

SZABO Alexandru

MOLCUȚ Alin

**Cercetări asupra comportării dinamice a
protezelor externe de amputație și a
straturilor depuse HVOF pe substraturi din
titan**



2024

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: Str. Iuliu Maniu nr. 41A

500091 Brașov

Tel.: 0268 476 050

Fax: 0268 476 051

E-mail: editura@unitbv.ro

Editură recunoscută CNCSIS, cod 81.

Copyright © Autorii, 2024

Referenți științifici: Lector univ. dr. Sorin SĂRĂNDAN

Asist. univ. dr. Cătălin Adrian MIU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

SZABO, ALEXANDRU

**Cercetări asupra comportării dinamice a protezelor
externe de amputație și a straturilor depuse HVOF pe**

substraturi din titan / Szabo Alexandru, Molcuț Alin. –

Brașov : Editura Universității Transilvania din Brașov,
2024

Conține bibliografie

ISBN 978-606-19-1730-3

I. Molcuț, Alin

616

PREFAȚĂ

Cercetările privind protezele pentru persoanele cu handicap locomotor, mai ales pentru sportivi, reprezintă un element de importanță majoră în ceea ce privește eficiența componentelor materialelor de fabricație și comportarea acestora la solicitările activităților specifice de deplasare și de manifestare. Acestea contribuie la obținerea rezultatelor scontate printr-o bună utilizare a resurselor materiale și prin selectarea, încurajarea și stimularea resurselor umane, mai ales a celor care dovedesc aptitudini deosebite pentru sport.

Un producător de materiale adaptate persoanelor cu handicap locomotor implică adaptarea structurilor specifice activității, mișcării sau sportului, la exigențele mediului (social, economic, cultural-sportiv) în care acestea își desfășoară activitatea.

În domeniul sportiv, cercetarea protezelor pentru persoanele cu handicap locomotor are rolul de a dimensiona și prioritiza activitățile sportive în funcție de importanța acestora și de posibilitatea de practicare a acestora în vederea realizării unor performanțe ridicate în domeniul sportiv.

Dincolo de dependența individului de a executa, la un anumit nivel, diferite mișcări în funcție de dezvoltarea sa motrică, intervine posibilitatea diferențierii mișcării fizice de diverși parametri calitativi ai materialelor, de forma și componența specifică protezei individului.

MULȚUMIRI

Mulțumim institutului Politehnica Timișoara pentru posibilitatea desfășurării demersurilor în conceperea cărții, **Prof.univ.dr.ing. Ilare BORDEAȘU și Prof.univ.dr.ing. Ion Mitelea**, pentru susținerea și îndrumarea în demersul cercetării științifice. De asemenea, mulțumim **d-ilor Conf. univ.dr.ing Andrei Șerban, Conf. univ.dr.ing Radu Negru și Ș.I.dr.ing. Lucian Rusu** pentru sprijinul necondiționat oferit la realizarea experimentelor și interpretarea datelor obținute. O caldă recunoștință față de cadrele didactice din Departamentul de Rezistența Materialelor de la Universitatea Politehnica din București (**Conf.univ.dr.ing. Florin Baci** și **Prof.univ.dr.ing. Anton HADĂR**) pentru sprijinul oferit în realizarea analizei numerice a protezei cu programele de specialitate aflate în biblioteca departamentului.

În final, considerăm că lucrarea, elaborată și structurată într-o abordare coerentă și logică, va fi de folos persoanelor care fabrică proteze pentru persoane cu handicap locomotor, dar și celor care doresc a realiza noi studii privind construcția și solicitarea unor astfel de proteze.

Autorii

CUPRINS

	INTORDUCERE.....	9
Cap.1	PROTEZELE UTILIZATE DE PERSOANELE CU DIZABILITĂȚI LOCOMOTORII.....	12
	1.1 Aspecte ale protezelor persoanelor cu dizabilități locomotorii.....	12
	1.2 Metode folosite pentru analiza mișcării protezei și a corpului uman cu dizabilități locomotorii.....	20
	1.3 Considerații privind biomecanica atletului cu proteză externă de amputație.....	31
	1.4 Considerații privind solicitările protezelor externe de amputație ale persoanelor cu dizabilități locomotorii.....	35
	1.5 Proteza de șold (artroplastia totală de șold).....	38
	1.6 Concluzii.....	42
Cap.2	STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE MATERIALELOR UTILIZATE PENTRU OBTINEREA PROTEZEI EXTERNE DE AMPUTAȚIE.....	44
	2.1 Tipuri de materiale folosite în producerea protezelor externe de amputație. Cerințe funcționale...	44
	2.2 Cerințe ale proprietăților materialelor utilizate la protezele externe de amputație.....	52
	2.3 Tehnici utilizate în fabricarea protezelor ortopedice.....	55
	2.4 Concluzii.....	56

Cap.3	STUDIU EXPERIMENTAL FOLOSIND SISTEMUL ZEBRIS DE ANALIZA A MIȘCARII.....	58
	3.1 Subiectul și protezele utilizate în cercetarea experimentală și analiza mișcării.....	58
	3.2 Sistemul utilizat pentru înregistrarea și achiziția datelor.....	60
	3.3 Mers plan, unghiuri și presiuni plantare.....	68
	3.4. Rezultate experimentale.....	70
	3.4.1 Balansul centrului de greutate.....	70
	3.4.2 Profilul forței de reacțiune plantară GRF în cazul analizei dinamice.....	77
	3.5. Comparația consumului energetic.....	86
	3.5.1 Simetria mersului.....	89
	3.6 Concluzii.....	97
Cap.4	ANALIZA NUMERICĂ A COMPORTAMENTULUI MECANIC AL PROTEZEI EXTERNE DE AMPUTAȚIE FOLOSITĂ ÎN EXPERIMENT.....	102
	4.1. Conceptele de bază ale metodei elementelor finite.....	102
	4.2. Analiza comportamentului mecanic în regim static al protezei externe de picior.....	104
	4.2.1. Modelul geometric al protezei externe de picior..	104
	4.2.2. Modelul numeric al protezei externe de picior....	105
	4.2.3. Rezultatele analizei cu elemente finite.....	113
	4.3. Analiza stabilității protezei externe de picior.....	115
	4.3.1. Considerații teoretice privind analiza stabilității structurilor.....	115
	4.3.2. Verificarea stabilității protezei externe de picior...	116
	4.4. Concluzii.....	119
Cap.5	DEZVOLTAREA UNEI PROTEZE EXTERNE DE AMPUTAȚIE DIN MATERIALE COMPOZITE....	120
	5.1. Etapele de dezvoltare a protezei utilizând modelarea multi-scară.....	120
	5.2. Comportarea elastică a laminei compozite.....	122
	5.2.1. Legea lui Hooke generalizată pentru lamina ortotropă.....	122
	5.2.2. Teorii de rezistență ale lamelei compozite ortotrope.....	128

7 Cercetări asupra comportării dinamice a protezelor externe de amputație

5.2.2.1. Teoria tensiunilor maxime.....	129
5.2.2.2. Teoria deformațiilor specifice maxime.....	131
5.2.2.3. Criteriul Tsai-Hill.....	133
5.2.2.4. Criteriul Tsai-Wu.....	134
5.3. Caracterizarea experimentală a materialelor compozite armate cu țesătură de carbon.....	135
5.3.1. Încercarea la tracțiune monoaxială.....	137
5.3.2. Încercarea la compresiune monoaxială.....	146
5.4. Modelarea micro-mecanică a laminei compozite	151
5.4.1. Proprietățile componentelor materialului compozit.....	154
5.4.2. Modelul geometric pentru țesătura de tip satin 5H.....	156
5.4.3. Modelul numeric pentru țesătura satin 5H.....	157
5.4.3.1. Discretizarea modelului geometric.....	157
5.4.3.2. Condițiile pe contur.....	157
5.4.4. Constantele elastice estimate pentru compozit.....	160
5.5. Modelarea macromecanică a stratificatului compozit sollicitat la tracțiune monoaxială.....	161
5.6. Modelarea și analiza proteze externe de amputație.....	163
5.6.1. Definirea și optimizarea geometriei protezei... 5.6.1.1. Optimizarea geometriei părții posterioare a tălpii.....	163 165
5.6.1.2. Optimizarea geometriei părții superioare a protezei (zona gleznei).....	168
5.6.1.3. Optimizarea topologică a protezei.....	172
5.6.2. Analiza numerică stării de sollicitare din proteză.....	176
5.7 Concluzii.....	182

Cap.6	STRATURI FUNCTIONALE DEPUSE HVOF PE SUBSTRATURI DIN TITAN PENTRU PROTEZE DE ȘOLD.....	185
	6.1 Materialele utilizate. Aparate. Procedura experimentală.....	187
	6.2 Morfologia acoperirilor și compoziția fazelor.....	189

6.3 Comportarea la mineralizare în vitro a straturilor depuse.....	196
6.4 Măsurători de rugozitate a suprafeței.....	198
6.5 Comportarea la uzare a straturilor depuse.....	198
6.6 Concluzii.....	200
Cap.7 CONCLUZII GENERALE.....	201
7.1 Concluzii generale.....	201
BIBLIOGRAFIE.....	204

INTRODUCERE

"Proteză" (pro-tilhemi) își are originile în limba greacă, însemnând "așezare în loc" definind un aparat utilizat pentru a înlocui parțial sau în totalitate, un membru sau un organ al corpului uman.

Protezele au fost inventate în primul rând pentru a reface o funcționalitate naturală a corpului omenesc.

Primele mențiuni despre proteză apar în anul 3500 î.e.n. în poemul sacru *Rig-Veda*, unde se povestește de o prințesă războinică care și-a pierdut unul din picioare în luptă, a primit o proteză din fier și a putut să se reîntoarcă pe câmpul de bătaie [71]. Cea mai veche proteză cunoscută până acum este un deget mare, confecționat din lemn și piele, care a aparținut lui Tabeketenmut, fiica unei preotese care a trăit în jurul anilor 950 - 710 î.e.n. în Egipt [97]. În epoca romană s-au dezvoltat și perfecționat proteze, din lemn și bronz pentru picior. Această dezvoltare a continuat și în epoca modernă, ajungând la forme deosebit de sofisticate cu caracteristici și performanțe deosebite cum ar fi protezele bionice (care au senzori și mecanisme pentru simț tactil și termic) [110].

Prima proteză fără autoblocare, cu amputație sub genunchi, a fost introdusă de Pieter Adriaanszoon Verduyn - chirurg olandez, în 1696 (fig. 1.) [80], fapt revoluționar pentru acea vreme și sursă de inspirație pentru dezvoltarea ulterioară a protezării.

Biomecanica, ca știință, a permis dezvoltarea unor aplicații care descriu relațiile dintre forțele generate de mușchi și mișcarea rezultantă. Lucrările lui Borelli [106] au constituit un pas important în dezvoltarea protezării piciorului și înțelegerea mecanismelor care determină mișcarea umană. Dezvoltări ulterioare ale protezelor au dus la forme din ce în ce mai evolute, către proteze mioelectrice, bionice, sau extrem de recent cu tehnologii sofisticate pentru percepții senzoriale de temperatură și presiune [110].

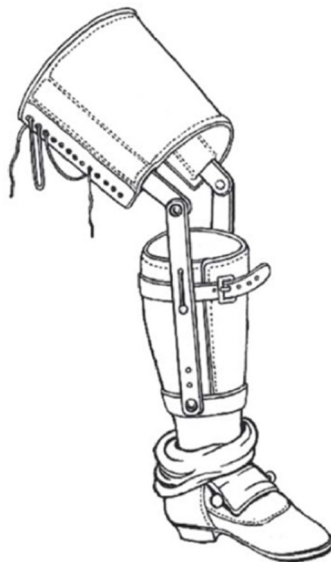


Fig.1. Proteză introdusă de Pieter Adriaanszoon Verduyn [80]

Cu toate progresele realizate în domeniile industriale, medicale și biomedicale nu s-a reușit ca o creație tehnică să poată înlocui complet una biologică naturală. Ca atare, perfecționarea continuă a unei proteze care să îndeplinească cât mai bine funcțiile membrului amputat este o preocupare de cercetare inginerescă de mare actualitate.

Cunoașterea comportamentului biomecanic al ansamblului bont-manșon și a elementelor de atașare conduc la îmbunătățirea funcțiilor pe care le îndeplinește proteza [53]. Problemele frecvente apărute la nivelul contactului "bont-socket" sunt apariția de plăgi, transpirație, deprecierea funcției de protecție și imunitatea pielii, sau rupturi microscopice la nivelul fibrelor musculare, toate însoțite de durere.

Partea tribologică este rar abordată și, deși se recunoaște interconectarea cu fenomenele de presiune, forțe și momente (cu referire specială la protezarea transtibială și transfemurală), nu sunt, după cunoștința subsemnatului, decât extrem de puține abordări care încearcă o analiză complexă a interacțiunii mai multor fenomene la nivelul membrului protezat.