

# UTJECAJ RAZLIČITIH VRSTA TJELESNIH AKTIVNOSTI NA MIOSTEATOZU

---

Stipić, Ivona

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:290376>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**Ivona Stipić**

**UTJECAJ RAZLIČITIH VRSTA TJELESNIH  
AKTIVNOSTI NA MIOSTEATOZU**

diplomski rad

**Zagreb, rujan 2024.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Zagrebu

Kineziološki fakultet

Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Hrvatska

**Naziv studija:** Kineziologija; smjer: Kineziologija u edukaciji i Jedrenje

**Vrsta studija:** sveučilišni

**Razina kvalifikacije:** integrirani prijediplomski i diplomski studij

**Studij za stjecanje akademskog naziva:** sveučilišna magistra kineziologije u edukaciji i jedrenju (univ. mag. cin.)

**Znanstveno područje:** Društvene znanosti

**Znanstveno polje:** Kineziologija

**Vrsta rada:** Stručni rad

**Naziv diplomskog rada:** je prihvaćen od strane Povjerenstva za diplomске radove Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini (2023./2024.) dana ( 08.travnja 2024.).

**Mentor:** izv.prof.dr.sc. Marija Rakovac

### Utjecaj različitih vrsta tjelesnih aktivnosti na miosteatozu

Ivona Stipić, 0034084950

#### Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1. izv. prof. dr. sc. Marija Rakovac      | Predsjednik – mentor |
| 2. izv. prof. dr. sc. Tatjana Trošt Bobić | član                 |
| 3. izv. prof. dr. sc. Danijel Jurakić     | član                 |
| 4. izv. prof. dr. sc. Maroje Sorić        | zamjena člana        |

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u** Knjižnici Kineziološkog fakulteta, Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

## BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

**University of Zagreb**

**Faculty of Kinesiology**

Horvacanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

**Title of study program:** Kinesiology; course Kinesiology in Education and Sailing

**Type of program:** University

**Level of qualification:** Integrated undergraduate and graduate

**Acquired title:** University Master of Kinesiology in Education and Sailing

**Scientific area:** Social sciences

**Scientific field:** Kinesiology

**Type of thesis:** Professional work

**Master thesis:** has been accepted by the Committee for Graduation Theses of the Faculty of Kinesiology of the University of Zagreb in the academic year (2023/2024) on (April 08, 2024).

**Mentor:** associate prof. Marija Rakovac

**Influence of different types of physical activities on myosteatosis**

Ivona Stipic, 0034084950

**Thesis defence committee:**

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. associate prof. Marija Rakovac      | chairperson - supervisor |
| 2. associate prof. Tatjana Trost Bobic | member                   |
| 3. associate prof. Danijel Jurakic     | member                   |
| 4. associate prof. Maroje Soric        | substitute member        |

**Printed and Electronic (pdf format) version of thesis is deposited** in Library of the Faculty of Kinesiology,  
Horvacanski zavoj 15, Zagreb

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završna verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

---

izv. prof. dr. sc. Marija Rakovac

Student:

---

Ivona Stipić

# UTJECAJ RAZLIČITIH VRSTA TJELESNIH AKTIVNOSTI NA MIOSTEATOZU

## Sažetak

Nedostatak jasnih saznanja o specifičnim učincima različitih vrsta tjelesnih aktivnosti i prehrane na miostetozu stvara izazove u razvoju prilagođenih preventivnih i terapijskih programa za ovu bolest. Iako su mnoge studije istraživale opće koristi tjelesne aktivnosti na zdravlje mišića, nedostaju precizni podaci o tome kako različite vrste tjelesnih aktivnosti i prehrane mogu sinergijski utjecati na razvoj ili napredovanje miosteatoze. Zbog svega navedenoga, ključno je istražiti specifične utjecaje aerobnih i anaerobnih aktivnosti kao i treninga snage i izdržljivosti, različitih prehranbenih pristupa i njihovih kombinacija na prisutnost, progresiju ili reverzibilnost miosteatoze.

Miosteatoza se karakterizira kao stanje koje se očituje nakupljanjem masnog tkiva unutar skeletnih mišića, smanjujući njihovu funkcionalnost i metaboličko zdravlje. Navedeno može dovesti do smanjenja mišićne snage, izdržljivosti i inzulinske osjetljivosti, te povećati rizik od metaboličkih poremećaja. Prevencija i tretman miosteatoze uključuju redovitu tjelesnu aktivnost, posebno aerobne vježbe i trening snage, te uravnoteženu prehranu bogatu proteinima i zdravim mastima. Kombinacija ovih intervencija ključna je za održavanje mišićnog zdravlja i sprječavanje nakupljanja masti u mišićima.

Cilj ovog stručnog rada je analizirati dostupne znanstvene studije te istražiti i sintetizirati saznanja o utjecaju različitih vrsta tjelesnih aktivnosti i prehranbenih strategija na miosteatozu. Posebna pažnja bit će posvećena razumijevanju specifičnih mehanizama djelovanja aerobnih i anaerobnih aktivnosti, treninga snage i treninga izdržljivosti kao i njihovih kombinacija na metabolizam masnoća u mišićima te općenito na razvoj miosteatoze. Kroz analizu dostupne literature, cilj je pronaći najefikasnije strategije tjelesne aktivnosti i prehrane za prevenciju, upravljanje i, gdje je moguće, reverzibilnost miosteatoze, pružajući time relevantne smjernice u razvoju personaliziranih terapijskih programa za osobe s ovim stanjem.

## Ključne riječi

Trening, prehrana, metabolizam, masno tkivo, intervencije

# **INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF PHYSICAL ACTIVITIES ON MYOSTEATOSIS**

## **Summary**

The lack of clear knowledge regarding the specific effects of various types of physical activity and diet on myosteatorosis creates challenges in developing tailored preventive and therapeutic programs for this condition. Although many studies have investigated the general benefits of physical activity on muscle health, precise data on how different types of physical activities and dietary interventions can synergistically influence the development or progression of myosteatorosis are missing. Therefore, it is crucial to explore the specific impacts of aerobic and anaerobic activities, as well as strength and endurance training, various dietary approaches, and their combinations on the presence, progression, or reversibility of myosteatorosis.

Myosteatorosis is characterized by the accumulation of fat tissue within skeletal muscles, reducing their functionality and metabolic health. This can lead to decreased muscle strength, endurance, and insulin sensitivity, increasing the risk of metabolic disorders. Prevention and treatment of myosteatorosis involve regular physical activity, especially aerobic exercises and strength training, along with a balanced diet rich in proteins and healthy fats. The combination of these interventions is essential for maintaining muscle health and preventing fat accumulation in muscles.

The aim of this thesis is to analyze available scientific studies and investigate and synthesize knowledge on the impact of different types of physical activities and dietary strategies on myosteatorosis. Special attention will be paid to understanding the specific mechanisms of action of aerobic and anaerobic activities, strength training, and endurance training, as well as their combinations, on fat metabolism in muscles and the overall development of myosteatorosis. Through the analysis of available literature, the goal is to find the most effective physical activity and dietary strategies for the prevention, management, and, where possible, reversibility of myosteatorosis, thereby providing relevant guidelines for the development of personalized therapeutic programs for individuals with this condition.

## **Key words**

Training, diet, metabolism, fat tissue, interventions

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. MIOSTEATOZA</b> .....	3
<b>2.1. DEFINICIJA I KARAKTERISTIKE MIOSTEATOZE</b> .....	3
Procjena miosteatoze .....	6
2.1.1. Morfološka građa i struktura mišića .....	8
2.1.2. Fascijalni sustav u kontekstu miosteatoze .....	11
<b>2.2. ETIOLOGIJA I ČIMBENICI RIZIKA</b> .....	13
2.2.1. Utjecaj sarkopenije na miosteatozu.....	17
<b>2.3. POSLJEDICE MIOSTEATOZE NA ZDRAVLJE</b> .....	20
<b>3. UTJECAJ TJELESNE AKTIVNOSTI</b> .....	21
<b>3.1. FIZIOLOŠKI UČINCI TJELESNE AKTIVNOSTI NA MIŠIĆNO TKIVO</b> .....	22
<b>3.2. MEHANIZMI DJELOVANJA TJELESNIH AKTIVNOSTI NA MIŠIĆNU MASU I MASNOĆU</b> .....	23
<b>3.3. TIPOVI TJELESNIH AKTIVNOSTI I NJIHOV UTJECAJ NA MIŠIĆNO TKIVO</b> .....	25
3.3.1. Aerobna i anaerobna tjelesna aktivnost .....	26
3.3.2. Snaga i izdržljivost - utjecaj na mišićnu masu i masnoću.....	29
Kombinacija tipova tjelesnih aktivnosti.....	31
3.3.3. Intenzitet, trajanje i učestalost tjelesnih aktivnosti i njihov utjecaj na mišićno tkivo .....	32
<b>4. UTJECAJ PREHRANE NA MIŠIĆNO TKIVO I MIOSTEATOZU</b> .....	34
<b>4.1. NUTRITIVNI ČIMBENICI VAŽNI ZA ZDRAVLJE MIŠIĆA</b> .....	37
<b>4.2. DIJETALNE STRATEGIJE ZA SMANJENJE MIŠIĆNE MASNOĆE I PREVENCIJU MIOSTEATOZE</b> .....	40
<b>4.3. INTERAKCIJA IZMEĐU PREHRANE I TJELESNIH AKTIVNOSTI</b> (u kontroli mišićne mase i masnoće).....	42
<b>5. TERAPIJSKI POTENCIJAL TJELESNIH AKTIVNOSTI</b> .....	44
<b>5.1. ULOGA TJELESNIH AKTIVNOSTI U PREVENCIJI PROGRESIJE MIOSTEATOZE</b> .....	45
<b>5.2. PREDNOSTI I OGRANIČENJA RAZLIČITIH VRSTA TJELESNIH AKTIVNOSTI</b> .....	46
<b>5.3. PREPORUKE ZA TJELESNU AKTIVNOST U LIJEČENJU MIOSTEATOZE</b> .....	47
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	50



## 1.UVOD

Istraživanja svakodnevno bilježe sve veće brojke pretilih osoba, a raste i broj pretile djece. Uzroci ovakvog stanja kriju se ponajprije u hipokineziji, odnosno nedovoljnoj tjelesnoj aktivnosti, zatim u neadekvatnim navikama prehrane, visokoj razini stresa i napretku tehnologije (Bašić i Bašić, 2007). Razvitak tehnologije smanjio je potrebu za tjelesnom aktivnošću i fizičkim radom općenito, a hrana je istovremeno postala dostupnija. Neviđene razine opskrbe hranom i dramatičan porast sjedilačkog načina života rezultiraju prekomjernim unosom energije čiji se višak skladišti u obliku masnog tkiva, što posljedično dovodi do pretilosti (Nachit i sur., 2023). S obzirom da se više energije unese u organizam nego što se potroši, dolazi do nakupljanja masti u obliku potkožnog masnog tkiva, visceralnog masnog tkiva ili nakupljanja masti u pojedinim organima, uključujući mišiće.

Pretilost kao jedan od uzroka miosteatoze, vodeći je javnozdravstveni problem i njezini negativni utjecaji na zdravlje su brojni. Takvim je osobama uz veću izloženost zdravstvenim problemima i svakodnevni život otežan, a zbog činjenice da je pretilost povezana s ostalim kroničnim nezaraznim bolestima (dijabetes, kardiovaskularne bolesti..), Delaš i sur. (2007) zaključuju da je potrebno spriječiti povećanje tjelesne mase, kako bi se očuvalo zdravlje. Ako se uzme u obzir da broj pretilih osoba, uključujući i djece, svakodnevno raste, pretilost treba shvatiti kao ozbiljnu bolest.

Porastom životne dobi, smanjuje se razina tjelesne aktivnosti u vidu njezinog volumena i intenziteta. Isto tako, sve veća životna dob, sa sobom nosi sve veći broj kroničnih bolesti, što potvrđuje činjenica da zahvaća više od dvije trećine populacije starije životne dobi (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Znači, da bi se nepoželjni fizički procesi, koji su sastavni procesi ljudskog starenja usporili ili čak i poboljšali, potrebno je prakticiranje redovite tjelesne aktivnosti, bez obzira na dob u kojoj je osoba počela vježbati. Dobrobiti tjelesnog vježbanja na zdravlje čovjeka su brojne i znanstveno dokazane. Velik broj istraživanja naglašava važnost tjelesne aktivnosti u primarnoj i sekundarnoj prevenciji kroničnih nezaraznih bolesti; kardiovaskularna oštećenja, dijabetes, osteoporoza, rak kao i preuranjene smrti iz bilo kojeg razloga (Milanović i sur., 2013).

Masno tkivo se redistribuira starenjem na način da dolazi do smanjenja potkožnog masnog tkiva i povećanja visceralnog masnog tkiva te masnog tkiva unutar mišića. Povećana tjelesna mast, odnosno pretilost nosi sa sobom niz negativnih metaboličkih, ali i vidljivih fizičkih posljedica. One uključuju smanjenu sposobnost kretanja, smanjenje snage i pokretljivosti te

povećani rizik za razvoj drugih kroničnih bolesti, a koje se odnose na kardiovaskularni sustav i metabolizam glukoze i lipida uz kronične upale. Stoga se preporukama nastoji poboljšati fizičko i metaboličko stanje organizma tako da ono posljedično utječe na smanjenje miosteatoze i visceralne masti (Waters i sur., 2022).

Velik je broj istraživanja i dokaza koji potvrđuju povezanost tjelesne neaktivnosti s kroničnim bolestima te je iz tog razloga važno usvojiti redovitost za provođenje cjeloživotne tjelesne aktivnosti; u svrhu prevencije i terapijske mjere za poboljšanje kvalitete života (Rakovac i Heimer, 2007). Intervencije tjelesne aktivnosti mogu utjecati na infiltraciju lipida i samim time doprinijeti očuvanju kvalitete mišića i metabolizma u cijelosti (Ramirez-Velez, 2021).

Uz tjelesnu aktivnost, veliku ulogu u postizanju kvalitete života ima kvalitetna prehrana, a ona predstavlja hranu visoke nutritivne vrijednosti. Stručnjaci pojam kvalitetne prehrane opisuju kao usklađenost prehrane pojedinca s prehrambenim preporukama. Pritom valja imati na umu da ne postoji namirnica ili neka komponenta prehrane koja je u potpunosti dobra ili loša. Ono što je loše i predstavljati će problem je primjena jednolične hrane s malom nutritivnom vrijednosti i visokom energetske vrijednosti, bez umjerenosti. Sklonost slatkoj, masnoj i prerađenoj hrani stvara probleme te povećava broj pretilih osoba i onih oboljelih od kroničnih bolesti. Zbog toga ne čudi podatak da je prehrana povezana s tri vodeća uzroka smrti u svijetu: bolesti srca, karcinom i moždani udar (Mišigoj-Duraković i sur., 2018).

Stoga, da bi se postigao najviši stupanj zdravlja, potrebno je sagledati malo širu sliku, jer je broj čimbenika koje na njega utječu velik. Također, da bi se zdravlje sačuvalo, odnosno da bi se spriječio razvoj neke od bolesti potrebno je poduzeti određene preventivne mjere.

Proučavanje miosteatoze predstavlja veoma složeno područje istraživanja jer je vjerojatno da će pohrana masti (lipida) ovisiti o tipu mišića, lokaciji određenih vrsta lipida u mišiću i načinu procjene. Time se otvara širok raspon istraživačkih mogućnosti i izazova. Naime, puno je pitanja koja stoje neodgovorena u vezi s nastankom miosteatoze; kako se i zašto nakuplja s godinama? Je li miosteatoza jednaka u različitim dijelovima tijela i može li se njezino nakupljanje kod mlađih osoba spriječiti ako se ranije intervenira? Zahvaća li jednako sve tipove mišićnih vlakana i u kojoj mjeri utječe na kvalitetu života?

Postojanje miosteatoze uvelike je povezano s niskom tjelesnom aktivnošću, sjedilačkim načinom života ili određenim patološkim stanjima koja će uzrokovati mišićnu disfunkciju, a osnovno pitanje koje se postavlja je, može li tjelesna aktivnost utjecati na infiltraciju mišićne masti kod osoba zahvaćenih miosteatozom i ako da, na koji način?

## 2. MIOSTEATOZA

### 2.1. DEFINICIJA I KARAKTERISTIKE MIOSTEATOZE

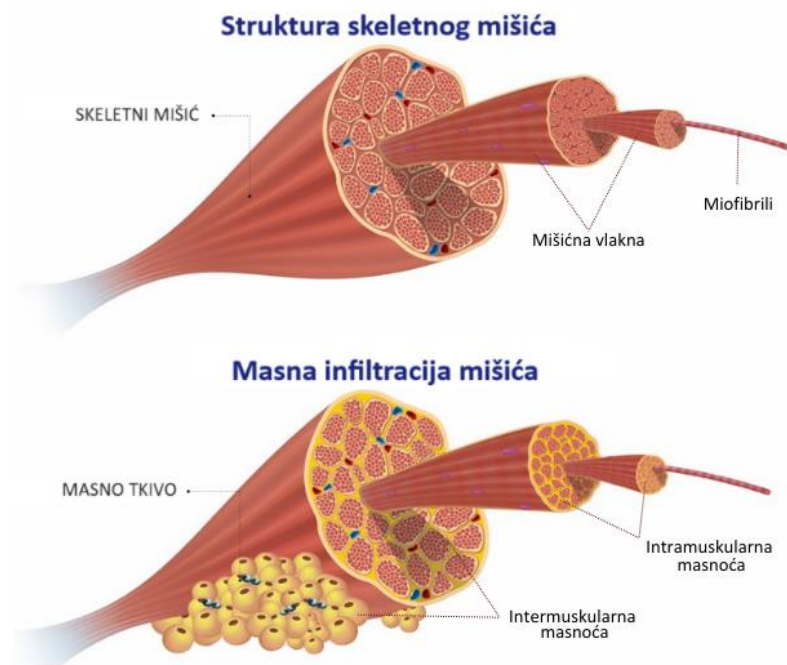
Većina medicinskog interesa se do sada, po pitanju sastava tijela i njegovog utjecaja na zdravlje, usmjeravala na visceralnu pretilost, gubitak mišića ili steatozu jetre, dok se miosteatoza zanemarivala (Nachit i sur., 2023). Međutim, povezanost miosteatoze sa kroničnim bolestima, rakom, bolestima jetre i bubrega te rizikom od smrti budi sve veći interes za istraživanja.

Prema Ramirez-Velez i sur. (2021) miosteatoza je vrlo specifična mišićna promjena koja se javlja u fiziološkim (sportaši, starenje) i patološkim stanjima (neuromuskularne degenerativne bolesti), a uglavnom je riječ o patološkom fenomenu koji karakterizira prekomjerno nakupljanje masnog tkiva u mišićima. Zbog fizioloških akcija i reakcija u mišićima se i inače nalaze male količine masnoga tkiva, međutim prekomjerne količine predstavljaju problem zbog utjecaja na normalno funkcioniranje mišića. Ovakva nakupljanja masnoća se mogu pojaviti unutar mišićnih vlakana, tj. unutar miocita (intramuskularna masnoća) ili između mišićnih vlakana (intermuskularna masnoća) (slika 1). Vrsta masti koja se nalazi između mišićnih skupina u tzv. intersticiju, unutar mišićne fascije, zapravo okružuje skeletne mišiće i jasno je odvojena od potkožnog masnog tkiva. Definiranje i interpretacija miosteatoze i vrste nakupljanja masnih naslaga razlikuju se od istraživanja do istraživanja, što dodatno otežava usporedbu i tumačenje rezultata. Tako na primjer Correa-de-Araujo i sur. (2020) definiraju tri vrste nakupljanja masnoga tkiva gdje pojam miosteatoze obuhvaća: (1) intermuskularno masno tkivo – izvanstanične masne naslage između mišića i gornje fascije te susjednih mišića, (2) intramuskularno masno tkivo koje se nalazi unutar pojedinog mišića, ali između mišićnih stanica i (3) intramiocelularne lipide koji se nalaze unutar miocita, mišićnih stanica. U svakom slučaju, za potrebe ovog diplomskog rada te prilikom interpretacije i iznošenja podataka istraživanja, koristit će se prva navedena podjela, tj podjela na intramuskularnu i intermuskularnu masnoću.

Male količine masti pohranjene primjerice u skeletnim mišićima, jetri i gušterači su normalne i važne kao izvor energije u slučaju nedostatka glukoze. Prema tome, svaka dugotrajnija prehrana lipida koja nema ulogu izvora energije vodi oštećenju funkcije tkiva i mogućem nastanku miosteatoze (Unger, 2003). Disfunkcija masnog tkiva obično nastaje kada pojedinačni čimbenici poput genetike, prehrane, cirkulirajućih hormona ili navika vježbanja negativno počnu djelovati na metaboličko zdravlje ometajući njihovu zajedničku sposobnost

održavanja homeostaze, što dovodi do metaboličkih poremećaja susjednih tkiva i nepovoljnih kliničkih ishoda (Sparks i sur., 2021).

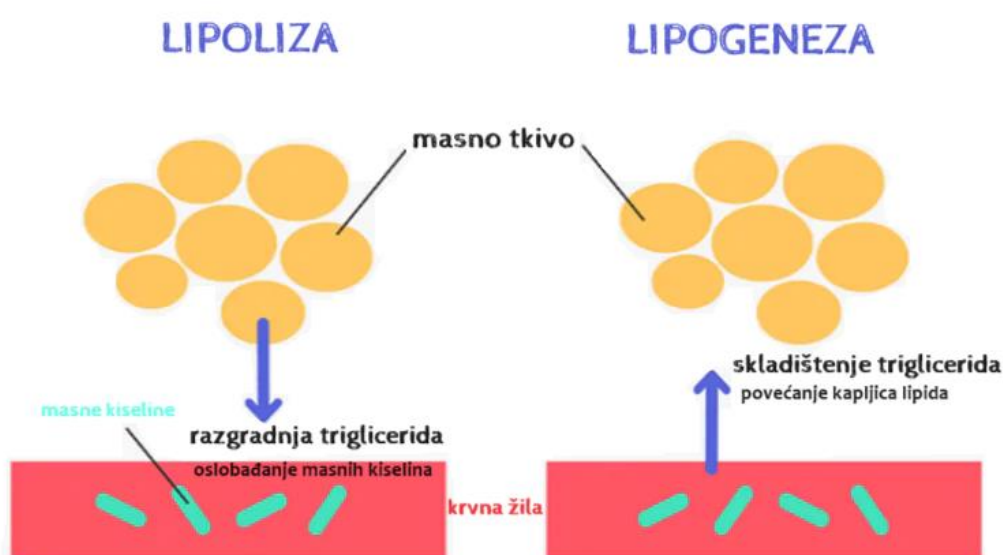
Miosteatoza može utjecati na različite mišićne skupine u tijelu, uključujući i skeletne mišiće, a uzroci mogu uključivati metaboličke poremećaje, pretilost, nepravilnu prehranu, nedostatak tjelesne aktivnosti ili genetske faktore, kao i razne upalne procese, ali i dugotrajnu primjenu određenih lijekova. Miosteatoza dovodi do smanjenja funkcionalnosti mišića, smanjenja snage, izdržljivosti i pokretljivosti te povećanog rizika od ozljeda kod starijih osoba (Nikolić i sur., 2015). Povezana je s lošim metabolizmom, zdravljem mišićno-koštanog sustava te ubrzanim starenjem neovisno o općoj pretilosti (Ramirez-Velez, 2021).



**Slika 1.** Nakupljanje masnoća unutar mišića i mišićnih vlakana. Prerađeno prema Pasco, J. (2022).

Masno tkivo se dominantno sastoji od adipocita te igra središnju ulogu u regulaciji energije cijeloga tijela i homeostaze glukoze na razini organa i organskih sustava (Luo i Liu, 2016). Masnim tkivom kao i svim ostalim tkivima u tijelu upravljaju brojni hormoni. Energija se skladišti u obliku lipida, a količina nataloženog masnog tkiva ovisi o genetskim i nutritivnim čimbenicima (Buyse i Decuyper, 2015). Lipidi su temeljni građevni blokovi svih stanica i ovisno o tipu organela, stanice ili tkiva kojega je sastavni dio, biti će potrebni za različite funkcije. Desetci tisuća različitih vrsta lipida se uz pomoć proteina konstantno sintetiziraju,

metaboliziraju i transportiraju (Muro i sur., 2014). Glavne komponente široko rasprostranjenih krvnih lipida u ljudskom tijelu su trigliceridi i kolesterol. Trigliceridi ili „neutralne masti“ su esteri masnih kiselina glicerola i sudjeluju u energetske metabolizmu, dok se kolesterol uglavnom koristi za sintezu stanične membrane, steroidnih hormona i žučnih kiselina (Wu i sur., 2022). Svaki višak energije će se taložiti u obliku triglicerida u masnom tkivu, povećavajući pritom veličinu kapljica lipida, što rezultira širenjem masnog tkiva (Tan i Vidal-Puig, 2008). Dakle, kao organ za skladištenje energije, masno tkivo i pohranjuje trigliceride i oslobađa masne kiseline; lipogeneza i lipoliza (slika 2). Lipogeneza je proces stvaranja, odnosno skladištenja triglicerida i širenja lipidnih kapljica u adipocitima, dok je suprotno tome lipoliza proces razgradnje. Lipoliza predstavlja katabolički proces koji razgrađuje trigliceride pohranjene u adipocitima i dovodi do oslobađanja slobodnih masnih kiselina i glicerola koji se mogu oksidirati ili osloboditi (Langin, 2006). Grubo rečeno, hranjenje potiče lipogenezu i skladištenje triglicerida u masnom tkivu, dok gladovanje dovodi do aktivacije lipolize i razgradnje triglicerida uz oslobađanje masnih kiselina iz masnog tkiva (Luo i Liu, 2016).



**Slika 2.** Proces lipolize i lipogeneze.

Masna infiltracija je obrnuto proporcionalna specifičnoj sili mišića; porastom miosteatoze odnosno porastom intermuskularne i intramuskularne masti, kvaliteta mišića opada. Smanjena kvaliteta mišića, znači smanjenje opće pokretljivosti. Ukoliko dođe do ozljede, oporavak od te ozljede, primjerice puknuća tetive ili neke vrste prijeloma, će kod takvih pojedinaca biti sporiji i lošiji. U ozlijeđenom će dijelu tijela, nakupljanje masnoga tkiva biti ubrzano i njegove će

količine biti veće nego u neozlijeđenom dijelu tijela. Istraživanje Correa-de-Araujo i sur. (2020), jedno je od prvih istraživanja vezano za korelaciju između miosteatoze, kvalitete mišića i slabosti u starijih ispitanika.

S obzirom na aktivnost mišića, njihovu upotrebu i potrebu za pohranjivanjem energije, različiti će mišići različito pohranjivati masnoću (Ahmed i sur., 2018). Pohrana masnoće uvelike ovisi o fiziologiji tijela i načinu života pojedinca. Iako je neizbježna posljedica starenja, povećane razine intramuskularne masti prisutne su i kod visoko treniranih sportaša izdržljivosti, što dovodi do zaključka da nisu svi lipidi koji su pohranjeni u stanici uvijek štetni za stanicu (Coen i Goodpaster, 2012).

### Procjena miosteatoze

Postavljanje dijagnoze temelji se na fizičkom pregledu pojedinca, medicinskom kartonu; povijesti bolesti te provođenju dodatnih dijagnostičkih testova pomoću ultrazvuka, magnetske rezonance (MRI), CT-a ili biopsije mišića.

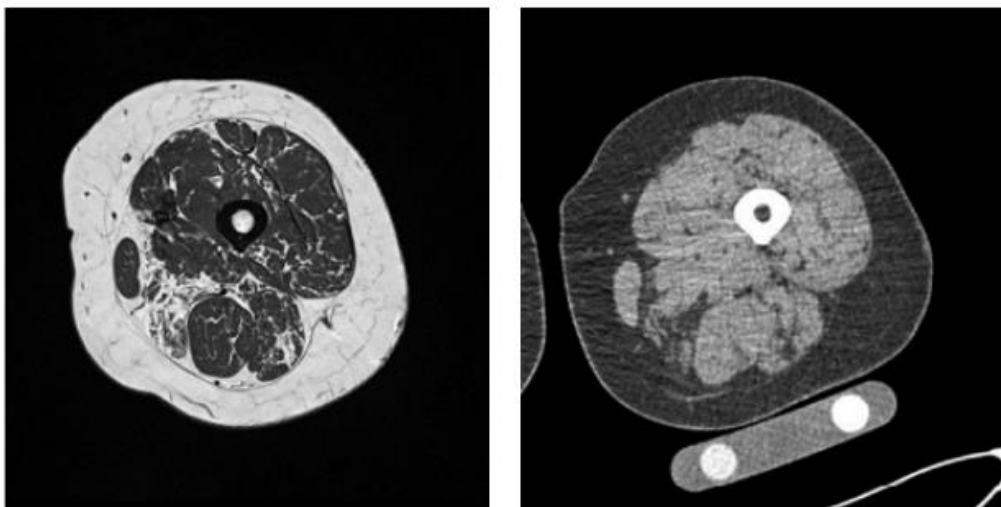
Mikroskopija i ekstrakcija tkiva jedne su u nizu tehnika pomoću kojih se može doći do podataka o količini oštećenih mišićnih tkiva. Iako se biopsija skeletnih mišića u praksi rijetko izvodi, postoje razne inovativne mikroskopske tehnike koje se koriste za procjenu sadržaja lipida u skeletnim mišićima, među kojima je najčešće korišteno histološko bojanje mišića. Tom se tehnikom omogućuje jednostavno mjerenje promjera mišićnih vlakana i adipocita, kao i razlikovanje vrsta mišićnih vlakana. Ipak, slikovne metode su najčešće korišteni alat u kliničkim istraživanjima, a uključuju CT, MRI i ultrazvuk (Henin i sur., 2024).

Kada je riječ o neizravnoj procjeni sadržaja mišićne masti najčešće se koristi CT, osobito na velikim kohortama. Mjerenje se temelji na Hounsfieldovoj jedinici (HU), koja daje mjere gustoće. Povezano je s načinom na koji zrake prolaze kroz vodu. Voda nema gustoću, njena gustoća iznosi nula (Correa-de-Araujo i sur., 2020). Kost je najveće gustoće, mast najmanje, dok su vrijednosti nemasne mišićne mase negdje u sredini ovih krajnosti (Addison i sur., 2014). Prema tome, što je gustoća niža, veća je količina masti i samim time je veći stupanj miosteatoze. Ovom, relativno brzom metodom snimanja se procjenjuje sadržaj mišićne masti na temelju relativnog utjecaja na gustoću mišića (Henin i sur., 2024). Mjerenja se većinom rade na bedrenim mišićima, zbog lake dostupnosti, no sve se više govori o tome da oni možda nisu relevantni za donošenje zaključaka o svim mišićima u tijelu. Problem CT-a je što ne razlikuje mikroskopsku lokaciju masnoće (slika 3). Ne može izravno mjeriti mjesto skladištenja masti

ili kapljica lipida unutar mišića, primjerice nalazi li se mast intramuskularno ili intermuskularno, što predstavlja bitnu razliku kod nekih ishoda.

Za razliku od CT-a, MRI je izravna metoda mjerenja koja nema štetno zračenje, a omogućuje procjenu mišićnog fenotipa kroz kvalitativne i kvantitativne sekvence. Upravo se zbog toga, počinje sve više koristiti za dobivanje podataka. Znači, moguće je izravno izmjeriti sadržaj masti i njezinu lokalizaciju unutar mišićnog tkiva (Henin i sur., 2024).

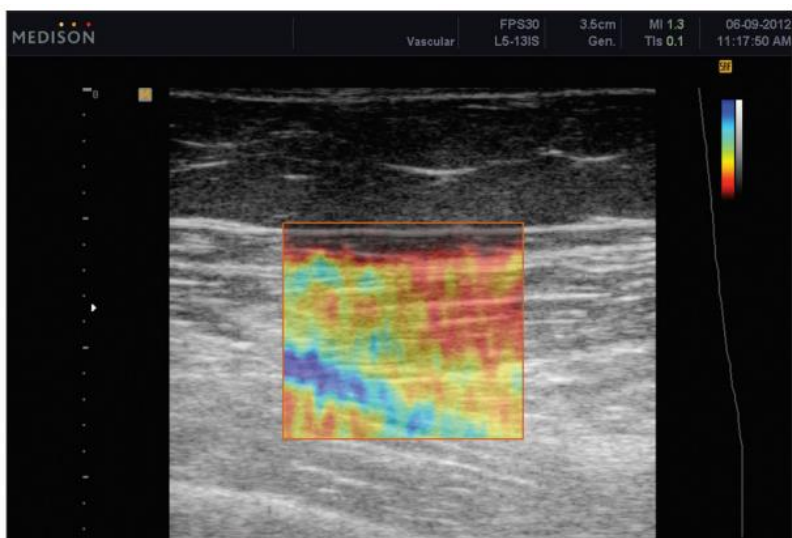
MRI uređaj koji kao takav, nema ionizirajuće zračenje, sa preciznošću može odrediti količinu masti unutar mišića. Radi se o kvantificiranoj procjeni gustoće mišića preko površine poprečnog presjeka. Pruža visokokvalitetnu sliku kojom se omogućava jasno razlikovanje mišićnih skupina i masnih naslaga uz visoku pouzdanost (slika 3). Unatoč svemu, uređaj u velikom broju slučajeva neće biti dostupan u ustanovama u kojima se provodi istraživanje, a i ne može se primijeniti na osobe koje imaju ugrađene metalne implantate. Skupoća i dugotrajnost mogu biti još neke od prepreka, a ponekad će nedostajati i standardizirani protokoli za skeniranje, što će onemogućiti njegovu primjenu (Correa-de-Araujo i sur., 2020).



**Slika 3.** Usporedba metoda za procjenu masti unutar skeletnih mišića (MRI – lijevo, CT – desno). Prerađeno prema „Quantitative analysis of skeletal muscle by computed tomography imaging – State of art“, Engelke i sur., 2018, Journal of Orthopaedic Translation 15, 91-103 (<https://doi.org/10.1016/j.jot.2018.10.004>). CC BY-NC-ND

Nadalje, kvantitativni ultrazvuk je prijenosni uređaj, a i vrlo jeftin. Neradioaktivna je tehnika snimanja koja omogućuje mjerenje infiltracije mišićne masti. Ne procjenjuje samo mišićnu

masu već i sastav tkiva (slika 4) prilikom čega može pružiti dovoljno pouzdana mjerenja. Ono što predstavlja njegov nedostatak je valjanost mjerenja. Polu-kvantitativno mjerenje ne daje naročito precizne podatke, a mogući su i problemi prilikom skeniranja koje ovisi o postavljanju sonde, pritisku i upadnom kutu (Correa-de-Araujo i sur., 2020).



**Slika 4.** *Ultrazvuk m.vastus medialis (zelena boja – uobičajena čvrstoća mišića; plava boja – pojačana krutost, fibroza tkiva; crvena boja – pojačana mekoća mišića, infiltracija masnog tkiva). Prerađeno prema „Neinvazivna slikovna dijagnostika kroničnih upalnih bolesti mišića“, Harjaček, 2012, Reumatizam, 59(2), 39-43.*

U velikom se broju istraživanja iz ovih ili onih razloga ne mogu donijeti jasni zaključci. Jedan od problema u interpretaciji rezultata predstavlja upravo raznolikost softvera kojima se analizira sastav mišićnih tkiva. Protokoli kojima se dobivaju slike pomoću različitih tehnologija, nedosljedni su i značajno utječu na analize i interpretacije dobivenih rezultata. Ono što dodatno otežava stvar u usporedbi istraživanja je različito imenovanje masnih infiltracija unutar mišića. Zbog toga je prvo potrebno standardizirati protokole prema kojima će se prikupljati i analizirati slike, kako bi se cijeli postupak pojednostavio.

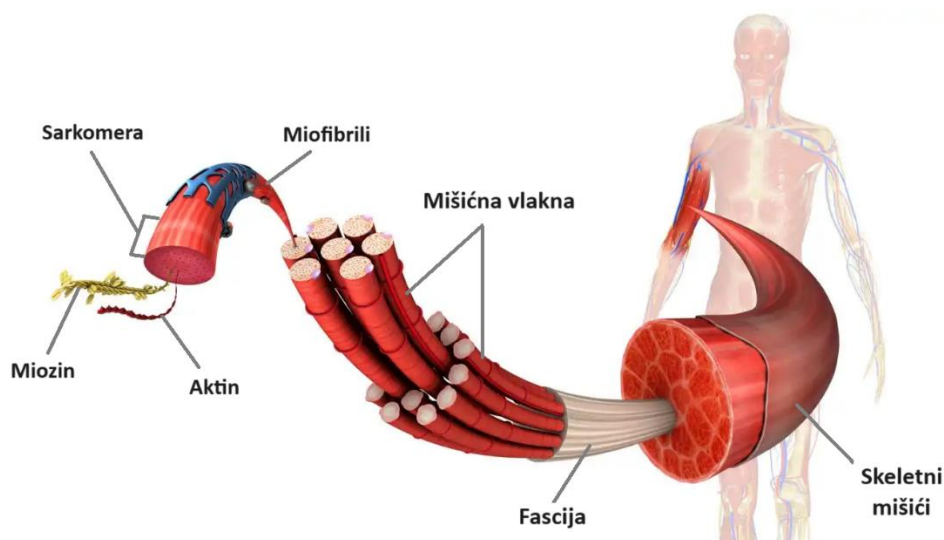
#### 2.1.1. Morfološka građa i struktura mišića

Da bi se razumjelo funkcioniranje mišićnog sustava, potrebno je razumjeti morfološku građu i strukturu mišića (slika 5). Svaka od tri različite vrste mišića (glatki, srčani i poprečno prugasti/skeletni) tvore jedinstveni sklop koji funkcionira na određeni način. Najvažnijom razlikom između glatkih i skeletnih mišića ističe se način aktivacije. Utjecaj različitog broja



receptorskih bjelančevina na membranama jedne i druge vrste mišića, biti će odgovoran za početak procesa kontrakcije (Matković i Ružić, 2009).

Jedna od osnovnih strukturnih jedinica mišića je mišićno vlakno, obavijeno endomizijem, tankim slojem vezivnog tkiva. Više mišićnih vlakana grupira se zajedno u snopove, koje povezuje perimizij, tanka pokrivna opna i još jedan sloj vezivnog tkiva. Snopovi su dalje obavijeni epimizijem, odnosno izvanjskom ovojnicom koja obavija cijeli mišić.



**Slika 5.** Morfološka građa i struktura mišića. Preuzeto s <https://stretch-well.com/sr/struktura-misica>. Copyright © 2024

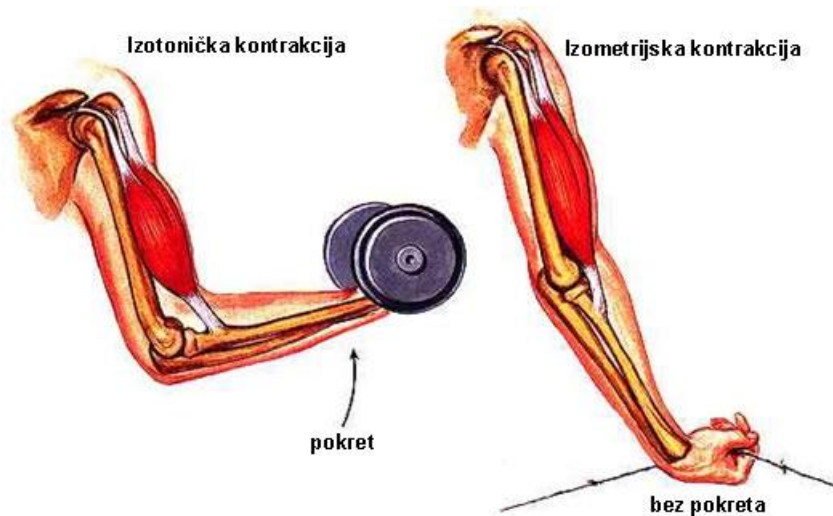
Mišićno tkivo dakle, tvori posebna vrsta stanica, mišićna vlakna. Sposobnost njihovog stezanja proizvodi pokret (Kovačić i Lukić, 2006). Unutar mišićnog vlakna nalaze se miofibrili, “snopovi nitastih bjelančevina koje su odgovorne za kontrakciju mišića uz prisutnost  $Ca^{2+}$ ”. Miofibrili su mišićna vlakanca sačinjena od filamenata tankih i debelih niti proteina, poput aktina, miozina i troponina, s time da su niti miozina deblje, a niti aktina tanje. Ovi filamenti su organizirani u jedinice nazvane sarkomere, koje su osnovne kontraktilne jedinice mišića (Matković i Ružić, 2009).

Prema istraživanju Nikolić i sur. (2015) važan faktor u morfološkoj građi mišića je i prisutnost satelitskih stanica, čija je glavna funkcija regeneracija i obnova mišićnog tkiva nakon određenog oštećenja ili stresa. Navedene se stanice nalaze između bazalne i plazmatske membrane mišićnih vlakana, a razlog zbog kojeg mogu uspješno sudjelovati u regeneraciji i obnovi mišićnog tkiva je što imaju mogućnost dijeljenja i samim time omogućuju opskrbu mišića novonastalim mioblastima. Mioblasti, omogućuju mišićima rast i razvoj. Ukoliko kod

starijih ljudi dođe do ozljede, s obzirom na regenerativnu sposobnost njihovih mišićnih vlakana, koja je smanjena, poznato je da će oporavak biti znatno duži, što im smanjuje kvalitetu života. Regeneracija mišića dovodi do gubitka mnogih mišićnih funkcija, a istraživanje Sciorati i sur. (2015) navodi da je proces rezultat smanjenog broja satelitskih stanica. Ipak, ne može se reći da je smanjena regenerativna sposobnost koja se događa starenjem, uzrok samo starenja satelitskih stanica. Proces je nešto kompleksniji. Uzrok može biti i pojava denervacije, odnosno zahvaćenosti motoneurona procesom odumiranja (Nikolić i sur., 2015). Naime, svaki motoneuron ima određenu motoričku jedinicu koja mu pripada zajedno sa ‘svojim’ mišićnim vlakanim, a koja su u ovom slučaju u procesu denervacije.

Mišići su opskrbljeni bogatom mrežom krvnih žila i živaca, što im omogućava dobavu kisika i hranjivih tvari te prijenos živčanih impulsa potrebnih za kontrakciju. Mišićna aktivnost tj. kontrakcija uzrokovana je akcijskim potencijalom koji dolazi iz živčanog sustava kao odgovor na podržaj iz motoričkog (pokretačkog) neurona. Kada je riječ o kontrakciji, zapravo je riječ o skraćanju mišićnih vlakana. Mišić se skraćuje i privlači mjesta na koja je vezan čime se posljedično stvara sila, nastaje pokret (Matković i Ružić, 2009).

Nekoliko je vrsta mišićnih kontrakcija (slika 6); izotonička (ekscentrična i koncentrična), izometrička i izokinetička. Ukratko, izotonička kontrakcija predstavlja stalnu napetost mišića i mijenjanje njegove duljine na način da se može skraćivati i produživati, dok je kod izometričke kontrakcije obrnuta situacija; duljina mišića je stalna, ali napetost raste. Treći način kontrakcije zahtijeva upotrebu posebnih uređaja, a mišić se skraćuje stalnom brzinom.



**Slika 6.** Vrste mišićnih kontrakcija. Preuzeto s <https://zdravlje.eu/2011/04/28/izometrijska-i-izotonicna-misicna-kontrakcija/>. Copyright © 2018

Prilikom voljne kontrakcije, prvo se aktiviraju manji, a potom veći motoneuroni. Pretpostavka ovakvog načina aktivacije su različite vrste mišićnih vlakana. Dva su osnovna tipa mišićnih vlakana; crvena ili spora mišićna vlakna i bijela ili brza mišićna vlakna. Crveni tip mišićnih vlakana (tip 1) dominantno je aktivan prilikom aerobnog rada, uz veliku efikasnost i veoma dobro odupiranje umoru, a karakterizira ga velik broj mitohondrija (Matković i Ružić, 2009). Mitohondriji su organeli koji uz pomoć brojnih bjelančevina oslobođenu energiju nastalu razgradnjom hranjivih tvari pohranjuju u obliku molekula ATP-a (adenozin-trifosfata) (Kovačić i Lukić, 2006). Nadalje, za razliku od crvenih, bijela mišićna vlakna imaju veliku brzinu kontrakcije i većeg su promjera, ali sadrže mali broj mitohondrija i slabo se nose s umorom. Dakle, vlakna tipa 1 su sporokontrahirajuća i dominantno su aktivna tijekom ponavljajućih kontrakcija uslijed cikličnih aktivnosti poput trčanja, dok su vlakna tipa 2 brzokontrahirajuća i postaju aktivna uslijed naglih i snažnih kontrakcija.

Većina istraživanja dosad koja su analizirala površinu mišićnih vlakana ukazala su da je tijekom starenja veća atrofija mišićnih vlakana tipa 2 (Nikolić i sur., 2015), dok je površina poprečnog presjeka vlakana tipa 1 relativno dobro očuvana (Close i sur., 2005). Također, smanjenje udjela vlakana tipa 2 rezultira pomicanjem mišića prema karakteristikama vlakana tipa 1. Dovoljno dobar dokaz mogu biti uočene usporene kontrakcije i brzina razvoja sile (Close i sur., 2005), kod starijih osoba. Usporeno kretanje, smanjena sposobnost ubrzavanja kretanja udova i narušena ravnoteža neke su od posljedica propadanja mišićnih vlakana. Takvim će mišićima trebati dulje vremena da se oporave od nastalog oštećenja, što treba uzeti u obzir prilikom rehabilitacije.

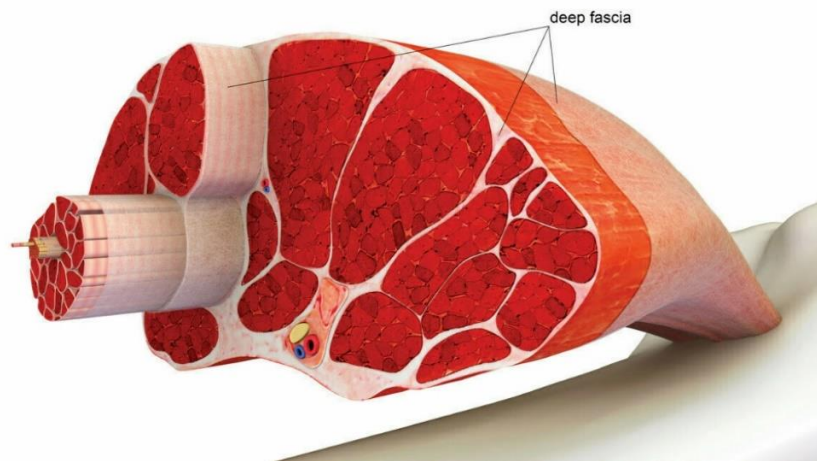
### 2.1.2. Fascijalni sustav u kontekstu miosteatoze

Međusobna povezanost i suradnja fascije i mišićnog sustava omogućuje pokretljivost i funkcionalnost tijela. Kroz fasciju prolaze krvne žile i živci koji opskrbljuju mišiće hranjivim tvarima i signalima za kontrakciju. Fascijalni sustav čovjeka je kompleksna mreža vezivnog tkiva koja je prisutna po cijelom ljudskom organizmu, a obavlja, povezuje i podupire različite strukture tijela, uključujući mišiće (slika 7), kosti, živce i krvne žile. Upravo zbog toga što može obavijati različite tjelesne strukture, postoje različite vrste fascija, gdje svaka od njih ima određenu funkciju (Stecoo i sur., 2019).

Sastav fascije može varirati ovisno o lokaciji u tijelu i specifičnoj funkciji određenog dijela tijela, no uglavnom se sastoji od proteina (kolagen, elastin, proteoglikani), ugljikohidrata

(glikozaminoglikani), vode te glavnih stanica, odnosno fibroblasta koji zapravo stvaraju i održavaju fasciju, na način da proizvode navedene spojeve koji su potrebni za samu strukturu i funkciju fascije (Standring, 2015).

Fascija omogućava integritet i koordinaciju pokreta, a ima i važnu ulogu u podršci mišićima kojima ujedno pomaže u prijenosu sile tijekom kontrakcija. Uz pomoć fascije mišići slobodno klize jedni prema drugima jer sprječava trenje između mišića i na taj način olakšava pokrete. Osim toga, fascija ima ulogu održavanja oblika tijela i distribucije opterećenja tijekom aktivnosti. Studije su pokazale da fascija igra važnu ulogu u biomehanici tijela te da promjene u fascijalnom sustavu mogu utjecati na pokretljivost, izdržljivost i funkcionalnost mišića. Razumijevanje fascijalnog sustava postaje sve važnije u kontekstu rehabilitacije, sportske izvedbe i općeg zdravlja (Stecco i sur., 2019).



**Slika 7.** Mišićna fascija. Preuzeto s <https://marre.si/kaj-je-fascija/>. Copyright 2024 ©

Iako se miosteatoza obično povezuje s masnim infiltracijama unutar mišićnog tkiva, fascija također može biti pogođena ovim stanjem. Promjene će se očitovati u njezinoj strukturi i elastičnosti. Nakupljanje masnih naslaga unutar mišića može izazvati povećanje pritiska na okolnu fasciju i rezultirati stvaranjem adhezija ili fibroze unutar fascije, što će ograničiti pokretljivost mišića i uzrokovati bol. Isto tako, disfunkcija fascije može utjecati na biomehaniku tijela i opterećenje mišića tijekom pokreta. Ako fascija postane manje elastična ili izgubi svoju sposobnost pružanja podrške mišićima, doći će do nepravilnog opterećenja mišića tijekom aktivnosti. Navedeno dalje može pogoršati miosteatozu ili otežati proces rehabilitacije (Schleip i sur., 2012).

Stoga, iako se miosteatoza obično fokusira na masne infiltracije unutar mišića, važno je razmotriti i ulogu fascije u ovom stanju. Razumijevanje interakcije između fascije i mišića

može biti ključno za razvoj učinkovitih terapijskih pristupa za liječenje miosteatoze i poboljšanje funkcionalnosti mišića.

## 2.2. ETIOLOGIJA I ČIMBENICI RIZIKA

Razvoj i prilagodba tehnologije (MRI i CT) za procjenu nakupljanja masti unutar mišića, omogućila je ispitivanje mogućih čimbenika rizika odgovornih za promjene na mišićima (slika 8). U manjoj ili većoj mjeri, riječ je o utjecaju starenja, tjelesne aktivnosti, pretilosti pa i spola i rase. Wang i sur. (2024) u čimbenike rizika ubrajaju i metaboličke bolesti, metaboličke sindrome, ne metaboličke bolesti (bolesti povezane s mišićima, virusne i upalne bolesti) i ozljede mišića. Općenito, metaboličke bolesti i metabolički sindromi su popraćeni nakupljanjem intramuskularne masti. Također navode da je bolest glavni faktor rizika za gubitak mišićne mase i snage, a neke bolesti mogu biti glavni uzroci infiltracije masti u skeletnim mišićima.

Visoke razine intramuskularne masti, povezuju se s inzulinskom rezistencijom, dijabetesom tipa 2, pretilosti, raznim metaboličkim oštećenjima, gubitkom snage, disfunkcijom mobilnosti itd. Bolest povezana s mišićima poput Duchenneove mišićne distrofije (Garrod i sur., 2009)), virusna bolest poput COVID-19 (Casey i sur., 2021) i HIV-a (Natsag i sur., 2017) ili upalna bolest poput reumatoidnog artritisa (Khoja i sur., 2017) i osteoartritisa (Pedroso i sur., 2019); sve su to bolesti koje uvelike pridonose infiltraciji masti u skeletne mišiće, smanjenju snage i mase skeletnih mišića te posljedično i smanjenju kvalitete života.

Istraživanje Almurthi i sur. (2016) smanjenu jakost mišića također povezuje s povećanim razinama intramuskularnih masti, ali i nedostatkom vitamina D, a snaga je smanjena i kod osoba s oštećenom tolerancijom glukoze. Ramirez-Velez i sur. (2021) štetan utjecaj na kvalitetu mišića, njihovu masu i snagu objašnjavaju kroz ograničenost neuromuskularne aktivacije i oslabljenu cirkulaciju u mišićima.

Pet je depoa masti u ljudskom organizmu, a oni su potkožni, visceralni, intermuskularni, intramuskularni i koštani depo (Hausman i sur., 2014). Nisu svi adipozni depoi isti (Addison i sur., 2014). Svaki od tih depoa razlikuje se po svojoj strukturi, funkciji i regulaciji svih stranica koje se nalaze u tim istim depovima, što zahtijeva određene napore prilikom istraživanja. Brzina nakupljanja i način taloženja masnoga tkiva ovisi o samom depou (Hausman i sur., 2014), a problem se javlja kada dođe do disbalansa depoa. Infiltracija velikih količina adipocita poremetit će normalnu funkciju organa, a nefunkcionalnost jetre se može uzeti za primjer. Kako

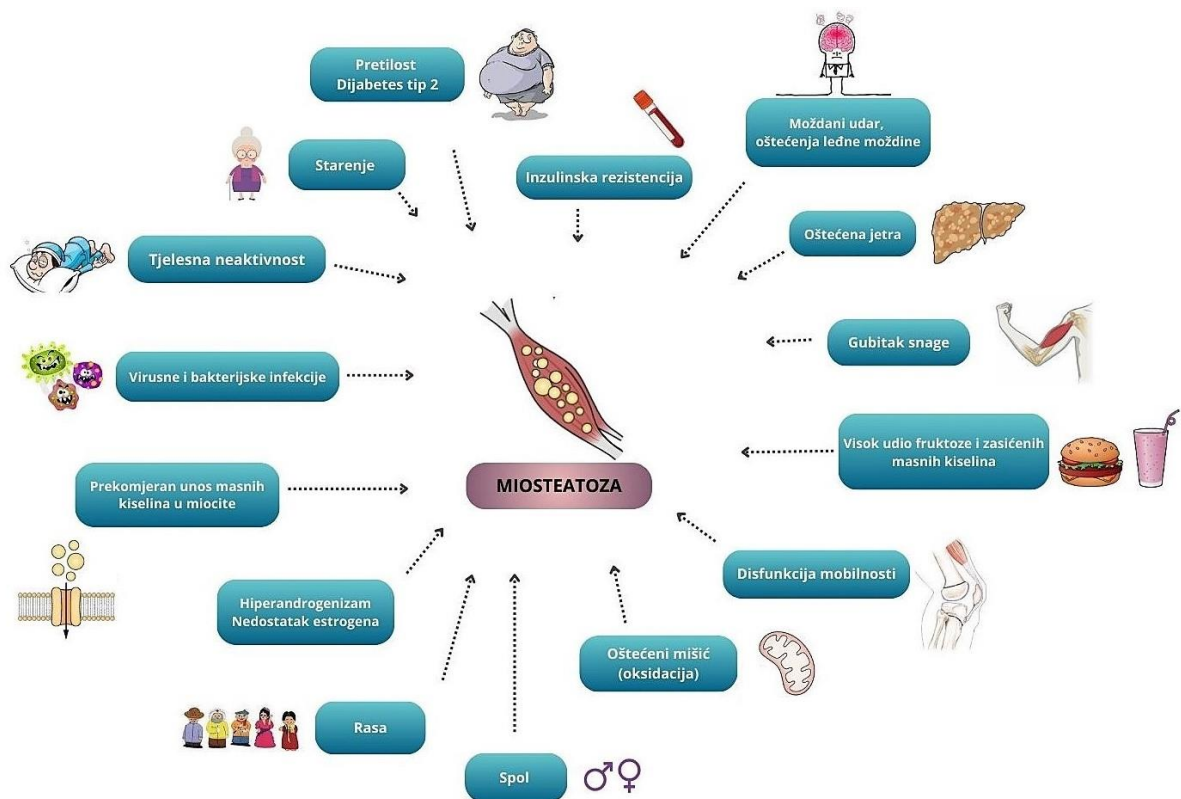
bi sebe rasteretila, masna će jetra uzrokovati masne infiltracije u druge organe ili tkiva te time dovesti do povećanih metaboličkih upala i oštećenja.

Prekomjerno nakupljanje masti rezultira pretilošću koja se povezuje s većom krutošću arterija, većim krvnim tlakom, raznim metaboličkim upalama, inzulinskom rezistencijom i funkcionalnim oštećenjima.

Suradnja mišića, jetre i masnog tkiva toliko je povezana da bilo kakva odstupanja u pojedinom segmentu mogu potaknuti metaboličku disfunkciju, što na kraju dovodi do propadanja funkcije jetre i mišića (Lanthier i Leclercq, 2014).

Prema Addisonu i sur. (2014) masno tkivo koje je pohranjeno u potkožnim depovima, negativan je prediktor za metabolički sindrom, a masno tkivo pohranjeno u mišićima, jetri ili trbušnoj šupljini povezano je s kroničnim upalama, smanjenom snagom i pokretljivošću te oslabljenom tolerancijom glukoze i povišenim ukupnim kolesterolom.

Metabolička oštećenja ne moraju biti samo posljedica pretilosti koja za sobom povlači dijabetes i inzulinsku rezistenciju, već su povećanu intermuskularnu masnoću dokazano imale osobe koje su preživjele moždani udar ili imale određena oštećenja leđne moždine. Nakon moždanog udara, volumen mišića se smanjuje, a potkožno masno tkivo i intermuskularna masnoća se u pogođenom ekstremitetu povećavaju. Navodi se kako je u pogođenom ekstremitetu u odnosu na onaj koji nije bio pogođen, masni depo bio 6% veći, a intermuskularna mast 4% veća. Slični su rezultati i kod starijih osoba s ozljedama leđne moždine (Ryan i sur., 2011).



**Slika 8.** Čimbenici rizika uključeni u proces nastanka miosteatoze. Kreirano pomoću internetskog alata za grafički dizajn – Canva, <https://www.canva.com/>.

Starost, unatoč normalnoj i stabilnoj ukupnoj masnoći u organizmu, rezultira preraspodjelom masnih depoa, što bi značilo da će se mast iz potkožnih depoa s vremenom prebaciti u ranije navedene, štetnije depoe. Povećane količine intermuskularne masti kod starijih osoba dovode do povećanog rizika od budućih ograničenja mobilnosti (Addison i sur., 2014). Brojni su negativni ishodi povezani sa starenjem, a u koje je uključena miosteatoza. Rizik je za prijelom kuka pa time i invaliditet i hospitalizaciju, metabolička oštećenja, dijabetes, a teški ishodi bolesti dovode i do operacija (Correa-de-Araujo i sur., 2020). Dok neke studije povezuju miosteatozu sa većom stopom smrtnosti, druge studije tu poveznicu ne pronalaze. Slabljenje mišića zasigurno povećava rizik od invaliditeta.

Starenje uzrokuje i smanjenje mitohondrijske funkcije mišića koje jednim dijelom nastaje zbog kumulativnog oštećenja reaktivnih vrsta kisika i time predisponira pojedince za nakupljanje nepoželjnih lipida u mišićima (Correa-de-Araujo i sur., 2020). Dok neka istraživanja ne povezuju intramuskularnu mast s oksidativnim kapacitetom mitohondrija, druga iznose spoznaje kako visoke razine intramuskularne masti smanjuju oksidativne kapacitete mitohondrija povezanih s miocitima, povećavajući naposljetku miosteatozu (Koves i sur., 2008). Kapacitet mitohondrija je ograničen, posebno u glikolitičkim mišićima, zbog niže

mitohondrijske oksidativne fosforilacije u usporedbi s oksidativnim mišićima. Upravo zbog toga su glikolitički mišići izloženi većem riziku od miosteatoze u usporedbi s oksidativnim mišićima (Beha i sur., 2006).

Razlike po spolu mogu ovisiti o metabolizmu ili primjerice taloženju intramuskularne masti. Nemali broj istraživanja ističe da sadržaj i količina lipida ovise o spolu. Dobiveni rezultati istraživanja Correa-de-Araujo i sur. (2020) pokazuju veće vrijednosti miosteatoze kod žena nego li kod muškaraca, neovisno o razlici u indeksu tjelesne mase ili ukupne tjelesne masnoće. Postavlja se pitanje, kako to objasniti?

Nekoliko je istraživanja koje endokrine poremećaje, poput hiperandrogenizma i nedostatka estrogena, povezuju s iniciranjem nastanka miosteatoze. Hiperandrogenizam je sindrom policističnih jajnika i često se povezuje sa povećanim sadržajem visceralne masti, inzulinskom rezistencijom i drugim značajkama metaboličkog sindroma (Lord i sur., 2006). Sadržaj masnoće u jetri je povećan kod žena koje imaju hiperandrogenizam u odnosu na normoandrogene (Jones i sur., 2012). Estrogen je pak spolni hormon koji je uključen u metabolizam glukoze i lipida, ali i u osjetljivost na inzulin. Žene se u postmenopauzi često suočavaju s povećanjem masne mase što ih izlaže većem riziku od miosteatoze (Arshad i sur., 2019). Masno tkivo ima primarnu ulogu u proizvodnji estrogena van reproduktivnih organa upravo zbog smanjenja njegovih količina kasnije u životu (Stout i sur., 2017). Dakle, povećane razine masne mase i pretilost su povezane s višom koncentracijom cirkulirajućeg estrogena. Nasuprot tome, istraživanje Camporez i sur. (2019) bilježi da dodatak estrogena značajno smanjuje masnoću jetre i mišića, što dovodi do povećane osjetljivosti na inzulin, na račun smanjene aktivacije protein kinaze C. Iako prema istraživanju, smanjuje masnoću pohranjenu u jetri i mišićima, što bi značilo da smanjuje razinu miosteatoze, s druge je strane zaslužan za nakupljanje potkožnog masnog tkiva i klasičnu žensku figuru pješčanog sata; mast se nakuplja u grudima, bokovima i stražnjici (Haselton, 2021). Znači da prema navedenim podacima estrogen zapravo utječe na redistribuciju masti, smanjujući masnoću u jetri i mišićima i pritom povećavajući količinu potkožnog masnog tkiva. Također, estrogen sam po sebi povećava aktivnosti metabolizma te uz brojne benefite ima i protuupalna svojstva.

Po pitanju rase istraživanje Miljković i sur. (2009) iznosi da je nakupljanje lipida u skeletnim mišićima češće kod Afrikanaca nego kod muškaraca bijele rase. Isto tako, istraživanje Correa-de-Araujo i sur. (2020) na Afroamerikancima pokazuje veće razine miosteatoze, a Hispanoamerikanci mlađe populacije (djeca i adolescenti) pokazuju veće vrijednosti



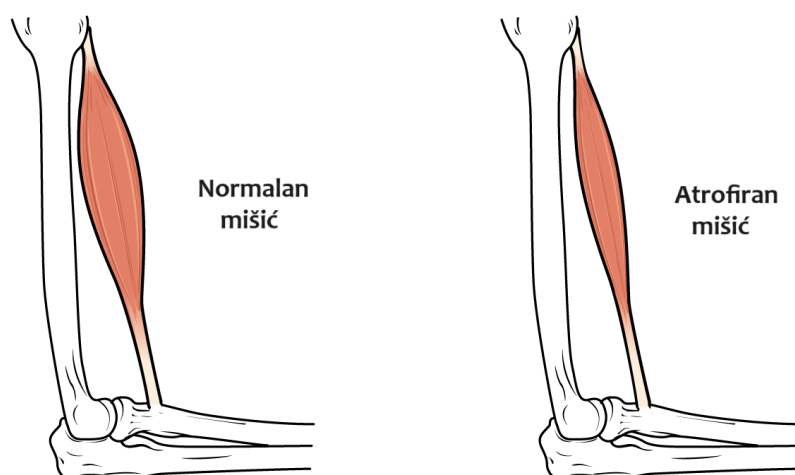
miosteatoze u usporedbi s bijelcima, neovisno o ukupnoj masnoći. Iako razlike u rasi vjerojatno postoje, nije relevantno zaključivati iz malog broja nedovoljno shvaćenih istraživanja. Unatoč tome što Afroamerikanci pokazuju veće vrijednosti miosteatoze u odnosu na druge, istovremeno pokazuju i niže vrijednosti nakupljenih masti u jetri ili drugim visceralnim organima/tkivima. Da bi se ispitali različiti mišići u više rasnih, etničkih i populacija pacijenata, potrebna su dulja longitudinalna kohortna istraživanja. Manjka istraživanja i na mlađim populacijama.

Neovisno o kojem se uzroku radi, jednom kada dođe do mišićne disfunkcije, velika je vjerojatnost da će doći do smanjenja ili čak izostanka tjelesne aktivnosti, a time i povećanih razina masti unutar mišića, što ponovno rezultira povećanjem masti, inzulinske rezistencije i još veće mišićne disfunkcije. Pagano i sur. (2017) su otkrili da se sadržaj intramuskularnog masnog tkiva povećava čak i nakon kratkog razdoblja neaktivnosti, što govori da su neaktivnost i nekorištenje mišića uvelike povezani s razvojem miosteatoze. Zato je važno ciljano i sustavno pristupiti liječenju miosteatoze i sa njom popratnih stanja kako bi se osobi vratila kvaliteta života.

### 2.2.1. Utjecaj sarkopenije na miosteatozu

S obzirom na uzročne mehanizme koji mogu biti raznoliki, tjelesna neaktivnost će za posljedicu imati smanjenje mišićne mase koja sa sobom povezuje niz drugih degenerativnih promjena u funkciji i strukturi mišića. Takvo se stanje često karakterizira kao sarkopenija (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Sarkopenija je pojam koji označava gubitak mišićne mase, snage i funkcije povezan s procesom starenja, a važan je prediktor za nastanak ozljeda i fraktura pri izvođenju svakodnevnih poslova. Iako ima nekoliko zajedničkih karakteristika sa miosteatozom, danas se ti pojmovi jasno razlikuju jedan od drugoga. Uzrokovane starenjem, jednako su povezane s gubitkom mišićne snage, utjecajem na mišićnu strukturu, mišićnu kontrakciju i mišićni kapacitet (Wang i sur., 2024).

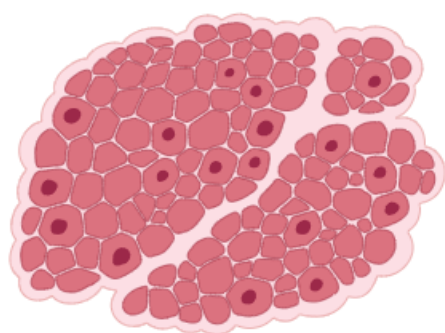
Gubitak mišićne mase posljedica je atrofije (slika 9). Bilo da se radi o prijelomu, oštećenju živaca ili starenju, uslijed neaktivnosti mišića doći će do smanjenja volumena mišićnih vlakana, ali i smanjenja snage mišića. Da je tjelesna neaktivnost odgovorna za veći dio takvih promjena tvrde Šilić i Ostojić (2007). Smanjenje se očituje u dimenzijama mišićnih stanica, njihovoj dužini, u sadržaju ATP-a i odnosu ATP-a i ADP-a, u količini glikogena i kreatin fosfata, a smanjuje se i brzina provođenja impulsa za više od 10%.



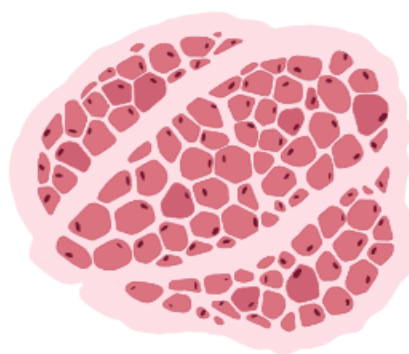
**Slika 9.** *Atrofija mišića.* Prerađeno prema OpenStax (2016).

U kontekstu miosteatoze, atrofija znači povećanje prostora unutar mišićnih vlakana te ispunjavanje istog praznog prostora masnoćom (slika 10). Kako bi se proces atrofije smanjio potrebna je mišićna aktivnost, tj mehanička stimulacija mišićnih vlakana, jer se pokazalo da ona sama po sebi sprječava nakupljanje masti. Nasuprot tome, smanjena mehanička stimulacija utječe na povećanje masne infiltracije i teže ju je zaustaviti, jednom kada je počela. Kada se poveća masna infiltracija, smanjit će se sposobnost voljne kontrakcije/aktivacije mišića u potpunosti (Correa-de-Araujo i sur., 2020). Navedeno bi značilo da tjelesna aktivnost može sudjelovati u prevenciji miosteatoze, samo je pitanje u kojoj mjeri.

Kako se mišićna masa smanjuje, smanjuje se i metabolička aktivnost mišića, što može dovesti do promjena u metaboličkom sustavu tijela, kroz smanjenje metabolizma i izdržljivosti u mišićima zahvaćenih sarkopenijom. Ovo smanjenje mišićne mase može doprinijeti razvoju miosteatoze, jer manje mišićne mase znači manju potrošnju energije i povećano skladištenje masnoće unutar mišića. Dakle, sarkopenija može povećati rizik od razvoja miosteatoze i pogoršati njene simptome. Osim toga, smanjenje mišićne mase može ograničiti funkcionalnost mišića, povećavajući potencijalne komplikacije povezane s miosteatozom.



**Zdravi mišić** - osoba s prosječno 30 godina  
(poprečni presjek mišića)



**Sarkopenija** - osoba s prosječno 50 godina  
(poprečni presjek mišića)

**Slika 10.** *Sarkopenija u kontekstu miosteatoze.* Kreirano pomoću softvera za znanstvene ilustracije - BioRender, <https://app.biorender.com/>.

Starenjem skeletni mišići postaju sve manji i slabiji, a razlog manje mišićne mase je zbog smanjenja broja mišićnih vlakana, kao i njihovog poprečnog presjeka. Uz navedeno, smanjuje se i omjer broja brzih i sporih mišićnih vlakana, na račun smanjenja brzih vlakana (tip 2) (Close i sur., 2005).

Nakon dosegnutih najvećih vrijednosti u trećem desetljeću, mišićna masa se počinje polako smanjivati u petom desetljeću i to posebno u udovima donjeg segmenta tijela. Do šestog desetljeća se smanji za oko 10%, a ubrzano smanjenje mišićne mase, jakosti, snage i mišićne izdržljivosti nastupa nakon 65.godine. Ukupno smanjenje mišićne mase tijekom života iznosi oko 40% (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Prema Close i sur. (2005) površina poprečnog presjeka se u dobi do 70 godina smanjuje za 25-30%, a snaga mišića za 30-40%. Ako se izuzme intramuskularna masnoća i vezivno tkivo u periodu od 20 do 70 godina, Nikolić i sur. (2015) također ističu da je smanjenje mišićne mase značajno i iznosi oko 40% sa smanjenjem od 1,4-2,5% svake sljedeće godine nakon 60. godine života.

Rezultat navedenih promjena nije posljedica samo i isključivo starenja, već i brojnih promjena tijekom starenja koje obuhvaćaju neaktivnost, sedentarno ponašanje, neurološke, hormonske i metaboličke promjene.

### 2.3. POSLJEDICE MIOSTEATOZE NA ZDRAVLJE

Miosteatoza može imati niz negativnih posljedica na zdravlje, a neki od ključnih su smanjenje funkcionalnosti mišića, povećan rizik od ozljeda, ograničenje pokretljivosti kao i ograničenje u obavljanju svakodnevnih aktivnosti te povećan rizik od drugih metaboličkih poremećaja.

U smislu smanjenja funkcionalnosti, nakupljanje masnih naslaga unutar mišića može ometati normalnu kontrakciju mišića, smanjujući im pritom snagu, izdržljivost i pokretljivost. S obzirom na degenerativne promjene na mišićima, a koji su uzrokovani infiltracijom masti, dolazi do pogrešnog poravnanja mišićnih vlakana i samim time ispoljavanja mišićne sile (Henin i sur., 2024). Također, smanjena je sposobnost mišića da apsorbira udarce i pruži potporu zglobovima, povećavajući rizik od ozljeda mišića, tetiva i zglobova, što može rezultirati bolovima, upalama i ograničenjem pokretljivosti. Sve navedeno otežava obavljanje svakodnevnih aktivnosti poput hodanja, penjanja stepenicama, podizanja predmeta, sudjelovanja u hobijima ili uživanja u rekreacijskim aktivnostima. Što je više ograničeno izvođenje svakodnevnih aktivnosti, više se smanjuje kvaliteta života.

Poteškoće prilikom izvođenja svakodnevnih tjelesnih aktivnosti, a koje su rezultat povećanih vrijednosti miosteatoze ističu i Addison i sur. (2014). One su povezane sa smanjenjem udaljenosti prilikom hodanja 6 minuta, smanjenom brzinom hodanja, smanjenom tjelesnom izvedbom, poteškoćama sa ponovnim ustajanjem sa stolice, sporijim spuštanjima niz stepenice itd. Također, 50-80% je veća vjerojatnost osoba s velikim količinama miosteatoze da će razviti neka od ograničenja mobilnosti u skorijoj budućnosti. Visoke razine miosteatoze, neće samo smanjiti pokretljivost, već i povećati rizik od razvoja invaliditeta iz razloga što se povećane vrijednosti miosteatoze povezuju s niskom mineralnom gustoćom kostiju i povećanim rizikom od prijeloma kuka.

Correa-de-Araujo i sur. (2020) također o odnosu miosteatoze prema pokretljivosti, ravnoteži i slabosti mišića; istaknuli su važnost mišića donjih ekstremiteta koji su ključni za pokretljivost. Rezultati su pokazali da je povećanje miosteatoze u mišićima trbuha, psoasa i kuka povezano s varijabilnošću hoda, progresijom kifoze i povećanim rizikom od padova. Osobe koje su pretrpjele padove pokazuju veće vrijednosti miosteatoze u abduktorima kukova, što govori o njihovoj manjoj okretnosti.

Nadalje, miosteatoza može biti povezana s povećanim rizikom od razvoja metaboličkih poremećaja poput dijabetesa tipa 2, metaboličkog sindroma ili kardiovaskularnih bolesti.

Masne naslage unutar mišića mogu poremetiti metabolizam glukoze i lipida, što može dovesti do poremećaja u regulaciji razine šećera i lipida u krvi. Negativan učinak miosteatoze na funkciju mišića, povezuje se s lipotoksičnošću, ograničenom neuromuskularnom aktivacijom, oslabljenim mišićnim protokom krvi i povećanom lokalnom upalom (Henin i sur., 2024).

Dakle, miosteatoza neće sama po sebi i u tolikoj mjeri uzrokovati gubitak snage i pokretljivosti kod starijih osoba. Ona je jedan od čimbenika koji može utjecati na gubitak mišićne funkcije i snage, ali je gubitak znatno veći ako je povezan s tjelesnom neaktivnošću. Dokaz vezan uz tjelesnu neaktivnost istraživanje je Manini i suradnika (2007) u kojem je zabilježeno povećanje intermuskularne masti od 15-20% u mladim osoba, s prosječnih 20 godina, a uspoređivao se neaktivan ekstremitet s aktivnim ekstremitetom.

Velike količine intermuskularne masti povezane s tjelesnom neaktivnošću dovode do smanjenja sposobnosti mišića da proizvede snagu za neki rad, što se obično pokaže kod treninga s opterećenjem. Zbog navedenoga, jasno je da za poboljšanje općeg stanja organizma nije, niti će ikad biti, dovoljno kratkoročno primjenjivanje tjelesne aktivnosti.

Sve navedene posljedice miosteatoze mogu rezultirati smanjenjem općeg stanja zdravlja i pogoršanjem kvalitete života. Osobe s miosteatozom mogu se suočiti s dugotrajnom boli, smanjenom funkcionalnošću i ograničenjima u aktivnostima, što može imati ozbiljan utjecaj na njihov svakodnevni život i dobrobit istoga. Za postizanje kvalitete, prvenstveno mišića, kao nemasne mase tijela, a potom i kvalitete života, potrebna je strpljivost i ustrajnost. Tjelesnu aktivnost treba primjenjivati kao stil života.

### **3. UTJECAJ TJELESNE AKTIVNOSTI**

“Tjelesna aktivnost je pojam koji opisuje svako tjelesno kretanje koje zahtijeva bilo koji oblik mišićne kontrakcije i rezultira povećanjem energijskog utroška iznad onog u mirovanju.” (Mišigoj-Duraković i sur., 2018).

Uzevši u obzir sve fiziološke promjene koje se zbivaju starenjem, ali i sve većom učestalošću različitih kroničnih bolesti neovisno o starosti, tjelesna aktivnost kao takva ima za cilj da održi ili poboljša funkcionalne sposobnosti te sudjeluje u sekundarnoj prevenciji, liječenju i/ili rehabilitaciji neke od bolesti, u ovom slučaju miosteatoze. Redovita tjelesna aktivnost i općenito održavanje aktivnog načina života pridonijeti će njegovom prosječno očekivanom

trajanju, odnosno trajanju aktivnog životnog vijeka, ako se priča o kvaliteti života (Mišigoj-Duraković i sur., 2018).

Kvaliteta života obuhvaća široku lepezu aspekata koji na nju utječu; psihički, zdravstveni, socijalni, biološki, politički, ekološki i dr. Rakovac i Heimer (2007) ju opisuju kao dobrobit čovjeka na emocionalnoj, socijalnoj i fizičkoj razini, ali i kao sposobnost za uspješno obavljanje svakodnevnih životnih aktivnosti. Način na koji tjelesna aktivnost utječe na fizičko stanje ljudi proučava se već niz desetljeća, a njezin pozitivan utjecaj na određene komponente kvalitete života višestruko je potvrđen.

Pretpostavka je da će redovita tjelovježba, bilo da je riječ o aerobnim vježbama ili vježbama s opterećenjem, pozitivno utjecati na metabolizam i raspolaganje mišića glukozom, ali će ipak veličina promjena u metabolizmu skeletnih mišića ovisiti o vrsti tjelesne aktivnosti zbog njezinih različitih podražaja na mišiće (Waters i sur., 2022). Iz tog je razloga potrebno razumjeti na koji način tjelesna aktivnost utječe na mehanizme u tijelu kako bi se omogućio razvoj što učinkovitijih programa vježbanja za liječenje i prevenciju zdravstvenih posljedica kod oboljelih osoba.

### **3.1. FIZIOLOŠKI UČINCI TJELESNE AKTIVNOSTI NA MIŠIĆNO TKIVO**

Primjenom određenih vrsta tjelesnih aktivnosti dogoditi će se različite metaboličke promjene u skeletnim mišićima, ali i organizmu u cjelini. Brojnost fizioloških učinaka postignutih tjelesnom aktivnošću i njihovo razumijevanje ključno je za optimizaciju treninga i oporavka.

Tjelesna aktivnost poboljšava kapacitet mišića za dugotrajni rad (izdržljivost) i sposobnost generiranja maksimalne sile (jakost), što doprinosi boljoj izvedbi u sportskim i svakodnevnim aktivnostima. Ovisno o vrsti tjelesne aktivnosti, može doći do promjena u sastavu mišićnih vlakana. Primjerice, trening snage može potaknuti prelazak sporih mišićnih vlakana (tip 1) u brza mišićna vlakna (tip 2), dok aerobne vježbe mogu povećati udio sporih vlakana, koja su izdržljivija (Smith i sur., 2023).

Redovito vježbanje poboljšava komunikaciju između živčanog i mišićnog sustava, što rezultira boljom koordinacijom, bržim refleksima i boljom kontrolom mišića, a također može smanjiti i upalne procese unutar mišićnog tkiva putem povećanja razine protuupalnih citokina i smanjenja razine upalnih markera (Scheffer i Latini, 2020).

Tjelesna aktivnost ima takav učinak da može smanjiti otpornost ciljanih tkiva (jetre i mišića) na inzulin, tj. može stimulirati osjetljivost na inzulin. Prema tome, inzulin uvjetno nije ni

potreban, jer će kontrakcija mišića odraditi njegovu funkciju. Glukoza, da bi se koristila za energiju prvo mora ući u stanicu, a ako se uzme u obzir da ciljane tkiva ne reagiraju na inzulin, njezin ulazak može biti olakšan mišićnom kontrakcijom. Kontrakcijom mišića se troši ATP zbog čega nastaju velike količine AMP-a uslijed odvajanja fosfatnih skupina od ATP-a prilikom njegove razgradnje. Puno AMP-a aktivira enzim protein kinaze (AMPK kinazu), koja naposljetku aktivira GLUT4 transportere. Tada GLUT4 transporteri dolaze do membrane i propuštaju glukozu u stanicu. Dok transportera nema na membrani stranice, ona je nepropusna za glukozu. Kalcij koji sudjeluje u kontrakciji mišića također može aktivirati određene enzime, a osjetljivost na inzulin traje 2-3 dana (48-72 sata). Dakle, teški ili umjereni mišićni rad potiče premještanje GLUT4 transportera iz unutrašnjosti stanice do stanične membrane, čime stanica dobiva glukozu i može ju koristiti kao izvor energije (Mišigoj-Duraković, 2018).

Tjelesna aktivnost stimulira i sintezu proteina unutar mišića kako bi se oštećenja nastala tijekom vježbanja uspješnije i brže popravila (Witard i sur., 2021). Proces regeneracije osigurava oporavak i jačanje mišićnog tkiva, a najbitnije od svega, redovitom je tjelesnom aktivnošću moguće smanjiti nakupljanje masnog tkiva unutar mišića (Dondero i sur., 2024), odnosno moguće je smanjiti miosteatozu.

Svi navedeni fiziološki učinci tjelesne aktivnosti na mišićno tkivo ističu važnost redovitog tjelesnog vježbanja za održavanje i poboljšanje mišićnog zdravlja, funkcionalnosti i ukupne kvalitete života.

### **3.2. MEHANIZMI DJELOVANJA TJELESNIH AKTIVNOSTI NA MIŠIĆNU MASU I MASNOĆU**

Vježbanje doprinosi povećanoj osjetljivosti na inzulin i sposobnosti oksidacije lipida, a povećava se i oksidacija masnih kiselina iz intramuskularnih zaliha (Goodpaster i sur., 2001). Korelacija miosteatoze sa inzulinskom rezistencijom se jako dobro uklapa u kontekst intervencija, zbog podataka da pretile osobe koje gube tjelesnu masu usporedno poboljšavaju i osjetljivost na inzulin. Inače, što je veći sadržaj intramuskularne masti, to je inzulinska rezistencija ozbiljnija. Time se jasno pokazuju pozitivni učinci vježbanja na sadržaj masti u mišićima te postaju velikim interesom proučavanja.

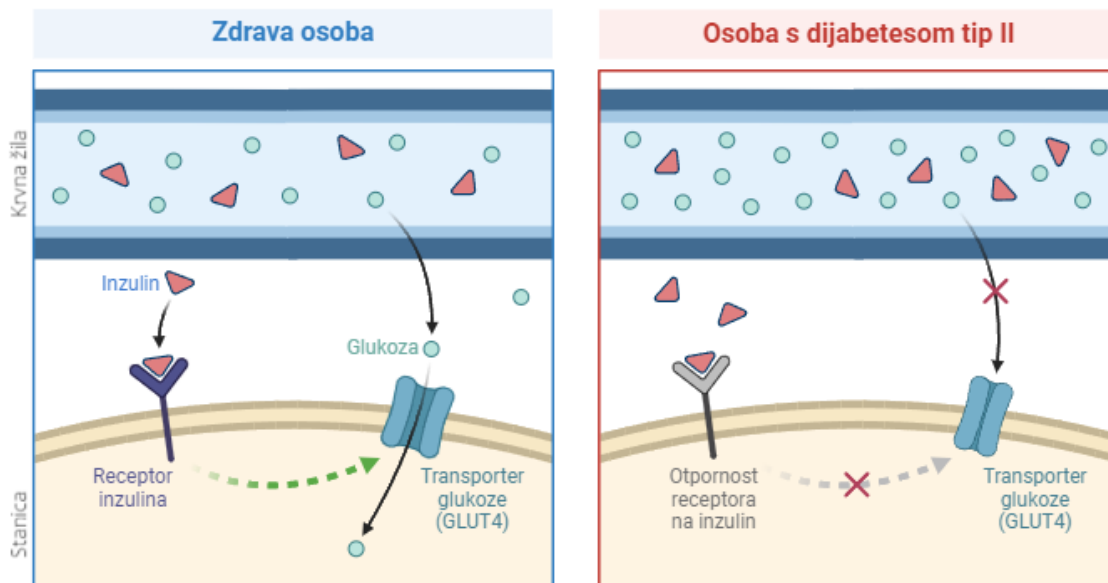
Mehanizmi djelovanja tjelesnih aktivnosti mogu direktno i indirektno djelovati na prevenciju miosteatoze, ali i ostalih kroničnih nezaraznih bolesti. Direktnan se utjecaj odnosi na srce i krvne

žile, dok indirektno dolazi do smanjenja težine, arterijskog krvnog tlaka i dislipidemije, a metabolizam glukoze se poboljšava. Tjelesna aktivnost će povećati cirkulaciju poboljšanjem vazodilatacije; vježbanje povećava produkciju dušikovog oksida koji uzrokuje vazodilataciju. Dušikov se oksid luči u endotelnim stanicama i osim što proširuje krvne žile, može regenerirati oštećeni endotel. Uz povećanje količine dušikovog oksida, dolazi i do smanjenja oksidacijskog stresa u endotelu. Smanjenje upala omogućava normaliziranje metaboličkih procesa.

Što se tiče indirektnog utjecaja mehanizama djelovanja, smanjenje tjelesne težine se događa na račun smanjenja visceralne (abdominalne) masti, a smanjenje razine triglicerida dovodi do povećanja omjera HDL i LDL kolesterola, prilikom čega se HDL kolesterol povećava, a LDL kolesterol smanjuje. Brojne eksperimentalne studije govore u prilog tjelesnoj aktivnosti i njenom utjecaju na smanjenje koncentracije triglicerida i LDL čestica, te povećanju HDL kolesterola. Povećanje omjera HDL (lipoproteina visoke gustoće) i LDL (lipoproteina niske gustoće) kolesterola povezano je s povećanjem kardiorespiratornih sposobnosti (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Sve dok se uz tjelesnu aktivnost odvija smanjenje masne mase, učinak na smanjenje koncentracije LDL kolesterola će biti pozitivan.

Povećanje metabolizma ugljikohidrata povećava osjetljivost na inzulin. Inzulin je hormon gušterače koji smanjuje razinu glukoze u krvi na način da potiče ulazak glukoze u stanicu. Inzulin dakle ne ulazi u stanicu, nego funkcionira preko receptora i luči se ovisno o tome koliko ima glukoze u krvi. Kada postoji otpornost stanice na djelovanje inzulina, enzimi ili receptori se ne aktiviraju, a glukoza ne ulazi u stanice nego ostaje u krvi gdje joj razina postaje prevelika. Upravo je smanjena osjetljivost stanica na inzulin, odnosno inzulinska rezistencija temeljni poremećaj dijabetesa tip 2 (slika 11). Dakle, nije problem potrošnja glukoze, nego poticaj glukoze da uđe u stanicu. Stimulacija osjetljivosti na inzulin, utjecaj je tjelesne aktivnosti. Kontrakcijom mišića, smanjuju se potrebe za inzulinom.





**Slika 11. Inzulinska rezistencija.** Kreirano pomoću softvera za znanstvene ilustracije - BioRender, <https://app.biorender.com/>.

Tjelesna aktivnost uvelike utječe i na potrošnju energije; potrošnja energije se povećava i do dvadeset puta tijekom vježbanja. Također, dolazi do povećanja bazalnog metabolizma, prilikom čega je potrošnja povećana od 3 do 24 sata nakon vježbanja. Povećanje bazalnog metabolizma događa se zbog utjecaja treninga snage na nemasnu masu tijela. Što je veća nemasna tjelesna masa, to je veći bazalni metabolizam. Pritom je povećanje mišićne mase rezultat sinteze novih proteinskih filamenata unutar mišićnih stanica (Kenney i sur., 2012) te će stimulacija sinteze mišićnih proteina uz hipertrofiju samim time dovesti i do jačanja mišića (Breen i Phillips, 2011). Stoga, bilo da se radi o aerobnim vježbama ili treningu jakosti i snage, svaki će tip tjelesne aktivnosti kroz različite mehanizme djelovanja pridonijeti dobrobitima organizma. Isto tako, svi ovi mehanizmi tjelesnu aktivnost čine ključnom za održavanje optimalnog sastava tijela i prevenciju mišićno-masnih poremećaja poput miosteatoze.

### 3.3. TIPOVI TJELESNIH AKTIVNOSTI I NJIHOV UTJECAJ NA MIŠIĆNO TKIVO

Tjelesna aktivnost će na najrazličitije načine izazvati niz promjena na mišićima. Različite vrste tjelesnih aktivnosti imaju različite utjecaje na mišićno tkivo, ovisno o intenzitetu, trajanju i vrsti aktivnosti. Koristi za mišićno tkivo su brojne, a uključuju smanjenje masnih naslaga, bolji oksidativni kapacitet, poboljšanje snage i izdržljivosti, povećanje fleksibilnosti, smanjenje rizika od ozljeda itd. Dakle, djelovanje tjelesne aktivnosti na nakupljanje masti u mišićima, ovisit će o metodama vježbanja i fizičkom stanju pojedinca (Wang i sur., 2024).

Benefiti samo jedne vrste tjelesne aktivnosti su veliki, no ipak kombinacija različitih tipova tjelesnih aktivnosti može biti najkorisnija za opće zdravlje mišića i prevenciju mišićnih problema. Pojedini programi treninga koji uključuju samo aerobni trening ili trening vježbi s otporom, neće toliko učinkovito utjecati na poboljšanje snage kao kombinacija navedenih tipova treninga. Višekomponentni programi tjelesnih aktivnosti imaju najefikasnije učinke i smatraju se optimalnom strategijom za utjecaj na lipidnu infiltraciju i izgublenu snagu mišića (Ramirez-Velez i sur., 2021). Rezultati istraživanja pokazuju smanjenje miosteatoze tjelesnom aktivnošću za oko 20-40%, ovisno o tipu tjelesne aktivnosti kojoj su ispitanici bili podvrgnuti. Istraživanje Waters i sur. (2022) također prikazuje rezultate koji potvrđuju učinkovitost aerobnih vježbi i vježbi s opterećenjem u smanjenju inzulinske rezistencije povezane sa starenjem, pretilošću i sjedilačkim načinom života. Redovita će tjelovježba, bilo da se radi o aerobnim ili vježbama snage, utjecati na poboljšanje raspolaganja glukozom, a prikazivati će i veličinu promjena u metabolizmu skeletnih mišića. Preporučeni tipovi tjelesnih aktivnosti utječu na poboljšanje osjetljivosti na inzulin i homeostazu glukoze, čime se sprječava razvoj metaboličkog sindroma, dijabetes melitusa tipa 2, a smanjuje se i rizik od kardiovaskularnih bolesti. Povećanjem bazalne aktivnosti, aktivirati će se određeni procesi u organizmu koji će rezultirati smanjenjem rizika za navedene bolesti.

Miosteatoza na neke mišiće utječe prvenstveno prema njihovoj oksidativnoj sposobnosti, što u konačnici čini veliku razliku između tjelesno aktivnih i neaktivnih osoba. Prema tome, bilo da je riječ o aerobnim aktivnostima, treninzima snage ili izdržljivosti, svaki će njihov utjecaj smanjiti rizik od nastanka i progresije miosteatoze.

### 3.3.1. Aerobna i anaerobna tjelesna aktivnost

Aerobne aktivnosti poput brzog hodanja, trčanja, vožnje bicikla ili plivanja uključuju kontinuirane i ritmične pokrete koji povećavaju disanje i otkucaje srca, odnosno dolazi do poboljšanja cjelokupne cirkulacije. Uz povećanje broja i funkcionalnosti mitohondrija unutar mišićnih stanica, potiče se i metabolizam masnih kiselina, čime ovakav tip aktivnosti utječe na zdravlje srca i krvnih žila. Povećanje cirkulacije se očituje u povećanju broja kapilara oko mišićnih vlakana, poboljšavajući opskrbu mišića kisikom i hranjivim tvarima. Navedeno povećanje kapilarizacije pomaže u uklanjanju metaboličkih otpadnih produkata (Scheffer i Latini, 2020), može poboljšati oporavak mišića nakon treninga, smanjiti rizik od ozljeda i u određenoj mjeri smanjiti nakupljanje masnih naslaga unutar mišića te potaknuti gubitak

masnoća. Aerobnim se treniranjem uglavnom nastoje povećati sposobnosti sustava za prijenos kisika i sposobnosti mišića da iskorištavaju taj kisik.

Mitohondriji su ključni za proizvodnju energije, a njihovo povećanje poboljšava aerobni kapacitet i izdržljivost mišića (Mooren i Volker, 2005). Sustavnim se treningom njihov volumen poveća od 50 do 100%, a zbog povećane kontraktilne aktivnosti im se produžuje i 'životni vijek'. Ovaj tip treninga se pokazao učinkovitim kod unapređenja i održavanja normalnih kardiovaskularnih sposobnosti, ali isto tako i neučinkovitim u borbi protiv mišićne atrofije (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Aerobnim će se vježbama povećati primitak kisika i poboljšati kardiorespiratorne sposobnosti, no one same po sebi neće imati učinka na mišićnu masu u kontekstu očuvanja volumena mišića ili povećanja snage (tablica 1).

Aerobna sposobnost organizma znači konstantno opskrbljivanje mišića i drugih organa odgovarajućom količinom energije potrebne za njihovo pravilno funkcioniranje. Odnosno, brzi prijenos kisika podržava oksidacijske procese i osigurava potrebnu energiju za nadomještanje energetskih izvora (Milanović i sur., 2013).

Dok jedna istraživanja bilježe smanjenja intramuskularne masti, druga će istodobno pokazivati povećanja. Na primjer, istraživanje Ikenaga i sur. (2016) pokazuje značajno smanjenje intramuskularne masti kod starijih osoba koje su provodile aktivnost laganog trčanja niskog intenziteta u kratkim intervalima kroz 12 tjedana, dok istraživanje Dube i sur. (2008) pokazuje da je program aerobnog treninga proveden na starijim osobama s prekomjernom tjelesnom težinom i pretilima koji je trajao 16 tjedana, doveo do poboljšanja inzulinske osjetljivosti, ali i istodobno do povećanja intramuskularne masti (Dube i sur., 2008). Razlika navedenih istraživanja može proizlaziti iz volumena, ali i intenziteta provođenja tjelesne aktivnosti. Zbog povećanih oksidativnih kapaciteta mišićna će masnoća rasti, što je rezultat prilagodbe organizma na povećane tjelesne napore. Pritom je važno naglasiti da se intramuskularna mast treniranih/aktivnih osoba uvelike razlikuje od istih razina intramuskularne masti netreniranih/neaktivnih osoba. Pojedinci koji redovito treniraju imaju pohranjene veće koncentracije lipida u mišićima, odnosno mišićnim vlaknima, ali su oni u kombinaciji s većim oksidativnim kapacitetom i inzulinskom osjetljivošću. Mišići sa većim oksidativnim kapacitetom imaju tip miofibrila koji posjeduje dovoljno mitohondrija da bi obradio kapljice lipida (Hausman i sur., 2014), dok mišići neaktivnih osoba neće biti u mogućnosti obaviti istu funkciju. Dakle, razlog zbog kojeg trenirani sportaši imaju povećane vrijednosti intramuskularne masti i istovremeno povećanu osjetljivost na inzulin su ranije navedeni mehanizmi djelovanja tjelesne aktivnosti, a predstavljaju povećani sadržaj GLUT4 transportera i povećanu cirkulaciju pogotovo u aktivnim mišićima. Smatra se da navedeni mehanizmi mogu

nadjačati negativne posljedice miosteatoze, koje utječu na metabolizam glukoze i osjetljivosti na inzulin.

Kada aerobni sustav više ne može zadovoljiti energetske potrebe organizma, dolazi do aktivacije anaerobnih procesa ovisno o vrsti i trajanju primjenjivane aktivnosti (Matković i Ružić, 2009).

AEROBNE AKTIVNOSTI		ANAEROBNE AKTIVNOSTI	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• velik broj ponavljanja, dugotrajnije aktivnosti</li> <li>• mala opterećenja/kilaže</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• manji broj ponavljanja</li> <li>• veća opterećenja/kilaže</li> <li>• periodi odmora između vježbi</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• poboljšanje kardiorespiratornih sposobnosti</li> <li>• slab utjecaj na volumen i snagu mišića</li> <li>• povećanje intermuskularne/intramuskularne masti u mišićima ("paradoks sportaša")</li> <li>• povećana aktivnost enzima</li> <li>• bolja iskoristivost supstrata</li> <li>• veći oksidacijski kapacitet mišića</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• gubitak intermuskularne/intramuskularne masti u mišićima</li> <li>• povećanje mišićne mase</li> <li>• povećanje snage mišića</li> <li>• povećanje aktivnosti enzima</li> <li>• povećana koncentracija mliječne kiseline</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• šetnja, brzo hodanje, trčanje, vožnja bicikla, plivanje, veslanje, ples, vožnja romobila (ne električni), rolanje, aerobik, planinarenje itd.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• dizanje utega, trbušnjaci, leđnjaci, sklekovi, marinci, sprintanje, vježbe na spravama, rukomet, nogomet, košarka, tenis, odbojka itd.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• penjanje uz i spuštanje niz stepenice, vrtni poslovi, košnja trave, polijevanje vrta, zidarski poslovi, stolarski poslovi, pranje prozora, ribanje podova, namještanje posteljine i ostali kućni poslovi..</li> </ul>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ povećanje mišićne mase, snage i izdržljivosti</li> <li>→ veća potrošnja energije - povećanje bazalnog metabolizma</li> <li>→ gubitak masnih naslaga - intermuskularne i intramuskularne masti <ul style="list-style-type: none"> <li>→ smanjenje pretilosti</li> <li>→ povećanje funkcionalnosti mišića</li> <li>→ povećana neuro-mišićna aktivnost</li> <li>→ smanjenje rizika mišićnih problema</li> <li>→ poboljšanje oporavka mišića</li> </ul> </li> <li>→ bolja opskrba mišića kisikom i hranjivim tvarima <ul style="list-style-type: none"> <li>→ ublažavanje procesa starenja</li> </ul> </li> </ul>			
PREVENCIJA I SMANJENJE MIOSTEATOZE			

**Tablica 1.** Vrste tjelesnih aktivnosti i njihov utjecaj na mišićno tkivo. Kreirano pomoću internetskog alata za grafički dizajn – Canva, <https://www.canva.com/>.

Anaerobne aktivnosti uključuju kratke, intenzivne periode vježbanja s visokim opterećenjem, poput dizanja utega, sprintanja ili intervalnog treninga čime se potiče rast mišića (hipertrofija) te poboljšanje snage i izdržljivosti mišića. Povećanjem metabolizma, čak i nakon završetka vježbanja, ova vrsta tjelesne aktivnosti također može pomoći u smanjenju masnih naslaga.

Anaerobni energetska kapaciteta omogućavaju rad visokog intenziteta, a energija se nadoknađuje glikolitičkim ili fosfagenim putem. Drugim riječima, rad se odvija u uvjetima kada unos kisika nije dovoljan, a potreba za energijom nadmašuje kapacitet transportnog sustava da je osigura putem oksidacijskih procesa. Kao rezultat toga, dolazi do aktiviranja anaerobnih procesa, što dovodi do povećanja koncentracije mliječne kiseline i stvaranja kisikovog duga (Milanović i sur., 2013).

Anaerobni procesi opskrbljuju organizam energijom u kratkom trajanju (Matković i Ružić, 2009). Energija se dobiva brzo, traje kratko i prisutna je za vrijeme obavljanja aktivnosti visokog intenziteta. Na mišiće djeluje stvaranjem mliječne kiseline, odnosno laktata čime se omogućava nastavak kemijske reakcije. U protivnom, cijeli bi se proces zaustavio i ugljikohidrati se ne bi mogli razgrađivati. Ovakav način dobivanja energije snižava pH krvi jer mliječna kiselina prelazi iz mišićnih stanica u krv. Nasuprot tome, aerobni su procesi stabilni, dužeg trajanja i ne daju nepovoljne nusproizvode.

U svakom slučaju, mišići se vježbanjem prilagođavaju na veće napore, a zbog bolje prokrvljenosti i većeg broja mitohondrija u mišićnim vlaknima, proizvode manje mliječne kiseline (Kovačić i Lukić, 2006). Manje produkata disocijacije mliječne kiseline znači, osim prilagodbe na energetske zahtjeve aktivnosti, manju pojavu boli i umora mišića.

### 3.3.2. Snaga i izdržljivost - utjecaj na mišićnu masu i masnoću

Dok se razvojem funkcionalnih sposobnosti podiže efikasnost srčano-dišnog i srčano-žilnog sustava, drugim riječima transportnih sustava i anaerobnog kapaciteta, motoričkim se sposobnostima podiže efikasnost živčano-mišićnog odnosa (Milanović i sur., 2013). Da bi se istaknute motoričke sposobnosti, u ovom slučaju snaga i izdržljivost, mogle koristiti za postizanje postavljenog cilja, potrebno je razumjeti njihov utjecaj na mišićnu masu i masnoću. Snaga se razvija s vježbama koje predstavljaju otpor, a on se može postići tijelom, utezima, elastičnim trakama, medicinskim loptama i dr. Najčešći otpor koji se koristi su utezi, jer je s njima najlakše odrediti i dozirati opterećenje. Izdržljivost se s druge strane provodi putem prirodnih oblika kretanja kao što su trčanje, vožnja bicikla, hodanje, plivanje i dr. (Bašić, 2007) (tablica 1). Dok je snaga sposobnost generiranja što veće mišićne sile u što kraćem vremenu, izdržljivošću se nastoji određenu aktivnost izvoditi što dulji vremenski period.

Istraživanje Marcus i sur. (2010) potvrđuje popraćenost starenja povećanjem masne infiltracije mišića i njenu promjenjivost provođenjem tjelesne aktivnosti poput treninga jakosti i snage. Neka istraživanja izvještavaju o gubitku i ostalih masnih depoa u donjim ekstremitetima.

Povećanje mišićne mase utjecajem treninga s vanjskim opterećenjem, događa se na račun povećanja poprečnog presjeka mišića te broja i veličine miofibrila, što je dominantno izraženo u vlaknima tipa 2. Upravo ova vrsta tjelesne aktivnosti se pokazala učinkovitom u očuvanju mišićne mase, kod ljudi koji su prekinuli tjelesnu neaktivnost, a daje i najuočljivije rezultate. Uz povećanje veličine mišićnih vlakana dolazi i do povećanja aktivnosti enzima uključenih u anaerobne energetske procese. Dok jedna istraživanja bilježe jednako povećanje vlakana tipa 1 i vlakana tipa 2, druga to povećanje bilježe samo kod vlakana tipa 2 (brza vlakna). U počecima treniranja (8-12 tjedana treninga) povećanje se događa zbog živčano-mišićne prilagodbe, jer dolazi do povećanja broja motoričkih jedinica koje se mogu kontrahirati u isto vrijeme. Dakle, sinkronizacija motoričkih jedinica postaje bolja, a poboljšava se i koordinacija unutar pojedinog mišića i mišića međusobno (Matković i Ružić, 2009).

Kada je riječ o tipu mišićnih vlakana, tijekom redovitog trenažnog procesa, brza vlakna mogu pohraniti 16-31% više glikogena u odnosu na spora vlakna, dok pak s druge strane, spora vlakna mogu pohraniti i do pet puta više triglicerida od brzih vlakana (Mišigoj-Duraković i sur., 2018).

Trening izdržljivosti omogućava povećanu aktivnost enzima, bolju iskoristivost supstrata i veći oksidacijski kapacitet u aktivnom mišiću, a sve zbog bolje periferne kapilarizacije i većeg broja mitohondrija (Mišigoj-Duraković i sur., 2018) (tablica 1). Dolazi do poboljšanja aerobne sposobnosti organizma i značajnog mijenjanja odgovora srčano-žilnog sustava na opterećenje (Matković i Ružić, 2009). Optimalna zona rada u ovakvom tipu aktivnosti je aerobna, u trajanju od 20-30 minuta. Aktivnosti je bitno provoditi na opterećenju iznad 50%  $VO_{2max}$ , jer se u protivnom neće dobiti nikakva funkcionalna transformacija (Bašić, 2007). Za razliku od treninga snage, ovaj tip aktivnosti značajno povećava broj kapilara i mitohondrijsku aktivnost u mišićima, što bi značilo bolje iskorištavanje kisika i oksidaciju hranjivih tvari, prvenstveno masti. Adaptacije organizma na ove procese pridonijeti će boljoj izdržljivosti za rad kroz duži vremenski period (Matković i Ružić, 2009).

Prema istraživanju Zacharewicz i sur. (2018) dugotrajnije tjelesne aktivnosti za razvoj izdržljivosti karakterizira iskorištavanje intramuskularnih zaliha masti za proizvodnju energije. Iz tog razloga visokotrenirani sportaši sportova izdržljivosti bilježe povišene razine masti unutar mišića. Iako su visoke razine intramuskularne masti povezane s metaboličkim komplikacijama, sportaši te probleme nemaju, a osjetljivost na inzulin im je zapravo poboljšana u odnosu na osobe koje tjelesnu aktivnost ne prakticiraju, kod kojih prevladava sjedilački način

života, a mršave su ili imaju iste razine intramuskularne masti kao i sportaši. Ovakva kombinacija visokih razina intramuskularne masti s visokom osjetljivošću na inzulin se naziva “paradoks sportaša”. Razlika se očituje u povećanoj aktivnosti razgradnje lipida unutar mišića i povećanom unosu lipida u mitohondrije kod aktivnih osoba. Prema tome se pretpostavlja da najvažniju razliku čini oksidacijski kapacitet mišića, koji je u sportaša visok i time sprječava lipotoksičnost izazvanu lipidima. Lipotoksičnost je zapravo neuspjeh mišića da se nosi s prekomjernim unosom lipida.

Dakle, kronični trening izdržljivosti povećava skladištenje lipida u mišićnim stanicama visoko osjetljivima na inzulin kao gorivo za oksidativni metabolizam. Prema tome je miosteatoza povezana sa smanjenim oksidativnim kapacitetom kod osoba s pretilošću i onih s inzulinskom rezistencijom (Henin i sur., 2024).

### Kombinacija tipova tjelesnih aktivnosti

Radi bolje učinkovitosti treninga kod osoba s višim vrijednostima miosteatoze, potrebna je kombinacija različitih vrsta mišićnih podražaja. Iako svaka vrsta tjelesne aktivnosti na neki način pridonosi poboljšanju fizičkih i metaboličkih funkcija, pokazalo se da kombinirani način provođenja tjelesnih aktivnosti donosi najbolje rezultate. Tome svjedoči i istraživanje Watersa i sur. (2022) u kojem je kombinacija aerobnih vježbi i vježbi s opterećenjem najviše utjecala na smanjenje visceralne, ali i intermuskularne masti. Ne samo da se smanjuje količina masti, već dolazi do povećanja jakosti. Drugim riječima, učinci kombiniranih aktivnosti su znatno veći i u većoj će mjeri ublažiti proces starenja organizma, smanjiti pretilost i samim time miosteatozu.

Kombinacija tjelesnih aktivnosti može biti i s nekom vrstom ‘alternativnog pristupa’ pa je to na primjer trening snage zajedno sa vibracijskim treningom ili elektrostimulacijom. Iako nema puno istraživanja o utjecaju vibracijskog tipa treninga, ona koja su ga istraživala pokazuju poboljšanja u jakosti i snazi netreniranih osoba (Wilcock i sur., 2009). Dva su tipa vibracijskog treninga; jedan predstavlja vibraciju cijeloga tijela koje se nalazi na vibracijskoj platformi, a drugi vibraciju pojedinih segmenata preko vibracijskih mehanizama. Neovisno o načinu vibracije, povećava se aktivacija mišića, kao rezultat povećane aktivacije motoričkih neurona. Pokazalo se da vibracije istežu mišić, a mišić odgovara ponovljenim kontrakcijama. Povećana aktivacija mišića može potaknuti daljnju mišićnu hipertrofiju (Wilcock i sur., 2009).

Aktivnosti koje se fokusiraju na razvoj snage i izdržljivosti, poput vježbi s utezima ili kružnih treninga, mogu poboljšati mišićnu masu, snagu i izdržljivost mišića. Redovito vježbanje jakosti i snage može pomoći u sprječavanju gubitka mišićne mase povezanog s procesom starenja i smanjenjem rizika od miosteatoze, što potvrđuje i istraživanje Hamrick i sur. (2016). Osim kod starijih osoba, tjelesna aktivnost utječe i na infiltraciju masnog tkiva kod mladih (Farr i sur., 2012).

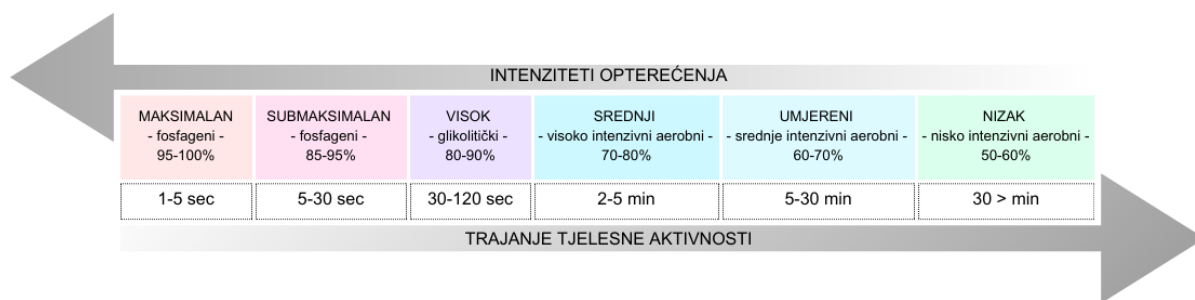
### 3.3.3. Intenzitet, trajanje i učestalost tjelesnih aktivnosti i njihov utjecaj na mišićno tkivo

Intenzitet, trajanje i učestalost tjelesnih aktivnosti mogu značajno utjecati na mišićno tkivo. Mišić, da bi se uopće aktivirao i obavljao određeni rad treba određenu količinu energije, a energetske su potrebe različite za različite tjelesne aktivnosti i dobivaju se na različite načine.

Intenzitet tjelesne aktivnosti se obično dijeli na niski, umjereni i visoki intenzitet. Niski do umjereni intenzitet tjelesne aktivnosti potiče cirkulaciju krvi i opskrbljuje mišiće kisikom i hranjivim tvarima, što može poboljšati oporavak mišića nakon treninga i potaknuti rast mišićne mase. Visoki intenzitet tjelesnih aktivnosti s druge strane može potaknuti rast mišića (hipertrofiju) te poboljšati snagu i izdržljivost mišića. Pritom se povećanje mišićne mase i snage događa na račun stvaranja novih mišićnih vlaknaca i povećanja gustoće istih.

Prema Milanović i sur. (2013) ovisno o tome kakav je intenzitet i koliko dugo traje tjelesna aktivnost, više će se aktivirati jedan ili drugi energetski sustav (tablica 2); aerobni ili anaerobni, odnosno glikolitički ili fosfageni te visoko ili nisko intenzivni aerobni. Tako aktivnosti u trajanju od 1 do 5 sekundi iziskuju maksimalan intenzitet (95-100%), a aktivnosti u trajanju od 5 do 30 sekundi submaksimalan intenzitet (85-95%) uz dominaciju fosfagenih izvora energije. Osiguravanje potrebne energije iz glikolitičkih izvora dobiva se razgradnjom glikogena, također u anaerobnim uvjetima i rad će tada trajati 30 – 120 sekundi uz visoki intenzitet. Što se tiče pak aerobnih energetskih procesa, intenzitet opterećenja varira od 50 do 70% i ovisi o trajanju sportske aktivnosti. U 5 – 30 minuta sportske aktivnosti, umjerenog/srednjeg intenziteta (60-70%) nastupa razvoj izdržljivosti. Aktivnosti većeg intenziteta i manjeg trajanja od navedenoga postaju visoko intenzivne aktivnosti, a sve one manjeg intenziteta i trajanja dužeg od 30 minuta znače nisko intenzivni aerobni trening. Važno je napomenuti da tjelesne aktivnosti visokog intenziteta mogu biti kontraproduktivne, što zahtijeva pažljivi pristup.





**Tablica 2.** *Prevladavajući energetske sustavi ovisno o trajanju tjelesne aktivnosti.*

Istraživanja su pokazala da veća frekvencija i veći volumen tjelesne aktivnosti umjerenog intenziteta doprinose značajnim poboljšanjima kvalitete života (Rakovac i Heimer, 2007). Duže trajanje tjelesnih aktivnosti će rezultirati većom potrošnjom energije i većim opterećenjem mišića, što može potaknuti metaboličke procese u mišićnom tkivu i gubitak masnih naslaga. Redovito produženo vježbanje također može povećati izdržljivost mišića i poboljšati funkcionalnost mišićnog tkiva. Meta-analiza Peterson i sur. (2011) iznosi pozitivnu povezanost volumena treninga i povećanja nemasne mase tijela. Volumen treninga se očituje u broju serija i broju ponavljanja unutar serije po jednom treningu, a rezultate pokazuje vježbanje od prosječno 20 tjedana. Neovisno o statusu i treniranosti ispitanika, što intervencija duže traje, rezultati će se više primjećivati.

Ponavljajuće aktivnosti potiču adaptaciju mišića na stres i opterećenje, što rezultira poboljšanjem snage, izdržljivosti i funkcionalnosti mišića. Održavanje kontinuiteta tjelesnih aktivnosti sprječava gubitak mišićne mase i smanjuje rizik od mišićnih problema, poput ovoga sa miosteatozom. Ukratko, pravilno balansiranje intenziteta, trajanja i učestalosti tjelesnih aktivnosti može imati pozitivan utjecaj na mišićno tkivo, samo je važno prilagoditi treninge individualnim ciljevima, sposobnostima i potrebama kako bi se postigli najbolji rezultati na mišićno tkivo.

#### 4. UTJECAJ PREHRANE NA MIŠIĆNO TKIVO I MIOSTEATOZU

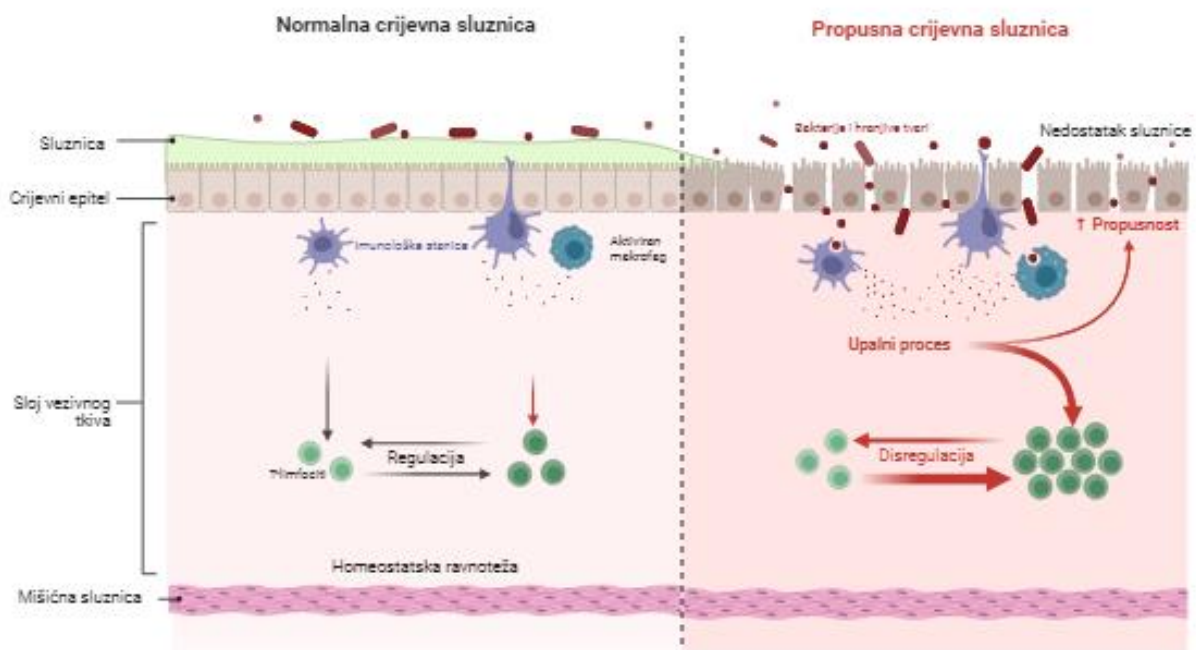
Uz vježbanje, prehrambene su intervencije posljednjih godina veoma važne strategije u regulaciji taloženja masti u mišićima (Wang i sur., 2024). Prehrana izravno utječe na fiziološki sastav tijela te time i na fizičko zdravlje (Ahmed i sur., 2018). Važnost kvalitete prehrane se ne smije zanemariti, a preporuke za konzumaciju poželjne hrane se tiču svih. Zbog utjecaja na zdravlje, njegovog poboljšanja i očuvanja potrebni su raznolikost, umjerenost i ravnoteža kao potvrđeni znanstveni principi. Svako odstupanje, bilo da se radi o jednoličnoj prehrani i malom broju namirnica ili pak prevelikim količinama hrane, uzrok je neravnoteže (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Ne postoji dakle dobra ili loša hrana, postoji samo pravilna ili nepravilna prehrana (Freeland-Graces i Nitzke, 2013). Svaka hrana može biti sastavni dio prehrane, samo je pitanje količine i učestalosti konzumiranja iste.

Jedna namirnica ne može sadržavati dovoljnu količinu i sve komponente hrane odjednom pa je tijelu, da bi normalno funkcioniralo, potrebna adekvatna prehrana. Prehrana koja zahtijeva kombinaciju određenih nutritivnih vrijednosti. Tako je za izgradnju i održavanje funkcionalnosti mišića potrebno unositi proteine i ugljikohidrate, za smanjenje upala i mogućnosti adekvatnog oporavka nakon treninga, preporučaju se zdrave masti i antioksidansi, a da bi cijeli sustav skladno funkcionirao, potrebno je tijelu omogućiti dovoljno tekućine.

Sve kreće od mikrobiote ili drugim riječima crijevne flore. “Crijevna mikrobiota jest pojam koji se odnosi na cijelu populaciju mikroorganizama što koloniziraju određeno mjesto u probavnom traktu i uključuje ne samo bakterije već i druge mikrobe.” (Bokan i Hauser, 2018). Istraživanja pokazuju da stabilna crijevna mikrobiota pridonosi razvoju i jačanju imuniteta (Bačić, 2021), a ima i važnu ulogu u metabolizmu i funkciji skeletnih mišića (Wang i sur., 2024). Ono što ljudima stvara sve veće probleme, industrijski je mikrobiom. Iz hrane se oduzima sve više hranjivih tvari i zamjenjuje nekim drugim štetnijim sastojcima. Teško je dokučiti što je uopće sadržaj hrane. Slatka, gazirana ili energetska pića na kojima piše da u sebi ne sadržavaju šećere u stvarnosti ga imaju puno više, samo u drugačijim oblicima, a nerijetko su i puno štetnija za organizam. I nije to pitanje samo pića, sve je više takvih proizvoda na policama supermarketa.

Nadalje, što se tiče unosa vlakana, gotovo svi bi ih trebali više jesti. Broj vlakana koji je preporučen, dvostruko je manji u stvarnosti s obzirom na hranu koju jedemo. Vlakna su neprobavljiv dio žitarica, voća i povrća te kao takva ne ulaze u krvotok, ali znatno pridonose normalnom funkcioniranju probavnih organa (Borovac, 2002). Ukoliko ih nema dovoljno, niti

mikrobiota neće imati dovoljno pa će početi ‘jesti’ sluznicu crijeva, čime ona postaje polupropusna, a naposljetku i u potpunosti propusna. Jednom probijena crijevna sluznica, propustit će u krvotok bakterije i viruse kojima tamo nije mjesto i tu nastaju problemi (slika 12). Bačić (2021) u svom radu definira crijevnu disbiozu kao posljedicu promjene funkcije i količine crijevnih mikroorganizama te je povezuje s nastankom kroničnih nezaraznih bolesti. Gibiino i sur. (2021) vrste crijevnih mikroorganizama povezuju s dobi, tjelesnom težinom, spolom i prehranom. Struktura crijevnog mikrobioma će uvelike ovisiti o prehranbenim navikama, odnosno o udjelima komponenata proteina, masti i ugljikohidrata te će zauzvrat prisutni mikroorganizmi djelovati na metabolizam lipida. Sve veći se broj istraživanja bavi pitanjem pretilosti kao vodećeg javnozdravstvenog problema, a koje je usko povezano s ovom temom. Postoji sve više dokaza da tjelesna aktivnost pozitivno utječe na promjene sastava oštećenog crijevnog mikrobioma.



**Slika 12.** Propusnost crijevne sluznice. Kreirano pomoću softvera za znanstvene ilustracije - BioRender, <https://app.biorender.com/>.

Unos hrane u različitim je omjerima, količinama i obrocima, a tri su joj osnovne funkcije: biološka (izgradnja organizma), zdravstvena (zaštita od bolesti) i energetska; u funkciji osiguravanja energije za rad (Čaplar, 2020). Hranjivi sastojci energetskih izvora su raznovrsni, a čine ih: proteini, vitamini, ugljikohidrati, masti, minerali i ostali elementi u manjim

količinama, voda, dijetetska vlakna itd. S obzirom da niti jedna hrana sama po sebi ne sadrži dovoljnu količinu hranjivih sastojaka koja su organizmu potrebna za zadovoljenje tjelesnih potreba, važno je raznovrsno se hraniti. Količina navedenih sastojaka, ovisit će od jela do jela. Studije iz meta-analize Ahmeda i sur. (2018) pokazuju da sadržaj makronutrijenata i energije u prehrani može utjecati na količinu intramuskularne masti koja je odgovorna za razne metaboličke i endokrine disfunkcije.

Upravo prehrana bogata zasićenim mastima, šećerima i prerađenim namirnicama može negativno utjecati na mišićno tkivo i povećati rizik od nakupljanja masnih naslaga unutar mišića. Kombinacija prehrane s visokim udjelom fruktoze ili prehrane s visokim udjelom masti povezana je s miosteatozom (Henin i sur., 2024), a pretjerani unos hrane kod osoba s pretilošću i dijabetesom tipa 2 dodatno potiče razvoj miosteatoze (Bonen i sur., 2004). Takav će način prehrane rezultirati povećanim sadržajem lipida u jetri i mišićima, jer je to jedini način na koji se tijelo može riješiti prekomjernog unosa energije, ali istovremeno predstavlja jedan od mehanizama koji uzrokuje negativne promjene.

Prema istraživanju Abdelmalek i sur. (2012) fruktoza kao jednostavan monosaharid koji se nalazi u biljnim izvorima ne predstavlja problem, već se problem javlja prilikom industrijske prerade hrane gdje se fruktozu miješa sa glukozom kako bi se dobio oblik disaharida, tj. dobro poznatog visokofruktoznog kukuruznog sirupa. Primjera radi, u SAD-u se potrošnja fruktoze i više nego udvostručila u proteklih 30 godina, a usporedno sa pretilošću i dijabetesom tipa 2. Fruktoze ima na pretek samo u primjerice bezalkoholnim energetske ili neenergetske pićima, a prekomjerna konzumacija hrane sa visokim udjelom fruktoze na organizam djeluje veoma toksično. Uzrok je brojnih metaboličkih promjena: smanjuje se osjetljivost na inzulin, dolazi do smanjenja ATP-a, povećava se količina visceralne masti, rezultira negativnim utjecajem na homeostazu jetre itd. Jetra će se pod daljnjim utjecajem fruktoze progresivno oštećivati, a smanjenje ATP-a u stanici može uzrokovati poteškoće prilikom sinteze proteina te potaknuti upale i prooksidativne procese (Glushakova i sur., 2008). Povećana visceralna i jetrena masnoća same po sebi povećavaju rizik od dijabetesa, kardiovaskularnih bolesti i raznih metaboličkih disfunkcija (Schwarz i sur., 2015). Toksičnost fruktoze očituje se i preko mitohondrija, stvaranjem reaktivnih kisikovih spojeva koji oštećuju DNA mitohondrija i ometaju njihovu biogenezu (Jaiswal i sur., 2015). Toksičnost je posredovana oksidacijskim stresom i zabilježena je u hepatocitima (jetra) i miocitima (mišići) (Cioffi i sur., 2017).

Konzumacija prehrane s visokim udjelom fruktoze i visokim udjelom masti potiču inzulinsku rezistenciju u jetri i skeletnim mišićima ometanjem inzulinskog signalnog puta, s time da je

nešto veći utjecaj nakupljanja lipida unutar mišića (Meneses i sur., 2022). Reakcija organizma na visok udio zasićenih masti, je naglo povećavanje unosa lipida u skeletne mišiće, kako bi se smanjile razine masti u krvi (Glatz i sur., 2010).

Utjecaj prehrane s visokim udjelom masti na sadržaj lipida u mišićima, ali i na inzulinsku osjetljivost skeletnih mišića uvelike ovisi o vrsti lipida unešenih hranom. Tako, visok unos zasićenih masti pogoršava inzulinsku rezistenciju, dok dugolančane omega-3 masne kiseline povećavaju osjetljivost na inzulin promičući mitohondrijske oksidativne sposobnosti mišića (Feillet-Coudray i sur., 2013).

Zbog svega navedenoga, važno je usmjeriti se na uravnoteženu prehranu bogatu hranjivim tvarima kako bi se održalo zdravlje mišića i spriječile potencijalne bolesti, a s obzirom na rezultate istraživanja i njihove potvrđene pretpostavke potrebno je povećati svijest o konzumaciji industrijske hrane.

#### **4.1. NUTRITIVNI ČIMBENICI VAŽNI ZA ZDRAVLJE MIŠIĆA**

S obzirom da prehrana igra ključnu ulogu u održavanju zdravlja mišićnog tkiva i prevenciji miosteatoze, važno je pomoću nutritivnih čimbenika osigurati adekvatan unos različitih hranjivih tvari koje podržavaju rast, obnovu i funkciju mišićnog tkiva. Stoga, da bi metabolizam dobro funkcionirao, a mišići bili zdravi i funkcionalni, potrebni su proteini, ugljikohidrati, zdrave masti, probiotici, antioksidansi te hidratacija.

Proteini (bjelančevine) su nužni za izgradnju i održavanje mišićnog tkiva. Oni u pravilu ne stvaraju energiju, već služe kao građivni elementi, prvenstveno mišića, ali i enzima i hormona. Iznimka kod davanja energije su situacije neuobičajenih velikih napora, gladovanja ili u slučaju izraženog energetskog deficita, no količine energije koju mogu dati su veoma male. Proteini su građeni od aminokiselina te prema tome postoje aminokiseline koje organizam može sam proizvoditi (neesencijalne) i one koje ne može pa se zbog toga moraju unositi hranom (esencijalne). Izvori proteina mogu biti životinjskog (riba, mliječni proizvodi, meso) ili biljnog podrijetla (zrnasto povrće, žitarice, orasi) (Čaplar, 2020). Konzumacija dovoljne količine proteina, posebice nakon vježbanja, pomaže u obnovi mišića te potiče njihov rast i regeneraciju, a s obzirom da se ne mogu zamijeniti niti skladištiti kao ugljikohidrati i masti, potrebno ih je stalno uzimati.

Ugljikohidrati su glavni izvor energije potreban za podršku tjelesnim aktivnostima i funkciji mišića, a prisutni su u hrani kao jednostavni i složeni šećeri. Složeni ugljikohidrati poput cjelovitih žitarica, voća i povrća, pružaju dugotrajnu energiju i podržavaju optimalno funkcioniranje mišića. Takvi se šećeri ne koriste izravno, već ih organizam razgrađuje u jednostavne šećere, što naposljetku bude 'pogonsko gorivo'. Postoji i treća skupina ugljikohidrata, a čine ih biljna vlakna. Takvi su ugljikohidrati neprobavljivi; vlakna ne ulaze u krv pa ih tijelo ne može koristiti kao izvor energije (Čaplar, 2020). Međutim, izuzetno su korisni za zdravlje crijevne flore te na sebe vežu toksične tvari koje kroz stolicu izbacuju iz organizma. Nedostatak ugljikohidrata se osjeća kroz slabost i gubitak snage, a brzo se može nadomjestiti uzimanjem nekog suhog voća, meda, voćnog šećera ili tableta glukoze. Sportaši primjerice prakticiraju energetske gelove i energetska pića koja vrlo dobro odgovaraju zahtjevima treninga, odnosno natjecanja. U svakom slučaju, neki oblik glukoze će organizmu najbrže dati potrebnu energiju. Važno je napomenuti da s ugljikohidratima ne treba pretjerivati, jer će se svaki višak, pohraniti u jetri i mišićima, ali u obliku masti.

Visok unos ugljikohidrata ili nizak unos masti se povezuje s većim izgledima za razvoj upalnih metaboličkih procesa (Browning i sur., 2006).

Masti su također jedan od izvora energije, a postoje u obliku biljnih i životinjskih masti. Energetska im je vrijednost veća nego ugljikohidratima, ali njihovo razgrađivanje duže traje. Upravo se iz tog razloga izbjegavaju kada su u pitanju veći tjelesni napori i kada organizmu treba brza energija (Čaplar, 2020). Masti se sporo probavljaju, a njihov će se višak jednako kao i višak ugljikohidrata pohraniti u obliku masnog tkiva. Dok su zasićene masne kiseline nepoželjne, pogotovo u većim količinama jer rade štetu organizmu, nezasićene masne kiseline, koje se nalaze u orašastim plodovima, sjemenkama, maslinovom ulju i ribi, važne su za održavanje zdravlja mišića. Zdrave masti podržavaju protuupalne procese, potiču oporavak mišića i pomažu u smanjenju oksidativnog stresa.

Antioksidansi su važni za zaštitu mišića od oksidativnog stresa uzrokovanog vježbanjem i drugim stresorima. Voće, povrće, orašasti plodovi i začini bogati antioksidansima pomažu u smanjenju upala, potiču oporavak mišića i podržavaju zdravlje mišićnog tkiva. Od velike je važnosti unositi dovoljno vitamina i minerala kako bi se održala prirodna ravnoteža organizma. Uz vitamine A,B,C i D, tijelu su potrebni i željezo, magnezij, jod, natrij, kalij.. Nedostatak bilo kojeg navedenog elementa otežat će tijelu probavu hranjivih tvari, izgradnju organizma i oslobađanje energije, a naposljetku može dovesti do pojave bolesti. Primjerice, niske razine

vitamina D se povezuju sa pojavom sarkopenije, kaheksije, dijabetesa tipa 2, osteoporoze i raka, a veoma važnu ulogu ima u funkcioniranju imunološkog sustava koji je postao globalni javnozdravstveni problem (Garcia i sur., 2019).

I važnost probiotika se često zanemaruje, a izuzetno su bitni u slučaju disbioze crijeva i nedostataka crijevnih bakterija. Djelovanje na imunološki mehanizam sluznice, jačanje sluznice, indukcija tolerancije na antigene iz hrane, pomoć prilikom probave i stvaranje dobrih bakterija koje će se uspješno boriti protiv patogena samo su neke od dobrobiti probiotika i njihovog utjecaja na crijevni ekosustav (Hauser i sur., 2020). Bokan i Hauser (2018) navode kako upravo probiotici utječu na smanjenje triglicerida u plazmi i nastanak masnog tkiva, a ujedno se povećava i osjetljivost na inzulin. Wu i sur. (2022) također spominju sve veći broj dokaza kako probiotici mogu poboljšati cjelokupno zdravlje na način da će direktno ili indirektno utjecati na metabolizam lipida, sudjelovati u regulaciji crijevne flore, učinkovito ublažavati oštećenja uzrokovana oksidativnim stresom i uspješno inhibirati razvoj upale.

Dakle, uz uobičajenu prehranu tu su i dodatci prehrani koji joj služe kao nadopuna, a obično sadrže vitamine, minerale, aminokiseline, enzime, biljne ekstrakte ili druge hranjive tvari. Karakteristika dodataka prehrani je ispunjavanje nutritivnih potreba kada unos hranjivih tvari iz prehrane nije dovoljan, što se posebno odnosi na osobe sa specifičnim prehrambenim potrebama, sportašima ili onima s određenim zdravstvenim stanjima; zato s njima valja biti oprezan.

Većinu stanica ispunjava tekućina, voda. Sastavni je dio krvi, limfe, znoja, suza i sline. Odgovorna za nesmetano odvijanje svih procesa u organizmu; prenosi kisik i hranu u stanice, iznosi toksične tvari iz organa i organizma u cijelosti, pomaže u kontroliranju krvnog tlaka, podmazuje zglobove itd. Nedostatak tekućine može dovesti do smanjenja izdržljivosti i performansi mišića tijekom treninga. Povećanje tjelesnih napora zahtijeva povećane potrebe za tekućinom koje ovise od čovjeka do čovjeka. Šmuljić i sur. (2016) o važnosti hidratacije govore u smislu da će organizam koji je prije tjelesne aktivnosti opskrbljen dovoljnom količinom vode imati smanjenu percepciju napora za vrijeme provođenja tjelesne aktivnosti.

U svakom slučaju, pravilno uravnotežena prehrana koja sadrži ove nutritivne čimbenike može pomoći u održavanju zdravlja mišića, potaknuti oporavak mišićnog tkiva nakon treninga i podržati optimalnu funkciju mišića tijekom aktivnosti. Također, važno je naglasiti da iako su svi navedeni dodatci prehrani nužni za normalno funkcioniranje organizma, treba biti oprezan prilikom uzimanja, doziranja i odabira proizvođača kako ne bi došlo do situacija da neka osoba

uzima krivi dodatak prehrani. Ista suplementacija može različito utjecati na svakog pojedinca, zato je potrebno čitati naputke, informirati se ili eventualno posavjetovati s educiranom osobom.

#### **4.2. DIJETALNE STRATEGIJE ZA SMANJENJE MIŠIĆNE MASNOĆE I PREVENCIJU MIOSTEATOZE**

Sklonost da se miosteatozu povezuje s pretilošću, velika je. Međutim, treba uzeti u obzir da i naizgled mršave osobe mogu imati povišene razine miosteatoze. Razlog i jednog i drugog slučaja, nedovoljna je tjelesna aktivnost u kombinaciji s konzumacijom neadekvatne prehrane. Prema tome, pridržavanjem primjerene prehrane uz redovitu i također primjerenu tjelesnu aktivnost, količine masne tjelesne mase zasigurno će se smanjiti.

Mišigoj-Duraković i sur. (2018) spominju kako bi prehranu sa smanjenim sadržajem masnoće koja u sebi ima visoki udio zasićenih masnih kiselina trebalo zamijeniti sa mononezasićenim i polinezasićenim masnim kiselinama, dok bi prerađene jednostavne šećere trebalo izbjegavati ili barem smanjiti njihov unos. Istraživanje Paoli i sur. (2013) sugerira da se restrikcijom kalorija može utjecati na smanjenje infiltracije masnoća unutar mišića, što bi u prijevodu značilo da se može utjecati na smanjenje miosteatoze.

Kada se gubi težina ograničenjem kalorija, zahvaćeni su svi depoi masti, ali od svakog pojedinca ovisi iz kojeg će se depoa i u kojoj mjeri te masti gubiti, jer neki ljudi gube više masti iz jednih depoa nego iz drugih. I uglavnom u istraživanjima koja obuhvaćaju restrikcijske dijetete, ispitanici gube na tjelesnoj težini, na račun smanjenja masne, ali i nemasne mase. Što se tiče gubitka nemasne mase, riječ je o gubitku mišićnog tkiva niske gustoće (Correa-de-Araujo i sur., 2020). Ako se prisjetimo teksta od ranije, mišićna tkiva niske gustoće su ona koja u sebi sadržavaju veće količine intermuskularne/intramuskularne masti pa se time prikazuju i povećane razine miosteatoze. Zbog toga se može pričati o učinkovitosti dijetalnih strategija u smanjenju miosteatoze, jer unatoč gubitku nemasne mase tijela, snaga mišića se održava. Mišići normalne gustoće ostanu relativno očuvani.

Dijetalne strategije i smjernice kojima bi se smanjila mišićna masnoća, a time i količine miosteatoze, ne razlikuju se u velikoj mjeri od smjernica za opću populaciju ili oboljele od drugih kroničnih bolesti. Razlike se javljaju ovisno o postavljenim ciljevima. Smjernice Svjetske zdravstvene organizacije iz 2020. godine, a koje se mogu povezati sa stanjem miosteatoze nalažu smanjenje unosa zasićenih masti i transmasnih kiselina, kolesterola, hrane



bogate aditivima i dodanim šećerima, rafiniranih žitarica i proizvoda od rafiniranog brašna koji mogu sadržavati dodatke poput masti i šećera. Zasićene se masti mogu zamijeniti jednostruko ili višestruko nezasićenim masnim kiselinama, a ostatak hranidbenih komponenata je potrebno što više smanjiti. Nasuprot tome, bitno je povećati konzumaciju raznolikog voća i povrća gdje se posebno ističe crveno, narančasto i tamnozeleno povrće uz grah i grašak. Također, uvijek je bolje koristiti žitarice ili proizvode od žitarica od cjelovitog zrna te mliječne proizvode sa smanjenim udjelom masti. Takva će hrana sadržavati veće nutritivne vrijednosti i pritom biti kvalitetna zamjena industrijskim prerađevinama (WHO, 2020).

Niskokalorične dijetе s niskim udjelom ugljikohidrata i visokim udjelom nezasićenih masti pozitivno utječu na smanjenje komponenata metaboličkog sindroma, inzulinske rezistencije, hipertenzije, lipidnog profila osobe i debljanja (Paoli i sur., 2013).

Brojna znanstvena istraživanja ističu prednosti mediteranske prehrane i bogatstva namirnica niske kalorijske vrijednosti poput voća, povrća, žitarica i mahunarki, koje pomažu u održavanju pravilne tjelesne težine i pritom osiguravaju adekvatan unos vlakana. Mediteransku prehranu karakterizira i smanjeni udio masnoća i povećani udio antioksidansa, što povoljno utječe na štetu koju ljudskom tijelu uzrokuju slobodni radikali. Ovakav je način prehrane vrlo koristan u prevenciji mnogih kroničnih bolesti; kardiovaskularne bolesti, rak, metabolički sindrom, dijabetes, pretilost, osteoporoza i kognitivni poremećaji (Favretto i Gobbo, 2024).

Dijetalnu terapiju treba prilagoditi svakom pojedincu, kako bi ga se potaknulo na suradnju i kako bi se smanjili mogući štetni učinci. Pritom će bolje razumijevanje prehrambenih aspekata i načina manipulacije istima, biti važno za postizanje postavljenih ciljeva (Browning i sur., 2006). Očuvanje mišićne mase i smanjenje masnoće u tijelu zahtijeva kombinaciju pravilne prehrane i tjelesne aktivnosti, a u nastavku će biti navedeno nekoliko ključnih prehrambenih aspekata koji su važni za očuvanje mišićne mase i smanjenje masnoće.

Pažnju valja obratiti na adekvatan unos proteina koji su esencijalni za rast i obnovu mišićnog tkiva, posebice nakon odrađene tjelesne aktivnosti, kako bi se potaknuo oporavak mišića i izgradnja mišićne mase. Izvori proteina mogu uključivati piletinu, puretinu i ostalo meso, ribu, jaja, mliječne proizvode (sirutka), mahunarke, orašaste plodove i sjemenke. Sve vrste povrća u sebi imaju neke bjelančevine, ali se najveće količine bjelančevina nalaze u suhom grahu i grašku (Borovac, 2002). Uz proteine, važno je imati uravnoteženi unos ugljikohidrata koji predstavljaju glavni izvor energije za tjelesne aktivnosti. Pametno bi bilo odabrati složene ugljikohidrate poput cjelovitih žitarica, povrća, voća i mahunarki umjesto rafiniranih

ugljikohidrata kako bi osigurali stabilnu razinu energije tijekom dana. Prilikom unosa ugljikohidrata potrebno je biti na oprezu, posebno ako se cilja na smanjenje masnoće, jer prekomjerni unos ugljikohidrata može doprinijeti povećanju masnoće u tijelu.

Nadalje, unos zdravih masti je ključan za opće zdravlje i funkciju tijela. Omega-3 masne kiseline, prisutne u ribama poput skuše, lososa i sardina, kao i u lanenim sjemenkama i orašastim plodovima, imaju protuupalna svojstva koja mogu pomoći u očuvanju mišićne mase. Uz protuupalna i antikancerogena svojstva, lanene sjemenke kao jedan od najbogatijih izvora omega-3 masnih kiselina reguliraju homeostazu metabolizma glukoze i lipida (Wang i sur., 2024). Omega-3 masne kiseline snižavaju razinu ukupnog kolesterola, a s obzirom da ih organizam ne može sam proizvesti nužno ih je unijeti hranom ili dodacima prehrani (Bender, 2011). Izbjegavanjem trans masti i onih zasićenih koje se nalaze u prerađenoj i brzoj hrani, tijelo će biti zahvalno, jer su to masti koje mogu negativno utjecati na zdravlje srca i doprinijeti povećanju masnoće u tijelu. Zasićene masne kiseline najizraženije povišuju razine kolesterola (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Uglavnom se povećava količina nepoželjnog kolesterola u krvi, a može ih se naći u mastima životinjskog podrijetla (Borovac, 2002).

Posljednje, ali ništa manje važno je briga o redovitim obrocima, njihovom pravilnom doziranju i hidrataciji općenito. Redoviti obroci tijekom dana važni su za održavanje stabilne razine energije i poticanje metabolizma. Važno je uzeti u obzir veličinu porcija, ali i dovoljan unos kalorija, bez prejedanja, kako bi se podržale određene tjelesne aktivnosti.

Adekvatnom hidratacijom omogućuju se optimalne tjelesne funkcije uključujući rast i obnovu mišića. Vodu je potrebno piti tijekom dana, a posebno prije, za vrijeme i nakon tjelesnih aktivnosti. Uz pravilno izbalansiranu prehranu koja uključuje sve navedene aspekte, te redovitu tjelesnu aktivnost, moguće je postići očuvanje mišićne mase i smanjenje masnoće u tijelu na zdrav i održiv način.

#### **4.3. INTERAKCIJA IZMEĐU PREHRANE I TJELESNIH AKTIVNOSTI (u kontroli mišićne mase i masnoće)**

Svaka mišićna aktivnost, odnosno svaki mišićni rad zahtijeva određenu potrošnju energije. Jedini i osnovni izvor energije za sve aktivnosti stanice pa tako i organizma u cijelosti je spoj ATP-a (adenozin – trifosfat). S obzirom da su njegove zalihe u organizmu male, potrebna mu je stalna obnova. Obnova je moguća od nekog izvora energije koji unosimo hranom; ugljikohidrati, masti i bjelanjčevine. Višak hranjivih tvari pohraniti će se ili u jetri i mišićima ili u obliku potkožnog masnog tkiva, a da bi ih organizam kasnije koristio potrebna je njihova

razgradnja. Tako se primjerice, pohranjene periferne masti razgrađuju na slobodne masne kiseline da bi došle do mitohondrija i tamo ih stanica koristila kao izvor energije. Dok se energija iz ugljikohidrata dobiva i aerobno i anaerobno, odnosno uz i bez prisustva kisika, iz masti se ona može dobiti isključivo aerobno, odnosno uz prisustvo kisika. Tako će aktivnosti nižeg intenziteta i dužeg trajanja kao izvore energije primarno koristiti masti. Aerobno znači sporo i izdržljivo dobivanje energije, a anaerobno znači brzo i manje efikasno. Ugljikohidrati mogu obnavljati zalihe ATP-a u oba slučaja, samo je pitanje je li intenzitet aktivnosti ispod ili iznad intenziteta anaerobnog praga (Matković i Ružić, 2009).

Da bi se funkcionalno i metaboličko stanje osobe s prekomjernim viškom masti popravilo, potrebno je reducirati prehranu i povećati potrošnju energije nekom vrstom tjelesne aktivnosti. Prilikom procesa mršavljenja, za koje je potrebno vrijeme i za koje je potrebno kontinuirano raditi na promjenama u načinu prehrane i tjelesne aktivnosti, posebno treba biti oprezan na vraćanje starih navika. Tzv. Jojo efekt dovodi do puno bržeg debljanja jer je bazalni metabolizam smanjen. Da bi se bazalni metabolizam povećao, potrebno je povećati nemasnu masu tijela. Da bi se povećala nemasna masa tijela, potrebno je bavljenje tjelesnom aktivnošću. Istraživanje Goodpaster i sur. (1999) potvrđuje da se gubitkom težine u ispitanika, promijenio i sastav mišića. Promjena se temeljila na smanjenju mišićnih vlakana niske gustoće, što bi značilo da su to vlakna sa većim udjelom masti, miosteatoze. Unatoč takvoj promjeni skeletnih mišića, nije došlo do promjene u snazi istih. Znači da će gubitak težine izazvan prehranom, kod pretilih osoba, postupno iscrpljivati mišiće zahvaćene miosteatozom.

Liječenje miosteatoze obično uključuje kombinaciju promjena u načinu života, kao što su poboljšana prehrana i redovita tjelesna aktivnost, te terapiju koja se fokusira na smanjenje masnih naslaga i poboljšanje funkcionalnosti mišića. Velik je broj studija koje su ispitivale učinke prehrane i tjelesne aktivnosti, odnosno njihovu kombinaciju na infiltraciju lipida.

Niskokalorična prehrana i aerobno vježbanje dovode do smanjenja težine, na račun smanjenja masnog tkiva i nemasne mase, dok trening snage u kombinaciji s niskokaloričnom prehranom smanjuje masno tkivo, ali i povećava nemasnu masu (Šilić i Ostojić, 2007). Stoga, određene vrste prehrane u kombinaciji s treningom snage mogu utjecati na povećanje mišićne mase kod starijih osoba. Što se tiče tjelesnih aktivnosti, njihova raznovrsnost može potaknuti razvoj različitih mišićnih skupina, a učestalo korištenje određenih mišića prilikom aktivnosti može povećati snagu u relativno kratkom periodu od nekoliko (3 - 4) mjeseci. Kardiovaskularne aktivnosti kao što su trčanje, plivanje ili vožnja bicikla pomažu u sagorijevanju kalorija i

smanjenju masnog tkiva, posebno ako se kombiniraju s intervalnim treningom visokog intenziteta. S druge strane, vježbe snage poput podizanja utega ili vlastite težine ciljano jačaju mišiće, potičući njihov rast i razvoj. Kombinacija ovih aktivnosti može rezultirati povećanom mišićnom masom i smanjenjem udjela masnog tkiva u tijelu. Trening jakosti sam po sebi povećava mišićnu masu, a u kombinaciji s aerobnim treningom uz povećanje mišićne mase i snage, dolazi do smanjenja potkožnog masnog tkiva (Šilić i Ostojić, 2007).

Kombinacija pravilne prehrane i raznolikih tjelesnih aktivnosti stvara sinergijski učinak koji može optimizirati rezultate. Redovita tjelesna aktivnost potiče metabolizam, što može povećati potrošnju kalorija i potaknuti sagorijevanje masnoća, dok pravilna prehrana osigurava potrebne hranjive tvari za rast mišića i oporavak nakon vježbanja. Pritom je važno napomenuti da individualne potrebe i ciljevi mogu varirati, pa je savjetovanje s nutricionistom ili osobnim trenerom korisno kako bi se razvio prilagođeni plan prehrane i tjelesne aktivnosti.

Promjena dosadašnje ili pridržavanje propisane prehrane nije nešto što se primjenjuje određeno vrijeme da se kasnije može vratiti na stari režim, već je to nešto što treba početi i nastaviti primjenjivati do kraja života. O hrani i njezinom utjecaju na organizam se treba informirati, kako bi uopće postala jasna njezina svrha. Dakako, svaka će osoba drugačije reagirati na istu vrstu hrane. Svaka će osoba iz iste namirnice izvući različite količine energije i drugačiju vrstu hranjivih tvari. Jedna će ju osoba moći jesti, drugoj neće odgovarati. Zbog toga je besmisleno slaganje univerzalnog plana i programa prehrane, jer će jednoj osobi uvelike pomoći, dok drugoj može napraviti veliku štetu. Isto vrijedi i za tjelesnu aktivnost. Poanta je razumjeti suštinu i prilagoditi se svakom pojedincu.

## **5. TERAPIJSKI POTENCIJAL TJELESNIH AKTIVNOSTI**

Bez obzira na spol, smanjenje nakupljanja masnih naslaga unutar mišića će poboljšati metaboličko zdravlje mišića, a time i smanjiti prisutnost i ozbiljnost miosteatoze (Addison i sur., 2014). Meta-analiza intervencija Ramirez-Velez i sur. (2021) je pokazala da su intervencije tjelesnih aktivnosti prosječno smanjile infiltraciju lipida, odnosno nakupljanja masnih naslaga unutar mišića kod starijih osoba. Isto tako, potrebna je kombinacija različitih tipova tjelesnih aktivnosti kako bi smanjenje miosteatoze bilo izraženije. Aerobni trening i trening snage su snažno povezani sa smanjenom infiltracijom lipida (Otten i sur., 2018).

Metabolizam će ovisno o dobi, fizičkom stanju osobe i stupnju razvijenosti miosteatoze reagirati na podražaje tjelesne aktivnosti. Kod nekih će promjene biti izraženije, dok se kod drugih te promjene možda neće moći odmah uočiti. Pad kvalitete mišića rezultat je brojnih faktora, zbog čega je moguće da će dob i prisutnost drugih kroničnih bolesti uz miosteatozu utjecati na odgovor tijela koje je izloženo tjelesnoj aktivnosti (Dondero i sur., 2024).

Kombinacija različitih vrsta tjelesnih aktivnosti smanjuje rizik od povezanih metaboličkih poremećaja, dok će redovitost u provođenju dovesti do prilagodbi organizma poput poticanja protuupalnih procesa i poboljšanja cjelokupnog mišićnog zdravlja. Integrirani pristup, koji uključuje prilagođeni program vježbanja i pravilnu prehranu, može značajno poboljšati ishode za osobe pogođene miosteatozom.

## **5.1. ULOGA TJELESNIH AKTIVNOSTI U PREVENCIJI PROGRESIJE MIOSTEATOZE**

Prema dosadašnjim spoznajama, tjelesnu se aktivnost može uzeti kao protumjeru koja će spriječiti ili poništiti pojavu miosteatoze. Kod osoba koje imaju zabilježenu nižu razinu miosteatoze, pokazale su se veće promjene u kvaliteti mišića, za razliku od onih sa višim vrijednostima, koji bi trebali, da postignu neke promjene, uključiti i druge alternativne pristupe zajedno sa vježbanjem (pr. vibracijske platforme).

Istraživanje Marcus i sur. (2010) govori upravo o dinamičnosti procesa infiltracije masnog tkiva u mišić i njezine reakcije na tjelesnu aktivnost. Regulacija sadržaja intramuskularne i intermuskularne masti vrlo je slična regulaciji sadržaja glukoze u mišićima. To bi značilo da se mišićnom kontrakcijom povećavaju razine citosolnih razina AMP-aktivirane protein kinaze (Glatz i sur., 2010). Aktivacijom ovog enzima, aktiviraju se GLUT4 transporteri koji dolaskom do membrane stanice propuštaju glukozu u istu. Sve navedeno rezultira povećanom translokacijom masnih kiselina.

Kako su intramuskularne masti na neki način skladište masnih kiselina, one se tijekom stanja mirovanja ne mogu niti oksidirati, ili ako se oksidiraju, čine to u vrlo malim količinama, što opet tjelesno vježbanje stavlja u povoljan položaj. Naime, masne kiseline hidrolizom iz intramuskularnih masti, tijekom umjerenog tjelesnog vježbanja, mogu pridonijeti dijelu energije potrebnom za oksidativni metabolizam, iz čega proizlazi da bi se redovitim treningom i periodičnim iskorištavanjem masnih kiselina kao dijela energije potrebne za rad, moglo utjecati na inzulinsku rezistenciju i spriječiti daljnje nakupljanje masti unutar mišića (Goodpaster i sur., 2001).

Sukladno ranijim objašnjenjima, miosteatoza uz smanjenje osjetljivosti na inzulin, pogoršava i potiče lokalnu upalu što ima određene kliničke posljedice. Jedna od takvih posljedica je i smanjena sinteza mišićnih proteina, ujedno povezana sa starenjem (Dondero i sur., 2024). Breen i Phillips (2011) smatraju da je smanjena sinteza mišićnih proteina rezultat neravnoteže aminokiselina i smanjene osjetljivosti na anaboličke podražaje te da će nedovoljan ili nekvalitetan unos proteina hranom, kao i nedostatak tjelesne aktivnosti tome uvelike pridonijeti. Stoga se značajnost uloge tjelesne aktivnosti u prevenciji progresije miosteatoze ne može zanemariti jer uz stimulaciju sinteze mišićnih proteina utječe i na povećanje estrogena, djelovanje inzulina, povećanje cirkulacije aktivnih mišića te brojnih drugih fizioloških procesa. Uz vježbanje, potrebno je obratiti pozornost na vrijeme hranjenja i ritam spavanja, jer oni itekako mogu utjecati na metaboličke i stanične fiziološke procese. Općenito gledajući energetska potrošnja je puno veća tijekom dana, nego za vrijeme spavanja i sve stanice u tijelu su tom načinu potrošnje energije prilagođene. Harfmann i sur. (2015) iznose da svaka stanica u tijelu, uključujući i skeletne mišiće ima svoj cirkadijani sat. Ukoliko se takav tjelesni ritam na bilo koji način poremeti, doći će do metaboličkih promjena koje će posljedično utjecati na sastav tijela, a samim time i na pohranu glukoze, osjetljivost na inzulin, bazalni metabolizam i dr. Potvrđeno rezultatima istraživanja, čimbenici koji utječu na cirkadijani ritam ometajući ga, negativno utječu i na funkcionalnost i strukturu mišića.

## **5.2. PREDNOSTI I OGRANIČENJA RAZLIČITIH VRSTA TJELESNIH AKTIVNOSTI**

Različite vrste tjelesnih aktivnosti nude različite prednosti i ograničenja, ovisno o ciljevima pojedinca, trenutnom zdravstvenom stanju, preferencijama i dostupnosti resursa.

Osobe s bilo kakvom vrstom poteškoća, invaliditetom ili kroničnim bolestima obavezno trebaju biti pod nadzorom liječnika. O vrsti i količini aktivnosti koje su u skladu s njihovim sposobnostima i kroničnim oboljenjima mogu se konzultirati s liječnikom ili kineziologom. Polazne preporuke su preporuke Svjetske zdravstvene organizacije za provođenje tjelesne aktivnosti, te ih osobe trebaju provoditi ako su u stanju (WHO, 2020). Oni koji ne mogu udovoljiti navedenim preporukama trebaju biti aktivni onoliko koliko im to njihove sposobnosti i stanje dozvoljavaju. U svakom je slučaju cilj izbjegavati neaktivnost (Mišigoj-Duraković, 2018).

Kada je riječ o aerobnim vježbama, one će utjecati na poboljšanje kardiovaskularnog sustava, jačanjem srca i pluća, potaknuti će sagorijevanje kalorija i smanjenje masnog tkiva te će povećati izdržljivost i vitalnost. Ono što im ne ide u prilog je monotonost te veliko opterećenje na zglobove i ligamente, što može biti problematično osobama s ozljedama ili oštećenjima zglobova. S druge strane, vježbama snage jačaju se mišići i kosti, povećava se metabolizam i također potiče gubitak masnog tkiva, a poboljšati mogu i funkcionalnost tijela i ravnotežu osobe. Poboljšanje mišićne strukture odnosi se na povećanje veličine mišića, sposobnosti mišića da proizvede snagu i sposobnosti obavljanja važnih funkcija mobilnosti (Marcus i sur., 2010). Ograničenje takve vrste aktivnosti predstavlja potrebno izvođenje pravilne tehnike kako bi se spriječile ozljede i uz to mogu biti intenzivne i zahtijevati određenu opremu ili nadzor stručne osobe. Ako se pak primjenjuje trening fleksibilnosti kao vrsta aktivnosti, zasebno ili u kombinaciji s drugima, može se pridonijeti povećanju raspona pokreta i fleksibilnosti mišića općenito, čime se smanjuje rizik od ozljeda i bolova u mišićima, a poboljšati će se držanje tijela i smanjiti napetost u mišićima. Ograničenje ovakvog tipa aktivnosti je neizravna povezanost s gubitkom masnog tkiva i između ostaloga potrebna je ustrajnost kako bi se fleksibilnost održala.

Bilo da je riječ o profesionalnom sportu ili rekreacijskoj aktivnosti omogućiti će zabavu i socijalnu interakciju, potaknuti će timski rad i razviti neke sportske vještine pritom motivirajući na ovaj ili onaj način. Jedina im je prepreka korištenje odgovarajuće opreme ili infrastrukture, dok aktivnosti treba uzeti s dozom opreza, jer svaki sport sa sobom nosi potencijalne rizike od ozljeda. U svakom slučaju, važno je odabrati kombinaciju tjelesnih aktivnosti koje odgovaraju individualnim ciljevima, sposobnostima i preferencijama, uzimajući u obzir i potencijalne rizike i ograničenja. Aerobne vježbe, vježbe snage i ostale vrste aktivnosti te sudjelovanje u sportskim aktivnostima mogu pružiti sveobuhvatan pristup održavanju zdravog i aktivnog načina života.

### **5.3. PREPORUKE ZA TJELESNU AKTIVNOST U LIJEČENJU MIOSTEATOZE**

Za očuvanje zdravlja i sprječavanja razvoja neke od bolesti nužne su preventivne mjere. Edukacija i povećanje informiranosti o učincima primjerice tjelesne aktivnosti i/ili prehrane dobar je način prevencije. Delaš i sur. (2007) navode da uz edukaciju, preventivne mjere uključuju i korekciju stavova te podršku i motivaciju za bavljenje tjelesnom aktivnosti. Važno

je usvojiti pozitivne navike i stavove u što ranijoj dobi, da bi se osigurao razvoj psiho-fizički stabilnih i zrelih osoba.

Moguće je utjecati na modificirajuće čimbenike rizika kao što su loša prehrana, nedostatak tjelesne aktivnosti, pušenje i slično. Skup svih tih čimbenika je povezan s načinom života, tj stilom življenja pojedinca (Mišigoj-Duraković i sur., 2018). Promjena se ne postiže odjednom, isto kao što ne postoji samo jedan oblik zdrave prehrane, niti jedan univerzalni savjet koji će sve promijeniti na bolje. Potrebno se informirati, steći znanje i dobiti osjećaj za vlastito tijelo. Bitno je obratiti pažnju na reakcije organizma nakon konzumacije hrane. Bitno je oslušivati svoje tijelo kako bi ga bolje razumjeli.

Preporuke za tjelesnu aktivnost, a koje se tiču liječenja miosteatoze, dijelom mogu obuhvaćati preporuke vezane za poremećaje metabolizma glukoze i pretilosti, s obzirom da su usko vezani pojmovi. Razlika se pojavljuje u tercijarnim prevencijama, gdje su smjernice specifične za određenu bolest te istovremeno zahtijevaju kontinuirani nadzor stručne osobe.

Isto tako, dopušteno vježbanje visokim intenzitetom sa sobom nosi veće zdravstvene rizike pa je takvim osoba potrebna konzultacija s liječnikom. Svima ostalima, intenzitet aktivnosti treba varirati od umjerenog do visoko intenzivnog (40-70% od maksimalnog intenziteta), ovisno o sposobnostima i mogućnostima. Aktivnosti se svode na povećanje svih dnevnih aktivnosti, provođenje aerobnog vježbanja i vježbanja s vanjskim opterećenjem, a razdoblje između dvije epizode tjelesne aktivnosti ne bi trebalo biti duže od dva dana, što bi značilo da učestalost provođenja treba biti minimalno 3 puta tjedno. Aerobne je aktivnosti u raznim oblicima čak poželjno provoditi svakodnevno u trajanju od 30 do 60 minuta, dok se vježbe s opterećenjem rade kroz 2-3 serije i 8-12 ponavljanja za sve mišićne skupine, par puta u tjednu (Mišigoj-Duraković, 2018).

Šilić i Ostojić (2007) u svom istraživanju neaktivnost mlađih muškaraca direktno povezuju sa smanjenjem mišićne mase u starosti te govore kako bi starije osobe trebale izbjegavati vježbanje s velikim težinama; kontrakcije treba zadržavati po nekoliko sekundi, a radi se na otprilike 60% maksimalnog intenziteta. Bez obzira na to što se tjelesnu aktivnost može preporučiti većini starijih osoba, uvijek treba uzeti u obzir fizičko stanje pojedinca te prema tome utvrditi najprikladniju vrstu aktivnosti i njezino opterećenje kako bi se izazvalo korisne adaptacijske promjene.

Bašić (2007) ističe da treba izvoditi vježbe višezglobnog karaktera koje će obuhvatiti sve glavne mišićne skupine čime će se u većoj mjeri angažirati proprioceptori i živčani sustav.



Preporučuje se usmjerenost na nekoliko određenih mišićnih grupa, čija je funkcionalnost nužna za obavljanje svakodnevnih aktivnosti; ekstenzori kuka i potkoljenice te fleksori podlaktice. Vježbe treba izvoditi kontrolirano i polako s naglaskom na puni opseg pokreta, a o pravilnom ritmu disanja se uvijek vodi briga. Bilo da se radi o mlađoj ili starijoj neaktivnoj populaciji, prilikom kretanja u proces treninga i sustavno provođenje tjelesne aktivnosti postoje različite faze razvoja ciljane sposobnosti. Tijelo će na opterećenja prvo reagirati anatomskom prilagodbom, a zatim će se početi uočavati fizičke promjene. Dobivanje mišićne mase najjuočljivija je promjena nastala provođenjem tjelesne aktivnosti. Važno je održavati kontinuitet, odnosno održavati postignuti nivo ciljane sposobnosti.

Očito je da na funkcioniranje mišića mogu utjecati brojni čimbenici od spavanja i hranjenja, do starenja, pretilosti i raznih upala. Što je više prisutnog sjedilačkog načina života i smanjene tjelesne aktivnosti, povećan je rizik za razvoj različitih tjelesnih disfunkcija, između ostalog i miosteatoze. Promjenom loših životnih navika, promijenit će se i kvaliteta života. Promjena se neće dogoditi na svim poljima života odjednom, niti u par dana, ona zahtijeva konzistentnost i ustrajnost. U svakom slučaju, tjelesno aktivni pojedinci prema svim dokazima i navodima imaju manju vjerojatnost od pojave ili daljnjeg razvitka neke od kroničnih nezaraznih bolesti.

## 6. ZAKLJUČAK

Funkcioniranje jednog sustava ljudskog organizma, zahtijeva sinergiju cijelog organizma. Iz tog je razloga u prevenciji nekog odstupanja, u ovom slučaju miosteatoze, cilj pokriti više područja djelovanja. Iako je vježbanje samo po sebi jedna od najboljih strategija za liječenje i prevenciju, važno je održavati balans između unosa energije i provođenja tjelesne aktivnosti. Ulaganje u zdravlje se višestruko vraća. Činjenica je da svatko sam za sebe određuje razinu tjelesne forme i stanja zdravlja. Mnogi imaju i želju i volju posvetiti se sebi i svome zdravlju u vidu prehrane i tjelesne aktivnosti, no izostankom rezultata izostaje i samoeфикаsnost, što dovodi do depresivnih stanja i raznih bolesti. Akutni učinci vježbanja nose prolazne efekte, a najčešći faktor odustajanja bude neznanje. Unatoč svom trudu, ne postižu se vidljivi rezultati. Navedenom stanju uzrok je neselektivan pristup pojedincu i nedovoljna stručnost trenerskog kadra.

Tjelesna aktivnost igra ključnu ulogu u prevenciji i smanjenju miosteatoze, stanja karakteriziranog nakupljanjem masnog tkiva unutar i oko mišića, a koje znatno smanjuje njihovu kvalitetu. Različite vrste tjelesne aktivnosti u koju su podjednako uključene aerobne vježbe i vježbe s vanjskim opterećenjem, pokazale su se učinkovitima u smanjenju infiltracija masnih naslaga unutar mišića i poboljšanja cjelokupnog mišićno-metaboličkog zdravlja. Aerobne vježbe poput trčanja, bicikliranja ili veslanja poboljšavaju kardiovaskularnu funkciju i potiču oksidaciju masti, dok vježbe snage povećavaju mišićnu masu i metaboličku aktivnost, što u kombinaciji predstavlja optimalnu strategiju za smanjenje miosteatoze, poboljšavajući tjelesne i metaboličke procese u oboljelih osoba.

Uz tjelesnu aktivnost važno je pridržavati se uravnotežene prehrane bogate proteinima, zdravim mastima i kompleksnim ugljikohidratima kao podrške regeneraciji i rastu mišića. Pravilnom se prehranom smanjuje rizik od nakupljanja masnog tkiva u mišićima. Osobito je važan unos omega-3 masnih kiselina, koje imaju protuupalna svojstva i mogu smanjiti nakupljanje masti unutar mišićnog tkiva. Sinergija između pravilne prehrane i redovite tjelesne aktivnosti ključna je za postizanje rezultata. Ove intervencije ne samo da poboljšavaju tjelesnu kompoziciju, već i značajno doprinose cjelokupnom zdravlju i kvaliteti života pojedinca. Stoga, integrirani pristup koji uključuje personalizirane programe vježbanja i prilagođene prehrane planove može biti najučinkovitiji način borbe protiv miosteatoze.

Buduća istraživanja bi se trebala usmjeriti na dublje razumijevanje mehanizama putem kojih različite vrste tjelesne aktivnosti i prehrambeni sastojci djeluju na mišićno tkivo, kao i na razvoj specifičnih preporuka za različite populacije. Samo kroz holistički pristup, koji kombinira znanstvena saznanja i praktične smjernice, možemo postići najbolje rezultate u prevenciji i tretmanu miosteatoze.

## 7. LITERATURA

Abdelmalek, M.F., Lazo, M., Horska, A., Bonekamp, S., Lipkin, E.W., Balasubramanyam, A., Bantle, J.P., Johnson, R.J., Diehl, A.M. i Clark, J.M. (2012). Higher dietary fructose is associated with impaired hepatic adenosine triphosphate homeostasis in obese individuals with type 2 diabetes. *Hepatology*, 56(3), 952-960. <https://doi.org/10.1002/hep.25741>

Addison, O., Marcus, R.L., LaStayo, P.C. i Ryan, A.S. (2014). Intermuscular Fat: A Review of the Consequences and Causes. *International Journal of Endocrinology*. <https://doi.org/10.1155/2014/309570>

Ahmed, S., Singh, D., Khattab, S., Babineau, J. i Kumbhare, D. (2018). The Effects of Diet on the Proportion of Intramuscular Fat in Human Muscle: A Systematic Review and Meta-analysis. *Front Nutr*, 5. DOI:<https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00007>

Almurdhi, M.M., Reeves, N.D., Bowling, F.L., Boulton, A.J.M., Jeziorska, M. i Malik, R.A. (2016). Distal lower limb strenght is reduced in subjects with ipaired glucose tolerance and is related to elevated intramuscular fat level and vitamin D deficiency. *Diabetic Medicine*, 34(3), 356-363. <https://doi.org/10.1111/dme.13163>

Arshad, T., Golabi, P., Paik, J., Alita, M. i Zobair, M.Y. (2019). Prevalence of nonalcoholic fatty liver disease in the female population. *Hepatology Communications*, 3(1), 74-83. <https://doi.org/10.1002/hep4.1285>

Bačić, V. (2021). *Povezanost tjelesne aktivnosti i sastava crijevne mikrobiote u ispitanika s različitim stupnjem uhranjenosti*. Zagreb: Prehrambeno-biotehnološki fakultet.

Bačić, M. (2007). Tjelesno vježbanje osoba starije dobi. U: Andrijašević, M. (ured.) (2007). *Sport za sve u funkciji unapređenja kvalitete života* (str. 399-405). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Bačić, D. i Bačić, M. (2007). Tjelesna aktivnost i pretilost. U: Andrijašević, M. (ured.) (2007). *Sport za sve u funkciji unapređenja kvalitete života* (str. 391-398). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Beha, A., Juretschke, H-P., Kuhlmann, J., Neumann-Haefelin, C., Belz, U., Gerl, M., Kramer, W., Roden, M. i Herling, A.W. (2006). Muscle type-specific fatty acid metabolism in insulin resistance: an integrated in vivo study in Zucker diabetic fatty rats. *Endocrinology and metabolism*, 290, 989-997. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00459.2005>

Bokan, M. i Hauser, G. (2018). Debljina i mikrobiota. *Medicus*, 27(1), 21-27.

Bonen, A., Parolin, M.L., Steinberg, G.R., Calles-Escadon, J., Tandon, N.N., Glatz, J.F.C., Luiken, J.J.F.P., Heigenhauser, G.J.F. i Dyck, D.J. (2004). Triacylglycerol accumulation in human obesity and type 2 diabetes is associated with increased rates of skeletal muscle fatty acid transport and increased sarcolemmal FAT/CD36. *The FASEB Journal*, 18, 1144-1146. <https://doi.org/10.1096/fj.03-1065fje>

Borovac, I. (2002). *Faktopedija – Ilustrirana enciklopedija*. Zagreb: Mozaik knjiga.

Breen, L. i Phillips, S.M. (2011). Skeletal muscle protein metabolism in the elderly: Interventions to counteract the „anabolic resistance“ of ageing. *Nutrition & Metabolism*, 8(1), 68. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-68>

Bender, D. V. (2011). Omega-3 masne kiseline. *Dijetetika*, 92, 234-240.

Browning, J.D., Davis, J., Saboorian, M.H. i Burgess, S.C. (2006). A Low-Carbohydrate Diet Rapidly and Dramatically Reduces Intrahepatic Triglyceride Content. *Hepatology*, 44(2), 487-8. <https://doi.org/10.1002/hep.21264>

Buyse, J. i Decuypere, E. (2015). *Adipose tissue and lipid metabolism* (sixth edition). Avian Physiology, 443-453.

Casey, P., Ang, Y. i Sultan, J. (2021). COVID-19-induced sarcopenia and physical deconditioning may require reassessment of surgical risk for patients with cancer. *World Journal of Surgical Oncology*, 19(8). <https://doi.org/10.1186/s12957-020-02117-x>

Camporez, J.P., Lyu, K., Goldberg, E.L., Zhang, D., Cline, G.W., Jurczak, M.J., Deep Dixit, V., Petersen, K.F. i Shulman, G.I. (2019). Anti-inflammatory effects of oestrogen mediate the sexual dimorphic response to lipid-induced insulin resistance. *The Journal of Physiology*, 597(15), 3885–3903. <https://doi.org/10.1113/jp277270>

Cioffi, F., Senese, R., Lasala, P., Ziello, A., Mazzoli, A., Crescenzo, R., Liverini, G., Lanni, A., Goglia, F. i Iossa, S. (2017). Fructose-rich diet affects mitochondrial DNA damage and repair in rats. *Nutrients*, 9(4), 323. <https://doi.org/10.3390/nu9040323>

Close, G.L., Kayani, A., Vasilaki, A. i McArdle, A. (2005). Skeletal Muscle Damage with Exercise and Aging. *Sports Medicine* 35(5), 413-427.

Coen, P.M. i Goodpaster, B.H. (2012). Role of intramyocellular lipids in human health. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 23(8), 391-398. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2012.05.009>

Correa-de-Araujo, R., Addison, O., Miljković, I., Goodpaster, B.H., Bergman, B.C., Clark, R.V., Elena, J.W., Esser, K.A., Ferrucci, L., Harris-Love, M.O., Kritchevsky, S.B., Lorbergs, A., Shepherd, J.A., Shulman, G.I. i Rosen, C.J. (2020). Myosteatosis in the Context of Skeletal Muscle Function Deficit: An Interdisciplinary Workshop at the National Institute on Aging. *Sec. Striated Muscle Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00963>

Čaplar, A. (2020). *Planinarski udžbenik*. Zagreb: Hrvatski planinarski savez

Delaš, I., Delaš, M., Kozić, Z., Pongrac Štimac, Z. (2007). Ispitivanje navika i kvalitete prehrane adolescenata. U: Andrijašević, M. (ured.) (2007). *Sport za sve u funkciji unapređenja kvalitete života* (str. 73-80). Zagreb: Medicinski fakultet.

Dondero, K., Friedman, B., Rekant, J., Landers-Ramos, R. i Addison, O. (2024). The effects of myosteatosis on skeletal muscle function in older adults. *Physiological Reports*, 12(9). <https://doi.org/10.14814/phy2.16042>

Dube, J.J., Amati, F., Stefanovic-Racic, M., Toledo, F.G.S., Sauers, S.E. i Goodpaster, B.H. (2008). Exercise-induced alterations in intramyocellular lipids and insulin resistance: the athlete's paradox revisited. *American Journal of Physiology-Endocrinology Metabolism*, 294(5), E882–8. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00769.2007>

Engelke, K., Museyko, O., Wang, L. i Laredo, J-D. (2018). Quantitative analysis of skeletal muscle by computed tomography imaging – State of the art. *Journal of Orthopaedic Translation*, 15, 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2018.10.004>

Farr, J.N., Van Loan, M.D., Lohman, T.G. i Going, S.B. (2012). Lower physical activity is associated with fat infiltration within skeletal muscle in young girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 44(7), 1375-1381.

Favretto, P. i Gobbo, M. (2024). Quali sono le diete efficaci per la paziente con sindrome dell'ovaio policistico (PCOS) sovrappeso/obesa? *Bollettino di Ginecologia Endocrinologica*, 18, 1-8.

Feillet-Coudray, C., Aoun, M., Fouret, G., Bonafos, B., Ramos, J., Casas, F., Cristol, J.P. i Coudray, C. (2013). Effects of long-term administration of saturated and n -3 fatty acid-rich diets on lipid utilisation and oxidative stress in rat liver and muscle tissues. *British Journal of Nutrition*, 110(10), 1789–1802. <https://doi.org/10.1017/S0007114513001311>.

Freeland-Graves, JH., Nitzke, S. (2013). Position of the academy of nutrition and dietetics: total diet approach to healthy eating. Academy of Nutrition and Dietetics. *Journal Academy of Nutrition Diet* (113), 307-317.

- Garcia, M., Seelaender, M., Sotiropoulos, A., Coletti, D. i Lancha Jr, A.H. (2019). Vitamin D, muscle recovery, sarcopenia, cachexia and muscle atrophy. *Nutrition*, 60, 66-69. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.09.031>
- Garrood, P., Hollingsworth, K.G., Eagle, M., Aribisala, B.S., Birchall, D., Bushby, K. i Straub, V. (2009). MR imaging in Duchenne muscular dystrophy: Quantification of T-weighted signal, contrast uptake and the effects of exercise. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 30(5), 1130-1138. <https://doi.org/10.1002/jmri.21941>
- Gibiino, G., Siena, M., Sbrancia, M., Binda, C., Sambri, V., Gasbarrini, A. i Fabbri, C. (2021). Dietary habits and gut microbiota in healthy adults: Focusing on the right diet. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 728. <https://doi.org/10.3390/ijms22136728>
- Glatz, J.F.C., Luiken, J.J.F.P. i Bonen, A. (2010). Membrane fatty acid transporters as regulators of lipid metabolism: implications for metabolic disease. *Physiological reviews*, 90, 367-417. <https://doi.org/10.1152/physrev.00003.2009>
- Glushakova, O., Kosugi, T., Roncal, C., Mu, W., Heinig, M., Cirillo, P., Sanchez-Lozada, L.G., Johnson, R.J. i Nakagawa, T. (2008). Fructose induces the inflammatory molecule ICAM-1 in endothelial cells. *Journal American of Sociology and Nephrology*, 19, 1712-1720.
- Goodpaster, B.H., He, J., Watkins, S. i Kelley, D.E. (2001). Skeletal Muscle Lipid Content and Insulin Resistance: Evidence for a Paradox in Endurance-Trained Athletes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 86(12), 5755-5761.
- Goodpaster, B.H., Kelley, D.E., Wing, R.R., Meier, A. i Thaete, F.L. (1999). Effect of Weight Loss on Regional Fat Distribution and Insulin Sensitivity in Obesity. *Diabetes*, 48, 839-847.
- Harjaček, M. (2012). Neinvazivna slikovna dijagnostika kroničnih upalnih bolesti mišića. *Reumatizam*, 59(2), 39-43.
- Hamrick, M.W., McGee-Lawrence, M.E. i Frechette, D.M. (2016). Fatty infiltration of skeletal muscle: mechanisms and comparisons with bone marrow adiposity. *Front Endocrinology*, 7, 69. <https://doi.org/10.3389/fendo.2016.00069>
- Harfmann, B.D., Schroder, E.A. i Esser, K.A. (2015). Circadian rhythms, the molecular clock, and skeletal muscle. *Journal of Biological Rhythms*, 30, 84-94. <https://doi.org/10.1177/0748730414561638>
- Haselton, M. (2021). *Skrivena inteligencija hormona*. Zagreb: Znanje d.o.o.

- Hauser, G., Benjak Horvat, I., Zelić, M., Prusac, M. i Velkovski Škopić, O. (2020). Probiotici i prebiotici – koncept. *Medicus*, 29(1), 95-114.
- Hausman, G.J., Basu, U., Du, M., Fernyhough-Culver, M. i Dodson, M.V. (2014). Intermuscular and intramuscular adipose tissues: Bad vs. Good adipose tissues. *Adipocyte*, 3(4), 242-255. <https://doi.org/10.4161/adip.28546>
- Henin, G., Loumaye, A., Leclercq, I.A. i Lanthier, N. (2024). Myosteatosis: Diagnosis, pathophysiology and consequences in metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease. *JHEP Reports*, 6(2), 100963. <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2023.100963>
- Ikenaga, M., Yamada, Y., Kose, Y., Morimura, K., Higaki, Y., Kiyonaga, A. i Tanaka, H. (2016). Effects of a 12-week, short-interval, intermittent, low-intensity, slow-jogging program on skeletal muscle, fat infiltration and fitness in older adults: randomized controlled trial. *European Journal of Applied Physiology*, 117, 7-15. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3493-9>
- Jaiswal, N., Maurya, C.K., Arha, D., Avisetti, D.R., Prathapan, A., Raj, P.S., Raghu, K.G., Kalivendi, S.V. i Tamrakar, A.K. (2015). Fructose induces mitochondrial dysfunction and triggers apoptosis in skeletal muscle cells by provoking oxidative stress. *Apoptosis*, 20, 930-947. <https://doi.org/10.1007/s10495-015-1128-y>
- Jones, H., Sprung, V.S., Pugh, C.J.A., Daousi, C., Irwin, A., Aziz, N., Adams, V.L., Thomas, E.L., Bell, J.D., Kemp, G.J. i Cuthbertson, D.J. (2012). Polycystic Ovary Syndrome with Hyperandrogenism Is Characterized by an Increased Risk of Hepatic Steatosis Compared to Nonhyperandrogenic PCOS Phenotypes and Healthy Controls, Independent of Obesity and Insulin Resistance. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 97(10), 3709-3716.
- Kenney, W.L., Wilmore, J.H. i Costill, D.L. (2012). *Physiology of sport and exercise* (fifth edition). Human Kinetics.
- Khoja, S.S., Moore, C.G., Goodpaster, B.H., Delitto, A. i Piva, S.R. (2017). Skeletal muscle fat and its association with physical function in rheumatoid arthritis. *Arthritis Care and research*, 70(3), 333-342. <https://doi.org/10.1002/acr.23278>
- Kovačić, N. i Lukić, I.K. (2006). *Anatomija i fiziologija*. Zagreb: Medicinska naklada.
- Koves, T.R., Ussher, J.R., Noland, R.C., Slentz, D., Mosedale, M., Ilkayeva, O., Bain, J., Stevens, R., Dyck, J.R.B., Newgard, C.B., Lopaschuk, G.D. i Muoio, D.M. (2008). Mitochondrial overload and incomplete fatty acid oxidation contribute to skeletal muscle insulin resistance. *Cell Metabolism*, 7(1), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2007.10.013>



- Langin, D. (2006). Adipose tissue lipolysis as a metabolic pathway to define pharmacological strategies against obesity and the metabolic syndrome. *Pharmacological Research*, 53(6), 482-491. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2006.03.009>
- Lanthier, N. i Leclercq, I.A. (2014). Adipose tissues as endocrine target organs. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 28(4), 545-558. <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2014.07.002>
- Lord, J., Thomas, R., Fox, B., Acharya, U. i Wilkin, T. (2006). The central issue? Visceral fat mass is a good marker of insulin resistance and metabolic disturbance in women with polycystic ovary syndrome. *An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 113(10), 1203–1209. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2006.00973.x>.
- Luo, L. i Liu, M. (2016). Adipose tissue in control of metabolism. *Journal of Endocrinology*, 231(3), 77-99. <https://doi.org/10.1530/JOE-16-0211>
- Manini, T.M., Clark, B.C., Nalls, M.A., Goodpaster, B.H., Ploutz-Snyder, L.L. i Harris, T.B. (2007). Reduced physical activity increases intermuscular adipose tissue in healthy young adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85(2), 377– 384.
- Marcus, R.L., Addison, O., Kidde, J.P., Dibble, L.E. i Lastayo, P.C. (2010). Skeletal muscle fat infiltration: impact of age, inactivity, and exercise. *The Journal of Nutrition*, 14(5).
- Matković, B. i Ružić, L. (2009). *Fiziologija sporta i vježbanja*. Odjel za izobrazbu trenera Društvenog veleučilišta u Zagrebu. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Meneses, M.J., Sousa-Lima, I., Jarak, I., Raposo, J.F., Alves, M.G. i Macedo, M.P. (2022). Distinct impacts of fat and fructose on the liver muscle, and adipose tissue metabolome: An integrative view. *Frontiers Endocrinology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.898471>
- Milanović, D., Šalaj, S., Jukić, I. i Gregov, C. (2013). *Teorija treninga: Kineziologija sporta*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Miljković, I., Cauley, J.A., Petit, M.A., Ensrud, K.E., Strotmeyer, E., Sheu, Y., Gordon, C.L., Goodpaster, B.H., Bunker, C.H., Patrick, A.L., Wheeler, V.W., Kuller, L.H., Faulkner, K.A. i Zmuda, J.M. (2009). Greater adipose tissue infiltration in skeletal muscle among older men of african ancestry. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 94(8), 2735-2742. <https://doi.org/10.1210/jc.2008-2541>
- Mišigoj-Duraković, M. i sur. (2018). *Tjelesno vježbanje i zdravlje*. Zagreb: Znanje d.o.o.

Mooren, F.C. i Volker, K. (2005). *Molecular and cellular exercise physiology*. Human Kinetics.

Muro, E., Atilla-Gokcumen, G.E. i Eggert, U.S. (2014). Lipids in cell biology: how can we understand them better? *Molecular Biology of the Cell*, 25(12), 1819-23.

<https://doi.org/10.1091/mbc.e13-09-0516>

Nachit, M., Horsmans, Y., Summers, R.M., Leclercq, I.A. i Pickhardt, P.J. (2023). AI-based CT body composition identifies myosteatorsis as key mortality predictor in asymptomatic adults. *Radiology*, 307(5). <https://doi.org/10.1148/radiol.222008>

Natsag, J., Erlandson, K.M., Sellmeyer, D.E., Haberlen, S.A., Margolick, J., Jacobson, L.P., Pelella Jr, F.J., Koletar, S.L., Lake, J.E., Post, W.S. i Brown, T.T. (2017). HIV infection is associated with increased fatty infiltration of the thigh muscle with aging independent of fat distribution. *Plos One*, 12(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169184>

Nikolić, M., Bajek, S., Šoić Vranić, T., Buneta, O., Starčević-Klasan, G. i Bobinac, D. (2015). Utjecaj starenja na skeletnu muskulaturu. *Medicina fluminensis*, 51(4), 518-525.

Otten, J., Stomby, A., Waling, M., Isaksson, A., Sonderstrom, I., Ryberg, M., Svensson, M., Hauksson, J. i Olsson, T. (2018). A heterogeneous response of liver and skeletal muscle fat to the combination of a Paleolithic diet and exercise in obese individuals with type 2 diabetes: A randomised controlled trial. *Diabetologia*, 61(7), 1548-1559.

<https://doi.org/10.1007/s00125-018-4618-y>

Pagano, A.F., Brioché, T., Arc-Chagnaud, C., Demangel, R., Chopard, A. i Py, G. (2017). Short-term disuse promotes fatty acid infiltration into skeletal muscle. *Journal of Cachexia*, 9(2), 335-347. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12259>

Paoli, A., Rubini, A., Volek, J.S. i Grimaldi, K.A. (2013). Beyond weight loss: a review of the therapeutic uses of very-low-carbohydrate (ketogenic) diets. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67, 789-796. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.116>

Pasco, J. (2022). Co-existence of hepatosteatosis and skeletal muscle fat infiltration. *Research Outreach*, 133.

Pedroso, M.G., Almeida, C.A., Aily, J.B., Noronha, M. i Mattiello, S.M. (2019). Fatty infiltration in the thigh muscles in knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Rheumatology International*, 39, 627-635. <https://doi.org/10.1007/s00296-019-04271-2>

Peterson, M.D., Sen, A. i Gordon, P.M. (2011). Influence of Resistance Exercise on Lean Body Mass in Aging Adults: A Meta-Analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(2), 249-258. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181eb6265

Porr J. (2012). Clinical Sports Nutrition 4<sup>th</sup> Ed. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 56(2), 159.

Rakovac, M., Heimer, S. (2007). Što je kvaliteta života, kako je mjeriti i kako je tjelesna aktivnost može unaprijediti. U: Andrijašević, M. (ured.) (2007). *Sport za sve u funkciji unapređenja kvalitete života* (str. 45-56). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Ramirez-Velez, R., Ezzatvar, Y., Izquierdo, M. i Garcia-Hermoso, A. (2021). Effect of exercise on myosteatosis in adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 130, 245-255. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00738.2020>

Ryan, A.S., Buscemi, A. i Ivey, F.M. (2011). Atrophy and intramuscular fat in specific muscles of the thigh: associated weakness and hyperinsulinemia in stroke survivors. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 25(9). <https://doi.org/10.1177/1545968311408920>

Scheffer, D.L. i Latini, A. (2020). Exercise-induces immune system response: Anti-inflammatory status on peripheral and central organs. *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis*, 1866(10). <https://doi.org/10.1016%2Fj.bbadis.2020.165823>

Schleip, R., et al. (2012). *Fascia: The Tensional Network of the Human Body*. Churchill Livingstone.

Schwarz, J-M., Noworolski, S.M., Wen, M.J., Dyachenko, A., Prior, J.L., Weinberg, M.E., Herraiz, L.A., Tai, V.W., Bergeron, N., Bersot, T.P., Rao, M.N., Schambelan, M. i Mulligan, K. (2015). Effect of a High-Fructose Weight-Maintaining Diet on Lipogenesis and Liver Fat. *The Journal of Clinical Endocrinol & Metabolism*, 100(6), 2434-2442. DOI: [10.1210/jc.2014-3678](https://doi.org/10.1210/jc.2014-3678)

Sciorati, C., Clementi, E., Manfredi, A.A. i Rovere-Querini, P. (2015). Fat deposition and accumulation in the damaged and inflamed skeletal muscle: cellular and molecular players. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72, 2135-2156. <https://doi.org/10.1007/s00035-015-0500-0>

Smith, J.A.B, Murach, K., Dyar, K.A. i Zierath, J.R. (2023). Exercise metabolism and adaptation in skeletal muscle. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 24(9). <http://dx.doi.org/10.1038/s41580-023-00606-x>

- Sparks, L.M., Goodpaster, B.H. i Bergman, B.C. (2021). The metabolic significance of intermuscular adipose tissue: Is IMAT a friend or a foe to metabolic health? *Diabetes*, 70(11), 2457-2467. <https://doi.org/10.2337/dbi19-0006>
- Standring, S. (2015). *Grays anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. Medicine*. DOI:[10.5860/choice.43-1300](https://doi.org/10.5860/choice.43-1300)
- Stecco, C., et al. (2019). *Fascial Manipulation for Musculoskeletal Pain*. Piccin Nuova Libraria.
- Stout, M.B., Justice, J.N., Nicklas, B.J. i Kirkland, J.L. (2017). Physiological aging: Links among adipose tissue dysfunction, diabetes and frailty. *Physiology*, 32(1), 9-19. <https://doi.org/10.1152/physiol.00012.2016>
- Šilić, N. i Ostojić, Lj. (2007). Tjelesno vježbanje i građa tijela kod starijih osoba. U: Andrijašević, M. (ured.) (2007). *Sport za sve u funkciji unapređenja kvalitete života* (str. 185-193). Mostar: Fakultet prirodoslovno-matematičkih znanosti i Medicinski fakultet Sveučilišta u Mostaru.
- Šmuljić, Z., Gajdoš Kljusurić, J., Katić, M. i suradnici? (2016). Knowledge about hydration and health and fluid intake habits according to level of education. *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 11, 112-121.
- Tan, C.Y. i Vidal-Puig, A. (2008). Adipose tissue expandability: the metabolic problems of obesity may arise from the inability to become more obese. *Biochemical Society Transactions*, 36(5), 935-940. <https://doi.org/10.1042/BST0360935>
- Unger, R.H. (2003). Minireview: weapons of lean body mass destruction: the role of ectopic lipid in the metabolic syndrome. *Endocrinology*, 144(12), 5159-65. <https://doi.org/10.1210/en.2003-0870>
- Wang, L., Valencak, T.G. i Shan, T. (2024). Fat infiltration in skeletal muscle: Influential triggers and regulatory mechanism. *iScience*, 27(3). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109221>
- Waters D.L., Aguirre L., Gurney B., Sinacore D.R., Fowler K., Gregori G., Armamento-Villareal R., Qualls C. i Villareal D.T. (2022). Effect of Aerobic or Resistance Exercise, or Both, on Intermuscular and Visceral Fat and Physical and Metabolic Function in Older Adults With Obesity While Dieting. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 77(1), 131-139.
- Wikimedia Commons [slika]. (2016). *Atrophy*. OpenStax Anatomy and Physiology. Preuzeto 28.07.2024. sa <https://cnx.org/contents/FPtK1z mh@8.25:fE13C8Ot@10/Preface>

Wilcock, I.M., Whatman, C., Harris, N., Keogh, J.W. (2009). Vibration training: could it enhance the strength, power, or speed of athletes? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 593-603.

Witard, O.C., Bannock, L. i Tipton, K.D. (2021). Making sense of muscle protein synthesis: A focus on muscle growth during resistance training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32(1), 49-61. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2021-0139>

World Health Organization. (2020, April 29). Healthy diet. Preuzeto 7. juna 2024, sa <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Wu, T., Wang, G., Xiong, Z., Xia, Y., Song, X., Zhang, H., Wu, Y. i Ai, L. (2022). Probiotics interact with lipids metabolism and affect gut health. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.917043>

Zacharewicz, E., Hesselink, M.K.C. i Schrauwen, P. (2018). Exercise counteracts lipotoxicity by improving lipid turnover and lipid droplet quality. *Journal of Internal Medicine*, 284(5), 505-518. <https://doi.org/10.1111/joim.12729>