

Peter Vitamvas,
Matija Potočnik



Telesna aktivnost in sladkorna bolezen tipa 1

Izvleček

Sladkorna bolezen ali diabetes je danes vse pogostejša bolezen, a ljudje kljub temu ne vedo osnovnih zadev o njej niti tega, kako se spoprijemati z njo. Namen tega preglednega članka je seznaniti ljudi s sladkorno boleznijo, z njenimi posledicami in s tem, kako lahko življenje bolnika izboljšamo ter olajšamo s telesno aktivnostjo in zdravim življenjskim slogom. Prav ta dva dejavnika sta odločilna pri zdravem spopadanju s sladkorno boleznijo. S telesno aktivnostjo ohranjamo kardiovaskularne in respiratorne funkcije na zdravih ravneh. Poleg tega pa ohranjamo mišično maso in mišično zmogljivost, kar je oboje lahko velika težava diabetikov (predvsem v poznejših življenjskih obdobjih). Poleg mišične atrofije se pri sladkornih bolnikih pogosto pojavljajo srčno-žilna obolenja, ki jih prav tako lahko vsaj delno preprečimo z redno telesno aktivnostjo in dobrim nadzorom sladkorja v krvi. Sladkor v krvi je lahko težava pri fizičnih naporih, saj se med temi drastično spremeni. Slabo uravnan sladkor v krvi pa lahko vodi do zapletov in bolezni, povezanih z diabetesom.

Ključne besede: Telesna aktivnost, sladkorna bolezen, zdrav življenjski slog



Diabetes and physical activity

Abstract

Diabetes, in today's world, is becoming increasingly prevalent and far from being a rare condition. Yet, many people lack fundamental knowledge about diabetes and how to cope with it. This is the purpose of this review article: to acquaint individuals with diabetes, its consequences, and how a life with diabetes can be improved and made easier through physical activity and a healthy lifestyle. Physical activity and a healthy lifestyle play a crucial role in effectively managing diabetes. Through physical activity, cardiovascular and respiratory functions are maintained at healthy levels. Additionally, it helps preserve muscle mass and muscle performance, which can be significant challenges for diabetics, especially in later stages of life. Apart from muscle atrophy, diabetics often face issues with cardiorespiratory functions, which can also be prevented through regular physical activity and good blood sugar control. Blood sugar levels, especially, can pose problems during physical exertion, as they undergo drastic changes during activity. Poorly managed blood sugar levels can lead to various complications and diabetes-related diseases.

Ključne besede: Physical activity, diabetes, healthy lifestyle

■ Sladkorna bolezen tipa 1

Poznamo več tipov sladkorne bolezni, ki ji s tujko pravimo diabetes mellitus ali kratko diabetes. Vsem tipom je skupno, da se spremeni kinetika prehoda glukoze (GLK) iz krvi v mišične in maščobne celice, kjer se lahko skladišči kot glikogen oziroma v obliki trigliceridov. V omenjene celice GLK potuje prek prenašalca GLUT-4, ki je od inzulina odvisen in prenaša GLK le v njegovi prisotnosti (glej Sliko 1). Po zaužitju ogljikovih hidratov ti v prebavnem traktu večinoma razpadejo do GLK, ta potem prehaja v kri in koncentracija GLK v krvi (KGK) naraste. Pri zdravih povečan KGK povzroči, da celice β trebušne slinavke izločajo inzulin, ki po krvi doseže tarčne celice (skeletalne mišične celice, maščobne celice), katerih membrana ob vezavi inzulina na inzulinske receptorje postane prepustna za GLK. S tem se GLK iz krvi premakne v tarčne celice in se v njih skladišči. Pri bolnikih s sladkorno boleznijo GLK ne more prehajati v tarčne celice, bodisi zaradi neobčutljivosti inzulinskih receptorjev za inzulin pri sladkorni bolezni tipa 2 (SB2) bodisi zaradi nezmožnosti celic β trebušne slinavke, da proizvajajo inzulin pri sladkorni bolezni tipa 1 (SB1). Posledično bolnik ne more uskladiščiti GLK, zato KGK ostaja visok. Običajno se SB1 razvije že v otroštvu (otroški diabetes), SB2 pa pri starejših (diabetes starejših).

SB1 je manj pogost (10 % vseh obolelih). Je avtoimunska bolezen in njen pojav ni odvisen od življenjskega sloga. Vzroki za SB1 še vedno niso povsem jasni, medtem ko za diabetes SB2 vemo, da so močno povezani s fizično neaktivnostjo ter nezdravimi prehranskimi navadami in življenjskim slogom posameznika. Nastanek SB2 velikokrat povezujemo s prekomerno telesno težo in s premalo telesne aktivnosti.

Trebušna slinavka izloča tudi hormon glukagon. Inzulin in glukagon delujeta nasprotno in uravnavata KGK. Inzulin je odgovoren za nižanje KGK, medtem ko je glukagon, ki ga v kri izločajo celice α trebušne slinavke, odgovoren za ravno nasprotno. Kljub zdravemu delovanju celic α pa pri SB1 odpovejo celice β in s tem se poruši homeostaza sladkorja.

Normalno delovanje trebušne slinavke je odločilno za vzdrževanje normalnega KGK (euglikemije). Pri SB1 pride do popolne odpovedi trebušne slinavke in je zato tudi neozdravljiva bolezen. Ljudje s SB1 morajo

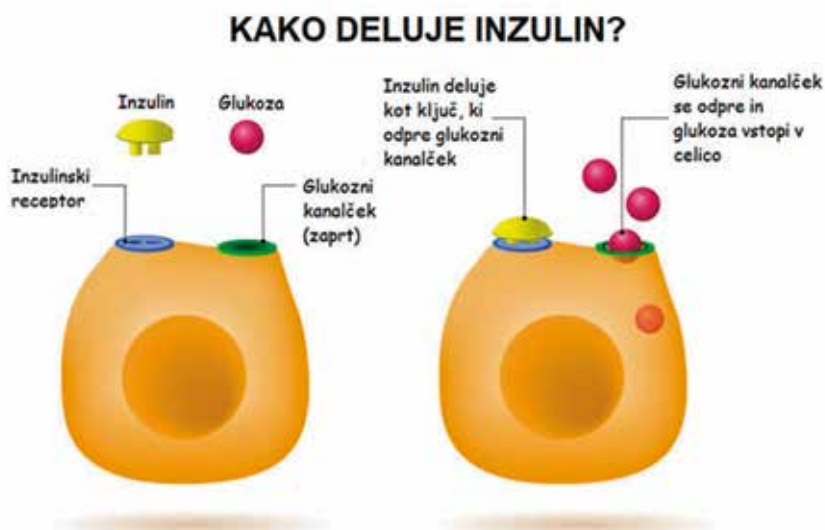
biti nenehno na inzulinski terapiji in brez nje ne morejo preživeti. Pri SB2 pa je zmanjšana občutljivost inzulinskih receptorjev za inzulin. Tudi bolniki s SB2 morajo prejemati inzulinsko terapijo, saj je pri povečani koncentraciji inzulina v krvi kljub zmanjšani občutljivosti inzulinskih receptorjev za inzulin prenos GLK v tarčne celice normalen (Karnieli in Armoni, 1990). Na potek SB2 lahko vplivamo z zdravim življenjskim slogom, to je z redno telesno aktivnostjo, zdravo prehrano, zdravimi življenjskimi navadami, z izgubo odvečne telesne teže.

Tudi bolnikom s SB1 se svetuje, da se redno ukvarjajo s športom, saj tako ohranjajo zdrav srčno-žilni sistem, mišično maso in se izognejo kroničnim težavam SB1.

Glavne težave bolnikov z nezdravljeno sladkorno boleznijo so torej stalno visok KGK in prazne glikogenske rezerve v skeletnih mišicah in srcu. Visok KGK škodljivo vpliva na vse organske sisteme, saj spreminja metabolne procese, poveča oksidativni stres, stimulira nastajanje fruktoze, spreminja aktivnost nekaterih ključnih encimov (npr. proteinskih kinaz) in se veže na številne proteine v krvi (glikirani proteini) ter tako spreminja njihovo biološko aktivnost in mehanske lastnosti, kar skupaj privede do makrožilnih in mikrožilnih sprememb, ki se kažejo kot odpoved ledvic (nefropatija), preobčutljivost živčnega sistema (nevropatija), žilne poškodbe očesne mrežnice (retinopatije) (Giri, 2018). Izpraznjene gliko-

genske rezerve onemogočajo normalno mišično aktivnost. Bolniki s sladkorno boleznijo, ki so zdravljeni s sintetičnim inzulinom, v glavnem dobro zapolnijo glikogenske rezerve, njihova težava pa je, da lahko neuravnotežen vnos inzulina v telo povzroči velika nihanja v KGK in vodi do akutnih življenjsko ogrožajočih situacij, povezanih s prenizkim (hipoglikemija) ali previsokim (hiperglikemija) KGK (Murphy, 2019).

S pojmom glikemija ali KGK se diabetiki srečujejo ves čas. Pri zdravih se KGK v obdobju med hranjenji (v postprandialni dobi) uravnava pri 5,0 mmol/ ali 90 mg/dl, čemur pravimo evglikemija (Murphy, 2019). Evglikemija se pri zdravih vzpostavi ne glede na vnos ali porabo GLK, saj se inzulin in glukagon izločata v pravih količinah. Pri SB1 pa moramo sintetični inzulin vnašati v telo od zunaj, in sicer z inzulinsko črpalko ali bolusnim vnosom. Težko je ravno ob pravem času vnesti v telo ravno prav inzulina, da bi bolniki npr. po vnosu hrane, ki dvigne raven krvnega GLK, ostali evglikemični. Za kar najboljši nadzor KGK pri SB1 je zato nujno jemati krvne vzorce večkrat na dan in glede na trenutno vrednost KGK prilagoditi vnos inzulina. Novejša metoda nadzora KGK pri bolnikih s sladkorno boleznijo poskuša kar najboljše posnemati normalno uravnavanje KGK, kar pomeni, da se stalno nadzira vrednost KGK in se posreduje inzulinski črpalki, ki prek posebnih algoritmov samodejno prilagodi vnos inzulina trenutnim



Slika 1. Delovanje inzulina na tarčno celico (skeletalna mišična celica, srčna mišična celica, maščobna celica)

Opomba. Iz »Kaj je sladkorna bolezen in kako jo zdravimo«, 2021, SEMOS (<https://www.semos.si/sladkorna-bolezen/>).



Slika 2. Senzor za neprekinjeno merjenje krvnega sladkorja

Opomba. Iz »Država nepravica do otrok s sladkorno boleznijo«, Helena Primic, 2019, Ringaraja.net (https://www.ringaraja.net/clanek/drzava-nepravica-do-otrok-s-sladkorno-bolezniyo_9008.html).

potrebam. V sodobni obravnavi bolnika s SB1 uporabljamo metodo kontinuiranega merjenja GLK v podkožju (glej Sliko 2), ki je dobro merilo KGK, kar občutno zmanjša količino odvzemov krvi pri teh bolnikih.

Tako uravnavanje sladkorja v krvi je kljub uporabi sodobne tehnologije manj natančno in počasnejše kot pri zdravih, zato pri diabetikih določimo območje normalne glikemije med 3,9 in 7,8 mmol/l (70–140 mg/dl). Če se KGK bolnika s SB1 giblje v okviru omenjenih mej (TIR – time in range), je torej to normalno območje (Murphy, 2019). Če je KGK nad mejo 10 mmol/l ali 180 mg/dl, govorimo o hiperglikemiji ali povišani ravni sladkorja v krvi – in nasprotno, vse, kar je pod 3,0 mmol/l ali 54 mg/dl, štejemo za hipoglikemijo. Tako hiper- kot hipoglikemija škodljivo vplivata na zdravje bolnikov s SB1 in sta lahko življenjsko ogrožajoči (Murphy, 2019).

Najpogostejši simptomi hipoglikemije so: tahikardija (pospešen srčni utrip), mrzel pot, bled obraz, glavobol, občutek hude lakote, drgetanje (občutek šibkosti v kolenih), živčnost ali tesnoba in težave pri koncentraciji (zmedenost). Na drugi strani štejemo med simptome hiperglikemije ekstremno žejo, pogosto uriniranje, utrujenost, slabost, omotico in brezbržnost. Je pa znano, da je hipoglikemija bolj akutno nevarna in je težava predvsem pri športu, saj mišična

aktivnost kar za 50- do 100-krat poveča od inzulina neodvisen privzem GLK v aktivno mišično celico (Norman, 2022), ki ostane povečan tudi še v obdobju okrevanja po vadbi. Mehanizem tega povečanega privzema GLK v povezavi s telesno aktivnostjo še ni popolnoma pojasnjen, najverjetneje se v membrani skeletne mišične celice poveča število od inzulina neodvisnih prenašalcev za GLK (Norman, 2022).

■ Zdravje mišično-skeletnega in srčno-žilnega sistema

Zdravje mišično-skeletnega sistema in telesna pripravljenost imata pomembno vlogo pri vadbi bolnikov s SB1. Inzulin je glavni regulator sinteze beljakovin v skeletnih mišicah, predvsem po intenzivni vadbi. Vendar pa lahko SB1 negativno vpliva na morfologijo, presnovo, delovanje in obnovo skeletnih mišic, zlasti če nadzor glikemije in zdravljenje z insulinom nista optimalna (Monaco, Gingrich in Hawke, 2019). Slab nadzor SB1 povzroči številne presnovne nepravilnosti, ki zmanjšajo sposobnost mišic za izkoriščanje inzulina, kar ustvarja začarani krog neaktivnosti in zdravstvenih težav. Vendar pa redna vadba, ki vključuje povečanje mase skeletnih mišic, izboljša mišično funkcijo in poveča občutljivost za insulin, kar je odločilno za ohranjanje

zdravja bolnikov s SB1. Kljub izzivom pri obvladovanju ravni GLK med telesno vadbo in po njej je redna vadba bistvenega pomena za izboljšanje zdravja mišično-skeletnega sistema in občutljivosti za inzulin. Z razumevanjem in pravilno vadbo se lahko ljudje s SB1 udeležujejo športnih tekmovanj na najvišji ravni in uživajo v športnih aktivnostih. Poznanih je kar nekaj profesionalnih športnikov iz vseh športov, kot so Jay Cutler (ameriški nogomet), Patrick Peterson (prav tako ameriški nogomet), Pamela Fernandes (olimpijsko zlato v plavanju), Alexander Zverev (olimpijsko zlato v tenisu) ...

Pri SB1 se sočasno s trajanjem sladkorne bolezni razvija atrofija skeletnih mišic in posledično je zmanjšana mišična moč, kar imenujemo diabetična miopatija. Tudi kostna gostota se pri teh posameznikih lahko kritično zmanjša, zlasti po 40. letu. Poleg tega se pri SB1 opažajo tudi povišane ravni kreatinske kinaze, kar kaže na mišično poškodbo med vadbo ter zmanjšano zmogljivost diferenciacije satelitskih celic (Dial idr., 2021).

Glede na aerobno vadbo imajo posamezniki s SB1 največkrat manjšo maksimalno porabo kisika (Nguyen idr., 2015) in se počasneje prilagajajo na vadbo (Lespagnol idr., 2020), kar je posledica mitohondrijske disfunkcije skeletnih mišic (Cree-Green idr., 2015). Že mladi posamezniki, stari od 17 do 30 let, s SB1 imajo oslajeno delovanje mitohondrijev. V poznejših življenjskih obdobjih pa je zmanjšana tudi gostota mitohondrijev v skeletnih mišicah (Monaco idr., 2018).

So pa raziskave pokazale, da se pri starejših zelo aktivnih posameznikih s SB1 kaže normalna oziroma včasih celo rahlo povišana mitohondrijska funkcija (Monaco idr., 2018). To dokazuje, da se lahko skeletne mišice skozi daljše obdobje delovanja v okolju SB1 nanj razmeroma dobro prilagodijo, vendar le ob redni telesni dejavnosti in dobri glikemični kontroli.

Učinkovit nadzor krvnega sladkorja in redna telesna vadba zmanjšata naštetе kronične posledice SB1. Večinoma so vsi bolniki s SB1 dobro vodeni glede nadzora KGK, manj pa je zavedanja o pomembnosti telesne vadbe pri teh bolnikih. Z rednim izvajanjem vaj za moč z utežmi ali lastno telesno težo v kombinaciji z aerobnim treningom ne le zavremo zmanjševanje mišične moči, temveč izboljšamo tudi delovanje srčno-žilnega sistema, kognitivne funkcije, kakovost spanja in izboljšamo glikemično kontrolo (Riddell in Peters, 2023).

■ Koristi in tveganja redne vadbe

Telesna dejavnost je katerakoli dejavnost, ki porabi več energije kot počitek, medtem ko se vadba nanaša na načrtno in strukturirano telesno aktivnost. Priporoča se, da najstniki in odrasli s SB1 izvajajo tako aerobno vadbo kot vadbo z utežmi. Tveganja vadbe za ljudi s SB1 vključujejo predvsem možnost nastanka hipoglikemije ali hiperglikemije, povezane z vadbo, poškodbe mišično-skeletnega sistema in redko primere srčno-žilnih težav, kot je akutna angina pectoris ali miokardni infarkt. Kljub tem tveganjem je telesna vadba posameznikov s SB1 brez pridruženih bolezni varna, vendar je smiselno pred začetkom redne vadbe posameznika povprašati o njegovih gibalnih navadah ter o tem, ali pri telesnih aktivnostih opaža kakšne simptome. V teh primerih ali če se posameznik v preteklosti ni popolnoma nič gibal, se priporoča, da pred vključitvijo v vadbene programe bolnik opravi obremenitveno testiranje.

Priporoča se tedensko izvajanje aerobne vadbe z zmerno do visoko intenzivnostjo, ki naj traja najmanj 150 minut, razporejenih na vsaj 3 dni na teden, vadba z utežmi pa naj bi se izvajala 2-do 3-krat na teden. Vadba z zmernim do velikim obsegom aerobne dejavnosti je povezana z občutno manjšim tveganjem za srčno-žilne bolezni, izboljšanim nadzorom ravnih sladkorja v krvi in manjšim tveganjem za mikrovaskularne zaplete, povezane s sladkorno boleznijo. Vadba z utežmi je učinkovitejša za starejše posameznike s SB1, saj pomaga ohranjati kostno gostoto, mišično maso, mišično moč, mišično vzdržljivost in ravnotežje, ki se zmanjšujejo že samo zaradi staranja (Momeni, Logan, Sigal in Yardley, 2021).

Kljub koristim redne vadbe številni odrasli s SB1 ne sledijo priporočenim smernicam, kar je deloma posledica strahu pred hipoglikemijo, ki se lahko pojavi med vadbo, pa tudi pomanjkanja podpore strokovnjakov (kineziologov). Tveganje za hipoglikemijo in hiperglikemijo med vadbo in po njej je odvisno od več dejavnikov, vključno z vrsto vadbe, časom dneva, trajanjem in intenzivnostjo vadbe, ravni inzulina, zaužito hrano, stresom in drugimi spremenljivkami.

Presnovni odzivi na vadbo

Presnovni odzivi na vadbo so pri SB1 odvisni predvsem od tipa, trajanja in intenzivnosti vadbe. Poleg teh dejavnikov so

pomembni še drugi, na primer stres, ki povzroči hormonsko neravnovesje v telesu (adrenalin, kortizol) in vpliva na nadzor krvnega sladkorja. Vse vrste vadbe imajo več skupnih lastnosti. Ena od glavnih ugotovitev je, da se med vadbo občutno poveča privzem GLK v delujočo mišico. To se najverjetneje zgodi zaradi premika receptorjev GLUT4 v sarkolemo mišičnih celic v odsotnosti inzulina, ki ga sproži mišična kontrakcija (Norman, 2022). Poleg tega je po končani vadbi povečana občutljivost mišičnih celic za inzulin, ki lahko traja do 48 ur (Kjebsted, 2015). To pripomore k obnovi zaloga mišičnega glikogena, a lahko hkrati privede do hipoglikemije. Z redno vadbo se aktivirajo »molekularni stroji« za privzem in oksidacijo GLK v mišicah. To vodi do dramatičnih izboljšav v mišičnem inzulinskem signaliziranju ter izboljšanja splošne občutljivosti za inzulin. Vadba pa ima tudi pozitiven vpliv na izločanje različnih signalnih molekul, imenovanih miokini, ki pomagajo izboljšati srčno-žilno, presnovno, imunsko in nevrološko zdravje (Chow, Gerszten, Taylor idr., 2022).

Vadbo v grobem razdelimo na aerobno in anaerobno. Prva temelji na porabi kisika in celičnem dihanju za pridobivanje energije, druga pa na hitreje dostopnih virih energije, kot so ATP, shranjeni v celici, kreatinski fosfat in anaerobna razgradnja glikogena. Seveda pa delitev vadbe v praksi ni tako jasna. Večino časa se energijski sistemi prekrivajo in izmenjujejo. Anaerobni energijski sistemi se vklopijo vsakič, ko se poveča intenzivnost vadbe, tudi če je obremenitev nizka, saj so aerobni procesi počasni in energije v trenutku povečane intenzivnosti ne morejo zagotoviti dovolj hitro. To pomeni, da je vsaka vrsta vadbe vsaj v začetnem delu do neke mere anaerobna.

Vadbo delimo na vzdržljivostno vadbo, vadbo za moč, visoko intenzivno intervalno vadbo ter vadbo proti upor. Vsak tip vadbe sproži drugačen presnovni odziv.

Vzdržljivostna vadba

Vzdržljivostna vadba je v osnovi aerobna vadba. Težavnost vadbe v praksi velikokrat opišemo z metaboličnim ekvivalentom (MET). En MET je opredeljen kot 1 kcal/kg/h ali kot 3,5 ml/kg/min, oboje pa opredeljuje mirno sedenje, s tem, da se prvi nanaša na porabo energije in drugi na porabo kisika. Na podlagi tega ločimo tri podvrste vzdržljivostne vadbe: nizko intenzivno (1,5–3,0 MET), zmerno (3,0–6,0 MET) in visoko intenzivno (> 6,0 MET).

Zmerna do visoko intenzivna vzdržljivostna vadba (hitra hoja, tek, kolesarjenje) se pri SB1 priporoča predvsem zaradi vzdrževanja srčno-žilnega zdravja in dokazano zmanjšuje splošno umrljivost, kot to velja tudi za zdravo populacijo. Vpliv redne vzdržljivostne vadbe na mikrožilje preprečuje nastajanje mikrožilnih zapletov (npr. v ledvicah, očesu, koži), ki so pri SB1 pogostejši kot pri zdravi populaciji. Redna vzdržljivostna vadba znižuje raven glikiranega hemoglobina (HbA1c) v krvi, kar nakazuje na dolgoročno boljšo urejenost krvnega sladkorja.

Pri vzdržljivostni vadbi mora sladkorni bolnik paziti na hidracijo, zlasti če je v hiperglikemiji, saj se zaradi osmotske diureze pri hiperglikemiji poveča izločanje vode z urinom, kar vodi do hitre dehidracije kot pri normalnem KGK. Priporočen vnos je od 0,5 do 0,8 L/h (Riddell in Peters, 2023).

V večini primerov med zmerno intenzivno vzdržljivostno vadbo KGK v krvi rahlo upade (Slika 3), razen kadar si vadeči zniža raven inzulina v krvi ali med vadbo zaužije ogljikove hidrate. Pri vadbi visoke intenzivnosti (> 8,0 MET) GLK običajno ne upade, saj se pod vplivom kateholaminov poveča izločanje GLK iz jeter, poraba pa je zaradi vse bolj anaerobnih razmer zmanjšana (Riddell idr., 2020). Treba pa je biti previden predvsem po dolgotrajnih zmernih naporih (> 45 min), saj je zaradi povečane občutljivosti za inzulin veliko tveganje za nastanek hipoglikemije med spanjem.

Eksplzivna vadba

Medtem ko so za vzdržljivostno vadbo značilna ciklična gibanja in prevladujejo aerobni procesi, je pri eksplozivni vadbi drugače – gre za maksimalne napore in čim hitrejšo izvedbo gibov, torej sprinte, poskoke in dvigovanje maksimalnih bremen, ki trajajo od 10 do 20 sekund in presegajo 10 MET. Pri tem tipu vadbe energetske potrebe krijejo anaerobni procesi. Eksplozivna gibanja so povezana z močno povišano aktivnostjo simpatičnega živčevja in s povišanim KGK (glej Sliko 3), zato je eksplozivna vadba odlična kot uvod in zaključek vzdržljivostne vadbe, saj ublaži morebitno hipoglikemijo (Riddell in Peters, 2023).

Če je po koncu eksplozivne vadbe GLK previsok, je potreben dodaten inzulin, je pa posledično večja nevarnost pozne hipoglikemije od 12 do 24 ur po vadbi, zaradi česar se priporoča pogostejše nadziranje GLK v tem obdobju.

Visoko intenzivna intervalna vadba

Visoko intenzivna intervalna vadba (VIIV) je sestavljena iz visoko intenzivnih intervalov, ki trajajo od 10 sekund pa vse do 5 minut. Med intervali je počitek v obliki vadbe lahke intenzivnosti ali mirovanja, npr. tek in veslanje, ko maksimalnemu naporu sledi okrevanje, in to se ponavlja (Gibala, 2021). Ta oblika treninga je časovno najučinkovitejša, saj v kratkem vadbenem času dosežemo velik vadbeni učinek na telo, in je za bolnike s SB1 precej ugodna, saj je povezana z razmeroma stabilnim KKG (glej Sliko 3), seveda pa lahko v različnih okoliščinah privede tako do hipoglikemije kot hiperglikemije. Pri SB1 opisujemo dve slabosti omenjene vadbe: prva je, da se po njej velikokrat pojavijo lažni simptomi hipoglikemije (znojenje, tresenje, dezorientacija in vrtoglavica), čeprav te ni (Potashner idr., 2019). Druga slabost pa je, da je povezana z nočno hipoglikemijo, zlasti če se izvaja pozno popoldne ali če se izvede korekcija inzulina takoj po vadbi ob prisotni hiperglikemiji. VIIV se ne priporoča zjutraj, pred zajtrkom, saj je v tem primeru velika verjetnost hiperglikemije, ki se v fazi okrevanja obrne v hipoglikemijo.

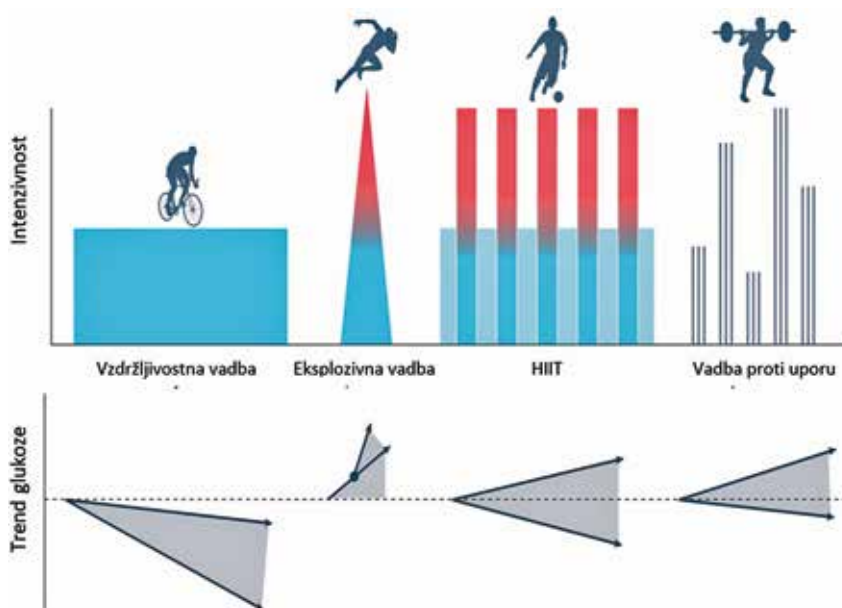
Vadba proti uporu

Vadba proti uporu vključuje tako vaje z utežmi kot vaje z lastno težo. Tipično se naša na vadbo, pri kateri je cilj hipertrofija mišic in povečanje mišične moči. Primer take vadbe je dvigovanje uteži. Pri bolnikih s SB1 je vadba proti uporu pomembna, saj učinkovito prepreči razvoj diabetične miopatrije. Svetuje se še zlasti starejši populaciji bolnikov zaradi ohranjanja mišične mase in kostne gostote (Momeni idr., 2021).

Glede na vzdržljivostno vadbo in VIIV vadba proti uporu najmanj vpliva na spremembe GLK (glej Sliko 3). Med vadbo proti uporu je GLK precej stabilen, zato je priporočljiv del redne vadbe sladkornih bolnikov, predvsem pri uporabi zmernih bremen.

Vzdržljivostna vadba in glikogen

Vzdržljivostne dejavnosti pri zmernih do visokih intenzivnostih, ki trajajo 30 minut ali več, so močno odvisne od GLK v krvi kot goriva in s tem povzročajo največjo nevarnost za hipoglikemijo pri bolnikih s SB1 (Riddell idr., 2020). Ker lahko oksidacija GLK doseže vrednost do 1,5 g/kg telesne teže na uro aktivnosti, naše telo pa v danem trenutku v krvnem obtoku in interstici-



Slika 3. Trend spreminjanja GLK v odvisnosti od intenzivnosti vadbe

Opomba. Povzeto po »Exercise in adults with type 1 diabetes mellitus«, M. C. Riddell in A. L. Peters, 2022, Nat Rev Endocrinol 19, 98–111 (<https://doi.org/10.1038/s41574-022-00756-6>).

skem prostoru zadržuje le 10 do 15 gramov GLK, je ta primanjkljaj treba nadomeščati z glikogenom iz jeter ali z uživanjem ogljikovih hidratov med vadbo. Jetrni glikogen je razvejeni polimer GLK, njegov namen pa je oskrbovati krvni obtok z GLK med postom in med vzdržljivostno vadbo, da prepreči upad GLK. Za učinkovito izločanje glikogena iz jeter se morajo ravni inzulina znižati, ravni glukagona in drugih protiregulacijskih hormonov pa zvišati (Riddell idr., 2020). To pomanjkanje glikogena med vadbo lahko povzroči hipoglikemijo in izčrpanost tudi pri zdravih posameznikih, predvsem pri vadbi na tešče. Pri SB1 je med vadbo torej velika težava trenutno previsoka koncentracija inzulina v krvi (insulin on board), saj prepreči izločanje glikogena iz jeter in hkrati niža raven krvnega sladkorja. Zato je pri bolnikih s SB1 tveganje za hipoglikemijo med vadbo povečano uro do tri ure po obroku z visoko vsebnostjo ogljikovih hidratov, ko se običajno vzame bolus (odmerek/količina) inzulina.

Dejavniki, ki vplivajo na odziv koncentracije glukoze v krvi med vadbo

Dejavnikov, ki vplivajo na glikemijo, je mnogo. Treba je vedeti, da lahko določen obrok, vadba ali pa celo katerikoli dogodek vsak dan drugače vpliva na glikemični odziv. Prav tako se odzivi posameznikov med seboj močno razlikujejo. Glikemični odziv na

vadbo na tešče ob bazalnih (osnovni pogoji) pogojih inzulina je precej konstanten. Takoj ko pojemo določen obrok, spremenimo čas vadbe ali dodamo bolus inzulina, se lahko vpliv iste vadbe na glikemijo močno spremeni.

Dejavniki, ki vplivajo na odziv glukoze med vadbo:

- vrsta, trajanje in intenzivnost vadbe
- čas vadbe v dnevu
- trenutna koncentracija inzulina v krvi
- način zdravljenja z inzulinom
- zaužita hrana v zadnjih 3 urah
- hitrost spremembe glikemije pred vadbo
- glikemija pred vadbo
- tekmovalni stres
- spol
- stanje telesne pripravljenosti
- čas in kakovost spanca

Slika 4. Dejavniki, ki vplivajo na odziv GLK med vadbo

Vzemimo za primer trening nogometa. Že iz prejšnjih odstavkov vemo, da bosta struktura in trajanje treninga močno vplivala na glikemični odziv. Če bomo razvijali kondicijo in tekli, je hipoglikemija verjetnejša. Pri intervalnem treningu in treningu z žogo lahko pričakujemo razumno stabilnost GLK v krvi, pri eksplozivnem treningu pa lahko pričakujemo hiperglikemijo. Slednjo lahko povzroči še veliko drugih dejavnikov. Tekmovalni stres močno spodbuja hiperglikemijo (Riddell in Peters, 2023), tudi stres v vsakdanjem življenju velikokrat vodi do hiperglikemije. Poleg vseh omenjenih dejavnikov seveda ne smemo pozabiti na prehrano, dovajanje inzulina in trenutne koncentracije inzulina v krvi (glej Sliko 4).

■ Strategije uravnavanja krvnega sladkorja

Danes je tehnologija za nadzorovanje glikemije že dobro razvita. Poleg klasičnih merilnikov krvnega sladkorja iz krvi iz prsta poznamo še senzorje GLK. Tega si posameznik lahko namesti na več različnih delov telesa, najpogosteje na zgornjo tretjino zadnje strani nadlahti ali na zadnjico, saj je tam senzor najmanj moteč. Senzorji po namestitvi delujejo dva tedna in ves čas merijo GLK. Zelo dobra lastnost senzorjev za merjenje GLK je, da imamo podatke za glikemijo 24 ur na dan. Poleg tega nam prikažejo tudi trend spreminjanja GLK in kako hitro se spreminja. Njihova slaba lastnost pa je, da merijo GLK v intersticijski tekočini, in ne neposredno v krvi. Torej rezultati niso povsem natančni, zato moramo upoštevati rahla odstopanja v primerjavi z meritvami krvnega sladkorja iz krvi v prstu (Moser idr., 2020).

Tudi na področju dodajanja inzulina se tehnologija in pripomočki nenehno izboljšujejo. Medtem ko smo še pred desetimi leti poznali dovajanje inzulina samo z inzulinskimi injekcijami, danes poznamo avtomatske črpalke za dovajanje inzulina, in sicer so te dveh vrst. Prve delujejo neodvisno od senzorja in z njim niso povezane, glede na glikemijo moramo sami dovajati količine potrebnega inzulina. Druga, novejša vrsta je povezana s senzorjem in glede na ravni krvnega sladkorja, izmerjene s senzorjem, sama doda potreben odmerek inzulina. Pomanjkljivost tega sistema se pojavi predvsem pred in med vadbo ter po njej. V teh primerih se GLK nenehno spreminja in črpalko je treba obvestiti o aktivnostih, ki jih želimo izvajati. Glikemijo želimo na-

mreč primerno uravnavati glede na tip, intenzivnost in čas trajanja vadbe. Večina trenutnih črpalk, povezanih s senzorjem, je naravnana na glikemijo 6,4 mmol/l (115 mg/dl). Pred vzdržljivostno vadbo pa naj bi bile vrednosti glikemije okoli 8,0 do 10,0 mmol/l (145 do 180 mg/dl), saj pričakujemo močan upad v glikemiji ali celo hipoglikemijo (Riddell in Peters, 2023). V tem primeru ni dobro, da nam črpalka samodejno zniža sladkor v krvi.

Vsi ti vplivi in smernice pa se od posameznika do posameznika močno razlikujejo. Vsak bolnik s SB1 mora dobro poznati svoje telo in telesne odzive na vadbo. Čim bolj morajo biti sposobni začutiti hipoglikemijo in imeti stalni nadzor nad svojim krvnim sladkorjem. Če med vadbo čutijo upad sladkorja v krvi, lahko to nadomeščajo z ogljikovimi hidrati. Ko pa krvni sladkor doseže vrednosti, nižje od 3,5 mmol/l (65 mg/dl), je treba vadbo prekiniti in posameznik mora zaužiti hitro delujoče ogljikove hidrate (ogljikovi hidrati z visokim glikemičnim indeksom).

■ Sklepi

Redna vadba poveča občutljivost za inzulin in kardiorespiratorno sposobnost, omogoči vzdrževanje zdrave telesne teže in potencialno izboljšan nadzor glikemije pri posameznikih s SB1. Slabo urejena glikemija pri SB1 je povezana z zmanjšano aerobno pripravljenostjo, povečano razgradnjo skeletnih mišic, zmanjšano mišično oksidativno zmogljivostjo in poslabšanjem sposobnosti mišic, da se prilagodijo in regenerirajo zaradi intenzivne vadbe. Te spremembe, povezane s slabo vodenim SB1, je mogoče izravnati z izboljšanjem presnovnega nadzora z intenzivno inzulinsko terapijo, skupaj z vzdržljivostno, eksplozivno in intervalno vadbo ter vadbo proti odporu, ki obsega 150 minut ali več aerobne telesne dejavnosti pri zmerni do visoki intenzivnosti, skupaj z vadbo za moč dvakrat do trikrat na teden. Vzdržljivostna vadba pogosto povzroči hipoglikemijo. To lahko preprečimo z višjo glikemijo pred vadbo, ustrezno nižjo koncentracijo inzulina v krvi in vmesnim uživanjem ogljikovih hidratov. Eksplozivna vadba, HIIT in vadba za moč večinoma ne spodbujajo hipoglikemije, lahko pa v nekaterih primerih spodbujajo hiperglikemijo v zgodnjem okrevanju, kar je mogoče odpraviti s korekcijo inzulina po vadbi. Na odziv KGK v povezavi s telesno vadbo vpliva več dejavnikov. To so način vadbe, vključno

z uro dneva, ko se vadba izvaja, trenutna koncentracija inzulina v krvi, vnos hranil, izpostavljenost hipoglikemiji v zadnjih 24 urah in telesna pripravljenost. Strategije nadzora KGK pri posameznikih s sladkorno boleznijo se nenehno izboljšujejo in jim omogočajo vse boljši nadzor nad glikemijo ter s tem čim bolj normalno življenje. Zaradi biološke variabilnosti pa se odzivi posameznika s SB1 na različne strategije uravnavanja KGK in na telesno vadbo lahko zelo razlikujejo. Pomemben je individualiziran pristop pri vodenju SB1, hkrati pa je izjemno pomembno, da se bolniki sami naučijo prepoznati spremembe v počutju, povezane s spremenjenim KGK. Za varno telesno vadbo pri SB1 moramo upoštevati v članku omenjena priporočila za vadbo in hkrati bolnike spodbujati k dobremu poznavanju njihovega odziva na vadbo ter na druge vplive, ki spreminjajo KGK.

■ Literatura

1. Chow, L. S., Gerszten, R. E., Taylor, J. M., Pedersen, B. K., van Praag, H., Trappe, S., Febbraio, M. A., Galis, Z. S., Gao, Y., Haus, J. M., Lanza, I. R., Lavie, C. J., Lee, C.-H., Lucia, A., Moro, C., Pandey, A., Robbins, J. M., Stanford, K. I., Thackray, A. E., Villeda, S., Watt, M. J., Xia, A., Zierath, J. R., Goodpaster, B. H., in Snyder, M. P. (2022). Exerkines in health, resilience and disease. *Nature Reviews Endocrinology*, 18, 273–289. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00641-2>
2. Cree-Green, M., Newcomer, B. R., Brown, M. S., Baumgartner, A. D., Bergman, B., Drew, B., Regensteiner, J. G., Pyle, L., Reusch, J. E., in Nadeau, K. J. (2015). *Delayed skeletal muscle mitochondrial ADP recovery in youth with type 1 diabetes relates to muscle insulin resistance*. *Diabetes*, 64(2), 383–392. <https://doi.org/10.2337/db14-0765>
3. Dial, A. G., Grace, K. G., Cynthia, M. F. M., et al. (2021). Alterations in skeletal muscle repair in young adults with type 1 diabetes mellitus. *American Journal of Physiology – Cell Physiology*, 321, C876–C883.
4. Gibala, M. J. (2021). Physiological basis of interval training for performance enhancement. *Experimental Physiology*, 106, 2324–2327.
5. Giri, B., Dey, S., Das, T., Sarkar, M., Banerjee, J., Dash, S. K. Chronic hyperglycemia mediated physiological alteration and metabolic distortion leads to organ dysfunction, infection, cancer progression and other pathophysiological consequences: An update on glucose toxicity. *Biomed Pharmacother*. 2018 Nov; 107:306–328. Epub 2018 Aug 8. PMID: 30098549. doi: 10.1016/j.biopha.2018.07.157

6. Jabbour, S., Stephens, E. A., in Hirsch, I. B. (Irl B. (2008). Type 1 diabetes in adults: principles and practice. Informa Healthcare.
7. Karnieli, E., in Armoni, M. (1990). *Regulation of glucose transporters in diabetes. Hormone Research*, 33(2–4), 99–104. <https://doi.org/10.1159/000181491>
8. Kjøbsted, R., Treebak, J. T., Fentz, J., Lantier, L., Viollet, B., Birk, J. B., Schjerling, P., Bjørnholm, M., Zierath, J. R., in Wojtaszewski, J. F. Prior AICAR stimulation increases insulin sensitivity in mouse skeletal muscle in an AMPK-dependent manner. *Diabetes*. 2015 Jun;64(6):2042–55. Epub 2014 Dec 31. PMID: 25552597. doi: 10.2337/db14-1402
9. Lespagnol, E., Dauchet, L., Pawlak-Chaouch, M., Balestra, C., Berthoin, S., Feelisch, M., Roustit, M., Boissière, J., Fontaine, P., in Heyman, E. (2020). Early endothelial dysfunction in type 1 diabetes is accompanied by an impairment of vascular smooth muscle function: A meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 203. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00203>
10. Momeni, Z., Logan, J. E., Sigal, R. J., in Yardley, J. E. (2021). Can resistance exercise be a tool for healthy aging in post-menopausal women with type 1 diabetes? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8716.
11. Monaco, C. M. F., Gingrich, M. A., in Hawke, T. J. (2019). Considering type 1 diabetes as a form of accelerated muscle aging. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 47, 98–107.
12. Monaco, C. M. F., Hughes, M. C., Ramos, S. V., et al. (2018). Altered mitochondrial bioenergetics and ultrastructure in the skeletal muscle of young adults with type 1 diabetes. *Diabetologia*, 61, 1411–1423. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4602-6>
13. Moser, O., Riddell, M. C., Eckstein, M. L., et al. (2020). Glucose management for exercise using continuous glucose monitoring (CGM) and intermittently scanned CGM (isCGM) systems in type 1 diabetes: Position statement of the European Association for the Study of Diabetes (EASD) and of the International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes (ISPAD) endorsed by JDRF and supported by the American Diabetes Association (ADA). *Diabetologia*, 63(12), 2501–2520. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05263-9>
14. Murphy, H. R. (2019). Continuous glucose monitoring targets in type 1 diabetes pregnancy: Every 5% time in range matters. *Diabetologia*, 62(7), 1123–1128. <https://doi.org/10.1007/s00125-019-4904-3>
15. Nguyen, T., Obeid, J., Walker, R. G., Krause, M. P., Hawke, T. J., McAssey, K., Vandermeulen, J., in Timmons, B. W. (2015). Fitness and physical activity in youth with type 1 diabetes mellitus in good or poor glycemic control. *Pediatric Diabetes*, 16(1), 48–57. <https://doi.org/10.1111/pedi.12117>
16. Norman, N. J., Ghali, J., Radzyukevich, T., Landero, J., Heiny, J. An Exercise-Driven, Insulin-Independent Glucose Uptake Pathway in Contracting Skeletal Muscle. *The FASEB Journal*. 2022 Vol36, Issue S1. doi: 10.1096/fasebj.2022.36.S1.R5513
17. Potashner, D., Brown, R. E., Li, A., Riddell, M. C., in Aronson, R. (2019). Paradoxical rise in hypoglycemia symptoms with development of hyperglycemia during high-intensity interval training in type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 42, 2011–2014.
18. Riddell, M. C., in Peters, A. L. (2023). Exercise in adults with type 1 diabetes mellitus. In *Nature Reviews Endocrinology* (Vol. 19, Issue 2, pp. 98–111). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00756-6>
19. Riddell, M. C., Scott, S. N., Fournier, P. A., Colberg, S. R., Gallen, I. W., Moser, O., Stettler, C., Yardley, J. E., Zaharieva, D. P., Adolfsson, P., in Bracken, R. M. (2020). The competitive athlete with type 1 diabetes. *Diabetologia*, 63(8), 1475–1490. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05183-8>
20. Nacionalni center za biotehnoške informacije. Pridobljeno s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279510/>
21. Wikipedia. (n.d.). List of sportspeople with diabetes. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_sportspeople_with_diabetes.

Matija Potočnik; študent kineziologije na Fakulteti za šport, Univerza v Ljubljani; matija.potocnik11@gmail.com