

# Telesna dejavnost, mišica in klinična prehrana

## Physical activity, muscle, and clinical nutrition

Rotovnik Kozjek Nada<sup>1,2</sup>, Tonin Gašper<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Onkološki inštitut Ljubljana, Oddelek za klinično prehrano, Zaloška cesta 2, 1000 Ljubljana

Korespondenca: izr. prof. dr. Nada Rotovnik Kozjek, dr. med.

E-mail: nkozjek@onko-i.si

Poslano/Received: 4.11.2025

Sprejeto/Accepted: 8.11.2025

doi: 10.25670/oi2025-0120n

### IZVLEČEK

Telesna dejavnost in prehrana sta neločljivo povezani pri vzdrževanju mišičnega in splošnega zdravja, presnovne odpornosti ter preprečevanju s staranjem pogojene izgube mišičnine. Vadbica predstavlja močan fiziološki stresni dejavnik, ki akutno sproži presnovne, endokrine in imunske odzive, kar predstavlja velik izziv za homeostazo. Za lažje obvladovanje tega stresa se ob redni vadbi v telesu pojavijo številne presnovne prilagoditve, ki ga poskušajo zmanjšati. Presnovne spremembe, ki ji sproži telesna vadba, vključujejo povečano energijsko potrebo, prilagoditev uporabe presnovnih goriv in hormonska nihanja. Redna telesna vadba vodi do strukturnih in funkcionalnih prilagoditev na mišični, srčno-žilni in celotni telesni ravni. Pravilne prehranske strategije, usklajene z vrsto, intenzivnostjo in trajanjem dejavnosti, zagotavljajo potrebne substrate za delo, optimizirajo regeneracijo, spodbujajo sintezo mišičnih beljakovin in krepijo imunski odziv. To ne izboljšuje le športne zmogljivosti, temveč tudi pomembno prispeva k zdravstvenim učinkom vadbe, med katerimi so preprečevanje in obvladovanje številnih kroničnih bolezni, vključno z nekaterimi oblikami raka. Ker so te zdravstvene koristi bistvene tudi pri zdravljenju raka, pridobiva poznavanje načel in uporabe klinične športne prehrane velik pomen v onkologiji. Integracija znanj s področja vadbene fiziologije, presnovne podpore in prehranske terapije omogoča učinkovitejše ohranjanje mišične mase, zmanjševanje presnovnih zapletov ter izboljšanje odziva na zdravljenje. Uveljavljanje pristopa klinične športne prehrane v onkološki praksi tako predstavlja pomemben korak k celostnemu zdravljenju bolnika, ki temelji na znanstvenih dokazih in interdisciplinarnem sodelovanju.

**Ključne besede:** športna klinična prehrana, redna vadba, fiziologija športa, onkologija

### ABSTRACT

Physical activity and nutrition are inextricably linked in maintaining muscle and overall health, metabolic resilience, and preventing age-related muscle loss. Exercise is a powerful physiological stressor that acutely triggers metabolic, endocrine, and immune responses, posing a major challenge to homeostasis. To better manage this stress, regular exercise induces numerous metabolic adaptations in the body that attempt to reduce it. Metabolic changes triggered by physical exercise include increased energy requirements, adaptation of metabolic fuel use, and hormonal fluctuations. Regular physical exercise leads to structural and functional adaptations at the muscular, cardiovascular, and whole-body levels. Proper nutritional strategies, tailored to the type, intensity, and duration of activity, provide the necessary substrates for work, optimize recovery, promote muscle protein synthesis, and strengthen the immune response. This not only improves athletic performance, but also contributes significantly to the health benefits of exercise, including the prevention and management of many chronic diseases, including some forms of cancer. Since these health benefits are also essential in cancer treatment, knowledge of the principles and application of clinical sports nutrition is becoming increasingly important in oncology. The integration of knowledge in the fields of exercise physiology, metabolic support, and nutritional therapy enables more effective preservation of muscle mass, reduction of metabolic complications, and improvement of response to treatment. The implementation of a clinical sports nutrition approach in oncology practice thus represents an important step towards comprehensive patient care based on scientific evidence and interdisciplinary collaboration.

**Keywords:** clinical sports nutrition, regular exercise, sports physiology, oncology

## 1. UVOD

V prispevku je povzet prvi učni modul poglavja 37. Klinična športna prehrana (modul 37.1 Telesna dejavnost, mišica in klinična prehrana), ki je del globalnega učnega kurikulumata vseživljenjsko učenje (*angl. Life Long Learning, LLL*) Evropskega združenja za klinično prehrano in presnovo (*angl. The European Society for Clinical Nutrition and Metabolism, ESPEN*). Namenjen je razumevanju povezave prehrane in zdravstvenih koristi telesne dejavnosti in mišične mase, vključno z njuno vlogo pri spodbujanju presnovnega zdravja, preprečevanju kroničnih bolezni ter optimizaciji telesne in športne zmogljivosti (1).

Telesna dejavnost je temeljna za ohranjanje telesnega in duševnega zdravja, preprečevanje kroničnih bolezni ter izboljšanje kakovosti življenja in dolgoživosti (2–5).

Raziskave dosledno potrjujejo, da redna pristočasna telesna vadba prinaša izrazite zdravstvene koristi pri moških in ženskah, medtem ko pretirana poklicna obremenitev s telesno dejavnostjo takšnih učinkov nima (6). Redna telesna vadba tudi dokazano zmanjšuje tveganje za bolezni srca in ožilja (reden tek npr. lahko zmanjša umrljivost zaradi srčno-žilnih bolezni za približno 30 %) (7,8). Nasprotno pa nedejavnost in sedeči način življenja predstavlja resen javnozdravstveni problem, povezan s povečano umrljivostjo, izgubo mišične mase, zmanjšano samostojnostjo starejših in večjimi ekonomskimi stroški (9–12). Svetovna zdravstvena organizacija (*angl. The World Health Organization, WHO*) in druge institucije poudarjajo pomen redne telesne dejavnosti v vseh starostnih skupinah, pri čemer priporočajo tudi vključevanje vaj za moč, ravnotežje in gibljivost, zlasti za starejše (3,13–16). Prav tako poudarjajo sorazmerno povezavo med odmerkom telesne dejavnosti in zdravstvenimi izidi (16). Dokazi kažejo, da je dolgotrajno sedenje povezano s povečano smrtnostjo, tveganjem za bolezni srca in raka ter celo z manjšo verjetnostjo preživetja pri bolnikih z rakom (3,14).

Telesna dejavnost blaži številne negativne učinke biološkega staranja in ugodno vpliva na hormonski, imunski in presnovni sistem (17). Posamezniki, ki so telesno dejavni vse življenje, ohranjajo mlajšo endokrino starost in boljšo presnovno učinkovitost. Zmerna do visoka raven telesne dejavnosti zmanjšuje tveganje za splošno smrtnost za približno 21 % in za srčno-žilno smrtnost za 24 %, tudi pri osebah z debelostjo (15). Izsledki poudarjajo izrazit zaščitni učinek telesne dejavnosti pri močno ogroženi populaciji. Potrjujejo tudi osrednjo vlogo telesne vadbe kot na dokazih osnovnega ukrepa za izboljšanje zdravstvenih izidov in zmanjšanje umrljivosti pri posameznikih z debelostjo, ki predstavlja dejavnik tveganja tudi v onkologiji (18). Številni znanstveni podatki kažejo, da redna telesna dejavnost prispeva k preprečevanju raka, izboljššanemu presnovnemu uravnavanju in krepitvi imunskih funkcij (11,12,18,19).

Redna telesna dejavnost odpira nove možnosti za celostno zdravljenje raka. Metanaliza Ungvarja in sod. je prikazala, da je bila telesna dejavnost po postavitvi diagnoze povezana z izrazito nižjo smrtnostjo zaradi raka pri nekaterih vrstah raka (20). Največjo korist so opazili pri bolnikih z rakom dojke (izboljšanje preživetja za 31 %), pri bolnikih z rakom prostate (izboljšanje preživetja za 26 %), bolnikih z rakom pljuč (24 % nižje tveganje za smrt zaradi raka) in bolnikih z rakom debelega črevesa (29 % nižje tveganje za smrt zaradi raka). Izsledki zagotavljajo trdne dokaze o koristi telesne dejavnosti za izboljšanje preživetja po postavljeni diagnozi raka, zlasti pri navedenih rakastih boleznih. Rezultati poudarjajo potencial vključevanja strukturiranih ukrepov s področja telesne vadbe v onkološko obravnavo za izboljšanje dolgoročnih izidov zdravljenja bolnikov z rakom. Te koristi posredujejo zapleteni biološki odzivi na telesno dejavnost, ki so tesno povezani s presnovnimi procesi, podprtimi z ustrežno

prehrano. Pri tem je treba še posebej poudariti pomen skeletne mišične mase, ki deluje kot osrednji regulator teh mehanizmov, saj uravnava presnovo energije, homeostazo glukoze in izločanje bioaktivnih molekul, kot so miokini in drugi vadbokini (tudi ekserkini), ki prispevajo k izboljšanju sistemskega zdravja (21,22).

Poleg vpliva na zdravje redna in načrtovana telesna dejavnost izboljšuje tudi telesno zmogljivost, zlasti pri tistih, ki načrtno vadijo (23). Z izboljšanjem fiziološke odpornosti, presnovne učinkovitosti, regeneracije in vzdržljivosti vadba omogoča doseganje vrhunske zmogljivosti ob hkratnem ohranjanju dolgoročnega zdravja, čeprav so poškodbe, povezane z intenzivnim treningom in tekmovanji, lahko dejavnik tveganja v poznejšem življenju (24).

Za razvoj integriranih strategij za izboljšanje zdravja in optimizacijo telesne zmogljivosti je nujno celovito razumevanje terminologije telesne dejavnosti, fiziologije in endokrinologije telesne vadbe ter osrednje vloge mišične mase (25–27). Strategije, ki združujejo vadbo in prehrano, so ključne za optimizacijo zdravstvenih izidov in doseganje največje zmogljivosti na vseh ravneh telesne dejavnosti (28–30). Spodbujanje telesne dejavnosti bi morala biti prednostna naloga vseh zdravstvenih strokovnjakov, tudi v onkologiji (31,32).

## 2. TERMINOLOGIJA

Jasno razumevanje temeljne terminologije telesne dejavnosti in vadbe je ključno za oblikovanje učinkovitih strategij za zdravje in zmogljivost.

### 2.1. Telesna dejavnost, vadba, šport

Telesna dejavnost (*angl. physical activity*) se nanaša na vsako gibanje telesa, ki nastane zaradi krčenja skeletnih mišic (25). Vključuje vse oblike gibanja, tudi tiste v prostem času, npr. delo v okviru službenih obveznosti in gospodinjstskih opravil (13,15). Kot je bilo poudarjeno zgoraj in v nasprotju z zgodnjimi raziskavami poklicne telesne dejavnosti, ki so se osredotočale na bolezni srca, znanstveni podatki kažejo, da so za korist za zdravje ključne dejavnosti v prostem času.

Telesna dejavnost ima ključno vlogo pri ohranjanju splošnega zdravja, saj vpliva na energijsko ravnovesje in presnovno zdravje, kar zmanjšuje tveganje za kronične bolezni, kot so srčno-žilne bolezni, sladkorna bolezen in debelost (25,26). Tako srčno- kot visoko-intenzivna telesna dejavnost izboljšujeta zdravje. Med priljubljene oblike telesne dejavnosti sodijo hoja, kolesarjenje, šport, aktivna rekreacija in igra. Te dejavnosti so primerne za vse ravni populacije in jih lahko za lastno zadovoljstvo izvaja vsak. Kot je omenjeno v uvodu, telesna dejavnost koristi zdravju in dobremu počutju; nasprotno pa telesna nedejavnost povečuje tveganje za kronične nenalezljive bolezni (KNB) in druge neugodne zdravstvene izide. Skupaj telesna nedejavnost in sedeči način življenja prispevata k porastu KNB in predstavljata breme za zdravstvene sisteme (33,34).

Vadbo (*angl. exercise*) lahko opredelimo kot telesno dejavnost, ki je načrtovana, strukturirana, ponavljajoča se in usmerjena v izboljšanje ali ohranjanje telesne zmogljivosti in zdravja (25). Značilnost takšne oblike telesne dejavnosti je ustvarjanje sile in moči s hoteno, usklajeno aktivacijo specifičnih skeletnih mišic (35). Kljub temu pa hotena vadba ni le usklajeno zaporedje mišičnih kontrakcij; celostno načrtovana vadba povzroči raznolike dodatne fiziološke odzive, ki so ključni za izboljšanje telesne in mišične zmogljivosti ter razvoj gibalnih spretnosti.

Glavni cilj vadbe je izboljšanje telesnega zdravja in funkcionalne zmogljivosti, uporablja pa se lahko tudi za rehabilitacijo ali doseganje osebnih ciljev za izboljšanje telesne pripravljenosti. Osredotoča se na specifične elemente telesne zmogljivosti, vključno s srčno-žilno vzdržljivostjo, mišično močjo, gibljivostjo in ravnotežjem. Redna vadba je povezana z znatnimi fiziološkimi prilagoditvami, kot so izboljšana srčno-dihalna funkcija, večja mišična moč in zmanjšanje vnetja, kar dodatno prispeva k zdravstvenim izidom, kot so zmanjševanje obolenosti in smrtnosti (34). Narava fiziološke prilagoditve je specifična za vrsto vadbe, obsežnost prilagoditev pa je sorazmerna s količino, intenzivnostjo in obsegom treningov.

Šport lahko opredelimo kot telesno dejavnost, ki vključuje strukturirane in tekmovalne aktivnosti, običajno urejene s pravili (3). Obseg pojma šport je ožji od pojmov telesne dejavnosti in vadbe, saj se osredotoča na strukturirano tekmovalno dejavnost, razvoj spretnosti in doseganje ciljev (tako individualno kot ekipno) ter pogosto poleg telesne pripravljenosti vključuje tudi zabavo ali kulturne vidike. Ukvarjanje s športom združuje koristi vadbe z dodatnimi psihološkimi in socialnimi prednostmi, kot so timsko delo, strateško razmišljanje in zmanjševanje stresa. Ne glede na naštetost pa lahko visoka intenzivnost in tekmovalnost športa predstavlja tveganje (npr. preobremenitvene poškodbe in psihološki stres, zlasti na vrhunskih ravneh) (36).

V tabeli 1 so prikazane ključne razlike med pojmi telesna dejavnost, vadba in šport.

Okvir 1. Klinični napotki za prakso (9,15,27,37–40).

Praktični poudarki:

- Jasno razumevanje terminologije telesne dejavnosti, vadbe in športa je bistveno za zdravstvene delavce, da lahko učinkovito svetujejo pacientom glede strategij za izboljšanje ali prilagoditev ravni telesne dejavnosti ali vadbe.
- Telesna nedejavnost je pomemben, a spremenljiv dejavnik tveganja za kronične bolezni, vključno s srčno-žilnimi boleznimi, sladkorno boleznijo tipa 2, debelostjo in nekaterimi vrstami raka. Zato je ključnega pomena, da ji namenimo pozornost tako v javnem zdravju kot klinični praksi.
- Koristi telesne dejavnosti in vadbe so dobro dokazane. Raziskave kažejo sorazmerno povezavo med telesno dejavnostjo in zdravjem, kar pomeni, da povečanje ravni telesne dejavnosti in telesne zmogljivosti vodi do nadaljnega izboljšanja zdravja.
- Obravnava telesne nedejavnosti zahteva jasno, na dokazih temelječo komunikacijo, ki pacientom pomaga razumeti zdravstvene posledice neaktivnosti in praktične možnosti ukrepanja.
- Intervencije lahko vključujejo strukturirane programe vadbe ali spodbude za povečanje vsakodnevnega gibanja, prilagojene posameznikovim potrebam.
- Dokazi kažejo, da se klinično pomembne zdravstvene koristi lahko dosežejo že s tem, da posameznik postane bolj telesno dejaven.
- Razumevanje razlik med telesno dejavnostjo, vadbo in športom omogoča bolj individualiziran pristop k reševanju prehranskih in zdravstvenih izzivov.

Tabela 1: Ključne razlike med telesno dejavnostjo, vadbo in športom. Prirejeno po ((25,34,37)).<sup>1</sup>

| Vidik                 | Telesna dejavnost                                                                                     | Vadba                                                        | Šport                                                              |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Opredeleltev          | Splošno gibanje, ki ga povzročajo skeletne mišice; nenamerno ali nenačrtovano                         | Načrtovana in ciljno usmerjena dejavnost                     | Organizirana dejavnost s tekmovalnim značajem                      |
| Namen                 | Namen običajno ni neposredno povezan z zdravjem; ohranjanje funkcionalnega zdravja je lahko nenamerno | Izboljšanje telesne pripravljenosti, zdravja, rehabilitacija | Razvoj spretnosti, tekmovalno, zabava                              |
| Cilj                  | Splošno gibanje                                                                                       | Izboljšanje telesne pripravljenosti ali zdravja              | Tekmovalno, dosežek ali zabava                                     |
| Struktura             | Nestrukturirana                                                                                       | Strukturirana in ponavljajoča se                             | Strukturirana z uradnimi pravili                                   |
| Vpliv na zdravje      | Splošno izboljšanje energijskega ravnovesja                                                           | Ciljno usmerjene fiziološke prilagoditve                     | Združuje telesno pripravljenost s socialnimi in duševnimi koristmi |
| Tekmovalna komponenta | Ni prisotna                                                                                           | Lahko prisotna                                               | Ključni element                                                    |
| Primeri               | Hoja, gospodinjstva opravila, vožnja s kolesom v službo                                               | Redni tek, kolesarjenje, plavanje                            | Nogomet, košarka, tenis                                            |

<sup>1</sup>V nadaljevanju besedila se izraza telesna dejavnost in vadba uporabljata izmenično, predvsem za označevanje redne telesne dejavnosti ali vadbe, kot je opredeljeno v citirani literaturi, razen kadar ni posebej drugače navedeno (5,13).

## 2.2. Vrste telesne dejavnosti

Telesno dejavnost na splošno delimo na (13,33,41):

1. Aerobno ali vzdržljivostno telesno dejavnost: dejavnosti, ki povečajo srčni utrip in izboljšajo srčno-žilno vzdržljivost, npr. hoja, tek ali plavanje.
2. Vadbo za krepitev mišic (vadba proti upor): vaje, ki povečajo mišično jakost, moč in vzdržljivost, npr. vadba z utežmi ali sklece.
3. Vadba za krepitev kosti: gibi, ki povzročajo obremenitve kosti, s čimer spodbujajo njihovo gostoto in zdravje, npr. poskoki ali hitra hoja.
4. Vadba za gibljivost in ravnotežje: vaje, ki izboljšujejo obseg gibanja in stabilnost, npr. joga ali tai chi.

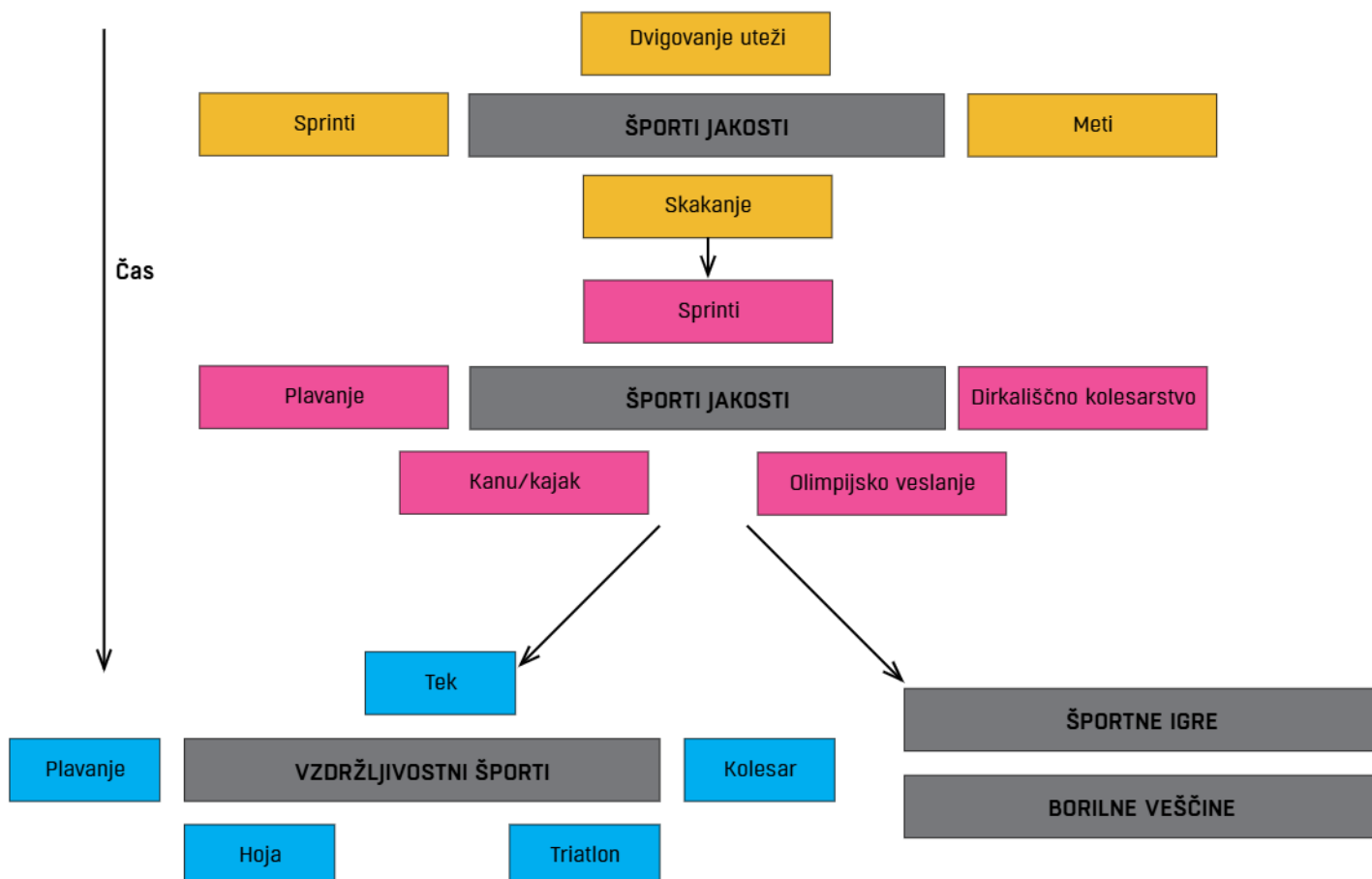
Za ločevanje vzdržljivostne vadbe od vadbe moči in hitrosti v kliničnem kontekstu pogosto uporabljamo dogovorno mejo 8–10 min. Ta delitev pomaga pri razvrščanju telesnih in prehranskih dejavnosti glede na fiziološke in presnovne zahteve za oblikovanje učinkovitih programov vadbe (slika 1) (42,43). V številnih športih so elementi moči in eksplozivnosti prepleteni z vzdržljivostnimi elementi telesne dejavnosti (npr. nogomet, tenis, judo, boks, kjer so ciklični gibi prekinjeni z acikličnimi, kot so skoki, meti in udarci).

Vzdržljivostni športi običajno uporabljajo širok spekter ritmičnih, ponavljajočih se gibov (hoja, tek, kolesarjenje, plavanje, smučanje ipd.). Med dolgotrajno ritmično vadbo, kot sta tek ali kolesarjenje, je čas mišičnih kontrakcij kratek; s tem se poveča prekrvavitev mišic, spremembe krvnega tlaka pa so minimalne. Športi moči in hitrosti pa zahtevajo intenzivno vadbo, pri kateri mora mišica razviti veliko silo ali moč v krajšem času (35,42). Tipični primeri takih športov so tek na srednje proge, kolesarjenje na stezi, olimpijsko veslanje in večina plavalnih disciplin. Izometrična ali statična kontrakcija z visoko silo in kratkim trajanjem lahko začasno zmanjša pretok krvi v mišičnem tkivu ter omeji dostavo kisika mišicam, medtem ko obenem poveča krvni tlak (44). V zadnjem času je postal priljubljen tudi visokointenzivni intervalni trening (*angl. high-intensity interval training, HIIT*) kot časovno učinkovit način za doseganje številnih fizioloških koristi, ki jih sicer prinaša tradicionalni vzdržljivostni trening (43,45).

## 2.3. Model FITT (pogostost, intenzivnost, čas, vrsta, *angl. frequency, intensity, time, type*)

Z znanstvenega vidika model FITT ponuja strukturiran pristop k optimizaciji vadbenih programov v klinični praksi. Omogoča integracijo štirih elementov vadbe v individualno prilagojene načrte vadbe, ki so usklajeni z zdravstvenim stanjem in prehranskimi strategijami za izboljšanje zmogljivosti, regeneracije in splošnega zdravja (tabela 2) (28).

Slika 1: Klasifikacija vrst športov.



- **F** – Pogostost določa, kako pogosto se vadba izvaja, kar vpliva na adaptacije srčno-žilnega, mišičnega in presnovnega sistema.
- **I** – Intenzivnost določa stopnjo napora, pri čemer višje ravni spodbujajo večje prilagoditve, a zahtevajo ustrezno regeneracijo.
- **T** – Čas označuje trajanje vadbene enote in skupni tedenski obseg vadbe, kar vpliva na energijsko porabo in presnovno učinkovitost.
- **T** – Vrsta vključuje izbiro specifičnih oblik vadbe (aerobna, anaerobna, vadba za moč, gibljivost ali ravnotežje), odvisno od ciljev posameznika.

Model FITT lahko predstavlja izhodišče za predpisovanje vadbe, saj omogoča prilagojene programe, ki upoštevajo posameznikove cilje, fiziološke potrebe in zdravstveno stanje. S sistematično uporabo tega načela lahko strokovnjaki v klinični praksi izvajajo na dokazih temelječe intervencije za vzdrževanje in izboljšanje telesne zmogljivosti ter spodbujanje dolgoročnega duševnega in telesnega zdravlja (15,25,28). Izhodišča za uporabo tega modela in cilji njegove uporabe so prikazani v tabeli 3. Prirejeno po (13,28,33,46–49).

Nekateri cilji celostne integracije modela FITT v kliničnem okolju:

1. **Kronične bolezni:** Model FITT se uporablja za oblikovanje individualiziranih vadbenih programov za bolnike s sladkorno boleznijo, arterijsko hipertenzijo, boleznimi srca in artritisom.
2. **Rehabilitacija po poškodbah:** Prilagojeni načrti pomagajo obnoviti funkcijo in moč ter preprečiti ponovne poškodbe.
3. **Duševno zdravje:** Vadbeni programi izboljšujejo razpoloženje, zmanjšujejo tesnobo in krepijo kognitivne funkcije.
4. **Predoperativna rehabilitacija:** Vadbeni programi, zasnovani po načelu FITT, pomagajo izboljšati telesno pripravljenost in funkcionalne sposobnosti pred operacijo, zmanjšujejo pooperativne zaplete, pospešujejo okrevanje in izboljšujejo izide pri pacientih po večjih kirurških posegih.
5. **Pediatrična in geriatrična oskrba:** Prilagoditve v okviru FITT upoštevajo starostne posebnosti in zagotavljajo varno ter učinkovito telesno dejavnost.
6. **Prehranske strategije:** Model FITT pomaga usklajevati vnos energije in hranil z zahtevami vadbe s prilagajanjem prehranskih načrtov.
7. **Trening za zmogljivost:** Model FITT se uporablja za optimizacijo športne zmogljivosti z natančnim uravnavanjem pogostosti, intenzivnosti, časa in vrste vadbe za doseganje specifičnih športnih ciljev, izboljšanje vzdržljivosti, krepitev moči in preprečevanje preobremenitve.

Tabela 2: Primeri klinične integracije individualiziranih vadbenih načrtov z zdravstvenim stanjem in prehranskimi strategijami. FITT – pogostost, Intenzivnost, čas, vrsta (angl. frequency, Intensity, time, type), 1RM – ena maksimalna ponovitev (angl. one-repetition maximum), OH – ogljikovi hidrati.

| Elementi FITT                                                                                                                                                     | Klinična uporaba                                                                                                                    | Klinična integracija s prehrano                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pogostost (angl. frequency)</b><br>Označuje, kako pogosto se telesna dejavnost ali vadba izvaja v določenem časovnem obdobju (npr. tedensko).                  | Promocija zdravja: pogosta vadba (npr. 3–5 vadb na teden) izboljšuje srčno-žilno zdravje in zmanjšuje tveganje za kronične bolezni. | Redna vadba zahteva prehransko strategijo, ki omogoča nadomeščanje energijskih zalog (glikogen) in urejeno osnovno prehrano.                                                       |
|                                                                                                                                                                   | Rehabilitacija: Prilagojena pogostost pospeši okrevanje.                                                                            |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                   | Optimizacija zmogljivosti: Športniki lahko vadijo večkrat dnevno z vmesnimi premori v obdobju največjih obremenitev.                |                                                                                                                                                                                    |
| <b>Intenzivnost (angl. intensity)</b><br>Označuje stopnjo napora, potrebno za izvedbo dejavnosti, pogosto izraženo kot delež posameznikove največje zmogljivosti. | Srčnožilna vadba: Zmerno- do visokointenzivna vadba izboljšuje srčno-žilno pripravljenost.                                          | Visokointenzivna vadba zahteva višji vnos OH in beljakovin.                                                                                                                        |
|                                                                                                                                                                   | Vadba moči: Določena glede na delež ene maksimalne ponovitve (npr. 60–80 % 1RM).                                                    |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                   | Obvladovanje kroničnih bolezni: Nizka intenzivnost zmanjšuje obremenitev, a vseeno spodbuja prilagoditve.                           |                                                                                                                                                                                    |
| <b>Čas (angl. time)</b><br>Trajanje posamezne vadbene enote ali čas, porabljen za določeno dejavnost.                                                             | Splošna priporočila: Odrasli naj bi tedensko izvajali 150–300 minut zmerno intenzivne aerobne dejavnosti.                           | Daljša vadba zahteva ustrezno hidracijo in uravnavanje elektrolitov (odvisno od izgub z znojenjem), medtem ko pri krajši, visokointenzivni vadbi koristi obrok pred vadbo.         |
|                                                                                                                                                                   | Kronične bolezni: Krajše vadbe (10–20 minut) so primerne za začetnike ali osebe z omejeno toleranco.                                |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                   | Vzdržljivostni športniki: Daljše vadbe (npr. dolgi teki) povečajo vzdržljivost.                                                     |                                                                                                                                                                                    |
| <b>Vrsta (angl. type)</b><br>Nanaša se na specifičen način vadbe (npr. aerobna, vadba z uporom, raztezanje, nevro-mišični trening).                               | Aerobna vadba: Izboljšuje srčno-žilno in presnovno zdravje.                                                                         | Prehranske strategije se razlikujejo; pri vadbi proti uporom npr. koristi časovno usklajenega vnosa beljakovin, medtem ko vzdržljivostni športi poudarjajo zadostno preskrbo z OH. |
|                                                                                                                                                                   | Vadba z uporom: Povečuje mišično maso, moč in gostoto kosti.                                                                        |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                   | Gibljivost in mobilnost: Izboljšuje obseg gibanja, zmanjšuje tveganje za poškodbe.                                                  |                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                   | Nevromišični trening: Obnavlja ravnotežje in koordinacijo pri rehabilitaciji.                                                       |                                                                                                                                                                                    |

Model FITT tako predstavlja temeljni orodje za individualizirano uporabo telesne vadbe v klinični praksi. Omogoča strukturiran in prilagodljiv okvir za načrtovanje in spremljanje vadbe, ne glede na ciljno populacijo.

Integracija modela FITT s prehranskimi strategijami omogoča doseganje optimalnega razmerja med zmogljivostjo, zdravjem in regeneracijo. Na znanstvenih dokazih temelječa uporaba tega modela izboljšuje izid intervencij tako v kliničnih okoljih kot pri športnem treningu.

### 3. OSNOVNI KONCEPTI FIZIOLOGIJE IN ENDOKRINOLOGIJE VADBE

Fiziologija vadbe proučuje akutne odzive organizma na posamezne vadbene obremenitve ter prilagoditve, ki nastanejo na ravni celotnega telesa in posameznih tkiv kot odziv na ponavljajoče se vadbene dražljaje (50). Endokrinologija vadbe pa raziskuje sporazumevanje med organi in tkivi, ki se aktivirajo med vadbo (26). Klasični pogled na signalizacijo pri vadbi je zgodovinsko gledano temeljil na vlogi avtonomnih živcev, ki sproščajo noradrenalin in s tem sprožijo izločanje kortizola ter kateholaminov (51). Ti hormoni so ključni pri uravnavanju presnove goriv glede na tip, trajanje in intenzivnost vadbe, obenem pa sprožajo fiziološke in vedenjske odzive, značilne za mehanizem »boj ali beg« (52–54). Med glavne hormonske posrednike sodijo noradrenalin, adrenalin, kortizol, rastni hormon, inzulin, inzulinu podobni rastni dejavnik in glukagon (26). Kasneje so raziskave pokazale, da vadba sproža tudi parakrino in avtokrino signalizacijo, kjer lokalno nastale molekule delujejo na bližnje celice in tkiva (55,56). V zadnjih letih so raziskave to razumevanje še razširile in prepoznale številne organsko specifične posrednike, imenovane vadbokini (*angl. exerkins*) (4,57). Ti predstavljajo skupino bioaktivnih molekul, ki se sproščajo iz mišic, organov in tkiv, njihova aktivnost pa je različna.

#### 3.1. Moč in fiziologija mišične kontrakcije

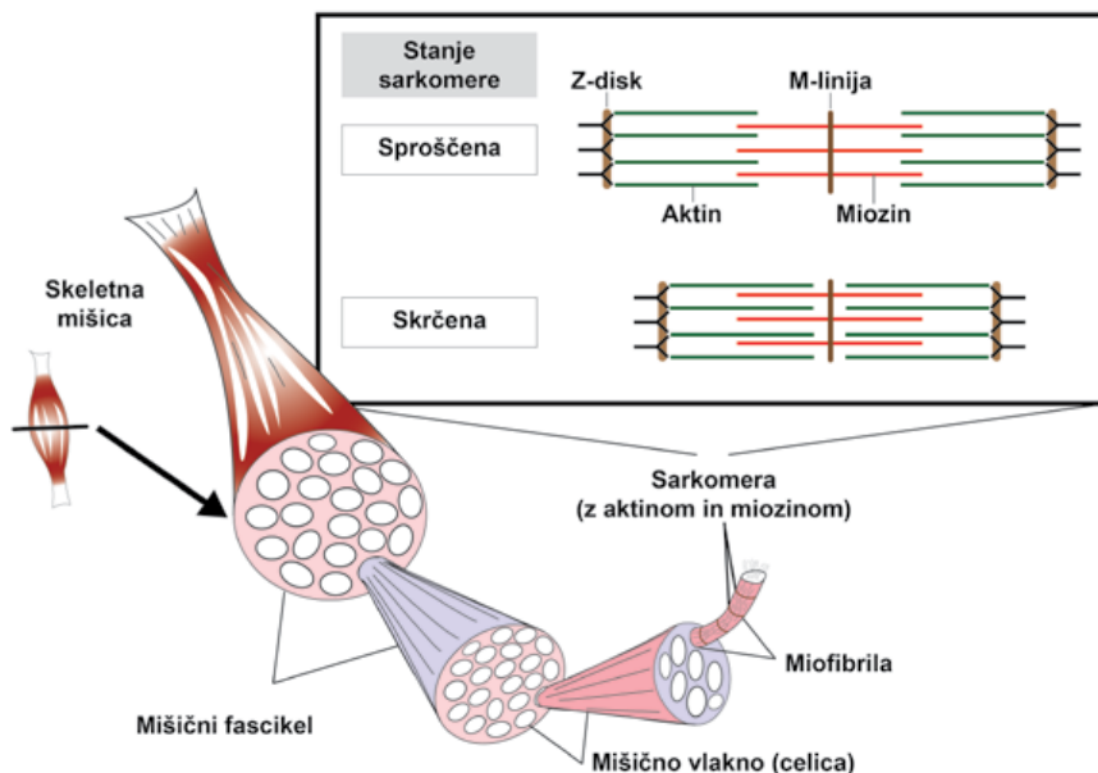
Mišične celice (vlakna) vsebujejo dva ključna kontraktilna proteina – aktin in miozin, katerih interakcija omogoča generiranje sile (slika 2) (58). Funkcionalna enota mišične celice je sarkomera. Število vzporedno razporejenih sarkomer določa največjo silo, število zaporedno razporejenih sarkomer pa največjo hitrost skrajšanja (59). Kratke in debele mišice so učinkovite pri proizvajanju sile, dolge in tanke pa pri hitrosti kontrakcije. Vsako mišično vlakno oživčuje en motorični nevron; skupina vlaken, ki jih oživčuje isti nevron, tvori motorično enoto (60). Pri submaksimalnih kontrakcijah se aktivira le toliko vlaken, kolikor jih je potrebnih za premagovanje določenega bremena, medtem ko so pri maksimalnem naporu aktivna vsa vlakna (61,62). Dobro trenirani posamezniki lahko dosežejo popolno aktivacijo mišic, pri neizurjenih pa običajno obstaja funkcionalna rezerva (63).

Moč je opredeljena kot količina opravljenega dela v enoti časa (35). Odraža sposobnost za razvoj velike sile v kratkem času ali z eksplozivnim gibanjem. Ključna elementa moči sta sila in hitrost (npr. skok ali start pri sprintu). Razvijanje eksplozivne mišične moči in sile je npr. bistveno za dvigovanje uteži, sprinte, metanje diska ali kopja in *angl. bodybuilding* (64).

Z vidika energijske presnove in prehrane je pomembno razumeti, da moč predstavlja hitrost, s katero se presnovna energija pretvarja v delo in/ali toploto. Krivulja sile in hitrosti skeletne mišice ima značilno obliko: največja sila se razvije pri izometrični kontrakciji (ko je hitrost krčenja enaka nič) in postopoma upada z naraščanjem hitrosti kontrakcije (slika 3) (65). Največjo moč mišica doseže pri približno tretjini največje hitrosti skrajšanja.

Običajno učinkovitost pretvorbe presnovne energije v mehansko delo med vadbo znaša nekaj več kot 20 %, kar pomeni, da se skoraj 80 % energije iz presnovnih goriv sprosti kot toplota.

Slika 2: Sestava mišice.



Optimalna moč zahteva učinkovito mišično koordinacijo in mehansko učinkovitost gibanja udov. To pomeni, da mora optimalna športna zmogljivost upoštevati mehanske (npr. razmerje prestav pri kolesarjenju) in biomehanske dejavnike (npr. dolžina koraka pri teku ali zamah pri plavanju). Najboljše razmerje prestav, dolžina koraka ali zamaha je tisto, kar omogoča mišicam optimalno kombinacijo hitrosti in sile, kar vodi do največje mehanske moči. Pri zapletenih motoričnih nalogah moč določajo lastnosti posameznih mišic in kit, mišična koordinacija, odnos med mišičnimi in zunanjimi silami ter aktivnost živčnega sistema (61). Ocena in meritev teh sposobnosti temelji na Mednarodnem sistemu enot (SI). Tako ločujemo silo (Newton), energijo, delo in toploto (Joule) ter navor (Newton-meter) in moč (Watt).

Vadba za povečanje največje mišične sile in eksplozivne moči temelji na vadbi proti upor. Slednja vključuje dvigovanje uteži ali povečanje upora pri gibanju. Vadbo moči in eksplozivnosti pogosto uporabljajo tudi vzdržljivostni športniki (66). Raziskave so pokazale, da poudarek na eksplozivnem tipu dvigovanja (npr. olimpijsko dvigovanje uteži) vodi do večjega napredka v moči in eksplozivnosti kot tradicionalno dvigovanje, predvsem zaradi živčno-mišične adaptacije (67,68). Zgodnje povečanje moči (v nekaj dneh ali tednih) zaradi treninga je rezultat sprememb v vzorcih mišične aktivacije, poznejše pa se pojavi zaradi povečanja mišične mase in sprememb v sestavi mišic (69).

### 3.2. Akutni odziv na vadbo

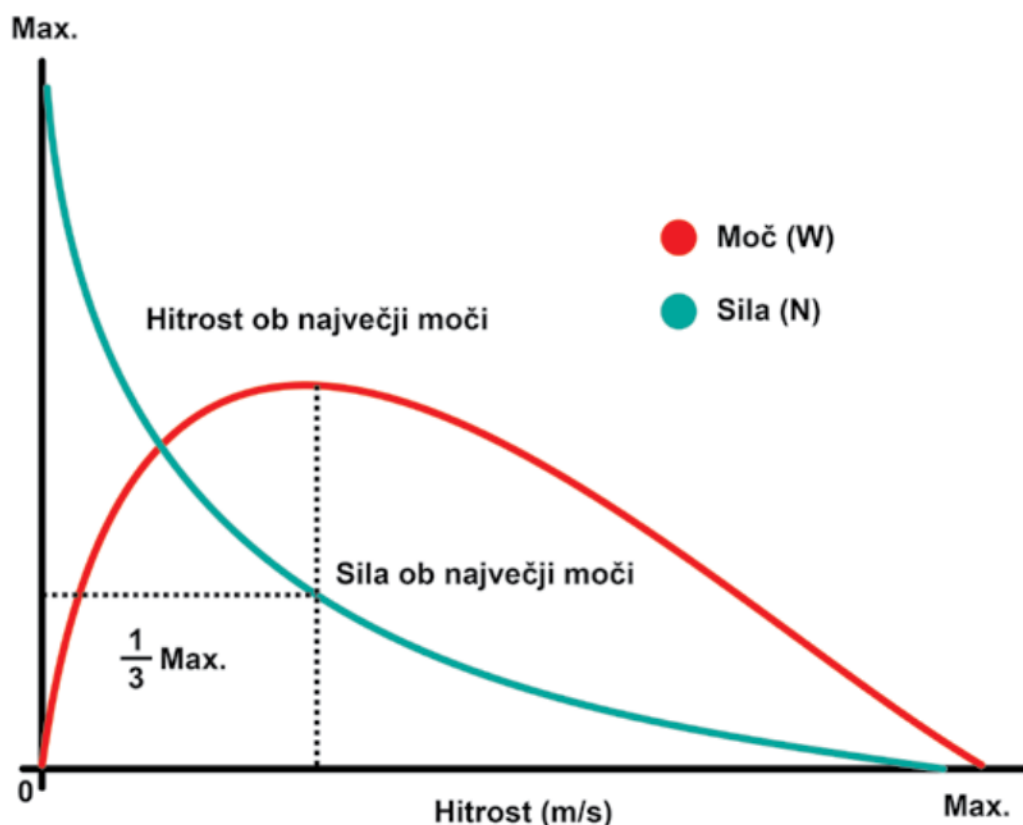
Akutna vadba predstavlja velik fiziološki stres, ki povzroči obsežne spremembe v številnih celicah, tkivih in organih. Fiziološki in presnovni odzivi na vadbo so podobni splošnim stresnim odzivom (54).

Akutni odzivi srca, žil in presnove so odvisni od številnih

dejavnikov: intenzivnosti, trajanja, tipa vadbe ter zdravstvenega in telesnega stanja posameznika. Ti odzivi so posledica povečane presnovne potrebe skeletnih mišic, ki se krčijo (2,70,71) in jih lahko spreminjajo okoljski stresni dejavniki, kot sta vročina in nadmorska višina. Značilni znaki akutnega odziva na napor so povečana srčna in dihalna frekvenca, kar omogoča večji minutni volumen srca in večji vnos kisika. Poveča se stopnja presnove, kar povzroči povečano tvorbo toplote; tako stanje povečane energijske porabe lahko vztraja še po koncu vadbe. Stopnja presnove se pri zmerni vadbi lahko poveča kar od petkrat do dvajsetkrat nad potrebo po energiji v mirovanju, pri zelo intenzivni vadbi elitnih športnikov pa celo več kot stokrat, vendar je tak napor zelo kratkotrajen. Fiziološki odzivi so sorazmerni z relativno obremenitvijo glede na maksimalno zmogljivost posameznika, ne z absolutno energijsko porabo. Hoja s hitrostjo 6 km/uro tako predstavlja različno relativno obremenitev pri nedejavnem posamezniku in pri treniranem športniku.

Pomembno je razlikovati med fiziološkimi odzivi, ki jih sproži prostovoljna, celostna vadba in vivo, ter tistimi, ki jih ustvarjajo eksperimentalni modeli. Električna stimulacija izolirane skeletne mišice npr. sproži aktivacijo in zagon znotrajceličnih signalnih poti, povezanih s trenažnimi prilagoditvami (72). Nasprotno pa hotena vadba vključuje bistveno bolj zapletene sistemske fiziološke odzive, ki so ključni za optimizacijo mišične zmogljivosti, nevromišično koordinacijo in splošno homeostazo. Prav tako se je treba zavedati, da se ugotovitve iz živalskih raziskav ali izoliranih sistemov pogosto močno razlikujejo od podatkov, pridobljenih pri človeku in vivo, kar poudarja potrebo po previdnosti pri posploševanju rezultatov med eksperimentalnimi modeli (73).

Slika 3: Krivulja sile in hitrosti: največjo moč dosežemo pri približno eni tretjini največje hitrosti skrajšanja. Povzeto po (65).



### 3.2.1. Mišice

Skeletne mišice predstavljajo približno 40 % telesne mase mladega vitkega moškega in okoli 35 % pri ženski, vendar se delež močno razlikuje glede na maščobno maso. Mišična masa se s staranjem zmanjšuje, nanjo pa vplivajo genetika posameznika in redna uporaba mišic (68). Mišica se na redno obremenitev odziva s povečanjem mase in funkcionalnih lastnosti, medtem ko neaktivnost vodi v izgubo mase in funkcije. Narava adaptacije je specifična za vrsto dražljaja (npr. moč ali vzdržljivost), njen obseg pa je sorazmeren z obremenitvijo (pogostost, intenzivnost, trajanje).

Mišična vlakna se delijo glede na hitrost kontrakcije, presnovne značilnosti, odpornost proti utrujenosti in encimsko aktivnost miozinske ATPaze (74). Tri osnovne vrste vlaken se razlikujejo po hitrosti in energijskem sistemu. S ciljno vadbo lahko deloma spremenimo njihove lastnosti. Porazdelitev mišičnih vlaken določa, za katere športe je posameznik najbolj primeren – oseba z največjim deležem počasnih vlaken nikoli ne bo vrhunski šprinter.

### 3.2.2. Dihalna funkcija

Pri večini oblik vadbe je glavni vir energije oksidativna presnova, ki zahteva stalen dotok kisika in substratov. Največja poraba kisika ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) predstavlja najvišjo stopnjo aerobne presnove, ki jo lahko posameznik doseže (75). Za vzdržljivostne športnike je  $\text{VO}_2\text{max}$  ključen dejavnik zmogljivosti (76). Na višjih nadmorskih višinah se  $\text{VO}_2\text{max}$  znižuje zaradi manjše nasičenosti krvi s kisikom, kar pojasnjuje upad zmogljivosti nad približno 1500 m. Kljub temu elitni kolesarji na zmerni višini (2000–2500 m) lahko dosegajo rekorde zaradi manjšega zračnega upora (77). Trening dihalnih mišic lahko izboljša zmogljivost pri vadbi v normoksiji in hipoksiji, čeprav so rezultati raziskav neenotni (78,79).

### 3.2.3. Srčno-žilna funkcija

Za učinkovito dostavo kisika in hranil delujočim mišicam ob hkratnem vzdrževanju pretoka krvi v vitalne organe je potreben visok minutni volumen srca.  $\text{VO}_2\text{max}$  je lahko omejen bodisi z dostavo kisika bodisi z njegovo uporabo v mišicah (80). Ključni dejavnik pri tem je maksimalni minutni volumen srca, ki je odvisen od velikosti levega prekata in utripnega volumna. Pri elitnih vzdržljivostnih športnikih lahko srčni iztis doseže 40 l/min, pri nedejavnih pa okoli 20 l/min (Tabela 3). Njihov nizek srčni utrip v mirovanju je posledica velikega utripnega volumna.

Oksiformna sposobnost krvi je odvisna od koncentracije hemoglobina – moški imajo običajno za ~ 15 % večjo sposobnost prenosa kisika kot ženske, kar deloma pojasnjuje višjo aerobno zmogljivost (81). Zaradi tega športniki uporabljajo strategije, kot

so višinski trening ali (prepovedane) metode povečanja eritropoeze (82). Z vzdržljivostnim treningom se zviša tudi gostota kapilar v mišicah, kar izboljša difuzijo kisika in substratov (83). Ker vadba aktivira os hipotalamus-hipofiza-nadledvičnica in povzroči izločanje kortizola ter catecholaminov, ti hormoni mobilizirajo energijske zaloge za mišično kontrakcijo (84). Sproščanje vadbokinov dodatno izboljša medorgansko sporazumevanje in prilagoditve na trening (4,70).

### 3.2.4. Utrujenost

Vsaka dovolj intenzivna ali dolgotrajna vadba povzroči občutek utrujenosti. V preteklosti so menili, da gre predvsem za posledice lokalnega pojava v mišici, danes pa vemo, da ima pomembno vlogo tudi centralni živčni sistem (CŽS), ki preprečuje poškodbe (85). Analize vzorcev biopsije mišic so pokazale povezavo med izčrpanjem mišičnega glikogena in pojavom utrujenosti pri dolgotrajni vadbi (86). V novejšem času je znova prepoznana vloga možganov, saj CŽS deluje kot t. i. centralni regulator (87,88). Vzroki utrujenosti so tako številni in odvisni od trajanja in intenzivnosti vadbe:

- pri zelo intenzivni vadbi (1–2 min) je odločilen padec kreatin fosfata; kreatinski dodatki lahko začasno izboljšajo zmogljivost (89,90);
- pri srednje dolgi vadbi (1–10 min) je ključna acidoza zaradi kopičenja ionov  $\text{H}^+$ ; bikarbonat ali citrat lahko izboljšata zmogljivost (91);
- pri daljši vadbi (1–3 ure) je odločilna razpoložljivost glikogena, vendar v vročem okolju utrujenost nastopi prej, neodvisno od zalog (86,92–96).

Farmakološke raziskave kažejo, da na zmogljivost vplivajo tudi centralni nevrottransmiterji: agonisti serotonina zmogljivost zmanjšajo, agonisti dopamina pa jo povečajo (97–99).

### 3.3. Kronične prilagoditve na vadbo

Cilj treninga je povečati funkcionalno sposobnost in izboljšati zmogljivost. Prilagoditve so specifične glede na tip obremenitve, trenirane mišice in genetske značilnosti (71). Trening moči ima majhen vpliv na vzdržljivost in obratno; prilagoditve so specifične za trenirane mišice (100). Napredek v zmogljivosti je sorazmeren s skupno obremenitvijo, vendar pretirana vadba lahko vodi do sindroma pretreniranosti z zmanjšano zmogljivostjo, kronično utrujenostjo in povečanim tveganjem za okužbe (101). Že tri vadbe na teden, ki vključujejo ≤ 10 minut intenzivne vadbe in trajajo ≤ 30 minut na vadbno enoto, lahko v nekaj tednih izboljšajo aerobno kapaciteto, oksidativno sposobnost skeletnih mišic, toleranco za vadbo ter označevalce tveganja za različne bolezni, in sicer tako pri zdravih posameznikih kot pri osebah s presnovnimi motnjami (102).

Tabela 3: Srčno-žilne značilnosti v mirovanju in maksimalnem naporu glede na različne ravni treniranosti posameznika.

| Treniranost                      | Stanje    | Srčna frekvenca (utrip/l/min) | Utripni volumen (ml) | Minutni volumen srca (l/min) |
|----------------------------------|-----------|-------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Sedeč način življenja            | Mirovanje | 70                            | 70                   | 5                            |
|                                  | Največji  | 200                           | 100                  | 20                           |
| Zmerno treniran posameznik       | Mirovanje | 40–60                         | 100                  | 5                            |
|                                  | Največji  | 195                           | 150                  | 29                           |
| Treniran vzdržljivostni športnik | Mirovanje | 30–40                         | 150                  | 5                            |
|                                  | Največji  | 190                           | 200                  | 38                           |

Vadbi in posamezniku prilagojena prehrana ima ključno vlogo pri regeneraciji in spodbujanju prilagoditev po vadbi (103). Vnos 20–40 g beljakovin ali esencialnih aminokislin (zlasti levicina) po vadbi spodbuja sintezo mišičnih beljakovin do 24 ur po vadbi (104). Prilagoditve vključujejo povečanje srčnega utripnega volumna in mase levega prekata, povečanje volumna krvi, rasti kapilar, mitohondrijske mase in oksidativnih encimov. Trenirane mišice učinkoviteje oksidirajo maščobe in porabljajo manj ogljikovih hidratov (105,106). Redna vadba vpliva tudi na možgane, zlasti na sposobnost zaznavanja napora in uravnavanja tempa – gre za dva priučena občutka (107).

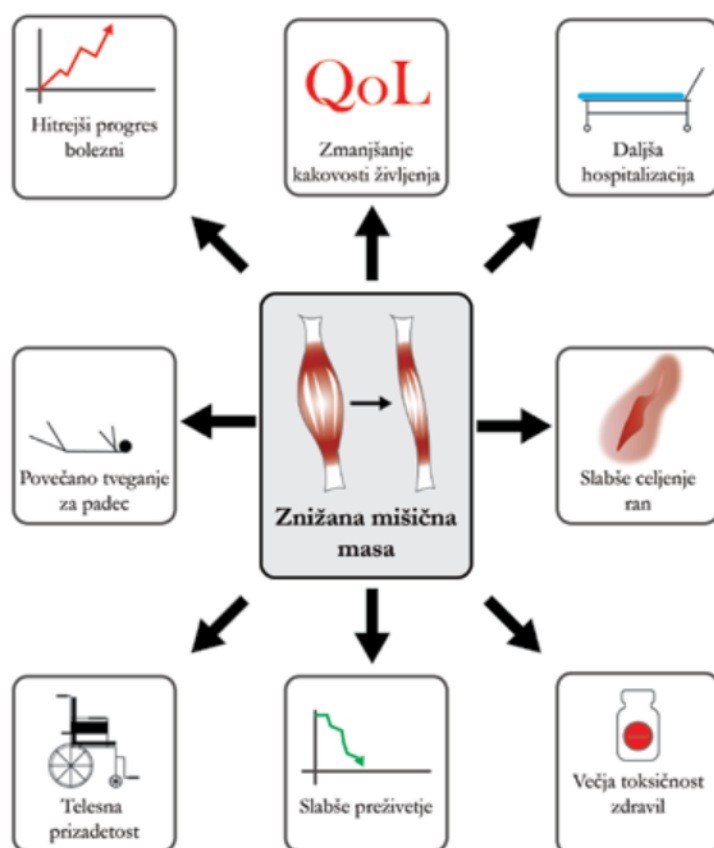
### 3.4. Vadbokini

Najnovejša spoznanja v fiziologiji in endokrinologiji vadbe kažejo, da vadba sproži komunikacijo med organi in tkivi prek endokrinih, parakrinih in avtokrinih poti (108). To komunikacijo posredujejo vadbokini – raznolika skupina bioaktivnih molekul, ki jih med telesno dejavnostjo sproščajo mišice in druga tkiva (4,19,109–112). Najbolj raziskani so miokini, ki nastajajo med mišično kontrakcijo, poleg tega pa poznamo tudi citokine drugih organov, npr. kardiokine (iz srca), hepatokine (iz jeter), adipokine (iz bele maščobe), baptokine (iz rjave maščobe), osteokine (iz kosti) in nevrokine (iz živčevja). Vadbokini so ključni posredniki sistemskih koristi vadbe, saj omogočajo medcelično in medorgansko komunikacijo. Igrajo pomembno vlogo pri izboljšanju srčno-žilnega, presnovnega, imunskega in nevrološkega zdravja ter imajo potencial pri obvladovanju bolezni, kot so srčno-žilne bolezni, sladkorna bolezen tipa 2, rak in debelost, ter pri spodbujanju zdravega staranja (2,113).

### 4. MIŠIČNA MASA

V zadnjih letih je zdravje mišic postalo pomembna tema zaradi raziskovanja izjemnega vpliva gibanja in mišične mase na posameznikovo zdravje. S staranjem svetovne populacije se večja delež posameznikov z miopenijo in posledično tudi sarkopenijo, sarkopenično debelostjo in krhkostjo. Naštetja stanja so medsebojno odvisne bolezni, povezane z zmanjšano funkcionalnostjo in kliničnimi zapleti (27). Poleg tega številne kronične bolezni – med njimi rak, ledvična bolezen in presnovne motnje – dokazano neugodno vplivajo na mišično maso in funkcijo. V zadnjem času je dodatno pozornost vzbudila uporaba agonistov receptorja za glukagonu podobni peptid-1 (*angl. glucagon-like peptide-1 receptor agonists, GLP-1 RA*) pri zdravljenju debelosti, saj so se pojavile skrbi glede ohranjanja mišične mase ob hkratni izgubi telesne mase (114). Z naraščajočo uporabo teh zdravil je nujna uporaba strategij, ki preprečujejo poslabšanje mišične mase in zagotavljajo dolgoročne zdravstvene koristi. Posledično se izvaja čedalje več raziskav o ohranjanju mišične mase, ciljani prehrani in vadbi z uporabo, kar potrjuje ključno vlogo mišične mase pri zdravju, dolgoživosti in obvladovanju bolezni (slika 4). Mišice so bistvene za splošno zdravje, ne le za gibanje in moč. Delujejo kot presnovni organ, ki predstavlja zalogo aminokislin, pomembnih za odziv na stres, poškodbe in okužbe. Mišično tkivo sintetizira in shranjuje glutamin, ključno aminokislino za transport dušika in delovanje imunskega sistema. Mišična masa ima osrednjo vlogo tudi pri uravnavanju glukoze, saj omogoča njen privzem in tako vzdržuje normoglikemijo. Mišične celice izločajo miokine, signalne molekule, ki delujejo kot endokrini dejavniki in uravnavajo presnovo, energijsko ravnovesje in vnetje. S tem mišice vplivajo neposredno na imunsko funkcijo, saj miokini sodelujejo pri proliferaciji, aktivaciji in distribuciji imunskih celic (115–117). Ta medsebojna povezanost poudarja pomen mišične mase za splošno zdravje.

Slika 4: Vpliv znižane mišične mase na zdravje posameznika.



Izguba mišic se lahko pojavi samostojno ali ob podhranjenosti, sarkopeniji, sarkopenični debelosti ali krhkosti, pri čemer vsako od teh stanj dodatno poslabša izide zdravljenja. Pomembno je, da se lahko nizka mišična masa pojavi pri ljudeh vseh starosti, in sicer tako pri tistih z normalno telesno maso kot tudi debelostjo (118). Izgubo mišične mase pogosto prikrije nespremenjena telesna masa, zato je ni mogoče zaznati le s spremljanjem telesne mase (30,119). Pri različnih kliničnih stanjih je nizka mišična masa zanesljiv napovednik slabših zdravstvenih izidov, povezanih z zmanjšano telesno zmogljivostjo, oslabiljenim imunskim odzivom, slabšim celjenjem ran, večjim tveganjem za okužbe, invalidnostjo, nižjo kakovostjo življenja in krajšo pričakovano življenjsko dobo (30). Ta tveganja se povečajo pri pospešeni izgubi mišic, značilni za starost, imobilizacijo ali kronične bolezni. S staranjem ali dolgotrajno nedejavnostjo se zmanjša sinteza mišičnih beljakovin, razgradnja pa poveča, kar vodi v postopno zmanjševanje mišične mase in funkcije. Kronične bolezni ta proces dodatno poslabšajo z vnetnim in presnovnim stresom, ki pospešuje razgradnjo mišičnih beljakovin. Novejše raziskave kažejo tudi na pomembno vlogo mitohondrijske disfunkcije pri atrofiji mišic, zlasti pri staranju in boleznih (120). Slabša učinkovitost mitohondrijev pri tvorbi energije prispeva k izgubi mišic, kar poudarja potrebo po ciljanih intervencijah za ohranjanje mišičnega zdravja.

Celostni pristop, ki združuje načrtovano prehrano in strukturirano telesno dejavnost, je bistven za optimalno vzdrževanje in izgradnjo mišične mase (30). Za učinkovito preprečevanje in obvladovanje izgube mišic je treba v klinični praksi izvajati zgodnje presejanje, oceno in individualizirane prehranske intervencije. Pri tem je ključen multidisciplinarni pristop, ki vključuje dietetike, zdravnike, fizioterapevte in kineziologe, da zagotovimo celostno obravnavo mišičnega zdravja.

## 5. POJMI S PODROČJA ŠPORTNE PREHRANE

### 5.1. Športna prehrana

Uporaba prehrane pri telesni dejavnosti je tesno povezana z razumevanjem fizioloških procesov med vadbo in po njej. Prehrana je temeljni dejavnik zdravja in vpliva na prilagoditve na vadbo, uravnavanje telesne mase in sestave ter optimizacijo športne zmogljivosti (121). Glavna razlika med prehrano pri športu in splošnimi javnozdravstvenimi priporočili za prehrano je, da športna prehrana ne pomeni le predpisane diete, temveč dinamično strategijo prehranske podpore, prilagojeno fiziološkim zahtevam vadbe (29). Prehranska strategija temelji na znanstvenem razumevanju presnovnih, molekularnih in sistemskih prilagoditev, ki jih povzroča telesna dejavnost – spremembe v presnovni energiji, razpoložljivosti substratov, regeneraciji mišic, imunski funkciji in optimizaciji zmogljivosti. Ustrezna strategija prehranske podpore združuje znanstvena priporočila in njihovo uporabo v različnih oblikah vzdržljivostne vadbe ter vadbe moči in hitrosti.

Smernice športne prehrane vključujejo splošna priporočila za energijski vnos, količine in sestavo hranil ter vnos tekočin, obenem pa specifična priporočila glede vrste športa, faze treninga in intenzivnosti (122,123). Pomemben pojem je periodizacija prehrane, ki omogoča strateško prilagajanje vnosa ključnih hranil glede na potrebe posameznika, cilje in obdobje treninga (124). Končni cilj športne prehrane je pretvorba znanstvenih načel v praktične prehranske načrte. Športniki in telesno dejavni posamezniki morajo znati uporabljati strategije vnosa hrane, tekočin in prehranskih dopolnil, skladne z osebnimi cilji, urniki treninga in zdravstvenimi potrebami. Prehranski načrti morajo biti prilagojeni glede na kulturno in socialno okolje posameznika

ter izvedljivi in prilagojeni življenjskemu slogu posameznika. Na prehranske navade vplivajo tudi kultura športa, trenerji, soigralci in mediji. Zato mora biti izobraževanje o športni prehrani osebno, prilagojeno posamezniku in značilnostim športa.

### 5.2. Klinična športna prehrana

V zadnjih letih se je znanje na področju športne znanosti in prehrane močno razširilo, kar spodbuja razvoj aplikativnih raziskav na presečišču športne prehrane in medicine športa. Za optimizacijo zdravja in zmogljivosti morajo biti prehranske strategije individualno prilagojene fiziološkim zahtevam posameznika. Napredek raziskav poudarja pomen personalizirane prehrane – ne le za zmogljivost, temveč tudi za regeneracijo, preprečevanje poškodb, rehabilitacijo in presnovno zdravje. Na tej osnovi se je oblikoval pojem klinične športne prehrane, specializiranega področja, ki povezuje prehrano športnikov z individualno prehransko obravnavo telesno dejavnih oseb z zdravstvenimi težavami ali poškodbami (124–127). Klinična športna prehrana temelji na individualnem pristopu, ki združuje načela športne in klinične prehrane. Prehranske intervencije morajo temeljiti na dokazih in biti usklajene z medicinskimi okviri, vključno s terminologijo Evropskega združenja za klinično prehrano in presnovo (*angl. European Society for Clinical Nutrition and Metabolism, ESPEN*).

Kadar so presnovne potrebe večje od energijskega in hranilnega vnosa, se lahko pojavijo fiziološke motnje in klinični sindromi, kot je sindrom relativnega energijskega pomanjkanja pri športu (*angl. Relative Energy Deficiency in Sport, RED-S*) – oblika energijske podhranjenosti, ki vpliva tako na zmogljivost kot na zdravje (128). Kombinacija vadbe in ciljno usmerjene prehrane je močno orodje za izboljšanje presnovnega zdravja in telesne zmogljivosti pri zdravih in bolnih posameznikih (121,124).

Pri uporabi izhodišč klinične športne prehrane se poleg tipa, intenzivnosti, trajanja in pogostosti poudarja tudi dodaten vpliv presnovnih zahtev vadbe zaradi aktivne mišične mase in zdravstvenega stanja posameznika (29,129). Ohranjanje mišičnega zdravja zahteva redno vadbo in ciljno prehransko podporo, vključno z zadostnim vnosom beljakovin (zlasti levcina in drugih esencialnih aminokislin) ter prehranskih dopolnil, kot so HMB, vitamin D in n-3 maščobne kisline (30,129–132). Njihova uporaba podpira ohranjanje mišic, regeneracijo in funkcionalne izide, zlasti pri skupinah posameznikov z večjim tveganjem za izgubo mišične mase. Hkrati je tako v klinični praksi kot v športnih okoljih dokazana korist individualizirane rabe peroralnih prehranskih dopolnil v obdobju povečanega tveganja za podhranjenost, saj ta zagotavljajo ciljno prehransko podporo za imunsko funkcijo, regeneracijo in presnovno zdravje (90,133).

## LITERATURA

- Kozjek NR, Tonin G, Prado CM, Maughan RJ. Module 37.1 Physical Activity, Muscle and Clinical Nutrition. In: Module 371 Physical Activity, Muscle and Clinical Nutrition (Version 2025) [internet]. Ljubljana: ESPEN; 2025. (ESPEN LLL Modules). Dostopno na: <https://www.espen.org/>.
- Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J Med Sci Sports*. 2015 Dec;25 Suppl 3:1-72.
- CDC. Physical Activity Basics. 2024 [spletna stran na internetu] [pridobljeno 2025 Jan 1]. Physical Activity Basics and Your Health. Dostopno na: <https://www.cdc.gov/physical-activity-basics/about/index.html>.
- Chow LS, Gerszten RE, Taylor JM, Pedersen BK, Van Praag H, Trappe S, et al. Exerkines in health, resilience and disease. *Nat Rev Endocrinol*. 2022 May;18(5):273-89.
- Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, et al. The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA*. 2018 Nov 20;320(19):2020.
- Coenen P, Huysmans MA, Holtermann A, Troiano RP, Mork PJ, Krokstad S, et al. Associations of occupational and leisure-time physical activity with all-cause mortality: an individual participant data meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2024 Dec;58(24):1527-38.
- Pedisic Z, Shrestha N, Kovalchik S, Stamatakis E, Liangruenrom N, Grgic J, et al. Is running associated with a lower risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and is the more the better? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2020 Aug 1;54(15):898-905.
- Herbert P, Hayes LD, Beaumont AJ, Grace FM, Sculthorpe NF. Six weeks of high intensity interval training (HIIT) facilitates a four year preservation of aerobic capacity in sedentary older males: A reunion study. *Experimental Gerontology*. 2021 July 15;150:111373.
- Lee IM, Shiroma EJ, Lobelo F, Puska P, Blair SN, Katzmarzyk PT, et al. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*. 2012 July 21;380(9838):219-29.
- Ding D, Lawson KD, Kolbe-Alexander TL, Finkelstein EA, Katzmarzyk PT, van Mechelen W, et al. The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *Lancet*. 2016 Sept 24;388(10051):1311-24.
- Bullard BM, VanderVeen BN, Cardaci TD, Carson JA, Murphy EA. Mechanistic Insight into Physical Activity Pleiotropy in Cancer Prevention. *Exerc Sport Mov*. 2024 Fall;2(4):e00027. 12. Mathur N, Pedersen BK. Exercise as a Mean to Control Low-Grade Systemic Inflammation. *Mediators of Inflammation*. 2008;2008:1-6.
- WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour. 1st ed. Geneva: World Health Organization; 2020.
- King AC, Whitt-Glover MC, Marquez DX, Buman MP, Napolitano MA, Jakicic J, et al. Physical Activity Promotion: Highlights from the 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc*. 2019 Jun;51(6):1340-1353.
- Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*. 2006 Mar 14;174(6):801-9.
- GOV.UK [spletna stran na internetu] [pridobljeno 2025 Jan 2]. Physical activity guidelines: UK Chief Medical Officers' report. Dostopno na: <https://www.gov.uk/government/publications/physical-activity-guidelines-uk-chief-medical-officers-report>.
- Elliott BT, Hayes LD, Hughes DC, Burtcher M. Editorial: Exercise as a Countermeasure to Human Aging. *Front Physiol*. 2020 July 28;11:883.
- Ingram Y, Olujide O, Sheikh N, Robinson A, Ho JH, Syed AA, et al. The Relationship Between Obesity and Cancer: Epidemiology, Pathophysiology, and the Effect of Obesity Treatment on Cancer. *Current Oncology*. 2025 June 19;32(6):362.
- Thyfault JP, Bergouignan A. Exercise and metabolic health: beyond skeletal muscle. *Diabetologia*. 2020 Aug;63(8):1464-74.
- Ungvari Z, Fekete M, Varga P, Munkácsy G, Fekete JT, Lehoczki A, et al. Exercise and survival benefit in cancer patients: evidence from a comprehensive meta-analysis. *GeroScience*. 2025 Apr 12;47(3):5235-55.
- Pedersen BK, Febbraio MA. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol*. 2012 Aug;8(8):457-65.
- Schnyder S, Handschin C. Skeletal muscle as an endocrine organ: PGC-1 $\alpha$ , myokines and exercise. *Bone*. 2015 Nov 1;80:115-25.
- Brocherie F, Goto K, Dupuy O, Gruet M, Vercruyssen F, Louis J. Editorial: From Physiological Adaptations to Endurance Performance: It Is Time to Bridge the Gap. *Front Sports Act Living*. 2021 Oct 12;3:775654.
- Palmer D, Cooper DJ, Emery C, Batt ME, Engebretsen L, Scammell BE, et al. Self-reported sports injuries and later-life health status in 3357 retired Olympians from 131 countries: a cross-sectional survey among those competing in the games between London 1948 and PyeongChang 2018. *Br J Sports Med*. 2021 Jan;55(1):46-53.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985;100(2):126-31.
- Borer KT. Advanced Exercise Endocrinology: Advanced Exercise Physiology Series [spletna stran na internetu]. 1st ed. Human Kinetics; 2013 [pridobljeno 2025 Jan 4]. Dostopno na: <https://www.humankineticslibrary.com/encyclopedia?docid=b-9781492596172>
- Prado CM, Purcell SA, Alish C, Pereira SL, Deutz NE, Heyland DK, et al. Implications of low muscle mass across the continuum of care: a narrative review. *Ann Med*. 2018 Dec;50(8):675-93.
- Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011 July;43(7):1334-59.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2016 Mar;116(3):501-28.

29. Prado CM, Landi F, Chew STH, Atherton PJ, Molinger J, Ruck T, et al. Advances in muscle health and nutrition: A toolkit for healthcare professionals. *Clinical Nutrition*. 2022 Oct 1;41(10):2244–63.
30. Milton K, Morris JL, McLaughlin M, Cameron A, Dewhurst S, Gardner S, et al. Infographic. All health professionals should talk about physical activity with patients. *Br J Sports Med*. 2024 May;58(10):569–70.
31. Dennett AM, Tang CY, Chiu A, Osadnik C, Granger CL, Taylor NF, et al. A Cancer Exercise Toolkit Developed Using Co-Design: Mixed Methods Study. *JMIR Cancer*. 2022 Apr 21;8(2):e34903.
32. American College of Sports Medicine, Liguori G, Feito Y, Fountaine C, Roy B, editors. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. 11th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021.
33. Booth FW, Roberts CK, Thyfault JP, Rueggsegger GN, Toedebusch RG. Role of Inactivity in Chronic Diseases: Evolutionary Insight and Pathophysiological Mechanisms. *Physiological Reviews*. 2017 Oct 1;97(4):1351–402.
34. Komi P. Strength and Power in Sport: Olympic Encyclopedia of Sports Medicine. 2nd ed. (The Encyclopaedia of Sports Medicine). Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd; 2008. 540 p..
35. Engebretsen L, Soligard T, Steffen K, Alonso JM, Aubry M, Budgett R, et al. Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *Br J Sports Med*. 2013 May;47(7):407–14.
36. Bouchard C, Shephard RJ, Brubaker PH. Physical Activity, Fitness, and Health: Consensus Statement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1994 Jan;26(1):119.
37. Martín-Rodríguez A, Belinchón-deMiguel P, Rubio-Zarapuz A, Tornero-Aguilera JF, Martínez-Guardado I, Villanueva-Tobaldo CV, et al. Advances in Understanding the Interplay between Dietary Practices, Body Composition, and Sports Performance in Athletes. *Nutrients*. 2024 Jan;16(4):571.
38. Robinson J, Nitschke E, Tovar A, Mattar L, Gottesman K, Hamlett P, et al. Nutrition and Physical Activity Interventions Provided by Nutrition and Exercise Practitioners for the General Population: An Evidence-Based Practice Guideline From the Academy of Nutrition and Dietetics and American Council on Exercise. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2023 Aug;123(8):1215–1237.e5.
39. Bouchard C, Blair SN, Katzmarzyk PT. Less Sitting, More Physical Activity, or Higher Fitness? *Mayo Clinic Proceedings*. 2015 Nov;90(11):1533–40.
40. Harvard Health: the 4 most important types of exercise [spletna stran na internetu]. [pridobljeno 2025 Jan 3]. Dostopno na: <https://www.health.harvard.edu/exercise-and-fitness/the-4-most-important-types-of-exercise>.
41. Stellingwerff T, Maughan RJ, Burke LM. Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *J Sports Sci*. 2011;29 Suppl 1:S79–89.
42. Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology*. 2012 Mar;590(5):1077–84.
43. De Ruiter CJ, Goudsmit JFA, Van Tricht JA, De Haan A. The Isometric Torque at Which Knee-Extensor Muscle Reoxygenation Stops. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007 Mar;39(3):443–53.
44. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, MacDonald MJ, McGee SL, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*. 2008 Jan;586(1):151–60.
45. Marmol-Perez A, Corres P, Fernández-Escabias M, Carrilho-Candeias S, Ruiz JR, Amaro-Gahete FJ, et al. Impact of Multidisciplinary Prehabilitation Interventions on Postoperative Hospital Length of Stay and Functional Capacity in Patients Undergoing Resection of Colorectal Cancer: A Systematic Review and Meta-analysis. *Dis Colon Rectum*. 2024 Sept 1;67(9):1107–19.
46. Jette DU, Latham NK, Smout RJ, Gassaway J, Slavin MD, Horn SD. Physical therapy interventions for patients with stroke in inpatient rehabilitation facilities. *Phys Ther*. 2005 Mar;85(3):238–48.
47. Mikkelsen K, Stojanovska L, Polenakovic M, Bosevski M, Apostolopoulos V. Exercise and mental health. *Maturitas*. 2017 Dec;106:48–56.
48. Stellingwerff T, Morton JP, Burke LM. A Framework for Periodized Nutrition for Athletics. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2019 Mar 1;29(2):141–51.
49. Powers SK, Howley ET, Quindry J. Exercise physiology: theory and application to fitness and performance. 12th ed. International student ed. New York, NY: McGraw Hill; 2024. 660 p.
50. Borer KT. The autonomic nervous system in exercise: An integrative view. History of exercise physiology, Champaign, IL, United States: Human Kinetics Publishers. 2014;175–210.
51. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 1993 Sept 1;265(3):E380–91.
52. Horton TJ, Pagliassotti MJ, Hobbs K, Hill JO. Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol* (1985). 1998 Nov;85(5):1823–32.
53. Rochette L, Vergely C. Hans Selye and the stress response: 80 years after his “letter” to the Editor of Nature. *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie*. 2017 Sept 1;66(4):181–3.
54. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol*. 2012 Aug;8(8):457–65.
55. Małkowska P, Sawczuk M. Cytokines as Biomarkers for Evaluating Physical Exercise in Trained and Non-Trained Individuals: A Narrative Review. *Int J Mol Sci*. 2023 July 6;24(13):11156.
56. Safdar A, Saleem A, Tarnopolsky MA. The potential of endurance exercise-derived exosomes to treat metabolic diseases. *Nat Rev Endocrinol*. 2016 Sept;12(9):504–17.
57. Squire J. Special Issue: The Actin-Myosin Interaction in Muscle: Background and Overview. *IJMS*. 2019 Nov 14;20(22):5715.
58. Maughan RJ, Watson JS, Weir J. Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*. 1983 May;338(1):37–49.
59. Levin KH, Chauvel P. *Clinical Neurophysiology: Handbook of Clinical Neurology Series*. San Diego: Elsevier; 2019.

60. Wakeling JM, Blake OM, Chan HK. Muscle coordination is key to the power output and mechanical efficiency of limb movements. *J Exp Biol.* 2010 Feb 1;213(3):487–92.
61. Henneman E, Olson CB. Relations between structure and function in the design of skeletal muscles. *Journal of Neurophysiology.* 1965 May 1;28(3):581–98.
62. Osborne JO, Tallent J, Girard O, Marshall PW, Kidgell D, Buhmann R. Neuromuscular electrical stimulation during maximal voluntary contraction: a Delphi survey with expert consensus. *Eur J Appl Physiol.* 2023 Oct;123(10):2203–12.
63. Slater G, Phillips SM. Nutrition guidelines for strength sports: sprinting, weightlifting, throwing events, and bodybuilding. *J Sports Sci.* 2011;29 Suppl 1:S67-77.
64. Alcazar J, Csapo R, Ara I, Alegre LM. On the Shape of the Force-Velocity Relationship in Skeletal Muscles: The Linear, the Hyperbolic, and the Double-Hyperbolic. *Front Physiol.* 2019 June 19;10:769.
65. Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports.* 2014 Aug;24(4):603–12.
66. Hoffman JR, Cooper J, Wendell M, Kang J. Comparison of Olympic vs. traditional power lifting training programs in football players. *J Strength Cond Res.* 2004 Feb;18(1):129–35.
67. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med.* 2007;37(2):145–68.
68. Hughes DC, Ellefsen S, Baar K. Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 2018 June;8(6):a029769.
69. Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative Biology of Exercise. *Cell.* 2014 Nov 6;159(4):738–49.
70. Maughan RJ, Shirreffs SM. Physiology of Sports. In: Burke L, Deakin V, Minahan M, editors. *Clinical Sports Nutrition*, 6e [spletna stran na internetu]. New York, NY: McGraw Hill Education (Australia) Pty Ltd; 2021 [pridobljeno 2025 Jan 4]. Dostopno na: [accessphysiotherapy.mhmedical.com/content.aspx?aid=1185562821](https://accessphysiotherapy.mhmedical.com/content.aspx?aid=1185562821)
71. Fitts RH, Holloszy JO. Effects of fatigue and recovery on contractile properties of frog muscle. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1978 Dec;45(6):899–902.
72. Schlegel A, Stainier DYR. Lessons from “lower” organisms: what worms, flies, and zebrafish can teach us about human energy metabolism. *PLoS Genet.* 2007 Nov;3(11):e199.
73. Bottinelli R, Reggiani C. Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in Biophysics and Molecular Biology.* 2000 Feb;73(2–4):195–262.
74. Bassett DR Jr, Howley ET. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 May;29(5):591–603.
75. Barnes KR, Kilding AE. Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med - Open.* 2015 Dec;1(1):8.
76. Bassett DR, Kyle CR, Passfield L, Broker JP, Burke ER. Comparing cycling world hour records, 1967–1996: modeling with empirical data. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 Nov;31(11):1665–76.
77. Powers SK, Lawler J, Dempsey JA, Dodd S, Landry G. Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO<sub>2</sub> max. *Journal of Applied Physiology.* 1989 June 1;66(6):2491–5.
78. Kowalski T, Granda D, Klusiewicz A. Practical Application of Respiratory Muscle Training in Endurance Sports. *Strength & Conditioning Journal.* 2024 Dec;46(6):686–95.
79. Bassett DR. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2000 Jan;70.
80. Murphy WG. The sex difference in haemoglobin levels in adults – Mechanisms, causes, and consequences. *Blood Reviews.* 2014 Mar;28(2):41–7.
81. Otto JM, Montgomery HE, Richards T. Haemoglobin concentration and mass as determinants of exercise performance and of surgical outcome. *Extrem Physiol Med.* 2013 Dec;2(1):33.
82. Hellsten Y, Gliemann L. Peripheral limitations for performance: Muscle capillarization. *Scandinavian Med Sci Sports.* 2024 Jan;34(1):e14442.
83. Sapolsky RM, Romero LM, Munck AU. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr Rev.* 2000 Feb;21(1):55–89.
84. Bainbridge FA, Starling EH. *The Physiology of Muscular Exercise: With 22. Diagrams.* London: Longmans; 1919.
85. Bergström J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand.* 1967;71(2):140–50.
86. Swart J, Lamberts RP, Lambert MI, St Clair Gibson A, Lambert EV, Skowno J, et al. Exercising with reserve: evidence that the central nervous system regulates prolonged exercise performance. *Br J Sports Med.* 2009 Sept 15;43(10):782–8.
87. Lagrange F. *Physiology of Bodily Exercise.* D. Appleton and Company; 1980.
88. Hultman E, Soderlund K, Timmons JA, Cederblad G, Greenhaff PL. Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology.* 1996 July 1;81(1):232–7.
89. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med.* 2018 Apr;52(7):439–55.
90. Grgic J, Pedisic Z, Saunders B, Artioli GG, Schoenfeld BJ, McKenna MJ, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition.* 2021 Jan 2;18(1):61.
91. Maughan RJ, Poole DC. The effects of a glycogen-loading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *Europ J Appl Physiol.* 1981 June;46(3):211–9.
92. Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Sep;29(9):1240–9.
93. Pitsiladis YP, Maughan RJ. The effects of exercise and diet manipulation on the capacity to perform prolonged exercise in the heat and in the cold in trained humans. *The Journal of Physiology.* 1999 June;517(3):919–30.
94. Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, González-Alonso J, et al. Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Br J Sports Med.* 2015 Sept;49(18):1164–73.
95. Lorenzo S, Halliwill JR, Sawka MN, Minson CT. Heat acclimation improves exercise performance. *J Appl Physiol (1985).* 2010 Oct;109(4):1140–7.

96. Wilson W, Maughan R. Evidence for a possible role of 5-hydroxytryptamine in the genesis of fatigue in man: administration of paroxetine, a 5-HT re-uptake inhibitor, reduces the capacity to perform prolonged exercise. *Experimental Physiology*. 1992 Nov;77(6):921–4.
97. Bailey S, Davis J, Ahlborn E. Serotonergic Agonists and Antagonists Affect Endurance Performance in the Rat. *Int J Sports Med*. 1993 Aug;14(06):330–3.
98. Roelands B, Meeusen R. Alterations in central fatigue by pharmacological manipulations of neurotransmitters in normal and high ambient temperature. *Sports Med*. 2010 Mar 1;40(3):229–46.
99. MacInnis MJ, McGlory C, Gibala MJ, Phillips SM. Investigating human skeletal muscle physiology with unilateral exercise models: when one limb is more powerful than two. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2017 June;42(6):563–70.
100. Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1998 July;30(7):1164–8.
101. Gillen JB, Gibala MJ. Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014 Mar;39(3):409–12.
102. Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, Schoenfeld BJ, Henselmans M, Helms E, et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *Br J Sports Med*. 2018 Mar;52(6):376–84.
103. Joannis S, McKendry J, Lim C, Nunes EA, Stokes T, Mcleod JC, et al. Understanding the effects of nutrition and post-exercise nutrition on skeletal muscle protein turnover: Insights from stable isotope studies. *Clinical Nutrition Open Science*. 2021 Apr;36:56–77.
104. Burke LM, Hawley JA. Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2002 Sept;34(9):1492–8.
105. Mujika I, Padilla S. Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part I: Short Term Insufficient Training Stimulus. *Sports Medicine*. 2000;30(2):79–87.
106. Hartridge H, JL D'Silva. Bainbridge and Menzies. *Essentials of Physiology*. 11th ed. London: Longmans, Green & Co; 1957. 174–175 p.
107. Borer KT, De Sousa MJ, Nindl BC, Stanford KI, Pedersen BK. Editorial: Integrative exercise endocrinology. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2023;14:1350462.
108. Gonzalez-Gil AM, Elizondo-Montemayor L. The Role of Exercise in the Interplay between Myokines, Hepatokines, Osteokines, Adipokines, and Modulation of Inflammation for Energy Substrate Redistribution and Fat Mass Loss: A Review. *Nutrients*. 2020 June 26;12(6):1899.
109. Guo Y, Chen J, Qiu H. Novel Mechanisms of Exercise-Induced Cardioprotective Factors in Myocardial Infarction. *Front Physiol*. 2020 Mar 10;11:199.
110. Weigert C, Hoene M, Plomgaard P. Hepatokines—a novel group of exercise factors. *Pflugers Arch - Eur J Physiol*. 2019 Mar;471(3):383–96.
111. Kim KH, Lee MS. FGF21 as a Stress Hormone: The Roles of FGF21 in Stress Adaptation and the Treatment of Metabolic Diseases. *Diabetes Metab J*. 2014 Aug 20;38(4):245–51.
112. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Curr Opin Cardiol*. 2017 Sept;32(5):541–56.
113. Prado CM, Phillips SM, Gonzalez MC, Heymsfield SB. Muscle matters: the effects of medically induced weight loss on skeletal muscle. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*. 2024 Nov;12(11):785–7.
114. De Araújo AL, Silva LC, Fernandes JR, Benard G. Preventing or Reversing Immunosenescence: Can Exercise be an Immunotherapy? *Immunotherapy*. 2013 Aug;5(8):879–93.
115. Lee JH, Jun HS. Role of Myokines in Regulating Skeletal Muscle Mass and Function. *Front Physiol*. 2019 Jan 30;10:42.
116. Nelke C, Dziewas R, Minnerup J, Meuth SG, Ruck T. Skeletal muscle as potential central link between sarcopenia and immune senescence. *eBioMedicine*. 2019 Nov;49:381–8.
117. Orsso CE, Tibaes JRB, Oliveira CLP, Rubin DA, Field CJ, Heymsfield SB, et al. Low muscle mass and strength in pediatrics patients: Why should we care? *Clinical Nutrition*. 2019 Oct;38(5):2002–15.
118. Prado CM, Ford KL, Gonzalez MC, Murnane LC, Gillis C, Wischmeyer PE, et al. Nascent to novel methods to evaluate malnutrition and frailty in the surgical patient. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2023 Feb;47 Suppl 1(Suppl 1):S54–S68.
119. Memme JM, Slavin M, Moradi N, Hood DA. Mitochondrial Bioenergetics and Turnover during Chronic Muscle Disuse. *IJMS*. 2021 May 13;22(10):5179.
120. Jeukendrup AE, Gleeson M. *Sport nutrition*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2025. 683 p.
121. Jeukendrup AE. Periodized Nutrition for Athletes. *Sports Med*. 2017 Mar;47(Suppl 1):51–63.
122. Mujika I, Halson S, Burke LM, Balagué G, Farrow D. An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018 May 1;13(5):538–61.
123. *Clinical sports nutrition*. 6th ed. Sydney: McGraw-Hill Education/Australia; 2024.
124. Knoblauch M, editor. *Clinical nutrition in athletic training*. 1st ed. New York: Routledge; 2024.
125. Desbrow B, Slater G, Cox GR. Sports nutrition for the recreational athlete. *Australian Journal for General Practitioners*. 2020 Feb;49(1–2):17–22.
126. Cederholm T, Barazzoni R, Austin P, Ballmer P, Biolo G, Bischoff SC, et al. ESPEN guidelines on definitions and terminology of clinical nutrition. *Clin Nutr*. 2017 Feb;36(1):49–64.
127. Mountjoy M, Ackerman KE, Bailey DM, Burke LM, Constantini N, Hackney AC, et al. 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Br J Sports Med*. 2023 Sept;57(17):1073–97.
128. Giacosa A, Barrile GC, Mansueto F, Rondanelli M. The nutritional support to prevent sarcopenia in the elderly. *Front Nutr*. 2024 May 9;11:1379814.
129. Gielen E, Beckwée D, Delaere A, De Breucker S, Vandewoude M, Bautmans I, et al. Nutritional interventions to improve muscle mass, muscle strength, and physical performance in older people: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Nutr Rev*. 2021 Jan 9;79(2):121–47.

130. Jeromson S, Gallagher I, Galloway S, Hamilton D. Omega-3 Fatty Acids and Skeletal Muscle Health. *Marine Drugs*. 2015 Nov 19;13(11):6977–7004.
131. Cereda E, Pisati R, Rondanelli M, Caccialanza R. Whey Protein, Leucine- and Vitamin-D-Enriched Oral Nutritional Supplementation for the Treatment of Sarcopenia. *Nutrients*. 2022 Apr 6;14(7):1524.
132. Cawood AL, Elia M, Stratton RJ. Systematic review and meta-analysis of the effects of high protein oral nutritional supplements. *Ageing Research Reviews*. 2012 Apr;11(2):278–96.

© Avtor(ji). To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva 4.0.

© The author(s). This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0. International License (CC-BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>