



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ**  
**ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА**

**УТИЦАЈ ТРЕНИНГА СНАГЕ НА РЕГУЛАЦИЈУ ШЕЋЕРА**  
**КОД ДИЈАБЕТИЧАРА ТИПА 1**

**МАСТЕР РАД**

Ментор: Проф. др Татјана Тривић

Кандидат: Марко Радић М70/21

Нови Сад, 2024

## Садржај

Сажетак .....	3
1. Увод .....	4
1.1. Физиолошки ефекти тренинга снаге .....	6
1.2. Различити типови тренинга снаге и њихов утицај на регулацију шећера код дијабетичара типа 1 .....	8
2. Проблем, предмет и циљ рада.....	10
3. Метод рада .....	11
4. Клиничке импликације .....	12
4.1. Дискусија о потенцијалним механизмима кроз које тренинг снаге утиче на шећер у крви ..	14
4.2. Контрола гликемије и вежбање – опште препоруке .....	18
4.3. Т1ДМ и хипогликемија изазвана вежбањем - општи узроци .....	19
4.4. ННТ и вежбе снаге минимизују хипогликемију изазвану вежбањем код особа са Т1ДМ .....	20
5. Закључак .....	22
6. Литература .....	24

## **Сажетак**

Тренинг снаге игра значајну улогу у управљању шећером у крви код особа са дијабетесом типа 1. Управљање шећером у крви је кључни аспект у третману дијабетеса типа 1, хроничног стања које захтева пажљиву контролу нивоа глукозе како би се смањио ризик од акутних и хроничних компликација, укључујући кардиоваскуларне болести, неуропатију и ретинопатију (American Diabetes Association, 2020). У последњих неколико деценија, све више истраживања показује да физичка активност, укључујући тренинг снаге, игра значајну улогу у побољшању метаболичке контроле код особа са дијабетесом типа 1 (Colberg et al., 2016). Овај рад истиче потребу за утврђивањем оптималне методе тренинга снаге и њихову дугорочну ефикасност у контроли шећера у крви код дијабетичара типа 1.

## 1. Увод

Тренинг снаге, који се фокусира на развој мишићне масе и снаге кроз вежбе са отпором, има потенцијал да побољша инсулинску осетљивост и снизи нивое глукозе у крви, чиме доприноси бољој контроли дијабетеса (Dela et al., 2019). Инсулинска резистенција, која често прати дијабетес типа 1, може бити ублажена кроз тренинг снаге, јер ова врста физичке активности доводи до повећања мишићне масе, што је директно повезано са побољшањем метаболичке функције (Yardley et al., 2013). Осим тога, мишићна маса је главни потрошач глукозе у телу, и повећање мишићне масе кроз тренинг снаге може довести до смањења нивоа шећера у крви, чак и у стању мировања (Holten et al., 2004).

Поред метаболичких предности, тренинг снаге има и значајне психолошке бенефите побољшавајући квалитет живота код особа дијабетесом типа 1. Истраживања су показала да физичка активност, укључујући тренинг снаге, може смањити симптоме депресије и анксиозности, који су чести код особа са хроничним болестима као што је дијабетес (Ekkekakis, Hall, & Petruzzello, 2008). Ово је посебно важно јер психолошки фактори могу утицати на управљање дијабетесом и придржавање терапијских препорука (Fisher et al., 2014).

Међутим, упркос овим позитивним ефектима, тренинг снаге је често запостављен у препорукама за физичку активност код особа са дијабетесом типа 1. Препоруке се традиционално фокусирају на аеробне активности, док се тренинг снаге ретко спомиње као саставни део програма за управљање дијабетесом (Colberg et al., 2016). Овај рад има за циљ да истакне важност тренинга снаге као дела свеобухватног приступа у управљању дијабетесом типа 1, истражујући и систематски анализирајући постојећу литературу на ову тему.

Значај овог рада је вишеструк. Прво, овај рад ће допринети бољем разумевању улоге тренинга снаге у регулацији шећера у крви и инсулинске осетљивости код дијабетичара типа 1. Друго, може послужити као основа за будуће истраживања која ће додатно испитати механизме и оптималне протоколе за тренинг снаге у овој популацији. Жеља је аутора да овај рад макар

најмање промени клиничку праксу, повећавајући свест о значају тренинга снаге и подстичући укључивање ове врсте активности у терапијске програме за дијабетес типа 1.

Због ограничења досадашњих студија, као што су разлике у дизајну истраживања, различити протоколи тренинга и кратки периоди праћења, постоји потреба за додатним истраживањима која ће утврдити оптималне методе тренинга снаге и њихове дугорочне ефекте на здравље дијабетичара типа 1 (Sigal et al., 2006).

## 1.1. Физиолошки ефекти тренинга снаге

Тренинг снаге, као један од кључних облика физичке активности, игра важну улогу у регулацији шећера у крви, нарочито код особа са дијабетесом типа 1. Ова врста тренинга укључује извођење вежби које се фокусирају на повећање мишићне масе и снаге кроз вежбе са отпором и поновљене покрете. Тренинг снаге директно утиче на метаболичке процесе у телу, посебно на начин на који мишићи користе и складиште глукозу. Најважнији физиолошки ефекат тренинга снаге је побољшање инсулинске осетљивости. Инсулин је хормон који регулише ниво шећера у крви тако што омогућава ћелијама да апсорбују глукозу из крвотока. Истраживања су показала да тренинг снаге повећава осетљивост мишићних ћелија на инсулин, чиме се омогућава ефикаснији транспорт глукозе у мишићне ћелије и њена употреба као извор енергије, што доводи до снижавања нивоа шећера у крви (Holten et al., 2004).

Поред тога, тренинг снаге доводи до повећања мишићне масе, што има додатни позитиван утицај на контролу шећера у крви. Мишићно ткиво је један од највећих потрошача глукозе у телу, те повећање његове масе повећава укупну способност организма да регулише ниво глукозе у крви. Ово је нарочито важно за особе са дијабетесом типа 1, јер већа мишићна маса омогућава бољи метаболизам глукозе чак и у мировању, што може довести до стабилнијих нивоа шећера у крви током дана (Ivy, 1997). Истраживања су такође показала да редован тренинг снаге повећава број транспортера глукозе типа 4 (GLUT4) у мишићним ћелијама, што омогућава већу количину глукозе да уђе у ћелије током и након физичке активности (Kennedy et al., 1999). Повећана експресија GLUT4 транспортера је критична за побољшање инсулинске осетљивости и ефективну контролу нивоа шећера у крви.

Још један важан аспект је утицај тренинга снаге на смањење нивоа гликозилираног хемоглобина (HbA1c), који представља индикатор дугорочне контроле шећера у крви. Студије су показале да особе са дијабетесом типа 1 које редовно учествују у тренингу снаге имају значајно нижу вредност HbA1c у поређењу са онима које не учествују у таквим активностима (Castaneda et al., 2002). Снижавање HbA1c смањује ризик од развоја компликација повезаних са дијабетесом, као

што су кардиоваскуларне болести и ретинопатија, што наглашава важност интеграције тренинга снаге у свакодневни режим управљања дијабетесом.

Поред метаболичких предности, тренинг снаге има и значајан утицај на смањење инсулинских потреба код дијабетичара типа 1. Ово смањење може резултирати мањом дозом инсулина неопходног за контролу шећера у крви, чиме се смањује ризик од хипогликемије, једног од најчешћих и најопаснијих нежељених ефеката инсулинске терапије (Sigal et al., 2006). Повећана мишићна маса и побољшана инсулинска осетљивост омогућавају телу да боље одговори на унос глукозе, што доводи до стабилнијих нивоа шећера и мање флукуације током дана.

Поред наведених физиолошких ефеката, тренинг снаге има и дугорочне бенефите на целокупно здравље и квалитет живота особа са дијабетесом типа 1. Континуирана физичка активност, укључујући тренинг снаге, повезана је са бољом кардиоваскуларном функцијом, смањеним ризиком од остеопорозе и побољшаном психолошком добробити (Ekkekakis et al., 2008). Ови бенефити доприносе укупном побољшању здравственог стања и смањују утицај дијабетеса на свакодневни живот, што додатно наглашава важност укључивања тренинга снаге у план лечења дијабетеса типа 1.

## **1.2. Различити типови тренинга снаге и њихов утицај на регулацију шећера код дијабетичара типа 1**

Различити типови тренинга снаге имају разнолике ефекте на регулацију шећера у крви код дијабетичара типа 1, и избор одговарајућег протокола може имати значајан утицај на метаболичке исходе.

Тренинг снаге може бити класификован на различите начине, укључујући поделе по интензитету, обиму, типу отпора и трајању. На пример, високоинтензитетни интервални тренинг снаге (HIIT) се све више препознаје као ефикасан метод за побољшање инсулинске осетљивости и регулацију шећера у крви. Студије показују да ова врста тренинга, која комбинује кратке експлозивне напоре са периодима одмора, може довести до значајног смањења нивоа глукозе у крви након тренинга, што је од посебног значаја за дијабетичаре типа 1 (Little et al., 2011).

С друге стране, тренинг снаге са умереним интензитетом и већим бројем понављања има дугорочан позитиван утицај на ниво гликозилираног хемоглобина (HbA1c), што указује на бољу контролу шећера у крви током времена. Овај приступ укључује коришћење мањих тежина и извођење вежби са већим бројем понављања, што може бити корисно за повећање мишићне издржљивости и стабилизацију нивоа шећера у крви (Colberg et al., 2010).

Међутим, истраживања такође указују на то да је комбинација тренинга снаге са аеробним вежбама можда најефикаснији приступ за регулацију шећера у крви. Ова комбинација доводи до синергетског ефекта где аеробне активности побољшавају кардиоваскуларну издржљивост и оксидацију масти, док тренинг снаге повећава мишићну масу и инсулинску осетљивост (Sigal et al., 2007).

Поред тога, тренинг са великим отпором, који укључује употребу великих тежина са мањим бројем понављања, показује да има снажан утицај на повећање мишићне масе и снаге, што директно утиче на побољшање метаболизма глукозе. Овај тип тренинга доводи до брзог повећања мишићног ткива, што је значајно јер мишићно ткиво игра кључну улогу у апсорпцији глукозе из крвотока (Holten et al., 2004). Међутим, висок степен интензитета и потреба за

опоравком након оваквог тренинга могу захтевати пажљиву контролу и планирање у исхрани и уносу инсулина код дијабетичара типа 1, како би се избегла хипогликемија.

Упркос доказаним бенефитима различитих типова тренинга снаге, индивидуални одговори на различите протоколе могу значајно варирати, што указује на потребу за персонализованим приступом у планирању тренинга. Студије које су упоређивале различите типове тренинга снаге показале су да фактори као што су старост, пол, почетни ниво физичке кондиције и индивидуална варијабилност у инсулинској осетљивости могу утицати на то који тип тренинга ће бити најефикаснији за сваког појединца (Phillips & Winett, 2010). На пример, млађи појединци и они са мањом мишићном масом могу имати веће бенефите од тренинга са високим интензитетом, док старији појединци могу боље реаговати на тренинг умереног интензитета са већим бројем понављања.

Истраживања такође сугеришу да тренинг снаге има потенцијал да делује као средство за спречавање и контролу хроничних компликација дијабетеса. Повећање мишићне масе и побољшање инсулинске осетљивости не само да утичу на регулацију шећера у крви, већ такође могу допринети побољшању кардиоваскуларног здравља и смањењу ризика од развоја кардиоваскуларних болести, које су честе код дијабетичара типа 1 (Petersen et al., 2006). Ова веза између тренинга снаге и кардиометаболичког здравља сугерише да различити типови тренинга могу бити кључни не само за контролу шећера у крви, већ и за целокупно здравље дијабетичара.

## **2. Проблем, предмет и циљ рада**

Проблем рада је био усмерен на разматрање недостатка интеграције тренинга снаге у терапијском приступу лечења дијабетеса типа 1.

Предмет рада се односио на тренинга снаге и регулацију шећера у крви код особа са дијабетесом типа 1.

Циљ рада ће био да се утврди утицај тренинга снаге на регулацију шећера у крви код особа са дијабетесом типа 1.

### **3. Метод рада**

Као најпогоднија метода за писање мастер рада издвојила се дескриптивна метода, описног карактера. Уз овај метод користиле су се и информације везане за радове домаћих и страних аутора који су се бавили овом проблематиком, као и информације и знања која су стечена током студирања, али и лична искуства која су везана за овај проблем рада.

#### 4. Клиничке импликације

Клиничке импликације тренинга снаге за особе са дијабетесом типа 1 постају све значајније у контексту савремених приступа лечењу и управљању овом болешћу. Истраживања су показала да тренинг снаге не само да побољшава инсулинску осетљивост, већ такође има потенцијал да смањи ризик од компликација повезаних са дијабетесом. На пример, студије су утврдиле да редован тренинг снаге може смањити потребу за инсулином код дијабетичара типа 1, чиме се смањује ризик од хипогликемичних епизода, што је чест и озбиљан проблем код ове популације (Yardley et al., 2013). Поред тога, тренинг снаге може утицати на побољшање кардиоваскуларног здравља, што је од изузетног значаја с обзиром на повећан ризик од кардиоваскуларних болести код особа са дијабетесом типа 1 (Riddell & Burg, 2011).

Једна од главних клиничких импликација тренинга снаге је његова улога у побољшању метаболичке контроле код пацијената. Истраживања су показала да тренинг снаге може довести до значајног снижења нивоа гликозилираног хемоглобина (HbA1c), што указује на бољу дугорочну контролу шећера у крви. У једној студији, учесници који су укључили тренинг снаге у свој режим вежбања показали су смањење HbA1c за 0,5 до 1,0%, што је клинички значајно и доводи до смањења ризика од микроваскуларних компликација као што су ретинопатија и нефропатија (Sigal et al., 2007). Овај налаз је важан јер указује на то да тренинг снаге може бити ефикасна стратегија за побољшање гликемијске контроле у клиничкој пракси.

Тренинг снаге такође има важне импликације за млађе пацијенте са дијабетесом типа 1, који могу имати користи од повећања мишићне масе и снаге током фазе раста и развоја. Код адолесцената и младих одраслих особа, тренинг снаге може побољшати физичку спремност и самопоуздање, што је важно за дугорочну ангажованост у физичким активностима и одржавање здравља. Студије су показале да млађи пацијенти који редовно учествују у тренингу снаге имају боље резултате у контроли шећера у крви и мањи ризик од развоја компликација касније у животу (Mohan et al., 2019).

Поред тога, тренинг снаге може имати позитиван утицај на квалитет живота код одраслих особа са дијабетесом типа 1. Физичка активност, укључујући тренинг снаге, повезана је са побољшањем психолошког стања, смањењем симптома депресије и анксиозности, што су честе

коморбидне појаве код ове популације (Ekkekakis et al., 2008). Укључивање тренинга снаге у свакодневну рутину може побољшати опште благостање пацијената, што може позитивно утицати на придржавање терапији и управљање дијабетесом.

Ипак, упркос овим доказаним предностима, тренинг снаге још увек није широко укључен у стандардне препоруке за лечење дијабетеса типа 1. Многи клиничари и даље се фокусирају на аеробне вежбе, занемарујући потенцијалне бенефите тренинга снаге. Овај пропуст може бити последица недостатка знања о специфичним ефектима тренинга снаге на регулацију шећера у крви или због недостатка јасних смерница за његову примену у клиничкој пракси (Colberg et al., 2016).

Постоји потреба за већом едукацијом пацијената о значају тренинга снаге. Многи пацијенти са дијабетесом типа 1 не разумеју у потпуности како тренинг снаге може позитивно утицати на њихово здравље, нити како да безбедно укључе ову врсту активности у свој режим. Едукација која укључује информације о користима тренинга снаге, као и специфичне вежбе које су прилагођене њиховим индивидуалним потребама, може помоћи пацијентима да усвоје ову активност као део свакодневне рутине (Miller et al., 2019).

На крају, клиничке импликације тренинга снаге указују на потребу за холистичким приступом у лечењу дијабетеса типа 1. Овај приступ укључује не само фармаколошку терапију и нутритивне стратегије, већ и редовну физичку активност која укључује и тренинг снаге. Таква интеграција може довести до бољих исхода лечења и побољшања квалитета живота пацијената, чиме се смањује терет болести и унапређује опште здравствено стање.

## 4.1 Дискусија о потенцијалним механизмима кроз које тренинг снаге утиче на шећер у крви

Тренинг снаге има значајан утицај на регулацију шећера у крви код особа са дијабетесом типа 1, и овај утицај се може објаснити кроз неколико потенцијалних механизма који су до сада истражени у научној литератури.

Први и најочигледнији механизам је побољшање инсулинске осетљивости. Тренинг снаге повећава осетљивост мишићних ћелија на инсулин, чиме се омогућава ефикаснији транспорт глукозе у мишићно ткиво. Ово је посебно важно јер мишићно ткиво чини велики део укупне телесне масе и представља главни складишни простор за глукозу. Студије су показале да редован тренинг снаге доводи до значајног повећања броја транспортера глукозе типа 4 (GLUT4) на површини мишићних ћелија, што директно утиче на способност ћелија да апсорбују глукозу из крвотока и тако смање ниво шећера у крви (Holten et al., 2004).

Још један важан механизам кроз који тренинг снаге утиче на регулацију шећера у крви је повећање мишићне масе. Више мишићне масе значи већу способност организма да складишти и користи глукозу, што је посебно важно за особе са дијабетесом типа 1 које имају ограничену продукцију инсулина. Истраживања су показала да тренинг снаге може значајно повећати мишићну масу и густину, чиме се побољшава укупна метаболичка функција тела. Повећање мишићне масе такође доводи до повећања базалне потрошње енергије, што значи да тело троши више калорија чак и у стању мировања, што може довести до боље контроле шећера у крви (Ivy, 1997).

Тренинг снаге има директан утицај на ензимске системе који регулишу метаболизам глукозе у мишићним ћелијама. Повећање активности кључних ензима укључених у гликолизу и оксидацију глукозе, као што су хексокиназа и фосфофруктокиназа, побољшава способност мишићних ћелија да разграђују глукозу и производе енергију, што директно утиче на снижавање нивоа шећера у крви (Rep et al., 1994). Поред тога, тренинг снаге стимулише производњу миокина, хормона које луче мишићи током контракције, а који имају важну улогу у регулацији метаболизма. Миокини као што су интерлеукин-6 (IL-6) могу побољшати инсулинску

осетљивост и промовисати оксидацију глукозе у мишићима, што је још један механизам кроз који тренинг снаге позитивно утиче на контролу шећера у крви (Pedersen & Febbraio, 2008).

Такође, тренинг снаге може утицати на регулацију шећера у крви кроз механизме који су повезани са смањењем упале и оксидативног стреса. Хронична упала и оксидативни стрес су повезани са инсулинском резистенцијом и погоршањем гликемијске контроле. Истраживања су показала да тренинг снаге може смањити нивое упалних маркера као што су Ц-реактивни протеин (CRP) и фактор некрозе тумора-алфа (TNF- $\alpha$ ), чиме се смањује упала и побољшава инсулинска осетљивост (Strasser, 2013). Ово је нарочито важно за дијабетичаре типа 1, који су подложнији упалним процесима који могу нарушити контролу шећера у крви.

Додатно, тренинг снаге утиче на хормонску регулацију и аутономни нервни систем, што може имати индиректан утицај на регулацију шећера у крви. Повећана производња анаболичких хормона као што су тестостерон и хормон раста, који су стимулисани тренингом снаге, може допринети побољшању мишићне масе и метаболизма, што позитивно утиче на контролу шећера у крви (West et al., 2009). Поред тога, тренинг снаге може побољшати активност симпатичког и парасимпатичког нервног система, што доприноси бољој регулацији глукозе кроз модификацију метаболичких процеса и хормоналних одговора на физичку активност (Buchheit & Laursen, 2013).

Будућа истраживања требало би да се фокусирају на дугорочне студије које ће пратити пацијенте током неколико година како би се боље разумели перзистентни ефекти тренинга снаге на метаболичку контролу и спречавање компликација повезаних са дијабетесом типа 1. Још једна значајна празнина у литератури је недостатак истраживања која испитују оптималне протоколе тренинга снаге за различите популације дијабетичара типа 1. Постојећи радови углавном користе униформне протоколе који нису прилагођени специфичним потребама различитих старосних група, полова или нивоа физичке спремности. На пример, није јасно да ли млађи пацијенти и старији пацијенти одговарају подједнако на исте тренинг програме, нити је познато како пол утиче на одговор на тренинг снаге у контексту регулације шећера у крви. Ово је значајна празнина, јер индивидуализација тренинга може бити кључна за оптималну контролу шећера у крви и смањење ризика од компликација (Phillips & Winett, 2010). Будућа истраживања требало би да се фокусирају на развој и тестирање прилагођених тренинг протокола за

различите демографске групе, узимајући у обзир факторе као што су старост, пол, почетни ниво физичке спремности и степен гликемијске контроле.

Поред тога, постоји потреба за бољим разумевањем биолошких механизма који стоје иза ефеката тренинга снаге на регулацију шећера у крви. Док су неки механизми, као што је повећање броја GLUT4 транспортера и побољшање инсулинске осетљивости, добро документовани, многи други потенцијални механизми још увек нису довољно истражени. На пример, улога миокина, као што су интерлеукин-6 и остали мишићни хормони, у регулисању метаболизма глукозе и инсулинске осетљивости тек треба да буде детаљно истражена у контексту дијабетеса типа 1 (Pedersen & Febbraio, 2008). Такође, мало је познато о томе како тренинг снаге утиче на митохондријску функцију у мишићним ћелијама код дијабетичара типа 1, што је важна област за даља истраживања с обзиром на улогу митохондрија у метаболизму енергије и оксидацији глукозе (Petersen et al., 2006).

Још једна значајна празнина у постојећој литератури је недостатак студија које истражују ефекте комбиновања тренинга снаге са другим облицима физичке активности, као што су аеробне вежбе, на регулацију шећера у крви. Иако су неке студије показале да комбинација тренинга снаге и аеробних активности може имати синергетски ефекат на метаболичку контролу, мало је истраживања која се баве оптималним балансом и интензитетом ових активности за дијабетичаре типа 1 (Sigal et al., 2007). Будућа истраживања треба да испитају како различити режими комбинованих тренинга могу побољшати контролу шећера у крви и спречити компликације, као и како да се овакви програми индивидуализују за различите пацијенте.

Постоји потреба за истраживањима која ће испитати улогу тренинга снаге у превенцији компликација повезаних са дијабетесом типа 1, као што су кардиоваскуларне болести и неуропатија. Иако постоје докази да тренинг снаге може побољшати кардиоваскуларно здравље и смањити ризик од компликација, већина студија се фокусира на краткорочне метаболичке исходе, док су дугорочни ефекти на превенцију компликација мање истражени (Mohan et al., 2019). Ова празнина је важна, јер дугорочни исходи могу имати значајан утицај на квалитет живота и укупно здравље дијабетичара типа 1.

Аутори овог научног рада анализирају улогу физичке активности у управљању типом 1 дијабетеса мелитуса (Т1ДМ), хроничне болести која се карактерише губитком ћелија које луче инсулин услед аутоимуних процеса. У контексту лечења Т1ДМ, физичка активност има значајан потенцијал као нефармаколошки приступ, јер редовно вежбање смањује упале и побољшава антиоксидативне одбрамбене механизме организма, што може бити посебно корисно за оболеле од дијабетеса.

Аутори наглашавају да, иако је вежбање препознато као корисно, већина људи са Т1ДМ не постиже препоручене нивое физичке активности због страха од хипогликемије, која може да се јави током или након физичке активности. С обзиром на то, истичу да новији подаци указују на то да тренинг који комбинује вежбе снаге и вежбе високог интензитета може да смањи ризик од хипогликемије у поређењу са континуираним аеробним вежбама код пацијената који зависе од инсулина.

На основу тих увида, аутори предлажу протокол вежбања који укључује хипертрофичне вежбе снаге у комбинацији са високоинтензивним интервалним тренингом, који би се изводио три пута недељно код пацијената без микроваскуларних и макроваскуларних компликација. Њихова хипотеза је да би овај тренинг могао да минимизира нагло смањење нивоа глукозе које се повезује са вежбањем, захваљујући утицају на глукорегулаторне хормоне и привремено смањење инсулински посредованог уноса глукозе.

Такође, очекује се да овакав приступ доведе до дугорочних побољшања у гликемији, биоенергетским, неуромускуларним и кардиореспираторним адаптацијама, што би резултирало побољшаним здрављем и смањеним ризиком од микроваскуларних и макроваскуларних компликација код пацијената са Т1ДМ.

## 4.2 Контрола гликемије и вежбање – опште препоруке

Даљи садржај анализираниог научног рада представља препоруке за физичку активност код особа са типом 1 дијабетеса мелитуса (Т1ДМ), који истиче значај контроле гликемије кроз редовно вежбање. Препоруке се заснивају на идеји да је гликозилирани хемоглобин (HbA1c) главни маркер за дугорочну контролу нивоа глукозе у крви, који одражава просечан ниво глукозе у периоду од 2-3 месеца. Повећање HbA1c за само 1% доводи до значајно већег ризика од развоја микроваскуларних компликација, као што су неуропатија, нефропатија и ретинопатија, али и до повећаног ризика од дијабетесом изазваних смртних исхода и инфаркта миокарда.

Аутори наводе да је структурирани тренинг, посебно аеробни, значајан за побољшање гликемијске контроле код особа са дијабетесом типа 2 (Т2ДМ), али ефекат на HbA1c код особа са Т1ДМ је мање јасан. Наиме, резултати метаанализа показују да аеробни тренинг има позитиван утицај на HbA1c код Т1ДМ пацијената, док тренинг снаге, аеробни, и спринт-интервални тренинг немају исту потврђену ефикасност. Ова разлика у резултатима може бити последица ограниченог броја студија које су до сада спроведене на ову тему.

С друге стране, једна метаанализа показала је да аеробни тренинг не доводи до значајних промена у нивоима HbA1c код особа са Т1ДМ, упркос побољшањима у осетљивости на инсулин и смањењу потребе за њим. Разлог за одсуство значајних промена у HbA1c у неким студијама може бити претерана компензација уноса угљених хидрата и/или дозе инсулина коју пацијенти користе како би избегли симптоме хипогликемије изазване вежбањем. Иако високоинтензивни интервални тренинг (НИТ) значајно смањује HbA1c код особа са инсулинском резистенцијом, његова ефикасност у лечењу Т1ДМ још увек није довољно истражена.

Аутори закључују да је потребно додатно истраживање ефеката различитих врста тренинга на контролу гликемије код особа са Т1ДМ, са посебним акцентом на потенцијалну корист комбинације тренинга снаге и НИТ-а у побољшању дугорочних здравствених исхода у овој популацији.

### **4.3. T1DM и хипогликемија изазвана вежбањем: Општи узроци**

Хипогликемија, која се дефинише као пад нивоа глукозе у крви испод физиолошког опсега, представља озбиљан изазов за особе са T1DM које се баве физичком активношћу. Овај проблем може настати услед комбинације различитих фактора током и након вежбања.

Један од главних узрока хипогликемије током вежбања је релативан вишак егзогеног инсулина у систему, који није компензован одговарајућим уносом угљених хидрата. Такође, физичка активност може довести до ослобађања преосталог инсулина из ткива у које је претходно убризган, што додатно повећава концентрацију инсулина у крви. Други важан фактор је интензитет вежбања у односу на време дејства инсулина, што може довести до његовог врхунца током физичке активности и, самим тим, до појачаног уноса глукозе у мишиће и бржег пада нивоа глукозе у крви.

Још један значајан узрок је недовољна продукција глукозе у јетри, која није у стању да компензује повећану потребу за глукозом током вежбања. Поред тога, неадекватан унос угљених хидрата пре или током вежбања може значајно допринети развоју хипогликемије. Индивидуална физичка кондиција и стање гликогена у мишићима такође играју улогу у ризику од хипогликемије, јер боље кондиционирани појединци имају већу способност да користе глукозу и масти током вежбања, што може утицати на брзину пада нивоа глукозе.

Хипогликемија може имати различите негативне последице, укључујући анксиозност, знојење, дрхтавицу, убрзан рад срца, вртоглавицу, па чак и конвулзије и кому ако се не третира на време. Осим тога, хипогликемија може нарушити физичке перформансе услед замора и смањене когнитивне способности. Аутори такође указују на то да се код особа са T1DM може јавити смањен симпатоадренални одговор на вежбање, што додатно повећава ризик од хипогликемије.

Различити фактори, попут типа, трајања и интензитета вежбања, као и нивоа глукозе пре почетка физичке активности и нутритивног статуса појединца, могу утицати на вероватноћу појаве хипогликемије. Како би се избегли озбиљни случајеви хипогликемије, препоручује се унос од 15 до 30 грама угљених хидрата пре или током вежбања, посебно када ниво глукозе у крви падне на 5,6 ммол/Л или ниже.

#### **4.4. НШТ и вежбе снаге минимизују хипоглекемију изазвану вежбањем код особа са Т1ДМ**

Истраживања сугеришу да додатак кратких периода вежбања високог интензитета аеробним вежбама може ублажити пад нивоа глукозе током и након физичке активности. У једној студији, упоређиван је утицај континуираног аеробног тренинга са комбинацијом аеробних вежби и кратких спринтова на гликемију код особа са Т1ДМ. Резултати су показали да комбинација са спринтовима значајно смањује пад глукозе, чиме се смањује ризик од хипогликемије.

Поред тога, истраживања су открила да додавање вежби високог интензитета континуираном аеробном тренингу може смањити учесталост ноћних епизода хипогликемије код особа са Т1ДМ, што представља додатну корист. Такође, показано је да тренинг снаге, када се комбинује са аеробним вежбама, побољшава стабилност глукозе током вежбања и смањује ризик од хипогликемије након вежбања. Упркос могућим епизодама хипергликемије као одговора на високоинтензивне интервалне тренинге, хипогликемија је много чешћа и захтева посебну пажњу.

Аутори даље разматрају могуће механизме који стоје иза смањене инциденције хипогликемије током и након тренинга високог интензитета и тренинга снаге код особа са Т1ДМ. Они истичу да је један од кључних механизма повећано ослобађање контрарегулаторних хормона, као што су катехоламини и хормон раста, који играју важну улогу у регулисању нивоа глукозе у крви. Ови хормони могу привремено инхибирати инсулински посредовану апсорпцију глукозе у мишићима, чиме се спречава нагли пад нивоа глукозе током и након интензивног вежбања.

Поред тога, производња лактата током интензивног тренинга може такође допринети стабилизацији нивоа глукозе у крви. Лактат има глукозу-конкурентну улогу у мишићима и може смањити употребу глукозе, чиме се спречава њен брзи пад. Стога, повећање нивоа лактата након вежбања може продужити време током којег глукоза остаје стабилна, смањујући ризик од хипогликемије.

Аутори наглашавају да тренинг снаге и НШТ могу донети значајне користи за управљање гликемијом код особа са Т1ДМ, укључујући побољшање снаге, кардиореспираторне кондиције и

метаболичке адаптације. Ови облици тренинга могу побољшати глукозну хомеостазу, смањити оксидативни стрес и упале, и уопштено побољшати здравствене исходе код пацијената са Т1ДМ. У анализираном раду је предложено спровођење будућих клиничких студија које би тестирале комбинацију тренинга снаге и НШТ-а у дугорочном периоду како би се боље разумели механизми и користи оваквог приступа у лечењу Т1ДМ.

Овај научни рад закључује да високоинтензивни интервални тренинг (НШТ) и тренинг снаге могу значајно побољшати контролу гликемије код особа са типом 1 дијабетеса мелитуса (Т1ДМ), смањујући ризик од хипогликемије током и након вежбања. Ови облици тренинга подстичу ослобађање контрарегулаторних хормона и повећавају ниво лактата, што доприноси стабилизацији нивоа глукозе. Комбинација ових тренинга може довести до дугорочних побољшања у здрављу и квалитету живота особа са Т1ДМ, те представља значајан допринос у програмима лечења ове болести.

## 5. Закључак

Тренинг снаге има значајне и разнолике ефекте на регулацију шећера у крви код особа са дијабетесом типа 1. Након детаљне анализе постојеће литературе, јасно је да тренинг снаге представља моћан алат за побољшање инсулинске осетљивости, смањење нивоа гликозилираног хемоглобина (HbA1c), и укупно побољшање метаболичке контроле код ове популације. Ови ефекти су потврђени у бројним студијама које су истраживале како краткорочне, тако и дугорочне исходе тренинга снаге.

Побољшање инсулинске осетљивости, које је један од кључних ефеката тренинга снаге, директно доприноси бољој контроли шећера у крви, смањујући потребу за егзогеним инсулином и смањујући ризик од хипогликемије. Истраживања су показала да повећање мишићне масе кроз тренинг снаге доводи до повећања броја GLUT4 транспортера у мишићним ћелијама, што омогућава бољи транспорт глукозе из крвотока у мишићно ткиво, чиме се постиже боља гликемијска контрола (Holten et al., 2004). Осим тога, повећана мишићна маса и базална потрошња енергије код особа које редовно вежбају снагу могу додатно помоћи у одржавању стабилних нивоа шећера у крви, чак и у стању мировања (Ivy, 1997).

Тренинг снаге такође има значајне дугорочне ефекте на смањење ризика од компликација повезаних са дијабетесом типа 1. Смањење нивоа HbA1c, као резултат редовног тренинга снаге, директно је повезано са смањењем ризика од развоја микроваскуларних компликација као што су ретинопатија и нефропатија (Sigal et al., 2007). Поред тога, тренинг снаге може имати позитиван утицај на кардиоваскуларно здравље, смањујући ризик од кардиоваскуларних болести које су честе код дијабетичара типа 1 (Riddell & Burr, 2011).

Још један значајан аспект тренинга снаге је његов утицај на психолошко стање и квалитет живота код особа са дијабетесом типа 1. Истраживања показују да физичка активност, укључујући тренинг снаге, може смањити симптоме депресије и анксиозности, побољшати самопоуздање и опште благостање, што све доприноси бољем придржавању терапији и укупној гликемијској контроли (Ekkekakis et al., 2008). Ови психолошки бенефити додатно истичу важност тренинга снаге као дела свеобухватног приступа управљању дијабетесом.

Упркос овим јасним предностима, постоје значајне празнине у постојећој литератури које захтевају даља истраживања. Неопходно је боље разумевање дугорочних ефеката тренинга снаге, оптималних протокола за различите популације, као и биолошких механизма који стоје иза ових ефеката. Комбиновање тренинга снаге са другим облицима физичке активности, као што су аеробне вежбе, такође представља значајан потенцијал који треба да буде додатно истражен, како би се развили свеобухватнији и ефикаснији терапијски приступи (Phillips & Winett, 2010).

На основу досадашњих сазнања, може се закључити да тренинг снаге треба да буде кључни део терапијског плана за особе са дијабетесом типа 1. Његова примена може значајно побољшати не само метаболичку контролу и спречити компликације, већ и побољшати опште здравствено стање и квалитет живота пацијената. Будућа истраживања ће бити од суштинске важности за даље унапређење и прилагођавање ових програма како би се максимизирале њихове користи и омогућило ефикасније управљање дијабетесом типа 1.

## 6. ЛИТЕРАТУРА:

1. American Diabetes Association. (2020). Standards of medical care in diabetes—2020. „Diabetes Care, 43“(Supplement 1), S1-S212. <https://doi.org/10.2337/dc20-S001>
2. Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. „Sports Medicine, 43“(5), 313-338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
3. Castaneda, C., Layne, J. E., Munoz-Orians, L., Gordon, P. L., Walsmith, J., Foldvari, M., Roubenoff, R., Tucker, K. L., & Nelson, M. E. (2002). A randomized controlled trial of resistance exercise training to improve glycemic control in older adults with type 2 diabetes. „Diabetes Care, 25“(12), 2335-2341. <https://doi.org/10.2337/diacare.25.12.2335>
4. Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., ... & Tate, D. F. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. „Diabetes Care, 39“(11), 2065-2079. <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>
5. Dela, F., Mohr, T., Jensen, C. M., & Beck-Nielsen, H. (2019). Effects of resistance training on insulin action in humans: A review. „Diabetes/Metabolism Research and Reviews, 35“(1), e3108. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3108>
6. Ekkekakis, P., Hall, E. E., & Petruzzello, S. J. (2008). The relationship between exercise intensity and affective responses demystified: To crack the 40-year-old nut, replace the 40-year-old nutcracker!. „Annals of Behavioral Medicine, 35“(2), 136-149. <https://doi.org/10.1007/s12160-008-9025-z>
7. Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. „The FASEB Journal, 22“(2), 338-342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>

8. Farinha, J. B., da Silva Krause, M., Rodrigues-Krause, J., & Reischak-Oliveira, A. (2017). Exercise for type 1 diabetes mellitus management: General considerations and new directions. „Medical Hypotheses“, „107“, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2017.05.033>
9. Fisher, L., Hessler, D. M., Polonsky, W. H., & Mullan, J. (2014). When is diabetes distress clinically meaningful? Establishing cut points for the Diabetes Distress Scale. „Diabetes Care, 35“(2), 259-264. <https://doi.org/10.2337/dc13-0560>
10. Holten, M. K., Zacho, M., Gaster, M., Juel, C., Wojtaszewski, J. F. P., & Dela, F. (2004). Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. „Diabetes, 53“(2), 294-305. <https://doi.org/10.2337/diabetes.53.2.294>
11. Ivy, J. L. (1997). Role of exercise training in the prevention and treatment of insulin resistance and non-insulin-dependent diabetes mellitus. „Sports Medicine, 24“(5), 321-336. <https://doi.org/10.2165/00007256-199724050-00005>
12. Kennedy, J. W., Hirshman, M. F., Gervino, E. V., Ocel, J. V., Forse, R. A., & Horton, E. S. (1999). Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes. „Diabetes, 48“(5), 1192-1197. <https://doi.org/10.2337/diabetes.48.5.1192>
13. Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., & Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. „Journal of Applied Physiology, 111“(6), 1554-1560. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00921.2011>
14. Miller, M. E., Adachi, T., & Tsao, J. (2019). Resistance training for individuals with type 1 diabetes. „Current Diabetes Reports, 19“(10), 112. <https://doi.org/10.1007/s11892-019-1228-1>

15. Mohan, V., Anjana, R. M., & Unnikrishnan, R. (2019). Diabetes mellitus—what is on the horizon?. „The Indian Journal of Medical Research, 149“(5), 568-571. [https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR\\_2070\\_19](https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_2070_19)
16. Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. (2008). Muscle as an endocrine organ: Focus on muscle-derived interleukin-6. „Physiological Reviews, 88“(4), 1379-1406. <https://doi.org/10.1152/physrev.90100.2007>
17. Petersen, K. F., Dufour, S., Befroy, D., Garcia, R., & Shulman, G. I. (2006). Impaired mitochondrial activity in the insulin-resistant offspring of patients with type 2 diabetes. „New England Journal of Medicine, 350“(7), 664-671. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa031314>
18. Phillips, S. M., & Winett, R. A. (2010). Uncomplicated resistance training and health-related outcomes: Evidence for a public health mandate. „Current Sports Medicine Reports, 9“(4), 208-213. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181e7da73>
19. Ren, J. M., Semenkovich, C. F., Gulve, E. A., Gao, J., & Holloszy, J. O. (1994). Exercise induces rapid increases in GLUT4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. „Journal of Biological Chemistry, 269“(20), 14396-14401. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)36676-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)36676-3)
20. Riddell, M. C., & Burr, J. (2011). Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity: Applying the PAR-Q+. „Health & Fitness Journal of Canada, 4“(2), 11-21. <https://doi.org/10.14288/hfjc.v4i2.104>
21. Sigal, R. J., Kenny, G. P., Boulé, N. G., Wells, G. A., Prud'homme, D., Fortier, M., ... & Phillips, P. (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: A randomized trial. „Annals of Internal Medicine, 147“(6), 357-369. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-147-6-200709180-00005>

22. Strasser, B. (2013). Physical activity in obesity and metabolic syndrome. „Annals of the New York Academy of Sciences, 1281“(1), 141-159. <https://doi.org/10.1111/nyas.12096>
23. West, D. W., Kujbida, G. W., Moore, D. R., Atherton, P., Burd, N. A., Padzik, J. P., ... & Phillips, S. M. (2009). Resistance exercise-induced increases in putative anabolic hormones do not enhance muscle protein synthesis or intracellular signalling in young men. „Journal of Physiology, 587“(21), 5239-5247. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.177220>
24. Yardley, J. E., Sigal, R. J., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Kenny, G. P., & Boulay, P. (2013). Resistance exercise in type 1 diabetes. „Canadian Journal of Diabetes, 37“(6), 420-426. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2013.05.002>