

Ergonomijska analiza slobodnog sportskog penjanja

Wolf, Eric

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:653566>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Eric Wolf

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić, dipl. ing.

Student:

Eric Wolf

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Aleksandru Sušiću na svim savjetima i prenesenom znanju tijekom izrade završnog rada.

Zahvaljujem se obitelji i prijateljima na velikoj podršci tijekom studiranja.

Eric Wolf



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Eric Wolf** JMBAG: **0035227140**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ergonomijska analiza slobodnog sportskog penjanja**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Ergonomic analysis of free sport climbing**

Opis zadatka:

Popularizacijom sportskog penjanja nastaju programi vježbanja i natjecanja za populaciju gotovo bez ikakvih dobnih ograničenja. Nadalje, zbog ovakve raznolikosti u populaciji vježbača i natjecatelja, izazovi su dodatno ekspandirali, te je od rekreativne i inicijalno ekstremne aktivnosti, sportsko penjanje uvršteno među olimpijske sportove. Ipak, unatoč povećanju uspješnosti u penjanju i mnogim iskustvima i znanju trenera koji tome doprinose, zbog raznih razloga dolazi i do ozljeda, najčešće povezanih uz biomehaničke i ergonomijske razloge. Na kraju, iako popularan sport, malo je istraživanja posvećeno ovoj tematici, pa se znanja i programi većinom temelje na osobnim iskustvima, a ne na objektivnim pokazateljima i dostatno proučenim vještinama tehnike penjanja.

U radu je potrebno:

- kratko opisati ergonomijske aspekte i izazove sportskog penjanja;
- prikazati principe sportskog penjanja koji doprinose uspješnom savladavanju "smjerova";
- navesti najčešće biomehaničke i ergonomijske razloge neuspjeha u penjanju;
- provesti ergonomijsku analizu slobodnog sportskog penjanja s ciljem prevencije ozljeda i poboljšanja uspješnosti;
- navesti zaključke provedene analize, utvrđene preporuke i smjernice prevencije ozljeda, te komentirati postoje li mogućnosti za unaprjeđenje sustava prevencije ozljeda te sve drugo što može dati doprinos sigurnijem i uspješnijem penjanju.

Opseg ergonomijske analize dogovoriti tijekom izrade rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc.  Aleksandar Sušić

Predsjednik Povjerenstva:

 Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY	V
1. UVOD.....	1
1.1. Pregled sportskog penjanja.....	1
1.2. Ergonomija u sportskom penjanju.....	2
1.2.1. Biomehanički model čovjeka.....	2
1.2.2. Definiranje kretanja ravnina.....	3
1.2.3. Kinematički model čovjeka	5
2. Ergonomski aspekti sportskog penjanja	6
2.1. Tehnike pri penjanju	6
2.2. Hvatovi i ergonomija šake	10
2.2.1. Vrste hvatova	10
2.2.2. Biomehanika hvatova.....	13
2.3. Snaga u sportkom penjanju	14
2.3.1. Mišići podlaktice.....	14
2.3.2. Mišići dlana i prstiju	14
2.3.3. Trbušni mišići	14
2.3.4. Mišići ramena i gornjih leđa	14
2.3.5. Biceps i triceps	14
2.3.6. Nožni mišići	15
2.3.7. Mišići u kukovima	15
2.4. Oprema.....	16
2.4.1. Penjačice	16
2.4.2. Prašak za penjanje.....	17
2.4.3. Uže za penjanje	17
2.4.4. Pojas	19
2.4.5. Sprava za osiguravanje.....	19
2.4.6. Službena skala za označavanje smjerova.....	21
3. Principi uspješnog penjanja	23
3.1. Efikasnost kretanja	23
3.1.1. Kontrola nogu	23
3.1.2. Položaj težišta	24
3.2. Psihologija u penjanju.....	25
3.2.1. Strah i sumnja	25
3.2.2. Priprema za penjanje.....	26
3.2.3. Iskustvo	26
3.2.4. Praktični dio	27
4. Razlozi neuspjeha u penjanju	32
4.1. Ozlijede nastale periodičnim i dugotrajnim stresom.....	32
4.1.1. Tetive i ligamenti	32

4.1.2. Posturalni stres i stres izazvan pokretima	33
4.1.3. Okoliš i oprema	33
4.2. Umor i preopterećenje.....	34
4.2.1. Metabolički umor	34
4.2.2. Neuromuskulatorni umor	34
4.2.3. Nateknuće podlaktice	34
5. Prevencija ozljeda.....	36
5.1. Zagrijavanje	36
5.2. Vježbanje	36
ZAKLJUČAK	38
LITERATURA.....	39

POPIS SLIKA

Slika 1.	Ravnine ljudskog tijela [2]	3
Slika 2.	Kretanje u frontalnoj ravnini	3
Slika 3.	Kretanje u sagitalnoj ravnini	4
Slika 4.	a) Elevacija i depresija ramena, b) protrakcija i retrakcija ramena	4
Slika 5.	Kinematički model čovjeka [3]	5
Slika 6.	Kinematički model dlana [11]	5
Slika 7.	Straight arm hang	6
Slika 8.	Flagging	7
Slika 9.	High step	7
Slika 10.	Side pull	8
Slika 11.	Undercling	9
Slika 12.	Heel hook	9
Slika 13.	Jug	10
Slika 14.	Crimp	11
Slika 15.	Sloper	11
Slika 16.	Pinch	12
Slika 17.	Pocket	12
Slika 18.	Volumen	13
Slika 19.	Pozicija nožnih prsti u penjačici [6]	16
Slika 20.	Vrste penjačica [7]	17
Slika 21.	a) Simbol za jednostruko uže, b) Simbol za polovično uže, c) Simbol za dvostruko uže [8]	18
Slika 22.	Slika pojasa za penjanje	19
Slika 23.	a) Cjevasta sprava za osiguravanje, b) Sprava za osiguravanje sa potpomognutim kočenjem, c) Osmica [9]	20
Slika 24.	Usporedba YGS i Francuske skale [10]	22
Slika 25.	Skala na boulderingu [10]	22
Slika 26.	a) početak uspona, b) drugi korak uspona	27
Slika 27.	Prikaz linije ravnoteže	28
Slika 28.	Djelovanje sila na penjača	29
Slika 29.	a) Linija ravnoteže, b) Prikaz sila na penjača	30
Slika 30.	a) Primjer kada je hvat okrenut prema dolje, b) Skica penjanja	31
Slika 31.	Vrste opterećenja mišića [2]	35
Slika 32.	Primjer daske za vježbanje prstiju	36
Slika 33.	Kilter zid	37

SAŽETAK

Ovaj završni rad ispituje ergonomske aspekte sportskog penjanja, fokusirajući se na to kako ergonomija utječe na izvedbu, prevenciju ozljeda i ukupni uspjeh ili neuspjeh penjanja. Uvod daje kratak pregled sportskog penjanja, naglašavajući ulogu ergonomije u poboljšanju fizičke učinkovitosti i smanjenju rizika od ozljeda. Teza ima za cilj istražiti ključne ciljeve, kao što je razumijevanje kako ergonomske principi mogu optimizirati izvedbu penjača i poboljšati sigurnost.

Ergonomske aspekte o kojima se raspravlja uključuju posturalnu ergonomiju, važnost stiska i raspodjele sile te strategije za upravljanje potrošnjom energije kako bi se izbjegao umor tijekom uspona. Ergonomske dizajn penjačke opreme, kao što su cipele, pojasevi i držači, također se ispituje u odnosu na njegov utjecaj na performanse.

U analizi principa koji pridonose uspješnom penjanju, rad se bavi kritičnim čimbenicima kao što su učinkovita mehanika tijela, strategije kretanja i održavanje ravnoteže držanjem težišta blizu zida. Psihološka ergonomija, uključujući mentalni fokus i upravljanje stresom, također se raspravlja kao ključna komponenta uspjeha u penjanju.

U radu se dalje istražuju biomehanički i ergonomske razlozi neuspjeha u penjanju, kao što su loša tehnika, nepravilan položaj tijela i prenaprezanje. Koristi primjere iz stvarnog svijeta i studije slučaja kako bi ilustrirao kako ergonomske neučinkovitosti mogu dovesti do padova ili ozljeda.

Značajan dio teze posvećen je ergonomske analizi za prevenciju ozljeda, detaljno opisujući uobičajene ozljede u sportskom penjanju—kao što su ozljede prstiju i tendonitis—i identificirajući ergonomske čimbenike koji im pridonose. Nudi praktične preporuke za sprječavanje ozljeda pravilnom tehnikom, zagrijavanjem i vježbanjem. Štoviše, objašnjava kako penjači mogu optimizirati svoje performanse primjenom ergonomske načela.

Ključne riječi: Ergonomija, biomehanika, sigurnost, sportsko penjanje

SUMMARY

This bachelor's thesis examines the ergonomic aspects of sport climbing, focusing on how ergonomics influences performance, injury prevention, and the overall success or failure of a climb. The introduction provides a brief overview of sport climbing, highlighting the role of ergonomics in enhancing physical efficiency and minimizing injury risks. The thesis sets out to explore key objectives, such as understanding how ergonomic principles can optimize a climber's performance and improve safety.

The ergonomic aspects discussed include postural ergonomics, the importance of grip and force distribution, and strategies for managing energy expenditure to avoid fatigue during climbs. The ergonomic design of climbing equipment, such as shoes, harnesses, and holds, is also examined in relation to its impact on performance.

In analyzing the principles that contribute to a successful climb, the thesis delves into critical factors such as efficient body mechanics, movement strategies, and maintaining balance by keeping the center of gravity close to the wall. Psychological ergonomics, including mental focus and stress management, is also discussed as a key component of success in climbing.

The thesis further explores biomechanical and ergonomic reasons for climbing failure, such as poor technique, improper body positioning, and overexertion. It uses real-world examples and case studies to illustrate how ergonomic inefficiencies can lead to falls or injuries.

A significant part of the thesis is dedicated to an ergonomic analysis for injury prevention, detailing common injuries in sport climbing—such as finger injuries and tendonitis—and identifying the ergonomic factors that contribute to them. It offers practical recommendations for preventing injuries through proper technique, warm-ups, and training. Moreover, it explains how climbers can optimize their performance by applying ergonomic principles.

Key words: Ergonomics, biomechanics, safety, sports climbing

1. UVOD

1.1. Pregled sportskog penjanja

Sportsko penjanje je relativno mlad sport koji je stekao širu prepoznatljivost nastupom na ljetnim olimpijskim igrama u Tokyju 2021. godine (trebale su se održati 2020. no odgođene su radi Covid pandemije). Unatoč tome, prvi usponi zabilježeni su već 1914. godine koji nije koristio nikakvu sigurnosnu opremu. Od tada je došlo do značajnih promjena u standardima sigurnosti i opremi, a porast u popularnost je posebno došla do izražaja s pojavom specijaliziranih teretana sa umjetnim stjenama. Te teretane su sport učinile pristupačnim svima, neovisno o udaljenosti od planina ili stijena.

Natjecateljsko penjanje sastoji se od tri discipline (brzinsko penjanje, težinsko penjanje i bouldering) koje se razlikuju po svojim fiziološkim zahtjevima. Od ove tri discipline, težinsko penjanje i boulderanje dvije su discipline koje se najviše prakticiraju i istražuju. Dok se bouldering izvodi na nižim zidovima (< 6 metara) i često se sastoji od nekoliko, ali vrlo eksplozivnih i teških pokreta, težinsko penjanje se izvodi na visokim zidovima (10-30 metara) i obično se sastoji od 20 do 50 pokreta sa većim naglaskom na izdržljivosti penjača i spretnost sa opremom. Brzinsko penjanje se razlikuje od ostalih disciplina po tome što je cilj što brže se popesti do vrha standardiziranog smjera. [1]

1.2. Ergonomija u sportskom penjanju

Ergonomija je multidisciplinarna znanost koja primjenjuje psihološke i fiziološke principe na inženjerstvo, dizajn, sustave sa ciljem poboljšavanja sigurnosti, udobnosti, produktivnosti i smanjenja rizika od ljudskih grešaka u radnom okruženju, ili u slučaju ovoga rada, u sportu.

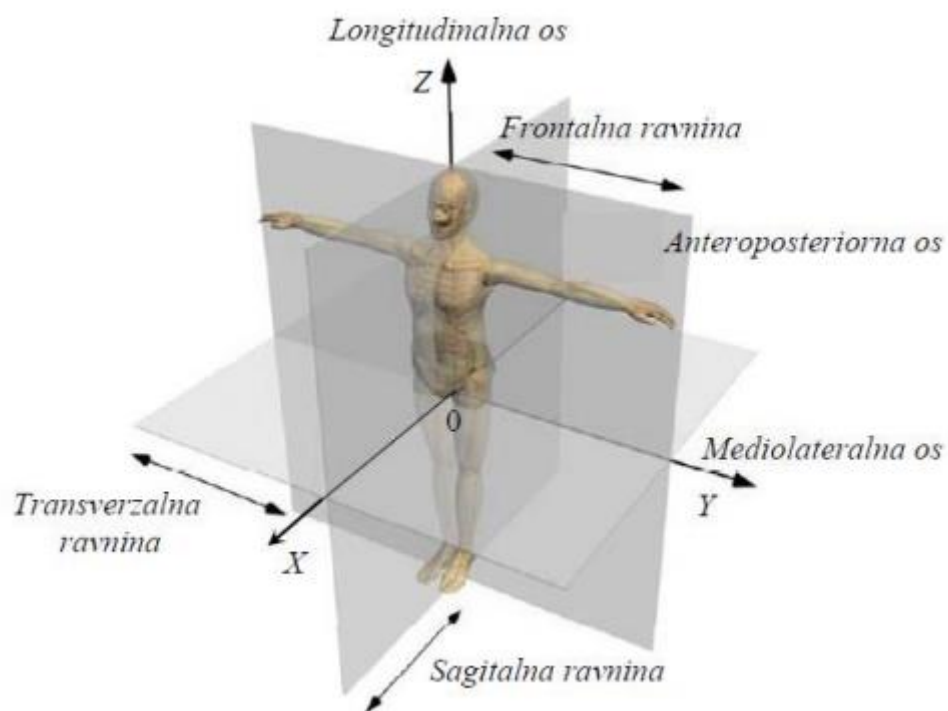
Ergonomija se dijeli na 3 vrste:

- Kognitivna ergonomija koja se bavi mentalnim procesima i njihov utjecaj na čovjeka i njegovo ponašanje u radnom okruženju.
- Organizacijska ergonomija posvećena je optimizaciji društveno-tehničkih sustava, što obuhvaća proučavanje organizacijske strukture, pravila, i procesa. Osim toga, istražuje komunikaciju, organizaciju rada te druge organizacijske elemente unutar proizvodno-poslovnog sustava.
- Fizikalna ergonomija koja se bavi anatomskim, fiziološkim, i biomehaničkim karakteristikama čovjeka i njihov utjecaj na fizičke aktivnosti. To je također i područje kojem će se ovaj rad uglavnom baviti. Teme poput utjecaj tehnika u penjanju, oprema i moguće ozlijede, te na temelju navedenog osmisliti smjernice i preporuke za nove i iskusne penjače.

Pravilna primjena ove znanosti je bitna za sport jer optimizira rezultate, sprječava ozlijede i osigurava dugoročno zdravlje sportaša time da prilagođava opremu, tehnike ili radno okruženje prema potrebama sportaša. [2]

1.2.1. Biomehanički model čovjeka

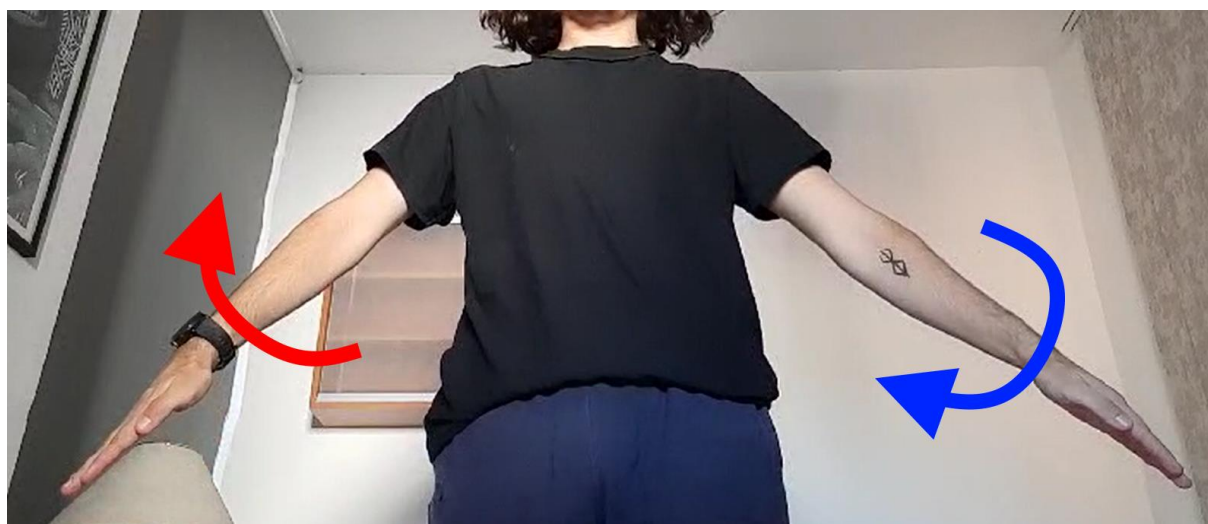
Pošto je biomehanika znanost koja primjenjuje mehaničke principe na biološke sustave, potrebno je definirati ravnine prema kojima se gibanja mogu definirati. Tijelo se u statičnom položaju promatra preko tri ravnine: frontalna, sagitalna i transverzalna (Slika 1). Frontalna ravnina prolazi X-Z-Y-ravninom, odnosno smjerom lijevo-desno i dijeli tijelo na prednji i stražnji dio. Sagitalna ravnina prolazi duž sredine tijela, odnosno ZY ravninom i dijeli tijelo na lijevi i desni dio tijela koji su simetrični. Transverzalna ravnina siječe tijelo na gornju i donju polovicu, odnosno predstavlja XY ravninu.



Slika 1. Ravnine ljudskog tijela [2]

1.2.2. Definiranje kretanja ravnina

U frontalnoj ravnini kretanje se definira kao abdukcija i adukcija. Abdukcija je povećavanje kuta od središnje crte tijela dok je adukcija smanjivanje kuta (Slika 2).



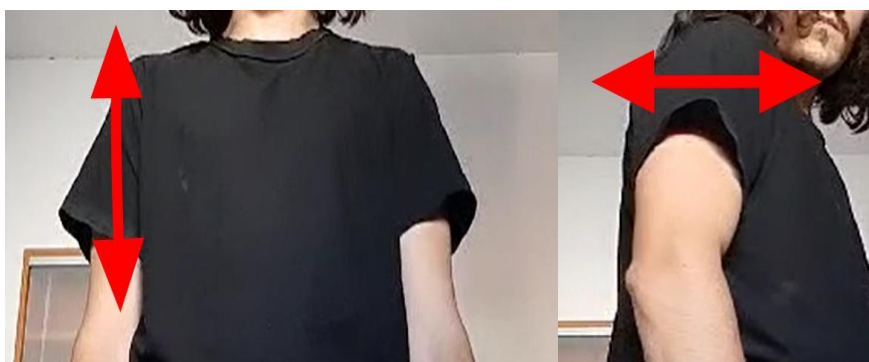
Slika 2. Kretanje u frontalnoj ravnini

U sagitalnoj ravnini isto definiramo prema kretanje udova sa povećavanjem i smanjivanjem kuta od središnje linije. U toj ravnini se kretanja zovu fleksija za povećavanje kuta ili ekstenzija za smanjivanje kuta (Slika 3).



Slika 3. Kretanje u sagitalnoj ravnini

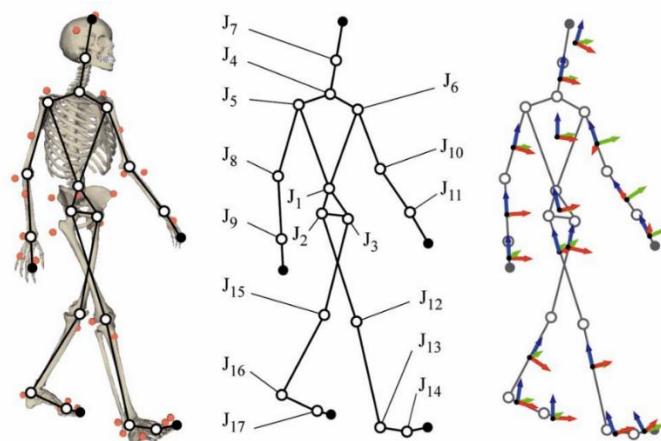
Za ramena su nam bitna elevacija i depresija koji predstavljaju klizanje lopatice gore-dole (Slika 4.a) i protrakcija i retrakcija koji predstavljaju isto ali u sagitalnoj ravnini (Slika 4.b).



Slika 4. a) Elevacija i depresija ramena, b) protrakcija i retrakcija ramena

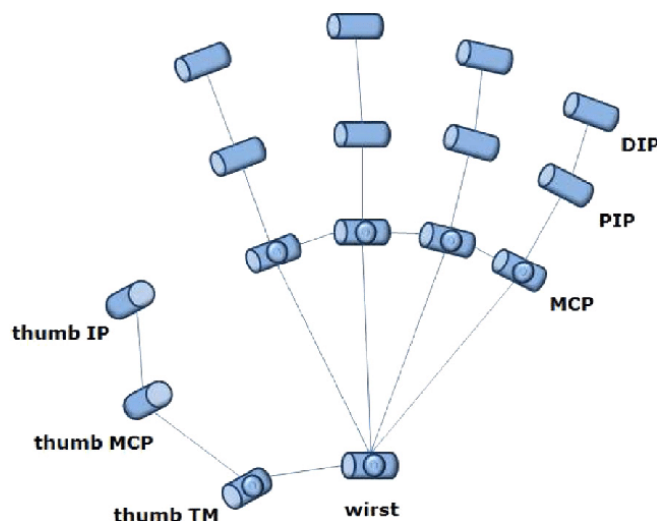
1.2.3. Kinematički model čovjeka

Nakon što su definirana određea kretanja tijela, potrebno je definirati pojednostavljeni model čovjeka. Jedan takav se zove kinematički model čovjeka (Slika 5). Na njemu J1 predstavlja točku na kojoj se nalazi težište čovjeka kada stoji i bitna je za održavanje balansa tokom penjanja.



Slika 5. Kinematički model čovjeka [3]

Pošto je penjanje sport koji je ovisan o prstima na ruci, definirati će se detaljniji kinematički model dlanova (Slika 6). DIP predstavlja dekstralnim interfalangijalni zglob, PIP je kratica za proksimalni interfalangijalni zglob i MCP je kratica metakarpofalangijalni zglob. Vidljivo je iz slike da su stupnjevi slobode u DIP i PIP manji i omogućuju samo fleksiju i ekstenziju dok u MCP prsti se mogu dodatno abducirati i adjucirati.



Slika 6. Kinematički model dlanova [11]

2. Ergonomski aspekti sportskog penjanja

Ergonomija u sportskom penjanju odnosi se na optimizaciju sučelja između penjača i površine za penjanje kako bi se maksimizirale performanse uz minimalan rizik od ozljeda. To uključuje razumijevanje biomehaničkih aspekata rukohvata i položaja hvatišta i kako se služiti opremom, aspekti koji su ključni za penjače kako bi zadržali kontrolu, ravnotežu i učinkovitost na zidu.

2.1. Tehnike pri penjanju

Stav tijela u sportskom penjanju temeljni je aspekt koji izravno utječe na učinkovitost penjača, ravnotežu i cjelokupnu izvedbu na zidu. Za razliku od mnogih sportova, gdje je kretanje relativno linearno, penjanje zahtijeva dinamične i često zamršene položaje tijela za kretanje okomitim i nadvisujućim terenom. Ispravno držanje omogućuje penjačima da uštede energiju, optimiziraju svoj doseg i zadrže kontrolu dok se bore s izazovnim rutama. Bilo da se radi o visenju s prevjesa, balansiranju na sićušnim osloncima za stopala ili izvođenju složenih manevara, razumijevanje i ovladavanje držanjem tijela ključno je za uspjeh u sportu. Kroz stratešku upotrebu položaja tijela, penjači mogu transformirati naizgled nemoguće dijelove uspona u upravljive sekvence, čineći držanje tijela ključnim elementom u njihovoj tehnici i napredovanju. Jedne od najčešće korištenih su:

a. Straight Arm Hang [4]

Pozicija u kojoj penjač visi ispruženih ruku i zategnutim ramenima. Često se smatra i odmarajućom pozicijom radi toga koliko je efikasna u čuvanju snage. (Slika 7.)



Slika 7. Straight arm hang

b. Hip Twist (Flagging) [4]

Jedan kuk je okrenut prema zidu dok je suprotna noga ispružena prema van ili poprijeko radi održavanja ravnoteže. Dobra je za održavanja ravnoteže kada nema dobrih pozicija za osloniti nogu. Primjer tehnike se vidi na slici 8.



Slika 8. Flagging

c. High Step [4]

Penjač podiže jedno stopalo visoko na uporište, često blizu svojih prsa, dok održava ravnotežu rukama. Zahtjeva visoku fleksibilnost od penjača i služi za savladavanje elemenata. (Slika 9.)



Slika 9. High step

d. Drop Knee [4]

Jedno je koljeno spuštено prema unutra prema zidu, rotirajući se preko vrha stopala, zadržavajući oslon. Napredna tehnika kojom se kuk zarotira prema zidu ili stijeni, čime se dobije dodatan doseg ruke uz minimalan utrošak energije.

e. Mantle [4]

Penjač pritišće hvat ili izbočinu rukama dok podiže svoje tijelo prema gore, često prebacujući težinu na stopala. Ova tehnika nije jedinstvena za sportsko penjanje već ju većina ljudi koristi za penjanje preko bilo kakvih višjih prepreka.

f. Side Pull [4]

Penjač se povlači u stranu na rukohvatu držeći svoje tijelo blizu zida. Time se savladaju problemi gdje je većina hvatova na jednoj strani tijela. (Slika 10.)



Slika 10. Side pull

g. Undercling [4]

Penjač se uhvati za hvat s dlanovima okrenutim prema gore, povlačeći prema gore. Postane teška kada je potrebno gurati težinu tijela u noge čiji je balans vrlo težak za održavati. (Slika 12.)



Slika 11. Undercling

h. Stemming [4]

Penjač koristi suprotne zidove ili elemente kako bi pritisnuo stopala i ruke u suprotnim smjerovima. Specifičan element koji je čest na prirodnim stijenama.

i. Heel Hook [4]

Peta je postavljena na uporište iznad razine kukova, sa savijenim koljenom i prstom prema dolje. Time se noga upotrijebi na sličan način kao i ruka, što još više razdijeli težinu tijela na udove. (Slika 12.)



Slika 12. Heel hook

j. Toe Hook [4]

Penjač se nožnim prstom zakači za hvat ili rub, koristeći ga da povuče tijelo bliže zidu. Sličan kao i heel hook no za situacije kada je uporište pre daleko ili maleno za petu.

2.2. Hvatovi i ergonomija šake

Rukohvati i ergonomija ruku vitalne su komponente sportskog penjanja, jer izravno utječu na sposobnost penjača da osigura hvat, održi kontrolu i spriječi ozljede. Raznolika priroda hvatova za penjanje zahtijeva od penjača da prilagode svoje tehnike primanja kako bi odgovarale zahtjevima svakog hvata. Pravilna ergonomija ruku ne samo da povećava snagu i izdržljivost stiska, već i smanjuje rizik od uobičajenih ozljeda pri penjanju kao što su tendonitis i puknuća ligamenata u prstima. Razumijevanje kako učinkovito koristiti različite vrste hvata, uz održavanje neutralnog položaja zapešća i ravnomjernu raspodjelu sile, ključno je za izvedbu i dugoročno zdravlje ruku u penjanju. Savladavanje ovih tehnika omogućuje penjačima da povećaju učinkovitost, smanje naprezanje i sigurnije se penju na širokom rasponu površina i ruta. Dalje će se navesti vrste hvatova i kako se primaju.

2.2.1. Vrste hvatova

- **Jugs:** Veliki hvatovi koji se lako drže. Oni su najergonomičniji, omogućujući da se cijela ruka omota oko hvata, što ravnomjerno raspoređuje opterećenje na prste i dlan (Slika 13.). [5]



Slika 13. Jug

- **Crimps:** Mali hvatovi koja zahtijevaju od penjača da koristi vrhove svojih prstiju. Crimpovi su rizični za početnike i mogu biti stresni za tetive i zglobove prstiju, osobito u položaju "puni crimp", gdje su prsti vrlo napeti (Slika 14.) [5]



Slika 14. Crimp

- **Slopers:** Zaobljeni hvatovi koji zahtijevaju stisak otvorene ruke. Ovi držači zahtijevaju puno trenja između šake i hvata i angažiraju cijelu ruku u manje sigurnu poziciju, što ih čini fizički zahtjevnima i zahtijevaju snažne mišiće podlaktice (Slika 15). [5]



Slika 15. Sloper

- **Pinches:** Ovi hvatovi zahtijevaju da penjač stisne hvat između palca i prstiju. „Pinches“ zahvaćaju i prste i palac, čineći ih učinkovitima za jačanje snage stiska, ali i značajno opterećujući zglob palca (Slika 16.). [5]



Slika 16. Pinch

- **Pockets:** Mali hvatovi koji omogućuju držanje samo s jednim ili dva prsta. Vrlo su ergonomski ako se koriste ispravnom tehnikom (npr. korištenjem "polu-savijenog" ili "otvorenog" držanja), ali mogu uzrokovati ozbiljno naprezanje ako su prsti prisiljeni u neudoban položaj (Slika 17.). [5]



Slika 17. Pocket

- **Volumen:** koristi se kao podloga za ostale hvatove kako bi promjenio nagib hvata ili stvorio dodatni izazov, no na naprednijim smjerovima koriste se i kao sama hvatišta ili uporišta za nogu (Slika 18.). [5]



Slika 18. Volumen

2.2.2. Biomehanika hvatova

- **Open Hand Grip:** Prsti su ispruženi, s dlanom u kontaktu s hvatištem. Ovaj položaj je manje stresan za tetive i zglobove, ravnomjernije raspoređuje snagu, ali zahtijeva snažne mišiće podlaktice i manje je siguran od ostalih hvatova.
- **Half Crimp Grip:** Prsti su blago savijeni, sa savijenim srednjim zglobom. Ovaj položaj uspostavlja ravnotežu između snage i sigurnosti, zahvaćajući tetive za fleksiju prstiju bez njihovog preopterećenja.
- **Full Crimp Grip:** Prsti su potpuno savijeni, a palac je omotan preko kažiprsta. Ovo je naj snažniji, ali i najopasniji položaj zahvata, jer stavlja maksimalan stres na tetive fleksora i zglobove prstiju, povećavajući rizik od ozljeda.
- **Pinch Grip:** Uključuje korištenje palca i prstiju za stiskanje hvata. Ovaj zahvat zahtijeva značajnu snagu palca i ergonomski je izazovan, posebno ako je hvatište široko.

2.3. Snaga u sportkom penjanju

Sportsko penjanje je vježba za cijelo tijelo koja uključuje gotovo sve veće mišićne skupine. Penjači moraju razviti snagu, izdržljivost i koordinaciju među tim mišićnim skupinama kako bi bili učinkoviti i smanjili rizik od ozljeda. Slijedi koje su to mišićne skupine i kako se koriste

2.3.1. Mišići podlaktice

Mišići podlaktice, osobito fleksori i ekstenzori, snažno su angažirani u hvatanju. Ovi mišići kontroliraju prste i dopuštaju penjačima da sigurno hvataju različite hvatove. Najčešće su usko grlo kod penjača i rast volumena podlaktice se korelira sa napretkom penjača.

2.3.2. Mišići dlana i prstiju

Unutarnji mišići šake i tetive fleksora u prstima odgovorni su za finu motoričku kontrolu potrebnu za hvatanje malih zahvata. Oni također pomažu u izvođenju različitih tehnika zahvata, kao što su open hand grip i full crimp. Gdje je podlaktica zaslužna za držanje težine tijela na prstima, mišići u šaci stabiliziraju hvat i kontroliraju finije prilagodbe ovisno o hvatištu.

2.3.3. Trbušni mišići

Uključuje ravne i kose trbušne mišiće i slabinske mišiće u leđima, stabiliziraju tijelo i održavaju ravnotežu tijekom penjanja. Pomažu u držanju penjača blizu zida i generiranju pokreta iz kukova i nogu umjesto da se oslanjaju isključivo na ruke. Gotovo svi pokreti u penjanju imaju koristi od jačih trbušnih mišića i često su podcijenjeni. Najviše su korišteni kada je stijena ili zid pod nagibom.

2.3.4. Mišići ramena i gornjih leđa

Mišići gornjeg dijela leđa kao što su trapezius, romboidi i latissimus dorsi, zajedno s mišićima ramena (deltoidi i rotator), odgovorni su za vučne pokrete i stabilizaciju ramena tijekom penjanja. Osim što su bitna za penjanje imaju bitnu ulogu u sprječavanju ozljeda u ramenima.

2.3.5. Biceps i triceps

Bicepsi su uključeni tijekom pokreta povlačenja, kao što dizanje na hvatište, dok triceps pomaže u pokretima odgurivanja i stabilizaciji ruku kada se tijelo pritišće na zid. Iako nisu primarno korišteni mišići, dio su kinetičkog lanca u rukama i doprinose snazi i izdržljivosti.

2.3.6. Nožni mišići

Kvadriiceps, tetive koljena, listovi i glutealni mišići ključni su za guranje tijela prema gore, osobito tijekom pokreta kao što su high step, heel hook i mantle. Također igraju ulogu u održavanju ravnoteže i tjelesne napetosti. Mišići u nogama su znatno jači i izdržljiviji od ruku tako da je cilj što više težine prebaciti na njih.

2.3.7. Mišići u kukovima

Mišići kuka, uključujući fleksore i abduktore kuka, uključeni su u postavljanje nogu i održavanje položaja tijela. Pokreti kao što su flagging, stemming i drop knee oslanjaju se na snažne, fleksibilne mišiće kuka. Korisni su pri stjecanju dodatnog dosega, no bitnija je fleksibilnost koja otvara vrata mnogim pokretima.

2.4. Oprema

2.4.1. Penjačice














Penjačice ili cipele za penjanje su ključna oprema za penjanje. Glavnu funkciju postižu sa gumenom potkovom koja ostvaruje snažno trenje i omogućuje prianjanje i na najmanje pukotine. Nastoje biti uske za nogu da skupe nožne prste kako bi se mogla prenijeti sva težina na prste no ne smiju biti do te mjere uske da nanose bol kao na primjeru slike 19. [6]



Slika 19. Pozicija nožnih prsti u penjačici [6]

Penjačice dolaze u 3 oblika: neutralne, srednje i agresivne. (Slika 20.)

- **Neutralne** su udobnije sa ravnim i čvršćim gumenim potkovama, manje skupljaju prste, što ih čini ugodnijima i radi veće čvrstoće noga mora manje raditi, no zato je manja osjetljivost u nogama za finije podešavanje, te su preporučene početnicima kako bi im se mišići i ligamenti na nogama prilagodili za nova opterećenja.
- **Srednje** imaju lakši nagib potkove koji nagnje prste prema dole i time postižu oštri rub za bolje prianjanje na stijenama i često znaju biti sa mekanim potkovama.
- **Agresivne** penjačice imaju snažan nagib potkove, jako skupljaju prste i imaju asimetričan oblik. Mekane su što znači da treba imati snažne mišiće u stopalima, no pružaju dobru osjetljivost na stijenama i odlično prianjanje. Često su specijalizirane i razlikuju se po obliku pa ih iskusni penjači koriste. [6]

CLIMBING FIT SYSTEM	FIT ASYMMETRY				MODEL	
	HIGH ASYMMETRY	MEDIUM ASYMMETRY	LOW ASYMMETRY			
PERFORMANCE FIT The models of this line refer to a high performance fit and to a downturned last. 	 				Testarossa Solution Miura VS Miura VS W's Miura W's Speedster Python Cobra	
TECH FIT The models of this line refer to a technical fit and to a last with a neutral profile. 		 	 			TC Pro Katana Lace Katana W's Mythos Mythos W's Arco Nago
COMFORT FIT The models of this line refer to a comfort fit and to a last with more volume and a neutral profile. 			  			
LAST TYPES CODE KEY P = Pointy R = Round L = Large D = Down turned N = Neutral				ASYMMETRY PERCENTAGE 99% = maximum 10% = minimum		

Slika 20. Vrste penjačica [7]

2.4.2. Prašak za penjanje

Prah za penjanje ili „magnezij“ kako ga pojednostavljeno zovu penjači je magnezijev karbonat. Dolazi u obliku praha, cigle ili kreme. Trlja se na ruke kako bi upilo vlagu sa dlanova i omogućili dodatno trenje. Smatra se da magnezij pojačava trenje za 20%.

Dodatni učinak je manja bol u rukama i oštećenje kože. Profesionalni penjači također trljaju ruke sa brus papirom kako bi se zadebljani sloj kože na ruci ravnomjerno i brže stvarao.

Poslije penjanja također treba isprati magnezij sa ruku jer sprječava rast novog sloja kože.

2.4.3. Uže za penjanje

Korišteno je na umjetnim i na pravim stijenama, no zajedničko je da život penjača ovisi o njima, tako da je korisno upoznati se s opremom.

Uže za penjanje je dinamičkog tipa, što znači da je elastično i osmišljeno tako da ublaži pad penjača. Duljina užeta može biti od 30 do 80 metara, no standardna duljina je 60 metara. Također, ako se penje u prirodi, uže mora biti vodonepropusno, jer zamočena ili zaleđena užad gubi na elastičnosti.

Još jedna bitna stvar za spomenuti je kako je označena polovina duljine užeta. Pri penjanju je to bitna informacija jer označava kada bi se penjač trebao početi vraćati, jer ne bude inače imao dovoljno duljine užeta za spust. Oznaka dolazi u obliku oznake ili trakom na užetu, koja može biti teška za uočiti ili prekrivena prljavštinom. Druga opcija je užad sa dvjema uzorcima. Svaka polovica užeta ima ukrojen drugačiji uzorak što ga čini lako za primijetiti i teško za sakriti. Nedostatak je što to više ne vrijedi ako se uže skрати na jednoj strani.

Postoje 3 vrste korištenja užadi. Jednostruko, dvostruko i polovično. [7]

1. Jednostruko

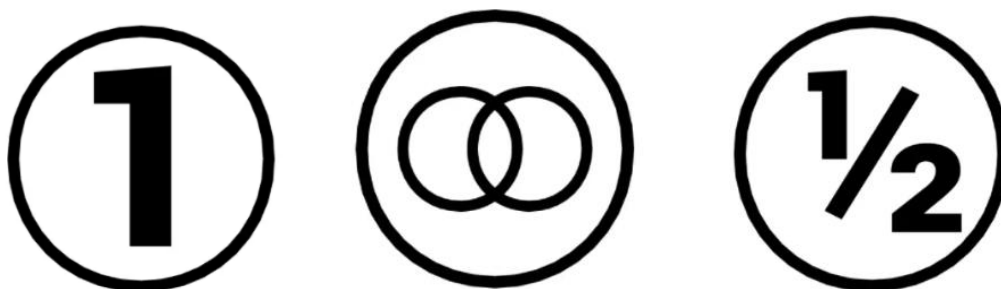
Penjač ima jedno užje koje može nositi težinu penjača u slučaju pada i ono se provlači kroz sve klinove. Najlakše za koristiti i najčešće korišteno. Korišteno za sportsko penjanje. Na slici je simbol za jednostruko užje. Simbol se može vidjeti na slici 21a. [7]

2. Polovično

Pri penjanju se nose 2 užeta koja su oba sposobna uhvatiti težinu čovjeka u slučaju pada. Ideja je da ovisno sa koje strane ga je lakše provući kroz klin će se izabrati užje. Prednost je da smanjuju trenje koje samo užje uzrokuje i oba užeta se mogu koristiti za spuštanje sa stijenje. Također se mogu krajevi 2 užeta zavezati u slučaju ako nisu dovoljno dugačka. Na slici je označen simbol koji označava polovično užje. Njena oznaka se vidi na slici 21.b. [7]

3. Dvostruko

Penjač nosi dva užeta koja zasebno nisu ocjenjena da nose težinu penjača, no koriste se kao jedno užje tako da se provlače oba užeta kroz isti klin. Lakše je od jednog užeta, može se koristiti cijela dužina užeta i sigurnije je u slučaju oštećenja užeta. Kompliciranija su za korištenje od jednostrukog i polovičnog užeta. Oznaka za dvostruko užje se vidi na slici 21.c. [7]



Slika 21. a) Simbol za jednostruko užje, b) Simbol za polovično užje, c) Simbol za dvostruko užje [8]

Promjer

Za jednostruka užad promjer varira. Promjeri su od 9.4 do 10.2 milimetara. U pravilu su deblja užad otpornija na trošenje, no veće težine. Za sportsko penjanje se koriste promjeri od 9.5 do 9.8 milimetara.

Polovična užad ima promjer od 8 do 9 milimetara, a dvostruka od 7 do 8 milimetara.

2.4.4. Pojas

Oprema koja se koristi, ako i uže, za težinsko i brzinsko penjanje. Sastoji se od glavnog remena koji se omata oko tijela i dvije nogavice kroz koje se noge provlače, vidljivo na slici 22.. Kod boga ima i kolut za koji se zakači oprema koja se nosi i između nogavica i glavnog pojasa je kolut koji spaja ta dva dijela i služi za spajanje sprave za osiguranje.



Slika 22. Slika pojasa za penjanje

2.4.5. Sprava za osiguravanje

Kada se penje na uže i ako nije dostupan automatski osiguravatelj, potreban je partner koji će na pojasu biti spojen za penjača preko sprave za osiguranje. Uređaj za osiguranje bitan je dio opreme u penjanju koji se koristi za upravljanje užetom radi sigurnosti penjača. Djeluje kao kočioni mehanizam za kontrolu kretanja užeta, dopuštajući osiguravatelju (osobi koja kontrolira uže) da uhvati pad, spusti penjača ili sigurno zadrži svoj položaj.

Radi tako da uže prolazi kroz uređaj za osiguranje, koji osiguravač koristi za upravljanje opuštenošću i napetosti. Držeći uže na određene načine, osiguravač može dopustiti užetu da se slobodno kreće ili primijeniti trenje da ga uspori ili zaustavi. Također koristi trenje kako bi pojačao prijanjanje užeta. Kada osiguravač povuče uže u određenom smjeru (obično prema dolje), uređaj stvara trenje, što pomaže u zaustavljanju pomicanja užeta. Ovo trenje je ono što osiguravaču omogućuje da uhvati pad ili sigurno spusti penjača. [9]

Postoje tri vrste sprava za osiguravanje:

- **Cjevasta (Slika 23.a)**
- **Sa potpomognutim kočenjem (Slika 23.b)**
- **„osmica“ (Slika 23.c)**

Cjevasta sprava za osiguravanje

To su jednostavne naprave u obliku cijevi ili ploče s prorezima kroz koje se uvlači uže. Osiguravač stvara trenje povlačenjem užeta prema dolje. Nude svestranost i naširoko se koriste za penjanje s jednim i više klinova.

Sprava za osiguravanje sa potpomognutim kočenjem

Ovi uređaji imaju mehanizam koji automatski zaključava uže kada se primijeni iznenadna sila (poput pada). Popularni su za sportsko penjanje i penjanje u zatvorenom prostoru zbog dodatne sigurnosne značajke.

Osmica

Oni su u obliku broja osam i prvenstveno se koriste za spuštanje. Omogućuju manju kontrolu trenja u usporedbi s cijevnim uređajima.



Slika 23. a) Cjevasta sprava za osiguravanje, b) Sprava za osiguravanje sa potpomognutim kočenjem, c) Osmica [9]

2.4.6. Službena skala za označavanje smjerova

Uspion službeno započne kada su obje ruke na označenim hvatištima i nijedan dio tijela nije na podu. Uspješan uspon završi kada obje ruke taknu zadnje hvatište i penjač je u ravnotežnoj poziciji. Svaki smjer ima procijenjenu težinu smjera koja je ocjenjena od penjača koji je prvi savladao smjer i uz suglasje drugih penjača koji prođu isti se stvori koncenzus. Sama težina ovisi o faktorima poput veličina i razmak hvata, visina penjača, vještost sa traženom tehnikom smjera i sposobnostima samog postavljaja smjera, no i o okruženju u kojem se nalaze. Poznato je da je teretana za penjanje „B-pump“ u Tokyu jedna od najtežih na svijetu i smjer iste ocjene tamo i u Zagrebu nisu iste težine. Ocjene su zato kombinacija faktora poput fizičkih zahtjeva smjera, okruženja u kojem se nalazi i subjektivnom doživljaju penjača što je motiviralo određene teretane da stavljaju raspone ocjena za smjerove. Postoji više vrsta ocjenjivanja, a njihova uporaba većinom ovisi o regiji svijeta. Navesti će se najčešće korištene.

a) YGS (Yosemite Decimal System) [10]

Koristi se uglavnom u SADu i služi za ocjenjivanje planinarskih staza i smjerova.

Prva brojka u YGS-u označava nagib uspona. Ocjena ide od 1 do 5 gdje je 1 relativno ravno, a 5 je kamena litica i zahtjeva uže i ostalu opremu. Svi smjerovi u sportskom penjanju su 5. Iza decimalne točke slijedi ocjena uspona i ide od 2-15. Veći broj znači veća težina, no nakon težine 10 se dodaju slova od a,b,c ili d koji označavaju jeli smjer težinom bliže većem ili manjem broju. Dakle 5.11a bi značilo da je težinom bliže 5.10 nego 5.12.

b) Fontaineblu skala (Francuska skala) [10]

Francuska skala ima brojke od 1-9 koje označavaju težinu smjera. Poslije brojke slijedi slovo a, b ili c koje isto kao u YGS dodatno označava težinu. Nakon slova može slijediti „+“ koji označava da primjerice 6a+ može se osjećati kao 6b za neke i 6a za druge, ovisno u kojoj tehnici je penjač vješt.

Usporedba YGS skale i Francuske skale se može vidjeti na slici 24.

SPORTROCK SR CLIMBING SYSTEMS	YDS (Yosemite Decimal System)	FRENCH (a,b,c')
BEGINNER (Perfect for beginners. These climbs will primarily contain jugs but will increase in difficulty of movement.)	5.2	1
	5.3	2
	5.4	3
	5.5	4
	5.6	5a
	5.7	5b
	5.8	5c
INTERMEDIATE (Climb on! These climbs are difficult to define as the holds and movement will vary. It is around here that we see holds get smaller and movement get more interesting.)	5.9	6a
	5.10a	6a+
	5.10b	
	5.10c	6b
	5.10d	6b+
	5.11a	6c
	5.11b	6c+
ADVANCED (Now we're getting there! These climbs require a ton of climbing experience and strength. You will probably only see a handful of crushers on these routes at the gym.)	5.11c	7a
	5.11d	7a+
	5.12a	7b
	5.12b	7b+
	5.12c	7c
	5.12d	7c+
	5.13a	
PRO (This level of climbing is at the cusp of our sport. These climbs will only be found outdoors and at top level comps.)	5.13b	8a
	5.13c	8a+
	5.13d	8b
	5.14a	8b+
	5.14b	8c
	5.14c	8c+
	5.14d	9a
.01%	5.15a	9a+
	5.15b	9b
	5.15c	9b+

Slika 24. Usporedba YGS i Francuske skale [10]

Postoji još i posebna skala za bouldering no funkcioniira slično kao i Francuska. Nije toliko detaljna no pojednostavljuje markiranje smjerova u teretanama i može se vidjeti na slici 25.

SPORTROCK SR CLIMBING SYSTEMS	V-SCALE	FONT. SCALE
BEGINNER	V0	4
	V1	5
	V2	5+
INTERMEDIATE	V3	6A
	V4	6A+
		6B
	V5	6B+
		6C
ADVANCED	V6	6C+
	V7	7A
		7A+
	V8	7B
		7B+
PRO	V9	7C
	V10	7C+
	.01%	V11
V12		8A+
V13		8B
V14		8B+
BURDEN OF DREAMS	V15	9A
	V16	8C+
	V17	9A

Slika 25. Skala na boulderingu [10]

Treba još napomenuti da je težina smjera točna za slučaj kada se savršeno popne, koji se u penjanju zove beta i potencijal penjača da si oteža smjer je velik.

3. Principi uspješnog penjanja

Sportsko penjanje, disciplina koju karakterizira kombinacija fizičkog napora, tehničkih vještina i psihološke otpornosti, zahtijeva višestruki pristup za postizanje uspjeha. Posljednjih se godina sportska znanost sve više usredotočuje na razumijevanje biomehanike, fiziologije i psiholoških strategija koje pridonose učinkovitom penjačkom učinku. Ova sinteza znanstvenih principa pruža penjačima strategije utemeljene na dokazima za poboljšanje njihovih penjačkih sposobnosti. U nastavku će se detaljnije objasniti načela koja podupiru uspješno sportsko penjanje. Sport je također jedinstven po tome što razumijevanje tih principa pomaže u praksi i proprioceptiji.

3.1. Efikasnost kretanja

3.1.1. Kontrola nogu

Iz biomehantičke perspektive, precizan položaj stopala ključan je za smanjenje potrošnje energije. Pažljivim postavljanjem stopala na mala uporišta, penjači mogu maksimalno povećati trenje i stabilnost, smanjujući tako mišićni napor potreban za ravnotežu.

3.1.1.1. Preciznost

Preciznost s kojom penjač postavlja svoja stopala na uporišta je ključna. Precizno postavljanje osigurava maksimalni kontakt površine između cipele i držača, što je bitno za stabilnost i trenje. Preciznim postavljanjem stopala, penjači mogu održavati ravnotežu uz minimalan napor mišića, osobito u nogama, što omogućuje očuvanje energije koje je ključno na dužim rutama i omogućuje penjaču lako prilagođavanje ili zamjene noge na istom uporištu.

3.1.1.2. Proprioceptija

Proprioceptija, sposobnost tijela da osjeti svoj položaj i kretanje u prostoru, ima značajnu ulogu u penjanju. Tih i namjerni položaji stopala znak su dobro razvijene proprioceptije, koja pomaže penjačima da održe ravnotežu čak i na malim ili nezgodnim uporištima. Treniranje proprioceptije poboljšava neuromuskularnu koordinaciju, omogućujući penjačima brzu i točnu prilagodbu položaja stopala dok se penju.

3.1.1.3. *Točna uporaba penjačica*

Kao što je spomenuto, penjačice imaju najdeblju potkovu na prstima i peti. Korištenje ruba cipele (osobito unutarnjeg ruba) na malim držačima povećava efektivnu površinu kontakta. Ova tehnika omogućuje penjačima da angažiraju jake mišiće stopala i potkoljenice, čime se osigurava stabilna baza. Pravilna upotreba ruba ravnomjernije raspoređuje silu po stopalu, smanjujući lokalizirano naprezanje i rizik od ozljeda prekomjernog opterećenja u prstima ili luku.

3.1.2. *Položaj težišta*

Položaj tijela kritičan je aspekt biomehaničke učinkovitosti, koji izravno utječe na ravnotežu, potrošnju energije i učinkovitost pokreta.

3.1.2.1. *Težište tijela*

Održavanje težišta (obično u blizini kukova) blizu zida smanjuje polugu koju stvara tjelesna težina penjača. Ovo minimalizira okretni moment kojem se moraju suprotstaviti mišići gornjeg dijela tijela, posebno ruke i ramena. Održavanjem ovog bliskog položaja, penjači se više oslanjaju na veće mišiće nogu koji su otporniji na umor da izdrže svoju težinu, umjesto da preopterećuju manje mišiće gornjeg dijela tijela. Uvjet za postizanje dobre pozicije tijela je savladavanje navedenim tehnikama i primjenom na točnim mjestima.

3.1.2.2. *Aktivacija kukova i prebacivanje težine*

Većini tehnika je cilj prebaciti težinu i povoljniji položaj. Učinkoviti penjači često pomiču kukove s jedne na drugu stranu ili prema zidu, ovisno o konfiguraciji hvatišta. Ovaj pokret pomaže u ponovnom postavljanju središta gravitacije, održavanju ravnoteže i optimiziranju sile kojom djeluju udovi. Strateško prebacivanje težine, kao što je pomicanje kukova preko uporišta prije pokretanja pokreta, smanjuje silu potrebnu rukama da povuku tijelo prema gore ili bočno. Ova tehnika je osobito važna u rutama s prevjesima gdje su gravitacijske sile veći izazov.

3.1.2.3. *Opuštenost i dinamičko penjanje*

Tečnost pokreta bitno je za održavanje biomehaničke učinkovitosti tijekom penjanja. Uključuje koordinirano djelovanje više mišićnih skupina koje rade zajedno kao dio kinetičkog lanca. Penjanje je aktivnost cijelog tijela gdje radnje donjeg dijela tijela, kore i gornjeg dijela tijela moraju biti usklađene. Učinkoviti penjači angažiraju cijeli svoj kinetički lanac (od nogu preko jezgre do ruku) kako bi proizveli učinkovite i snažne pokrete. Mišići jezgre igraju ključnu ulogu u prijenosu sila s nogu (prilikom odgurivanja od uporišta) na gornji dio tijela (kada se poseže

za hvatovima). Snažna i stabilna jezgra osigurava učinkovit prijenos energije, smanjujući potrebu za kompenzacijskim pokretima koji bi mogli dovesti do neučinkovitosti ili ozljede.

Učinkovito penjanje uključuje glatke prijelaze između hvatova, što smanjuje troškove energije za pokretanje i zaustavljanje pokreta. Ovaj kontinuitet pomaže u održavanju zamaha i smanjuje utjecaj gravitacije tijekom dinamičkih sekvenci. Nagle promjene smjera kretanja zahtijevaju dodatni mišićni napor da se prevlada inercija. Održavanjem ravnomjernog toka, penjači minimiziraju te sile, štedeći energiju i smanjujući umor. Kada je prikladno, penjači mogu iskoristiti zamah u svoju korist. Na primjer, dobro odmjeran dinamičan pokret može koristiti prirodni zamah tijela kako bi se doseglo hvatište na daljinu bez potrebe za punom mišićnom kontrakcijom. Na nekim elementima je to i postavljeni izazov.

Nepotrebni pokreti, poput pretjeranog ljuljanja ili premještanja, povećavaju potrošnju energije. Penjači se trebaju usredotočiti na najizravniji i najučinkovitiji put do sljedećeg hvata, minimizirajući udaljenost i broj potrebnih pokreta. Pretjerana napetost u mišićima, osobito u rukama i ramenima, dovodi do brzog umaranja. Penjači bi trebali težiti opuštanju mišića koji nisu aktivno uključeni u podupiranje tijela ili izvođenje pokreta. Glatki, tečni pokreti biomehanički su učinkovitiji od trzaja ili naglih pokreta. Fluidnost smanjuje inercijske sile koje djeluju na tijelo, što zauzvrat smanjuje trošak energije svakog pokreta.

3.2. Psihologija u penjanju

Osim fizičkih zahtjeva sport prezentira i jedinstvene kognitivne izazove. Na olimpijskim igrama u Parizu 2024. penjači su imali jednu minutu da prouče smjer koji će morati popeti i smisliti strategiju. Razlog tome je što nitko (osim čovjeka koji je postavio smjer) ne zna točno kako savladati smjer. Na penjaču je zato da prije samog penjanja osmisli strategiju. U nastavku će se detaljnije objasniti koji su to psihološki principi penjanja.

3.2.1. Strah i sumnja

Strah od pada uobičajena je psihološka prepreka u penjanju. Učinkoviti penjači upravljaju ovim strahom postupnim izlaganjem padovima, izgradnjom povjerenja u svog osigurača i stjecanjem povjerenja u svoje sigurnosne sustave. S vremenom to smanjuje tjeskobu povezanu s potencijalnim padovima, što omogućuje veću usredotočenost na sam uspon. Kada je penjač obuzet strahom ili sumnjom, može oklijevati, preispitivati se ili činiti pogreške koje mogu dovesti do padova ili neuspjelih pokušaja. Prevladavanje ovih negativnih emocija ključno je za održavanje fokusa i samopouzdanja tijekom penjanja.

3.2.2. Priprema za penjanje

Prije penjanja, uspješni penjači upuštaju se u detaljan vizualni pregled rute, proces poznat kao kognitivno mapiranje. To uključuje mentalno segmentiranje uspona u dijelove, identificiranje potencijalnih izazova, točaka odmora i ključnih hvatova. Konstruirajući mentalnu mapu, penjači se pripremaju za predviđanje pokreta i prijelaza, smanjujući zapinjanja ili neučinkovite poteze. Ovaj proces u velikoj mjeri uključuje radnu memoriju, gdje penjači privremeno manipuliraju informacijama o slijedu rute. Učinkovita kognitivna mapa omogućuje bolje donošenje odluka na zidu, posebice pri susretu sa složenim sekvencama koje zahtijevaju brzu prilagodbu.

Vizualizacija ili motorička slika je tehnika u kojoj penjači mentalno uvježbavaju svoje pokrete prije nego što se stvarno upuste u penjanje. Ova mentalna proba priprema motoričke neurone odgovorne za te pokrete, učinkovito stvarajući neurološki nacrt koji može poboljšati izvršenje. Vizualizirajući ne samo idealan pokret već i potencijalne prepreke (npr. skliski zahvati ili nezgodni položaji tijela), penjači mogu pripremiti strategije za svladavanje tih izazova. Ovo predviđanje smanjuje kognitivno opterećenje tijekom penjanja, omogućujući tečnije i sigurnije pokrete.

3.2.3. Iskustvo

Penjači često koriste heuristiku – jednostavna pravila temeljena na iskustvu – kako bi brzo donijeli odluke o tome kako pristupiti ruti. Ove se heuristike razvijaju tijekom vremena kroz iskustvo i praksu, omogućujući penjačima da brzo procijene najbolji način za korištenje hvata, kada se odmoriti ili kada gurati za dinamičan pokret. U dinamičnom okruženju penjanja, gdje se uvjeti mogu brzo mijenjati (npr. zahvati mogu biti neočekivano mokri ili rute mogu zahtijevati neočekivanu snagu), heuristika omogućuje penjačima da donose učinkovite i učinkovite odluke bez pretjeranog razmišljanja.

3.2.4. Biomehanika penjanja

Do sada su raspravljani fizički i psihički zahtjevi sportskog penjanja, no dalje će se opisati uspon u praksi i analizirati ključne interakcije hvatova na čovjeka i kako pozicije hvatova uvjetuju slijed kretanja.

Također će se koristiti Borg skala za ocjenjivanje napora penjača. Prema Borg CR-10 skali ocjena težine se kreće od 1 do 10, gdje je 1 kretanje bez naprezanja, a 10 maksimalno naprezanje tijela. Sama ocjena je subjektivna i najbolje predstavlja napor kada se uzimaju određeni dijelovi tijela, što su za penjača najčešće mišići u podlaktici ili trbušnim mišićima.

Sam uspon kreće tako da penjač ne smije dirati pod i obje ruke su na hvatovima označeni strelicama. Na slici 26.a se vidi startna pozicija.



Slika 26. a) početak uspona, b) drugi korak uspona

Slijedeći hvat je doseživ rukom no pošto je zarotiran tako da se mora sa desno držati, time uvjetuje i poziciju tijela. Na slici 26.b je prikazan slijedeći korak i vidljivo je da se trup morao izbaciti dalje od hvata da bi se postiglo sigurnije uporište u rukama. Da se spriječi njihanje tijela ispod ruku. Desna noga je izbačena u desno čime se težište prebacilo ispod hvata i iznad lijeve noge.

Na slici 27. je skicirana linija ravnoteže označena zelenom linijom i težišta tijela koje je označeno crvenom točkom. Što je težište bliže liniji između uporišta ruke i noge, to je tijelo više u ravnoteži, čime se i najmanje energije gubi u borbi protiv sila koje penjača pokušavaju izbaciti, najčešće moment sile oko hvatišta. Također kada bi se sa sagitalne ravnine gledalo, bilo bi vidljivo da je linija ravnoteže uz stijenu, što znači da što je tijelo bliže stijeni, to je stabilnije. Linija ravnoteže također ne mora biti linija već područje između točaka gdje tijelo visi sa stijene, tako da mogu maksimalno četiri točaka biti.



Slika 27. Prikaz linije ravnoteže

Dalje će se razmatrati kako sile koje nastaju uslijed penjanja djeluju na tijelo. Kao što je spomenuto, ključna točka je težište tijela i uspješnost uspona ovisi o njenom točnom pozicioniranju. Uzeti će se ista situacija sa slike 26.b i prikazati sa djelovanjem sila na tijelo (Slika 28.). Crvena strelica G predstavlja težinu tijela i cilj penjača je savladati tu silu. Plave strelice zato predstavljaju sile koje se suprotstavljaju težini preko kontakta sa stijenom. Kao što je spomenuto, ruke treba najmanje teretiti tako da lijeva noga gura tijelo tako da se ruke zanjiju oko hvata i time sva težina prebaci na nju. Desna noga pomaže rukama tako da oslanjanjem na zid preko trenja smanjuje svoju težinu i time težinu koja vuče tijelo dolje kao i sa težištem što je objašnjeno u prošlom primjeru.



Slika 28. Djelovanje sila na penjača

Smjer na kojem se penjač na slici 28. penje je prema francuskoj skali težine 4, odnosno početnički smjer i za penjača predstavlja smjer za zagrijavanje. Unatoč težini, smjer nije savršeno popet tako da mu daje prema Borg skali ocjenu 3 koja predstavlja umjereni napor u podlakticama. U drugom pokušaju je penjač znao izazove koji ga čekaju te je buno spretnije savladao smjer sa malim porastom otkucaja srca što bi na Borg skali predstavljalo ocjenu 2.

Slijedeće će se pogledati smjer težine 5b. Na slici 29.a penjač se nalazi u situaciji gdje težište tijela nije u povoljnoj poziciji. Težište bi se moglo prebaciti unutar područja ravnoteže time da se cijelo tijelo okrene prema desno i kao u prijašnjem slučaju slobodna noga ispruži iza tijela. Na slici 29.b se vidi da slobodna noga ne pomaže već otežava uspon. Osim što bi zakretanjem tijela penjač bio u stabilnijoj poziciji, desna ruka bi imala povoljniji položaj. U poziciji na slici osim što vuče tijelo gore, također ga i povlači prema laktu jer kompenzira za lijevu nogu što dodatno umara ruke. Uspon je općenito težak za penjača no sa dodatnim greškama nije uspio savladati smjer. Osim neuspjeha, mišići su nepotrebno dodatno napregnuti i prema Borg skali penjač daje ocjenu 7 što predstavlja vrlo veliki napor, pretežito u desnoj ruci koja je u poziciji na slici krenula drhtati.



Slika 29. a) Linija ravnoteže, b) Prikaz sila na penjača

Slijedeći princip koji će se analizirati je usmjerenje hvatova i kako uvjetuju poziciju penjača. Pošto je cilj što manje ruke teretiti, idealno bi bilo držati hvatove tako da je ruka okomita na njih.. Na slici 30.a se vidi jedan napredniji primjer. Gornji hvat za ruke je okrenut prema gore i uporišta za noge su blizu njega postavljena. Takvo hvatište uvjetuje da ga se mora držati odozdol, što znači da penjač mora iznad njega stajati i tehnika kojom se hvat savlada se zove undercling koji za penjača predstavlja napor na skali od 5, no tehnika je poznata po tome što je

osobito teška za više penjače. Drugi primjer je prikazan na slici 30.b) skiciranim slijedom penjanja smjera sa slike 26. Zelena linija predstavlja putanju težišta, crvene točke prikazuju težište u stabilnim pozicijama, plave crte su hvatišta smjera i narančastim je označen žičani model čovjeka u startnoj i završnoj poziciji. Na slici se može vidjeti korelacija kretanja težišta i pozicije hvatišta, odnosno kako hvatišta uvjetuju kretanje penjača.



Slika 30. a) Primjer kada je hvat okrenut prema dolje, b) Skica penjanja

Što analiza ovih biomehaničkih principa omogućuje je da se mogu predvidjeti izazovi i u slučaju neuspjeha, razlog takvog rezultata i potencijalnu mogućnost ispravka greške. Osim što se ti principi mogu iz daljine proučiti, mogu se i po osjećaju procijeniti. U neravnotežnom položaju tijelo počne drhtati što upućuje na nagli porast naprezanja neprirodan za tu poziciju.

4. Razlozi neuspjeha u penjanju

U sportskom penjanju različiti biomehanički i ergonomske čimbenici mogu pridonijeti neuspješnom penjanju. Ovi neuspjesi često proizlaze iz neučinkovitosti u kretanju, nepravilne tehnike ili fizičkog stresa na tijelo tijekom penjanja. Razumijevanje ovih čimbenika može pomoći penjačima i trenerima da riješe slabosti i smanje vjerojatnost neuspjeha. Evo nekih od najčešćih biomehaničkih razloga i ergonomske stresora za neuspješan uspon:

Ergonomske stresori u penjanju odnose se na fizičke zahtjeve i naprezanja na mišićno-koštani sustav zbog ponavljajućih pokreta, stalnih položaja i prirode aktivnosti visokog intenziteta. Ti uzroci stresa mogu dovesti do akutnih ili kroničnih ozljeda i utjecati na ukupnu izvedbu.

4.1. Ozlijede nastale periodičnim i dugotrajnim stresom

4.1.1. Tetive i ligamenti

Ponavljajuće opterećenje tetiva, osobito u prstima, zapešćima i laktovima, uobičajeno je u penjanju. Tetive kao što su flexor digitorum profundus i superficialis u prstima posebno su ranjive. Ponovljeno hvatanje velikom silom, osobito pri malim zahvatima, može dovesti do tendinopatija, kao što je penjački prst (ozljede kolotura A2 i A3), medijalni epikondilitis (golfarski lakat) i lateralni epikondilitis (teniski lakat). Koloturnice A2 i A3 u prstima sklone su ozljedama zbog prekomjerne sile tijekom stiskanja, koja može premašiti vlačnu čvrstoću ovih struktura. To može rezultirati djelomičnim ili potpunim puknućem ligamenta, što dovodi do smanjene snage stiska i dugog vremena oporavka. Također se opterećuju zglobovi ramena i lakta, osobito tijekom zastoja, dinamičkih pokreta i tehnike mantling. Pretjerana uporaba može dovesti do tendinopatije rotator cuffa, puknuća labruma i degeneracije zgloba lakta (teniski lakat).

Proksimalni interfalangealni (PIP) i distalni interfalangealni (DIP) zglobovi posebno su opterećeni tijekom kontinuiranog hvatanja, što može dovesti do trošenja zglobne hrskavice, osteoartritisa i sinovitisa (upale sinovijalne membrane).

4.1.2. Posturalni stres i stres izazvan pokretima

Penjanje često zahtijeva asimetrično opterećenje udova, pri čemu jedna ruka ili noga podnose više opterećenja od druge. S vremenom to može dovesti do mišićne neravnoteže, stresa zglobova i posturalnih odstupanja. Na primjer, ponovljeni jednostrani pokreti mogu uzrokovati neravnotežu mišića između dominantne i nedominantne strane, povećavajući rizik od ozljeda.

Ravnoteža između dinamičkih (npr. skokovi, dyno) i statičkih (npr. Lock-off, dugog visenja) pokreta utječe na vrstu stresa koji se stavlja na mišiće i zglobove. Statičko opterećenje teži postavljanju većih zahtjeva za vezivna tkiva, dok dinamičko opterećenje može dovesti do iznenadnih, jakih sila koje mogu dovesti do akutnih ozljeda.

Dugotrajni angažman jezgre za održavanje napetosti tijela tijekom prevjesa ili popreka može dovesti do umora i naprezanja donjeg dijela leđa. Nedovoljna čvrstoća jezgre ili nepravilna tehnika mogu pogoršati lumbalni stres, potencijalno dovodeći do stanja kao što su lumbalno istegnuće ili diskus hernija.

Stalno gledanje prema gore tijekom penjanja, u kombinaciji s velikim zahtjevima za stabilizatore ramena, može uzrokovati napetost u vratu i ramenima. Kronična prekomjerna uporaba može rezultirati istegnućem trapeziusa, problemima s vratnom kralježnicom ili sindromom sudara u ramenima.

4.1.3. Okoliš i oprema

Penjanje u hladnim okruženjima može uzrokovati smanjenu pokretljivost zglobova i ukočenost mišića, povećavajući vjerojatnost ozljeda od istegnuća. Niske temperature također smanjuju dotok krvi u ekstremitete, što može oslabiti snagu stiska i spretnost.

Visoka vlažnost može uzrokovati nakupljanje znoja na rukama, smanjujući trenje između kože i hvatišta, što može dovesti do povećane sile stiska i bržeg zamaranja mišića.

Cipele za penjanje, iako dizajnirane za poboljšanje performansi, također mogu biti izvor ergonomske stresa. Uske cipele mogu stisnuti prste i metatarzalne kosti, što dovodi do stanja poput metatarzalgije ili čukljeva. Dugotrajna uporaba tijesnih cipela također može pogoršati umor stopala i grčeve.

Vrpce za prste često se koriste za zaštitu ozlijeđenih tetiva ili za pružanje dodatne potpore tijekom penjanja. Međutim, prekomjerno omatanje može ograničiti kretanje zglobova i promijeniti propriocepciju, potencijalno dovodeći do kompenzacijskog stresa na drugim dijelovima šake ili podlaktice.

4.2. Umor i preopterećenje

Umor mišića i preopterećenje kritični su čimbenici koji utječu na sposobnost penjača da radi na visokim razinama, osobito na zahtjevnim rutama.

4.2.1. *Metabolički umor*

Kako se penjanje nastavlja, zalihe mišićnog glikogena se troše. Glikogen je primarni izvor goriva za trajne kontrakcije mišića. Nakon što se potroše, mišići se moraju oslanjati na manje učinkovite energetske putove, što rezultira smanjenom izlaznom snagom i bržim pojavom umora. Tijekom kontinuiranog penjanja ili penjanja visokog intenziteta, mišići se oslanjaju na anaerobnu glikolizu, što dovodi do nakupljanja mliječne kiseline. Ova akumulacija snižava pH razine unutar mišićnih vlakana, inhibirajući enzimsku aktivnost bitnu za proizvodnju ATP-a i na kraju smanjujući sposobnost mišića da se učinkovito kontrahiraju.

4.2.2. *Neuromuskulatorni umor*

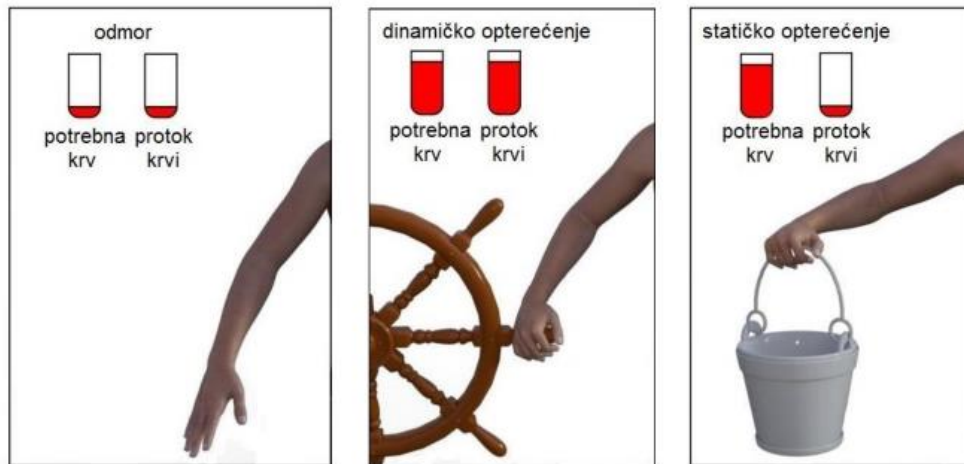
To uključuje smanjenu sposobnost središnjeg živčanog sustava (CNS) da šalje jake signale mišićima. Centralni umor mogu pogoršati psihološki čimbenici, stres i dugotrajna mentalna koncentracija potrebna tijekom složenih uspona. Kako se središnji živčani sustav zamara, dolazi do smanjenja regrutiranja motornih jedinica, što dovodi do slabije kontrakcije mišića.

Periferni umor javlja se na razini samih mišića, gdje ponavljajuće aktiviranje motoričkih neurona može dovesti do smanjenja dostupnosti neurotransmitera na neuromuskularnom spoju, smanjujući odgovor mišića. Dodatno, ionska neravnoteža (kao što su kalcij i kalij) može utjecati na ekscitabilnost mišićnih vlakana, pridonoseći smanjenoj izvedbi.

4.2.3. *Nateknuće podlaktice*

Nateknuće podlaktice jedan je od najčešćih problema s kojima se penjači suočavaju. Nastaje zbog kontinuirane kontrakcije mišića pregibača podlaktice (flexor digitorum superficialis i profundus) potrebnih za hvatanje zahvata. Trajna kontrakcija ometa protok krvi, što dovodi do ishemije i nakupljanja metaboličkih nusproizvoda, koji povećavaju percepciju umora i smanjuju snagu stiska. Intenzivne, trajne kontrakcije također povećavaju intramuskularni tlak i nakupljanje metabolita. To dodatno povećava otpor krvožilnog sustava i ograničava dovod kisika i uklanjanje otpadnih tvari, povećavajući umor i to nakupljanje je što dovodi do povećavanja volumena podlaktice. Razlog takvog nakupljanja je što u penjanju mišići su uglavnom statički opterećeni čime je i protok krvi oslabljen.

Na slici 31. je prikazana razlika između statičkog i dinamičkog naprezanja.



Slika 31. Vrste opterećenja mišića [2]

5. Prevencija ozljeda

5.1. Zagrijavanje

Učinkovite rutine zagrijavanja ključne su za pripremu mišićno-koštanog sustava za fizičke zahtjeve penjanja. Zagrijavanje treba započeti općim aerobnim aktivnostima, poput trčanja ili vožnje bicikla, koje ubrzavaju rad srca i povećavaju temperaturu mišića. Nakon toga slijedi dinamičko istezanje, koje uključuje kontrolirane pokrete kroz raspon pokreta koji oponašaju akcije penjanja. Dinamička istezanja, poput kruženje rukama, zamaha nogama i rotacije trupa, povećavaju pokretljivost zglobova i elastičnost mišića, što može smanjiti rizik od istegnuća i uganuća tijekom penjanja.

Treba uključiti i specifične vježbe zagrijavanja vezane uz penjanje. To uključuje lagano penjanje na lakim rutama za aktiviranje mišića i zglobova specifičnih za penjanje, kao što su prsti, zapešća, laktovi, ramena i noge. Ovaj postupni angažman penjačke muskulature omogućuje tijelu prilagodbu stresu u sportu, smanjujući vjerojatnost akutnih ozljeda.

5.2. Vježbanje

Programi snage i kondicije za penjače trebaju biti prilagođeni jedinstvenim zahtjevima sporta. Snaga jezgre je najvažnija jer pruža stabilnost i podržava učinkovito kretanje po zidu. Vježbe kao što su „daske“, podizanje nogu i vježbe rotacije jezgre jačaju trbušne i ravne trbušne mišiće (oblique), poboljšavajući sposobnost penjača da održi ravnotežu i kontrolu tijekom složenih manevara.

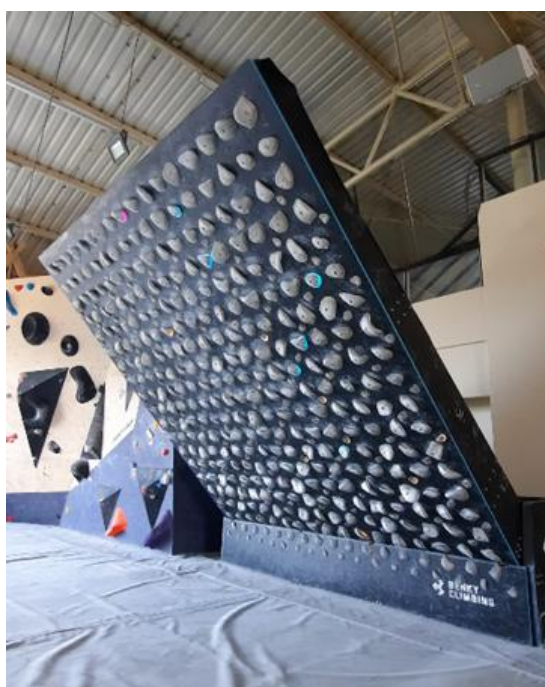
Snaga prstiju i stiska he često usko grlo za penjače. Vježbanje prstiju na specijaliziranoj dasci za prste (Slika 32.), kada se izvodi progresivno i s oprezom, može povećati snagu tetiva prstiju, što je ključno za sigurno hvatanje. Međutim, pretreniranost u ovom području treba izbjegavati, jer može dovesti do ozljeda prenaprežanja kao što su tendinitis ili puknuća ligamenata.



Slika 32. Primjer daske za vježbanje prstiju

Kako bi se uspostavila protuteža mišićima koji se pretežno koriste u penjanju, bitno je uključiti antagonistički trening u penjačev režim. Na primjer, sklekovi, obrnuto savijanje zapešća i vježbe vanjske rotacije ramena jačaju suprotne mišićne skupine, potičući mišićnu ravnotežu i smanjujući rizik od ozljeda zbog prenaprezanja.

Napretkom treninga treba pažljivo upravljati kako bi se penjačevom tijelu omogućilo prilagođavanje rastućim zahtjevima. Iznenadna povećanja intenziteta penjanja, volumena ili težine mogu nadvladati sposobnosti prilagođavanja tijela, što dovodi do ozljeda zbog prenaprezanja. Postupno povećanje opterećenja pri treningu omogućuje mišićno-koštanom sustavu jačanje i prilagodbu bez nepotrebnog stresa. Jedno od popularnih sprava za takvo penjanje je kilter zid za penjanje koji se vidi na slici 33.



Slika 33. Kilter zid

Odmor je bitna komponenta prevencije ozljeda za bilo koji sport, jer omogućuje tijelu da se oporavi od fizičkog stresa penjanja. Treba se pridržavati planiranih dana odmora, osobito nakon intenzivnih sesija penjanja. Aktivni oporavak, koji uključuje aktivnosti s malim opterećenjem poput joge, plivanja ili vožnje bicikla, može olakšati oporavak mišića promicanjem cirkulacije bez dodatnog naprezanja.

Penjanje je također i socijalan sport. Stalna edukacija i usavršavanje tehnike ključni su za prevenciju ozljeda, a najučinkovitije metode su redoviti treninzi s partnerom penjanja koji mogu pružiti vrijedne povratne informacije o tehnici ili snimiti samo penjanje, pomažući penjačima da isprave neučinkovite ili nesigurne prakse koje sa poznavanjem sporta može prepoznati.

ZAKLJUČAK

Prevenција ozljeda u sportskom penjanju složen je proces koji zahtijeva kombinaciju fizičke i mentalne pripreme, tehničkih vještina i pravilne uporabe opreme. Dinamična priroda sportskog penjanja, sa svojim fizičkim zahtjevima za različite mišićne skupine, zglobove i tetive, čini penjače posebno ranjivim na ozljede ako se preventivne mjere ne provode učinkovito.

Pravilan položaj tijela, učinkovito kretanje i promišljena upotreba različitih hvatova poboljšavaju iskustvo penjanja. Usavršavanje tehnike i redovito vježbanje pomažu penjačima da postignu tečne, energetske učinkovite pokrete koji smanjuju rizik od umora i lošeg donošenja odluka tijekom uspona.

Osim toga, ne može se precijeniti ispravno korištenje i održavanje opreme. Cipele za penjanje koje dobro pristaju, siguran pojas, odgovarajuće brze zatege i dinamična užad ključni su za sigurnost i izvedbu. Osiguravanje cjelovitosti i ispravnost opreme smanjuje rizik od padova i nesreća, koji značajno pridonose ozljedama tijekom penjanja. A u slučaju težinskog penjanja i smrt.

Penjanje zahtijeva i mentalnu usredotočenost, osobito u težinskom penjanju, gdje strah od pada i upravljanje psihološkim stresom mogu utjecati na izvedbu. Koncentriranjem tokom penjanja, gdje penjači ostaju svjesni signala i ograničenja svog tijela, igra ključnu ulogu u izbjegavanju akutnih ozljeda i ozljeda od prekomjernog opterećenja. Rješavanje ranih znakova umora ili nelagode može spriječiti razvoj ozbiljnijih dugoročnih problema.

Iz biomehaničke analize penjanja se vidjelo kako loše pozicioniranje težišta utječe na penjača i samim razumijevanjem mehanika iza održavanja ravnoteže na zidu daje penjaču uvid u predviđanju problema tokom uspona ili ispravljanja potencijalnih grešaka.

Za kraj je bitna dobro strukturirana rutina zagrijavanja, koja uključuje opću aerobnu aktivnost i dinamička istezanja specifična za penjanje, ključna je za pripremu tijela za jedinstvene stresove penjanja. Povećava fleksibilnost i pokretljivost zglobova dok istovremeno smanjuje vjerojatnost akutnih ozljeda, poput istegnuća ili uganuća, tijekom intenzivnih sesija penjanja. Programi snage i kondicije bitni su za razvoj fizičkih kapaciteta potrebnih za penjanje. Snaga jezgre, snaga prstiju i stiska te trening antagonističkih mišića bitni su za poboljšanje performansi uz sprječavanje ozljeda od prenaprezanja. Ovi protokoli treninga osiguravaju da penjači imaju mišićnu izdržljivost i ravnotežu potrebnu za sigurno kretanje po zidu, smanjujući nepotrebno opterećenje ranjivih zglobova, tetiva i ligamenata.

LITERATURA

- [1] Službena stranica Olimpijade, <https://olympics.com/en/paris-2024/sports/sport-climbing> (Pristupljeno: 1.9.2024.)
- [2] Snježana Kirin, *Uvod u Ergonomiju*, Veleučilište u Karlovcu, 2019.
- [3] *Žičani model ljudskog tijela*, https://www.researchgate.net/figure/Kinematic-model-of-human-body_fig14_338257885 (Pristupljeno: 1.9.2024.)
- [4] *A Comprehensive Guide to Climbing Technique*, <https://gripped.com/indoor-climbing/a-comprehensive-guide-to-climbing-technique/> (Pristupljeno: 4.9.2024.)
- [5] *Understanding Climbing Holds and how to hold them*, <https://gubbies.com/blogs/news-and-blog-posts-about-climbing/types-of-climbing-holds-and-how-to-hold-them> (Pristupljeno; 4.9.2024.)
- [6] Rendgenska slika stopala u penjačicama, <https://www.pinterest.com/pin/interesting-what-our-feet-look-in-our-beloved-climbing-shoes--331859066274682751/> (Pristupljeno 6.9.2024.)
- [7] *How to Choose a Climbing Shoe: Everything You Need to Know*, <https://www.cruxrange.com/blog/how-to-choose-climbing-shoe/> (Pristupljeno: 6.9.2024.)
- [8] *The Ultimate Guide to Climbing Ropes*, <https://www.theclimbingguy.com/ultimate-guide-climbing-ropes/>
- [9] Belay Devices: How to Pick the Right One (2024. Guide), <https://climbinghouse.com/belay-devices-guide/> (Pristupljeno 6.9.2024.)
- [10] Understanding Climbing Grades – Sportrock Climbing, <https://www.sportrock.com/post/understanding-climbing-grades> (Pristupljeno 6.9.2024.)
- [11] Simplified kinematic model of the human hand., https://www.researchgate.net/figure/Simplified-kinematic-model-of-the-human-hand_fig11_312022375 (Pristupljeno: 2.9.2024.)