

Konstruiranje podkolenske proteze za 3D-tisk – študija po metodi končnih elementov s topološko optimizacijo

Ozbil Ozmen¹ – Hasan Kemal Surmen^{2,*}

¹ Univerza Okan v Istanbulu, Oddelek za strojništvo in kovine, Turčija

² Univerza v Istanbulu – Cerrahpasa, Oddelek za motorna vozila in transportno tehniko, Turčija

Študija naslavlja izzive, s katerimi se soočajo amputiranci – zlasti otroci, ki pogosto menjajo proteze. Cilj je konstruirati in izdelati lahko, visokotrdno, cenovno ugodno in dostopno 3D-natisnjeno podkolensko protezo. Z uporabo sodobnih tehnologij je bila ustvarjena optimizirana proteza brez podpor, ki bo izboljšala kakovost življenja pri amputirancih.

Amputiranci se pogosto soočajo z visokimi stroški, dolgimi časi izdelave in težavami z dostopnostjo protez. Glavni cilj pričujoče raziskave je premagati omenjene težave z razvojem proteze, za katero se porabi manj materiala, je izdelana hitreje in ceneje, obenem pa ohranja trdnost in funkcionalnost. Podkolenska proteza ustreza fizičnim, ergonomskim in ekonomskim potrebam uporabnikov, s posebnim poudarkom na zmanjšanju teže in uporabe podpornih materialov.

Raziskava je bila opravljena kot dvostopenjski proces: konstruiranje enodelnega, brezsklepnega modela podkolenske proteze na podlagi antropometričnih podatkov za otroke, ter izboljšanje zasnove z analizo po metodi končnih elementov (MKE) in topološko optimizacijo. MKE je bila uporabljena za simulacijo proteze v različnih obremenitvenih situacijah kot so stoja, hoja in vzpenjanje po stopnicah. Nato je bila opravljena topološka optimizacija za zmanjšanje teže in porabe materiala ob ohranitvi integritete konstrukcije. Končni model je bil prilagojen za 3D-tiskanje brez podpor in izdelan s tehnologijo ciljnega nalaganja (FDM) iz trdega materiala TDU. Študija kombinira računalniške in proizvodne tehnike za izdelave proteze, pri kateri so v ravnovesju trdnost, lahka zasnova in stroškovna učinkovitost. MKE in topološka optimizacija sta bili ključni pri izboljšanju zmogljivosti proteze in zagotavljanju učinkovite izdelave s tehnologijo 3D-tiska. Pristop poudarja prednosti kombiniranja naprednih metod konstruiranja z dodatno proizvodnjo za reševanje praktičnih izzivov pri razvoju protez.

Statične analize so pokazale, da se največje napetosti pojavljajo v končni fazi hoje (3,207 MPa), medtem ko so napetosti najmanjše med začetnim stikom (0,096 MPa). Masa proteze se je s topološko optimizacijo zmanjšala za 59 %, z 1,886 kg na 0,772 kg. Masa končnega modela, vključno z delom ponvice in pete, se je zmanjšala za 50,37 %. Mehanski tlačni preizkusi so potrdili rezultate analize po metodi končnih elementov, z razliko v višini 11,8 % zaradi procesa dodajalne izdelave. Končni model proteze je bil izdelan iz filameta TPU na 3D-tiskalniku FDM, tiskanje je trajalo 79 ur, strošek pa predstavlja cena enega koluta filameta.

V študiji niso bila upoštevana gibanja kot sta tek in skakanje, za nadaljnjo validacijo pa bo treba opraviti klinične preizkuse z raznolikimi demografskimi skupinami uporabnikov. V prihodnjih raziskavah bo potrebno preučiti dodatne obremenitvene situacije in ovrednotiti zmogljivost proteze v realnih kliničnih okoljih.

Pričujoča raziskava podaja cenovno ugodno in optimizirano konstrukcijo podkolenske proteze, ki izkorišča napredno topološko optimizacijo in tehnike 3D-tiskanja. Znatno zmanjšanje teže in stroškov skupaj z zmožnostmi tiskanja kompleksnih geometrij brez podpornega materiala prinaša velik napredek v primerjavi s tradicionalnimi metodami. Predstavljeni pristop naslavlja globalno potrebo po dostopnih in cenovno ugodnih protezah, zlasti za otroke v dobi rasti, in je skladen z načeli Industrije 4.0, saj izkorišča lokalno in prilagojeno proizvodnjo.

Ključne besede: 3D-tisk, dodajalna izdelava, podkolenska proteza, MKE, lahka konstrukcija proteze, topološka optimizacija