je bilo z okvaro hrbtenjače (18 oseb). Po anatomskih in funkcionalnih posebnostih smo jih razdelili v tri skupine: okvare vratnega dela hrbtenjače do ravni C8 (skupina 1), visoke okvare prsnega dela hrbtenjače – Th1 do Th5 (skupina 2) in nizke okvare prsnega in ledvenega dela hrbtenjače – od Th6 do L2 (skupina 3).

V prvi skupini sta bila oba bolnika z nepopolno okvaro (tabela 1). Druga in tretja skupina bolnikov je bila po klasifikaciji ASIA (21) zelo heterogena (tabela 1). Ker je bilo število bolnikov majhno, smo pri analizi rezultatov upoštevali samo raven okvare.

**Tabela 1:** Bolniki glede na poškodbo hrbtenjače.

Skupina	Zap. št.	Leto rojstva	Masa (kg)	Višina okvare	ASIA
I.	1	1993	65	C5	C
	2	1967	100	C3 do C6	C
II.	3	1951	77	Th 3, 4, 8, 9	A
	4	1963	88	Th 3, 4	A
	5	1980	65	Th 5	A
	6	1977	75	Th 2, 3	C
III.	7	1976	60	Th 5 do L 5	A
	8	1989	67	Th 5 do 7, Th 9	B
	9	1962	60	Th 7,10,11	A
	10	1981	54	L1	D
	11	1965	75	Th 6 do 11	B
	12	1951	71	L1	A
	13	1976	76	Th 6 do 11	C
	14	1981	85	L 3	C
	15	1993	70	Th 10	A
	16	1969	123	Th 8, 9	C
	17	1957	76	L 1	C
	18	1984	62	C 5	D
	19	1961	80	Th 8 do L 3	C
	20	1984	98	Th 10	A

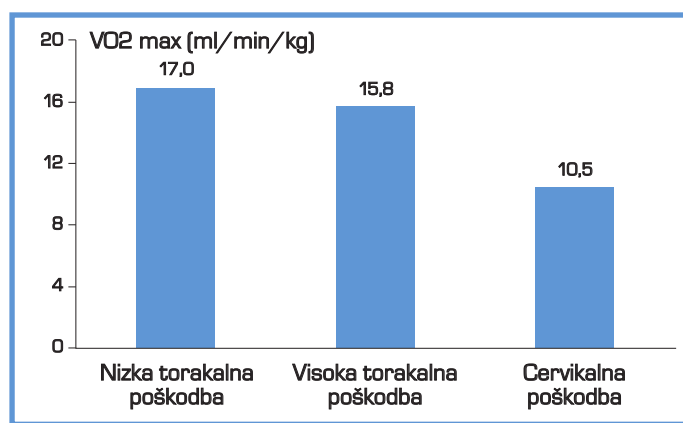
Legenda za stolpec ASIA: A – popolna okvara senzorične in motorične funkcije nad ravnijo okvare, B – ohranjena senzorična in okvarjena motorična funkcija nad ravnijo okvare, C – delno ohranjena motorična funkcija (za več kot polovico mišičnih skupin je mišični status pod 3) in ohranjena senzorična funkcija nad ravnijo okvare, D – ohranjena senzorična funkcija in delno motorična (za več kot polovico mišičnih skupin je mišični status nad 3).

V skupini z nizko okvaro hrbtenjače je bila povprečna dosežena stopnja obremenitve 91,7 W, povprečna maksimalna poraba kisika je bila 1284,4 ml (17,2 ml/min/kg), kar je 47,2 % glede na predvideno maksimalno porabo kisika (slika 1).

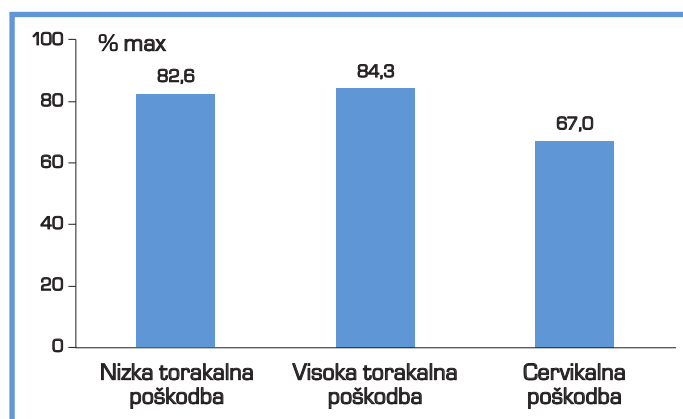
Dosežen odstotek predvidene maksimalne srčne frekvenca glede na starost je bil 82,6 % (149 utripov/minuto). Povprečni krvni tlak ob koncu obremenitve je bil 149,2/82,5 mm Hg (sliki 2 in 3).

V skupini z visoko torakalno okvaro je bila v povprečju dosežena nižja stopnja obremenitve (88 W). Poraba kisika je bila v povprečju 1207 ml oziroma 15,8 ml/kg/min (slika 1), kar je 46,5 % glede na predvideno porabo. Povprečno dosežena maksimalna srčna frekvenca je bila 146 utripov/minuto (82,1 % predvidene maksimalne glede na starost; slika 2). Povprečna vrednost krvnega tlaka je bila 146/82 mm Hg (slika 3).

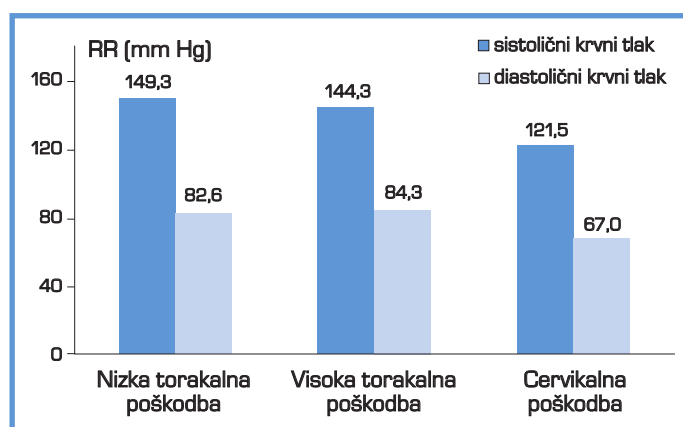
V skupini z visoko okvaro vratnega dela hrbtenjače sta bila samo dva preiskovanca. Glede na okvaro sta bila uvrščena v skupino C po klasifikaciji ASIA. Dosegla sta obremenitev 25 W oziroma 50 W. Njuna povprečna izmerjena poraba kisika je bila 10,5 ml/min/kg (25,5 % predvidene maksimalne; slika 1), povprečni krvni tlak je bil 121/67 mm Hg (slika 3) in povprečna maksimalna srčna frekvenca je bila 121 utripov/minuto (67 % predvidene maksimalne; slika 2).



**Slika 1:** Povprečna dosežena maksimalna poraba kisika pri obremenitvi (VO<sub>2</sub> max).



**Slika 2:** Povprečni doseženi odstotek maksimalne srčne frekvenca pri obremenitvi (% max).



**Slika 3:** Povprečni doseženi maksimalni diastolični in sistolični krvni tlak (RR) pri obremenitvi.

Stopnja dosežene obremenitve je bila obratno sorazmerna z višino okvare. Statistično pomembne razlike smo ugotovili med osebami z okvaro vratnega dela hrbtenjače in drugima dvema skupinama ( $p < 0,001$ ). Med skupinama bolnikov z okvaro prsnega dela hrbtenjače razlika glede dosežene stopnje obremenitve in maksimalne porabe kisika ni bila statistično značilna.

Dosežen odstotek predvidenega srčnega utripa glede na starost je bil v drugi in tretji skupini blizu submaksimalnih vrednosti. V skupini z okvaro vratnega dela hrbtenjače je bil srčni utrip pričakovano počasnejši.

## RAZPRAVA

V študiji smo želeli oceniti srčno-žilne zmogljivosti oseb z okvaro hrbtenjače po končani primarni rehabilitaciji, ki je osnova za predpisovanje aerobne vadbe za bolnike v domačem okolju.

Obremenitveno testiranje je potekalo brez zapletov. Pri treh bolnikih z okvaro v zgornjem delu prsnega dela hrbtenjače je ob testiranju prišlo do asimptomatskega znižanja krvnega tlaka zaradi avtonomne disfunkcije. Pri nobenem od bolnikov obremenitev ni izzvala simptomov avtonomne disrefleksije.

Največja dosežena stopnja obremenitve in maksimalna poraba kisika se v skupinah z visoko in nizko okvaro prsnega oz. ledvenega dela hrbtenjače ni bistveno razlikovala. Vzrok je verjetno v zelo heterogeni skupini glede na stopnjo okvare. Maksimalna poraba kisika je bila v skupinah 46,5 % in 47,2 % predvidene glede na starost preiskovancev. Pri ročni obremenitvi aktiviramo bistveno manj mišične mase, zato je maksimalna poraba kisika pri zdravi populaciji tudi do 30 % manjša kot pri obremenitvi na kolesu ali tekočem traku (22). Manjše mišice zgornjih udov se v primerjavi z mišicami spodnjih udov močnejše krčijo ob enaki obremenitvi, zato je učinek na srčno-žilni sistem večji (hitrejša naraščanje srčnega utripa in krvnega tlaka). Tega dejstva v rehabilitaciji ne upoštevamo dovolj, predvsem pri predpisovanju pripomočkov za gibanje (23, 24). Obremenitev na ročnem kolesu je za te namene uporaben in objektiven test. Bolniki z okvaro hrbtenjače imajo glede na višino in stopnjo poškodbe zmanjšano aktivno mišično maso zgornjega dela trupa in zgornjih udov, ki sodeluje pri obremenitvi. Ker smo poleg tega bolnike testirali v zgodnjem obdobju po okvari hrbtenjače, menimo, da je rezultat maksimalne porabe kisika realen.

Dosežena maksimalna srčna frekvenca v drugi in tretji skupini bolnikov se je gibala na ravni submaksimalne vrednosti, v skupini bolnikov z okvaro vratne hrbtenjače pa je bila bistveno nižja. Naši rezultati so primerljivi z rezultati v drugih objavljenih raziskavah (12, 24, 25).

Krvni tlak pri preiskovancih je bil ob koncu obremenitve v primerjavi z zdravo populacijo nižji zaradi zmanjšane minutnega volumna ob manjšem venskem dotoku (manjša kapacitivnost, venska črpalka ni delovala) in nižjem perifernem uporu, ker ni bilo vazokonstrikcije (26).

Dosežena stopnja telesne zmogljivosti preiskovancev v študiji je nizka, zato so bolj nagnjeni k srčno-žilnim obo-

lenjem. V prihodnje bi bilo potrebno v raziskavo vključiti večje število bolnikov. Zaradi tehničnih posebnosti bi bilo smiselno primerjati prekinjeni stopenjski in neprekinjeni zvezni protokol pri isti skupini bolnikov.

## ZAKLJUČEK

Dnevne aktivnosti, ki jih izvajajo osebe z okvaro hrbtenjače, odvisne od invalidskega vozička, ne zadoščajo za dovolj visoko raven telesne obremenitve, da bi preprečili nastanek srčno-žilnih obolenj. Zato je pri tej skupini bolnikov treba spodbujati strukturirano, stalno telesno aerobno vadbo. Predpisovanje in spremljanje ustrezne vadbe pa je mogoče le na osnovi opravljenega obremenitvenega testiranja v določenih časovnih presledkih.

## Literatura:

1. American College of Sports Medicine. ACSM's resources for clinical exercise physiology. 2nd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer / Lippincott Williams & Wilkins, cop. 2010.
2. van der Woude LH, De Groot S, Janssen TW. Manual wheelchairs: Research and innovation in rehabilitation, sports, daily life and health. *Med Eng Phys* 2006; 28(9): 905-15.
3. Dallmeijer AJ, van der Woude LH. Health related functional status in men with spinal cord injury: relationship with lesion level and endurance capacity. *Spinal Cord* 2001; 39(11): 577-83.
4. Grigorean VT, Sandu AM, Popescu M, Iacobini MA, Stoian R, Neascu C, et al. Cardiac dysfunctions following spinal cord injury. *J Med Life* 2009; 2(2): 133-45.
5. Dela F, Mohr T, Jensen CM, Haahr HL, Secher NH, Biering-Sørensen F, et al. Cardiovascular control during exercise: insights from spinal cord-injured humans. *Circulation* 2003; 107(16): 2127-33.
6. Hopman MT, Nommensen E, van Asten WN, Oeseburg B, Binkhorst RA. Properties of the venous vascular system in the lower extremities of individuals with paraplegia. *Paraplegia* 1994; 32(12): 810-6.
7. Krassioukov A, Warburton DER, Teasell RW, Eng JJ. *Autonomic Dysreflexia Following Spinal Cord Injury. Spinal Cord Injury Rehabilitation Evidence*, 2010.
8. Wilkins RL, Stoller JK, Scanlan CL, eds. *Egan's fundamentals of respiratory care*. 8<sup>th</sup> ed. St. Louis: Mosby, cop. 2003.

9. West JB. Pulmonary pathophysiology: the essentials. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, cop. 2008.
10. Mateus SR, Beraldo PS, Horan TA. Cholinergic bronchomotor tone and airway caliber in tetraplegic patients. *Spinal Cord* 2006; 44(5): 269-74.
11. Hjeltnes N, Jansen T. Physical endurance capacity, functional status and medical complications in spinal cord injured subjects with long-standing lesions. *Paraplegia* 1990; 28(7): 428-32.
12. Morrison SA, Melton-Rogers SL, Hooker SP. Changes in physical capacity and physical strain in persons with acute spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 1997; 3: 1-15.
13. Bauman WA, Spungen AM. Coronary heart disease in individuals with spinal cord injury: assessment of risk factors. *Spinal Cord* 2008; 46(7): 466-76.
14. Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation and management. *Am J Phys Med Rehabil* 2007; 86(2): 142-52.
15. Dyson-Hudson TA, Nash MS. Guideline-driven assessment of cardiovascular disease and related risks after spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2009; 14(3): 32-45.
16. Abrams GM, Wakasa M. Chronic complications of spinal cord injury. Up to date. Philadelphia: Wolters Kluwer / Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
17. Vanlandewijck Y, Theisen D, Daly D. Wheelchair propulsion biomechanics: implications for wheelchair sports. *Sports Med* 2001; 31(5): 339-67.
18. ERS Task Force, Palange P, Ward SA, Carlsen KH, Casaburi R, Gallagher CG, et al. Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. *Eur Respir J* 2007; 29(1): 185-209.
19. Thompson WR, Gordon NF, Pescatello LS; American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 8<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, cop. 2009.
20. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, Froelicher VF, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *Circulation* 2002; 106(14): 1883-92.
21. ASIA. International standards for neurological classification of SCI. Atlanta: American Spinal Injury Association, 2002.
22. Wasserman K. Clinical exercise testing. In: Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whip BJ, eds. Principles of exercise testing and interpretation. 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1999: 115-42.
23. Marinček Č, Valenčič V. Arm cycloergometry and kinetics of oxygen consumption in paraplegics. *Paraplegia* 1977; 15(2): 178-85.
24. Marinček Č. Obremenilno testiranje paraplegikov z ročno cikloergometrijo = Exercise testing of paraplegics with arm cycloergometry. *Zdrav Vestn* 1976; 45(4): 203-6.
25. Claydon VE, Hol AT, Eng JJ, Krassioukov AV. Cardiovascular responses and postexercise hypotension after arm cycling exercise in subjects with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87(8): 1106-14.
26. Fighoni SF. Exercise responses and quadriplegia. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25(4): 433-41.