



Atletske discipline sprinta nakon amputacije donjeg ekstremiteta

¹ Dora Grgić

¹ Dalibor Kiseljak

^{1,2} Ivan Ugarković

^{1,3} Nikolino Žura

¹ Zdravstveno veleučilište Zagreb

² Ottobock Adria

³ Klinički bolnički centar Zagreb

u kompleksnost ovog područja, uzimajući u obzir razna istraživanja na području atletike, sporta nakon amputacije, biomehanike i rehabilitacije osoba s amputacijom.

Sažetak

Atletske discipline sprinta nakon amputacije donjeg ekstremiteta osim specifičnoga trenažnog procesa i razvoja brojnih sprinterskih motoričkih sposobnosti zahtijevaju i dodatan fokus na protetičku fazu i rehabilitaciju nakon amputacije. U radu su prikazane biomehaničke promjene i prilagodbe sportaša pri trčanju nakon amputacije donjeg ekstremiteta, protetička faza, specifičnosti sporta i trenažni proces. Naglasak je stavljen i na problematiku s kojom se sportaši susreću nakon amputacije, poput raznih kompenzacijskih odgovora tijela te poteškoća integracije proteze kao stranog tijela u svakodnevni sportski život. Posebno se ističe važnost fizioterapeuta u multidisciplinarnom pristupu ovoj problematici. S obzirom na to da je tijelo svake osobe jedinstveno, pri rehabilitaciji i treningu nakon amputacije treba pristupiti svakom sportašu potpuno individualiziranim pristupom. Tu veliku sigurnost pruža dobro napravljena fizioterapijska procjena, usmjerena ne samo na skup objektivnih testova nego kroz cjeloviti biopsihosocijalni pristup. Rad pruža uvid

Ključne riječi: protetika, fizioterapija, biomehanika, atletika, sport

Datum primitka: 3.10.2023.

Datum prihvatanja: 1.11.2023.

<https://doi.org/10.24141/1/9/2/4>

Autor za dopisivanje:

Dalibor Kiseljak

A: Zdravstveno veleučilište, Mlinarska cesta 38, Zagreb

T: +385 1 549 57 36

E-pošta: dalibor.kiseljak@zvu.hr

Uvod

Amputacija je odstranjivanje cijelog ekstremiteta ili dijela ekstremiteta odstranjivanjem kosti ili zglobova.¹ Operaciju amputacije ekstremiteta treba uvijek promatrati kao rekonstruktivnu kirurgiju, s idejom da će amputirani ekstremitet pružiti manje boli i bolju funkciju. U ciljeve operacije amputacije treba uključiti: eliminiranje bolesna ili zaražena tkiva, osposobljenje rezidualnog ekstremiteta koji će biti koristan za protetičku funkciju, pokrivanje ostatka ekstremiteta i kosti mekim tkivom pune debljine uključujući mišiće i fasciju, sužavanje krajeva kosti bez oštih ili grubih rubova, osiguravanje cilindrično oblikovanog ostatka ekstremiteta koji omogućuje bolje pristajanje proteze nego stožasto oblikovan ekstremitet, primarno cijeljenje rane unutar tri do pet tjedana, kontroliranje poslijeoperacijskog edema, nježno rukovanje i povlačenje živaca u bataljak, očuvanje duljine koja će se prilagoditi suvremenoj protetici te poslijeoperacijsku kontrolu boli.²

Najčešći su uzroci koji dovode do amputacije *diabetes melitus*, periferna vaskularna bolest, neuropatija i trauma. Razina amputacije ovisit će o održivosti mekih tkiva koja se upotrebljavaju za dobivanje koštane pokrivenosti. Indikacije za amputaciju povezane su sa stupnjem nekroze ili vitalnosti tkiva, a izvodi se jednokratno ili etapno (amputacija nakon koje slijedi rekonstrukcija). Odluka o bilo kojem pristupu uvelike ovisi o kliničkom statusu pacijenta i kvaliteti mekih tkiva na željenoj razini amputacije s primarnim ciljem amputiranja nefunkcionalnog i inficiranog tkiva. Općenito, kvaliteta mekog tkiva i sposobnost da se postigne pokrivenost kostiju vodit će do primjerenosti razine amputacije. Važno je napomenuti da su transplantacije kože prihvatljiva opcija za pacijente kod kojih je moguća odgovarajuća mišićna pokrivenost, a nije moguća pokrivenost kožom.

Razine su amputacije od proksimalnog prema distalnom: dezartikulacija kuka ili zdjelice ili hemipelvatomija, transfemoralna amputacija, dezartikulacija u razini koljena, transtibijalna amputacija, amputacija u razini gležnja po Symeu (uklanjanje svih kostiju stopala uz očuvanje petnog tkiva za prijenos mase) ili Pyrigoffu (resekcija talusa i koštana fuzija *tibije* i *calcaneusa*), parcijalna amputacija stopala po Lisfrancu (dezartikulacija na tarzometatarzalnoj razini)³ ili Chopartu (dezartikulacija na talonavikularnoj i kalkaneokuboidnoj razini)³ te amputacije nožnih prstiju⁴.

Proteze donjih ekstremiteta

Proteza je ortopedsko pomagalo kojom se nadomješta dio tijela izgubljen zbog traume, bolesti ili urođenog stanja. Komponente proteze ovise o dijelu tijela koji zamjenjuju. Osnovni su dijelovi proteze donjeg ekstremiteta: ležište, zglobovi (kuk, koljeno, stopalo); od dodatne opreme silikonski *lineri* ili meki ulošci, adapteri, čarape i specijalizirane komponente. Ležište povezuje ostatak ekstremiteta s protezom i temelj je protetičke opskrbe. Pravilna suspenzija ključna je kako bi se osiguralo udobno i dobro funkcioniranje. Budući da ne postoje dva ista ekstremiteta, ležišta su individualno dizajnirana i izrađena kako bi odgovarala obliku ekstremiteta te kako bi se prilagodila obliku bataljka i karakteristikama kože. Ovisno o razini amputacije, proteza može ili ne mora imati koljeno. Protetsko koljeno oponaša funkciju biološkog koljena pružajući sigurnost, simetriju i glatko kretanje pri hodu. Također pruža stabilnost pri stajanju i raspon pokreta koji omogućuje sjedenje i klečanje. Protetsko stopalo oponaša funkciju biološkog stopala pružajući sigurnu bazu oslonca, svladavajući razlike u terenu i dopuštajući pojedincu da hoda na prirodan, simetričan način. Stopalo je glavna protetička komponenta odgovorna za apsorpciju sile uzrokovane udarcem o tlo. Protetička stopala dostupna su u širokom rasponu kako bi odražavala životni stil i individualne zahtjeve. Protetska komponenta koja povezuje glavne komponente, kao što su ležište, koljeno i stopalo, naziva se adapterom. Adapteri mogu varirati od komponenti kao što je jednostavna cijev (koja se naziva pilon) do potisnog ventila u vakuumskom sustavu. Silikonski uložak ili uložak od gela služi kao zaštitna barijera između kože i ležišta. Budući da je ležište temelj za učinkovito funkcioniranje proteze, iznimno je važno odabrati adekvatnu vrstu suspenzije.⁵

Postoje dva glavna načina kojima se ostvaruje suspenzija bataljka u ležištu:

- ▶ *liner*, bravica i pin
- ▶ vakuumski tip ležišta i/ili meki uložak.

Kozmetičke komponente su obloge izrađene od materijala poput silikona ili PVC-a. Imaju svrhu oponašati izgled biološkog uda, što može biti upotpunjeno pjegicama, venama, dlakama ili čak tetovažama. Također služe za zaštitu protetske komponente od vanjskih utjecaja. Neke su vrste kozmetičkih navlaka unaprijed izrađene, ali za doista realističan izgled mora ih dizajnirati i izraditi pro-

tetičar koji je specijaliziran za ovaj aspekt protetike. Upotreba kozmetičkih navlaka osobni je izbor te kod odluke treba odvagati prednosti izgleda naspram dodatnih troškova i mogućih utjecaja na funkcionalnost u nošenju. Protetska tehnologija daleko je napredovala kako bi pružila što veću mobilnost korisnicima. Neke od najnaprednijih protetika nazivamo bioničkim pomagalima. Ta pomagala imaju ugrađena mikroprocesore i razne senzore kojima se pomagalo prilagođava promjenama terena te se u stvarnom vremenu prilagođava brzini i stilu hoda. Dok se ista proteza može koristiti za niz aktivnosti, kao što su planinarenje, trčanje i tuširanje, druge aktivnosti, kao što su sprint, trčanje na duge staze i plivanje, zahtijevaju specijaliziranu protezu.⁵

Vrste proteza za trčanje

Stopala za trčanje napredna su vrsta proteze koje upotrebljavaju sportaši nakon amputacije donjeg ekstremiteta. Načelo je trčanja s ovom vrstom proteza pohranjivanje kinetičke energije iz korisnikovih koraka u oblik potencijalne energije, s pomoću opruge, dopuštajući korisniku da trči i skače.⁶ Prvi opisan protetski nadomjestak nazvan *Flex-Foot Cheetah*, istražujući kretanje geparda, 70-ih godina 20. stoljeća razvio je biomedicinski inženjer Van Phillips, koji je i sam izgubio nogu ispod koljena u dobi od 21 godine.⁷ *Cheetah* oštrica današnjice prvi je put lansirana 1996., po uzoru na Van Phillipsovu protezu iz 70-ih godina. Moderna stopala za trčanje izrađena su od 100 % karbonskih vlakana. Slojevi karbonskih vlakana strukturirani su na specifičan način kako bi odgovarali potrebama korisnika (visina, masa, dužina stopala, razina amputacije), a sva snaga sportskog stopala dolazi od spomenutih višestrukih slojeva karbonskih vlakana. Proizvodnja je računalno kontrolirana kako bi se osiguralo da svako izrađeno sportsko stopalo odgovara točnim specifikacijama.⁸ Ova je vrsta stopala komprimirana tjelesnom masom i vraća se u svoj izvorni oblik pri odguravanju od tla. Rezultat je ove kompresije i dekompresije stopala oslobađanje energije pri odguravanju, što omogućuje učinkovitije trčanje minimiziranjem količine energije koju treba potrošiti. Sportska stopala mogu biti u obliku slova C ili J, ovisno o vrsti trčanja, a mogu se razlikovati i ovisno o tome jesu li pričvršćena izravno na ležište ili ispod ležišta. Sprinterske proteze uglavnom se pričvršćuju na ležište, dok se proteze za duže trčanje obično pričvršćuju ispod ležišta. Sportska stopala u obliku slova C češće se upotrebljavaju kod rekreativnog bavljenja sportom, dok sportska stopala u J obliku češće upotrebljavaju profesionalni sportaši, trkači. Razlog tome je brža i jača sila reakcije

na podlogu, što rezultira postizanjem veće brzine. Oblik sportskih stopala ovisi prvenstveno o razini amputacije te njihovoj namjeni.⁹

Vrste umjetnog koljena za bavljenje sportom

Za osobe s natkoljenom amputacijom postoje dvije mogućnosti:

- ▶ ravni pilon – isključena je komponenta koljena, što rezultira upotrebom kompenzacija kao što je cirkumdukcija (zamah nogu u stranu) kako bi se napravio korak naprijed i dugoročno može rezultirati ozljedama
- ▶ komponenta koljena – omogućuje prirodniju fazu zamaha u hodu i može stvoriti simetričniju formu trčanja.⁹

Ključni je aspekt trkačkog koljena niska razina otpora ili trenja, što omogućuje brz zamah nogom kako bi se korak uskladio s velikom brzinom trčanja. Optimalna metoda suspenzija za trčanje jest vakuumsko ležite jer pruža najbliže prijanjanje za preostali ekstremitet, osiguravajući malo pomicanja unutar ležišta. Uz to, vakuum osigurava povećanu propriocepciju, odnosno osjećaj položaja u ležištu, što može rezultirati boljom izvedbom. Neke su od preostalih mogućnosti upotreba mekog uloška i vakuuma ili sustav zaključavanja sa siličonskim *linerom*, bravicom i pinom.⁹

Čvrstoća sportskih stopala

Mehanička krutost proteza specifičnih za trčanje vjerojatno utječe na funkcionalne sposobnosti sportaša s amputacijama nogu. Istraživanje Becka i suradnika iz 2016. procjenjivalo je protetičku čvrstoću, krutost i histerezu preko širokog raspona modela, kategorija čvrstoće i visina, pri silama i kutovima koji simuliraju one koje pokazuju sportaši s transtibijalnom amputacijom trčeći brzinom od 3 m/s i 6 m/s. Otkriveno je da su profili sila-pomak proteze specifične za trčanje linijski zakrivljeni, što ukazuje da čvrstoća proteze varira s veličinom primijenjene sile. Također je otkriveno da se čvrstoća proteze koju preporučuje proizvođač razlikuje od modela do modela i da je visina proteze za trčanje u obliku slova J obrnuto proporcionalna čvrstoći. Štoviše, pruženi su dokazi da je čvrstoća proteze puno veća pri 0° nego pod kutovima reprezentativnima za one koji se javljaju tijekom trčanja. Kada sportaši s amputacijom nogu mijenjaju protetske modele, visinu i/ili poravnanje sagitalne ravnine, krutost proteze također se

mijenja; stoga varijacije u udobnosti, performansama itd. mogu biti neizravno uzrokovane promijenjenom čvrstoćom. Predloženo je da se protetička čvrstoća procjenjuje u uvjetima koji simuliraju zahtjeve određene aktivnosti te da bi proizvođač trebao osigurati vrijednosti čvrstoće svake proteze specifične za trčanje na određenim visinama.¹⁰

Biomehaničke usporedbe

Usporedba s uobičajenim trčanjem

Pri trčanju prosječnog sportaša miškulatura, uključujući kvadriceps, mišiće potkoljenice te ostale mišiće koljena i gležnjeva, apsorbira mnogo energije koja se stvara svaki put pri spajanju stopala s tlom. Krivulja sportskog stopala savija se pri udaru o tlo te skladišti energiju i upija visoku razinu stresa koju bi u protivnom apsorbirala osoba, točnije koljeno, kuk i donji dio leđa. Pri uobičajenom trčanju pokazalo se da stopalo i noga vraćaju 241 % svoje energije, dok je procijenjena snaga proteze za trčanje 1/3 zdravog gležnja te vraća približno 90 % energije pri trčanju.¹¹ Sportaši troše metaboličku energiju izravno proporcionalno sili ekstenzora nogu tijekom svakog koraka u trčanju. Tijekom trčanja aktivni mišići ispušaju nogu moraju generirati silu i suprotstaviti se odgovarajućem vanjskom momentu zglobova noge. Veći vanjski momenti nogu i zglobova zahtijevaju povećani volumen aktivnih mišića, uključujući više adenozin trifosfata (ATP) – koristeći cikluse križnih mostova aktina i miozina. Za razliku od bioloških nogu, proteze specifične za trčanje ne sadrže mišiće, stoga se pasivno suprotstavljaju sili reakcije podloge, protetičkom momentu zglobova. Mišići koji okružuju gležanjski zglob osoba bez amputacije proizvode 24 J neto pozitivnog mehaničkog rada tijekom kontakta s tlom dok trče 4,8 ± 0,5 m/s. Nadalje, proteze za trčanje funkcioniraju kao visokoelastične opruge, što ukazuje da se dio njihove pohranjene elastične energije rasipa kao toplina i ne pretvara u gravitacijsku i kinetičku energiju. Kao takva, proteza za trčanje daje oko -3 J neto rada zbog raspršene mehaničke energije tijekom svakog kontakta s tlom pri trčanju. Dakle, da bi se zadržala slična kinematika koraka, preostali mišići noge zahvaćene amputacijom teoretski moraju proizvesti dodatnih 27 J kada se upo-

trebljava proteza za trčanje u usporedbi s nezahvaćenim donjim ekstremitetom. Predviđeno je da dodatni volumen mišića koji se aktivira iz mišića koji okružuju zglob kuka zahvaćene noge mora proizvoditi dodatnih 27 J po kontaktu s tlom.¹²

Istraživanje iz 2017. koje su proveli Beck i Grabowski pokazalo je da najbrži sportaši mogu postići brzinu trčanja veću od 12 m/s tijekom natjecanja na stazi. Brzina trčanja jednaka je umnošku duljine koraka i učestalosti koraka. Ljudi povećavaju duljinu koraka daljnjim, horizontalnim putem koji prelazi njihov centar mase tijekom kontakta s tlom i/ili primjenom veće prosječne okomite sile na tlo u odnosu na tjelesnu masu. Učestalost koraka poboljšava se smanjenjem vremena koraka, koje je zbroj vremena dodira s tlom i naknadnog vremena izlaska iz zraka. Brzina trčanja sportaša s amputacijama nogu ograničena je istim prostorno-vremenskim i vertikalnim varijablama sile reakcije tla kao i kod neamputiranih sportaša.¹³

Spomenuto istraživanje bavilo se i biomehaničkom analizom trčanja na pokretnoj traci sportaša s jednostranom transtibijalnom amputacijom. Prikazano je da sportaši s jednostranom transtibijalnom amputacijom mogu postići elitne maksimalne brzine (> 10 m/s), ali je prikazano više asimetričnih prostorno-vremenskih varijabli i sile reakcije podloge u odnosu na osobe bez amputacije pri jednakim brzinama trčanja. Trenutačno je nepoznato ograničavaju li biomehaničke asimetrije maksimalnu brzinu sportaša s jednostranom transtibijalnom amputacijom. Štoviše, iako su trčanje na traci i trčanje na stazi biomehanički slični, sportaši samo moraju svladati minimalni otpor zraka tijekom trčanja na traci zbog njihovanja ruku i nogu. Dakle, sportaši teoretski mogu postići veće brzine trčanja na traci za trčanje nego na zemlji.¹³

Sile pri trčanju s protezom

Osobe s amputacijom donjih ekstremiteta moraju demonstrirati različite biomehaničke strategije tijekom trčanja kako bi nadoknadile gubitak ekstremiteta. Kinetika zglobova prilagođava se tijekom trčanja kako bi uzela u obzir nedostatak glavnih zglobova i miškulature, dok također integrira funkciju mehaničke proteze.

Baum i suradnici (2019) istraživali su trodimenzionalne razlike momenta zglobova donjih ekstremiteta. Vanjski momenti rotacije kuka intaktnog uda bili su veći u odnosu na kontrolne udove, što može značiti da su ti subjekti izloženi većem riziku od ozljeda tijekom trčanja. Vanjska rotacija kuka može biti strategija kompenzacije

za proizvodnju dodatne propulzivne sile ili za kontrolu zamaha tijela. Ciljanje kuka tijekom treninga trčanja kako bi se smanjili pokreti izvan sagitalne ravnine moglo bi poboljšati učinkovitost i smanjiti ovaj potencijalni rizik od ozljede. Uz pretpostavku da nema većih razlika u antagonističkoj kokontrakciji, opterećenje zglobova u intaktnom i kontrolnom ekstremitetu slično je kada se trči s protezom za trčanje. Navedeno kliničarima omogućuje veću slobodu u treningu trčanja za osobe s amputacijom donjih ekstremiteta bez brige o preopterećenju intaktnog ekstremiteta. S iznimkom momenata unutarnje rotacije kuka, intaktni ekstremitet generirao je slične vršne vrijednosti momenta kao i kontrolni ekstremitet, što ukazuje da intaktni ekstremitet nije preopterećen kada osobe s amputacijom donjeg ekstremiteta trče s protezama specifičnima za trčanje.¹⁴

Na ubrzanje sprintera utječu tri vanjske sile: gravitacijska sila, otpor zraka i sila reakcije podloge. Sprinter može koristiti silu reakcije podloge kao najveću vanjsku silu da ubrza svoj centar mase prema naprijed. Analize sile reakcije podloge kod elitnih sprintera otkrile su da sprinteri postižu veće maksimalne brzine ne tako što brže mijenjaju svoje udove u zraku, već primjenom veće okomite sile na tlo. Očekuje se da će razumijevanje sile reakcije podloge tijekom sprinta kod osoba s amputacijom koje nose proteze specifične za trčanje pomoći u razvoju učinkovitijih metoda treninga.¹⁵ Svrha istraživanja Makimoota i suradnika iz 2017. bila je usporediti silu reakcije podloge između intaktnih i protetičkih udova tijekom sprinta kod ispitanika s unilateralnom transfemoralnom amputacijom koji nose proteze specifične za trčanje. Osobe s transfemoralnom amputacijom moraju spriječiti pad uslijed iznenadne fleksije koljena na protetskim ekstremitetima; stoga je pretpostavka da bi varijable sile reakcije podloge protetskih ekstremiteta bile niže od onih intaktnih ekstremiteta u sprintera s jednostranom transfemoralnom amputacijom. Impulsi kočenja bili su znatno niži u protetskim ekstremitetima nego u intaktnima, što pokazuje da bez obzira na razinu amputacije trkači s amputacijom generiraju manje kočionih i ekvivalentnih propulzivnih impulsa.¹⁵ Stoga rezultati ovog istraživanja sugeriraju da bilateralna neravnoteža mediolateralnih komponenti sila reakcije podloge može varirati kombinacijama razina amputacije, protetičkih komponenti i eksperimentalnih zadataka. Prethodna istraživanja pokazala su da specifičan trening snage kuka poboljšava pokretljivost tijekom hodanja i trčanja kod amputiranih donjih ekstremiteta. Navedeno može utjecati na trenutačne rezultate kroz veću varijabilnost u pogledu njihova obrasca sprinta.¹⁵

Protetika u kontekstu međunarodne klasifikacije funkcioniranja, nesposobnosti i zdravlja

Model međunarodne klasifikacije funkcioniranja, nesposobnosti i zdravlja (engl. *International Classification of Functioning, Disability and Health*, ICF) predlaže razmišljanje o funkcioniranju i invalidnosti na temelju spoja dvaju dihotomnih modela: biomedicinskog modela i socijalnog modela. Biomedicinski model razmatra invaliditet kao problem osobe izravno uzrokovan bolešću, traumom ili bilo kojim drugim zdravstvenim stanjem. Društveni model promatra invaliditet prvenstveno kao problem unutar društva, gdje invaliditet nije atribut pojedinca. ICF također omogućuje procjenu utjecaja prisutnosti ili odsutnosti društva i prepreka koje pozitivno ili negativno utječu na funkcionalnu izvedbu osobe s amputacijom. Okolinske barijere, kao što je nepristupačno fizičko okruženje, nedostatak odgovarajuće pomoćne tehnologije, negativni stavovi ljudi prema invaliditetu, kao i manjkave usluge, sustavi i neprikladne ili nepostojeće politike, može ometati rutinu osoba s amputacijom. Komponente ICF-a objašnjavaju interakcije između amputacija donjeg ekstremiteta te tjelesnih struktura i funkcija pojedinca. Ove promjene izravno utječu na sudjelovanje u aktivnosti, posebno one koje se odnose na mobilnost, što dovodi do socijalne izolacije. Višesmjerni pristup, primjenom konceptualnoga interakcijskog modela ICF-a, omogućio je refleksiju o važnim pitanjima iz javnozdravstvene sfere, kao što su prepreke povezane s pristupom specijaliziranim uslugama koje su potrebne kada postoji uvjet amputacije.¹⁶

Atletske discipline sprinta

Sprint u atletici jest utrka na kratkoj udaljenosti s potpunim ili gotovo potpunim naletom brzine, pri čemu su glavne udaljenosti 100, 200 i 400 m. Dio atletskog terena namijenjen za trčanje sprinterskih utrka obično je označen stazama unutar kojih svaki trkač mora ostati tijekom cijele utrke. Izvorno su sprinteri koristili stojeći start, ali od 1884. sprinteri startaju primjenjujući spravu koja se zove startni blok (legaliziran 30-ih godi-

na 20. stoljeća) kako bi poduprli stopala. Utrke počinju pucnjem iz pištolja.¹⁷

Hodanje uključuje faze s dvostrukim osloncem, ali pri trčanju svaka je noga na tlu 40 % (*jogging*) do 27 % ciklusa (*sprint*); dakle, postoji faza leta, kada nijedno stopalo nije na tlu. Pri trčanju peta ne dodiruje tlo, već je točka polijetanja još uvijek prednji stup medijalnoga longitudinalnog luka stopala. Kako se peta odmiče od tla, nožni se prsti postupno šire.¹⁸

Prema istraživanjima pod pokroviteljstvom Američkoga olimpijskog komiteta, važni su faktori uspješnog sprintanja punom brzinom: veća horizontalna brzina, veća faza leta, manje vrijeme kontakta s tлом tijekom trčanja, minimalna ekstenzija natkoljenice tijekom oslonca, veća kutna brzina natkoljenice zamašne noge, veća kutna brzina potkoljenice u trenutku dodira druge noge s tлом, minimalna vertikalna kolebanja težišta tijela i velika brzina kretanja stopala prema natrag u odnosu na tijelo tijekom faze stražnjeg zamaha.¹⁹

Glavni su faktori unutar treninga sprinta: trening brzine (usmjeren na apsolutnu brzinu), trening brzinske izdržljivosti s tri tipa treninga (trening s niskim, srednjim i visokim anaerobnim opterećenjem), trening s utezima (za razvoj opće i specifične sposobnosti), pliometrija (povećava sposobnost vrlo brze primjene sile na podlogu), rad na tehnici (razvija osjećaj za tehnički čistu kretnju i jača potrebne mišiće) i opuštanje (pogodno za regeneraciju i vizualizaciju).¹⁹

Rehabilitacija usmjerena trkačkim disciplinama

Sport nakon amputacije

Više od 50 % osoba nakon amputacije ekstremiteta sudjeluje u sportu ili tjelesnoj aktivnosti. Pokazalo se da tjelovježba pozitivno utječe na samopouzdanje, percepciju vlastitog tijela i bolju kontrolu fizičkih funkcija u ovoj populaciji. Nažalost, za mnoge pojedince sudjelovanje u sportu može se smanjiti nakon amputacije zbog protetskih barijera, uključujući loše prijanjanje proteze i previsoke troškove sportske proteze. Osim toga, sportaši s amputacijama mogu osjetiti bol koja je posljedica kompenzacijskih i asimetričnih pokreta koji

se često javljaju nakon amputacije. Starija dob, proksimalna amputacija i vaskularne promjene povezane su s poteškoćama u svakodnevnim životnim aktivnostima, a time su ujedno prepreke sportskim naporima. Sportaši nakon amputacije suočavaju se s daljnjim izazovima pri povratku aktivnostima, uključujući fantomsku bol u udovima, psihološke prepreke, protetičke komplikacije i abnormalnosti hoda.²⁰

Fantomaska bol u udovima (engl. *Phantom Limb Pain*, PLP) definira se kao bol koja potječe iz odsutnog dijela ekstremiteta. Početak se može pojaviti ubrzo nakon amputacije ili godinama kasnije, iako većina pojedina s amputacijom navodi pojavu simptoma unutar godine dana nakon amputacije sa smanjenom prevalencijom nakon toga. Iskustvo PLP-a je promjenjivo, a etiologija nije dobro shvaćena. Predloženi uzroci uključuju promjene u perifernim neuralnim mehanizmima (uključujući iritaciju perifernog živca ili neurom), središnje živčane mehanizme ili psihogene čimbenike uključujući depresiju, anksioznost i promijenjenu percepciju tijela. Čimbenici rizika za razvoj PLP-a uključuju bol u zahvaćenom ekstremitetu prije amputacije, bol u zdravom ekstremitetu, amputaciju gornjih ekstremiteta i ženski spol. Procjenjuje se da je prevalencija PLP-a u općoj populaciji amputiranih čak 85 %.²⁰

Iako je vježbanje hoda s protezom važna komponenta rehabilitacije nakon amputacije donjih ekstremiteta, ne mora završiti nakon što se postigne funkcionalna pokretljivost. Za trkače i druge sportaše s amputacijama trening hodanja može biti ključni aspekt rehabilitacije za olakšavanje sigurne mehanike tijekom viših razina tjelesne aktivnosti kao što su trčanje i sport. Ponovno uvježbavanje hoda također može imati potencijal za smanjenje fantomske boli u udovima kod amputiranih donjih ekstremiteta kroz poboljšanu mehaniku hoda. Ključno je da sportaš stekne povjerenje u svoju protezu za trčanje koja se uvelike razlikuje od mogućnosti njegove svakodnevne proteze.²⁰ Svaku osobu s amputacijom koja je dosegla razinu funkcije na kojoj se može učinkovito kretati uz dobar obrazac hoda treba poticati da razvije daljnja poboljšanja kako bi omogućila sudjelovanje barem u brzom hodanju, ali po mogućnosti i trčanju.²¹

Rana intervencija i usmjerenost programa treninga

Rana rehabilitacija usmjerena sportu trebala bi obuhvaćati vježbe osnovne snage i kondicije, a kasnija specifične vježbe usmjerene sprintu i specifičnim vjež-

bama za tog atletičara.²¹ Fokus je vježbi osnovne snage i kondicije na glavnim mišićnim skupinama, a kako se snaga poboljšava, uvodi se trening specifičan za sport. Primjeri bi bili povećanje otpora na kraju dometa za sprintere i razvoj dobre ekscentrične snage kako bi se spriječile ozljede.²² Istraživanje Nolana iz 2012. nalazi znatno povećanje snage fleksora kuka i ekstenzora ekstremiteta u skupini koja je trenirala. Autor smatra da je to pridonijelo sposobnosti trčanja te zaključno sugerira da, ako je cilj trčanje, sportaši ne provode samo sporu ponavljanja treninga snage, već i brza ponavljanja. Rezultati su također pokazali da je 10-tjedni program treninga koji se može provoditi kod kuće bio dovoljan za povećanje koncentrične snage fleksora i ekstenzora kuka, smanjenje submaksimalne potrošnje kisika i omogućavanje trčanja osobama s amputacijom donjeg ekstremiteta. Dodatno, 10-tjedno razdoblje povremene lagane aktivnosti, poput hodanja, plivanja, fizioterapije ili aerobika umjesto treninga snage, rezultiralo je smanjenjem snage ekstenzora kuka u osoba s amputacijom donjeg uda.²³

Rana intervencija sastoji se i od bilateralnih vježbi jačanja trupa i kukova, s fokusom na stabilnost zdjelice tijekom recipročnog pokreta nogu. Također je primjenjivo jačanje ekstremiteta za rješavanje dinamičkog valgusa i tendencija pronacije koji su često primijećeni kod osoba s amputacijom.²⁰

Razvoj fleksibilnosti strane s amputacijom i segmenta bez amputacije izrazito je bitan dio treninga. Potrebno je održavati opseg pokreta zglobova koji je najbliži amputaciji.²¹

Stabilnost predjela abdomena i stabilnost zglobova kuka ključni su kod osoba s amputacijom. Programi bi se trebali baviti statičkom i dinamičkom stabilnošću. Često je statička stabilnost izvrsna, ali je dinamička kontrola i stabilnost loša zbog nedostatka kretanja u protezi. Kada sportaš izvodi natjecateljske pokrete, kontrola mora biti napredna i s velikom bazom izdržljivosti. Treba također pratiti kompenzacijske mehanizme gornjeg dijela tijela za rješavanje posturalnih prilagodbi. Trening stabilnosti trbušnih mišića ključan je kod osoba s amputacijom kod kojih ravnoteža postaje ugrožena, što rezultira smanjenom snagom ekstremiteta. Kasnije bi se trening specifičan za sport mogao uključiti kao trening preko pokretne baze oslonca, napredujući do treninga tijekom izvođenja sporta, npr. trčanja.²¹

Zanimljivo je da većina sportaša visoke razine ima anomalije u hodu. Identifikacija ovih anomalija u ranoj je fazi učinkovitija kada se odluči pokušati ispraviti obras-

ce hoda. Ako sportaš već radi na visokoj razini, anomalije u hodu često ostaju takve kakve jesu, zbog rizika od smanjenja performansi promjenom obrazaca hoda. Anomalije hoda mogu biti samo uobičajene, ali su češće povezane s kompenzacijskim mehanizmima kao što su nefleksibilnost zglobova, slabost mišića, loša ravnoteža itd. Poznavanje obrazaca hoda važno je pri procjeni hoda, kao i poznavanje uobičajenih obrazaca hoda koji se razvijaju kod osoba s amputacijom.²¹

Poželjno je izgraditi učinkovit obrazac hoda pri trčanju u kojem se koljeno flektira i ekstendira u sagitalnoj ravnini, umjesto obrasca cirkumdukcije koji je čest u ovakvim uvjetima. Statičke i dinamičke vježbe koje naglašavaju kontroliranu fleksiju kuka i koljena pogodne su kako bi se olakšao ovaj mehanizam.²⁰

Zbog veće potrebe za energijom i povećanoga mehaničkog opterećenja, važno je odrediti optimalno opterećenje. Kada se sportaš počne zamarati, biomehanika se prilagođava. Na primjer, u sprintu se sportaš prvo može umoriti na strani amputacije, a zatim početi trčati nejednakim korakom. S kardiovaskularnog aspekta pojedinac bi ipak mogao nastaviti, ali trčeći prema biomehanički neispravnom obrascu, te se povećava mehaničko preopterećenje zdrave strane. Postoje dokazi da intervalni trening visokog intenziteta, s kratkim razdobljima odmora između ponavljanja, pridonosi boljoj biomehaničkoj izvedbi.²¹

Korisne su dinamičke vježbe kako bi se poboljšala ravnoteža i snaga tijekom pomicanja mase na protetičku stranu i s nje tijekom koračanja. Ove vježbe mogu se započeti u sportaševoj protezi za hoda i napredovati do proteze za trčanje. Vježbe ravnoteže s jednom nogom mogu se uvoditi i bilateralno. Rehabilitacija se može usmjeriti kako za kliniku tako i za kućni program sportaša.²⁰

Prema odabranom sportu treba odrediti najvažnije pokrete za treniranje. Zbog sposobnosti ljudskog tijela da kompenzira i prilagođava se, pokrete treba jasno procijeniti za kompenzacijske mehanizme. Važna je vrsta odabrane proteze. Opterećenje treba povećati samo kada se pokret izvodi na biomehanički učinkovit način. Izorno se određeni pokreti mogu izvoditi bez proteze (osobito kod transfemoralnih amputacija); primjerice pliometrijsko skakanje. Trenažno opterećenje može se povećati otežavanjem pokreta, povećanjem otpora, povećanjem vremena do umora ili povećanjem brzine kretanja.²¹ Prinsen i suradnici (2011) došli su do otkrića povezanog sa strategijama prilagodbe u osoba s amputacijom. Otkrili su da je ekscentrična snaga stražnje

skupine bedrenog mišićja bila povećana na intaktnoj u usporedbi s amputiranom nogom, ali da je ekscentrična snaga kvadricepsa bila veća na amputiranoj u usporedbi s intaktnom nogom. Stoga je često teško identificirati kompenzacijske mehanizme i očito se razlikuju među sportašima.²⁴ Poznato je da osobe s amputacijom donjeg ekstremiteta tijekom hodanja, trčanja i skakanja na kuku nadoknađuju nedostatak potpunog funkcioniranja koljena i/ili gležnanskog zgloba. Pretpostavlja se da osobe s transtibijalnom amputacijom s bolje očuvanom snagom natkoljeničnih mišića imaju dobru sposobnost hodanja; kao i da je slabost rezidualnih mišića kuka faktor koji pridonosi abnormalnostima u hodu za osobe s transfemoralnom amputacijom. Osim toga, snaga ekstenzora kuka snažan je prediktor izvedbe u 6-minutnom testu hoda za osobe s amputacijom donjeg ekstremiteta. Stoga je, teoretski, u ovoj populaciji snaga kukova glavni ograničavajući čimbenik u mogućnosti dobrog hodanja, trčanja ili skakanja.²³

Kasna intervencija specifična za mehaniku sprinta

Vježbama za poboljšanje mehanike sprinta može se utjecati na poboljšanje tehnike ili poboljšanje jakosti nogu. Jakost nogu možemo poboljšati također ako u program uključimo skokove ili pliometriju te tradicionalni trening snage. Cilj je vježbi tehnike sprinta poboljšanje odraza, zamaha i pripreme noge za dodir s tlom.¹⁹

Specifični rizici za sportaše s amputacijom

Jedan je od najvećih rizika za amputirane donje udove mehaničko preopterećenje uslijed kompenzacijskih mehanizama i stavljanje tijela u neoptimalan biomehanički položaj zbog proteze. Opaženo je da je tetiva koljena u intaktnom ekstremitetu posebno osjetljiva na ozljede. Istraživanja su pokazala da je u zglobu koljena intaktne noge također povećana apsorpcija opterećenja tijekom uobičajenih svakodnevnih aktivnosti. Navedeno treba uzeti u obzir pri osmišljavanju programa kondicioniranja, kao i u svrhu oporavka.²¹

Valja razmotriti i fiziološko preopterećenje: zbog veće potražnje za energijom i manje mišićne mase dostupne za generiranje sile u ekstremitetu, sportašu bi fiziološki moglo biti potrebno duže vrijeme oporavka. Navedeno uvelike ovisi o razini amputacije.²¹

Uloga fizioterapeuta u atletskom treningu osoba s amputacijom

Fizioterapeut mora uzeti u obzir razinu amputacije, pokretljivost, raspon pokreta, snagu, koordinaciju, ravnotežu i udobnost koje uvelike variraju ovisno o razini amputacije. Poželjno je težiti simetriji za idealno opterećenje zglobova i tjelesnih segmenata, shvaćajući da to nije moguće u svim slučajevima. Razvijanje svijesti o bilo kakvim ograničenjima kretanja, poteškoćama u ravnoteži i koordinaciji kontinuirani je proces te ga je potrebno prihvatiti i uzeti u obzir u svim relevantnim vježbama. Vježbanje ravnoteže kroz protezu valja provoditi na siguran način, kroz postavljanje temelja za optimalne osnovne obrasce kretanja uz razmatranje opterećenosti ostalih područja i strukture kao rezultat načina kretanja sportaša, odnosno asimetrije koje postoje. Ako sportaš ima jednostranu amputaciju, potrebno je razmisliti što se događa na kontralateralnoj strani, jer postoje povećani zahtjevi na strani nezahvaćenog ekstremiteta.²⁵

Sportaši ne mogu generirati silu svojim mišićima kako bi uzrokovali rotaciju protetskog zgloba; ostali zglobovi (najčešće kukovi) morat će više raditi kako bi omogućili pokret (donji ekstremitet s amputacijom neće moći gurnuti nogu iz gležnja; nego se noga povlači iz kuka). Sportaši koji upotrebljavaju ortopedsko pomagalo često će imati povećanu potrošnju energije pri izvođenju zadataka, a potrošnja energije povećava se s višom razinom amputacije. Potrebno je saznati što sportaš može učiniti ili što može predstavljati izazov, primjerice samopouzdanje, udobnost ležišta, bol, tehnologija, a ako je sportaš ograničen svojom protezom, raditi na alternativnim vježbama.²⁵

Sportaši često upotrebljavaju različite vrste suspenzija kako bi pomogli pri namještanju ekstremiteta u ležište. Sportaši će se znojiti u ležištu, što može dovesti do slabijeg prljanja i neugode. Njihov bataljak također može varirati u veličini/volumenu ovisno o razdoblju nakon amputacije. Nužno je pratiti prilagodbu proteze tijekom razdoblja visokog rizika kada se veličina i oblik bataljka mogu promijeniti kako bi se osiguralo optimalno prljanje. Ako je potrebno, može se razmotriti primjena kompresijske odjeće ili uređaja za kontrolu oticanja. Konstantno i kontinuirano ponavljanje može uzrokovati oštećenje kože; stoga je bitno razgovarati sa sportašem o pronalaženju dobre ravnoteže između ponavljanja i promjene prirode opterećenja.²⁵

Zaključak

Sprint nakon amputacije donjeg ekstremiteta otkriva vrlo kompleksni pristup uzimajući u obzir sve faze od amputacije do protetičke faze, rehabilitacije, psihičkog oporavka, pronalaska odgovarajuće proteze do ponovne uspostave hoda i u konačnici trčanja s protezom.

Amputacije su usmjerene prema odstranjivanju nefunkcionalnog tkiva, ali uvijek u svrhu pružanja manje boli i bolje funkcije pacijentu. Svaku osobu s amputacijom koja je dosegla razinu funkcije na kojoj se može učinkovito kretati uz dobar obrazac hoda treba poticati prema sportu da razvije daljnja poboljšanja. Tjelovježba pozitivno utječe na samopouzdanje, percepciju vlastitog tijela i bolju kontrolu fizičkih funkcija u ovoj populaciji.

Nakon pronalaska odgovarajuće proteze, sljedeći je korak prema treningu sprinta točna procjena mogućnosti i komorbiditeta sportaša na temelju detaljne fizioterapijske procjene. Fizioterapeut mora uzeti u obzir i činjenice o tehnici trčanja, fazama leta i biomehanici trčanja, uz znanje o protetici.

Recentni radovi opisuju sile koje djeluju pri trčanju s protezom. Potvrđeno je da sportaši s amputacijom mogu postići elitne maksimalne brzine, ali uz veću prisutnost asimetrija. Proteze se pasivno suprotstavljaju sili reakcije podloge te sportaš mora uložiti više energije zbog nedostatka mišića na amputiranom ekstremitetu. Fokus je stavljen na razvoj specifičnih skupina mišića koje su, prema istraživanjima, ključne za pravilnu mehaniku trčanja. Potrebno je jačati trbušne mišiće zajedno s mišićima kuka kako bi se unaprijedila stabilizacija i osiguralo dovoljno snage za optimalno pokretanje sportskog stopala. Trening za sprinterske discipline još je određen brzinom, brzinskom izdržljivošću, snagom, plimetrijom te uvježbavanjem pravilne tehnike i mehanike sprinta.

Referencije

1. Ajibade A, Akinniyi OT, Okoye CS. Indications and Complications of Major Limb Amputations in Kano, Nigeria. *Ghana Med J.* 2013; 47(4): 185.
2. Schnur D, Meier RH. Amputation Surgery. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014; 25(1): 35–43.
3. Van Der Wal GE, Dijkstra PU, Geertzen JHB. Lisfranc and Chopart amputation: A systematic review. *Medicine.* 2023; 102(10): e33188.
4. Molina CS, Faulk JB. Lower Extremity Amputation. *StatPearls* [internet]; 2023. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546594/> (pristupljeno 9. 6. 2023.).
5. What Are The Parts of a Prosthetic Leg? Össur Prosthetics [internet]; 2023. Dostupno na: <https://www.ossur.com/en-us/prosthetics/information/parts-of-a-prosthetic-leg> (pristupljeno 18. 8. 2023.).
6. Srinivasan V, Govarthan PK, Om Prakash S, Munirathinam D. Composite blades for lower extremity amputees. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 2022; 1258(1): 012044.
7. Kapil S. Advanced Prosthetics: Changing the World of Sports. *Sci Sport.* 2018; 55(9): 30–32.
8. Running Blades and their evolution. National Paralympic Heritage Trust. [internet]; 2023. Dostupno na: <https://www.paralympicheritage.org.uk/running-blades-and-their-evolution> (pristupljeno 18. 8. 2023.).
9. Optimal Prosthetic Components for Running – Prosthetic Running. [internet]; 2023. Dostupno na: <https://www.prostheticrunning.com/runningprostheses> (pristupljeno 18. 8. 2023.).
10. Beck ON, Taboga P, Grabowski AM. Characterizing the mechanical properties of running-specific prostheses. *PLoS One.* 2016; 11(12): e0168298.
11. Ossur Science of Sprinting – Femita Ayanbeku [internet]; 2020. Dostupno na: <https://www.ossur.com/en-us/team-ossur/femita-ayanbeku> (pristupljeno 18. 8. 2023.).
12. Beck ON, Grabowski AM. Athletes with Versus Without Leg Amputations: Different Biomechanics, Similar Running Economy. *Exerc Sport Sci Rev.* 2019; 47(1): 15–21.
13. Beck ON, Grabowski AM. The biomechanics of the fastest sprinter with a unilateral transtibial amputation. *J Appl Physiol.* 2018; 124(3): 641–645.
14. Baum BS, Hobara H, Koh K, Kwon HJ, Miller RH, Shim JK. Amputee Locomotion: Joint Moment Adaptations to Running Speed Using Running-Specific Prostheses after Unilateral Transtibial Amputation. *Am J Phys Med Rehabil.* 2019; 98(3): 182–190.
15. Makimoto A, Sano Y, Hashizume S, Murai A, Kobayashi Y, Takemura H, Hobara H. Ground reaction forces during sprinting in unilateral transfemoral amputees. *Journal Appl Biomech.* 2017; 33(6): 406–409.
16. Gonçalves Junior E, José Knabben R, Cristina Tonon da Luz S. Portraying the amputation of lower limbs: an approach using ICF. *Fisioter Mov.* 2017; 30(1): 97–106.

17. Sprint – Speed, Technique, Technique Training. Britannica [internet]; 2023. Dostupno na: <https://www.britannica.com/sports/sprint-running> (pristupljeno 27. 8. 2023.).
18. Osterman AL. Sports injuries. Atlas of Hand Clinics. Saunders, 2006.
19. Bowerman WJ, Freeman WH, Gambeta V. Atletika: Periodizacija, tehnika i programi treninga za sve discipline. Gopal, Zagreb, 2012.
20. Santer J, Macdonald S, Rizzone K, Biehler S, Beiswenger T. Strategies for Gait Retraining in a Collegiate Runner with Transfemoral Amputation: A Case Report. Int J Sports Phys Ther. 2021; 16(3): 862.
21. High level rehabilitation of amputees. Physiopedia [internet]; 2023. Dostupno na: https://www.physio-pedia.com/High_level_rehabilitation_of_amputees (pristupljeno 23. 4. 2023.).
22. Schmitt B, Tyler T, McHugh M. Hamstring injury rehabilitation and prevention of reinjury using lengthened state eccentric training: a new concept. Int J Sports Phys Ther. 2012; 7(3): 333.
23. Nolan L. A training programme to improve hip strength in persons with lower limb amputation. J Rehabil Med. 2012; 44(3): 241–248.
24. Prinsen EC, Nederhand MJ, Rietman JS. Adaptation strategies of the lower extremities of patients with a transtibial or transfemoral amputation during level walking: a systematic review. Arch Phys Med Rehabil. 2011; 92(8): 1311–1325.
25. Coaching Amputee Participants. UK Coaching [internet]; 2023. Dostupno na: <https://www.ukcoaching.org/resources/topics/tips/coaching-amputee-participants> (pristupljeno 26. 8. 2023.).



ATHLETIC DISCIPLINES OF SPRINTING AFTER LOWER EXTREMITY AMPUTATION

¹ Dora Grgić

¹ Dalibor Kiseljak

^{1,2} Ivan Ugarković

^{1,3} Nikolino Žura

¹ University of Applied Health Sciences, Zagreb

² Ottobock Adria

³ University Hospital Centre Zagreb

objective tests but through a complete biopsychosocial approach, provides great security, respectively. The paper provides an insight into the complexity of this field, considering various research regarding athletics, sports after amputation, biomechanics, and the rehabilitation of amputees.

Abstract

Athletic disciplines of sprinting after the amputation of the lower limb, in addition to the specific training process and the development of numerous sprinting motor skills, also require an additional focus on the prosthetic phase and rehabilitation after amputation. This paper presents the biomechanical changes and adaptations of athletes when running after the amputation of the lower limb, the prosthetic phase, sports issues and the training process. The problems faced by athletes after amputation, such as the various compensatory responses of the body, and the difficulty of integrating the prosthesis as a non-belonging part into daily sports life, are emphasized. The importance of physiotherapists in a multidisciplinary approach to this problem is especially pointed out. Since each person's body is unique, during rehabilitation and training after amputation, each athlete should be approached with a completely individualized program. An optimal physiotherapy assessment, focused not only on a set of

Keywords: prosthetics, physiotherapy, biomechanics, athletics, sports