

Prilagođeni uložak, dio 1: beskontaktna metoda otkrivanja antropometrijskih točaka na stopalu

Maneesh Kumar Mishra^{1, 2, 3}, Pascal Bruniaux^{1, 2, 3}, Guillaume Tartare^{1, 2, 3} and Christine Campagne^{1, 2, 3}

¹ University of Lille Nord de France, Lille, France

² Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles, Roubaix, France

³GEMTEX, Roubaix, France

E-mail: maneesh09mishra@gmail.com, maneesh.mishra@ensait.fr

Izvorni znanstveni rad

UDK: [572.087:611.986]:004.925.84

Sažetak

Bez obzira na ciljeve studije, bilo da se radi o morfološkoj klasifikaciji stopala ili prilagođavanju proizvoda poput ortopedskih uložaka / potplata ili prikladne obuće za atipična stopala, neophodno je pronaći racionalnu metodu za otkrivanje antropometrijskih točaka i krivulja. Studije o objašnjenju antropometrije stopala su malobrojne, a u nekim slučajevima predstavljaju suprotnosti mjerenjima između ručnog postupka i postupka automatskog skeniranja. Također, naš cilj bio je upotrijebiti beskontaktnu metodu mjerenja da se otkriju antropometrijske točke na stopalu. U ovoj metodi se predlažu različite tehnike praćenja pomoću različitih podesivih ravnina. U 3D grafičkom procesu, morfološke krivulje su lokalizirane pomoću tih antropometrijskih točaka i omogućuju identifikaciju stopala tim mjerenjima. Ona su uspoređena s mjerenjima pomoću 3D skenera stopala da bi se metoda otkrivanja antropometrijskih točaka mogla potvrditi i poboljšati metoda koju koriste ovi skeneri.

Ključne riječi

3D grafički proces, 3D model uložka, morfologija stopala, antropometrija stopala, prilagođeni uložak.

1. Uvod

Budući da je ljudsko tijelo kompleksna struktura, može se podijeliti na 5 dijelova: glavu, vrat, trup, dvije ruke čiji završetak su šake i dvije noge čiji završetak su stopala. Svaki organ ima svoju jedinstvenu funkciju. Na primjer, stopala nose težinu tijela u stojećem položaju te omogućuju hodanje i trčanje. Budući da su ti zadaci vrlo kompleksni, anatomija stopala je također vrlo kompleksna. Jedno stopalo se sastoji od 42 mišića, 26 kostiju, 33 zglobova i barem 50 ligamenata i tetiva izgrađenih od čvrstog vlaknastog tkiva koje povezuje sve pokretne dijelove kao i 250 000 znojnih žlijezda. Ovo čudo evolucije može podupirati stotine tona koje predstavljaju našu težinu u kretanju svaki dan. Bezbrojni dijelovi stopala rade skladno kako bismo došli s jednog na drugo mjesto. Međutim, opterećenje i ograničenja kretanja izlažu ih većem riziku ozljeđa nego druge dijelove tijela, a rizici ovise o našoj ukupnoj anatomiji. Zato je važno poznavati različite patologije stopala kako bi se unaprijed izbjegavale ili se poslije liječile. Naravno, antropometrijsko poznavanje stopala i različiti mjerni alati su potrebni za dijagnozu podijatra kod dizajna cipele koja ga štiti ili koja pomaže kod liječenja izvjesnih patologija. Mnoge od ovih bolesti većinom zahtijevaju da se dizajniraju specifične cipele ili ulošci. Ovisno o tomu je li potrebno ili nije personalizirati proizvode, potrebno je morfološko i dimenzionalno poznavanje pacijenta ili populacije što se postiže mjerenjima.

Mnogi problemi stopala, uključujući „čekičast“ (svinut) nožni prst, žuljeve, izbočenje palčanog zgloba na stopalu (čukalj), kukuruz i žulj, koštano izraslinu na peti, prste kao kandže, urasle nokte na nogama, gljivice na nožnim noktima, atletsko stopalo, mogu nastati zbog nemara, nepristalih cipela i jednostavno zbog iznošenosti cipela. Stopala također mogu pokazivati da je tijelo ugroženo ozbiljnom bolešću. Na primjer, kostobolja će prvo napasti zglobove stopala.

Ako je drugi, treći ili četvrti nožni prst prekršten, savijen u sredini nožnog zgloba ili je usmjeren pod čudnim kutom, to se može nazvati

„čekičastim“ (svinutim) nožnim prstom. „Čekičasti“ nožni prsti često nastaju zbog nepristalih cipela. Žene su sklonije bolovima koji se povezani sa takvim prstima nego muškarci zbog različite modne obuće. Budući da mišići svakog nožnog prsta rade u parovima, pa kada su nožni mišići izvan ravnoteže, može se stvoriti „čekičasti“ prst [1], [2]. Zbog ovog disbalansa mišića, tetive i zglobovi nožnih prstiju dolaze pod pritisak, a on prisiljava nožni prst u oblik glave čekiča. Opasnosti za čekičaste prste uključuju: ravna stopala, visoki svod, artritis, ozljede nožnog prsta, starenje. Za osobe s dijabetesom ili slabom cirkulacijom krvi, čekičasti prsti mogu predstavljati ozbiljan problem jer imaju veći rizik od infekcija i čireva na stopalu [3].

Izbočenje palčanog zgloba na stopalu (čukalj) je iskrivljen veliki nožni palac (hallux valgus) koji izviruje izvan osnove prsta što prisiljava veliki palac da se uvine. Čukalj može biti bolan kada se stisne u cipeli, a kod mnogih osoba preuske cipele su uzrok stvaranja čuklja [4], [5]. Stručni radovi navode da osobe s hallux valgus deformacijom imaju manju debljinu i poprečni presjek kratkih mišića aduktora (primicača) i fleksora (pregibača) palca u usporedbi s osobama bez hallux valgus deformacije [6]. Općenito, ova deformacija ima različite uzroke, uključujući prirodne deformacije, artritis, traumatu i nasljednost. Sugeriralo se da su suatrofirani ili slabi mišići pregibači (fleksori) povezani sa stvaranjem deformacija nožnih prstiju. Međutim, ne postoji dovoljno dokaza za ovakvu teoriju. Visoke pete (one prisiljavaju prste u prednji dio cipele), nepristale cipele (pretijesne, preuske ili prešiljaste su podložne za stvaranje čukalja) mogu povećati vjerojatnost ove deformacije [8]. Zato ojačavanje unutarnjih mišića nožnih prstiju može pomoći smanjiti incidenciju i ozbiljnost deformacija stopala starijih osoba [9]. Cipele i ulošci trebaju biti u skladu s oblikom stopala korisnika tako da ne stišću i pritišću bilo koji dio stopala [10].

Petni trn (*Plantarni fasciitis*) se prihvaća kao sinonim upale plantarne fascije. Sufiks „itis“ upućuje na upalno oboljenje. Uobičajeno je da liječnici brkaju između petnog kalcifikata i plantarne fascije kad ih pacijent posjeti zbog boli u peti. Sam petni kalcifikat nije bolan; to je upala i iritacija izazivana plantarnom fascijom koja može boljeti. Petni kalcifikati se često

vide na rendgenskim snimkama pacijenata koji nemaju bol u peti ili plantarnu fasciju [13]. Skoro 10% ozljeda nastaje naročito kod sportaša čije aktivnosti uključuju mnogo trčanja i skakanja [14].

U osnovi postoje dvije vrste svodova stopala: uzdužni svodovi (sastoje se od medijalnih i lateralnih dijelova – razdjeljuje težinu tijela i pritisak u različitim smjerovima zajedno s poprečnim svodovima) i poprečni svodovi [15]. Prema istraživanju Subotnicka 60% populacije ima normalne svodove, 20% ima visoki svod (cavus) i 20% ima ravno (spušteno) stopalo (planus) [16]. Ako su uzdužni svodovi viši nego je normalno, naziva se visoki svod [17][18]. Ima otisak s ili bez uske spojnice koja spaja prednji dio noge i područje pete. Koštana struktura na bočnoj strani (previše supinirano) stopala znači veći rizik ozljede zbog manjeg područja za nošenje težine i time se prenosi veće opterećenje na stopalo i nogu. Visoki svod (pes cavus) često nastaje zbog neurološkog sindroma i drugih medicinskih uvjeta kao npr.: cerebralne paralize, Charcot-Marie-Tooth (CMT) bolesti, spine bifide, polia (poliomijelitisa, dječje paralize), mišićne distrofije ili moždanog udara.

Kada su uzdužni svodovi spuštjeni, stopalo je spušteno ili ravno (planus) [19], [20]. Spušteno stopalo kao i kavusno stopalo (s visokim svodom) ne prenosi sile učinkovito i zato može uzrokovati bol u stopalu. Štoviše, to također dugoročno utječe na razdiobu pritiska u druge dijelove tijela što može uzrokovati bolove u leđima. Ova metamorfoza je rezultat veće inverzije stražnjeg dijela stopala koja je nastala udarca pete u grupi koja ima spušteno stopalo [21].

Birtane i sur. ocijenili su učinak različitih kategorija pretilosti na vrijednosti plantarnog tlaka [22]. Ova studija je uključivala stopala (lijevo i desno stopalo) 50 ispitanika podijeljenih u dvije grupe kao nepretila i pretila grupa 1 prema njihovim vrijednostima indeksa tjelesne mase. Istražene zone tlaka su: vršni tlak falange, vršni tlak medijalnog dijela prednjeg stopala, vršni tlak srednjeg dijela stopala, vršni tlak bočnog dijela stopala, vršni tlak srednjeg dijela stopala, vršni tlak stražnjeg dijela stopala, plantarno kontaktno područje.

Veal i sur. kvantificirali su povećanje težine [23]. Za tu svrhu autori su provjerili je li povećanje težine utjecalo na srednje vršne tlakove stopala tako što su kontrolirali funkciju stopala, deformaciju i strukturu. Novi sustav za dinamičko mjerenje tlaka u cipeli (Pedar sustav) upotrijebljen je za mjerenje vršnih plantarnih tlakova stopala.

U ovom dijelu predstavljaju se glavne bolesti i patologije stopala. Patološke procjene pokazuju da su poznavanje i morfološka analiza isto kao i antropometrija odlučujući faktori u dijagnozi podijatra.

2. Morfološka analiza

Morfološka analiza je područje koje se odnosi na proporcije i dimenzije antropometrijskih mjera. Poznavanje morfologije je značajno na mnogim područjima jer može objasniti npr. je li se time mogu objasniti usponi i padovi fikološkog zdravlja osobe. Isticanje antropometrije ima važnu ulogu u forenzičkim istraživanjima za identifikaciju žrtve što se tiče spola, populacijske grupe i demografije [24].

U obućarskoj industriji antropometrija je značajni preduvjet za optimiranje kalupa cipele i uložaka prema različitim dobnim grupama, rasama, sastavu tijela i spolu. Mnogi radovi se bave s problemom optimizacije i povezani su s mjerenjima. Za mjerenje stopala postoji nekoliko osnovnih metoda na tržištu kao što su pomična mjerila, crteži, mjerne vrpce itd. Međutim, današnji postupci kao 3D skeneri stopala čini se da su prikladniji. Ortopedičari možda najviše upotrebljavaju gipsani odljev za dobivanje 3D oblika stopala jer je pogodan za upotrebu i konkurentan po cijeni. Međutim, 3D skener bi se bolje prilagodio zbog dostupne cijene i upotrebe u stvaranju baze podataka o klijentima ili za kampanje mjerenja.

Čini nam se da je prioritet analizirati antropometriju 3D stopala, dobiti najmodernija različita sredstva mjerenja stopala i verificirati ili definirati njihovu međusobnu povezanost.

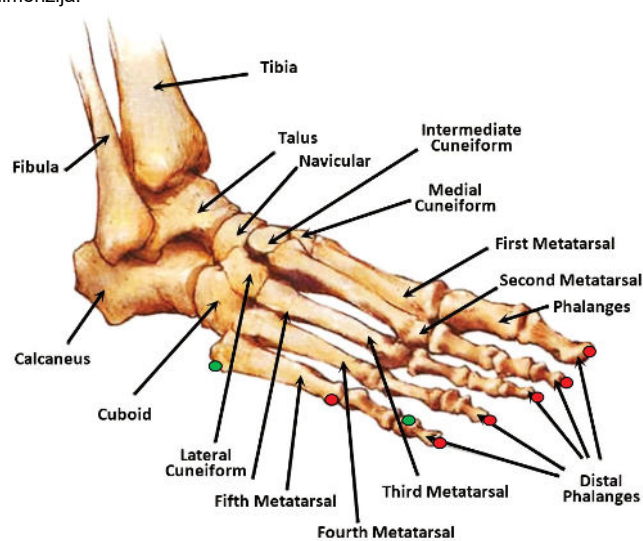
2.1. Antropometrija stopala

Po definiciji antropometrija je tehnika mjerenja ljudskog tijela i njegovih različitih dijelova. Mjerenje ljudskog tijela je čvrsto povezano s različitim mjernim točkama definiranim na kostima [25]. Na sl. 2 opisuju se

različite kosti stopala tako što se crvenom i zelenom bojom pokazuju antropometrijske točke.

Na kompletom ljudskom tijelu različite ravnine (sagitalna, prednja, poprečna) dijele tijelo kako bi se pripremio mjerni proces [26] što nije slučaj za stopala. U radovima Witane i sur. [27] antropometrijske točke su jedine referencije mjerenja koje su korištene za klasifikaciju 18 dimenzija po kategorijama prema dužini između dvije točke i ravnine, širine između dvije točke, kontura opsega smještenim s obzirom na jednu, dvije i li tri točke: dužina stopala, dužina svoda, peta prema unutarnjem gležnju, peta prema vanjskom gležnju, peta prema petom prstu, širina stopala, širina pete, bimalleolarna širina, širina srednjeg dijela stopala, visina unutarnjeg gležnja, visina vanjskog gležnja, visina na 50% dužine stopala, opseg glavice, opseg gornjeg dijela stopala (rista), opseg dugačke pete, opseg kratke pete, opseg gležnja, opseg struka.

Zbog usporedbe dimenzija stopala između dva spola i također s odgovarajućim podacima drugih populacija, Hajaghazadeh i sur. su dodali druge dimenzije [28]. Dodane su dužine drugog, trećeg i četvrtog nožnog prsta koji su izmjereni u smjeru Brannockove osi tako da se dobije 21 dimenzija.



Slika 1: Različite kosti stopala, antropometrijske točke

2.2. Tehnike mjerenja stopala

Izrada udobne obuće temelji se na antropometrijskom istraživanju koje određuje morfološki karakter stopala, ponašanje sustava stopalo-obuća i rezultatima morfofunkcionalne optimizacije oblika proizvoda. Prirodne anatomske morfološke konstrukcije stopala, njegovo korektno statičko i dinamičko funkcioniranje se osigurava racionalnim unutarnjim oblikom cipele, oblikom koji se određuje konstrukcijom kalupa cipele. Konstrukcija kalupa, određivanje dimenzija koje su potrebne da se ispune zahtjevi udobnosti većeg dijela potrošača uz minimalne proizvodne troškove mora se temeljiti na poznavanju i najpreciznijoj karakterizaciji anatomske morfološke razlika tipova stopala koji se susreću unutar populacije korisnika i učestalosti ovih tipova unutar populacije. Zbog toga je potrebno periodično provoditi antropometrijske studije populacije prema određenim kriterijima (spolu, dobi, geografskoj regiji itd.) kako bi se dobili podaci o dimenzijskim posebnostima prosječnog reprezentativnog stopala za tu populaciju, kao i zakoni razdiobe antropometrijskih parametara koji karakteriziraju reprezentativno prosječno stopalo populacije dotične zemlje [29].

Najuobičajeniji pristupi uključuju upotrebu digitalnih pomičnih mjerila za direktna mjerenja i 3D skeniranja te analizu otiska stopala za indirektna mjerenja. Vrlo je važno osigurati adekvatnu obuku tehničara da bi se korektno pozicionirale oznake na odgovarajućim anatomske točkama.

Glavni cilj uzimanja mjera stopala je dobiti aproksimaciju većine preciznih dimenzija stopala i zato biti u mogućnosti dizajnirati kalup cipele koji je fizička potpora bitna za dizajn cipele.

Tradicionalne mjerne metode kao npr. otisak stopala tintom, digitalno pomično mjerilo i Brannockov uređaj su tradicionalni manualni pristupi koji se koriste za prikupljanje dimenzija stopala. Međutim, ljudska greška može utjecati na preciznost mjerenja digitalnim pomičnim mjerilom. Različiti tehničari mogu dobiti nedosljedne i proturječne rezultate mjerenja. Vrlo je važno provesti adekvatnu obuku tehničara da korektno određuju oznake na odgovarajućim anatomskim točkama [30]. Također, da se dobiju pouzdane mjerne veličine, važno je poštivati pravila na snazi i norme [31]. Druga sredstva za tradicionalno mjerenje služe za mjerenje dužine korektno orijentiranog stopala, strateških kutova, opsega antropometrijskih kontura koji su korektno identificirani s obzirom na antropometrijske točke, te otisak stopala drugim tehnikama.

Digitalno pomično mjerilo (katkada se pogrešno naziva digitalno Vernier mjerilo) je precizan instrument koji se može upotrebljavati za vrlo precizno mjerenje internih i eksternih udaljenosti. McPoil i sur. koristili su digitalno pomično mjerilo za mjerenje i kombinaciju nekoliko antropometrijskih mjerenja da bi predvidjeli plantarnu površinu [32]. Šest mjernih veličina koje su uspoređene kod proučavanja su: ukupna dužina stopala, dužina glavice, dorzalna visina svoda, širina prednjeg dijela stopala, širina srednjeg dijela stopala, širina pete.

Brannockov uređaj, konstruiran 1927., je uređaj za mjerenje stopala koji je bio obavezan u svim prodavaonicama obuće na malo. Budući da se njime ručno rukuje, te zbog preciznosti mjerenja, kvalitetne konstrukcije i jednostavnog, a ipak potpuno funkcionalnog dizajna, razlog su zašto su Brannockovi mjerni uređaji postali standard u obućarskoj industriji [27]. Premda se ovaj mjerni uređaj smatra najpouzdanijim za mjerenje dužina stopala s obzirom na savršeno poravnavanje s Brannockovom osi, neki autori i dalje upotrebljavaju tradicionalnu mjernu vrpču za svoja mjerenja [33] [34]. Ove tehnike nisu zadovoljavajuće za dobivanje mjernih veličina koje bi se mogle upotrebljavati za atipične morfologije.

3D digitalno mjerenje se obično provodi pomoću 3D skenera koji može biti različit ovisno o željenoj visini mjerenja. Tvrtka BFTS Human Technology nudi 2 verzije INFOOT 3D skenera [35]. Prva verzija može mjeriti visinu od 150 mm, a druga verzija 250 mm. Ova druga verzija je zanimljiva za područje čizama gdje je potrebno dublje poznavanje gornjeg dijela stopala ili u području ortoze. 3D skener stopala koristi tehnologiju skeniranja optičkim laserom. INFOOT skenira oblik stopala od anatomskih točaka i automatski mjeri gotovo 20 mjernih objekata.

Witana i sur. pokazuju veliko zanimanje za upotrebu 3D skenera stopala. Autori su uspoređivali u svojem proučavanju mjerne rezultate 3D skenera s ručnim mjerenjima stopala. U radu se ističe da važne razlike u točnosti mjerenja nastaju zbog mjernih alata, protokola mjerenja, vremena mjerenja, te stupnja uvježbanosti mjeritelja [27]. Lee i sur. su dobili slične rezultate kod usporedbe s konvencionalnim metodama mjerenja stopala, ali naročito kod upotrebe digitalnog pomičnog mjerila, otiska stopala tintom, te digitalnog otiska stopala [30]. 3D skener je bio neizostavan alat za vrednovanje rezultata antropometrijskih parametara koji su dobiveni 3D mjerenjima i njihovom statističkom i matematičkom obradom u radovima Pantazia i sur. [29]. 3D skener stopala su koristili i Nacher i sur. za preciznost i brzinu da bi klasificirali stopala populacije od 316 ispitanica. Ova studija predstavlja interes za poboljšanje udobnosti cipela pomoću modela kojim se predviđa pristalost obuće na temelju korisničkih podataka [36].

Podijatri upotrebljavaju druge tehnike da bi direktno dobili 3D oblik donje strane stopala sa ciljem dizajna ortopedskih uložaka koji su prilagođeni pacijentu. Na primjer, može se navesti okvir s dvostrukim otiskom [37] koji omogućuje da se od otiska stopala realizira 3D oblik dvaju stopala u gipsu ili smoli i da se konačno dobiju ortopedski ulošci. Ovaj ručni postupak nije direktan i skup je jer zahtijeva potrošni materijal za oblikovanje i izradu uložka. Postupak bi se mogao odvijati numerički i brže u CD-u.

Ručno mjerenje općenito uzrokuje i mjerenje grešaka ovisno o mjeritelju i njegovom zamoru ako ga provodi na mnogo osoba. Da bi se izbjegao takav problem, u industriji su razvijeni različiti tipovi 3D skenera stopala. Međutim, protokol mjerenja i iskorištavanje rezultata ovih novih alata za mjerenje stopala mogu utjecati na preciznost mjerenja. Zato se ovaj rad posvećuje primjeni naše vlastite metode mjerenja temeljene na 3D

neobrađenim rezultatima skenera. Ovi rezultati će se usporediti s rezultatima koji su dobiveni direktno od softvera kojeg je prodao proizvođač izabranog skenera. Potrebna je antropometrijska analiza jer predstavlja središte procesa mjerenja.

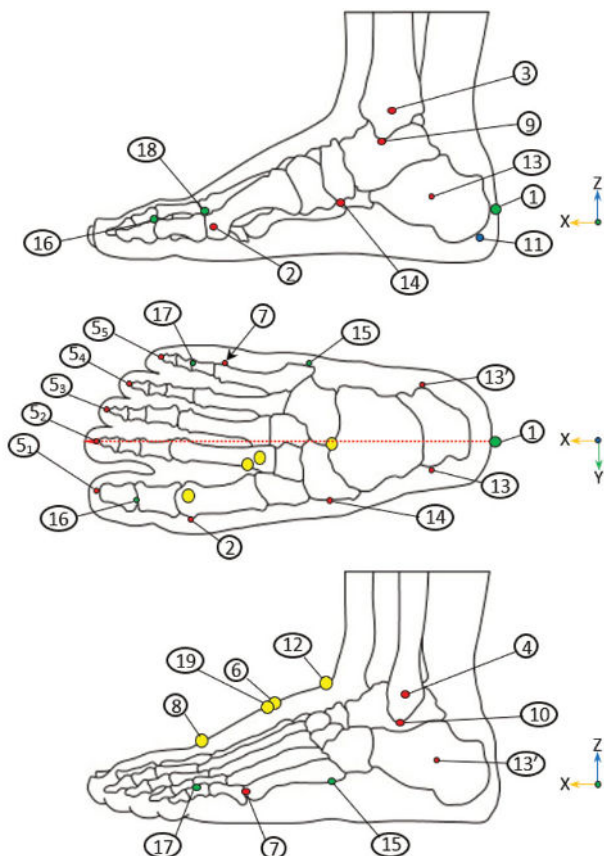
3. Antropometrijska analiza mjernih veličina stopala

3.1. Antropometrijske točke

Mjerenja stopala u biti ovise o antropometrijskim točkama koje su definirane na preciznim mjestima kostura. Uređaj za ručno mjerenje stopala, koji se koristi i znanstveno je provjeren, je uređaj koji je izumio Brannock. Pozicioniranje stopala u ovom uređaju omogućuje definirati referentnu os za mjerenje: Brannockovu os. Općenito, za stopalo koje nema problem deformacije (tipična deformacija: naznačuje bolesti) referentna os je virtualna linija između pterniona prema vrhu drugog nožnog prsta (A). Budući da mogu postojati male razlike između mjerenja rukom pomoću mjerne vrpce, Brannockovog uređaja i 3D skenera, čini se važnim podsjetiti se na to zašto su antropometrijske točke važne za mjerenje stopala i kako se trebaju uzimati te mjere ili interpretirati kako bi se pronašao najbolji kompromis između ovih različitih metoda. Danas se razlikuje 19 antropometrijskih točaka:

- 1) Pternion :
- 2) Metatarzalna tibija : Najviše medijalno istaknuta točka na prvoj metatarzalnoj kosti bone
- 3) Unutarnji gležanj : Najviše medijalna točka unutaršnjeg gležnja
- 4) Vanjski gležanj : Najviše lateralna točka vanjskog gležnja
- 5_n) n-ti prst : n-ti vrh prsta
- 6) Rist: Vrh točke rista
- 7) Metatarzalna fibula : Najviše lateralno istaknuta točka na petoj metatarzalnoj kosti
- 8) Najviša točka prvog metatarzala : Vrh točke opsega glavice
- 9) Sfirion :
- 10) Sfirionska fibula :
- 11) Točka dočeka : Točka stražnjeg dijela pete
- 12) Spojna točka :
- 13 & 13') točke kalkaneusa : Najviše medijalno i lateralno istaknute točke na petnoj kosti
- 14) Navikularna kost :
- 15) Peti metatarzal : Tuberoznost 5. metatarzala
- 16) Prvi zglobov prsta : Najviša točka prvog zgloba prsta
- 17) Peti zglobov prsta : Najviša točka petog zgloba prsta
- 18) Prvi metatarzal : Najviša točka glavice prvog metatarzala
- 19) Najviša točka srednjeg dijela stopala : Najviše točka vertikalnog opsega na 50% dužine stopala od pterniona

Na sl. 2 prikazan je položaj ovih točaka u odnosu na kostur stopala i zglobova. Naravno, u praksi će se ove točke pozicionirati s malim pomakom kojeg uzrokuje višak mišićne mase koja okružuje strukturu kosti.



Slika 2: Anatomске kosti, antropometrijske točke

3.2. Mjerne veličine stopala

Mjerne veličine stopala se općenito svrstavaju u 4 kategorije (dužine, visine, širine i opsezi). Peta kategorija (kutovi) koja je potrebna za dizajn obuće (taban, cipela) se dobije iz prethodnih mjernih veličina.

Dužine: Sve udaljenosti se mjere duž Brannockove osi (X-smjer)

L1 – dužina stopala: udaljenost od točke 1 do vrha najdužeg prsta

L2 – dužina svoda: udaljenost od točke 1 do točke 2

L3 – peta do unutarnjeg gležnja: dužina od točke 1 do točke 3

L4 – peta do vanjskog gležnja: dužina od točke 1 do točke 4

L5 – peta do petog prsta: udaljenost od točke 1 do točke 5

L6 – peta do sfiriona: udaljenost od točke 1 do točke 9

L7 – peta do sfirionske fibule: udaljenost od točke 1 do točke 10

Visine: Sve udaljenosti se mjere u vertikalnom smjeru (Z-smjeru)

H1 – Visina unutarnjeg gležnja: udaljenost od poda do točke 3

H2 – Visina vanjskog gležnja: udaljenost od poda do točke 4

H3 – Visina rista: udaljenost od poda do točke 6

H4 – Visina sfiriona: udaljenost od poda do točke 9

H5 – Visina sfirionske fibule: udaljenost od poda do točke 10

H6 – Visina srednjeg dijela stopala: maksimalna visina izmjerena s linijom na 50% dužine stopala od točke 1

Širine: Sve udaljenosti se mjere u smjeru okomitom na Brannockovu os (Y-smjer)

Kod ovog tipa mjerenja mogu nastajati greške jer u ručnom načinu rada upotrebom cefalometra ili nekim 3D skenerima ove udaljenosti mogu biti najkraće udaljenosti između mjernih točaka.

W1 – Širina stopala: udaljenost od točke 2 do točke 7

W2 – Bimaleolarna širina: udaljenost od točke 3 do točke 4

W3 – Širina srednjeg dijela stopala: maksimalna širina izmjerena s linijom kod 50% dužine stopala od točke 1

W4 – Širina pete: udaljenost od točke 13 do točke 13'

Opsezi: Ova vrsta mjerenja može predstavljati konturu nacrtanu u obliku (ex. skener ili CAD) ili ekvivalentnu konturu koja predstavlja istegnutu mjernu vrpču.

G1 – Opseg glavice: opseg od stopala koji prolazi kroz točku 2, točku 8 i točku 7

G2 – Opseg rista: najmanji opseg koji prolazi kroz točku 6

G3 – Dugački opseg pete: opseg koji prolazi kroz točku 6 i točku 11

G4 – Kratki opseg pete: minimalni opseg koji prolazi kroz točku 12 i točku 11

G5 – Opseg gležnja: vodoravni opseg koji prolazi kroz točku 12

G6 – 50% opsega dužine stopala: okomit opseg kod 50% dužine stopala od točke 1

Kutovi: Kut prema bočnoj liniji stopala

A1 – Kut prvog prsta: kut s planom B

A2 – Kut petog prsta: kut s planom C

3.3. Protokol mjerenja 3D skenerom stopala

Prva kampanja mjerenja provedena je tako da se počela stvarati dovoljna baza podataka da se potvrdi naš 3D grafički proces. Skenirana su stopala 100 osoba. Nije se razlikovalo između stopa muškaraca i žena. Na ovom stupnju istraživanja morfologija stopala ne ovisi o spolu. Razlikovanje će se izvršiti kasnije kod izrade obuće prema ciljanoj populaciji.

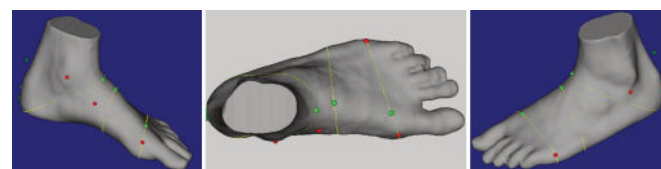
Mjerni uređaj koji je korišten za skeniranje različitih stopala za našu bazu podataka je skener stopala INFOOT. Dizajner je odredio protokol mjerenja. U prvoj fazi 8 malih komada materijala je zalijepljeno na stopalo osobe kako bi se izvršilo skeniranje tako da softver može izmjeriti veličinu ukupnog volumena stopala (sl. 3).

Taktilna analiza kostiju stopala se provodi da se bolje otkriju sljedeće antropometrijske točke: metatarzalna fibula 7, sfirionska fibula 10, vanjski gležanj 4, rist 6, metatarzalna tibija 2, navikularna kost 14, sfirion 9, te unutarnji gležanj 3 (sl. 3).

Pet crvenih naljepnica lokalizira referentne točke za izračun različitih antropometrijskih točaka i pozicioniranje morfoloških kontura. Antropometrijski izvještaji gdje korisnik može intervenirati doprinose automatskom procesu računanja i umjeravanju (kalibraciji) po potrebi. Na slici 4 prikazani su rezultati morfologije koji će se ispitati.

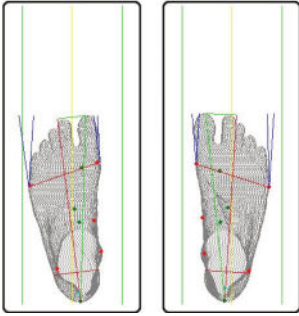


Slika 3: Oznake za proces skeniranja



Slika 4: Otkrivanje antropometrijskih točaka i morfološke krivulje na stvarnom stopalu

Na sl. 5 prikazani su rezultati mjerenja (dužine, širine, visine, kutovi i opsezi) provedeni u normalnim uvjetima upotrebe skenera, tj. stopala se moraju pozicionirati između dvije zelene linije.



	Desno	Lijevo
Dužina stopala	276,9	280,6
Opseg glavice	270,1	278,7
Širina stopala	113,2	115
Opseg rista	267,2	282,7
Širina pete	68,4	67,2
Dužina fibularnog rista	181,6	175,7
Visina vrha opsega glavice	44,1	47,6
Visina rista	75,8	75,9
Kut prvog nožnog prsta (°)	-3,3	-8,4
Kut petog nožnog prsta	10,6	4,9
Visina navikularne kosti	57,7	38,6
Visina sfirionske fibule	54,7	78,2
Visina sfiriona	88,2	67,8

Slika 5: Skeniranje i mjerne veličine stopala

4. 3D grafički proces

U ovom poglavlju govori se o primjeni nove metode antropometrije stopala. To je vrlo je precizna metoda koja se može primjenjivati, čak prilagoditi, svakom stopalu jer je poluautomatska, tj. preporučljiva s parametrima koji su specifični za morfologiju pacijenta ili klijenta. Svaka faza se mora strogo slijediti s obzirom na antropometrijske povezanosti koje su integrirane u proces.

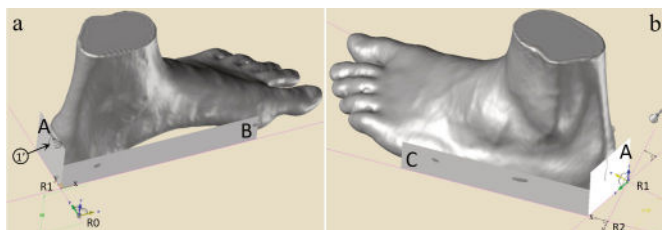
4.1. Kontura otiska stopala

Prva faza 3D grafičkog procesa je da se stopalo uklješti u trapezoid koji se sastoji od 6 ravnina za definiciju geometrije optimalne konture koja obuhvaća otisak stopala. Za tu svrhu koriste se dvije tehnike čija je svrha pronaći kontaktno područje ili područja između površine okomite na tlo i 3D oblika stopala.

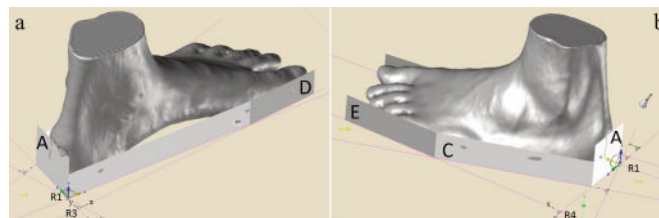
Budući da se radi ručno kod mjerenja stopala, bitno je da se prvo uklješti peta na vertikalnoj površini A kako bi se definirala nula koordinatnog sistema duž X osi, čime se omogućuje otkriti kontaktnu zonu koja daje aproksimaciju položaja točke 1, što se naziva 1' (sl.2 i sl. 6a). Zatim se mora translirati i okrenuti stopalo tako da se nalazi na vertikalnoj ravnini -B prema ravnini -A što daje dvije kontaktne zone. U našem procesu postupak je obratan jer je stopalo učvršćeno u apsolutnom koordinatnom sistemu R0(O,x,y) (sl. 6a). Potrebno je tražiti ravninu -B prije ravnine -A. Zato se dizajnira pomični koordinatni sistem R1(O1,x,y) u odnosu na R0 i kontrolira se s dvije translacije duž X i Y osi i rotacijom duž Z osi. Dva pravca poravnata na X i Y osima u R1 koji podupire dvije ravnine moći će se translirati i rotirati tako da se područja mogu vizualizirati pomoću svojih pridruženih ravnina.

Na isti način ravnina -C se pozicionira pomoću pomičnog koordinatnog sistema R2(O2,x,y) (sl. 6b). Ovaj koordinatni sistem je izrađen u odnosu na R1 i kontrolira se translacijom duž Y osi i rotacijom duž Z osi. Pravac poravnat na X osi u R2 koji podupire ravninu će se translirati i rotirati tako da može vizualizirati dvije zone pomoću svoje pridružene ravnine.

Ravnina -D omogućuje traženje kuta nagiba prvog prsta koji se pozicionira pomoću pomičnog koordinatnog sistema R3(O3,x,y) čije ishodište O3 klizi translacijom na pravcu koji predstavlja Y os u R1 (sl. 7a). Koordinatni sistem R3 se vrti oko svoje Z osi da se upravlja kutom nagiba njegove X osi na kojoj se poravnava pravac koji podupire ravninu otkrivanja kontaktne zone sa stopalom.



Slika 6: Uklještenje pete pomoću dvije ravnine, pronalaženje medijalnih i lateralnih kontaktnih točaka

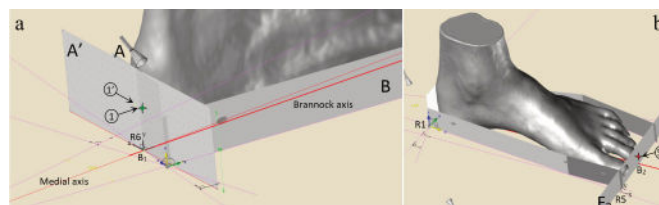


Slika 7: Pronalaženje medijalnih i lateralnih kontaktnih točaka nožnih prstiju

Ravnina -E traži kut nagiba petog prsta (sl. 7b). Pozicionira se pomoću pomičnog koordinatnog sistema R4(O4,x,y) čije ishodište O4 klizi translacijom na pravcu koji predstavlja Y os u R1. Koordinatni sistem R4 vrti se oko svoje Z osi da upravlja kutom nagiba svoje X osi na kojoj se poravnava pravac koji podupire ravninu pronalaženja.

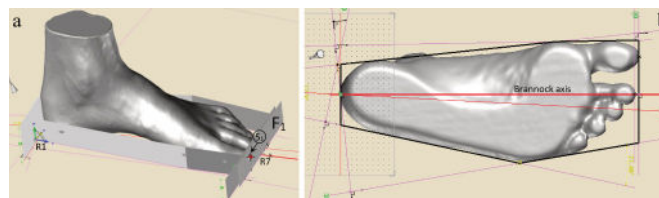
Na ovom mjestu u procesu zahtijeva se locirati Brannockovu os. U prvoj fazi određuje se srednja os između dvije ravnine B i C da se pronađe sjecište B₁ između ove osi i pravca povezanog s ravninom- A (sl. 8a). Ova točka je polazište B₁ Brannockove osi jer predstavlja projekciju zbog antropometrijske točke 1 (prilagodba točke 1').

Drugi kraj je na kraju drugog nožnog prsta (sl. 8b). Pronalaženje ovog kraja postiže se izradom pomičnog koordinatnog sistema R5(O5,x,y) čije ishodište O5 klizi translacijom na pravcu koji predstavlja X os u R1. Referentni R5 okreće se oko svoje Z osi zbog upravljanja kutom nagiba osi Y na kojoj se poravnava pravac koji podupire pronalaženje ravnine F₂. Ovaj kut mora se podešavati tako da ravnina F₂ bude okomita na Brannockovu os. Kada se pronađe krajnja točka 5₂, ona se projicira na desnu stranu koja predstavlja Y os ove točke za dobivanje drugog kraja B₂ na Brannockovoj osi. Ova os se tada može crtati od B₁. Zatim, na točki B₁ se izrađuje novi koordinatni sistem R6(O,x,y) koji je okomit na Brannockovu os (sl. 8a). Ravnina pronalaženja A' se izrađuje od pravca koji predstavlja X os u R6 da bi se prilagodio krajnji položaj točke 1. Uvjet je da točka 1 mora biti na istoj visini kao i u području koje je pronađeno pomoću A'.



Slika 8:

Sad se može finalizirati kontura otiska stopala izradom zadnje F₁ ravnine koja pronalazi kraj 5₁ prvog prsta (sl. 9a). Ova ravnina se poravnava na pravcu koji predstavlja Y os koordinatnog sistema R7(O7,x,y) čije ishodište se translira na Brannockovoj osi. Na sl. 9b prikazana je kontura koja je pronađena i na kojoj se mogu locirati antropometrijske točke.

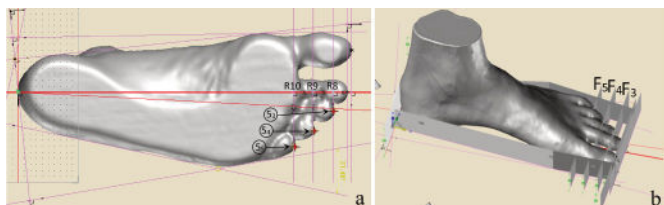


Slika 9: Pronalaženje kontaktne točke 5₁, kontura otiska stopala

4.2. Pronalaženje antropometrijskih točaka i mjerenje

Vrhovi prstiju (5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅)

Kod iste analitičke analize kao i za prvi nožni prst različiti koordinatni sistemi R8(O8,x,y) R9(O9,x,y) R10(O10,x,y) postavljeni su duž Brannockove osi da se dobiju različiti pravci koji predstavljaju Y os svakog koordinatnog sistema (sl. 10a). Zatim su izrađene ravnine pronalaženja F₃, F₄, F₅ na svakom pravcu (sl. 10b). 3 krajnje točke 5₃, 5₄, 5₅ zadnjih prstiju koje su pronađene pomoću ovih ravnina se tada projiciraju na Brannockovu os. Dužina svakog prsta s obzirom na B₁ (projicirano iz 1) može se mjeriti direktno na X osi koordinatnih sistema za 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅.



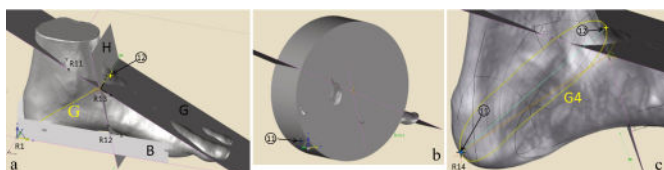
Slika 10: pronalaženje kontaktnih točaka 5₃, 5₄, 5₅

Spojina točka (12) i točka dočeka (11)

Spojina točka se definira iz kosih ravnina, ravnina G u kosom smjeru od vrha stopala (bočni pogled), ravnina H u smjeru kontaktne zone donjeg dijela tibije (bočni pogled) (sl. 11a). Ove dvije ravnine okomite na ravninu B nastaju iz dva pravca, jedan od njih je orijentiran duž X osi koordinatnog sistema R11(O11,x,y), drugi je orijentiran duž Y osi koordinatnog sistema R12(O12,x,y) (sl. 11c). Ovi koordinatni sistemi rotiraju oko Y osi u R1 u XY ravnini za R1 da bi se u obzir uzimala okomitost. Orijentacija ovih koordinatnih sistema i njihov međusoban položaj s obzirom na referentni R1 omogućuju upravljati dodirnim zonama ravnina u kontaktu sa stopalom.

Zatim se izrađuje koordinatni sistem R13(O13,x,y) na sjecištu dva pravca koji definiraju kontaktne ravnine G, H. Ovaj koordinatni sistema ima Y os poravnatu s X osi u R11. Zatim se izrađuje valjak i centriraju u O13, s time da je njegova glavna os poravnata na Z osi u R13 (sl. 11b). Z os u R13 također se nalazi na sjecištu dvije ravnine G i H. Modifikacijom promjera ovog valjka moguće je pronaći kontaktnu zonu pete koja predstavlja točku dočeka stopala 11.

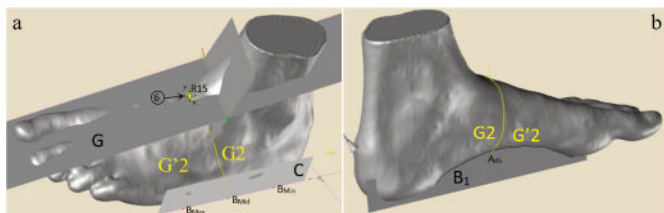
Od pravca koji povezuje ishodišnu točku O13 u R13 i točke dočeka 11 koja je pozicionirana i usmjerena na točku 11 nastaje koordinatni sistem rezanja R14(O14,x,y) (sl. 11c). Žuta krivulja koja nastaje iz rezanja stopala pomoću ravnine rezanja u R14 predstavlja kratki opseg pete G4. Spojna točka 12 je na krajnjoj točki ove krivulje u vertikalnom smjeru prema gore.



Slika 11: Smjer kontaktnih točaka 11, 12

Točka na ristu (6)

Točka na ristu 6 je točka koje se pronalazi ravninom G. Nalazi se na donjem dijelu kontaktne zone (sl. 12a). Ova točka je jedna od tri točke prolaza kroz krivulju opsega rista G2. Druga točka A_{rs} se nalazi na gornjem dijelu svoda (sl. 12a). Sjecište između ravnine B1 paralelno s B i stopala omogućuje da se izradi dio krivulje koji simbolizira oblik unutarnjeg svoda. Treća točka B_{mid} se definira u sredini dvije točke B_{max}, B_{min} koje se nalaze na krajevima tangenčnih područja ravnine C. Ove točke se definiraju na pravcu izrade ravnine G (sl. 12a). Budući da točka B_{mid} ne pripada površini stopala, potrebno je izraditi točku rezanja R15(O15,x,y) na 6 da se izradi krivulja G2. Krivulja G'2 je krivulja okomita na Brannockovu os koja predstavlja opseg rista G'2 koji predlaže skener stopala.

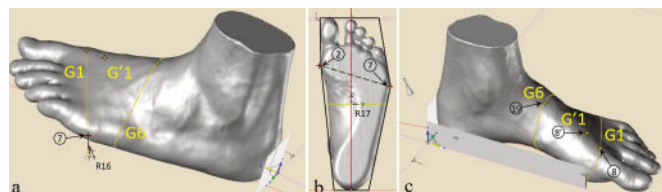


Slika 12: Pronalaženje kontaktne točke 6

Metatarzalna tibija (2), metatarzalna fibula (7), najviša točka prvog metatarzala (8)

Točka 2 metatarzalne tibije i točka 7 metatarzalne fibule mogu se pronaći iz kontura otiska stopala (sl. 13b). Zato su uzeta u obzir sjecišta između pravaca izrade ravnina B i D kao i ravnine C i E na donjoj razini, tj.

tlu. Ove dvije točke su dovoljne za izradu osi spajanja stopala. Na kraju ove osi izrađuje se koordinatni sistem R16(O16,x,y) tako da je njegova X os na ovoj osi spajanja (sl. 13a). Opseg glavice G1 se dobije pomoću XY ravnine rezanja koja se može orijentirati duž X osi u R16 da se pronađe najviša točka prvog metatarzala 8 (sl. 13c). Metatarzal tibije 2 i metatarzal fibule 7 predstavljaju ekstremne točke na krivulji G1 u X i -X smjerovima (prema vanjskoj strani stopala). Krivulja G'1 je krivulja okomita na tlo poravnato s osi spajanja koja predstavlja opseg glavice G'2 kojeg predlaže 3D skener stopala.



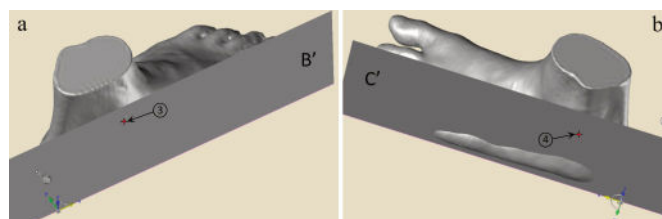
Slika 13: Pronalaženje kontaktnih točaka 2, 7, 8, 19

Najviša točka srednjeg dijela stopala (19)

Krivulja koja predstavlja opseg na 50% dužine stopala od pterniona dobije se iz koordinatnog sistema rezanja R17(O17,x,y) koji je smješten duž Brannockove osi pomoću iste metode koja je korištena za R8, R9 i R10 (sl. 13b). Na toj krivulji se G6 otkriva na najvišoj točki srednjeg dijela stopala 19 koja predstavlja ekstremnu točku u smjeru -Y (sl. 13c).

Medial malleolus (3), lateral malleolus (4) (unutarnji gležanj (3), vanjski gležanj (4))

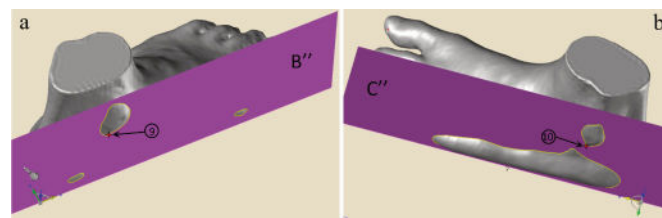
Unutarnji gležanj 3 i vanjski gležanj 4 dobiju se iz dvije ravnine B', C' paralelne na ravnine B i C. Za drugu točku u obzir je uzeta druga kontaktna zona koja je nadređena prvoj (sl. 14ab)



Slika 14: Pronalaženje kontaktnih točaka 3, 4

Sfiron (9), sfirionska fibula (10)

Za pronalaženje sfiriona 9 i sfirionske fibule 10 koristi se tehnika ekvivalentna za točke 3 i 4. Dvije ravnine za pronalaženje B'' i C'' kreću se malo dublje u stopalu da se okruži gležanj. Na toj točki moguće je izraditi dvije krivulje koje okružuju svaki gležanj kod traženja sjecišta između ove dvije ravnine i stopala. Sfiron 9 i sfirionska fibula se tada nalaze na njihovoj najdonjoj točki što predstavlja ekstremnu točku u -Z.



Slika 14: Pronalaženje kontaktnih točaka 3, 4

4.3. Analiza procesa mjerenja

Iz antropometrijskih točaka i morfoloških krivulja koje su pronađene i izrađene pomoću 3D grafičkog procesa izračunate su mjerne veličine potrebne za dimenzioniranje stopala (tab. 1: L1 do G6). Tablica 1: Mjerenje razlike između 3D grafičkog mjerenja i mjerenja skeniranjem uspoređuje rezultate dobivene preporučenom metodom i metodom kojom se koristi skener. Budući da skener omogućuje druga komplementarna mjerenja (mjerne veličine u kurzivu) u odnosu na standardne mjere (terminologija specifična za skener), to je dodano u popis (L8 do A1) tako da je usporedba potpuna.

Rezultati pokazuju da sva mjerenja korisna za određivanje veličine stopala imaju samo malu pogrešku. Samo mjerna veličina H5 ima grešku uglavnom zbog mjerenja skeniranjem. Budući da to ovisi o pozicioniranju komada materijala koji je zalijepljen na stopalo osobe zbog skeniranja da se odredi položaj sfirionske fibule, nepreciznost nastaje zbog ovog ručnog načina rada. Isti problem je ustanovljen i za H7 (komadi materijala pozicionirani ručno).

Budući da skener ne mjeri G kako je navedeno u znanstvenoj bibliografiji (sada G' za skener), točka 8 je postala točka 8' za skener čime se objašnjava razlika za H8. Ova razlika se mnogo smanjuje ako se vrši mjerenje kako to prakticira skener (mjerenje između zagrada za 3D grafički proces).

Mjerenje dva kuta se može kritizirati kod primjene skenera. Ovo mjerenje, koje je vrlo važno za definiranje osnovnog oblika uloška, ovisi o konturi otiska stopala.

Tehnika mjerenja našeg procesa temelji se na 3D obliku stopala dok je tehnika koju koristi skener različita i temelji se na pravcu od stopala što često daje negativne kutove.

Tablica 1: Mjerenje razlike između 3D grafičkog mjerenja i mjerenja skeniranjem

	3D grafičko mjerenje	Mjerenje skeniranjem	Greška (%)
L1 – stopalo	277,5	280,6	1,1
L2 – svod	200,6	203,4	1,3
L3 – peta prema unutarnjem gležnju	68,1		
L4 – peta prema vanjskom gležnju	41,3		
L5 – peta prema petom nožnom prstu	229,6		
L6 – peta prema sfirionu	63,2		
L7 – peta prema sfirionskoj fibuli	50,1		
H1 – unutarnji gležanj	92,0		
H2 – vanjski gležanj	79,2		
H3 – rist	77,9	75,9	2,6
H4 – sfirion	65,5	67,8	3,3
H5 – sfirionska fibula	63,4	78,3	21,7
H6 – srednji dio stopala	75,2		
W1 – stopalo	110,6		
W2 – bimalleolar	70,8		
W3 – srednji dio stopala	95,2		
W4 – peta	68,1	67,2	1,3
G1 – glavica	276,9(277,5)	278,7	0,6
G2 – rist	273,0(267,7)	282,7	3,4
G3 – dugačka peta	372,0		
G4 – kratka peta	353,2		
G5 – gležanj	272,3		
G6 – 50% dužina stopala	266,7		
L8 – fibularni rist	166,6	175,7	5,1
H7 – svod ili navikular	29,9	38,6	22,5
H8 – vrh prvog metatarzala	26,4 (53,2)	47,6	44,5 (11,7)
W5 – širina stopala	115,9	115	0,7
A1 – prvi prst	5°	-8,4°	159
A1 – peti prst	21,4°	4,9°	336

5. Zaključak

U ovom radu razvijen je 3D grafički proces za otkrivanje antropometrijskih točaka na stopalu. Ove antropometrijske točke su bitne za dobivanje mjernih veličina koje karakteriziraju oblik i dimenzije stopala. Kod ovog beskontaktnog postupka mjerenja predlaže se tehnika praćenja kod koje se koriste virtualne podesive ravnine.

Usporedba je izvršena pomoću industrijskih podataka mjerenja iz specifičnog softvera u 3D skener stopala. Ukupno gledajući, rezultati pokazuju dobro podudaranje između podataka izmjerenih 3D skenerom i našeg procesa. Međutim, industrijske metode se kritiziraju jer ovise o pozicioniranju oznaka na stopalu i antropometrijskim omjerima koji su integrirani u proces mjerenja. Time se objašnjava nekoliko razlika kod nekih mjernih veličina. Među ostalim, upotreba antropometrijskih izvještaja je

nepoželjna i može uzrokovati mnogo više grešaka ako je stopalo koje se mjeri izvan uobičajenog izgleda, tj. ima značajne deformacije. Naša metoda ima prednost da se prilagodi ovom problemu jer se može testirati na stopalu sa čukljem ili čekićastim prstom koji su pronađeni tijekom kampanje mjerenja i u drugim

6. References

- [1] Centre Hospitalier, "Le pied," Bois de l'abbaye. .
- [2] J. A. DeBello, K. I. DeCoteau, and E. Beatty, "Taking A Novel Approach To Hammertoe Surgery," Podiatry Today, 2006. .
- [3] E. B. Neves, A. J. Almeida, C. Rosa, J. Vilaca-Alves, V. M. Reis, and R. Mendes, "Anthropometric profile and diabetic foot risk: a cross-sectional study using thermography," pp. 1–3, 2016.
- [4] S. K. van de Velde, M. Cashin, R. Johari, R. Blackshaw, A. Khot, and H. K. Graham, "Symptomatic hallux valgus and dorsal bunion in adolescents with cerebral palsy: clinical and biomechanical factors," Dev. Med. Child Neurol., vol. 60, no. 6, pp. 624–628, 2018.
- [5] "Hallux valgus: only the handicap leads to the operation of the onion - Why Doctor," Pourquidocteur.fr, 2016. [Online]. Available: <https://www.pourquidocteur.fr/MaladiesPkoidoc/1126-Hallux-valgus-seul-le-handicap-conduit-a-l-operation-de-l-oignon>. [Accessed: 19-Jun-2019].
- [6] S. Taş and A. Çetin, "Mechanical properties and morphologic features of intrinsic foot muscles and plantar fascia in individuals with hallux valgus," Acta Orthop. Traumatol. Turc., no. xxxx, pp. 3–7, 2019.
- [7] J. Ragland, "How to get rid of bunions," Getridofthings. .
- [8] R. O. N. B. Killian, G. S. Nishimoto, and J. C. Page, "Fo and an," vol. 88, no. 8, pp. 365–374, 1998.
- [9] A. Paiva de Castro, J. R. Rebelatto, and T. R. Aurichio, "The relationship between foot pain, anthropometric variables and footwear among older people," Appl. Ergon., vol. 41, no. 1, pp. 93–97, 2010.
- [10] K. J. Mickle and C. J. Nester, "Morphology of the Toe Flexor Muscles in Older Adults With Toe Deformities," Arthritis Care Res., vol. 70, no. 6, pp. 902–907, 2018.
- [11] A. Ladhani, "What are heel spurs?," step-by-step foot care, 2015. [Online]. Available: <https://stepbystepfootcare.com/blog/what-are-heel-spurs/>. [Accessed: 21-Jun-2019].
- [12] U. Chundru, A. Liebeskind, F. Seidelmann, J. Fogel, P. Franklin, and J. Beltran, "Plantar fasciitis and calcaneal spur formation are associated with abductor digiti minimi atrophy on MRI of the foot," Skeletal Radiol., vol. 37, no. 6, pp. 505–510, Jun. 2008.
- [13] H. Lemont, K. M. Ammirati, and N. Usen, "Plantar fasciitis: a degenerative process (fasciosis) without inflammation.," J. Am. Podiatr. Med. Assoc., vol. 93, no. 3, pp. 234–7, 2003.
- [14] L. Özgönenel, "Plantar Fasciitis," Tech. Foot Ankle Surg., vol. 12, no. 2, p. 109, 2013.
- [15] J. D.B., Hollinshead's Functional Anatomy of the Limbs and Back. Elsevier Health Sciences, 2008.
- [16] T. F. Novacheck, "Review Paper The biomechanics of running," Gait Posture, vol. 7, pp. 77–95, 1998.
- [17] "Foot pain | Mast Cells & Collagen Behaving Badly." .
- [18] J. G. Atwater, "Cavus Foot (High-Arched Foot) Video | Orthopedic Doctor in Vero Beach, Florida." .
- [19] G. Gijon-Noguero, J. Montes-Alguacil, P. Alfageme-Garcia, J. A. Cervera-Marin, J. M. Morales-Asencio, and A. Martinez-Nova, "Establishing normative foot posture index values for the paediatric population: a cross-sectional study," J. Foot Ankle Res., vol. 9, no. 1, p. 24, Dec. 2016.
- [20] D. Carmody, P. Bubra, G. Keighley, and S. Rateesh, "Posterior tibial tendon dysfunction: An overlooked cause of foot deformity," J. Fam. Med. Prim. Care, vol. 4, no. 1, p. 26, 2015.
- [21] D. S. Williams, I. S. McClay, J. Hamill, and T. S. Buchanan, "Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches," J. Appl. Biomech., vol. 17, no. 2, pp. 153–163, 2001.
- [22] M. Birtane and H. Tuna, "The evaluation of plantar pressure

- distribution in obese and non-obese adults," *Clin. Biomech.*, vol. 19, no. 10, pp. 1055–1059, 2004.
- [23] S. A. Vela, L. A. Lavery, D. G. Armstrong, and A. A. Anaim, "The effect of increased weight on peak pressures: Implications for obesity and diabetic foot pathology," *J. Foot Ankle Surg.*, vol. 37, no. 5, pp. 416–420, 1998.
- [24] M. Voracek, M. L. Fisher, B. Rupp, D. Lucas, and D. M. T. Fessler, "Sex Differences in Relative Foot Length and Perceived Attractiveness of Female Feet: Relationships among Anthropometry, Physique, and Preference Ratings. Perceptual and Motor Skills," 2007.
- [25] Printertest, "Ankle anatomy." .
- [26] A. Cichocka, P. Bruniaux, and I. Frydrych, "3D Garment Modelling - Creation of a virtual mannequin of the human body," *Fibres Text. East. Eur.*, vol. 22, no. 6, pp. 123–131, 2014.
- [27] C. P. Witana, S. Xiong, J. Zhao, and R. S. Goonetilleke, "Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 36, no. 9, pp. 789–807, 2006.
- [28] M. Hajaghadzadeh, R. Emamgholizadeh Minaei, T. Allahyari, and H. Khalkhali, "Anthropometric Dimensions of Foot in Northwestern Iran and Comparison with Other Populations," *Heal. Scope*, vol. 7, no. 3, 2018.
- [29] M. Pantazi, A. M. Vasilescu, A. Mihai, and D. Gurau, "Statistical-mathematical processing of anthropometric foot parameters and establishing simple and multiple correlations. Part 1: statistical analysis of foot size parameters," *Leather Footwear J.*, vol. 17, no. 4, pp. 199–208, Dec. 2017.
- [30] Y.-C. C. Lee, G. Lin, and M.-J. J. J. Wang, "Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods.," *J. Foot Ankle Res.*, vol. 7, no. 1, p. 44, 2014.
- [31] D. Webb, D. V. Bernardo, and T. Hermenegildo, "Evaluating and Improving Footprint Measurement : Orientation and Lengths," *Anthropologie*, pp. 277–287, 2006.
- [32] T. G. McPoil, B. Vicenzino, M. W. Cornwall, and N. Collins, "Can foot anthropometric measurements predict dynamic plantar surface contact area?," *J. Foot Ankle Res.*, vol. 2, no. 1, 2009.
- [33] O. Vrdoljak, M. K. Tiljak, and M. Čimić, "Anthropometric measurements of foot length and shape in children 2 to 7 years of age," *Period. Biol.*, vol. 119, no. 2, pp. 125–129, 2017.
- [34] K. Hasanzadeh and K. Salehzadeh, "The Relationship between Anthropometric Indices in Children and their Kinetic Performances of Agility , Balance and Foot Power The Relationship between Anthropometric Indices in Children and their Kinetic Performances of Agility , Balance and Foot Power," no. May 2015, 2016.
- [35] "BFTS GmbH." .
- [36] B. Nácher et al., "A footwear fit classification model based on anthropometric data," *SAE Tech. Pap.*, vol. 1, no. May 2014, 2006.
- [37] "Boite í empreintes double - Salembier Pédicurie Podologie." .