

UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

ULOGA FIZIČKE AKTIVNOSTI U PREVENCIJI DIJABETESA TIP 2
KOD ADOLSECENTA

(master rad)

Student: Uroš Konstantinović

Mentor: Doc. dr Darinka Korovljev

Novi Sad, 2025.

SADRŽAJ

1. UVOD	3
1.1 Fiziološke osnove dijabetesa melitusa tipa 2	4
1.2 Vrste i karakteristike fizičke aktivnosti kod osoba sa dijabetesom melitusa tipa 2.....	5
1.3 Uticaj fizičke aktivnosti na prevenciju i lečenje dijabetesa melitusa	6
1.4. Definisane periode adolescencije.....	8
2. PROBLEM, PREDMET I CILJ RADA	9
2.1. Problem rada	9
2.2. Predmet rada.....	9
2.3 Cilj rada.....	9
3. METOD RADA	10
4. ZNAČAJ ZA TEORIJU I PRAKSU	12
5. REZULTATI	14
6. DISKUSIJA	17
7. ZAKLJUČAK	20
8. LITERATURA	21

1. UVOD

Dijabetes melitus (DM) verovatno predstavlja jednu od najstarijih bolesti poznatih čovečanstvu. Prvi put je opisan u egipatskom rukopisu pre oko 3000 godina (Ahmed, 2002). Godine 1936. jasno je diferencirana razlika između tipa 1 i tipa 2 dijabetesa, dok je tip 2 DM prvi put prepoznat kao komponenta metaboličkog sindroma 1988. godine. Dijabetes melitus tip 2 (DM2), ranije poznat kao insulin-nezavisni DM, najčešći je oblik bolesti, koji karakterišu hronična hiperglikemija, insulinska rezistencija i relativni nedostatak insulina. Osobe koje žive sa ovim oblikom dijabetesa izložene su povećanom riziku od brojnih akutnih i hroničnih komplikacija, koje često dovode do prevremene smrtnosti.

Procene pokazuju da je 2011. godine oko 366 miliona ljudi u svetu imalo dijabetes, dok se očekuje da će taj broj porasti na 552 miliona do 2030. godine. Posebno zabrinjava ubrzan rast broja obolelih u zemljama u razvoju. Samo u 2011. DM je bio odgovoran za oko 4,6 miliona smrtnih slučajeva. Predviđa se da će do 2030. godine oko 439 miliona osoba živeti sa dijabetesom tipa 2.

Sedentarni način života predstavlja jedan od ključnih promenljivih faktora rizika za nastanak dijabetesa tipa 2 i istovremeno je nezavisan prediktor lošeg kvaliteta života. Cilj lečenja dijabetesa jeste prevencija komplikacija i unapređenje kvaliteta života (E.S. et al., 2007). Na osnovu brojnih dokaza, fizička aktivnost se pokazala kao efikasna terapijska intervencija u lečenju dijabetesa (Sudeck and Höner, 2011). Redovno vežbanje pozitivno utiče na osobe sa dijabetesom, jer povoljno menja telesni sastav, poboljšava glikemijsku kontrolu (Umpierre et al., 2013), snižava krvni pritisak (Conn et al., 2007) i smanjuje insulinsku rezistenciju (Dunstan et al., 2012). Osim toga, pokazano je da viši nivoi fizičke aktivnosti značajno doprinose boljem kvalitetu života kod osoba sa dijabetesom tipa 2 (Green, Fox and Grandy, 2011).

Posebnu zabrinutost izaziva porast učestalosti DM2 među adolescentima. Ova bolest, koja je ranije bila gotovo isključivo vezana za odraslu populaciju, sve češće se javlja kod mladih, naročito u zemljama sa izraženom stopom gojaznosti i smanjenom fizičkom aktivnošću. Kod adolescenata, razvoj dijabetesa tipa 2 često je povezan sa genetskom predispozicijom, nepravilnim prehrambenim navikama i dugotrajnim sedentarnim ponašanjem. Rana pojava bolesti nosi veći rizik od komplikacija u odraslom dobu, uključujući kardiovaskularne i renalne

poremećaje. Stoga je promocija fizičke aktivnosti, pravilne ishrane i smanjenja vremena provedenog u sedentarnim aktivnostima od ključnog značaja za prevenciju dijabetesa kod mladih.

1.1 Fiziološke osnove dijabetesa melitusa tipa 2

Dijabetes melitus tipa 2 predstavlja hronični metabolički poremećaj karakterisan insulinskom rezistencijom, disfunkcijom β -ćelija pankreasa i hroničnom hiperglikemijom. Kod adolescenata, ovaj oblik bolesti ima složeniju patofiziologiju jer se javlja u periodu intenzivnog rasta, hormonskih promena i povećanih metaboličkih zahteva. Ključni patofiziološki mehanizam u razvoju DM2 jeste insulinska rezistencija, koja označava smanjenu sposobnost perifernih tkiva – prvenstveno skeletnih mišića, jetre i masnog tkiva – da adekvatno odgovore na dejstvo insulina (DeFronzo, 2009). Kao rezultat toga, dolazi do smanjene potrošnje glukoze u mišićima, pojačanog otpuštanja glukoze iz jetre i kompenzatornog povećanja sekrecije insulina, što dugoročno dovodi do iscrpljivanja β -ćelija pankreasa (Weiss & Caprio, 2012).

Skeletni mišići imaju centralnu ulogu u održavanju glikemijske homeostaze jer predstavljaju glavni potrošač glukoze posredstvom GLUT-4 transportera. Fizička neaktivnost i povećano masno tkivo smanjuju ekspresiju i aktivnost GLUT-4 transportera, čime se dodatno narušava transport glukoze u ćeliju (Hawley & Lessard, 2008). U adolescentnom periodu, fiziološke promene, kao što su povećane koncentracije hormona rasta, insulinu antagonističkih hormona (kortizola, adrenalina) i polnih steroida, dodatno smanjuju osetljivost na insulin (Amiel et al., 1986). Ovaj prolazni fiziološki fenomen, poznat kao „pubertetska insulinska rezistencija“, kod predisponiranih mladih osoba može predstavljati okidač za razvoj trajnog metaboličkog poremećaja.

Pored smanjene perifere osetljivosti, kod adolescenata sa DM2 prisutna je i disfunkcija β -ćelija, koja se ogleda u smanjenom odgovoru na glikemijske stimuluse i ubrzanom gubitku sekretorne funkcije. Hronična hiperglikemija, poznata kao „glukotoksičnost“, dodatno oštećuje β -ćelije i smanjuje ekspresiju gena odgovornih za sintezu insulina (Prentki & Nolan, 2006). Istovremeno, lipotoksičnost – posledica hronično povišenih slobodnih masnih kiselina –

doprinosi oksidativnom stresu i inflamatornim procesima, koji pojačavaju oštećenje pankreasa i perifernih tkiva (Petersen & Shulman, 2018).

Kod adolescenata, ovi patofiziološki procesi imaju dalekosežne posledice. Rano narušavanje glukoregulacije može voditi razvoju mikro- i makrovaskularnih komplikacija već u trećoj deceniji života (TODAY Study Group, 2013). Osim metaboličkih efekata, insulinska rezistencija utiče i na sintezu proteina, funkciju endotela i inflamatorni status organizma, čime povećava rizik od kardiovaskularnih oboljenja. Stoga, razumevanje fizioloških osnova dijabetesa tipa 2 kod adolescenata ključno je za razvoj strategija prevencije i terapijskih intervencija koje uključuju fizičku aktivnost kao osnovni regulator metaboličke ravnoteže.

1.2 Vrste i karakteristike fizičke aktivnosti kod osoba sa dijabetesom melitusa tipa 2

Pre nego što se prikažu benefiti vežbanja kod osoba sa DM2 važno je definisati osnovne tipove fizičke aktivnosti kako bi se jasnije razumeo njihov mehanizam delovanja i terapijski značaj.

Aerobna fizička aktivnost obuhvata kontinuirano kretanje velikih mišićnih grupa, pri čemu se energija pretežno dobija oksidativnim putem (U.S. Department of Health and Human Services, 2018). Aktivnosti kao što su hodanje, vožnja bicikla, plivanje i trčanje predstavljaju najčešće oblike aerobnog vežbanja. Aerobni trening povećava gustinu mitohondrija, osetljivost na insulin, oksidativna svojstva enzima, kao i funkciju pluća i kardiovaskularnog sistema (Garber et al., 2011). Umeren do visok obim aerobne aktivnosti značajno je povezan sa nižim kardiovaskularnim i ukupnim mortalitetom kod osoba sa dijabetesom tipa 1 i tipa 2 (Sluik et al., 2012). Kod dijabetesa tipa 1 aerobni trening povećava kardiorespiratorni fitnes, smanjuje insulinsku rezistenciju i poboljšava lipidni profil (Chimen et al., 2012), dok kod DM2 doprinosi sniženju HbA1c vrednosti, triglicerida, krvnog pritiska i insulinske rezistencije (Snowling & Hopkins, 2006).

Trening snage uključuje izvođenje vežbi pomoću slobodnih tegova, trenažera, sopstvene telesne mase ili elastičnih traka. Ova vrsta vežbanja doprinosi povećanju mišićne mase, poboljšanju telesnog sastava, funkcionalnosti, mineralne gustine kostiju i psihološkog blagostanja (Garber et al., 2011). Redovan trening snage povećava osetljivost na insulin,

poboljšava glikemijsku kontrolu i krvni pritisak, te smanjuje masnu masu, posebno kod osoba sa DM2 (Gordon et al., 2009). Efekti na glikemijsku kontrolu kod DM tipa 1 još uvek nisu u potpunosti razjašnjeni (Tonoli et al., 2014). Preporučuje se da se kod kombinovanog programa najpre izvodi trening snage, a zatim aerobni, kako bi se smanjio rizik od hipoglikemije (Yardley et al., 2012).

Trening visokog intenziteta (HIIT) poslednjih godina privlači sve više pažnje jer može brzo unaprediti oksidativni kapacitet mišića, osetljivost na insulin i glikemijsku kontrolu kod odraslih sa DM2 (Jelleyman et al., 2015). Ipak, zbog visokih fizičkih zahteva, ovaj oblik treninga nije pogodan za početnike i gojazne osobe, te zahteva stručni nadzor.

Vežbe fleksibilnosti i balansa imaju važnu ulogu u održavanju funkcionalne pokretljivosti i prevenciji padova, naročito kod starijih osoba sa dijabetesom. Istezanjem se poboljšava obim pokreta u zglobovima i smanjuje mišićna ukočenost (Herriott et al., 2004), dok vežbe ravnoteže doprinose boljoj stabilnosti i koordinaciji, čak i kod osoba sa perifernom neuropatijom (Morrison et al., 2010). Iako ove aktivnosti ne utiču direktno na glikemijsku kontrolu, one značajno doprinose kvalitetu života i smanjenju rizika od povreda.

Alternativni oblici fizičke aktivnosti, poput joge i tai čija, kombinuju elemente fleksibilnosti, ravnoteže i kontrole disanja. Istraživanja pokazuju da joga može doprineti poboljšanju glikemijske kontrole, lipidnog profila i telesnog sastava (Innes & Selfe, 2016), dok tai či poboljšava ravnotežu, smanjuje neuropatske simptome i može imati pozitivan efekat na glikoregulaciju (Ahn & Song, 2012).

U celini, različite forme fizičke aktivnosti doprinose poboljšanju metaboličkih, kardiovaskularnih i funkcionalnih parametara kod osoba sa dijabetesom tipa 2. Optimalni efekat postiže se kombinovanjem više tipova vežbanja i njihovim prilagođavanjem individualnim mogućnostima i zdravstvenom stanju osobe.

1.3 Uticaj fizičke aktivnosti na prevenciju i lečenje dijabetesa melitusa

Fizička aktivnost se smatra jednim od najefikasnijih i najpristupačnijih sredstava u prevenciji i lečenju DM2. Brojne studije potvrđuju da redovno vežbanje — uključujući aerobne aktivnosti,

trening snage i kombinovane programe — može unaprediti osetljivost na insulin, smanjiti nivo glukoze u krvi, poboljšati homeostazu glukoze i smanjiti rizik od progresije intolerancije glukoze u manifestni dijabetes (Colberg et al., 2016; Umpierre et al., 2013). Kod adolescenata, primena takvih mera ima potencijal da zaustavi ili uspori rani razvoj metaboličkih poremećaja i prevremene komplikacije (Davis et al., 2012).

Mehanizmi efikasnosti fizičke aktivnosti zasnivaju se na akutnim i hroničnim adaptacijama organizma. Jedan od osnovnih mehanizama jeste povećan unos glukoze u skeletne mišiće tokom i neposredno nakon vežbanja, nezavisno od prisustva insulina, zahvaljujući kontrakcijom induciranoj aktivaciji GLUT-4 transportera (Holloszy, 2005). Paralelno, fizička aktivnost stimuliše AMP-aktiviranu protein kinazu (AMPK), koja povećava translokaciju GLUT-4 na ćelijsku membranu i pojačava oksidativni metabolizam u mišićnim ćelijama. Ovi akutni efekti mogu trajati i do 48 sati nakon jedne sesije, što znači da svako pojedinačno vežbanje ima korisne metaboličke posledice (Mikines et al., 1988).

Vremenom, redovno izvođenje fizičkih aktivnosti dovodi do hroničnih adaptacija koje uključuju povećanu gustinu mitohondrija, bolju oksidativnu sposobnost mišića, veću kapilarizaciju i povećanje sposobnosti oksidacije masnih kiselina (Hawley et al., 2014). Takođe, vežbanje povoljno deluje na inflamatorne i oksidativne procese — smanjuje koncentraciju proinflamatornih citokina poput TNF- α i IL-6, dok povećava nivo antiinflamatornih medijatora i poboljšava endotelnu funkciju (Pedersen & Febbraio, 2012). Time se ublažava inflamatorni stres koji je jedan od osnovnih patofizioloških mehanizama insulinske rezistencije (Petersen & Shulman, 2018).

U domenu prevencije, longitudinalne studije pokazuju da čak i umereni porast fizičke aktivnosti — ekvivalentan potrošnji od 500–1000 kcal nedeljno — može smanjiti rizik od razvoja DM2 za oko 10% (Jeon et al., 2007). Meta-analize kod mladih ukazuju da strukturirani programi vežbanja poboljšavaju osetljivost na insulin, smanjuju BMI i pozitivno utiču na metaboličke markere (Fedewa et al., 2014). Kod osoba sa već utvrđenim DM2, kombinovani treninzi (aerobni + trening snage) dovode do značajnog smanjenja HbA1c vrednosti, poboljšanja lipidnog profila i regulacije krvnog pritiska (Sigal et al., 2007).

Kod adolescenata, efikasnost fizičke aktivnosti zavisi i od faktora pridržavanja, motivacije, socijalne podrške i školskog okruženja. Iako postoje dokazi o njenoj efikasnosti, mnogi

adolescenti ne ispunjavaju preporuke o minimalno 60 minuta umerene do intenzivne aktivnosti dnevno (World Health Organization [WHO], 2020). Stoga, implementacija strukturiranih programa fizičke aktivnosti u školama i lokalnim zajednicama ima ključni značaj za dugoročnu prevenciju i terapijski ishod.

Zaključno, fizička aktivnost deluje kao metabolički „regulator“ koji smanjuje insulinsku rezistenciju, poboljšava glikemijsku kontrolu i sprečava razvoj komplikacija. Kod adolescenata, rano uvođenje programa vežbanja ima dugoročne koristi za metaboličko, kardiovaskularno i mentalno zdravlje, čineći fizičku aktivnost neizostavnom komponentom savremene strategije prevencije i lečenja dijabetesa tipa 2.

1.4. Definisane periode adolescencije

Adolescencija predstavlja razvojni period između detinjstva i odraslog doba, koji obuhvata značajne fiziološke, psihološke i socijalne promene. Svetska zdravstvena organizacija (World Health Organization [WHO], 2020) definiše adolescente kao osobe uzrasta od 10 do 19 godina, dok Ujedinjene nacije ponekad proširuju ovaj raspon do 24. godine života, imajući u vidu produženi proces socijalnog sazrevanja u savremenom društvu.

U biološkom smislu, adolescencija se karakteriše brzim rastom, hormonskim promenama i pojavom sekundarnih polnih karakteristika. Tokom ovog perioda dolazi do povećanja nivoa hormona rasta, kortizola i polnih steroida, što može privremeno smanjiti osetljivost na insulin i uticati na metabolizam glukoze (Amiel et al., 1986). Zbog toga adolescencija predstavlja posebno osetljiv period za razvoj metaboličkih poremećaja, uključujući DM2.

Pored fizioloških faktora, adolescenciju karakterišu i promene u životnim navikama — smanjena fizička aktivnost, povećano vreme provedeno pred ekranom i nepravilne prehrambene navike. Ovi obrasci ponašanja često se uspostavljaju upravo u ovom životnom razdoblju, pa njihova korekcija ima dugoročni značaj za prevenciju hroničnih bolesti. Stoga, razumevanje specifičnosti adolescencije neophodno je za planiranje i sprovođenje efektivnih programa fizičke aktivnosti usmerenih na očuvanje metaboličkog zdravlja i prevenciju DM2.

2. PROBLEM, PREDMET I CILJ RADA

2.1. Problem rada

Problem ovog rada ogleda se u sve većoj učestalosti dijabetesa melitusa tipa 2 među adolescentima, što je predstavlja ozbiljan zdravstveni i društveni izazov. Problem rada je da se analizira uloga i značaj fizičke aktivnosti kao preventivnog i terapijskog sredstva u borbi protiv dijabetesa tipa 2 kod adolescenata.

2.2. Predmet rada

Predmet ovog rada obuhvatao je dijabetes melitus tipa 2 kod adolescenata, sa fokusom na uticaj fizičke aktivnosti na metaboličke procese i glikemijsku kontrolu. Posebno su se razmatrali tipovi fizičke aktivnosti (aerobni, trening snage, kombinovani i alternativni oblici) i njihova efikasnost u prevenciji i lečenju bolesti. Pored fizioloških aspekata, predmet istraživanja obuhvatao je i analizu dostupnih naučnih dokaza o povezanosti redovnog vežbanja sa smanjenjem faktora rizika i poboljšanjem kvaliteta života adolescenata sa dijabetesom tipa 2.

2.3 Cilj rada

Cilj ovog rada je da se utvrdi u kojoj meri fizička aktivnost utiče na prevenciju i tretman dijabetesa melitusa tipa 2 kod adolescenata, kao i da se identifikuju oblici vežbanja koji su bili najdelotvorniji za ovu populaciju. Poseban cilj je da se prikažu mehanizmi putem kojih je fizička aktivnost doprinosila smanjenju insulinske rezistencije, regulaciji glikemije i prevenciji komplikacija bolesti. Rezultati ovog preglednog rada trebalo je da ukažu na važnost uključivanja redovne fizičke aktivnosti u svakodnevni život mladih kao osnovnog elementa strategije očuvanja metaboličkog zdravlja.

3. METOD RADA

Ovaj rad predstavljao je preglednu studiju čiji je cilj bio da se, na osnovu dostupne naučne literature, prikažu savremena saznanja o povezanosti fizičke aktivnosti i dijabetesa melitusa tipa 2 kod adolescenata. Proces prikupljanja podataka obuhvatio je pretragu elektronskih baza podataka: PubMed, Scopus, Google Scholar i Web of Science. Pretraga je sprovedena u oktobru 2025. godine, korišćenjem kombinacije ključnih reči na engleskom jeziku: “type 2 diabetes mellitus”, “adolescents”, “physical activity”, “exercise”, “insulin resistance”, “prevention”, “glycemic control”. Prilikom pretrage korišćeni su logički operatori (AND, OR) radi proširenja i preciziranja rezultata, dok je posebna pažnja bila posvećena pronalaženju novijih radova objavljenih u poslednjih dvadeset godina (2005–2025).

U rad su bili uključeni izvori koji su ispunjavali sledeće kriterijume:

- publikovani u naučnim časopisima sa recenzijom,
- napisani na engleskom jeziku,
- odnose se na populaciju adolescenata (uzrasta 10–19 godina),
- analiziraju uticaj fizičke aktivnosti ili programa vežbanja na parametre povezane sa dijabetesom tipa 2 (glikemijsku kontrolu, insulinsku osetljivost, telesnu kompoziciju i dr.).

Isključeni su radovi koji se odnose isključivo na dijabetes tipa 1, metabolički sindrom bez potvrđenog dijabetesa, kao i oni koji nisu pružali empirijske podatke o fizičkoj aktivnosti (npr. komentari, pisma uredniku).

Nakon prikupljanja podataka, sprovedena je analiza i deskriptivna sinteza relevantnih nalaza iz odabranih studija. Akcenat je bio stavljen na prikaz fizioloških osnova bolesti, ulogu fizičke aktivnosti u prevenciji i tretmanu, kao i na identifikaciju tipova vežbanja koji su se najčešće preporučivali adolescentima sa dijabetesom tipa 2. Dobijeni podaci analizirani su kvalitativno, sa ciljem da se identifikuju zajedničke smernice, trendovi i ograničenja postojećih istraživanja.

Metodološki kvalitet uključenih studija procenjen je korišćenjem PEDro (Physiotherapy Evidence Database) skale, validiranog instrumenta za ocenu interventionalnih istraživanja. Skala

obuhvata 11 kriterijuma, od kojih se 10 boduje, dok se prvi (spominjanje kriterijuma uključenja) koristi samo za deskriptivnu svrhu.

Kriterijumi obuhvataju sledeće elemente:

1. randomizaciju ispitanika,
2. skrivanje alokacije,
3. sličnost grupa na početku istraživanja,
4. ispitanici nisu znali koju intervenciju dobijaju,
5. terapeuti/istraživači nisu znali koju intervenciju pružaju,
6. glavni istraživač u studiji nije znao koju intervenciju su dobili ispitanici,
7. adekvatnost praćenja (>85 % ispitanika),
8. primenu analize po principu „namere tretmana“ (*intention-to-treat*),
9. uporednu statistiku između grupa, i
10. precizne mere varijabilnosti i ishoda.

Svaki ispunjeni kriterijum (osim prvog) vrednuje se sa 1 bodom, pa ukupni skor može iznositi od 0 do 10. Studije sa skorom ≥ 6 smatraju se metodološki kvalitetnijima, dok skor ispod 5 ukazuje na povećan rizik od pristrasnosti.

Na osnovu pregledane literature, formulisani su zaključci o značaju fizičke aktivnosti u očuvanju metaboličkog zdravlja adolescenata i date su preporuke za buduća istraživanja u ovoj oblasti.

4. ZNAČAJ ZA TEORIJU I PRAKSU

Ovaj rad ima značajan doprinos kako u teorijskom, tako i u praktičnom smislu, jer obrađuje problem koji je sve izraženiji u savremenom društvu — porast učestalosti dijabetesa melitusa tipa 2 kod adolescenata u uslovima smanjene fizičke aktivnosti i porasta gojaznosti. Promene u životnim navikama mladih, uz nedostatak redovnog kretanja i prekomernu upotrebu tehnologije, dovode do toga da se hronične nezarazne bolesti, nekada tipične za odraslu populaciju, sve češće javljaju u adolescenciji. U tom kontekstu, ovaj rad ima za cilj da ukaže na ključnu ulogu fizičke aktivnosti kao nefarmakološkog sredstva u očuvanju zdravlja i prevenciji metaboličkih poremećaja.

Teorijski značaj rada ogleda se u integraciji i sistematizaciji postojećih saznanja o povezanosti fizičke aktivnosti i dijabetesa melitusa tipa 2 kod adolescenata. Na osnovu dostupne naučne literature, rad pruža sveobuhvatan uvid u fiziološke mehanizme koji povezuju fizičku neaktivnost, insulinsku rezistenciju i poremećaje glikoregulacije u mladalačkom dobu. Time se unapređuje razumevanje načina na koji redovna fizička aktivnost utiče na metabolizam glukoze, osetljivost na insulin, funkciju β -ćelija pankreasa i inflamatorni odgovor organizma.

Pored toga, teorijski značaj rada ogleda se u stvaranju osnove za buduća istraživanja koja mogu produbiti znanja o različitim vrstama i intenzitetima fizičke aktivnosti, te njihovom uticaju na specifične biomarkere metaboličkog zdravlja kod adolescenata. Ovaj rad doprinosi povezivanju spoznaja iz oblasti fiziologije, sportske medicine, endokrinologije i javnog zdravlja, nudeći integrisan pogled na problem dijabetesa u mlađoj populaciji.

Praktični značaj rada ogleda se u primenljivosti dobijenih saznanja u oblasti edukacije, javnog zdravlja i sportske prakse. Nalazi rada mogu da posluže kao teorijska i praktična osnova za izradu preventivnih programa namenjenih adolescentima sa povećanim rizikom od razvoja dijabetesa tipa 2. Stručnjaci iz oblasti sporta, fizičke kulture i medicine mogu da koriste rezultate rada za planiranje i implementaciju bezbednih i efikasnih programa fizičke aktivnosti koji su prilagođeni uzrastu, zdravstvenom statusu i mogućnostima mladih.

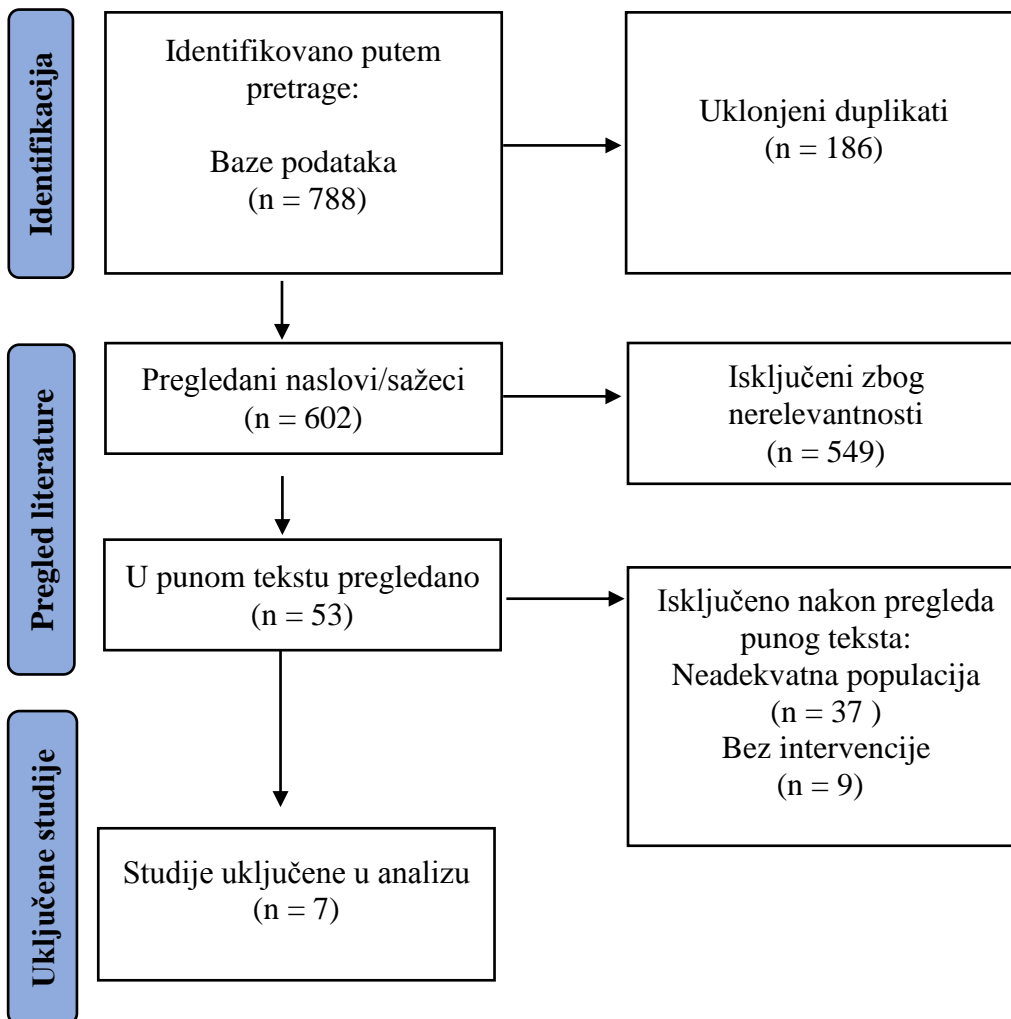
Takođe, rad doprinosi razvoju edukativnih smernica namenjenih školskim programima fizičkog vaspitanja i promociji zdravih stilova života među adolescentima. Na taj način, rezultati rada imaju potencijal da utiču na unapređenje javnozdravstvenih politika i povećanje svesti o značaju redovnog vežbanja kao osnovnog faktora prevencije hroničnih bolesti.

U celini, značaj rada ogleda se u njegovom doprinosu povezivanju teorijskih i praktičnih aspekata fizičke aktivnosti u kontekstu dijabetesa melitusa tipa 2, čime se stvara osnova za dalje naučne, edukativne i zdravstveno-preventivne inicijative usmerene na mlade populacije.

5. REZULTATI

Sistematskom pretragom identifikovano je ukupno 788 zapisa, od čega je nakon uklanjanja duplikata ostalo 602 naslova i sažetaka za pregled. Nakon procene relevantnosti, 53 rada je uključeno u pregled punog teksta, dok je 45 isključeno zbog neispunjavanja kriterijuma (neadekvatna populacija, odsustvo intervencije fizičke aktivnosti ili nerelevantni ishodi). Konačno je 8 studija uključeno u kvalitativnu sintezu.

Dijagram 1. Tok literature kroz faze pregleda (PRISMA)



Uključene studije obuhvatile su ukupno više od 4700 učesnika uzrasta od 9 do 21 godine. Tri studije su sprovedene isključivo kod adolescenata sa DM2, dok su preostale pet obuhvatale ispitanike sa gojaznošću, prediabetesom ili insulinskom rezistencijom. Trajanje intervencija kretalo se od 12 nedelja do 24 meseca, a najčešće su uključivale aerobni, trening snage ili kombinovani trening, u nekim slučajevima u okviru porodičnih ili školskih programa.

Tabela 1. Ključne karakteristike uključenih studija

Autor (godina)	N	Učesnici	Vrsta vežbanja i trajanje	Praćeni ishodi	Glavni rezultati
Naylor i sar., 2016	13	Adolescenti i mladi sa DM2 (13–21 god.)	Aerobni i kombinovani trening, 12 nedelja	Vaskularna funkcija, insulinska osetljivost, sastav tela	Poboljšana vaskularna funkcija bez značajne promene insulinske osetljivosti.
TODAY trial, 2013	699	Mladi (10–17 god.) sa novootkrivenim dijabetesom tipa	Program fizičke aktivnosti i ishrane, 24 meseca	BMI, HbA1c, nivo aktivnosti	Aktivniji ispitanici imali bolju kontrolu glikemije.
Kriska i sar., 2018	531	Učesnici TODAY studije (DM2 mladi)	Praćenje nivoa fizičke aktivnosti tokom 24 meseca	HbA1c, fizička forma	Održavanje aktivnosti povezano sa nižim HbA1c.
Davis i sar., 2012	222	Deca i adolescenti sa gojaznošću (9–16 god.)	Aerobni trening 20–40 min/dan, 5× nedeljno, 13 nedelja	Insulinska rezistencija (HOMA-IR), mast, fitness	Vežbanje smanjuje IR i masno tkivo; jači efekat pri dužem trajanju.
Shaibi i sar., 2006	22	Gojazni adolescenti sa rizikom za DM2	Trening snage, 2× nedeljno, 16 nedelja	Insulinska senzitivnost	Značajno povećana insulinska osetljivost.
Suh i sar., 2011	72	Gojazni adolescenti	Aerobni i trening snage, 3× nedeljno, 12 nedelja	Insulinska rezistencija, lipidni status	Obe vrste treninga poboljšale IR i lipidni profil.
Ried-Larsen i sar., 2014	150	Mladi sa dijabetesom tipa 2	Spontana fizička aktivnost, 6 meseci	Lipidi, HbA1c, CVD rizik	Bolji kardiometabolički pokazatelji

Legenda: PA – fizička aktivnost, DM2 – dijabetes tipa 2, BMI – indeks telesne mase, HbA1c – prosečan tromesečni nivo šećera u krvi, IR – insulinska rezistencija, CVD – kardiovaskularni rizik.

Kod adolescenata sa DM2, rezultati pokazuju dosledno **poboljšanje vaskularne funkcije** nakon nadziranih programa vežbanja (Naylor i sar., 2016), kao i **bolju glikemijsku kontrolu**

kod ispitanika koji su održali viši nivo fizičke aktivnosti tokom praćenja (TODAY i Kriska i sar., 2018). Međutim, aderenza na dugoročne programe bila je ograničena.

U populacijama sa metaboličkim poremećajima sličnim DM2, aerobni trening pokazao je **doza–odgovor efekat** u smanjenju insulinske rezistencije i masnog tkiva (Davis i sar., 2012). Trening snage (Shaibi i sar., 2006) i kombinovani protokoli (Suh i sar., 2011; García-Hermoso i sar., 2023) doveli su do značajnih poboljšanja insulinske senzitivnosti, lipidnog profila i kardio-metaboličkih parametara. Opservaciona studija Ried-Larsen i saradnika (2014) pokazala je da je viši nivo odgornih aktivnosti povezan sa povoljnijim lipidnim i vaskularnim pokazateljima kod adolescenata sa DM2.

Metodološki kvalitet procenjen je pomoću PEDro skale. Većina radova ostvarila je 5 do 7 poena od mogućih 10, što ukazuje na umereni do visoki kvalitet dokaza. Najčešći izvori pristrasnosti bili su odsustvo slepe procene ishoda i ograničena randomizacija u studijama sa malim uzorcima.

Tabelu 2. Procena kvaliteta uključenih studija prema PEDro skali

Studija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Naylor i sar., 2016	✓	X	✓	X	X	X	✓	X	✓	✓	5
TODAY trial, 2013	✓	✓/X	✓	X	X	N/A	✓	✓/X	✓	✓	6–7
Kriska i sar., 2018	N/A	N/A	✓	X	X	X	✓	X	✓	✓	3–4
Davis i sar., 2012	✓	N/A	✓	X	X	✓	✓	✓/X	✓	✓	6–7
Shaibi i sar., 2006	✓	X	✓	X	X	✓	✓	X	✓	✓	6
Suh i sar., 2011	✓	X	✓	X	X	N/A	✓	X	✓	✓	5–6
Ried-Larsen i sar., 2014	✓	✓/X	✓	X	X	N/A	✓	✓/X	✓	✓	6–7

Legenda: Brojevi koji označavaju pitanja su objašnjeni u delu Metod.

6. DISKUSIJA

Rastuća prevalencija DM2 među adolescentima predstavlja ozbiljan javnozdravstveni izazov. Farmakološka terapija u ovoj populaciji često ima ograničenu efikasnost, dok fizička aktivnost nudi mogućnost istovremenog delovanja na više patofizioloških mehanizama bolesti – od insulinske rezistencije i mitohondrijalne disfunkcije do poremećaja vaskularne funkcije i hronične inflamacije. Ovaj pregled obuhvata dostupne randomizovane i prospektivne studije koje su ispitivale efekte različitih oblika vežbanja kod adolescenata sa DM2 i srodnim metaboličkim poremećajima, kao što su gojaznost, prediabetes i insulinska rezistencija.

Iako direktnih velikih i dugoročnih RCT-studija kod adolescenata sa DM2 i fizičkom aktivnošću ima još relativno malo, postojeći dokazi su ohrabrujući. Na primer, Shaibi i saradnici (2006) pokazali su da šesnaestonedeljni trening snage (2× nedeljno) kod gojaznih latino-adolescenata poboljšava insulinsku osetljivost za približno 45 % nezavisno od promene telesne mase. Šire gledano, meta-analiza Kazeminasab i saradnika (2023) pokazala je da fizička aktivnost smanjuje nivo glukoze, insulina i HOMA-IR kod dece i adolescenata sa gojaznošću ili insulinskom rezistencijom. Iako ova istraživanja ne ciljaju isključivo DM2, ona pružaju osnov za razumevanje kako fizička aktivnost utiče na metaboličke faktore koji prethode ili prate DM2. Kod adolescenata sa već dijagnostikovanim DM2, opservacioni podaci pokazuju da bolji nivo fizičke aktivnosti korelira sa boljom glikemijskom regulacijom i sporijom progresijom insulinske rezistencije (Ried-Larsen i sar., 2014). Takođe, kod mladih sa DM2 uočeni su niži nivoi kardiopulmonalne kondicije i fizičke aktivnosti u poređenju sa zdravim vršnjacima, što dodatno naglašava potrebu za sistematskim uključivanjem fizičke aktivnosti u terapijske programe (Bjornstad i sar., 2023).

Fizička aktivnost utiče na metaboličke putanje na više nivoa. Kontinuirani aerobni i rezistencijski trening stimulišu translokaciju GLUT-4 transportera u skeletnim mišićima nezavisno od insulina, čime se povećava unos glukoze. Istovremeno, dolazi do povećane ekspresije PGC-1 α , glavnog koaktivatora mitohondrijalne biogeneze, što poboljšava oksidativni

kapacitet i smanjuje akumulaciju intramiocelularnih lipida povezanih sa insulinskom rezistencijom (Fedewa et al., 2014). Na vaskularnom nivou, fizička aktivnost povećava aktivnost eNOS enzima, čime se poboljšava bioraspoloživost azot-monoksida i smanjuje oksidativni stres, što doprinosi boljoj endotelnoj funkciji i vaskularnoj elastičnosti.

Dodatno, fizička aktivnost ima izražen antiinflamatorni efekat – snižava proinflamatorne citokine (IL-6, TNF- α , CRP) i povećava nivoe antiinflamatornih miokina (IL-10), što vodi ka poboljšanju insulinske signalizacije i ukupne metaboličke stabilnosti. Rezistencijski trening dodatno povećava AMPK aktivnost u mišićnim ćelijama, što pospešuje insulin-zavisni unos glukoze (Shaibi et al., 2006). U ranim fazama DM2, fizička aktivnost može delimično normalizovati funkciju β -ćelija pankreasa, smanjujući lipotoksičnost i poboljšavajući sekreciju insulina (Kazeminasab et al., 2023).

Kod adolescenata sa DM2, vaskularne komplikacije se javljaju mnogo ranije nego kod odraslih, što daje dodatnu kliničku važnost preventivnim merama. Meta-analize su pokazale da deca i adolescenti sa DM2 imaju značajno niži nivo kardiorespiratorne kondicije u odnosu na zdrave vršnjake (Liu et al., 2024). U studiji Ried-Larsen i saradnika (2014) pokazano je da je viši nivo intenzivne fizičke aktivnosti povezan sa povoljnijim lipidnim profilom i manjim kardiovaskularnim rizikom. Ovi nalazi ukazuju da fizička aktivnost može imati dvostruki efekat – metabolički i vaskularno-protektivni.

Pored toga, aerobne i kombinovane intervencije, poput HIIT programa, poboljšavaju funkciju endotela, smanjuju arterijsku rigidnost i povećavaju arterijsku distenzibilnost. Takvi efekti su klinički važni, jer adolescenti sa DM2 pokazuju rani razvoj makrovaskularnih i mikrovaskularnih promena koje predisponiraju kasnijem razvoju ateroskleroze i kardiovaskularnih bolesti (Fedewa et al., 2014).

Meta-analiza García-Hermoso i saradnika (2023) pokazala je da minimalna „doza“ fizičke aktivnosti od 900–1200 MET-minuta nedeljno, što približno odgovara 150–180 minuta vežbanja srednjeg do visokog intenziteta, dovodi do klinički značajnog smanjenja insulinske rezistencije. Najveći efekti zabeleženi su kod kombinacije HIIT-a i treninga snage. Slični zaključci izvedeni su i u novijoj analizi Liu i saradnika (2024), koji su utvrdili da kombinovani

protokoli trening snage i aerobnog treninga tokom najmanje 12 nedelja značajno poboljšavaju metaboličke i kardiovaskularne parametre kod adolescenata sa gojaznošću i prediabetesom. Ovi podaci sugerišu da kod adolescenata sa DM2 optimalni pristup treba da kombinuje aerobne i rezistencijske modalitete treninga, s fokusom na postepenu progresiju i održivost.

Pubertet i adolescencija nose značajne promene u hormonskom, mišićno-koštanom i emocionalnom razvoju. Adolescenti sa DM2 često imaju nižu motivaciju i samopouzdanje u odnosu na zdrave vršnjake, što smanjuje adhezenciju na fizičku aktivnost (Bjornstad i sar., 2023). Programi koji uključuju vršnjačku podršku, igre, grupni trening i digitalne aplikacije pokazali su bolje ishode po pitanju doslednosti i angažovanosti. Takođe, školskim i porodičnim kontekstom može se povećati učestalost i održivost aktivnosti. Studije sugerišu da pristupi koji integrišu fizičku aktivnost u dnevnu rutinu (npr. školski programi, zajedničke porodične aktivnosti) imaju dugotrajniji efekat na glikemijsku kontrolu i telesnu kompoziciju (Kazeminasab et al., 2023).

Na osnovu dostupnih podataka, preporučuje se sledeći okvir za intervencije kod adolescenata sa DM2:

- kombinovati aerobne aktivnosti i trening snage, minimalno 3–4 puta nedeljno po 30–60 minuta;
- uključiti programe koji sprovode stručnjaci iz polja sporta i fizičkog vaspitanja uz psihosocijalnu podršku;
- pratiti metaboličke (HbA1c, HOMA-IR) i vaskularne parameter;
- primenjivati digitalne i nosive uređaje radi monitoringa i motivacije;
- planirati kontinuirane programe, jer se efekti fizičke aktivnosti gube po prestanku.

Ovaj pregledni rad ima i nekoliko ograničenja. Broj RCT-studija koje se direktno bave adolescentima sa DM2 i dalje je mali, uz kratko trajanje protokola i male uzorke. Potrebne su veće multicentrične studije koje će standardizovati tip i intenzitet fizičke aktivnosti, pratiti epigenetske, vaskularne i neuroendokrine markere i ispitati dugoročne efekte. Uključivanje nosivih tehnologija, mobilnih aplikacija i školskih programa može unaprediti adhezenciju i validnost merenja.

7. ZAKLJUČAK

Fizička aktivnost predstavlja osnovnu terapijsku komponentu u prevenciji i lečenju dijabetesa tipa 2 kod adolescenata. Aerobni, trening snage i visokointenzivni intervalni treninzi poboljšavaju insulinsku osetljivost, snižavaju inflamaciju, normalizuju vaskularnu funkciju i doprinose dugoročnoj kardiometaboličkoj stabilnosti. Kombinacija različitih oblika vežbanja, uz trajnu porodičnu i stručnu podršku, verovatno je najefikasniji pristup ovoj populaciji. Mehanizmi delovanja uključuju povećan unos glukoze u mišiće, aktivaciju PGC-1 α -zavisne mitohondrijalne biogeneze, smanjenje oksidativnog stresa i poboljšanje funkcije endotela.

8. LITERATURA

1. Ahn, S., & Song, R. (2012). Effects of Tai Chi exercise on glucose control, neuropathy scores, balance, and quality of life in patients with type 2 diabetes and neuropathy. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 18(12), 1172–1178.
2. Ahmed, A. (2002). History of diabetes mellitus. *Saudi Medical Journal*, 23(4), 373–378.
3. Amiel, S. A., Sherwin, R. S., Simonson, D. C., Lauritano, A. A., & Tamborlane, W. V. (1986). Impaired insulin action in puberty. *New England Journal of Medicine*, 315(4), 215–219.
4. Bjornstad, P., Chao, L. C., Cree-Green, M., Dart, A. B., King, M., Looker, H. C., ... & Nelson, R. G. (2023). Youth-onset type 2 diabetes mellitus: an urgent challenge. *Nature Reviews Nephrology*, 19(3), 168–184.
5. Chimen, M., Kennedy, A., Nirantharakumar, K., Pang, T. T., Andrews, R., & Narendran, P. (2012). What are the health benefits of physical activity in type 1 diabetes mellitus? A literature review. *Diabetologia*, 55(3), 542–551.
6. 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.
7. Conn, V. S., Hafdahl, A. R., Mehr, D. R., Lemaster, J. W., Brown, S. A., & Nielsen, P. J. (2007). Metabolic effects of interventions to increase exercise in adults with type 2 diabetes. *Diabetologia*, 50(5), 913–921.
8. Davis, C. L., Pollock, N. K., Waller, J. L., Allison, J. D., Dennis, B. A., Bassali, R., ... & Gower, B. A. (2012). Exercise dose and diabetes risk in overweight and obese children: A randomized controlled trial. *JAMA*, 308(11), 1103–1112.
9. DeFronzo, R. A. (2009). From the triumvirate to the ominous octet: A new paradigm for the treatment of type 2 diabetes mellitus. *Diabetes*, 58(4), 773–795.
10. Dunstan, D. W., Kingwell, B. A., Larsen, R., Healy, G. N., Cerin, E., Hamilton, M. T., ... & Owen, N. (2012). Breaking up prolonged sitting reduces postprandial glucose and insulin responses. *Diabetes Care*, 35(5), 976–983.
11. E.S., H., et al. (2007). Patient perceptions of quality of life with diabetes-related complications and treatments. *Diabetes Care*, 30(10), 2478–2483.

12. Fedewa, M. V., Gist, N. H., Evans, E. M., & Dishman, R. K. (2014). Exercise and insulin resistance in youth: A meta-analysis. *Pediatrics*, *133*(1), e163–e174.
13. García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., Ramírez-Campillo, R., Izquierdo, M., & Álvarez-Bueno, C. (2023). Exercise modalities and insulin resistance in overweight and obese youth: A network meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, *177*(3), 260–270.
14. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*(7), 1334–1359.
15. Gordon, B. A., Benson, A. C., Bird, S. R., & Fraser, S. F. (2009). Resistance training improves metabolic health in type 2 diabetes: A systematic review. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *83*(2), 157–175.
16. Green, A. J., Fox, K. M., & Grandy, S. (2011). Impact of regular exercise and attempted weight loss on quality of life among adults with and without type 2 diabetes mellitus. *Journal of Obesity*, *2011*, 1–10.
17. Hawley, J. A., & Lessard, S. J. (2008). Exercise training-induced improvements in insulin action. *Journal of Applied Physiology*, *105*(5), 1552–1558.
18. Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J., & Zierath, J. R. (2014). Integrative biology of exercise. *Cell*, *159*(4), 738–749.
19. Herriott, M. T., Colberg, S. R., Parson, H. K., Nunnold, T., & Vinik, A. I. (2004). Effects of 8 weeks of flexibility and resistance training in older adults with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, *27*(12), 2988–2989.
20. Holloszy, J. O. (2005). Exercise-induced increase in muscle insulin sensitivity. *Journal of Applied Physiology*, *99*(1), 338–343.
21. Innes, K. E., & Selfe, T. K. (2016). Yoga for adults with type 2 diabetes: A systematic review of controlled trials. *Journal of Diabetes Research*, *2016*, 6979370.
22. Jelleyman, C., Yates, T., O'Donovan, G., Gray, L. J., King, J. A., Khunti, K., & Davies, M. J. (2015). The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: A meta-analysis. *Obesity Reviews*, *16*(11), 942–961.

23. Jeon, C. Y., Lokken, R. P., Hu, F. B., & van Dam, R. M. (2007). Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes: A systematic review. *Diabetes Care*, 30(3), 744–752.
24. Kazeminasab, S., Sharafifard, M., Miraghajani, M. H., Behzadnejad, S., & Rosenkranz, R. R. (2023). The effects of exercise training on insulin resistance in children and adolescents with overweight or obesity: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1025984.
25. Kriska, A., Delahanty, L. M., Edelstein, S. L., Amodeo, K., Chadwick, J., Copeland, K. C., ... & TODAY Study Group. (2018). Physical activity, sedentary behavior, and glycemic control in youth with type 2 diabetes: The TODAY study. *Diabetes Care*, 41(4), 817–824.
26. Liu, X., Li, Q., Lu, F., & Zhu, D. (2024). Effects of aerobic exercise combined with resistance training on body composition and metabolic health in children and adolescents with overweight or obesity: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12, 1409660.
27. Mikines, K. J., Sonne, B., Farrell, P. A., Tronier, B., & Galbo, H. (1988). Effect of physical exercise on sensitivity and responsiveness to insulin in humans. *American Journal of Physiology*, 254(3), E248–E259.
28. Morrison, S., Colberg, S. R., Mariano, M., Parson, H. K., & Vinik, A. I. (2010). Balance training reduces falls risk in older individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 33(4), 748–750.
29. Naylor, L. H., Green, D. J., Jones, T. W., Watts, K., & Davis, E. A. (2016). Exercise training improves vascular function in adolescents with type 2 diabetes. *Physiological Reports*, 4(8), e12713.
30. Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. (2012). Muscles, exercise and obesity: Skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*, 8(8), 457–465.
31. Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of insulin action and insulin resistance. *Physiological Reviews*, 98(4), 2133–2223.
32. Prentki, M., & Nolan, C. J. (2006). Islet β -cell failure in type 2 diabetes. *Journal of Clinical Investigation*, 116(7), 1802–1812.
33. Ried-Larsen, M., Grøntved, A., Møller, N. C., Larsen, K. T., Froberg, K., & Andersen, L. B. (2014). Associations between objectively measured physical activity intensity in childhood

- and measures of subclinical cardiovascular disease in adolescence: prospective observations from the European Youth Heart Study. *British journal of sports medicine*, 48(20), 1502-1507.
34. Shaibi, G. Q., Cruz, M. L., Ball, G. D. C., Weigensberg, M. J., Salem, G. J., Crespo, N. C., Goran, M. I. (2006). Effects of resistance training on insulin sensitivity in overweight Latino adolescent males. *Pediatrics*, 118(5), e1259–e1268.
 35. Sigal, R. J., Kenny, G. P., Boule, N. G., Wells, G. A., Prud'homme, D., Fortier, M., ... & Stewart, K. (2007). Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes. *Annals of Internal Medicine*, 147(6), 357–369.
 36. Sluik, D., Buijsse, B., Muckelbauer, R., Kaaks, R., Teucher, B., Johnsen, N. F., ... & Boeing, H. (2012). Physical activity and mortality in individuals with diabetes mellitus: A prospective study and meta-analysis. *Archives of Internal Medicine*, 172(17), 1285–1295.
 37. Snowling, N. J., & Hopkins, W. G. (2006). Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: A meta-analysis. *Diabetes Care*, 29(11), 2518–2527.
 38. Sudeck, G., & Höner, O. (2011). Volitional interventions within cardiac exercise therapy (VIN-CET): Long-term effects on physical activity and health-related quality of life. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 3(2), 151–171.
 39. Suh, S., Jeong, I. K., Kim, M. Y., Kim, J. H., Bae, H. Y., & Kang, J. G. (2011). Effects of aerobic and resistance exercise training on insulin resistance and lipid profiles in obese adolescents. *Diabetes & Metabolism Journal*, 35(4), 418–426.
 40. TODAY Study Group. (2013). Rapid rise in hypertension and nephropathy in youth with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 36(6), 1735–1741.
 41. Tonoli, C., Heyman, E., Roelands, B., Buyse, L., Cheung, S. S., Berthoin, S., & Meeusen, R. (2014). Effects of different types of acute and chronic (training) exercise on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus. *Sports Medicine*, 42(12), 1059–1080.
 42. U.S. Department of Health and Human Services. (2018). *Physical Activity Guidelines for Americans* (2nd ed.). Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services.
 43. Umpierre, D., Ribeiro, P. A. B., Schaan, B. D., & Ribeiro, J. P. (2013). Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes. *JAMA*, 305(17), 1790–1799.

44. Weiss, R., & Caprio, S. (2012). The metabolic consequences of childhood obesity. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 26(4), 569–582.
45. World Health Organization. (2020). *Guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. Geneva: WHO.
46. Yardley, J. E., Sigal, R. J., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Kenny, G. P., & Boule, N. G. (2012). Effects of performing resistance exercise before versus after aerobic exercise on glycemia in type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 35(4), 669–675.