

Učinki vadbe proti uporju na uravnavanje krvnega sladkorja in sestavo telesa oseb s sladkorno boleznijo tipa 2

Effects of resistance training on glycemic control and body composition in type 2 diabetic subjects

Tjaša Orešnik¹, Alan Kacin¹

IZVLEČEK

Uvod: Skeletne mišice imajo pomembno vlogo pri metabolizmu glukoze, zato sta njihova masa in presnovna zmogljivost zelo povezani z neobčutljivostjo celic na inzulin, slabšim uravnavanjem krvnega sladkorja in sladkorno boleznijo tipa 2. Vadba proti uporju ima zaradi vpliva na skeletne mišice velik potencial za obravnavo in nadzor sladkorne bolezni. **Metode:** Članek temelji na pregledu raziskav, objavljenih od leta 2002 do 2013, ki so proučevale učinke vadbe proti uporju na uravnavanje krvnega sladkorja in sestavo telesa oseb s sladkorno boleznijo tipa 2. Izbrane raziskave so bile razvrščene v tri skupine glede na uporabljeno intenziteto vadbe proti uporju, in sicer nizke ($\leq 50\%$ 1RM), zmerne (60–70 % 1RM) in visoke ($\geq 70\%$ 1RM) intenzitete. **Rezultati:** V obdobju je bilo najdenih in pregledanih 138 raziskav, od katerih je bilo v analizo vključenih 13. **Zaključki:** Učinek vadbe proti uporju na uravnavanje krvnega sladkorja in sestavo telesa oseb s sladkorno boleznijo tipa 2 se izboljšuje z intenziteto in časom trajanja vadbenega programa. Dolgotrajni programi visokointenzivne vadbe najizraziteje izboljšajo nadzor krvnega sladkorja, mišično jakost in sestavo telesa.

Gljučne besede: sladkorna bolezen tipa 2, glikirani hemoglobin, telesna sestava, vadba proti uporju.

ABSTRACT

Background: Skeletal muscle plays a significant role in the metabolism of glucose hence low muscle mass and metabolic capacity strongly relate to insulin insensitivity, poor glycemic control and type 2 diabetes. Due to its numerous positive effects on muscle size and metabolism, the resistance training has a high potential for management and control of the disease. **Methods:** A search of scientific reports on the effects of resistance training on glycemic control and body composition in subjects with type 2 diabetes published from 2002 to 2013 has been made in various databases. Based on the intensity of resistance training used, the studies were categorized into three groups, i.e. low ($\leq 50\%$ 1RM), moderate (60–70 % 1RM), and high ($\geq 70\%$ 1RM) intensity. **Results:** The initial search produced 138 studies of which 13 studies were included in the final analysis. **Conclusions:** The improvements in glycemic control and body composition in subjects with type 2 diabetes increase with intensity and duration of the resistance training program. The high intensity programs of longer duration exhibit the strongest effect on blood glucose control, body composition and gains in muscle strength.

Key words: type 2 diabetes, glycosylated hemoglobin, body composition, resistance training.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: doc. dr. Alan Kacin, dipl. fiziot.; e-pošta: alan.kacin@zf.uni-lj.si

Prispelo: 8.1.2017

Sprejeto: 26.3.2017

UVOD

Delež ljudi s sladkorno boleznijo tipa 2 se v svetu močno povečuje (1). Ustrezna prehrana in telesna dejavnost sta glavna ukrepa za urejanje sladkorne bolezni tipa 2 (2). Starost vpliva na delovanje živčno-mišičnega sistema, saj se največja mišična jakost, mišična masa in mišična moč postopoma zmanjšujejo (3). Eden izmed vzrokov za zmanjšanje mišične mase in slabšo mišično zmogljivost v starosti je poleg sprememb v hormonski sliki tudi sprememba življenjskega sloga. 80 % ljudi s sladkorno boleznijo tipa 2 je debelih ali imajo čezmerno telesno težo (4). Pri tem je pomembno, da debelost povzroča zmanjšano občutljivost na inzulin. Skeletne mišice predstavljajo od 35 do 40 % telesne mase in imajo zelo pomembno vlogo pri presnovi glukoze (5). Ker so skeletne mišice največji rezervoar in hkrati porabnik glukoze, so slabša mišična zmogljivost, zmanjšanje mišične mase in zmanjšanje števila ter velikosti vlaken skeletnih mišic tesno povezani z neobčutljivostjo celic na inzulin, s slabšim uravnavanjem krvnega sladkorja in sladkorno boleznijo tipa 2 (6). Poudariti je treba, da zmanjšanje glikiranega hemoglobina (HbA_{1c}) za le 1 % zmanjša možnosti nastanka mikrovaskularnih zapletov za 37 % in možnosti smrti, ki je posledica diabetičnih zapletov, za 21 % (11). Že minimalne razlike v vrednosti HbA_{1c} imajo pomembno vlogo v spremembi uravnavanja krvnega sladkorja pri sladkorni bolezni tipa 2. Strokovne smernice za telesno vadbo sladkornih bolnikov so še do nedavnega dajale prednost programom vadbe, ki temeljijo na aerobnih vajah in vajah, ki izboljšujejo predvsem srčno-dihalno in mišično vzdržljivost. V zadnjem desetletju se raziskave vedno bolj usmerjajo v proučevanje učinkov vadbe proti uporam na bolnike s sladkorno boleznijo tipa 2 (4). Vadba proti uporam ima namreč velik potencial izboljšati mišično jakost, moč, vzdržljivost in telesno sestavo, povečati mišično maso ter izboljšati občutljivost na inzulin in toleranco na glukozo (7).

Poglaviti cilj pregleda je bil ugotoviti terapevtski učinek intenzitete vadbe proti uporam, zato so raziskave razvrščene glede na uporabljen odstotek enega ponovitvenega maksimuma (% RM), in sicer na raziskave z vadbo proti uporam nizke intenzitete (≤ 50 % 1RM), zmerne intenzitete (60–70 % 1RM) in visoke intenzitete (≥ 70 % 1RM).

METODE

Znanstvene vire smo iskali v podatkovnih zbirkah PubMed, PEDro in The Cochrane Library. Pri iskanju virov so bile uporabljene naslednje ključne besede v angleškem jeziku: sladkorna bolezen tipa 2, glikirani hemoglobin, telesna sestava, vadba proti uporam. V pregled so bila vključena le poročila o randomiziranih kontrolnih poskusih, objavljena med letoma 2002 in 2013. Spremljati so morali koncentracijo glukoze ali glikiranega hemoglobina (HbA_{1c}) in hkrati tudi maščobno in/ali nemaščobno maso telesa. Vzorec ljudi, ki je sodeloval v raziskavi, je moral imeti sladkorno bolezen tip 2. Minimalno trajanje terapevtske vadbe je moralo biti vsaj šest tednov, sodelujoči pa so morali biti razdeljeni v vsaj dve skupini (ena je vključevala vadbo proti uporam, druga/-e pa aerobno vadbo, kombinacijo obojega ali primerjalno skupino brez vadbe). Vključene so bile le raziskave, v katerih je bilo mogoče ugotoviti intenziteto vadbe proti uporam.

REZULTATI

Na podlagi ključnih besed je bilo najdenih in pregledanih 138 raziskav, ki so obravnavale učinke vadbe proti uporam na osebe s sladkorno boleznijo tipa 2. Na podlagi vključitvenih meril je bilo v pregled vključenih 13 raziskav. V dveh raziskavah (5, 8) so proučevali učinke vadbe proti uporam nizke intenzitete (preglednica 1). Skupno število preiskovancev, ki je sodelovalo v teh raziskavah, je bilo 72. Udeleženci so bile ženske s povečano telesno težo in sladkorno boleznijo tipa 2, stare med 38 in 68 let (5, 8). Program vadbe proti uporam je bil v obeh raziskavah izveden z elastičnimi trakovi s 40–50 % 1RM in je trajal 12 tednov. V petih raziskavah (9, 10, 12–14) so ugotavljali vpliv vadbe proti uporam zmerne intenzitete (preglednica 2). Skupno število oseb s sladkorno boleznijo tipa 2, ki je sodelovalo v teh raziskavah, je bilo 394, od tega 158 moških in 236 žensk. Le ena raziskava (14) je poleg skupine z vadbo proti uporam in primerjalne skupine vključila tudi skupino z aerobno vadbo in kombinirano skupino, v kateri so izvajali aerobno vadbo in vadbo proti uporam. Vadbeni programi so trajali od najmanj osem tednov (9) do največ devet mesecev (14). V šestih raziskavah (15–20) so proučevali vpliv vadbe proti uporam visoke intenzitete (preglednica 3). Skupno število oseb, ki so sodelovale v teh raziskavah, je bilo 507, od tega 226 moških in 171 žensk. V vseh

Preglednica 1: Značilnosti raziskav o učinkih vadbe proti uporju nizke intenzitete ($\leq 50\%$ 1RM)

	Število udeležencev	Skupine	Trajanje programa vadbe	Opis vadbe		
				S-VPU	S-AV	KS
Kwon in sod., 2010	28 žensk 56,4 let	S-VPU (n = 13) KS (n = 15)	12 tednov	VPU z elastičnimi trakovi 3-krat na teden, 60 min., 3 seti, 10–15 ponovitev – intenziteta: 1. in 2. teden: minimalni upor ob koncu 12. tedna: 40–50 % 1RM	X	Nedejavna
Ku in sod., 2010	44 žensk 38–68 let	S-VPU (n = 13) S-AV (n = 15) KS (n = 16)	12 tednov	VPU z elastičnimi trakovi – 5-krat na teden (od tega 2-krat doma) – 3 seti, 15–20 ponovitev – intenziteta: 40–50 % 1RM	Hoja – 5-krat na teden – 60 min. – intenziteta: 3,6–5,2 MET	Nedejavna Poučeni o: – SB, – dieti, – vadbi.

Preglednica 1: Značilnosti raziskav o učinkih vadbe proti uporju nizke intenzitete (nadaljevanje)

Merjeni parametri	Ključni parametri	Sprememba parametrov po intervenciji		
		S-VPU	S-AV	KS
Kwon in sod., 2010	– Telesna teža, višina, obseg pasu, ITM,	HbA _{1c} (%):	-0,3	-0,1
	– sestava telesa,	Obseg pasu (cm):	-2,3	-0,5
	– trebušna maščoba	K _{ITT} (%/min):	0,3	X
	– krvni sladkor na tešče in HbA _{1c} ,	Mišična masa (g):	1223	-65
	– občutljivost na inzulin (K _{ITT}), – mišična jakost (1RM).	Maščobna masa (g):	-1749	-655
Ku in sod., 2010	– Telesna teža, višina, obseg pasu, ITM,	HbA _{1c} (%):	-0,3	-0,6
	– sestava telesa,	Obseg pasu (cm):	-2	-3
	– trebušna maščoba,	RBP4 (μg/mL):	-16,4	-2,3
	– HbA _{1c} , plazma glukoze na tešče,	ASAT (g):	-1,670	-2045
	– C-peptid, RBP4, adiponektin, leptin, – mišična jakost (1RM), krvni tlak.	AVAT (g):	-980	-852

Legenda: * statistično pomembna sprememba v času pri $p < 0,05$, HbA_{1c}: glikirani hemoglobin, ITM: indeks telesne mase, KITT: hitrost izginjanja glukoze v plazmi, MET: metabolični ekvivalent za intenziteto vadbe, RBP4: na retinol vezan protein 4, ASAT: podkožno maščobno tkivo v trebuhu, AVAT: visceralno maščobno tkivo, 1RM: en ponovitveni maksimum, S-VPU: skupina z vadbo proti uporju, S-AV: skupina z aerobno vadbo, KS: kontrolna skupina brez vadbe, X: se ni izvajalo, VPU: vadba proti uporju, VO₂maks: maksimalna poraba kisika.

Preglednica 2: Značilnosti raziskav o učinkih vadbe proti uporju zmerne intenzitete (60–70 % 1RM)

	Število in starost udeležencev	Skupine	Trajanje programa vadbe	Opis vadbe			
				S-VPU	S-AV	S-KOMB	KS
Baldi in Snowling, 2003	18 moških 47,9 let	S-VPU (n = 9) KS (n = 9)	10 tednov	Določeno začetno obremenitev so večali za 5 % – 3-krat na teden, – 1. teden: 1 set, – 2. in vsak naslednji teden: 2 seta, 12 ponovitev.	X	X	Nedejavna
Cauza in sod., 2005A	15 (4M/11Ž) M = 56,5 let Ž = 57,4 let	S-VPU (n = 8) KS (n = 7)	16 tednov	– 1. in 2. teden: 3-krat na teden, minimalni upor – od 3 tedna naprej: 3 seti, 10–15 ponovitev, ni podatka o intenziteti. – Število setov se postopno poveča na 6	Aerobna vadba (ciklični ergometer): – 3-krat na teden, – prve 4 tedne: 15 min., – vsake 4 tedne: +5 min. Maksimalni čas: 90 min. – intenziteta: 60 % VO_{2max} .	X	X
Cauza in sod., 2005B	39 (20M/19Ž) M = 56,5 let Ž = 57,4 let	S-VPU (n = 22) KS (n = 17)	16 tednov	Enaka vadba kot Cauza in sod., 2005A	Enaka vadba kot Cauza in sod., 2005A	X	X
Ng in sod., 2010	60 (19M/41Ž) > 50 let	S-VPU (n = 30) S-AV (n = 30)	8 tednov	–2–3-krat na teden, – 50 min., – 10 ponovitev na set, – 3 krožni seti (9 vaj), – intenziteta: 65 % 1RM (začetna), 70 % 1RM (po 4 tednih).	– 50 min. vadba (10 min. na kolesu ter 20 min. na tekočem traku in eliptičnem kolesu), – intenziteta: 65 % FSUmaks (začetna) 70 % FSUmaks (po 4 tednih)	X	X
Church in sod., 2010	262 (97M/165Ž) 55,8 let	S-VPU (n = 73) S-AV (n = 72) S-KOMB (n = 76) KS (n = 41)	36 tednov	– 150 min. vadbe zmerne intenzitete na teden, – 3-krat na teden, – 2 seta (4 vaje za zg. del telesa in 2 vaji za trup), – 3 seti (3 vaje za sp. del telesa), – 10–12 ponovitev za mišice trupa. Med 12. in 24. tednom zmanjšanje količine vadbe za 1/3.	–150 min. zmerne vadbe na teden (tekalna steza), – intenziteta: 50–80 % VO_{2max} . (poraba: 12 kcal/kg na teden). Med 12. in 24. tednom se je količina vadbe zmanjšala za 1/3.	– 150 min. zmerne vadbe na teden (tekalna steza) – intenziteta: 50–80 % VO_{2max} . (poraba: 10 kcal/kg na teden), – 2-krat na teden VPU – 9 vaj, 1 set, 10–12 ponovitev. Med 12. in 24. tednom zmanjšanje količine vadbe za 1/3.	Možnost tedenskega raztezanja in sprostitvenih ur

Legenda: M: moški, Ž: ženske, ITM: indeks telesne mase, 1RM: en ponovitveni maksimum, S-VPU: skupina z vadbo proti uporju, S-AV: skupina z aerobno vadbo, S-KOMB: skupina s kombinirano vadbo, KS: kontrolna skupina brez vadbe, VPU: vadba proti uporju, FSUmaks: maksimalna frekvenca srčnega utripa, VO_{2max} : maksimalna poraba kisika.

Preglednica 2: Značilnosti raziskav o učinkih vadbe proti uporju zmerne intenzitete (nadaljevanje)

Merjeni parametri		Ključni parametri	Sprememba parametrov po intervenciji			
			S-VPU	S-AV	S-KOMB	KS
Baldi in Snowling, 2003	– Telesna teža, višina, ITM, – HbA_{1c} , – glukoza in inzulin na tešče, – občutljivost na inzulin ($ISI_{0,120}$ indeks), – maščobna masa (hidrostatsko tehtanje), – mišična jakost in vzdržljivost.	HbA_{1c} (%):	-0,5*			-0,1
		$ISI_{0,120}$ indeks:	2,3			-2,3
		Maščobna masa telesa (kg):	-1,1	X	X	2,6
		Pusta telesna masa (kg):	2,6*#			-2,0
Cauza in sod., 2005A	– ITM, – glukoza v krvi (z MiniMed CGMS), – HbA_{1c} , – sestava telesa, – mišična jakost, – VO_2 maks.	HbA_{1c} (%):	-0,5	-0,4		
		Glukoza v krvi (povprečje):	-21,5*	-6,7		X
		Maščobna masa telesa (kg):	-5,4*#	-2,5*	X	
		Pusta telesna masa (kg):	5,6*	1,9		
Cauza in sod., 2005B	– Telesna teža, ITM, – glukoza v krvi, inzulin v plazmi, – HbA_{1c} , – občutljivost na inzulinu (HOMA-IR indeks), – sestava telesa, – koncentracija lipidov, – mišična jakost, VO_2 maks, krvni tlak.	HbA_{1c} (%):	-1,2*	-0,3		
		HOMA-IR indeks:	-1,9*#	1,6		X
		Maščobna masa telesa (kg):	-3,8*	-2,3*	X	
		Pusta telesna masa (kg):	3,2*	1,0		X
Ng in sod., 2010	– Telesna teža, ITM, obseg pasu, – HbA_{1c} , – glukoza v krvi, – sestava telesa, – koncentracija lipidov, – krvni tlak, VO_2 maks, razmerje med pasom in boki.	HbA_{1c} (%):	-0,5*	-0,4		
		Glukoza v krvi (mmol/L):	-0,3*	-0,2		
		Maščoba telesa –bioimpedanca (%):	-1,5	-1,1	X	
		Obseg pasu (cm):	-1,6	0,2		X
Church in sod., 2010	– HbA_{1c} , – glukoza in inzulin na tešče, – sestava telesa, – koncentracija lipidov, – mišična jakost, – VO_2 maks.	HbA_{1c} (%):	-0,05	-0,13	-0,23*#	0,12
		Sprememba maščobne mase (kg):	-1,4*	-0,6	-1,7*	0,01*
		Sprememba puste telesne mase (kg):	0,8*	-0,5	0,0	0,1

Legenda: # statistično pomembna razlika med skupinami pri $p < 0,05$, * statistično pomembna sprememba v času pri $p < 0,05$, X: se ni izvajalo, M: moški, Ž: ženske, ITM: indeks telesne mase, HbA_{1c} : glikirani hemoglobin, IRM: en ponovitveni maksimum, S-VPU: skupina z vadbo proti uporju, S-AV: skupina z aerobno vadbo, S-KOMB: skupina s kombinirano vadbo, KS: kontrolna skupina brez vadbe, VPU: vadba proti uporju, FSU maks: maksimalna frekvenca srčnega utripa, VO_2 maks: maksimalna poraba kisika.

Preglednica 3: Značilnosti raziskav o učinkih vadbe proti uporju visoke intenzitete ($\geq 70\%$ 1RM)

	Število in starost udeležencev	Skupine	Trajanje programa vadbe	Opis vadbe			
				S-VPU	S-AV	S-KOMB	KS
Dunstan in sod., 2002	36 (16M/13Ž) 60–80 let	S-VPU (n = 19) KS (n = 17)	24 tednov	–3-krat na teden, 3 seti, 8–10 ponovitev, – ogrevanje: 5 min., – ohlajanje: 5 min. (stacionarno kolo, nizka intenziteta), – 45 min. VPU (9 vaj), – intenziteta: 50–60 % 1RM (1. in 2. teden), 75–85 % 1RM (v nadaljevanju).	X	X	– 5 min. kolesarjenje na stacionarnih kolesih, – 30 min. statične raztezne vaje (+ dieta).
Castanea in sod., 2002	62 (22M/40Ž) 66 let	S-VPU (n = 31) KS (n = 31)	16 tednov	–3-krat na teden, 45 min., 3 seti, 8 ponovitev –35 min. VPU, – ohlajanje: 5 min. raztezanja, – intenziteta: 60–80 % 1RM (1.–8. teden), 70–80 % 1RM (od 10.–14. teden)	X	X	Nedejavna, ob standardni negi.
Sigal in sod., 2007	251 (160M/91Ž) 39–70 let	S-VPU (n = 64) S-AV (n = 60) S-KOMB (n = 64) KS (n = 63)	24 tednov	–3-krat na teden, – 2–3 seti, 7–9 ponovitev (7 različnih vaj na napravah proti uporju).	–3-krat na teden (vadba na cikloergometru in tekočem traku) 15–20 min. (na začetku), 45 min. (v nadaljevanju), – intenziteta: 60 % FSUmaks (na začetku), 75 % FSUmaks (v nadaljevanju).	Izvajali program SAV in SVPU	Nedejavna
Kang in sod., 2009	15 žensk 51 let	S-VPU (n = 8) KS (n = 7)	12 tednov	–3-krat na teden, 1h, 3 seti, 12 ponovitev, – intenziteta: 60 % rezerva srčnega utripa (vzpenjanje po stopnicah, kolesarjenje na stacionarnem kolesu in krožne vaje proti uporju).	X	X	–3-krat na teden 1h hoje po tekoči stezi, – intenziteta: 60 % rezerva srčnega utripa.
Bacchi in sod., 2012	40 (28M/12Ž) 40–70let	S-VPU (n = 20) S-AV (n = 20)	16 tednov	–3-krat na teden, 60 min., –3 seti, 10 ponovitev, – intenziteta: 30–50 % 1RM (na začetku), 70–80 % 1RM (v nadaljevanju) (9 vaj na napravah proti uporju in prostih utežeh).	–3-krat na teden, 60 min., – intenziteta: postopno večanje na 60–65 % rezervnega srčnega utripa (kardiovaskularna oprema).	X	X
Mavros in sod., 2013	103 (ni podatka o spolu in starosti)	S-VPU KS	50 tednov	– 3-krat na teden, 3 seti, 8 ponovitev, – pri vajah za noge po 2 seta za vsako nogo, – intenziteta: 80 % 1RM (ponovno določen na 4 tedne) (vadba izvajana na pnevmatskih napravah proti uporju Keiser, način »power« vadbe).	X	X	Placebo skupina: – 3-krat na teden (enake naprave), – intenziteta: čim nižja, brez spreminjanja.

Legenda: M: moški, Ž: ženske, 1RM: en ponovitveni maksimum, S-VPU: skupina z vadbo proti uporju, S-AV: skupina z aerobno vadbo, S-KOMB: skupina s kombinirano vadbo, KS: kontrolna skupina brez vadbe, FSUmaks: maksimalna frekvenca srčnega utripa.

Preglednica 3: Značilnosti raziskav o učinkih vadbe proti uporju visoke intenzitete (nadaljevanje)

Merjeni parametri	Ključni parametri	Sprememba parametrov po intervenciji			
		S-VPU	S-AV	S-KOMB	KS
Dunstan in sod., 2002 – Telesna teža, višina, ITM, obseg pasu, – HbA_{1c} , občutljivost na inzulin (HOMA-IR indeks), – glukoza v plazmi in inzulin, – sestava telesa, – mišična jakost, koncentracija lipidov, krvni tlak.	HbA_{1c} (%):	-1,2*#			-0,4*
	HOMA-IR indeks:	0,3	X	X	0,8
	Maščobna masa telesa (kg):	-2,4*			-2,1*
	Pusta telesna masa (kg):	-0,5			-0,4
Castaned a in sod., 2002 – Telesna teža, višina, ITM, obseg pasu, – glukoza v plazmi, – shranjevanje glikogena v mišicah, – HbA_{1c} , – sestava telesa, – mišična jakost, krvni tlak, koncentracija lipidov.	HbA_{1c} (%):	-1,1*#			-0,1
	Glikogen v mišicah (mmol/kg):	18,8*#	X	X	-14,2*
	Maščobna masa telesa (kg):	-1,0			0,9
	Pusta telesna masa (kg):	1,2*#			-0,1
Sigal in sod., 2007 – Telesna teža, ITM, obseg pasu, – HbA_{1c} , – sestava telesa, – trebušna, visceralna, podkožna maščoba, – koncentracija lipidov, mišična jakost, krvni tlak.	HbA_{1c} (%):	-0,3*	-0,4*	-0,9*#	0,1
	Obseg pasu (cm):	-3,0*#	-3,0*#	-4,0*#	-1,0
	Maščobna masa telesa (kg):	-1,3	-1,6	-1,9	0,2
	Pusta telesna masa (kg):	0,2	-1,0	-0,7	-0,5
Kang in sod., 2009 – Telesna teža, višina, ITM, – HbA_{1c} , občutljivost na inzulin (HOMA-IR indeks), – sestava telesa, – adiponektin, RBP4, MCP-1, CRP, – VO_2 maks.	HbA_{1c} (%):	-0,6*#			-0,2
	HOMA-IR indeks:	-0,9*	X	X	-0,7
	Maščobna masa telesa (%):	-2,1*#			-1,0
	Mišična masa (kg):	1,8*#			0,6
Bacchi in sod., 2012 – Telesna teža, višina, ITM, obseg pasu, – HbA_{1c} , občutljivost na inzulin (HOMA-IR indeks), – funkcija β -celic (HOMA- β), – sestava telesa, – visceralna in podkožna maščoba, – mišična jakost, VO_2 maks, krvni tlak.	HbA_{1c} (%):	-0,35*	-0,40*		
	HOMA-IR indeks:	0,52*	1,15*	X	X
	Maščobna masa telesa (kg):	-1,71*	-1,96*		
	Pusta telesna masa (kg):	0,32*	-0,12*		
Mavros in sod., 2013 – Telesna teža, ITM, – HbA_{1c} , občutljivost na inzulin (HOMA2-IR indeks), – sestava telesa, – visceralna maščoba, – prečni prerez sredine stegna.	HbA_{1c} (%):	-0,1			-0,2
	HOMA2-IR indeks:	0,1			0,1
	Maščobna masa telesa (kg):	-1,0	X	X	-0,4
	Skeletna mišična masa (kg):	0,2			0,1
	Prečni prerez stegna (cm^2):	6,0*#			-1,0

Legenda: # statistično pomembna razlika med skupinami pri $p < 0,05$, * statistično pomembna sprememba v času pri $p < 0,05$, X: se ni izvajalo, M: moški, Ž: ženske, ITM: indeks telesne mase, HbA_{1c} : glikirani hemoglobin, 1RM: en ponovitveni maksimum, S-VPU: skupina z vadbo proti uporju, S-AV: skupina z aerobno vadbo, S-KOMB: skupina s kombinirano vadbo, KS: kontrolna skupina brez vadbe, VPU: vadba proti uporju, VO_2 maks: maksimalna poraba kisika.

raziskavah so udeležence razdelili v dve skupini, razen v eni (18), v kateri so jih razdelili v štiri skupine. Ta je primerjala učinke vadbe proti uporu z aerobno vadbo, kombinirano vadbo in kontrolno skupino. Program vadbe je trajal od 12 tednov (15) do največ 12 mesecev (20).

RAZPRAVA

V nobeni izmed dveh vključenih raziskav o učinkih vadbe proti uporu nizke intenzitete (5, 8) ni prišlo do sprememb v rezistenci na inzulin, prav tako so vrednosti HbA_{1c} ostale nespremenjene. Na občutljivost za inzulin naj ne bi pomembno vplivala količina celotne maščobe v telesu, temveč predvsem intramuskularna in visceralna maščoba (8). V raziskavi Ku in sodelavcev (8) so merili tudi koncentracijo adipokina RBP4, ki se izloča iz maščobnega tkiva in je povezan z rezistenco na inzulin. Predvidevali so, da se bo z vadbo proti uporu zmanjšala količina maščobnega tkiva v mišicah in sorazmerno tudi koncentracija RBP4. Spremembe v obeh parametrih, ki jih je povzročila vadba proti uporu, so sicer potrdile povezavo med koncentracijo RBP4 in količino maščobnega tkiva pod fascijo na sredini stegna, vendar pa vadba ni vplivala na znotrajmišično maščobno tkivo in njegovo občutljivost na inzulin. Kot kaže, kratkotrajni in nizko-intenzivni programi vadbe proti uporu ne povzročijo pomembnih sprememb v uravnavanju krvnega sladkorja pri osebah s sladkorno boleznijo tipa 2, čeprav jim nekoliko izboljšajo sestavo telesa in izboljšajo mišično jakost. Ker nobena izmed analiziranih raziskav ni trajala dlje kot 12 tednov, o morebitnem učinku dlje trajajočega programa nizko-intenzivne vadbe ne moremo sklepati.

Raziskave vadbe proti uporu zmerne intenzitete so pokazale bolj jasne učinke. Ng in sodelavci (9) so prišli do zaključka, da ima progresivna vadba proti uporu podoben učinek kot aerobna vadba. Koncentracija HbA_{1c} se je znižala za približno enako količino, medtem ko je prišlo do večjih razlik v obsegu pasu v korist skupini z vadbo proti uporu in v maksimalni porabi kisika v korist skupini z aerobno vadbo. Delež telesne maščobe se je pri obeh skupinah rahlo zmanjšal in se med skupinama ni bistveno razlikoval. Deset tednov trajajoča vadba proti uporu zmerne intenzitete je izboljšala uravnavanje krvnega sladkorja, saj je zmanjšala glukozo na tešče in povečala pusto

telesno maso (10). Tudi vrednost HbA_{1c} se je zmanjšala, pri čemer so avtorji predpostavili, da bi se z daljšim vadbenim programom vrednost še dodatno znižala. Šestnajsttedenska vadbeni programa zmerno intenzivne vadbe proti uporu (12, 13) je povzročila pomembno zmanjšanje koncentracij HbA_{1c} in glukoze na tešče v primerjavi s kontrolno skupino. Poleg tega se je pusta telesna masa povečala in maščobna masa zmanjšala (12, 13). Ti rezultati nakazujejo, da vadba proti uporu znižuje vrednosti HbA_{1c} celo učinkoviteje kot aerobna vadba. Church in sodelavci (14) so ugotovili, da je najbolj izrazito zmanjšanje HbA_{1c} dosegla skupina s kombinirano vadbo, česar s samo vadbo proti uporu ali aerobno vadbo niso dosegli. Iz pregledanih raziskav je razvidno, da vsaj osem tednov dolgi programi zmerno intenzivne vadbe proti uporu ugodno vplivajo na uravnavanje krvnega sladkorja in sestavo telesa ter da se učinek izboljšuje s časom trajanja vadbenega programa.

V raziskavah vadbe proti uporu visoke intenzitete so bile spremembe opazovanih spremenljivk najbolj izrazite. Že z le 12-tedenskim programom je prišlo do zmanjšanja telesne mase, ITM, deleža maščobne mase in izrazitega povečanja puste telesne mase pacientov (15). Prav tako je prišlo do izboljšanja v uravnavanju krvnega sladkorja, saj se je drastično zmanjšala raven HbA_{1c} , prav tako so se spremenile koncentracije adipokinov (RBP-4, adiponektin, MCP-1) (15). Ti rezultati nakazujejo, da zaradi povečanja mišične mase in zmanjšanja odstotka maščobne mase telesa z vadbo proti uporu pride do izboljšanja v uravnavanju krvnega sladkorja in ravni adipokinov, saj pride do večje porabe glukoze in s tem do zmanjšane potrebe po inzulinu. Bacchi in sodelavci (16) so primerjali vadbo proti uporu z aerobno vadbo in ugotovili, da vadba proti uporu podobno kot aerobna vadba izboljša občutljivost na inzulin, zniža HbA_{1c} in poveča pusto mišično maso. Tudi Castaneda in sodelavci (17), ki so primerjali vadbo proti uporu s skupino brez vadbe, so ugotovili, da je vadba proti uporu zanesljiva in učinkovita oblika vadbe, ki izboljša uravnavanje krvnega sladkorja, poveča pusto telesno maso in zmanjša maščobno maso trupa. V raziskavi Sigal in sodelavcev (18) so rezultati pokazali, da vadba proti uporu ali aerobna vadba sama po sebi izboljšuje uravnavanje krvnega sladkorja kot tudi sestavo telesa pri osebah s

sladkorno boleznijo tipa 2, vendar kombinacija obojega prinaša še boljše rezultate. Pri tem je pomembno, da je vadba proti uporabi progresivna, kar v večji meri izboljša tudi mišično jakost in mišično maso pacientov (19). To potrjujejo tudi Marvos in sodelavci (20), ki so primerjali vadbo proti uporabi visoke in progresivne intenzitete z vadbo zelo nizke in konstantne intenzitete. Ugotovili so, da samo visokointenzivna progresivna vadba izzove izboljšanje zdravja oseb s sladkorno boleznijo tipa 2. Pomembno pa je poudariti, da sta se odpornost na inzulin in koncentracija HbA_{1c} znižali v obeh skupinah le pri tistih osebah, ki so z vadbo povečale mišično maso. Kaže torej, da je za izboljšanje v uravnavanju krvnega sladkorja bistvena hipertrofija mišic in ne visoka intenziteta vadbe sama po sebi.

ZAKLJUČEK

Rezultati pregleda raziskav kažejo, da je vadba proti uporabi učinkovita pri osebah s sladkorno boleznijo tipa 2, pri čemer velikost učinka narašča z intenziteto, tedensko frekvenco vadbe in trajanjem vadbenega programa. Vadbeni programi nizke intenzitete in dolžine do 12 tednov ne povzročijo zaznavnih sprememb v uravnavanju krvnega sladkorja, čeprav nekoliko izboljšajo sestavo telesa in povečajo mišično jakost. Tovrstni programi so lahko primerni zlasti za starejše bolnike, ki imajo minimalno povišan HbA_{1c} in tako to vrednost vzdržujejo, obenem pa zaradi nizke intenzitete vadbe obstaja manjša možnost nastanka mišično-skeletnih poškodb in kardiovaskularnih zapletov. Vadbeni programi zmerne intenzitete, dolgi vsaj osem tednov, izboljšajo uravnavanje krvnega sladkorja in sestavo telesa. Učinek se okrepi s časom trajanja vadbenega programa. Zmanjša se vrednost HbA_{1c} , poveča pusta mišična masa, zmanjša se maščobna masa telesa, hkrati pa poveča mišična jakost. Progresivni vadbeni programi visoke intenzitete lahko povzročijo največje spremembe v vrednosti HbA_{1c} in sestavi telesa, zmanjšajo odpornost celic na inzulin in izrazito povečajo mišično jakost ter mišično maso. Pri tem je učinek vadbe na regulacijo glukoze pozitivno povezan s hipertrofijo mišic. Tega ni mogoče doseči v enaki meri le z aerobno vadbo.

Na podlagi pregledane literature sklepamo, da so za uravnavanje krvnega sladkorja in primerno sestavo telesa oseb s sladkorno boleznijo tipa 2 učinkoviti zlasti programi vadbe proti uporabi zmerne in visoke intenzitete, ki trajajo vsaj 12 tednov. Z gotovostjo lahko tudi sklepamo, da je kombinacija visokointenzivne vadbe proti uporabi in aerobne vadbe najučinkovitejša oblika terapevtske vadbe.

LITERATURA

1. Thent ZC, Das S, Henry LJ (2013). Role of exercise in the management of diabetes mellitus: the global scenario. *PLoS ONE* 8 (11): e80436.
2. Zanuso S, Jimenez A, Pugliese G, Corigliano G, Balducci S (2010). Exercise for the management of type 2 diabetes: a review of the evidence. *Acta Diabetol* 47 (1): 15.
3. ACSM (2009). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 41 (7): 1510–30.
4. Yang Z, Scott CA, Mao C, Tang J, Farmer AJ (2014). Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 44 (4): 487–99.
5. Kwon HR, Han KA, Ku YH, et al. (2010). The effects of resistance training on muscle and body fat mass and muscle strength in type 2 diabetic women. *Korean Diabetes J* 34 (2): 101–10.
6. Wang Y, Simar D, Fiatarone Singh MA (2009). Adaptations to exercise training within skeletal muscle in adults with type 2 diabetes or impaired glucose tolerance: a systematic review. *Diabetes Metab Res Rev* 25 (1): 13–40.
7. Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, et al. (2010). Exercise and type 2 diabetes. *Diabetes Care* 33 (12): e147–67.
8. Ku YH, Han KA, Ahn H, et al. (2010). Resistance exercise did not alter intramuscular adipose tissue but reduced retinol-binding protein-4 concentration in individuals with type 2 diabetes mellitus. *J Int Med Res* 38 (3): 782–91.
9. Ng CLW, Goh SY, Malhotra R, Østbye T, Tai ES (2010). Minimal difference between aerobic and progressive resistance exercise on metabolic profile and fitness in older adults with diabetes mellitus: a randomised trial. *J Physiother* 56 (3): 163–70.
10. Baldi JC, Snowling N (2003). Resistance training improves glycaemic control in obese type 2 diabetic men. *Int J Sports Med* 24 (6): 419–23.
11. Stratton IM, Adler AI, Neil HA, et al. (2000). Association of glycaemia with macrovascular and microvascular complications of type 2 diabetes

- (UKPDS 35): prospective observational study. *BMJ* 321 (7258): 405–12.
12. Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B et al (2005B). The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus. *Arch Phys Med Rehabil* 86 (8): 1527–33.
 13. Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, Kostner K, Dunky A, Haber P (2005A) Strength and endurance training lead to different post exercise glucose profiles in diabetic participants using a continuous subcutaneous glucose monitoring system. *Eur J Clin Invest* 35 (12): 745–51.
 14. Church TS, Blair SN, Cocreham S, et al. (2010) Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *JAMA* 304 (20): 2253–62.
 15. Kang S, Woo JH, Shin KO, et al. (2009). Circuit resistance exercise improves glycemic control and adipokines in females with type 2 diabetes mellitus. *J Sports Sci Med* 8 (4): 682–8.
 16. Bacchi E, Negri C, Zanolin ME et al. (2012). Metabolic effects of aerobic training and resistance training in type 2 diabetic subjects: a randomized controlled trial. *Diabetes Care* 35 (4): 676–82.
 17. Castaneda C, Layne JE, Munoz-Orians L, et al. (2002). A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25 (12): 2335–41.
 18. Sigal RJ, Kenny GP, Boulé NG, et al. (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: a randomized trial. *Ann Intern Med* 147 (6): 357–69.
 19. Dunstan DW, Daly RM, Owen N, et al. (2002). High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25 (10): 1729–36.
 20. Mavros Y, Kay S, Anderberg K, et al. (2013). Changes in insulin resistance and HbA1c are related to exercise-mediated changes in body composition in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care* 36 (8): 2372–9.