

Povezanost fizičke aktivnosti s akademskim uspjehom studenata medicine

Terze, Lucia

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, School of Medicine / Sveučilište u Splitu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:171:846905>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

[MEFST Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
MEDICINSKI FAKULTET**

Lucia Terze

**POVEZANOST FIZIČKE AKTIVNOSTI S AKADEMSKIM USPJEHOM
STUDENATA MEDICINE**

Diplomski rad

Akadska godina:

2023./2024.

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ivana Pavlinac Dodig, dr. med.

Split, srpanj 2024.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Učenje i pamćenje	2
1.1.1. Pamćenje	2
1.1.1.1. Kvalitativna podjela pamćenja.....	2
1.1.1.2. Vremenska podjela pamćenja	3
1.1.1.3. Neuroanatomija pamćenja	4
1.1.1.4. Neuroplastičnost, engrami i mehanizam pamćenja	6
1.1.2. Učenje.....	11
1.1.2.1. Tehnike učenja	11
1.1.3. Čimbenici koji utječu na kvalitetu učenja i sposobnost pamćenja.....	12
1.1.4. Utjecaj spavanja na učenje i pamćenje.....	12
1.1.5. Utjecaj prehrane na učenje i pamćenje.....	13
1.1.6. Ostali čimbenici koji utječu na učenje i pamćenje.....	14
1.2. Holistički pristup sa svrhom poboljšanja akademskog uspjeha	15
1.3. Tjelesna aktivnost.....	15
1.3.1. Sinteza energijski važnih molekula i energijski sustavi.....	15
1.3.2. Fiziologija sporta.....	19
1.3.3. Tjelovježba	20
1.3.3.1. Dobrobiti tjelovježbe	21
1.4. Sjedilački način života	23
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	25

3. ISPITANICI I POSTUPCI.....	27
3.1. Etička načela	28
3.2. Ispitanici	28
3.3. Upitnici	28
3.4. Statistička analiza	29
4. REZULTATI.....	30
5. RASPRAVA	35
6. ZAKLJUČCI.....	39
7. POPIS CITIRANE LITERATURE	41
8. SAŽETAK	48
9. SUMMARY	50
10. DODATAK	52

Od srca zahvaljujem mojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Ivani Pavlinac Dodig, dr. med., na iznimnoj pristupačnosti, strpljenju, želji za pomoći i dragocjenom vremenu koje je srdačno izdvojila prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala mojoj obitelji što su mi bili bezuvjetna podrška kroz svih šest godina studiranja. Najveće hvala mojoj mami Miri, mom cjeloživotnom osloncu i vjetru u leđa.

Na kraju, hvala svim mojim prijateljima, a posebno Anni, Petri, Emi i Josipi.

Popis oznaka i kratica

ADP - adenzin difosfat

AMPA - receptor alfa-amino-3-hidroksi-5-metil-4-izoksazolpropionske kiseline

ATP - adenzin trifosfat

BDNF - moždani neurotrofični faktor (engl. *Brain Derived Neurotrophic Factor*)

CA - Ammonov rog (lat. *cornu Ammonis*)

CREB - cAMP vezajući protein (engl. *cAMP Response Element-Binding protein*)

DHK - dokozaheksaenska kiselina

EPK - eikozapentaenska kiselina

GABA - gaba-aminomaslačna kiselina

IPAQ - međunarodni upitnik o tjelesnoj aktivnosti (engl. *International Physical Activity Questionnaire*)

KCAL - kilokalorija

LTD - dugoročna depresija (engl. *Long Term Depression*)

LTP - dugoročna potencijacija (engl. *Long Term Potentiation*)

MET - metabolički ekvivalent

NAA - N-acetilaspargat

NADH - nikotinamid-adenin-dinukleotid-hidrogen

NMDAR - glutamatni N-metil-D-aspartat receptor

PK - protein kinaza

PNMK - polinezasičena masna kiselina

REM - brzi pokreti oka, (engl. *Rapid Eye Movement*)

VO₂max - maksimalni volumen kisika

1. UVOD

1.1. Učenje i pamćenje

Učenje i pamćenje, dva su međusobno usko povezana koncepta. Temelje se na povezanosti neuroznanosti i naših svakodnevnih iskustava, pri čemu se oblikuje specifičan način komuniciranja sa svijetom oko nas. Ljudski mozak je savršeno usklađena i sofisticirana mreža neurona, s nekoliko regija mozga koje međusobno surađuju tijekom složenih procesa učenja i formiranja pamćenja (1).

Još uvijek neuroznanstvenici istražuju mehanizme ljudskog učenja, a u međuvremenu su se pojavile različite tehnike i strategije koje mogu poboljšati zadržavanje naučenih informacija i učinkovitost samog procesa, od ciljanih kognitivnih vježbi, pa sve do holističkih prilagodbi načina života.

1.1.1. Pamćenje

Pamćenje možemo opisati kao mogućnost pohrane informacija stečenih iskustvom te njihovo korištenje, bilo svjesno ili nesvjesno. Tijekom učenja, dolazi do promjena u neuronskim mrežama i aktivacije određenih moždanih područja što omogućava stvaranje novih sjećanja i vještina kao odgovor živčanog sustava na vanjske podražaje. Dakle, učenje i pamćenje su ključne komponente ljudske kognitivne sposobnosti (2). Kroz složene procese obrade informacija i interakcije mozga s okolinom, omogućuju nam stvaranje, zadržavanje i korištenje znanja te iskustva kako bismo uspješno funkcionirali u svakodnevnom životu (1).

1.1.1.1. Kvalitativna podjela pamćenja

Deklarativno i nedeklarativno pamćenje, dva su sustava za pohranu informacija u ljudskom mozgu. Deklarativno pamćenje odnosi se na sposobnost pohrane i kasnijeg pronalaženja svjesnih informacija koje se mogu verbalno izraziti, poput detalja nekog događaja iz prošlosti, prisjećanja riječi i njihova značenja, prepričavanja dnevnog događaja i slično. S druge strane, nedeklarativno pamćenje, također poznato kao proceduralno pamćenje, ne ovisi o svjesnosti, odnosno ovaj tip pamćenja obuhvaća vještine i asocijacije koje se obično stječu i prisjećaju nesvjesno, poput naučenih pokreta igranja nekog sporta ili korištenja tehnologije (3). Dakle, ključna razlika ova dva tipa pamćenja je u tome što kod deklarativnog pamćenja postoji sposobnost svjesnog prisjećanja činjenica i događaja, dok se kod nedeklarativnog pamćenja naučeno izražava kroz izvedbu i nema mogućnosti svjesnog pristupa sadržaju sjećanja (3, 4).

1.1.1.2. Vremenska podjela pamćenja

Pamćenje možemo podijeliti prema vremenskom aspektu u tri kategorije (2).

Prva kategorija je trenutno pamćenje. Ono predstavlja sposobnost privremenog zadržavanja ograničene količine informacija samo na vrlo kratko vrijeme u vrlo pristupačnom stanju, obično kraće od sekunde. Ova vrsta pamćenja omogućuje nam trenutačno procesiranje osjetilnih informacija koje dolaze iz okoline. Kapacitet trenutnog pamćenja je izuzetno velik, pri čemu svaki osjetni modalitet, bilo da je vidni, slušni ili taktilni, ima svoju vlastitu memorijsku pohranu (5).

Druga kategorija je radno pamćenje koje omogućuje zadržavanje informacija na malo duže vrijeme, obično nekoliko sekundi ili minuta, dok se koriste za ostvarivanje određenog cilja. Ona olakšava planiranje, razumijevanje, zaključivanje i rješavanje problema. Ova vrsta pamćenja omogućuje nam privremeno pohranjivanje i manipuliranje informacijama dok izvršavamo složene kognitivne zadatke. Stoga, s obzirom na svrhu ovo pamćenje nazivamo i "kratkoročno pamćenje" (6).

Treća važna kategorija je dugoročno pamćenje, u kojoj informacije ostaju pohranjene na duži rok, bilo danima, tjednima, pa sve do cijelog života. Dugoročno pamćenje može uključivati širok spektar informacija, od činjenica i događaja do vještina i iskustava. Ova kategorija pamćenja omogućuje nam usvajanje novih znanja, stvaranje uspomena i oblikovanje vlastitog identiteta (7).

S obzirom na to što pamtimo, u okvirima dugoročne memorije razlikujemo proceduralnu, epizodnu i semantičku dugoročnu memoriju. Proceduralno pamćenje je automatsko i nesvjesno, poput nekih motoričkih radnji primjerice vožnje bicikla, skakanja, igranja nekog sporta i slično (8). Epizodno ili autobiografsko pamćenje odnosi se na događaje iz prošlosti pojedinca, poput nekih sretnih trenutaka kao što je prvi poljubac ili neki nesretan životni trenutak preplavljen negativnom emocijom kao što su životne tragedije (9). Semantičko pamćenje je više činjenično pamćenje, odnosno pamćenje nekog općeg znanja ili pojmova, kao što je znanje kemijske formule za vodu (10).

1.1.1.3. Neuroanatomija pamćenja

U posljednjim desetljećima, na temelju brojnih istraživanja, identificiran je sustav struktura u medijalnom dijelu sljepoočnog režnja bitnih za deklarativno pamćenje. Ovaj sustav uključuje hipokampalnu formaciju, koju čine hipokampus, dentatni girus, subikulum i entorinalni korteks, te susjedni peririnalni i parahipokampalni korteks (11).

Hipokampus, smješten u temporalnom režnju svake moždane hemisfere, igra ključnu ulogu u tom procesu. Naziv hipokampus potječe iz grčkog jezika, a ime je dobio zbog svog specifičnog izgleda koji podsjeća na "morskog konjica". On čini dio veće strukture poznate kao hipokampalna formacija, koja uključuje i susjedna kortikalna područja, poput hipokampalnog i parahipokampalnog girusa te dentatnog girusa (12). Osim toga, hipokampus se povezuje s drevnim egipatskim bogom Amonom, zbog čega se naziva Ammonov rog ili *cornu Ammonis*. Anatomska podjela hipokampusa na četiri regije označene kao CA1 do CA4, pri čemu CA upravo označava *cornu Ammonis*. Informacije koje hipokampus prima iz ostalih dijelova korteksa mozga putuju uglavnom perforantnim putem, koji potječe iz entorinalnog korteksa. Nakon toga, vlakna napuštaju dentatni girus i projiciraju se na neurone u CA3 regiji hipokampusa, a zatim na neurone u CA1 regiji, te dalje u subikulum. Subikulum je ključno izlazno područje hipokampalne formacije, odakle vlakna putuju natrag u entorinalni korteks i dalje do različitih područja mozga. Također, izlazna vlakna napuštaju hipokampus i subikulum te ulaze u forniks, snop vlakana koji povezuje hipokampus s diencefalomom (11, 12). Važna diencefalička struktura je talamus. Talamus u svakoj moždanoj hemisferi djeluje kao središnja stanica za prijenos informacija prema korteksu, sastoji se od više specijaliziranih jezgri, a njegove funkcije uključuju obradu osjetnih informacija, sudjelovanje u emocionalnom ponašanju, motorne funkcije te integraciju osjetnog ulaza s kognitivnim funkcijama (13). U kliničkom slučaju pacijenta s Wernicke-Korsakovljevim sindromom, pokazano je kako oštećenje mediodorzalne talamičke jezgre doprinosi narušavanju pamćenja i razvoju amnezije (14).

S druge strane, nedeklarativno ili implicitno pamćenje produkt je djelovanja više struktura živčanog sustava. U proceduralnom pamćenju najvažnija struktura je striatum (3). Striatum je termin koji se koristi za označavanje male skupine struktura ispod moždane kore. Striatum se često dijeli na dorzalne i ventralne dijelove; dorzalni striatum sadrži kaudatnu jezgru i putamen dok ventralni striatum sadrži nukleus akumbens. Kaudatna jezgra i putamen

su odvojeni bijelim moždanim traktom nazvanim unutarnja kapsula, ali mnoge niti sive tvari prelaze unutarnju kapsulu, dajući strukturi prugast izgled. Striatum je jedna od glavnih komponenti bazalnih ganglija, skupine struktura koje sudjeluju u svemu što uključuje pokret. Nukleus akumbens, dio ventralnog striatuma, temeljito je proučavana zbog svoje uloge u iskustvima koji pružaju osjećaj ugone. Smatra se da je nukleus akumbens uključen u pojačanje osjećaja nagrađivanja i napredovanje od jednostavnog doživljavanja nečega ugodnog do opsesivnog traženja u sklopu ovisnosti. Dakle, ventralni striatum se aktivira kada radimo nešto ugodno. Nukleus akumbens prima vlakna iz strukture bogate dopaminom u srednjem mozgu nazvane ventralno tegmentalno područje. Ta su vlakna dio mezolimbickog dopaminskog puta koji je glavna komponenta sustava nagrade (13).

Kodiranje sjećanja iz trenutnog i kratkoročnog pamćenje u dugoročno nazivamo učvršćivanje pamćenja, odnosno pripremanje (engl. *priming*), ova evolucijski napredna moždana sposobnost posljedica je razvoja neokorteksa. U sklopu neokorteksa bitno je spomenuti prefrontalni korteks. Prefrontalni korteks je pojam koji se odnosi na dio prednjeg dijela frontalnog korteksa, točnije, dijela koji je ispred motornog korteksa. Najčešće se povezuje s izvršnim funkcijama. Ne postoji precizna definicija pojma izvršne funkcije, ali se općenito odnosi na procese koji se fokusiraju na kontrolu impulzivnog ponašanja kako bi se moglo djelovati sa ciljem na umu. To uključuje sposobnost samokontrole, planiranja, donošenja odluka i rješavanja problema. Opći model funkcije korteksa je da prima osjetne informacije o vanjskom svijetu, koristi te informacije za planiranje odgovora, a zatim komunicira s drugim područjima mozga kako bi izvršio odgovor koji može biti bilo koji, od kretanja do jednostavnog preusmjeravanja pažnje (15).

Ulogu u učenju i pamćenju povezanom s emocijama ima amigdala. Amigdala se nalazi u temporalnom režnju. Postoje dvije amigdale, po jedna u svakoj moždanoj hemisferi. Amigdala je tradicionalno smatrana dijelom limbickog sustava, skupine struktura povezanih s obradom emocija te je najpoznatija po svojoj ulozi u obradi emocija straha. Kada je prijeteći podražaj prisutan u okolini, smatra se da je amigdala također uključena u prepoznavanje prijatni i pokretanje reakcije bijega ili borbe. Međutim, noviji dokazi pokazuju da je amigdala aktivna i tijekom obrade pozitivnih podražaja. Stoga se sada smatra da je uloga amigdale složenija od svojevrsnog detektora prijatni. Može biti uključena u dodjeljivanje pozitivne ili negativne vrijednosti podražajima i u konsolidaciju sjećanja koja imaju snažnu pozitivnu ili negativnu emocionalnu komponentu (16). S kognitivnog aspekta, amigdala doprinosi

konsolidaciji memorije, pridavajući emocionalnu komponentu iskustvu koje je pojedinac proživio (17).

Na kraju, usvajanje senzomotoričkih vještina u sklopu implicitnog pamćenja, omogućeno je kroz interakciju malog mozga i već spomenutog strijatalnog sustava sa neokorteksom (3, 13). Mali mozak ili cerebellum uključen je u olakšavanje pokreta otkrivanjem pogrešaka koje se događaju tijekom pokreta i ispravljanjem kako bi pokret izgledao tečno i postigao svoj cilj. Također je uključen u motoričko učenje kako bi se smanjila vjerojatnost da će se pogreške u pokretu ponovno dogoditi u budućnosti (18).

1.1.1.4. Neuroplastičnost, engrami i mehanizam pamćenja

Neuroplastičnost je sposobnost mozga da se strukturalno i funkcionalno prilagodi kao odgovor na unutarnje ili vanjske podražaje (19). Radi se o procesu u kojem se mozak prilagođava svojoj okolini na temelju iskustva i razvoja. Zahvaljujući neuroplastičnosti, moguće je učenje i pamćenje. Temeljni mehanizmi uključeni u plastičnost mozga obuhvaćaju neurogenezu, programiranu smrt stanica i sinaptičku plastičnost koja ovisi o aktivnosti. Tijekom procesa učenja, ponavljana stimulacija sinapsi može rezultirati dugotrajnom pojačanom neurotransmisijom. Ove promjene povezane su s fizičkim izmjenama u dendritičkim trnovima i neuronskim krugovima koji utječu na krajnji ishod. Ovi isti mehanizmi u podlozi su sposobnosti rastućeg mozga da usvaja nove informacije i da se prilagodi brzo mijenjajućem okruženju, te da se, barem donekle, oporavi od ozljeda (19, 20).

Da bi mozak stvorio sjećanje, potrebno je formirati specifičan uzorak neurona povezanih snažnim vezama, koje omogućavaju sinkronizirano aktiviranje akcijskih potencijala i prisjećanje naučenog (19, 21). Taj točno određeni uzorak stanica koje zajednički okidaju akcijske potencijale stvara sjećanje u mozgu, a upravo je to ono što nazivamo fizičkim tragom sjećanja ili engramom. Neuroni koji čine engram nisu uvijek smješteni na istom mjestu, primjerice, vizualni korteks pohranjuje ono što je mozak “vidio”, dok amigdala pohranjuje emocije koje je mozak “osjetio” tijekom učenja. Dakle, engram je jedinstveni obrazac neurona koji se zajedno aktiviraju u mozgu kako bi formirali sjećanje. Ovi specifični neuroni su promijenjeni iskustvom učenja, stvarajući snažnije veze međusobno i razvijajući više dendritičkih trnova, što im olakšava komunikaciju (21).

Mehanizam pamćenja često se opisuje kao proces s više faza, uključujući kodiranje, konsolidaciju, dohvaćanje, odnosno prisjećanje i zaboravljanje. Svaka od ovih faza posredovana je neurobiološkim supstratima pamćenja, već spomenutim engramima. Prva faza kreiranja sjećanja je kodiranje. Intrinzična neuronska podražljivost, koja se definira kao sklonost neurona da generira akcijski potencijal kao odgovor na ulazni signal, ima ključnu ulogu u regrutaciji neurona u engram. Nadalje, postavlja se pitanje kako je određeno koji će točno neuroni biti dio engrama. Oni neuroni koji su najaktivniji tijekom podražaja ulaze u sustav engrama, a samu regulaciju neuronske aktivnosti tijekom kodiranja sjećanja provodi transkripcijski faktor CREB (engl. *cAMP Response Element-Binding protein*). Neuroni s povećanom razinom CREB-a preferencijalno se regrutiraju u engram, dok se neuroni s manjkom CREB-a aktivno inhibiraju tijekom prvog koraka kodiranja sjećanja (22).

Druga faza formiranja sjećanja uključuje konsolidaciju. Konsolidacija je proces koji uključuje ekspresiju gena, sintezu novih proteina i povećanje sinaptičke povezanosti između aktivnih neurona. Sinaptička konsolidacija omogućuje prelazak kratkotrajne, labilne memorije u dugotrajnu memoriju. Nadalje, neuronska reaktivacija, posebno tijekom spavanja ili tihe budnosti, pokreće ranu konsolidaciju sjećanja. Reprodukcijska aktivnost nedavno aktivnih neurona, potiče konsolidaciju sjećanja, odnosno snagu sjećanja (21). Prema tome, u praktičnom svijetu, nakon ciklusa učenja novog znanja spavanje je nužno kako bi se kreirali snažniji engrami, odnosno ponovno ponavljanje učenog doprinijet će konsolidaciji. Nakon inicijalne sinaptičke konsolidacije, tijekom razdoblja koje može trajati danima, tjednima, pa čak i mjesecima, hipokampalno ovisna komponenta sjećanja prolazi kroz intenzivnu reorganizaciju i redistribuciju. Ovaj proces omogućuje da se sjećanja pohrane i izraze na način koji ne ovisi o hipokampusu, već je više povezan s medijalnim prefrontalnim korteksom. Ona sjećanja koja su konsolidirana na razini hipokampusa su kontekst-specifična i detaljna, dok su sjećanja na razini medijalnog prefrontalnog korteksa općenitija. Kroz ponavljane stimulacije medijalnog prefrontalnog korteksa od strane hipokampusa tijekom spavanja, neokortikalno sjećanje se stabilizira i postaje neovisno o hipokampusu, a time završava konsolidaciju sustava (19, 23).

Ključan proces tijekom konsolidacije pamćenja na razini sustava je dugoročna potencijacija sinapsi (engl. *Long Term Potentiation*, LTP). LTP jača sinaptičke veze između neurona čestim aktiviranjem i smatra se da je osnovni mehanizam učenja i pamćenja. Postoji više različitih mehanizama, ali najpoznatiji uključuje glutamatni N-metil-D-aspartat (NMDA) receptore. Prvo, oslobađanje neurotransmitera glutamata aktivira receptor alfa-

amino-3-hidroksi-5-metil-4-izoksazolpropionske kiseline (AMPA). NMDA receptori, koji se nalaze blizu AMPA receptora, blokirani su magnezijevim ionom pri niskim razinama glutamata. Međutim, veća stimulacija AMPA receptora uzrokuje depolarizaciju postsinaptičkog neurona, uklanjajući blokadu NMDA receptora i dopuštajući ulazak kalcijevih iona. Ovaj unos kalcija pokreće stanične mehanizme koji dovode do sinaptičke plastičnosti (24).

Na staničnoj razini, procesi učenja i pamćenja obuhvaćaju sinaptičku transmisiju, sinaptičku plastičnost i sintezu novih proteina nakon transkripcije gena. Moždani neurotrofični faktor (engl. *Brain Derived Neurotrophic Factor*, BDNF) regulira sinaptičku funkciju i plastičnost, te dugoročnu potencijaciju koja je potrebna za formiranje pamćenja, smanjujući sinaptički zamor. BDNF i drugi neurotrofini djeluju putem specifičnih Trk receptora, aktivirajući signalne putove kao što su SHC/Grb2/Sos, ras, Raf, MEK, MAPK, PLC-g, PI3K, IP3 i PKC. Nadalje, ciklički AMP *response element-binding protein* (CREB), transkripcijski faktor poznat po svojoj ulozi u sinaptičkoj plastičnosti, ključan je posrednik za funkciju BDNF-a, osobito u kortikalnim neuronima. Također, ključnu ulogu u učenju i formiranju pamćenja imaju različiti podtipovi receptora (glutamatni, GABA_A, kolinergični, dopaminergički, serotonergički), kao i protein kinaze, MAPK put, NO, inzulin i dugolančane polinezasićene masne kiseline. MAPK put ima regulacijsku ulogu u promjenama neuronske plastičnosti i povezan je s kaskadama PKC, kalcij-kalmodulin kinaze II i PKA, koji su esencijalni za LTP i dugotrajno pamćenje. Aktivacija CREB-a i sinteza novih proteina ključni su za konsolidaciju pamćenja. Ras-MAPK signalni put nužan je za dugoročno formiranje pamćenja, a aktivacija NMDA receptora povećava intracelularne razine iona kalcija, aktivirajući Ras i ERK putem stvaranja NO, što dovodi do dugotrajnih promjena uključenih u učenje i pamćenje (25).

Treća faza je faza prisjećanja, koja se definira kao sposobnost pristupa pohranjenim sjećanjima. Postoje četiri osnovna načina na koja se informacije mogu izvući iz dugoročnog pamćenja. Uspješnost povlačenja ovisi o snazi engrama i prisutnosti učinkovitih podražaja koji potiču prisjećanje (21). Ako je prisjećanje neuspješno, to može biti zbog slabosti memorijskog traga, konkurentnih jačih tragova, ili neučinkovitih podražaja za povlačenje sjećanja. Prvi način je prisjećanje koje uključuje pristup informacijama bez ikakvih poticaja. Primjer je odgovaranje na postavljena pitanja. Drugi način je rekonstrukcija, koja podrazumijeva rekonstruiranje sjećanja koristeći logičke strukture, djelomična sjećanja ili tragove. Pisanje odgovora esejskog tipa često uključuje prisjećanje dijelova informacija i rekonstruiranje preostalih informacija na temelju tih djelomičnih sjećanja. Treća vrsta povlačenja memorije je prepoznavanje, koje

uključuje identificiranje informacija nakon ponovnog doživljaja. Na primjer, rješavanje testa s višestrukim izborom odgovora zahtijeva prepoznavanje točnog odgovora među ponuđenim. Konačno, četvrta metoda je ponovno učenje, koje uključuje ponovno učenje prethodno naučenih informacija. Ovo često olakšava prisjećanje i povlačenje informacija u budućnosti te može poboljšati snagu sjećanja (21, 26). Važno je napomenuti da će prisjećanje biti učinkovitije ako se odvija u istim okolnostima kao i tijekom formiranja sjećanja. Primjerice, pokušaj prisjećanja dok ste pod utjecajem marihuane ili alkohola vjerojatno će biti uspješniji ako je izvorni događaj također doživljen u tom stanju. Također, možemo zaključiti da je uspješnost prisjećanja povezana s ponavljanjem aktivnosti neurona koje su se dogodile tijekom kodiranja sjećanja. Drugim riječima, što više puta mozak reproducira iste obrasce aktivnosti kao tijekom učenja, to je veća vjerojatnost uspješnog prisjećanja. Primjenom ove spoznaje u stvarnom životu, možemo utvrditi istinitost izreke da je ponavljanje majka znanja (27).

Četvrta faza je zaboravljanje. Zaborav se često doživljava kao nedostatak sposobnosti prizivanja ili izražavanja ponašanja koje je ranije bilo uspješno. Prema tom gledištu, zaborav može proizaći iz nedostupnosti sjećanja, što može biti rezultat ili potpune degradacije engrama, pa to onda zovemo deficit pohrane ili privremene nedostupnosti sjećanja, odnosno deficit dohvaćanja. Jedno od osnovnih načela zaborava temelji se na neuroplastičnosti. Učenjem novih informacija, zbog svojstva neuroplastičnosti može doći do gubitka informacija koje već imamo (19, 28). Ako se sinaptičke veze koje čuvaju neko sjećanje dovoljno promijene, dolazi do zaborava. Ovo se događa jer postoji kritična točka nakon koje će sjećanje biti izgubljeno, osim ako druge sinaptičke veze ne preuzmu ulogu čuvanja sjećanja. Ovaj zaključak proizlazi iz načela specifičnosti kodiranja, gdje se vjerojatnost točnog prisjećanja smanjuje kako se sinaptičke veze mijenjaju. Zaboravljanje može biti aktivno ili pasivno. Pasivno zaboravljanje događa se kroz tri mehanizma: gubitak kontekstualnih znakova s vremenom, interferenciju tijekom prisjećanja iz sličnih sjećanja i prirodno propadanje pamćenja. Aktivno zaboravljanje uključuje tri forme: interferencijsko zaboravljanje, motivirano zaboravljanje i zaboravljanje potaknuto prisjećanjem.

Treći mehanizam aktivnog zaboravljanja uključuje zaboravne stanice i unutarnje biokemijske i molekularne puteve mozga za razgradnju pamćenja, uključujući mehanizme manipuliranja s NMDA i AMPA receptorima u kontekstu dugotrajne depresije aktivnosti (28). U okvirima molekularnih mehanizama zaboravljanja, bitno je spomenuti analogni mehanizam dugoročnoj potencijaciji. Riječ je o dugoročnoj depresiji (engl. *Long Term Depression*, LTD). LTD je

proces kojim sinaptička veza između neurona slabi, suprotstavljajući se LTP-u. Iako funkcije LTD-a nisu potpuno shvaćene, smatra se važnim i za formiranje pamćenja, mehanizmom remodeliranja sinapsi kako bi se omogućilo formiranje novih sjećanja putem LTP-a. Postoje različiti mehanizmi kako se LTD odvija, ali najbolje shvaćen od njih uključuje iste glutamatne receptore koji su uključeni u LTP; NMDA i AMPA receptore. NMDA receptore obično blokira magnezij, koji se uklanja samo ako postsinaptički neuron postane dovoljno depolariziran kao što može biti putem aktivacije AMPA receptora (24). Kada se blokada ukloni, kalcij može ući u neuron, uzrokujući daljnju depolarizaciju. Dok se LTP obično javlja nakon kratke, ali visoko intenzivne stimulacije postsinaptičkog neurona, LTD može biti uzrokovana dugotrajnom niskointenzivnom stimulacijom ili stimulacijom koja se javlja nakon aktivacije akcijskog potencijala. Umjerenom stimulacijom koja rezultira LTD-om, nema dovoljno depolarizacije da uzrokuje široko uklanjanje blokade magnezijem na NMDA receptoru. Međutim, dovoljno je da neki NMDA receptori dopuste ulazak kalcija u stanicu. Ovaj niski nivo kalcija nije dovoljan za aktivaciju enzima koji olakšavaju LTP, ali se smatra da aktiviraju mehanizam uklanjanja AMPA receptora. To smanjuje broj glutamatnih receptora na postsinaptičkom neuronu i slabi sinapsu. LTD može rezultirati i drugim promjenama koje smanjuju snagu sinapsi, poput smanjenja količine glutamata koji se oslobađa iz presinaptičkog neurona, i također može uključivati i druge receptore poput metabotropnih glutamatnih receptora ili potpuno druge neurotransmitterske receptore (29).

Dakle, možemo zaključiti da je sposobnost zaboravljanja nevažnih informacija jednako bitna kao i sposobnost zadržavanja važnih. Zaboravljanje nije nužno patološko stanje, već je riječ o neurofiziološkom mehanizmu kojim mozak sebe štiti od pretjerane količine informacija iz okoline te omogućava selektivnost sjećanja. Prema riječima znanstvenika Hardta bez zaborava, evolucijske prednosti snažnog pamćenja postale bi beskorisne, imali biste beskonačnu količinu beskorisnih stvari koje se neprestano nakupljaju, i svaki put kada biste željeli razmišljati o nečemu ključnom za vaš opstanak, poput lokacije hrane ili znakova približavanja grabežljivca, sva ta sjećanja bi se pojavila koja su potpuno besmislena i otežavala bi vam da zapravo obavite posao predviđanja što je sljedeće (30).

1.1.2. Učenje

1.1.2.1. Tehnike učenja

Raznolikost metoda i tehnika učenja među studentima odražava njihovu individualnost i preferencije u pristupu obrazovanju. Tehnike učenja definiraju se kao navike koje studenti usvajaju za percepciju, analizu i interpretaciju svog znanja (31).

Postoji niz različitih tehnika učenja koje studenti koriste kako bi najbolje usvojili i razumjeli novo gradivo. Vizualni stil učenja podrazumijeva učenje promatranjem i gledanjem, gdje studenti koriste vizualna pomagala poput grafikona, dijagrama, slika i prezentacija kako bi bolje razumjeli i zapamtili informacije. Auditivni stil učenja preferiraju studenti koji najbolje uče slušanjem; oni asimiliraju informacije kroz predavanja, diskusije, zvučne snimke i glazbu. Studenti koji koriste stil učenja čitanjem/pisanjem oslanjaju se na tiskane materijale kao što su bilješke, knjige i ostali pisani izvori. Kinestetički stil učenja uključuje učenje kroz fizičko ili praktično iskustvo, pri čemu se studenti angažiraju u laboratorijskim radovima, praktičnim vježbama i stvarnim iskustvima kako bi bolje razumjeli gradivo. Osim ovih stilova, studenti se mogu klasificirati kao unimodalni i multimodalni učenici. Unimodalni studenti preferiraju jedan modalitet učenja, dok multimodalni studenti preferiraju kombinaciju više modaliteta učenja (31, 32).

Nadalje, prema studiji Urizzola i suradnika, među studentima medicine, najpopularnija tehnika učenja je ponovno čitanje, označavanje i sažimanje, međutim kao najproduktivnija tehnika pokazala se metakognicija (33). Ova tehnika se odnosi na svijest i razumijevanje vlastitog procesa učenja, uključujući planiranje, praćenje i vrednovanje vlastitih metoda učenja. Na temelju kognitivnih principa i istraživanja, tehnike učenja poput učenja na temelju kliničkih slučajeva, simulacije kliničkog scenarija, medicine temeljene na dokazima i slično, pokazale su učinkovitost u poboljšanju učenja i pamćenja studenata medicine (34).

1.1.3. Čimbenici koji utječu na kvalitetu učenja i sposobnost pamćenja

Sposobnost studenta da pamti i uči ključna je za postizanje akademskog uspjeha. Ova sposobnost uvjetovana je različitim čimbenicima koji utječu na kvalitetu pamćenja, a mogu se svrstati u četiri kategorije: fizičke, mentalne, psihološke i vanjske. Fizički čimbenici obuhvaćaju životne navike studenta, uključujući spavanje, prehranu i tjelesnu aktivnost. Mentalni čimbenici odnose se na kognitivne sposobnosti studenta, poput koncentracije, percepcije, metoda učenja i obrade informacija. Psihološki čimbenici obuhvaćaju mentalno zdravlje, emocionalno stanje, motivaciju i samopouzdanje. Vanjski čimbenici, na koje student često nema direktan utjecaj, uključuju dostupnost resursa i uvjeta za ostvarenje samog akademskog obrazovanja. Primjerice, kvalitetna podrška iz obitelji i okoline pruža potrebne alate i motivaciju za prevladavanje akademskih izazova (35).

Interakcija svih ovih čimbenika značajno utječe na akademski uspjeh. Studenti s razvijenijim kognitivnim vještinama, višom razinom motivacije, emocionalnom stabilnošću i dobrom podrškom iz okoline češće ostvaruju bolje akademske rezultate (35).

1.1.4. Utjecaj spavanja na učenje i pamćenje

Dnevna pospanost, nedostatak i nepravilni raspored spavanja vrlo su česti među studentima. Ove loše navike spavanja dovode do nižih prosjeka ocjena, povećanog rizika od akademskog neuspjeha i narušenog raspoloženja. Pospanost je zabilježena u 50% studenata, dok 60% njih izvještava o osjećaju iscrpljenosti najmanje tri dana tjedno. Većina studenata spava manje od preporučenih osam sati, što dodatno pogoršava problem (36).

Spavanje je ključno za konsolidaciju pamćenja, posebno u stadijima spavanja koji uključuju sporovalno spavanje i REM (engl. *Rapid Eye Movement*) stadij. Tijekom sporovalnog spavanja, deklarativno pamćenje, koja obuhvaća činjenice i informacije, prolazi kroz proces konsolidacije, dok REM stadij igra ključnu ulogu u proceduralnoj memoriji, kao što je učenje vještina. Nedostatak spavanja može ozbiljno narušiti kognitivne funkcije, uključujući rad prefrontalnog korteksa, područja mozga odgovornog za više kognitivne funkcije poput donošenja odluka, rješavanja problema i kontrole impulse (35, 37).

Ekperimentalni podaci pokazuju da čak i kratkotrajna deprivacija spavanja može smanjiti učinkovitost studenata u zadacima koji zahtijevaju ove kognitivne funkcije. Istraživanja su također pokazala da su loša kvaliteta spavanja i fragmentirano spavanje povezani sa smanjenim akademskim uspjehom (37).

1.1.5. Utjecaj prehrane na učenje i pamćenje

Prema definiciji, zdrava prehrana uključuje unos makronutrijenata u pravilnim omjerima kako bi se zadovoljile energetske i fiziološke potrebe bez pretjerivanja, uz osiguranje dovoljne količine mikronutrijenata i tekućine za optimalno funkcioniranje tijela. Makronutrijenti, poput ugljikohidrata, proteina i masti, daju energiju potrebnu za svakodnevne stanične procese. Mikronutrijenti, kao što su vitamini i minerali, potrebni su u manjim količinama za pravilan rast, razvoj, metabolizam i fiziološke funkcije (38).

Omega-3 je polinezasićena masna kiselina (PNMK) koja ima važnu ulogu u kognitivnim funkcijama tijekom cijelog života. Eikozapentaenska kiselina (EPK), dokozaheksaenska kiselina (DHK) i alfa-linolenska kiselina ključne su za rad mozga. DHK, kao najzastupljenija omega-3 masna kiselina u mozgu, utječe na neurotransmitere i funkcije mozga. DHK čini preko 40% ukupnih omega-3 PNMK u neuronskom tkivu, posebno u sivoj tvari. Omega-3 masne kiseline poboljšavaju kognitivne funkcije, očuvanje neurona i pružaju zaštitu od neurodegenerativnih bolesti. Redovita konzumacija omega-3 masnih kiselina poboljšava učenje, pamćenje, kognitivno zdravlje i protok krvi u mozgu. Američka agencija za hranu i lijekove preporuča dnevni unos od 3 grama omega-3 masne kiseline (39).

Vitamini i minerali imaju ključnu ulogu u sintezi neurotransmitera, razvoju i održavanju neuronskih membrana, kao i u modifikaciji receptora u mozgu, što ima očite posljedice za aktivaciju mozga i kognitivne funkcije (38, 40). Njihova dugotrajna povezanost s proizvodnjom stanične energije prevodi se u funkcionalne i fiziološke učinke u ljudi, uključujući percipirani fizički i mentalni umor, kao i psihičke i kognitivne funkcije. Posebno su važni vitamini B skupine, vitamin C, željezo i magnezij, jer su neophodni za ekstrakciju energije iz hrane i njezino fiziološko korištenje. Vitamin C također igra ključnu ulogu u kontroli oksidacijskog stresa kroz antioksidativnu obranu organizma (40).

Na kraju, postoje dokazi koji ukazuju na povoljan učinak antocijanina, flavonoida i kurkuminoida na epizodno i radno pamćenje, no oni su još uvijek ograničeni (41).

1.1.6. Ostali čimbenici koji utječu na učenje i pamćenje

Inteligencija se može opisati kao sveobuhvatna mentalna sposobnost za rezoniranje, rješavanje problema i učenje. Kao takva, inteligencija uključuje različite kognitivne funkcije, uključujući percepciju, pažnju, pamćenje, jezik i planiranje. Zbog varijacija u kvocijentima inteligencije, postoje značajne individualne razlike u sposobnosti rezoniranja, rješavanja problema i učenja, što rezultira različitom sposobnošću ljudi da se nose s izazovnim situacijama. Ove razlike postaju izraženije povećanjem složenosti kognitivnih zadataka, stabilne su tijekom vremena i djelomično su pod utjecajem genetskih čimbenika (42).

Prema istraživanju o utjecaju samopouzdanja na akademski uspjeh provedenom na studentima iz ruralnih područja Kine, temeljenom na Rosenbergovoj ljestvici samopoštovanja, pokazano je da postoji snažna pozitivna korelacija između samopoštovanja i akademskog uspjeha. Povećanje rezultata na ljestvici samopoštovanja za jednu standardnu devijaciju povezano je s povećanjem rezultata na standardiziranim matematičkim testovima za 0,12 standardnih devijacija. Učenici s niskim samopoštovanjem imali su niže rezultate na matematičkim testovima za 0,14 standardnih devijacija. Dakle, može se zaključiti da samopouzdanje značajno doprinosi akademskom uspjehu studenata (43).

Nisko samopouzdanje također je usko povezano s lošijim mentalnim zdravljem. Pokazalo se da nisko samopouzdanje, u kombinaciji s lošom kvalitetom spavanja, vodi do nižih akademskih postignuća i viših razina depresije, anksioznosti i stresa (37, 44).

Stres je svakodnevna pojava među studentima i ima značajan utjecaj na njihovo mentalno zdravlje i akademski uspjeh. Ispitni periodi posebno su stresne faze koje negativno utječu na kvalitetu spavanja, opću dobrobit i akademska postignuća. Studenti često pate od fizioloških i psiholoških problema uzrokovanih stresom, što može negativno utjecati na njihov akademski uspjeh. Tijekom ispitnih razdoblja, razine stresa su visoke, što rezultira lošom kvalitetom spavanja i niskom općom dobrobiti, a to je također povezano s lošijim akademskim postignućima (45).

Za studente medicine, postizanje uspjeha na akademskom planu ključno je zbog zahtjeva intenzivnih medicinskih programa koji kombiniraju klinički rad i teorijske predmete. Motivacija igra ključnu ulogu u tom procesu, s unutarnjom motivacijom koja proizlazi iz strasti prema medicinskoj znanosti i želje za postizanjem medicinskog stupnja, dok vanjska motivacija potiče težnju ka materijalnoj nagradi i društvenom priznanju (46).

Osim toga, samoučinkovitost, koja označava vjeru studenata u vlastite sposobnosti postizanja ciljeva, također je važan čimbenik. Motivacija potiče kontinuirano učenje, postavljanje ciljeva i prevladavanje izazova tijekom obrazovnog puta, a istraživanja sugeriraju da i unutarnja i vanjska motivacija utječu na samoučinkovitost, koja pak pozitivno utječe na akademski uspjeh (46, 47). Ipak, samoučinkovitost sama po sebi ne garantira uspjeh, ali je bitan prediktor, dok motivacija igra ključnu ulogu u poticanju vjerovanja u uspjeh i stavova koji doprinose postizanju akademskog uspjeha (47).

1.2. Holistički pristup sa svrhom poboljšanja akademskog uspjeha

Holistički pristup integrira tjelesne, emocionalne, mentalne i socijalne aspekte kako bi se postigli optimalni rezultati u učenju i akademskom uspjehu. Prema tome ključni elementi uključuju zdrav način života, emocionalnu dobrobit, strukturirano vrijeme i upravljanje prioritetima, raznolikost učenja, samosvijest i samoanalizu te socijalnu interakciju. Kohortna studija Jia i suradnika pokazala je kako je zdrav način života povezan s usporenim smanjenjem pamćenja. Dakle, kroz naglasak na tjelesno zdravlje, emocionalnu stabilnost, strukturirano vrijeme, raznolikost učenja, samosvijest i socijalnu interakciju, holistički pristup podupire cjeloviti razvoj studenata. Ova sveobuhvatna metoda učenja ne samo da potiče akademski uspjeh već i razvija vitalne vještine za osobni i profesionalni rast. Stvaranje ravnoteže između tjelesnih, emocionalnih, mentalnih i socijalnih aspekata omogućuje studentima da postignu optimalne rezultate u učenju i izvan njega (48).

1.3. Tjelesna aktivnost

1.3.1. Sinteza energijski važnih molekula i energijski sustavi

Oksidacijom hranjivih tvari, ugljikohidrata, bjelančevina i masti, u mitohondrijima nastaju ugljikov dioksid i voda te se oslobađa energija. Oslobodena energija koristi se za sintezu energijski bogatog spoja adenzin-trifosfata (ATP). ATP je nukleotid sastavljen od dušične baze adenina, pentoznog šećera riboze i triju fosfatnih radikala. Posljednja dva fosfatna radikala povezana su s ostatkom molekule preko tzv. energijom bogatih fosfatnih veza. Svaka od tih veza sadrži oko 30,5 kJ energije po molu ATP u standardnim uvjetima i 50 kJ energije po molu ATP u fizičkim i kemijskim uvjetima u tijelu, a to je mnogo više od energije pohranjene u prosječnoj kemijskoj vezi ostalih organskih spojeva.

Energijom bogata fosfatna veza vrlo je nestabilna u vodi što omogućuje brzo razdvajanje veza i oslobađanje energije kad god je tijelu potrebna energija za stanične reakcije. ATP služi za namicanje energije u gotovo svim unutarstaničnim metaboličkim reakcijama. Osim za mišićnu kontrakciju, daje energiju za sintezu staničnih sastojaka, za aktivni prijenos tvari kroz membrane, lučenje iz žlijezda i za živčanu vodljivost. Kada ATP otpušta svoju energiju, odcjepljuje se radikal fosforne kiseline i nastaje adenzin-difosfat (ADP). Ponovno, razgradnjom hranjivih tvari oslobodit će se energija koja će omogućiti vezanje ADP i iona fosforne kiseline. Stoga, ATP se neprestano troši i nanovo stvara, a taj obrtaj obično traje samo nekoliko minuta (48).

Općenito, glavni je izvor energije za stanični metabolizam glukoza. Glukoza se razgrađuje u tri uzastopna procesa: glikoliza, ciklus limunske kiseline (Krebsov ciklus) i oksidativna fosforilacija (49). Glikoliza je metabolički proces razgradnje glukoze koji se odvija u citoplazmi stanica. Može se odvijati u aerobnim i anaerobnim uvjetima, što čini ugljikohidrate jedinom važnom hranjivom tvari od koje se energija može dobivati bez utroška kisika (48). U aerobnim uvjetima glukoza se razgrađuje na pirogrožđanu kiselinu. Tada je količina proizvedenog ATP-a niska. Stoga se anion pirogrožđane kiseline, piruvat, pretvara u acetil koenzim A (acetyl-CoA) koji potom ulazi u mitohondrije u kojima se odvija ciklus limunske kiseline i oksidativna fosforilacija. Za vrijeme ciklusa limunske kiseline proizvodi se nikotinamid adenin dinukleotid hidrogen (NADH). Nadalje, za vrijeme oksidativne fosforilacije, kompleksi dišnog lanca koriste NADH za stvaranje protonskog gradijenta preko unutarnje membrane mitohondrija i na taj se način proizvode velike količine ATP-a (49). U konačnici, razgradnjom jedne molekule glukoze aerobnim metabolizmom nastaju 32 molekule ATP-a. U anaerobnim uvjetima piruvat ostaje u citoplazmi i konvertira se u laktat. Dakle, razgradnjom jedne molekule glukoze anaerobnim metabolizmom nastaju dvije molekule ATP-a (50). Osim glukoze, moguća je i razgradnja glikogena u anaerobnim uvjetima pri čemu razgradnjom jedne molekule glikogena nastaju 3 molekule ATP. Razgradnjom proteina i lipida također nastaje acetyl-CoA koji ulazi u mitohondrije kako bi se obavio ciklus limunske kiseline i oksidativna fosforilacija. Dakle, oksidacijom hranjivih tvari u mitohondrijima nastaje 95% ukupnog ATP-a, a ostalih 5% nastaje pomoću energije oslobođene za vrijeme glikolize u citoplazmi (51).

Osim molekula ATP-a, postoje i druge molekule koje sadrže energijom bogate fosfatne veze. Jedna od takvih molekula je molekula fosfokreatin. Količina fosfokreatina tri do osam

puta veća je od količine ATP-a u stanici. Energijom bogata fosfatna veza fosfokreatina sadržava 32 kJ energije po molu fosfokreatina u standardnim uvjetima i 54 kJ energije po molu fosfokreatina u fiziološkim uvjetima. Za razliku od ATP-a, fosfokreatin ne prenosi izravno energiju između hranjivih tvari i funkcionalnih staničnih sustava, no može razmjenjivati energiju s ATP-om. Njegove dvije glavne uloge su te da djeluje kao dodatni spremnik energije i kao puferski sustav za ATP (48). Ukoliko su u stanici dostupne veće količine ATP-a, veći se dio njegove energije iskorištava za sintezu fosfokreatina na način da se visokoenergetski fosfat odvaja od molekule ATP koja je nastala kao rezultat oksidativne fosforilacije u mitohondrijima i prenosi na molekulu kreatina. Kao rezultat nastaje molekula fosfokreatina i ADP. Na taj se način stvara dodatna zaliha energije koja se može brzo mobilizirati. Stoga, ukoliko mišići trebaju energiju za kontrakciju ili druge metaboličke procese, enzim kreatin kinaza prisutan u citoplazmi stanica katalizira transfer fosfatne skupine s fosfokreatina na ADP, tvoreći ATP. Ovaj proces je vrlo brz i omogućuje mišićima da brzo obnove ATP kad je potrebno (52). Fosfokreatin također djeluje kao puferski sustav za održavanje koncentracije ATP-a u mišićima. Kao što je već navedeno, kada se ATP počne trošiti, energija iz fosfokreatina brzo se prenosi u ATP, a zatim u sve djelatne stanične sustave. Tako da kada i najmanje količine ATP-a potroše svoju energiju, viša energetska razina fosfatne veze u molekuli fosfokreatina brzo pomiče reakciju između fosfokreatina i ADP-a u korist nastanka novog ATP-a. Dakle, dokle god u stanici ima fosfokreatina, količina ATP-a bit će postojana (52, 53).

Neposredni izvor energije za kontrakciju mišića dolazi od hidrolize ATP-a. Budući da maksimalna koncentracija ATP-a u mišićima iznosi oko 5 mmol/L stanične tekućine, što je veoma nisko, postoje regulatorni mehanizmi koji sprječavaju njegovu potpunu degradaciju (54). Postoje tri različita, ali usko integrirana procesa koji radeći zajedno nastoje zadovoljiti energetske potrebe mišića. Svaki fiziološki proces služi različitim vrstama fizičkog napora. Ovi fiziološki procesi poznati su kao energijski sustavi: anaerobni sustav koji se dijeli na alaktični anaerobni sustav i laktični anaerobni sustav te aerobni sustav (55).

Prvi proces, alaktični anaerobni sustav uključuje iskorištavanje ATP-a već prisutnog u mišićnim stanicama te cijepanje visokoenergetskih fosfagena poput fosfokreatina. Na ovaj način organizam osigurava neposrednu energiju u početnim fazama intenzivnog i eksplozivnog vježbanja (55). Količina ATP-a prisutna u mišićima, čak i u dobro treniranih sportaša, dovoljna je za održavanje maksimalne mišićne snage samo otprilike tri sekunde. Stoga nužno je, osim u prvih nekoliko sekunda trajno stvaranje novog ATP-a čak i tijekom kratkotrajnog vježbanja.

Količina fosfokreatina u mišićnoj stanici veća je tri do osam puta od količine ATP-a. Dakle, iskorištavanjem staničnog fosfokreatina, trajanje maksimalne mišićne kontrakcije iznosi pet do deset sekunda (54).

Drugi proces, laktični anaerobni sustav, uključuje anaerobnu razgradnju ugljikohidrata. Prvenstveno glikogen iz mišića procesom glikogenolize razlaže se na glukozu koja dalje ulazi u proces anaerobne glikolize te kao produkt nastaje mliječna kiselina (55). U optimalnim uvjetima laktični anaerobni sustav može osigurati dodatnih 1,3 – 1,6 minuta maksimalnog mišićnog rada (54). Ovi procesi omogućuju brzo obnavljanje ATP-a, što rezultira velikom izlaznom snagom mišića. Međutim, kapacitet anaerobnog sustava ograničen je količinom energije koja se može osloboditi tijekom jedne vježbe. Naglo smanjenje pohranjenog fosfokreatina i nakupljanje mliječne kiseline s popratnim smanjenjem pH dovodi ili do prestanka fizičke aktivnosti ili do prisilnog smanjenja mišićnog rada.

Treći proces, aerobni ili oksidativni metabolizam, uključuje razgradnju ugljikohidrata, masti i u određenim okolnostima proteina uz prisutnost kisika. Nasuprot anaerobnim procesima ovaj energijski sustav sposoban je proizvesti jako velike količine ATP-a, ali brzina je ograničena. Brzina proizvodnje ATP-a osim o brzini oksidativne fosforilacije ovisi o dišnom te kardiovaskularnom sustavu pojedinca, odnosno o dopremi kisika u mišić (55).

Dakle, maksimalna brzina stvaranja ATP-a, izražena u molovima ATP-a u minuti, veća je u anaerobnim mehanizmima za razliku od aerobnih mehanizama: alaktični sustav namiče 4, laktični sustav namiče 2,5, a aerobni sustav namiče 1 mol ATP-a u minuti. Međutim, izdržljivost aerobnog sustava veća je od izdržljivosti anaerobnog sustava. Kao što je prethodno navedeno, održavanje maksimalne mišićne snage alaktičnim sustavom traje 8 do 10 sekunda, laktičnim sustavom 1,3 do 1,6 minuta, a aerobnim sustavom neograničeno, tj. dok postoje hranjive tvari na raspolaganju. Dakle, za postizanje velike mišićne snage tijekom nekoliko sekunda iskorištava se alaktični sustav, a pri dugotrajnom naporu aerobni sustav. Između njih nalazi se laktični sustav koji je posebice važan kao dodatni izvor energije pri tjelovježbi srednjeg intenziteta (54). Nakon intenzivnog mišićnog rada oko 4/5 mliječne kiseline oksidacijskim se metabolizmom pretvara glukozu, a ostatak se pretvara u pirogrožđanu kiselinu, koja se razgrađuje i oksidira u ciklusu limunske kiseline. Pretvorba u glukozu zbiva se prvenstveno u jetrenim stanicama, odakle se krvlju vraća u mišiće, gdje se ponovno pohranjuje u obliku glikogena (53).

1.3.2. Fiziologija sporta

Poznato je da se pri treningu s opterećenjem povećava mišićna sila, a samim time dolazi do povećanja mišićne mase, što zovemo hipertrofija mišića. Hipertrofija je posljedica povećanja promjera vlakana, a tek neznatno povećanja broja vlakana. Također unutar hipertrofiranog mišića dolazi do povećanja aktivnosti mitohondrijskih enzima, povećanja spojeva fosfagenkog sustava uključujući ATP i fosfokreatin i povećanje zaliha glikogena te masti. Zbog navedenih promjena povećava se sposobnost anaerobnog i aerobnog metaboličkog sustava. Dakle, za vrijeme mišićnog rada raste potrošnja kisika, a samim time mišićima je potrebna i veća doprema kisika. Doprema kisika ograničena je dišnim i kardiovaskularni sustav. VO_2max označava maksimalni volumen kisika koji organizam troši pri maksimalnom aerobnom metabolizmu. Označava gornju granicu izdržljivosti sportaša. Dakle, sportaš ne može raditi iznad 100% VO_2max dulje vrijeme. Za vrijeme tjelovježbe raste plućna ventilacija. Budući da je maksimalni volumen disanja gotovo 50% veći od stvarne plućne ventilacije tijekom maksimalnog mišićnog rada, pri normalnim okolnostima dišni sustav nije glavni ograničavajući čimbenik za dopremu kisika tijekom maksimalnog mišićnog aerobnog metabolizma. Za vrijeme tjelovježbe općenito povećava se protok krvi kroz mišiće, a tijekom maksimalnog mišićnog rada povećava se oko 25 puta. Gotovo polovica tog povećanog protoka posljedica je vazodilatacije uzrokovane povećanim mišićnim metabolizmom, a drugi dio povećanja nastaje zbog porasta arterijskog tlaka koji ne samo da potiskuje veću količinu krvi nego i dodatno smanjuje žilni otpor. Također raste i srčani minutni volumen. Srčani minutni volumen umnožak je srčane frekvencije i udarnog volumena. Tijekom napornog mišićnog rada povećanje srčane frekvencije mnogo više pridonosi porastu srčanog minutnog volumena nego porast udarnog volumena. Važno je naglasiti da u normalnim okolnostima, kardiovaskularni sustav mnogo jače ograničava VO_2max nego dišni sustav zbog toga što veličina iskorištenja kisika u tijelu ne može biti veća od veličine dopreme kisika u tkiva putem kardiovaskularnog sustava (54, 56).

1.3.3. Tjelovježba

Tjelesna aktivnost definira se kao bilo koji tjelesni pokret koji proizvode skeletni mišići koji rezultira utroškom energije. Potrošnja energije mjeri se u kilokalorijama (kcal) (57). Tjelovježba je podklasifikacija tjelesne aktivnosti, a prema definiciji to bi bila planirana, strukturirana i ponavljajuća aktivnost te rezultira poboljšanjem ili održavanjem tjelesne kondicije. To su aerobne i anaerobne aktivnosti koje se mogu razlikovati po učestalosti, trajanju i intenzitetu (58).

Intenzitet tjelovježbe odnosi se na razinu napora i energije koji se ulaže tijekom izvođenja određene aktivnosti. Postoje tri razine intenziteta: niski, umjereni i visoki intenzitet. Da bi mogli izračunati realan intenzitet vježbanja potrebno je definirati maksimalnu srčanu frekvenciju, a ona se računa tako da se dob oduzme od 220. Za vrijeme tjelovježbe niskog intenziteta postiže se 57 – 63% maksimalne srčane frekvencije te osobe. Dakle, ovaj oblik tjelovježbe uzrokuje nešto malo ili nimalo ubrzanje disanja i/ili otkucaja srca. Za to je vrijeme osoba u mogućnosti pričati ili pjevati. Sporo hodanje, kupovina, lakši kućanski poslovi poput pranja suđa i peglanja neki su od oblika tjelovježbe niskog intenziteta. Za vrijeme tjelovježbe umjerenog intenziteta postiže se 64 – 75% maksimalne srčane frekvencije te osobe i za to je vrijeme osoba u mogućnosti pričati, ali ne i pjevati. Neki od primjera tjelovježbe umjerenog intenziteta uključuju brzo hodanje (oko 5 km/h), rekreacijski biciklizam, slobodno plivanje, igranje tenisa u parovima, itd. Za vrijeme tjelovježbe visokog intenziteta postiže se 76 – 95% maksimalne srčane frekvencije te osobe i za to vrijeme osoba nije u mogućnosti ni pjevati ni pričati. Neki od oblika tjelovježbe visokog intenziteta bili bi trčanje, plivanje u kontinuiranim krugovima, igranje tenisa, košarke, nogometa, rolanje, preskakanje užeta itd. Također, treba imati na umu da se razine intenziteta ovih aktivnosti mogu razlikovati od pojedinca do pojedinca, ovisno o uloženom trudu i razini kondicije (59).

Na temelju težine i trajanja neke sportske discipline možemo zaključiti koji energijski sustav organizam upotrebljava za tu aktivnost. Npr. sprint na 100 m, skakanje ili dizanje utega koriste isključivo alaktični sustav, dok npr. sprint na 200 m koristi alaktični u kombinaciji s laktičnim. Sprint na 400 m, plivanje na 100 m koriste uglavnom laktični sustav. Sprint na 800 m, plivanje na 200 m, trčanje 1500 m, plivanje 200 m koriste laktični sustav u kombinaciji s aerobnim, dok se uglavnom aerobni sustav koristi za aktivnosti poput trčanja maratona, rekreacijskog trčanja, skijaškog trčanja u prirodi itd. (54).

Međutim nakon prelaska anaerobnog praga (oko 85% f_{max}) ponovno dolazi do tranzicije na anaerobni metabolizam i do nakupljanja laktata. Dakle, trening izdržljivosti povezan je s poboljšanim kapacitetom za aerobni metabolizam i otpornosti na umor, dok je trening snage povezan s mišićnom hipertrofijom i povećanim kapacitetom generiranja sile. Intervalni trening uglavnom obuhvaća obje komponente, a definira se kao isprekidana razdoblja intenzivne vježbe i razdoblja oporavka (60).

Trenutne su preporuke za tjelesnu aktivnost u odraslih sljedeće: 150 – 300 minuta tjedno tjelovježbe umjerenog intenziteta, 75 – 150 minuta tjedno aerobne tjelovježbe visokog intenziteta ili ekvivalentna kombinacija aerobne tjelovježbe umjerenog i visokog intenziteta. Odrasli bi također trebali uključiti aktivnosti jačanja mišića umjerenog ili većeg intenziteta koje uključuju sve glavne mišićne skupine dva ili više dana u tjednu. Starije osobe trebale bi vježbati i ravnotežu zbog prevencije padova barem tri puta tjedno. Djeca i adolescenti trebali bi provoditi najmanje jedan sat umjerene do snažne tjelovježbe dnevno, a to uključuje aerobnu aktivnost visokog intenziteta barem tri dana u tjednu. Također bi u tu tjelovježbu trebalo uključiti vježbe snage i istezanje (61).

1.3.3.1. Dobrobiti tjelovježbe

Tjelovježba ima pozitivan učinak na zdravlje općenito (mentalno i fizičko) i na mozak te na moždane funkcije.

Mnoga istraživanja pokazala su da dugoročna, posebice aerobna tjelovježba utječe na plastičnost mozga i kognitivne funkcije zbog toga što izaziva strukturne i funkcionalne promjene mozga (62). Međutim, provedena su također i brojna istraživanja koja su pokazala da akutna tjelovježba, odnosno jedan ciklus tjelovježbe ima mali učinak na strukturne i funkcionalne promjene mozga koje su zaslužne za bolje kognitivno funkcioniranje. Dakle dok dugotrajna tjelovježba poboljšava ukupnu kognitivnu sposobnost i štiti od neurodegenerativnih bolesti, akutna tjelovježba zaslužna je za kratkoročne dobrobiti poput dobrog raspoloženja te trenutnog poboljšanja pažnje i kognitivnih funkcija (63).

Za vrijeme tjelovježbe dolazi do lučenja centralnih i perifernih neurotrofnih faktora poput BDNF-a zaslužnih za strukturne promjene mozga. BDNF je protein koji se prvenstveno luči u središnjem živčanom sustavu gdje utječe na neurogenezu, rast aksona i sinaptogenezu u hipokampusu. Posljedično tome dolazi do povećanje volumena sive tvari u frontalnim i

hipokampalnim područjima (58, 62, 64). BDNF luči se i na periferiji od strane živčanog tkiva, ali i u skeletnim mišićima. U perifernim tkivima, BDNF zaslužan je za regulaciju metaboličkih putova poput metabolizma glukoze i oksidacije masnih kiselina. Utjecaj perifernog BDNF-a na središnji živčani sustav još uvijek nije u potpunosti razjašnjen, budući da se još uvijek osporava prelazi li BDNF krvno-moždanu barijeru (58, 64). Međutim, Erickson i sur. u svom istraživanju pokazali su da je povećan volumen hipokampusa povezan s višim razinama BDNF-a u serumu. Dakle, prema njihovom istraživanju aerobna tjeleježba dovodi do povećanja volumena hipokampusa za 2% i učinkovito smanjuje gubitak njegovog volumena starenjem za jednu do dvije godine (65). Aerobna tjeleježba također uzrokuje promjene moždane vaskularizacije i promjene protoka krvi kroz mozak, što rezultira boljom opskrbom kisikom i hranjivim tvarima (64).

Što se funkcionalnih promjena mozga tiče, tjeleježba je zaslužna za povećanje akademskih postignuća posebice u djece, poboljšanje kognitivnih sposobnosti poput učenja, pamćenja, pozornosti i izvršnih procesa, te za prevenciju kognitivnog propadanja i smanjenje rizika razvoja demencije (62). Brojni čimbenici utječu na ovakve promjene uključujući strukturne promjene, lučenje neurotrofnih faktora, stvaranje određenih metabolita, povećanje broja i učinkovitosti mitohondrija, modifikaciju topografije mreže i lučenje neurotransmitera. Same strukturne promjene u pozitivnoj su korelaciji sa funkcionalnim promjenama. Dakle, povećanjem volumena određenih dijelova mozga, pri čemu sudjeluju neurotrofni faktori, povećava se njihova funkcija (64). U jednoj od svojih studija, Erickson i sur. mjerili su razine N-acetilaspargata (NAA) u frontalnom korteksu koristeći magnetsku spektroskopiju u zdravih, starijih odraslih. NAA je specifični metabolit živčanog sustava koji se predominantno nalazi u tijelima neurona, a općenito se smatra markerom održivosti neurona. Pokazali su pozitivnu korelaciju između razina NAA u frontalnom korteksu i aerobne tjeleježbe (66). Nadalje, povećanjem broja mitohondrija za vrijeme tjeleježbe poboljšava se sposobnost stanica za proizvodnju energije. Za vrijeme proizvodnje energije oksidativnom fosforilacijom, dio elektrona može reagirati s molekulama kisika i tako stvoriti reaktivne kisikove radikale. U velikim koncentracijama slobodni radikali izazivaju stanični stres. Prema tome, adekvatna funkcija mitohondrija važna je zbog zaštite mozga od oksidativnog stresa koji je uzrok brojnih neurodegenerativnih bolesti poput Alzheimerove ili Parkinsonove bolesti (67). Nedavna su istraživanja dokazala da tjeleježba povećava povezanost između hipokampusa i prednjeg cingularnog korteksa. Također jača povezanost unutar navedene mreže i frontalne izvršne

mreže (64). Kao rezultat dolazi do poboljšanja kognitivnih funkcija, veće učinkovitosti izvršnih funkcija kao što su planiranje, donošenje odluka, kontrola impulsa itd., i poboljšanje regulacije emocija (64, 68). Neke su studije pokazale da akutna tjelovježba uzrokuje trenutne promjene u razinama dopamina, serotonina, noradrenalina, acetilkolina, gama-aminomaslačnoj kiselini (GABA) i glutamatu na način specifičan za područje mozga (69-71). Nakon akutne tjelovježbe, dokazano je njihovo nakupljanje u mozgu, međutim nakon određenog vremena ponovno dolazi do njihova pada. Stoga se smatra da akutno mogu djelovati na učenje i pamćenje te da imaju ulogu u postizanju boljeg raspoloženja (69-71).

Nadalje, dokazano je da tjelovježba smanjuje rizik za razvoj krvožilnih bolesti zbog toga što održava umjereno nižu razinu krvnog tlaka, smanjuje koncentraciju kolesterola i lipoproteina male gustoće u krvi, a povećava razinu lipoproteina velike gustoće u krvi. Također tjelovježba povećava srčanu rezervu povećanjem srčanog minutnog volumena. Isto tako, smanjuje rizik od različitih kroničnih metaboličkih poremećaja kao što su npr. metabolički sindrom i šećerna bolest tipa 2. Dokazano je također da smanjuje rizik od nekih malignih oboljenja poput raka dojke, prostate i raka debelog crijeva (54).

1.4. Sjedilački način života

Prema Svjetskoj Zdravstvenoj Organizaciji, 60 do 85% ljudi u svijetu (iz razvijenih zemalja i zemalja u razvoju) vodi sjedilački način života što ga čini jednim od ozbiljnijih javnozdravstvenih problema. Isto tako, procjenjuje se da gotovo dvije trećine djece nisu dovoljno aktivna, što može imati ozbiljne posljedice za njihovo buduće zdravlje (72).

U posljednje vrijeme, mnogo ljudi vodi ovakav stil života prvenstveno zbog zanimanja koje zahtjeva dugotrajno sjedenje poput npr. rada u uredu, nadalje zbog nedostatka raspoloživog prostora adekvatnog za tjelovježbu, zatim zbog sve većeg pronalaženja zabave u elektroničkim uređajima poput računala, televizije i mobitela. Sjedilački način života djeluje na različite načine na ljudski organizam. Upravo su zbog toga zdravstveni problemi povezani sa sjedilačkim načinom života u porastu. Sjedilački način ponašanja smanjuje aktivnost lipoproteinske lipaze, smanjuje mišićnu glukozu, pogoršava metabolizam lipida i smanjuje metabolizam ugljikohidrata, povećava inzulinsku rezistenciju, smanjuje aktivnost prijenosnika proteina. Nadalje, smanjuje srčani minutni volumen i aktivira simpatički živčani sustav. Dakle, zbog širokog raspona štetnih učinaka na ljudsko tijelo puno je češća pojavnost kardiovaskularnih bolesti, hipertenzije, dislipidemije, malignih bolesti, metaboličkih

poremećaja poput šećerne bolesti tipa 2 i metaboličkog sindroma, mišićno-koštanih poremećaja kao što su artralgiya i osteoporoza, zatim depresije i kognitivnog oštećenja (73).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja:

Cilj ovog istraživanja bio je istražiti postoji li povezanost razine fizičke aktivnosti s akademskim uspjehom studenata medicine pomoću međunarodnog upitnika o tjelesnoj aktivnosti (engl. *International Physical Activity Questionnaire*, IPAQ).

Hipoteze:

1. Studenti koji su redovito fizički aktivni postižu bolji akademski uspjeh.
2. Studenti koji se bave tjelesnom aktivnošću visokog intenziteta ostvaruju bolji akademski uspjeh.
3. Studenti koji više vremena u danu provode sjedeći imaju nižu razinu tjelesne aktivnosti.

3. ISPITANICI I POSTUPCI

3.1. Etička načela

Ovo istraživanje odobrilo je Etičko povjerenstvo Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Splitu (Klasa: 029-01/24-02/0001, Ur.br.: 2181-198-03-04-24-0032).

3.2. Ispitanici

U ovom presječnom istraživanju sudjelovalo je 216 studenata svih šest godina studija Medicinskog fakulteta u Splitu. Od ukupno 216 sudionika, 57 (26,39%) su bili muškarci, 156 (72,22%) žene, dok se troje studenata nije izjasnilo o spolu. Srednja dob sudionika bila je $22,03 \pm 248$ godina. Svi ispitanici osim jednoga pripadali su bijeloj rasi.

Podaci su prikupljeni putem strukturiranog digitalnog upitnika kreiranog u Google obrascu (Prilog 1). Proces prikupljanja podataka bio je potpuno anonimn. Sudionici su dali svoj informirani pristanak za sudjelovanje nakon što su pročitali informirani pristanak i potvrdili sudjelovanje klikom na odgovarajuću opciju na početku upitnika. Period prikupljanja podataka trajao je od 1. ožujka do 21. lipnja 2024. godine. Ispitivanje je inicijalno distribuirano putem internetskih mreža, no zbog nedovoljnog odaziva, bilo je potrebno dolaziti studentima na nastavu kako bi ih direktno zamolili za sudjelovanje u istraživanju.

3.3. Upitnici

Prvi dio upitnika prikupljao je opće podatke o ispitanicima, uključujući demografske i antropometrijske karakteristike (dob, spol, rasa, godina i trajanje studija, prosjek ocjena, tjelesna visina i težina, te podatak o kroničnim bolestima studenata).

Slijedio je drugi dio upitnika, u kojem smo koristili dugu varijantu međunarodnog upitnika o tjelesnoj aktivnosti (engl. *International Physical Activity Questionnaire*, IPAQ). IPAQ je standardizirani instrument za procjenu tjelesne aktivnosti odraslih osoba posljednjih sedam dana. Duga varijanta upitnika sastoji se od pet domena pitanja. Prva skupina pitanja obuhvatila je pitanja o tjelesnim aktivnostima vezanim uz posao, ukoliko ga studenti imaju uz studiranje. Druga skupina pitanja je istraživala fizičku aktivnost u kontekstu prijevoza, odnosno način dolaska s jednog mjesta na drugo. Treća skupina pitanja odnosila se na kućanske poslove i poslove u dvorištu i vrtu, dok je četvrta skupina obuhvaćala rekreaciju, sport i fizičke aktivnosti u slobodno vrijeme. Konačno, peta skupina pitanja fokusirala se na vrijeme koje su studenti provodili sjedeći tijekom radnog dana i vikenda.

IPAQ upitnik se boduje tako da se prikupljeni podaci o tjelesnoj aktivnosti ispitanika pretvaraju u ukupne vrijednosti izražene u MET-minutama (metabolički ekvivalenti). Metabolički ekvivalent je jedinica koja mjeri potrošnju energije tijekom određene fizičke aktivnosti. Standardizirane prosječne MET vrijednosti za različite vrste aktivnosti su: hodanje = 3,3 MET-a, umjerena aktivnost = 4,0 MET-a i intenzivna aktivnost = 8,0 MET-a. Ove vrijednosti koriste se za izračunavanje MET-minuta tjedno za hodanje, umjerene i intenzivne aktivnosti te ukupnu tjelesnu aktivnost. Na temelju rezultata, ispitanici se svrstavaju u tri kategorije prema razini fizičke aktivnosti. Studenti koji nisu bili dovoljno aktivni prema standardiziranoj ljestvici svrstani su u kategoriju niske fizičke aktivnosti. Studenti koji su ispunili jedan od sljedećih kriterija: najmanje 3 dana intenzivne aktivnosti u trajanju od najmanje 20 minuta dnevno; najmanje 5 dana umjerene aktivnosti i/ili hodanja u trajanju od najmanje 30 minuta dnevno; ili najmanje 5 dana bilo koje kombinacije hodanja, umjerene ili intenzivne aktivnosti s ukupno najmanje 600 MET-minuta tjedno, svrstani su u kategoriju umjerene razine aktivnosti. Studenti koji su postigli najmanje 3 dana tjedno intenzivne aktivnosti s ukupno najmanje 1500 MET-minuta tjedno; ili najmanje 7 dana bilo koje kombinacije hodanja, umjerene ili intenzivne aktivnosti s ukupno najmanje 3000 MET-minuta tjedno, ubrojeni su u kategoriju visoke razine fizičke aktivnosti.

3.4. Statistička analiza

Nakon provedenog anketiranja, svi prikupljeni odgovori ispitanika iz Google obrasca su preneseni, pregledani, organizirani i protokolirani u program Microsoft Excel za Windows, verzija 11.0 (Microsoft Corporation, Washington, SAD). Statistička analiza podataka provedena je u Excelu i MedCalcu za Windows, verzija 19.1.2 (MedCalc Software, Mariakerke, Belgija). Numeričke varijable prikazane su srednjom vrijednošću i standardnom devijacijom, dok su kategorijske varijable prikazane apsolutnim i relativnim učestalostima. Za statističku analizu korišteni su χ^2 test, Fisherov egzaktni test za male učestalosti, te ANOVA. Statistički značajnom smatrana je P vrijednost $<0,05$.

4. REZULTATI

U istraživanje je uključeno 216 studenata Medicinskog fakulteta, od kojih je 57 muškarca (26,39%) i 156 žena (72,22%, Tablica 1), te 3 ispitanika koji se nisu izjasnili ni kao muškarac ni kao žena. Zbog malog udjela ispitanika (1,39%), u pitanju izjašnjavanja prema spolu kategorija ostalo nije navedena u Tablici 1. Ispitanici su podijeljeni u tri skupine na temelju rezultat na IPAQ upitniku. Prvu skupinu čine oni čija je razina tjelesne aktivnosti u posljednjih sedam dana bila niska. Drugu skupinu čine oni čija je razina tjelesne aktivnosti bila umjerena, a treću skupinu oni čija je razina tjelesne aktivnosti bila visoka. Najveći broj ispitanika posljednjih sedam dana od dana ispunjavanja upitnika, imao je visoku razinu tjelesne aktivnosti (N = 106), a najmanji broj ispitanika imao je nisku razinu tjelesne aktivnosti (N = 11). Srednja dob svih ispitanika koji su sudjelovali bila je $22,03 \pm 2,48$. Demografska i antropometrijska obilježja ispitanika navedena su u Tablici 1.

Nije bilo statistički značajne razlike među kategorijama s obzirom na spol, visinu, tjelesnu masu i ITM. Međutim, s obzirom na dob postojala je statistički značajna razlika među kategorijama. Ispitanici unutar kategorije visoke tjelesne aktivnosti bili su najstariji ($22,77 \pm 2,49$ godina), dok su ispitanici s niskom tjelesnom aktivnošću bili najmlađi ($20,36 \pm 1,80$ godina, $P < 0,001$; Tablica 1).

Tablica 1. Antropometrijska i demografska obilježja ispitanika

Obilježje	Ukupno N = 216	Niska tjelesna aktivnost N=11	Umjerena tjelesna aktivnost N=99	Visoka tjelesna aktivnost N=106	P
Dob (godine)	$22,03 \pm 2,48$	$20,36 \pm 1,80$	$21,42 \pm 2,29$	$22,77 \pm 2,49$	$< 0,001^*$
Spol					
Muškarci	57 (26,39%)	2 (18,18%)	28 (28,28%)	27 (25,47%)	0,737 [†]
Žene	156 (72,22%)	9 (81,82%)	70 (70,71%)	77 (72,64 %)	
Visina (m)	$175 \pm 0,09$	$1,78 \pm 0,13$	$1,75 \pm 0,10$	$1,75 \pm 0,08$	0,311*
Masa (kg)	$69,71 \pm 13,25$	$69,32 \pm 15,40$	$69,13 \pm 12,86$	$70,28 \pm 13,48$	0,748*
ITM (kg/m ²)	$22,59 \pm 3,55$	$21,52 \pm 2,11$	$22,40 \pm 4,22$	$22,87 \pm 2,92$	0,205*

Podaci za spol prikazani su kao apsolutna i relativna učestalost, a svi ostali podaci kao srednja vrijednost \pm standardna devijacija.

ITM – indeks tjelesne mase

*studentov t-test, [†]Fisherov egzaktni test

Nadalje napravljena je usporedba akademskog uspjeha s obzirom na razinu tjelesne aktivnosti. Rezultati su prikazani u Tablici 2. Nije bilo razlike među pojedinim kategorijama s obzirom na duljinu perioda od završetka škole pa do upisa Fakulteta ($P = 0,099$). Također, nije bilo razlike među pojedinim kategorijama s obzirom na moguće produženja studiranja ($P = 0,218$). Također, ni aritmetički ni težinski prosjek nisu se značajno razlikovali između pojedinih kategorija ispitanika ($P = 0,064$ i $P = 0,599$). Međutim, zabilježena je statistički značajna razlika među skupinama s obzirom na trajanje studiranja ($P < 0,001$). Dakle, srednja duljina trajanja studiranja u onih studenata koji su u posljednjih sedam dana postigli nisku razinu tjelesne aktivnosti iznosi $2,73 \pm 2,00$ godine. Srednja duljina trajanja studiranja u onih studenata koji su u posljednjih sedam dana postigli umjerenu razinu tjelesne aktivnosti iznosi $3,86 \pm 2,14$ godina, a u onih koji su u posljednjih sedam dana postigli visoku razinu tjelesne aktivnosti iznosi $4,80 \pm 2,04$ godina ($P < 0,001$; Tablica 2).

Tablica 2. Akademski uspjeh

Obilježje	Ukupno N = 216	Niska tjelesna aktivnost N=11	Umjerena tjelesna aktivnost N=99	Visoka tjelesna aktivnost N=106	P^*
Period od završetka škole (godine)	$0,37 \pm 0,87$	$0,09 \pm 0,30$	$0,25 \pm 0,72$	$0,50 \pm 1,01$	0,099
Trajanje studiranja (godine)	$4,26 \pm 2,15$	$2,73 \pm 2,00$	$3,86 \pm 2,14$	$4,80 \pm 2,04$	$< 0,001$
Produženje studija (godine)	$0,89 \pm 1,59$	$0,18 \pm 0,60$	$1,03 \pm 1,79$	$0,83 \pm 1,44$	0,218
Aritmetički prosjek	$4,16 \pm 0,43$	$4,12 \pm 0,40$	$4,24 \pm 0,39$	$4,09 \pm 0,46$	0,064
Težinski prosjek	$3,84 \pm 0,55$	$3,94 \pm 0,73$	$3,90 \pm 0,58$	$3,79 \pm 0,51$	0,599

Svi podaci prikazani su kao srednje vrijednosti \pm standardne devijacije

*Studentov t-test

Također, napravljena je usporedba razina tjelesne aktivnosti s obzirom na broj sati koji studenti provedu sjedeći. Prosječno dnevno vrijeme sjedenja podijeljeno je u pet vremenskih intervala. Prvi vremenski interval obuhvaća studente koji dnevno u prosjeku sjede manje od 2 sata. Drugi interval uključuje studente s prosječnim dnevnim sjedenjem od 2 do 4 sata. Treći interval obuhvaća studente koji dnevno prosječno sjede između 4 i 6 sati. Četvrti interval obuhvaća studente koji dnevno sjede između 6 i 8 sati, dok zadnji interval uključuje studente s prosječnim dnevnim sjedenjem dužim od 8 sati. Rezultate prikazuje Tablica 3. Od ukupno 180, u posljednjih sedam dana, 86 studenata ispunilo je nisku do umjerenu razinu tjelesne aktivnosti, a 94 visoku razinu tjelesne aktivnosti. S obzirom na vrijeme provedeno sjedeći najviše je studenata koji su prosječno sjedili 4 do 6 sati dnevno (N = 71; 39,44%), a najmanje onih koji su prosječno sjedili manje od 2 sata (N = 6; 3,33%). Nadalje, nije bilo statistički značajne razlike među kategorijama s obzirom na vrijeme provedeno sjedeći.

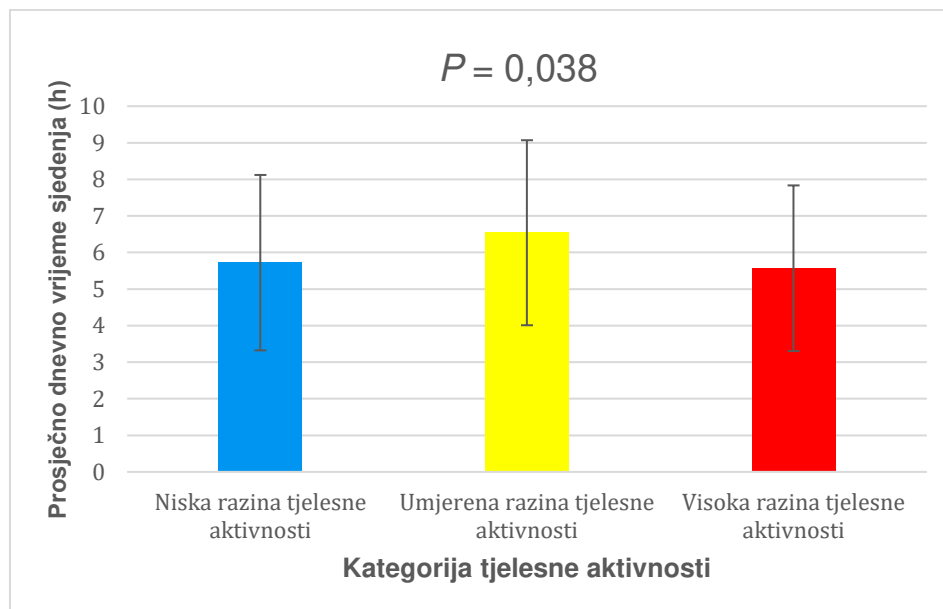
Tablica 3. Prosječno dnevno sjedenje

Vremenski interval (h)	Ukupno N = 180	Niska do umjerena tjelesna aktivnost N = 86	Visoka tjelesna aktivnost N = 94	<i>P</i> *
< 2	6 (3,33%)	1 (1,16%)	5 (5,32%)	
2 - 4	24 (13,33%)	9 (10,46%)	15 (15,96%)	
4 - 6	71 (39,44%)	34 (39,53%)	37 (39,36%)	0,072
6 - 8	48 (26,67 %)	19 (24,42%)	27 (28,72%)	
> 8	31 (17,22%)	21 (24,42%)	10 (10,64%)	

Svi podaci prikazani su kao apsolutne (relativne) učestalosti. Zbog neispravnosti ispunjavanja upitnika ubrojen je 180 ispitanik, umjesto 216 početnih.

*Fisherov egzaktni test.

Slika 1. prikazuje odnos kategorije tjelesne aktivnosti i prosječnog vremena koje je student provodio tijekom dana sjedeći unazad sedam dana od ispunjavanja upitnika. Studenti niske razine tjelesne aktivnosti prosječno dnevno sjede $5,72 \pm 2,40$ sata. Nadalje, studenti umjerene razine tjelesne aktivnosti prosječno dnevno sjede $6,54 \pm 2,53$ sata. Dok, treća skupina studenata visoke razine tjelesne aktivnosti prosječno sjedi $5,57 \pm 2,26$ sati. Postoji statistički značajna razlika između kategorija tjelesne aktivnosti ovisno o prosječnom vremenu provedenom sjedeći tijekom dana ($P = 0,038$).



Slika 1. Prosječno dnevno vrijeme sjedenja u studenata niske, umjerene i visoke razine tjelesne aktivnosti

5. RASPRAVA

Cilj ovog diplomskog rada bio je istražiti povezanost fizičke aktivnosti s akademskim uspjehom. Nije bilo značajnih razlika u aritmetičkom i težinskom prosjeku, kao mjerilu akademskog uspjeha, između studenata svrstanih u različite skupine prema razini tjelesne aktivnosti. Iako nije dokazana povezanost fizičke aktivnosti s akademskim uspjehom, rezultati IPAQ upitnika pokazali su značajnu razliku u razini fizičke aktivnosti s obzirom na dob ispitanika. Iz rezultata možemo uočiti kako su studenti s visokom razinom tjelesne aktivnosti bili stariji u odnosu na studente s umjerenom i niskom razinom tjelesne aktivnosti. Također, studenti viših godina studija fizički su aktivniji u odnosu na studente nižih godina studija. Nadalje, vjerojatno zbog specifičnosti studija, odnosno potrebe da se više vremena provodi sjedeći za radnim stolom, nije uočena povezanost negativnog utjecaja većih intervala prosječnog dnevnog sjedenja s niskom razinom fizičke aktivnosti, koja bi ostavila reperkusiju na akademski uspjeh. Naprotiv, prosječno vrijeme sjedenja ne uvjetuje razinu fizičke aktivnosti, stoga ne možemo zaključiti kako sjedilački način života negativno utječe na akademski uspjeh.

Nan Zeng i suradnici objavili su sistemski članak na temelju petnaest randomiziranih kontrolnih istraživanja od kojih je deset proučavalo utjecaj tjelesne aktivnosti na motornu izvedbu, a pet utjecaj na kognitivni razvoj (77). Istraživanja su se provodila na djeci između četiri i šest godina. U većini studija, eksperimentalna skupina slijedila je posebne programe tjelovježbe, dok je kontrolna slijedila općeniti školski kurikulum. Načini mjerenja motornog i kognitivnog razvoja u studijama bili su varijabilni i uglavnom su uključivali direktnu procjenu istraživača. U konačnici, osam od deset studija, u kojima je istraživani utjecaj tjelovježbe na motornu izvedbu, pokazalo je značajan napredak u motornoj izvedbi one djece koja su se bavila tjelovježbom. Jedna studija imala je nejasne rezultate, a u samo jednoj nisu zabilježeni pozitivni ishodi. Četiri od pet studija, u kojima je istraživani utjecaj tjelovježbe na kognitivni razvoj, pokazalo je statistički značajni napredak u učenju jezika, pozornosti, radnoj memoriji i akademskom uspjehu u djece koja su se bavila tjelovježbom (77).

Slično tome, Đurić i suradnici ispitivali su utjecaj razine tjelesne kondicije i tjelesne aktivnosti općenito na akademski uspjeh. U istraživanje su uključili 16 zdravih djevojčica u dobi od 11 do 12 godina. Tjelesnu kondiciju mjerili su na temelju osam motoričkih testova (SLOfit test) i tri antropometrijske mjere (tjelesna visina, tjelesna masa i kožni nabor iznad tricepsa). Svaka djevojčica nosila je akcelerometar pet dana koji su uključivali tri radna dana i vikend. Akademski uspjeh mjerili su na temelju šest školskih predmeta. Rezultati su pokazali povećanu tjelesnu aktivnost djevojčica tijekom radnih dana za razliku od vikenda. Smatra se da najveću ulogu u tome ima način putovanja od kuće do škole i obrnuto. Također,

analiza je pokazala da one djevojčice koje imaju bolje ocjene iz tjelesne i zdravstvene kulture postižu bolje rezultate na testovima tjelesne kondicije. Međutim, postoji iznenađujuće umjereno do niska korelacija između tjelesne aktivnosti općenito i ocjena iz tjelesne i zdravstvene kulture. Dodatno, umjerena do visoka korelacija dokazana je između rezultata tjelesne kondicije i općeg prosjeka ocjena, ocjena iz matematike, materinjeg jezika i stranog jezika. Najviša korelacija dokazana je između općeg prosjeka ocjena i kombinirane dnevne tjelesne aktivnosti. Stoga, zaključili su da sustav tjelesne i zdravstvene kulture koji uključuje tjelovježbu može utjecati na tjelesnu aktivnost i životni stil u dječjoj dobi te u konačnici na zdravstveni status i tjelesnu kondiciju u odrasloj dobi (78).

Redondo-Flórez i suradnici u svoju studiju uključili su 216 studenta sa završenim preddiplomskim studijem znanosti o fizičkoj aktivnosti i sportu. Studente su podijelili u dvije jednake skupine na temelju postignutog akademskog uspjeha. Analizirali su njihove antropometrijske mjere (ITM) i krvni tlak. Navike izvođenja tjelesne aktivnosti i kvalitetu spavanja, analizirali su na temelju samostalno ispunjenih upitnika IPAQ i PSQI (engl. *Pittsburgh Sleep Quality Index*). Studenti su također izveli Cooperov 12 minutni test trčanja pomoću kojeg je procijenjen aerobni kapacitet svakog studenta. Za procjenu aerobnog kapaciteta mjerio se VO_2max . U konačnici, napravljena je usporedba dobivenih rezultata i akademskih uspjeha studenata. Rezultati su pokazali da studenti iz skupine s boljim akademskim uspjehom postižu statistički značajno više vrijednosti VO_2max od studenata s lošijim akademskim uspjehom. Dakle, njihovi rezultati upućuju na važnost tjelesne aktivnosti sa ciljem postizanja boljeg akademskog uspjeha (79).

Wunsch i suradnici proveli su meta-analizu koja je uključivala ukupno četiri studije, tri studije presjeka i jednu kohortnu studiju. Ukupno je bilo 1952 sudionika, 1220 studentice i 732 studenta. Cilj ove studije bio je ispitati povezanost tjelesne aktivnosti, stresa i akademskog uspjeha. Studije su se razlikovale u procjeni mjerenja tjelesne aktivnosti. Dvije studije koristile su IPAQ kratki upitnik za procjenu tjelesne aktivnosti studenata, dok su dvije studije procjenjivale razinu tjelesne aktivnosti na temelju samo jednog čimbenika. Na primjer, nisu ispitivali o tjelesnoj aktivnosti općenito već o pojedinom obliku tjelesne aktivnosti poput određenog sporta ili tjelovježbe, što isključuje aktivni transport ili rad u vrtu. Isto tako procjena razine stresa također se razlikovala među studijama iako su za to korišteni verificirani upitnici. Akademski uspjeh analizirao se na različite načine. Ili na temelju aritmetičkog prosjeka prethodnog semestra ili kao binarna varijabla, odnosno prolaz ili pad ili na temelju jedne ocjene. Samo je jedna od četiri studije imala trosmjerni pristup prema varijablama, dok su ostale dvije

bile fokusirane na bidirekcijske odnose. Među pojedinim studijama postojale su statistički značajne poveznice tjelesne aktivnosti i akademskom uspjeha. Međutim, povezanost stresa s tjelesnom aktivnosti varirala je ovisno o upitniku korištenom, odnosno načinu mjerenja. Isto tako, među pojedinim studijama postojale su statistički značajne poveznice između stresa i akademskog uspjeha. Na temelju meta-analize, niti jedan od odnosa nije postigao značajnost (80).

Značaj ove studije je osvijestiti opću populaciju, a posebice studente o utjecaju fizičke aktivnosti na kognitivne sposobnosti, ali i ukazati na ostale benefite poput doprinosa mentalnom i fizičkom zdravlju. Ograničenja studije su svakako nedostatak motivacije ispitanika za što ispravnije rješavanje upitnika. Za spomenuti je kako aritmetički i težinski prosjek nisu optimalno mjerilo akademskog uspjeha budući da uvelike ovise o okolnostima i načinu ispitivanja znanja. Također period od sedam dana unatrag od rješavanja ankete nije objektivni pokazivač fizičke aktivnosti studenta, posebice ako uzmemo u obzir činjenicu da studenti nisu pohađali i učili slične predmete koji traže učenje jednakog intenziteta, nadalje pitanja u sklopu upitnika nisu prilagođena studentima i ideji fizičke aktivnosti studenata, te bi svakako bilo bolje kreirati upitnik koji je pitanjima prilagođen životnom stilu studenta.

6. ZAKLJUČCI

1. Stariji studenti su fizički aktivniji, odnosno skloniji su fizičkoj aktivnosti višeg intenziteta.
2. Studenti koji su pripali skupini više razine tjelesne aktivnosti, studiraju dulje.
3. Nije dokazana značajna povezanost između razine fizičke aktivnosti i akademskog uspjeha.
4. Nema statistički značajne povezanosti između pojedinih skupina razine fizičke aktivnosti s obzirom na vrijeme provedeno sjedeći.

7. POPIS CITIRANE LITERATURE

1. Zlotnik G, Vansintjan A. Memory: an extended definition. *Front Psychol.* 2019;10:2523.
2. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D. *Neuroznanost*. 5. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2016. 695 str.
3. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D. *Neuroznanost*. 5. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2016. str. 695-6.
4. Squire LR, Zola SM. Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1996;93:13515-22.
5. Cowan N. What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Prog Brain Res.* 2008;169:323-38.
6. Cowan N. Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educ Psychol Rev.* 2014;26:197-223.
7. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D. *Neuroznanost*. 5. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2016. 697 str.
8. Hong JY, Gallanter E, Müller-Oehring EM, Schulte T. Phases of procedural learning and memory: characterisation with perceptual-motor sequence tasks. *J Cogn Psychol (Hove).* 2019;31:543-58.
9. Dickerson BC, Eichenbaum H. The episodic memory system: neurocircuitry and disorders. *Neuropsychopharmacology.* 2010;35:86-104.
10. Binder JR, Desai RH. The neurobiology of semantic memory. *Trends Cogn Sci.* 2011;15:527-36.
11. Squire LR, Zola SM. Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1996;93:13515-22.
12. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, Lamantia AS, McNamara JO, White LE. *Neuroscience*. 3. izdanje. Sunderland, MA. Sinauer Associates; 2004;30:733-55.
13. Nolte J. *The human brain: An introduction to its functional anatomy*. 6. izdanje. Philadelphia, PA. Elsevier; 2009. str. 523-30.
14. Wijnia JW. A clinician's view of Wernicke-Korsakoff syndrome. *J Clin Med.* 2022;11:6755.
15. Carlén M. What constitutes the prefrontal cortex? *Science.* 2017;358:478-82.
16. LeDoux J. The amygdala. *Curr Biol.* 2007;17:868-74.

17. Hermans EJ, Battaglia FP, Atsak P, de Voogd LD, Fernández G, Roozendaal B. How the amygdala affects emotional memory by altering brain network properties. *Neurobiol Learn Mem.* 2014;112:2-16.
18. Thach, WT. What is the role of the cerebellum in motor learning and cognition?. *Trends in Cognitive Sciences*, 1998;2:331–7.
19. Hiser J, Koenigs M. The multifaceted role of the ventromedial prefrontal cortex in emotion, decision making, social cognition, and psychopathology. *Biol Psychiatry.* 2018;83:638-47.
20. Puderbaugh M, Emmady PD. Neuroplasticity. *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. [citirano 1. svibnja 2023.]. Dostupno na: <https://www.statpearls.com/point-of-care/97078>
21. Galván A. Neural plasticity of development and learning. *Hum Brain Mapp.* 2010;31:879-90.
22. Josselyn SA, Tonegawa S. Memory engrams: Recalling the past and imagining the future. *Science.* 2020;367:4325.
23. Sakamoto K, Karelina K, Obrietan K. CREB: a multifaceted regulator of neuronal plasticity and protection. *J Neurochem.* 2011;116:1-9.
24. Guskjolen A, Cembrowski MS. Engram neurons: Encoding, consolidation, retrieval, and forgetting of memory. *Mol Psychiatry.* 2023;28:3207-19.
25. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM 2000. *Principles of Neural Science.* 5 izdanje. New York. McGraw-Hill; 2013. str. 429-42.
26. Das UN. Can memory be improved? A discussion on the role of ras, GABA, acetylcholine, NO, insulin, TNF-alpha, and long-chain polyunsaturated fatty acids in memory formation and consolidation. *Brain Dev.* 2003;25:251-61.
27. Rowland CA, Bates LE, Delosh EL. On the reliability of retrieval-induced forgetting. *Front Psychol.* 2014;5:1343.
28. Lockhart RS. Memory retrieval. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences.* 2001;68:9613–8.
29. Davis RL, Zhong Y. The biology of forgetting-A perspective. *Neuron.* 2017;95:490-503.
30. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of Neural Science.* 5. izdanje. McGraw-Hill. New York. 2000. str. 258-70.

31. Time USA. The new science of forgetting [Internet]. New York City: American weekly newsmagazine; 2022 [citirano 28. travnja 2022.]. Dostupno na: <https://time.com/6171190/new-science-of-forgetting/>
32. Alfarsi W, Elaghoury AH, Kore SE. Preferred learning styles and teaching methods among medical students: a cross-sectional study. *Cureus*. 2023;15:46875.
33. Ojeh N, Sobers-Grannum N, Gaur U, Udupa A, Majumder MAA. Learning style preferences: A study of pre-clinical medical students in Barbados. *J Adv Med Educ Prof*. 2017;5:185-94.
34. Urrizola A, Santiago R, Arbea L. Learning techniques that medical students use for long-term retention: A cross-sectional analysis. *Med Teach*. 2023;45:412-8.
35. Challa KT, Sayed A, Acharya Y. Modern techniques of teaching and learning in medical education: a descriptive literature review. *MedEdPublish* (2016). 2021;10:18.
36. Reynolds K, Bazemore C, Hanebuth C, Hendren S, Horn M. The relationship of non-cognitive factors to academic and clinical performance in graduate rehabilitation science students in the United States: a systematic review. *J Educ Eval Health Prof*. 2021;18:31.
37. Hershner SD, Chervin RD. Causes and consequences of sleepiness among college students. *Nat Sci Sleep*. 2014;6:73-84.
38. Curcio G, Ferrara M, De Gennaro L. Sleep loss, learning capacity and academic performance. *Sleep Med Rev*. 2006;10:323-37.
39. Cena H, Calder PC. Defining a healthy diet: evidence for the role of contemporary dietary patterns in health and disease. *nutrients*. 2020;12:334.
40. Dighriri IM, Alsubaie AM, Hakami FM, Hamithi DM, Alshekh MM, Khobrani FA i sur. Effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on brain functions: A systematic review. *Cureus*. 2022;14:30091.
41. Tardy AL, Pouteau E, Marquez D, Yilmaz C, Scholey A. vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: A narrative review of the biochemical and clinical evidence. *Nutrients*. 2020;12:228.
42. de Vries K, Medawar E, Korosi A, Witte AV. The effect of polyphenols on working and episodic memory in non-pathological and pathological aging: A systematic review and meta-Analysis. *Front Nutr*. 2022;8:720756
43. Colom R, Karama S, Jung RE, Haier RJ. Human intelligence and brain networks. *Dialogues Clin Neurosci*. 2010;12:489-501.

44. Yu W, Qian Y, Abbey C, Wang H, Rozelle S, Stoffel LA, Dai C. The role of self-esteem in the academic performance of rural students in China. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19:13317.
45. Al-Khani AM, Sarhandi MI, Zaghoul MS, Ewid M, Saquib N. A cross-sectional survey on sleep quality, mental health, and academic performance among medical students in Saudi Arabia. *BMC Res Notes*. 2019;12:665.
46. Wunsch K, Fiedler J, Bachert P, Woll A. The tridirectional relationship among physical activity, stress, and academic performance in university students: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:739.
47. Wu H, Li S, Zheng J, Guo J. Medical students' motivation and academic performance: the mediating roles of self-efficacy and learning engagement. *Med Educ Online*. 2020;25:1742964.
48. Jia J, Zhao T, Liu Z, Liang Y, Li F, Li Y i sur. Association between healthy lifestyle and memory decline in older adults: 10 year, population based, prospective cohort study. *BMJ*. 2023;380:72691.
49. Guyton AC, Hall JE. *Medicinska fiziologija*. 9. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. str. 853-62.
50. Bonora M, Patergnani S, Rimessi A i sur. ATP synthesis and storage. *Purinergic Signal*. 2012;8:343-57.
51. Granchi C, Bertini S, Macchia M, Minutolo F. Inhibitors of lactate dehydrogenase isoforms and their therapeutic potentials. *Curr Med Chem*. 2010;17:672-97.
52. Guyton AC, Hall JE. *Medicinska fiziologija*. 9. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. str. 11-26.
53. Guimarães-Ferreira L. Role of the phosphocreatine system on energetic homeostasis in skeletal and cardiac muscles. *Einstein*. 2014;12:126-31.
54. Guyton AC, Hall JE. *Medicinska fiziologija*. 9. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. str. 903-9.
55. Guyton AC, Hall JE. *Medicinska fiziologija*. 9. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. str. 1085-95.
56. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*. 2001;31:725-41.
57. Bassett DR Jr, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:70-84.

58. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 1985;100:126-31.
59. Jiménez-Maldonado A, Rentería I, García-Suárez PC, Moncada-Jiménez J, Freire-Royes LF. The impact of high-intensity interval training on brain derived neurotrophic factor in brain: A mini-review. *Front Neurosci.* 2018;12:839.
60. Singh MF, Hackett D, Schoenfeld B, Vincent HK, Wescott W. ACSM Guidelines for Strength Training. 2019. Dostupno na: <https://www.acsm.org/blog-detail/acsm-certified-blog/2019/07/31/acsm-guidelines-for-strength-training-featured-download>
61. Bacon AP, Carter RE, Ogle EA, Joyner MJ. VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PLoS One.* 2013;8:e73182.
62. Yang YJ. An overview of current physical activity recommendations in primary care. *Korean J Fam Med.* 2019;40:135-42.
63. Mandolesi L, Polverino A, Montuori S i sur. Effects of physical exercise on cognitive functioning and wellbeing: biological and psychological benefits. *Front Psychol.* 2018;9:509.
64. Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res.* 2012;1453:87-101.
65. Hötting K, Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neurosci Biobehav Rev.* 2013;37:2243-57.
66. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS i sur. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2011;108:3017-22.
67. Schuff N, Meyerhoff DJ, Mueller S i sur. N-acetylaspartate as a marker of neuronal injury in neurodegenerative disease. *Adv Exp Med Biol.* 2006;576:241-363.
68. Etkin A, Egner T, Kalisch R. Emotional processing in anterior cingulate and medial prefrontal cortex. *Trends Cogn Sci.* 2011;15:85-93.
69. Clemente-Suárez VJ, Redondo-Flórez L, Beltrán-Velasco AI i sur. Mitochondria and Brain Disease: A Comprehensive Review of Pathological Mechanisms and Therapeutic Opportunities. *Biomedicines.* 2023;11:2488.
70. Basso JC, Suzuki WA. The Effects of Acute Exercise on Mood, Cognition, Neurophysiology, and Neurochemical Pathways: A Review. *Brain Plast.* 2017;2:127-52.
71. Chaouloff F. Physical exercise and brain monoamines: A review. *Acta Physiol Scand.* 1989;137:1–13.

72. Meeusen R, Piacentini MF, De Meirleir K. Brain microdialysis in exercise research. *Sports Med.* 2001;31:965–83.
73. World Health Organization. Physical inactivity a leading cause of disease and disability, warns WHO [Internet]. Who.int. [citirano 4. travnja 2002.]. Dostupno na: <https://www.who.int/news/item/04-04-2002-physical-inactivity-a-leading-cause-of-disease-and-disability-warns-who>
74. Park JH, Moon JH, Kim HJ, Kong MH, Oh YH. Sedentary lifestyle: Overview of updated evidence of potential health risks. *Korean J Fam Med.* 2020;41:365-73.
75. Teuber M, Leyhr D, Sudeck G. Physical activity improves stress load, recovery, and academic performance-related parameters among university students: a longitudinal study on daily level. *BMC Public Health.* 2024;24:598.
76. Loturco I, Montoya N, Ferraz M, Berbat V, Pereira V. A systematic review of the effects of physical activity on specific academic skills of school students. *Edu sci.* 2022;12:134.
77. Zeng N, Ayyub M, Sun H, Wen X, Xiang P, Gao Z. Effects of physical activity on motor skills and cognitive development in early childhood: A systematic review. *Biomed Res Int.* 2017;2017:2760716.
78. Đurić S, Bogataj Š, Zovko V, Sember V. Associations between physical fitness, objectively measured physical activity and academic performance. *Front Public Health.* 2021;9:778837.
79. Redondo-Flórez L, Ramos-Campo DJ, Clemente-Suárez VJ. Relationship between physical fitness and academic performance in university students. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19:14750.
80. Wunsch K, Fiedler J, Bachert P, Woll A. The tridirectional relationship among physical activity, stress, and academic performance in university Students: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:739.

8. SAŽETAK

Cilj: Cilj ovog istraživanja bio je ispitati povezanost tjelesne aktivnosti i akademskog uspjeha studenata medicine na Medicinskom fakultetu u Splitu.

Ispitanici i postupci: U ovom istraživanju sudjelovalo je 216 studenata medicine Medicinskog fakulteta u Splitu, od čega je bilo 156 (72,22%) žene, 57 (26,39%) muškarca i 3 (1,39%) osobe nedefinirane prema spolu, u dobi od 18 do 31 godinu. Provedeno je anketno istraživanje u formi Google obrasca. Anketa se sastojala od dva dijela, prvi dio je bilježio opće podatke uključujući aritmetički i težinski prosjek kao mjerilo akademskog uspjeha, dok se za mjerenje fizičke aktivnosti koristio međunarodni upitnik o tjelesnoj aktivnosti (IPAQ). Ispitanici su prema protokolu bodovanja IPAQ upitnika podijeljeni u tri skupine tjelesne aktivnosti, te su prema prosječnom dnevnom vremenu sjedenja, smješteni u odgovarajući vremenski interval.

Rezultati: Istraživanje nije pokazalo korelaciju akademskog uspjeha s porastom tjelesne aktivnosti studenata medicine. Najveći broj studenata medicine pripao je skupini visoke razine tjelesne aktivnosti (N=106; 49,07%), dok u skupinu niske razine tjelesne aktivnosti pripada najmanji broj studenata (N=11; 5,09%). Studenti s visokom razinom tjelesne aktivnosti su bili stariji u odnosu na studente s umjerenom i niskom razinom tjelesne aktivnosti. Prosječno vrijeme studiranja izraženo u godinama za studente svrstane u kategoriju visokog intenziteta tjelesne aktivnosti iznosilo je $4,80 \pm 2,04$ godine, dok su studenti u kategoriji umjerenog intenziteta prosječno studirali $3,86 \pm 2,14$ godine, a niskog intenziteta $2,73 \pm 2,00$ godine ($P < 0,001$). Nadalje, uočeno je da najviše studenata (N = 71; 39,44%) prosječno sjedi 4 do 6 sati dnevno, a najmanje (N = 6; 3,33%) manje od 2 sata.

Zaključak: Iako brojna istraživanja sugeriraju doprinos tjelesne aktivnosti boljem akademskom uspjehu, to u ovom istraživanju nije bio slučaj. Stariji studenti viših godina studija, skloniji su tjelesnoj aktivnosti višeg intenziteta, što može biti posljedica dobre organizacije vremena uslijed iskustva prilagodbe fakultetskim obvezama.

9. SUMMARY

Diploma thesis title: The association between physical activity and academic performance in medical students.

Objective: The aim of this study was to examine the association between physical activity and academic performance among medical students at the University of Split School of Medicine.

Subjects and methods: This study involved 216 medical students from the University of Split School of Medicine, including 156 (72,22%) females, 57 (26,39%) males, and 3 (1,39%) participants who did not specify their gender, aged 18 to 31 years. The survey, conducted via Google Forms, had two parts: the first one gathered general data, including arithmetic and weighted average academic performance measures, while the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) assessed physical activity (PA). Participants were categorized into groups based on their PA level and average daily sitting time.

Results: The study did not show an association between academic performance and increased PA among medical students. Results indicated that the most students belonged to the high PA group (N=106; 49.07%), while the least belonged to the low PA group (N=11; 5.09%). Students with high levels of PA were older compared to those with moderate and low levels of PA. Specifically, the average duration of studies in years for students classified in the high-intensity PA category was 4.80 ± 2.04 years, while students in the moderate-intensity category studied on average for 3.86 ± 2.14 years, and those in the low-intensity category for 2.73 ± 2.00 years ($P < 0.001$). Furthermore, it was noted that the majority of students (N = 71; 39.44%) spent an average of 4 to 6 hours sitting daily, while only 6 (3.33%) spent less than 2 hours.

Conclusion: Although numerous studies suggest a positive impact of PA on academic performance, this was not the case in this study. Older students in higher study years tend to engage in higher-intensity PA, possibly due to better time management skills gained from experience in adapting to academic obligations.

10. DODATAK

Prilog 1. Korišteni upitnici

ANKETA

Poštovani studenti,

Zamolili bismo Vas za sudjelovanje u ovom anonimnom anketnom istraživanju koje se provodi

u svrhu pisanja diplomskih radova. Ovim upitnikom ispitujemo Vaše životne navike povezane s akademskim uspjehom. Za ispunjavanje upitnika potrebno je svega 5 - 10 minuta.

Vaš identitet kao i odgovori koji se zabilježe bit će u potpunosti **anonimni**. Ispunjavanje ankete smatra se pristankom na sudjelovanje u istraživanju. Molimo Vas da budete iskreni i zabilježite onaj odgovor koji smatrate najpreciznijim kako bi prikupljeni podaci nakon primjerene analize mogli dati pouzdanu sliku o čitavoj ispitivanoj populaciji studenata.

Nadamo se da će rezultati i zaključci ovog istraživanja biti korisni za sve nas.

Unaprijed Vam hvala od srca!

* Označava obavezno pitanje

OPĆA PITANJA

U prvom setu pitanja Vas pitamo o općim podacima, molimo Vas da odgovorite što je iskrenije i preciznije moguće.

1. 1. Dob *

2. 2. Spol *

Označite samo jedan oval.

Muški

Ženski

Ostalo/ Ne želim navesti

3. 3. Rasa/etnicitet *

Označite samo jedan oval.

- Bijelac
- Afro-Amerikanac
- Hispanska rasa
- Nativni Amerikanac
- Azijat
- Ostalo

4. 4. Godina studija * *Označite samo jedan oval.*

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

5. 5. Broj godina studiranja *

6. 6. Koliko godina je prošlo nakon završetka srednje škole do upisa medicinskog fakulteta?

Označite samo jedan oval.

- 0 (odmah sam upisao medicinski fakultet nakon završene srednje škole)
- 1
- 2
- > 2

7. 7. Dosadašnji aritmetički prosjek ocjena (zaokružen na dvije decimale) *

8. 8. Dosadašnji težinski prosjek ocjena (zaokružen na dvije decimale)

9. 9. Visina u metrima *

10. 10. Težina u kilogramima *

11. 11. Bolujete li od neke kronične bolesti? *

Označite samo jedan oval.

Da

Ne

12. 12. Ukoliko ste na prethodno pitanje odgovorili sa da, molimo Vas navedite od koje kronične bolesti bolujete.

13. 13. Uzimate li neku kroničnu terapiju, ako da, molimo Vas navedite koju.

FIZIČKA AKTIVNOST

U idućem setu pitanja Vas pitamo o vrsti tjelesne aktivnosti koju provodite kao dio svakodnevnog života, molimo Vas da odgovorite što je iskrenije i preciznije moguće. Zamislite **posao** kao stvari koje morate raditi, kao što su plaćeni ili neplaćeni posao, učenje/obuka, **pohađanje fakulteta**, kućanski poslovi...

U odgovoru na sljedeća pitanja 'aktivnosti jakog intenziteta' su aktivnosti koje zahtijevaju težak fizički napor i uzrokuju velika povećanja disanja ili otkucaja srca, 'aktivnosti umjerenog intenziteta' su aktivnosti koje zahtijevaju umjeren fizički napor i uzrokuju mala povećanja disanja ili otkucaja srca.

1. DIO: TJELESNA AKTIVNOST NA POSLU

Prvi dio upitnika se odnosi na Vaš posao. Ovo uključuje stalni posao, ratarski i stočarski posao, honorarni posao te volonterski ili neki drugi neplaćeni posao koji obavljate izvan Vaše

kuće. To ne uključuje neplaćeni rad koji obavljate u kući i oko kuće kao što su kućanski poslovi, rad u vrtu, briga za obitelj, i slično. Kućanski poslovi će se ispitivati u 3. dijelu upitnika.

39. 1. Jeste li trenutno zaposleni ili obavljate bilo kakav neplaćeni posao izvan Vaše kuće?

Označite samo jedan oval.

Da

Ne (ako ne, preskočite na 2. DIO: PRIJEVOZ)

Slijedi niz pitanja o svim tjelesnim aktivnostima koje ste provodili **unazad 7 dana** kao dio plaćenog ili neplaćenog posla. Ova pitanja ne uključuju putovanje na posao i s posla.

40. 2. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana obavljali **izrazito napornu** tjelesnu aktivnost kao što su dizanje teških predmeta, kopanje i penjanje po stepenicama **u sklopu posla**? Prisjetite se samo aktivnosti koje ste obavljali bez prekida tijekom najmanje 10 minuta. (broj dana u tjednu)
Ukoliko niste, preskočite na **4.** pitanje.

41. 3. U danima kada ste na poslu obavljali **izrazito naporne** tjelesne aktivnosti, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)

42. 4. Ponovno se prisjetite samo tjelesnih aktivnosti koje ste provodili bez prekida u trajanju od najmanje 10 minuta. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana **na poslu** obavljali **umjerenu** tjelesnu aktivnost kao što je nošenje lakog tereta? Molimo, nemojte uključiti hodanje. (broj dana u tjednu)
Ukoliko niste, preskočite na **6.** pitanje

43. 5. U danima kada ste na poslu obavljali **umjerene** tjelesne aktivnosti, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)

44. 6. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana **u sklopu posla hodali** bez prekida u trajanju od najmanje 10 minuta? Molimo nemojte uključiti hodanje koje je dio putovanja na posao i s posla. (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **¹. DIO: PRIJEVOZ**

45. 7. U danima kada u sklopu posla **hodali**, koliko ste vremena uobičajeno proveli **hodajući?** (sati i minute u danu)

46. 8. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste se dana **vozili motornim vozilom** kao što su vlak, autobus, automobil ili tramvaj? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **10. pitanje**

47. 9. U danima kada ste **se vozili** vlakom, autobusom, automobilom, tramvajem ili nekom drugom vrstom motornog vozila, koliko ste vremena uobičajeno proveli vozeći se? (sati i minute u danu)

¹2. DIO: TJELESNA AKTIVNOST U PRIJEVOZU

Slijedi niz pitanja o načinu na koji ste putovali s jednog mjesta na drugo kao što su radno mjesto, dućan, kino, itd.

Prisjetite se vožnje **bicikla i hodanja** koje ste obavljali isključivo u svrhu putovanja na radno mjesto, radi izvršavanja obaveza ili u svrhu putovanja s mjesta na mjesto.

48. 10. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana vozili **bicikl u svrhu prijevoza** najmanje 10 minuta bez prekida? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **12.** pitanje
-

49. 11. U danima kada ste koristili **bicikl** u svrhu prijevoza od mjesta do mjesta, koliko ste vremena uobičajeno utrošili na vožnju? (sati i minute u danu)
-

50. 12. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana **hodali** najmanje 10 minuta bez prekida u **svrhu putovanja s mjesta na mjesto**? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na

51. 13. U danima kada ste **hodali** u svrhu putovanja s mjesta na mjesto, koliko ste vremena uobičajeno utrošili na hodaње? (sati i minute u danu)
-

3. DIO: KUĆANSKI POSLOVI, ODRŽAVANJE KUĆE I BRIGA ZA OBITELJ

Slijedi niz pitanja o tjelesnim aktivnostima koje ste obavljali **unazad 7 dana** unutar i oko Vašeg doma, poput kućanskih poslova, vrtlarenja, poslova u dvorištu, poslova održavanja i brige za obitelj.

52. 14. Prisjetite se samo aktivnosti koje ste provodili bez prekida najmanje 10 minuta. Tijekom zadnjih 7 dana, koliko ste dana obavljali **izrazito naporne tjelesne aktivnosti kao što su na primjer dizanje teškog tereta, cijepanje drva, čišćenje snijega ili kopanje u vrtu ili dvorištu**? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **16.** pitanje
-

53. 15. U danima kada ste obavljali **izrazito naporene** tjelesne aktivnosti u vrtu ili dvorištu, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)
-
54. 16. Ponovno se prisjetite samo aktivnosti koje ste provodili bez prekida najmanje 10 minuta. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana obavljali **umjerene** tjelesne aktivnosti kao što su na primjer nošenje lakog tereta, metenje, pranje prozora, grabljanje i slično **u vrtu ili dvorištu**? (broj dana u tjednu)
Ukoliko niste, preskočite na **18.** pitanje
-
55. 17. U danima kada ste obavljali **umjerene** tjelesne aktivnosti u vrtu ili dvorištu, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)
-
56. 18. Još jednom se prisjetite samo aktivnosti koje ste provodili bez prekida u trajanju od najmanje 10 minuta. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana obavljali **umjerene** tjelesne aktivnosti kao što su npr. nošenje lakog tereta, pranje prozora, ribanje podova i metenje **u unutrašnjosti Vašeg doma**? (broj dana u tjednu)
Ukoliko niste, preskočite na **4. DIO: REKREACIJA, SPORT I TJELESNA AKTIVNOST U SLOBODNO VRIJEME**
-
57. 19. U danima kada ste obavljali **umjerene** tjelesne aktivnosti unutar Vašeg doma, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)
-

4. DIO: REKREACIJA, SPORT I TJELESNA AKTIVNOST U SLOBODNO VRIJEME

Slijedi niz pitanja o svim tjelesnim aktivnostima koje ste provodili **unazad 7 dana**, isključivo u svrhu rekreacije, sporta, vježbanja i provođenja slobodnog vremena. Molimo da u odgovore ne uključite aktivnosti koje ste prethodno već naveli.

58. 20. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste dana **hodali** najmanje 10 minuta bez prekida u **okviru svojeg slobodnog vremena**? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **22.** pitanje
-

59. 21. U danima kada ste **hodali** u slobodno vrijeme, koliko ste vremena uobičajeno proveli hodajući u okviru svog slobodnog vremena? (sati i minute u danu)
-

60. 22. Prisjetite se samo aktivnosti koje ste provodili bez prekida u trajanju od najmanje 10 minuta. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste se dana bavili **izrazito napornim** tjelesnim aktivnostima kao što su npr. aerobik, trčanje, brza vožnja bicikla i brzo plivanje u **okviru svojeg slobodnog vremena**? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **24.** pitanje
-

61. 23. U danima kada ste se bavili **izrazito napornim** tjelesnim aktivnostima u okviru svojeg slobodnog vremena, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)
-

62. 24. Ponovno se prisjetite samo aktivnosti koje ste provodili bez prekida najmanje 10 minuta. Tijekom **zadnjih 7 dana**, koliko ste se dana bavili **umjerenim** tjelesnim aktivnostima kao što su npr. vožnja bicikla umjerenim tempom, plivanje umjerenom brzinom i igranje tenisa u **okviru svojeg slobodnog vremena**? (broj dana u tjednu) Ukoliko niste, preskočite na **5. DIO: VRIJEME PROVEDENO U SJEDEĆEM POLOŽAJU**
-

63. 25. U danima kada ste provodili **umjerene** tjelesne aktivnosti u okviru svojeg slobodnog vremena, koliko ste ih vremena uobičajeno provodili? (sati i minute u danu)

5. DIO: VRIJEME PROVEDENO U SJEDECÉM POLOŽAJU

Slijedi posljednji niz pitanja koja se odnose na vrijeme koje provodite u sjedećem položaju na poslu, kod kuće, tijekom učenja i tijekom slobodnog vremena. Ovim dijelom upitnika je obuhvaćeno na primjer vrijeme provedeno u sjedećem položaju za stolom, pri posjetu prijateljima te vrijeme provedeno u sjedećem ili ležećem položaju za vrijeme čitanja i gledanja televizije. Nemojte uključiti vrijeme sjedenja u motornom vozilu koje ste već naveli u upitniku.

64. 26. **Unazad 7 dana**, koliko ste vremena uobičajeno provodili **sjedeći** tijekom jednog **radnog dana**? (sati i minute u danu)

-
65. 27. Koliko ste vremena u danu uobičajeno proveli **sjedeći** tijekom **zadnjeg vikenda**? (sati i minute u danu)
-