

Universitatea de Vest “Vasile Goldiș” din Arad



REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

IMPLICAȚIILE PROTEZĂRII ÎN DINAMICA ARTICULARĂ ȘI ÎN MENTINEREA SANOGENEZEI LA AMPUTAȚIILE MEMBRULUI INFERIOR PENTRU BOALA ARTERIALĂ PERIFERICĂ

Conducator de doctorat

Prof. Dr. ALEXANDRU POP

Doctorand

Dr. GIGI ADRIAN AIORDĂCHIOAE

2013

CUPRINS

A. PARTEA GENERALĂ

1. Amputația membrului inferior	1
1.1 Istoric	1
1.2 Epidemiologie	3
1.3. Arteriopatia periferică	3
1.4. Implicații socio-economice	4
1.5 Particularități ale amputației la tineri	5
2. Angiografia CT	6
3. Repere anatomice	9
3.1 Configurația osoasă, suprafețele articulare și ligamente	10
3.2 Musculatura, vascularizația și inervația regională	12
4. Nivelul anatomic	21
4.1 Amputația deasupra genunchiului	21
4.2 Dezarticulația de genunchi	23
4.3 Amputația sub genunchi	24
5. Amputația de gambă	26
5.1 Variante	26
5.2 Îngrijirea postoperatorie	27
6. Principii de protezare	29
6.1 Privire de ansamblu	29
6.2 Etapele protezării	30
6.3 Kinetoterapia post-amputație	34
7. Analiza mersului	36
7.1 Fazele unui ciclu de mers	36
7.2 Pedobarografie	39

B. PARTEA SPECIALĂ

1. Susținerea și motivația temei	40
1.1 Epidemiologia amputației	40
1.2 Funcționalitatea după amputație	45
1.3 Consumul energetic	48
1.4 Mersul după amputație la pacienții cu afecțiuni vasculare periferice...	49
2. Scop și obiective	50
3. Material și Metodă	51
3.1 Pacienți	51
3.2 Design	53
3.3 Scoruri funcționale	54
3.4 Tehnica operatorie	56
3.5 Îngrijirea bontului	57
3.6 Mobilitate și reintegrare socio-economică	59
3.7 Tipuri de proteze	61
3.8 Sistemul C-walk	64
3.9 Sistemul Harmony	65
4. Studiu experimental folosind sistemul Zebris	67
4.1 Sistemul Zebris CMS-HS	67
4.2 Platforma Zebris FDM	71
4.3 Echilibru static descălțat / încălțat	72
4.4 Mers plan unghiuri și presiuni plantare	73
4.5 Mers și alergat în pantă	74
5. Rezultate	77
5.1 Simetria mersului	77
5.2 Profilul forței de reacțiune plantară (GRF)	83
5.3 Comparația consumului energetic	86
5.4 Balansul centrului de greutate	90
5.5 Mersul în pantă și alergatul	93

6. Reperfuzia - alternativă terapeutică la amputație	101
7. Discuții	107
7.1 Ajustarea psihologică	107
7.2 Consumul de resurse medicale	107
7.3 Păstrarea mobilității	108
7.4 Consumul energetic	109
7.5 Cuplarea bont proteză	111
7.6 Rolul gleznei protetice	111
7.7 Simetria mersului	112
7.8 Forța de reacțiune plantară și echilibrul	113
8. Concluzii	115
9. Contribuții originale	118
10. Limite ale cercetării	118
 Bibliografie	 119
Lucrări publicate	

A. PARTEA GENERALĂ

1. AMPUTAȚIA MEMBRULUI INFERIOR

Amputația de gambă este întâlnită de cel puțin două ori mai des decât amputația la orice alt nivel. Dat fiind faptul că aproximativ 90% din totalul de amputații implică membrele inferioare, majoritatea pacienților care se adresează cadrelor medicale pentru protezare au amputație de gambă.

În ciuda faptului că medicina oferă noi posibilități moderne în vederea revascularizării membrelor, afecțiunea în care amputația rămâne indicația cea mai des întâlnită rămâne un membru avascular cum este cazul în diabetul zaharat complicat și arteriopatia periferică.

În anul 2005 rata amputațiilor de membru pelvin în rândul populației generale a fost de 2,4 la 10000. Rata mortalității la 5 ani după amputație se regăsește undeva între 40% și 60%, în timp ce rata supraviețuirii la 7 ani are o valoare de 39%.

În cazul amputațiilor de membre inferioare suferinde de arteriopatie periferică, 30%-50% dintre aceștia necesită la 5 ani amputația membrului contralateral. 20% din amputațiile sub genunchi sunt convertite până la urmă în amputații peste genunchi.

B. PARTEA SPECIALĂ

1. SUSTINEREA ȘI MOTIVAȚIA TEMEI

Arteriopatia este o problemă majoră de sănătate. Pe lângă implicarea cardiacă și cerebrală, mulți pacienți dezvoltă ischemie acută a membrului inferior care necesită amputație. Aceasta duce la un deficit funcțional și social important precum și la creșterea morbidității și mortalității.

1.1 Epidemiologia amputației

Boala arterială periferică are o prevalență crescută în populația generală. Impactul bolii crește cu vârsta și la diabetici. Un număr important din acești bolnavi vor necesita amputația membrului inferior cu consecințe funcționale și sociale importante. Johannesson et al. au efectuat un studiu epidemiologic pe amputații ale membrului inferior (Scania de nord est, un district de sănătate din sudul Suediei cu o populație de 170.000 locuitori) și au identificat o incidență pentru amputația unilaterală inițială de 192/197 (femei/bărbați) la 100000 locuitori/an, în rândul diabeticilor și 22/24 pentru non-diabetici. În populația peste 45 de ani incidența amputațiilor membrului inferior de cauză vasculară la nivel transmetatarsian sau mai înalt este de 8 ori mai mare în rândul diabeticilor decât la cei fără această boală. Unul din patru amputați va necesita și amputație contralaterală sau reamputație [**Johannesson et al 2005**].

Un studiu care a urmărit rezultatele după amputația pe fond de arteriopatie periferică obliterantă a indentificat că mortalitatea la șase luni este 38% iar la 4 ani 72%. La șase luni 80% din pacienții care erau încă în viață aveau bonturile vindecate și doar jumătate din pacienți își foloseau proteza. Vindecarea nu este influențată de sex, vârstă, diabet sau nivelul anatomic al amputației [**Eneroth et 1992**].

Supraviețuirea după amputație pe fond de ateroscleroză este scăzută. Un alt studiu a arătat că la un an doar 72% dintre subiecți mai traiesc iar la 3 ani doar 53%. Riscul de amputație contralaterală este estimat la 10% pe an. La un an 81% dintre cei rămași în viața umblau independent. În concluzie s-a observat că este posibil ca un număr mare de pacienți vasculari să redevină independenți după amputație [**Dawson et al 1995**].

1.2 Funcționalitatea după amputație

O recenzie sistematică recentă a căutat să identifice parametrii biomecanici și psihologici relevanți pentru analiza mersului la pacienții cu amputații ale membrului inferior [**Sagawa et al 2011**]. Pentru echipa de ortopedie și traumatologie s-a identificat o corelație cu

potențial interes. Guzman et al. au găsit că vârsta crescută și factorii tradiționali de risc pentru ateroscleroză sunt asociați cu scoruri crescute de calcificare a arterelor tibiale. La rândul lor, acestea sunt asociate cu agravarea nivelurilor de ischemie acută și pot prezice necesitatea amputării mai bine decât indicele gleznă-braț [**Guzman et al 2008**].

1.3 Consumul energetic

Waters et al. au fost printre primii care au descris că viteza autoselectată pentru mers confortabil este legată direct de nivelul de amputație. În plus ei au măsurat consumul de oxigen și au arătat că pentru amputații de cauză traumatică și vasculară, solicitarea cardiovasculară la mers este cu atât mai mare cu cât nivelul de amputație e mai proximal și mersul este mai anormal [**Waters et al 1988**].

1.4 Mersul după amputația la pacienții cu afecțiuni vasculare periferice

Prezența cardiopatiei, a bronhopneumopatiei cronice obstructive, a bolii arteriale periferice, diabetului, artrozei, cecității, accidentelor vasculare cerebrale precum și vârsta avansată corelează toate cu modificări ale mersului după amputație. Pacienții vârstnici au mai multe probleme de sănătate și scoruri de mers mai mici. Nu toate comorbiditățile influențează mersul vârstnicilor însă prezența bronhopneumopatiei cronice obstructive și a bolii arteriale periferice influențează scorurile funcționale dinaintea amputației. Cardiopatia și diabetul scad scorurile funcționale după amputație. În general, pacienții vârstnici cu multiple comorbidități au scoruri funcționale mai scăzute după amputație [**Johnson et al 1995**].

Pacienții cu arteriopatie periferică (boală ocluzivă cronică) sunt o categorie aparte a subiecților amputați. În general sunt vârstnici, diabetici și cu multiple comorbidități care îi fac să aibe mobilitate redusă chiar și înainte de amputație. În plus, majoritatea datelor din literatură arată că mulți dintre aceștia nu supraviețuiesc timp îndelungat după amputare și chiar și cei care o fac, nu beneficiază suficient de independența locomotorie.

Deși mobilitatea este un determinant major al independenței funcționale, mersul după amputații majore ale membrului inferior a fost puțin studiat . Astfel, scopul acestui studiu este de a investiga factorii implicați în determinarea mersului după amputația la arteriopati comparativ cu celelalte etiologii.

2. SCOP ȘI OBIECTIVE

În aceste circumstanțe am decis să determinăm alterările de mers la pacienții cu amputații sub genunchi pe fond de arteriopatie periferică ce folosesc proteze de gleznă standard. Ne-am propus să încercăm a îmbunătăți mobilitatea și să scădem solicitarea cardiovasculară prin corectarea anomaliilor mersului la acest subgrup de pacienți.

Obiectivul principal și de ansamblu al prezentei lucrări este identificarea de modalități pentru îmbunătățirea funcțională a evoluției pacienților cu arteriopatie periferică la care se practică amputație la nivelul gambei (transtibial) și care ulterior sunt protezați.

Obiectivele secundare sunt:

- Identificarea factorilor predictivi care țin de caracteristicile pacientului și al nivelului anatomic al amputației.
- Compararea tipurilor de proteze folosite pentru a determina dacă acestea ușurează mobilitatea și astfel influențează consumul energetic al pacientului.
- Determinarea rolului analizei mersului în urmărirea postoperatorie a pacienților amputați și protezați și a rolului acestei măsurători în evidențierea de deficiențe corectabile prin personalizarea programului de kinetoterapie și ajustare a protezei.

3. MATERIAL ȘI METODĂ

3.1 Pacienți

Studiul a inclus pacienți operați în mai multe centre din Arad și Timișoara. În total s-au evaluat 18 cazuri de amputație transtibială unilaterală.

Zece (10) pacienți au avut ca etiologie arteriopatia periferică iar 8 au fost amputații posttraumatice/tumorale. Datele antropometrice sunt sistematizate în tabelele 3.1.1-3. Pacienții cu arteriopatie au avut ca și indicație terapeutică: ischemie acută (4), gangrena (3), reintervenție pentru amputații mai distale, la un interval de timp variabil (3). Pacienții cu amputație posttraumatică au avut tratamentul radical evaluat ca primă intenție terapeutică în 5 cazuri și în 3 ca evoluție a unei proceduri reconstructive inițiale eșuate. Din cazurile posttraumatice, 2 aveau leziuni concomitente ale membrilor inferioare (o fractură ipsilaterală și una contralaterală a diafizei femurale) care au fost considerate vindecate fără sechele în momentul evaluării mersului.

	Vârsta	IMC	Sex	Lateralitate	Durata	Proteza
1	56	29.4	M	D	5	simplă
2	62	31.3	M	D	3	simplă

3	81	36.7	F	S	2	simplă
4	59	20.6	M	S	3	pasivă
5	66	28.5	M	D	4	pasivă
6	73	25.0	M	S	4	simplă
7	68	29.2	M	D	5	simplă
8	70	33.1	F	D	2	simplă
9	54	32.8	M	D	5	simplă
10	60	30.9	M	S	2	simplă

Tab. 3.1.1 - Pacienții cu amputație post arteriopatie periferică

Legendă tabel

IMC – indice de masă corporală; Durata - durata de la amputație exprimată în ani; Proteza – pasivă: cu articulare ce înmagazinează energie pasivă (prin sistem de arcuri) și simplă: cu articulare mobilă

	Vârsta	IMC	Sex	Lateralitate	Durata	Proteza
1	29	27.5	M	D	3	pasivă
2	36	28.9	M	D	4	pasivă
3	55	28.1	F	S	2	simplă
4	38	26.4	M	S	4	pasivă
5	64	34.8	M	D	60	simplă
6	59	35.3	M	S	6	simplă
7	62	32.7	M	D	5	pasivă
8	69	33.6	F	D	7	pasivă

Tab. 3.1.2 - Pacienții cu amputație traumatică și tumorală (nonvasculari)

Legendă tabel

IMC – indice de masă corporală; Durata - durata de la amputație exprimată în ani; Proteza – pasivă: cu articulare ce înmagazinează energie pasivă (prin sistem de arcuri) și simplă: cu articulare mobilă

3.2 Design

Comparația s-a făcut între cele două loturi, arteriopat și posttraumatic. Aceasta a permis o determinare tip ‘cross-sectional’ între două loturi de pacienți în stadiu de platou din punct de vedere al recuperării și stabilizării bontului. Toți pacienții erau la cel puțin 2 ani de la amputație în momentul determinării și analizei mersului. Aceasta a permis o detașare de factorii de interferență legați de perioada perioperatorie precum și de recuperarea imediat postoperatorie. Pacienții incluși sunt, astfel, reprezentativi pentru grupele de vârstă, etiologice și de nivel anatomic, în raport cu reabilitarea funcțională potențială.

Studiile de evaluare comparativă au fost multiple și au acoperit o plajă complexă de evaluare funcțională:

- anomaliile de mers la nivelul articulației șoldului, genunchiului și a gleznei
- aceste variații au fost evaluate în plan coronal, sagital și transversal (rotațional)
- simetria mersului prin comparație stânga – dreapta (amputat – sănătos)
- mersul plan cu încălțăminte și fără încălțăminte
- mersul înclinat (în pantă de 15%)
- alergatul plan și în pantă (15%)
- oscilația centrului de greutate în ortostatism cu control vizual al vederii și cu ochii închiși (prin propriocepție)
- traseul centrului de greutate la mers plan
- variația presiunilor plantare în funcție de momentul mersului
- comparația între 2 tipuri de proteză, în funcție de proprietățile mecanice ale gleznei
- analiza consumului energetic între cele două etiologii și două tipuri diferite de articulare a gleznei protetice
- solicitarea cardiovasculară comparativă între arteriopați și amputați traumatic precum și între 2 tipuri de gleznă protetică
- evaluarea statusului funcțional global prin scoruri specifice validate

3.3 Scoruri funcționale

Rezultatul funcțional a fost determinat prin calcularea indexului Gilette al mersului (cunoscut înainte ca indexul de normalitate) după formula descrisă de Schutte et al. [**Schutte et al 2000**]. Acest instrument a fost dezvoltat pentru a evalua mersul anormal la copiii cu pareză cerebrală. Folosește 16 parametri ai mersului care au fost identificați ca având variabilitate crescută la adulți comparativ cu copiii, ceea ce îl face mai sensibil. În plus la populația matură acest scor este mai dependent de unul dintre parametri propuși inițial – momentul flexiei maxime. Chiar și așa acest scor a fost validat și dovedit util și la adulți [**Cretual et al 2010**].

Percepția pacientului asupra handicapului funcțional și al protezei a fost determinată folosind chestionarul de evaluare al protezei dezvoltat de Grupul de Studiu al Protezelor [**Legro et al 1998**]. Această formulă complexă de evaluare este alcătuită din 82 de întrebări cu un format de răspuns analog-liniar. Nouă scale sunt calculate din 42 de elemente (mers, aspect, frustrare, percepția răspunsului, sănătatea bontului, povara socială, sunete, utilitate și stare de bine). Acest chestionar cuprinde și evaluarea calității vieții, motiv pentru care nu am este necesară folosirea unui chestionar suplimentar, cum este SF-36 (Short Form – 36). Acesta din urmă este considerat de unii autori că nu reflectă în mod potrivit calitatea vieții pacienților

amputați deoarece formulările întrebărilor fac referire la mers și starea normală, ceea ce pentru infirmi nu este o raportare corectă [Fayers et 2000; Meyers et 2000].

3.4 Tehnica operatorie

Pacienții cu arteriopatie și ischemie acută au fost operați cu interes deosebit pentru troficitatea bontului. La acești pacienți se folosește predominant lamboul posterior pentru acoperire, adus până în anterior

3.5 Îngrijirea bontului

În cazul pacienților traumatici nivelul de amputație este dictat de caracteristicile leziunii traumatice fiind uneori suboptimal în comparație cu amputațiile electivă. Însă, troficitatea tisulară bună și resursele biologice mari fac ca pacientul să aibă independență foarte bună, bont eutrofic cu sprijin bun și care poate fi îngrijit cu ușurință chiar de către pacient. Prin comparație, bonturile pe fond arteriopat, în ciuda intervenției electivă, prezintă adesea tulburări trofice și ulceratii de presiune, necesită îngrijire mai atentă și adesea intervenția unei alte persoane pentru ajutor.

3.6 Mobilitate și reintegrare socio-economică

Scopul final al tratamentului amputațiilor este reintegrarea socio-economică cât mai bună și mai apropiată de starea dinaintea operației. Pacienții redobândesc diferite grade de independență și mobilitate, în funcție de nivelul anatomic al amputației cât și al statusului biologic.

3.7 Tipuri de proteze

Proteza simplă

Este o articulație rigidă din gleznă ce folosește materialul moale al piciorului pentru a asigura flexibilitatea minimă necesară. Articulația se face de la nivelul mediopiciorului prin compresia materialului poliuretanic. Aceste proteze sunt indicate pentru pacienții cu necesități de mobilitate scăzute, deoarece asigură în principal sprijinul și deplasarea cu pași mici și pe distanțe scurte. Din punct de vedere estetic sunt bine integrate morfologic. Opt dintre pacienții grupului arteriopat au acest tip de proteză a piciorului.

Un tip aparte și foarte popular este SACH (Solid Ankle Cushion Heel). Acesta are o parte rigidă la nivelul mediopiciorului, din lemn, acoperită cu material sintetic care are rol de amortizare sub călcâi și îndoire (dorsiflexie) pe antepicior. Trei pacienți din grupul nostru folosesc acest tip de segment gleznă-picior.

Proteza cu pretensionare pasivă

Ideea din spatele acestor proteze este să înmagazineze energia descărcată în prima parte a sprijinului unipodal și să o redea în a doua parte pentru propulsie. Prin aceasta se poate

suplini o parte din forța propulsivă a complexului solear-gastrocnemian și se crește eficiența mersului. Dacă protezele simple suplineau doar funcția de rostogolire și menținere a energiei cinetice, aceste proteze pot oferi și propulsie. Sistemele C-walk și Trias de la Otto Bock, care vor fi detaliate în continuare, sunt astfel de proteze, ce sunt utilizate de pacienții din studiul nostru.

Proteza bionică

Viitorul este reprezentat de protezele numite bionice. În prezent, majoritatea acestor modele sunt dezvoltate pentru articulația genunchiului, însă sunt deja pe piață și segmente gleznă-picior, cum este Proprio Foot de la Ossur. Aceste implanturi sunt active, au microprocesoare ce controlează electromagneți și motoare electrice. Pe lângă un grad mic de propulsie activă, acestea ridică antepiciorul (dorsiflexie) în prima parte a perioadei de balans (swing) pentru a preveni împiedicarea și a reduce flexia suplimentară din genunchi și sold. De asemenea controlează adaptarea la teren denivelat printr-un sistem asemănător propriocepției naturale.

Scala MOBIS

Scala MOBIS propusă de firma germană Otto Bock, ia în considerare cele mai importante variabile pentru alegerea unei proteze: gradul de activitate și greutatea pacientului. Prin combinarea acestor doi parametri, fiecare în 4 grade, se obțin grupe ce indică tipul de pacient, respectiv de implant care trebuie utilizat [**OttoBock 2001**].

3.8 Sistemul C-walk

Scopul dezvoltării C-walk a fost apropierea de mersul natural. Prin scăderea încărcării atât pe partea amputată cât și pe cea normală, C-walk reduce dizabilitățile pe termen lung. Din grupul nostru de pacienți, 4 dintre cei cu amputație traumatică și unul tumoral au acest tip de proteză.

Efectul C-walk este prin contrast doar puțin influențat de greutatea pacientului și viteza de mers. Particularitățile tensionării progresive elastice sunt obținute printr-un inel de control care reglează rigiditatea arcului pe parcursul mobilizării. Aceasta se exprimă clinic printr-un efort constant atât la mers cât și alergare [**OttoBock 2001**].

3.9 Sistemul Harmony

Sistemul Harmony este indicat pentru toate tipurile de pacienți activi, fiind conceput pentru amputațiile de gambă. Din lotul nostru de pacienți, unul din cei cu amputație traumatică și unul arteriopat au acest tip de proteză.

Caracteristica sa principală constă în adaptabilitatea cupei la schimbările dimensionale ale bontului, oferind astfel posibilitatea de a folosi proteza pe tot parcursul zilei. Având o

proteză perfect atașată și amortizată hidraulic, utilizatorul „simte” denivelările de teren și eventualele piedici. Prin egalizarea sarcinilor specifice locomoției se protejează coloana vertebrală, articulația șoldului și se obține un aport hemodinamic superior față de metoda clasică.

4. STUDIU EXPERIMENTAL FOLOSIND SISTEMUL ZEBRIS

4.1 Sistemul Zebris CMS-HS

Influența la mers este în general semnificativă pentru alterarea calității vieții pacientului și poate fi evaluată calitativ, anamnetic și prin observarea mersului de către medic. Cuantificarea anormalității mersului este însă foarte dificil de realizat. Mersul în sine este alcătuit din mai multe faze, iar pentru o evaluare corectă este nevoie de aparatură specializată și, mai important, de cunoștințe și experiență în interpretarea datelor. Vom prezenta în continuare succint descrierea mersului normal, pe care îl vom analiza într-un studiu din partea specială având ca patologie amputația membrului inferior.

Analizele mersului și a distribuției plantare s-au efectuat folosind un sistem al firmei Zebris: **Zebris CMS-HS** cu ultrasunete pentru cinematică și **Zebris FDM**, un sistem capacitiv de determinare a presiunilor plantare. Această analiză a fost posibilă prin colaborarea cu Centrul de Modelare Proteze și Implanturi Chirurgicale asupra Scheletului Uman (CMPICSU) al Universității Politehnice Timisoara (UPT).

Acest sistem permite o evaluare rapidă a mersului. Se începe prin poziționarea a 4 transmițători de ultrasunete: 2 pe fața externă a coapselor și 2 pe fața externă a picioarelor, a căror întârziere în transmisie este recepționată de două microfoane plasate de o parte și de alta a direcției de mers.

Datele sunt transmise unei unități centrale care este conectată la un calculator obișnuit ce servește ca interfață și procesator/înmagazinător de date printr-un program dedicat (WinGait și WinFDM). După poziționarea transmițătorilor se folosește un pointer pentru a repera punctele de referință și a le raporta față de markeri. Prin aceasta, programul de pe calculator stabilește modelul geometric al membrilor inferioare și relația lui cu solul. Sistemul descris este unul simplu, cu plasarea markerilor, definirea reperelor, analiza propriu-zisă și procesarea, respectiv stocarea datelor. Ușurința cu care se utilizează îl face însă susceptibil la erori și inexactități, în principal prin definirea reperelor, comparativ cu sistemele performante ale laboratoarelor specializate.

După teste de probă, pacienții au fost rugați să efectueze 5 treceri peste covorul cu senzori capacitivi, cu markerii triaxiali aplicați pe coapse și picioare într-o configurație spațială predefinită bazată pe caracteristicile antropometrice individuale. Toți pacienții din studiu au avut bonturi vindecate, cupe cu sprijin înalte până pe tendonul rotulian și glezne cu articulare simplă.

4.2 Platforma Zebris FDM

Este un sistem capacitiv de determinare a distribuției presiunilor (forțelor) plantare în dinamică. Măsuratoarea este facilă, presupune o calibrare și apoi mers pe platformă. Se poate face (cum am măsurat și noi) simultan cu cea descrisă anterior, pentru un total cumulată de 10 minute până la obținerea graficelor pentru analiză.

Acest sistem permite și cuplarea unui aparat de electromiografie (EMG). Problema cea mai importantă din punctul nostru de vedere este că acest sistem, de altfel surprinzător de intuitiv, ușor de utilizat și cu capacitatea de a înregistra mulți parametri, nu sincronizează analiza tridimensională a mersului cu înregistrările presiunilor plantare.

4.3 Echilibru static descălțat / încălțat

Prin determinarea echilibrului static am urmărit oscilația centrului de presiune pe platforma capacitivă în raport cu suprafața de sprijin reprezentată de amprentele celor două picioare. Acesta s-a determinat la toți pacienții cu ochii închiși și deschiși timp de 10 secunde, cu și fără încălțăminte.

4.4 Mers plan, unghiuri și presiuni plantare

Înregistrarea parametrilor s-a realizat prin înregistrarea unghiurilor articulare cu sistemul spațial de senzori cu pacientul încălțat. Aceleași determinări s-au repetat apoi descălțat pe platforma capacitivă.

4.5 Mers alergat în pantă

Mersul și alergatul în rampă, înclinată la 15 grade constituie gesturi simple pentru oamenii sănătoși însă pentru amputați prezintă o situație foarte dificilă. Pentru pacientul amputat sunt două obstacole ce trebuie trecute: echilibrul diferit la alergare și adaptarea la o suprafață neregulată. Aceste situații solicită întregul corp al subiectului, necesită propriocepție corespunzătoare precum și proteză cu unitate gleznă picior superioară.

5. REZULTATE

5.1 Simetria mersului

Simetria mersului a fost analizată prin compararea stânga – dreapta (amputat – sănătos). S-au măsurat pattern-uri consistente cu mișcările crescute compensatorii la nivelul șoldului membrului amputat. Această modificare este cauzată de scăderea amplitudinii mișcării (flexiei) la nivelul genunchiului și gleznei. În plus mecanismul de rostogolire al complexului gleznă-picior este obligatoriu pentru o fază de sprijin fluentă. Cu acest design protetic standar (unitatea gleznă picior simplă) am observat o dorsiflexie maximală redusă urmată de o flexie plantară pasivă în timpul tranziției între perioadele de sprijin ale mersului, ceea ce obligă la o creștere a flexiei șoldului.

Folosind senzorii spațiali am determinat că mișcările în planurile frontal și transversal sunt simetrice pentru coapse și genunchi. De asemenea am observat o scădere a lungimii pasului și vitezei comparativ cu subiecții control precum și o fază de mers intermediară mai scurtă pentru membrul protezat datorită mobilității scăzute la nivelul genunchiului și gleznei.

Comparând valorile medii ale măsurătorilor unghiurilor la pacienții vasculari versus traumatici observăm asimetria (nesuperpozabilitatea traiectoriei) accentuată la vasculari (coloana din stânga, fig. 5.1.3-6)

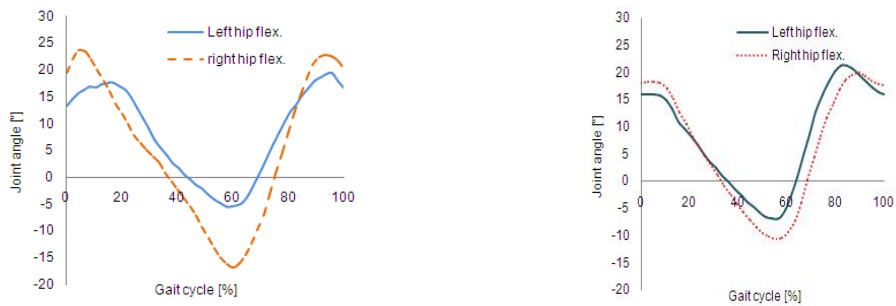


Fig. 5.1.3 - Amplitudinea de flexie-extensie a șoldului, genunchiului și gleznei (plan sagital) la pacienții vasculari versus traumatici pe parcursul unui ciclu de mers

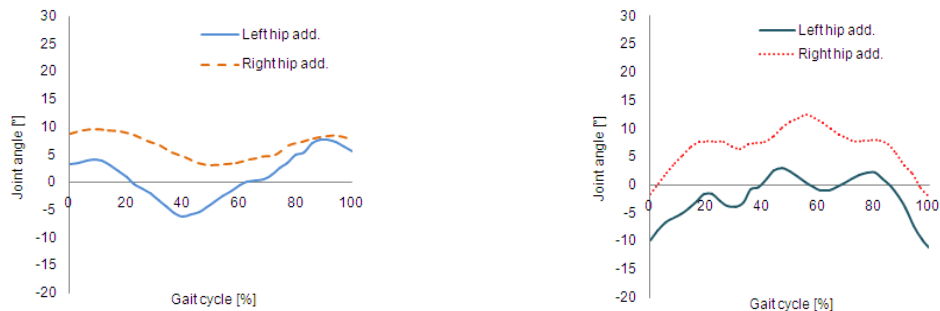


Fig. 5.1.4 - Adducția-abducția șoldului și genunchiului (plan frontal) la pacienții vasculari versus traumatici pe parcursul unui ciclu de mers

5.2 Profilul forței de reacțiune plantară (GRF)

Piciorul sănătos are pași, perioadă de sprijin totală, perioadă de sprijin pe un singur picior și încărcare preintermediară (pre-swing) mai lungi și un răspuns de încărcare mai scăzut; aceste modificări arătând un control și o încredere inadecvate pe membrul protezat precum și o funcție deficitară a gleznei în timpul fazelor de pre-swing și lovire cu călcâiul (heel strike).

Talpa rigidă se evidențiază prin linii de contact mai lungi iar tremurul piciorului normal este cel mai probabil cauzat de propriocepția imprecisă determinată de prezența piciorului drept protezat (fig. 5.2.3).



Fig. 5.2.3 - Parcursul centrului de presiune pe amprentele plantare în harti colorate (imagine stânga) și tabel sintetic numeric respectiv ciclograma fluture (imagine dreapta)

Un sprijin crescut este realizat pe piciorul normal (stâng) datorită propriocepției inadecvate pe membrul protezat. Această incertitudine în menținerea poziției se manifestă și când pacientul are control vizual suplimentar al echilibrului.

5.3 Comparația consumului energetic

Rezultatele arată o predominanță clară a deficitului funcțional și metabolic la amputații vasculare. Aceștia au viteza confortabilă și maximală mai mică, lungime scăzută a pașilor și indice de cost fiziologic crescut.

Parametrii mersului	Vasculari SD	Control SD	p
Viteza confortabilă [m/s]	0.51±0.23	0.82±0.19	0.0074
Cadenta [st/min]	33.2±4.01	38.5±5.03	0.0241
Indice de cost fiziologic	0.68±0.19	0.50±0.14	0.0402
Viteza [m/s]	1,2	1,2	-
Cadenta [st/min]	48.37±5.74	42.36±3.92	0.0227
Indice de cost fiziologic	0.89±0.21	0.57±0.15	0.0023
Viteza maximală [m/s]	1.27±0.61	1.94±0.42	0.0179

Cadenta [st/min]	60.6±4.39	57.10±3.44	0.0838
Indice de cost fiziologic	1.03±0.23	0.61±0.15	0.0004

Tab. 5.3.5 – Sumarul parametrilor

5.4 Mersul în pantă și alergatul

S-a înregistrat variația unghiurilor membrelor inferioare în timpul alergatului pe bandă la 6 pacienți deoarece restul pacienților din din lot nu aveau capacitatea fiziologică necesară. Analiza s-a făcut la șase viteze ce corespund 1-4 la 4 pacienți vasculari și 5,6 la 2 pacienți din grupul de control. Am constatat că oblicitatea pelvisului crește cu viteza ($R=0.67$) (Fig.5.4.1) și evoluția unghiului de rotație în plan transversal e mai mare la vasculari ($p=0.047$) (Fig.5.4.2).

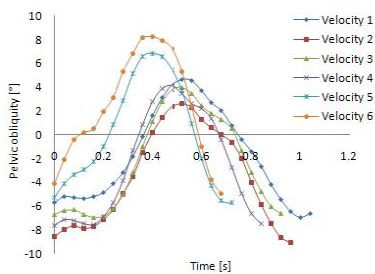


Fig 5.4.1 - Oblicitatea pelvisului la cei 6 pacienți pe banda de alergat (1-4 vasculari și 5-6 control)

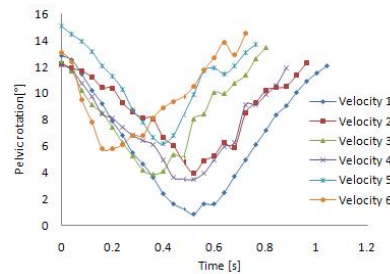


Fig 5.4.2 - Evoluția unghiului de rotație în plan transversal la cei 6 pacienți, pe banda de alergat

6. REPERFUZIA - alternativă terapeutică la amputație

Un studiu epidemiologic din anul 2000 pe populația din sudul Finlandei a identificat incidența de amputație majoră ca fiind 154 / milion de locuitori. Indicația operatorie a fost reprezentată de ischemia critică cronică în 72% și acută în 16,5%. Raportul dintre amputații sub și deasupra de genunchi este 0.76. Supraviețuirea al 1 an este de 48%. Incidența amputațiilor a scăzut constant în ultimii ani cu până la 40% datorită intervențiilor de revascularizare (bypass). Aceste tehnici de reperfuzie vasculară salvează pacienții de la amputații sub genunchi și duc la raportul inversat între nivelul transfemural și transtibial de amputație [Eskelinen et al 2004].

Pe de altă parte, Taylor et al au aratat că pacienții relativ tineri și viguroși cu amputație sub genunchi vor atinge un nivel funcțional comparabil cu cei revascularizați cu succes [Taylor S. et al 2005]. În acest context, se poate considera că reperfuzia, chiar dacă nu va duce la o mobilitate mai bună, va oferi pacientului o imagine de sine net superioară comparativ cu amputația transtibială și purtarea unei proteze.

7. DISCUȚII

7.1 Ajustarea psihologică

Pacienții cu o amputație a membrului inferior percep diferit imaginea și funcția corpului. Handicapul se reflectă diferit în funcție de conștientizarea individuală a handicapului [Senra et al 2012]. O metanaliză ce compară pacienți amputați cu cei cu membrele salvate după traumatisme severe ale picioarelor a arătat că reconstrucția este mult mai bine tolerată psihologic în raport cu amputația chiar dacă rezultatele funcționale sunt comparabile [Akula et al 2011].

Ajustarea psihosocială la amputația membrului inferior este dependentă de durata scursă de la operație. Depresia și anxietatea pot rămâne ridicate chiar și după 2 ani. Acceptarea pierderii membrului este favorizată de trecerea timpului, asigurarea unui sprijin social abundent, satisfacția ridicată cu membrul protetic, programe de reintegrare activă, un profil de personalitate optimist, nivel anatomic cât mai distal și durere reziduală scăzută. Aceiași autori arată necesitatea unor studii longitudinale comparativ cu cele cross-sectionale care să includă reacții imediate, ajustarea progresivă pe parcursul perioadei de recuperare postoperatorii și să urmărească dezvoltarea schimbării de identitate [Horgan et 2004].

7.2 Consumul de resurse medicale

Pacienții în vârstă cu amputații ale membrelor inferioare sunt mari consumatori de resurse medicale. Mobilitatea este esențială pentru a redobândi independența iar aceste deziderate pot fi atinse. Totuși, o recenzie a literaturii de specialitate care a inclus toți subiecții amputați, raportează că mai puțin de jumătate din bătrâni au atins acest nivel de mobilitate, preponderent datorită comorbidităților [Fortington et al 2012]. Variabilele de handicap predictive pentru limitarea activităților sunt legate de forța, echilibru, date demografice, timp, cauza și nivel anatomic al amputației. În particular, un studiu a arătat că puterea extensorilor șoldului este cel mai important predictor funcțional judecat prin scorul testului de mers “6 minute” [Raya et al 2010].

7.3 Păstrarea mobilității

Amputații vasculare sunt în mare parte reprezentați de pacienți vârstnici. Mulți sunt capabili să rămână independenți în ciuda utilizării rare a protezei și a mersului sporadic în afara locuinței. Abilitatea de a prezice mobilitatea după amputațiile sub genunchi la pacienții cu afecțiuni vasculare este imprecisă, dar prezervarea articulației genunchiului este clar esențială în recuperarea mobilității [Nehler et al 2003].

Pacienții vârstnici au în mod normal dificultăți în faza terminală a mersului. Diabetul accelerează degenerarea nervoasă periferică și astfel accentuează aceste modificări. Astfel, pacienții diabetici frânează mai lent, pe o distanță mai lungă și cu o forță maximală de frânare mai mică. Pe lângă aceste modificări corelate și oscilația centrului de presiune este mai mare la diabetici [Meier et al 2001]. Absența controlului vizual asupra mersului duce la creșterea lungimii pasului și a oscilației centrului de greutate pe parcursul fazei terminale a mersului (opririi). Aceste modificări sunt accentuate de neuropatia periferică. Chiar și echilibrul final este menținut mai prost în lipsa controlului vizual și a propriocepției adecvate [Perry S. et al 2001]

7.4 Consumul energetic

Distanța parcursă și numărul total de pași în timpul testului de mers “ 6 minute” au coeficient de încredere crescut și de variabilitate scăzută. Acestea sunt în special relevante pentru severitatea bolii arteriale periferice ocluzive la pacienții cu claudicație intermitentă prezentă [Montgomery]. Distanța totală parcursă este semnificativ mai mare la subiecții activi. Aceasta corelează moderat cu ridicarea de pe scaun, echilibrul postural în ortostatism și viteza de mers. Corelația distanței parcurse cu scorurile de autoevaluare funcțională este scăzută și chiar mai scăzută cu percepția generală de sănătate. Cu toate acestea, testule de mers “6 minute” este util în determinarea funcțională și ca măsură a mobilității [Harada et al 1999].

În același timp studiile au arătat că amputații sub genunchi își cresc activitatea electrică la nivelul ischiogambierilor și cvadricepsului reziduali pentru a compensa musculatura absentă. Pacienții sedentari nu își folosesc adecvat capacitatea propulsivă a musculaturii coapsei și prin aceasta nu beneficiază de întreg potențialul brațului de pârghie rămas [Pinzur et al 1991]. Pinzur et al. au arătat și că amputații bilaterali pe fond de arteriopatie periferică au șanse scăzute să-și redobândească mobilitatea independentă [Pinzur et al 1992].

Indicarea folosirii unei proteze cu pretensionare pasivă sau a uneia convenționale nu are o bază științifică clară [Hafner et al 2002]. O comparație a consumului energetic între segmentele protetice moderne cu încărcare pasivă de energie și tradiționalul SACH a arătat că acestea nu scad consumul de oxigen. Consumul de oxigen per metru umblat este la fel între amputații vasculari și traumatici însă pacienții de cauză traumatică folosesc energia mai eficient, merg cu viteză mai mare și au condiție fizică mai bună [Torburn et al 1995]. Chiar și cu tehnologia avansată, protezele ce acumulează pasiv și redau energia cinetică nu reduc semnificativ consumul energetic [Versluys et al 2009].

7.5 Cuplarea bont proteză

Cu privire la distribuția greutății protezei, Selles et al. au găsit că forțele de la interfața cupă-bont cresc după adaugarea de masă la nivelul pilonului protezei, însă consumul energetic crește doar când greutatea suplimentară a fost adăugată distal [Selles et al 1999].

7.6 Rolul gleznei protetice

Nu este clar dacă o proteză de gleznă îmbunătățită duce invariabil la un mers mai bun și mai funcțional pentru amputații deasupra de genunchi. Hofstad et al. într-o recenzie sistematică a literaturii nu a găsit dovezi suficiente asupra superiorității vreunui tip anume de proteză gleznă-picior. Un asemenea beneficiu a fost însă confirmat pentru amputații transtibiali, la mers înclinat și alergat [Hofstad et al 2004]. Pe de altă parte, un studiu efectuat de McNealy et al. a observat că unitățile protetice de gleznă pot îmbunătăți mobilitatea în plan sagital și crește confortul și funcționalitatea prin restaurarea unei porțiuni semnificative a mecanismului de rostogolire a gleznei în timpul perioadei de sprijin la pacienții cu amputație bilaterală transfemurală [McNealy et 2008].

7.7 Simetria mersului

Cu cât amputația este mai proximală cu atât excursia înclinației pelvisului este mai mare. Același studiu a aratat că lungimea bontului nu corelează cu nici un alt parametru temporo-spațial, cinematic sau kinetic. Astfel dacă lungimea femurului amputat este cel puțin jumătate din lungimea celui contralateral, amputația transfemurală nu alterează dramatic mersul [Baum et al 2008].

În comparație cu subiecții normali, pacienții amputați prezintă momente de rotație internă scăzute la nivelul șoldului și genunchiului membrului amputat în timpul întoarcerilor, probabil ca un mecanism compensator pentru a minimaliza stresul pe membrul rezidual. În același timp, se observă o creștere a momentului de rotație externă de la nivelul șoldului contralateral în perioada de început a sprijinului care este probabil o compensare a scăderii momentului de rotație internă de la membrul amputat în perioada de sprijin tardiv a pasului anterior [Segal AD et al 2011].

În timpul ocolirii obstacolelor, amputații cresc frecvența pașilor, viteza mersului și flexia genunchiului în perioada de swing pe membrul protezat. Flexia genunchiului protezat, în amputațiile transfemorale și dezarticulările de genunchi, este insuficientă pentru a trece în siguranță peste obstacole, ceea ce duce la ocolirea lor. În perioada de inițiere și terminare a mersului cresc forța de reacțiune plantară anteroposterioară și translația centrului de presiune în direcție medio-laterală. Centrul de presiune se mută anterior înaintea sprijinului unipodal pe

membrul protezat în timpul inițierii și rămâne posterior când se conduce cu membrul protezat [Vrieling et al 2009].

7.8 Forța de reacțiune plantară și echilibrul

Mayer et al. a studiat strategiile de adaptare pentru echilibru. Aceștia au observat că balansul postural redus în timpul ortostatismului pe membrul sănătos apare și înainte de amputație datorită durerii și oboselii. După recuperare și obișnuire cu folosirea protezei, se constată o încărcare normal asociată cu balans postural scăzut în ortostatismul biped și reîntoarcerea la stabilitatea posturală normală în timpul sprijinului unipodal [Mayer et al 2011].

Pacienții ampuțați prezintă o scădere în forța de reacțiune plantară anterioară maximală și forța de frânare, o translație posterioară dar și anterioară diminuată a centrului de presiune, o viteză de inițiere și terminare a mersului, scăzută și o translație medio-laterală crescută a centrului de presiune. Mecanismele compensatorii principale sunt creșterea încărcării unipodale și a duratei de generare a forței propulsive pe partea normală și inițierea mersului preferențial cu membrul protezat precum și o perioadă prelungită de frânare cu membrul normal. Limitările funcționale și strategiile de ajustare sunt aceleași pentru amputațiile deasupra și sub genunchi [Vrieling et al 2008].

Alterările mersului se perpetuează și în timpul staționării. Mulți autori au arătat că pacienții ampuțați au dependență crescută de funcția vizuală pentru păstrarea balansului postural, indiferent de vârstă. Cu toate acestea, balansul postural la pacienții cu amputație transtibială este semnificativ mai mare față de balansul postural al pacienților cu amputație transfemurală [Fernie et 1978]. Pentru a compensa deficitul propriocepției, se pune mai multă greutate pe membrul sănătos. La pacienții ampuțați, apare și o scădere a mișcării anteroposterioare sub membrul protezat mai evidentă cu ochii închiși. Pe de altă parte, mișcările medio-laterale sunt aceleași. La pacienții cu musculatura abductoare a șoldului puternică, sprijinul, parametrii de mers și controlul postural sunt îmbunătățite pe membrul protezat [Nadollek et al 2002].

8. CONCLUZII

1. Am observat ca alterările mersului sunt clar identificabile la pacienții cu amputație sub genunchi, folosind metode convenționale de determinare a mișcării. Aceste măsurători arată anomalii marcate ale membrului amputat comparativ cu cel contralateral prezervat și respectiv subiecții control.

2. Variațiile mersului sunt influențate în principal de îndemânarea pacientului și de designul protezei și mai puțin de cauza amputației. Aceste măsurători pot ajuta în urmărirea recuperării a evoluției în timp a pacientului și al acomodării cu designul protezei.

3. Mișcările compensatorii crescute la nivelul șoldului membrului amputat sunt cauzate de scăderea amplitudinii mișcării (flexiei) la nivelul genunchiului și gleznei. Cu proteza simplă, în particular, am observat o dorsiflexie maximală redusă urmată de o flexie plantară pasivă atenuată în timpul tranziției între perioadele de sprijin ale mersului, ceea ce obligă la o creștere a flexiei șoldului.

4. Pacienții amputați transtibial, vasculari, au grad crescut de anomalie a mersului comparativ cu cei posttraumatici sau tumorali și își folosesc resursele metabolice semnificativ mai ineficient, cu viteze confortabilă și maximală scăzute. Deși se pot folosi cu succes de proteze pentru a deveni pacienți independenți, posibilitățile sunt mult reduse datorită resurselor metabolice slăbite.

5. Chiar și alterările subtile posturale și de mers sunt clar identificabile la pacienții cu amputație transtibială folosind analiza distribuției presiunilor plantare. Observăm o scădere a lungimii pasului și vitezei comparativ cu subiecții control precum și o fază de mers intermediară mai scurtă pentru membrul protezat datorită mobilității scăzute la nivelul genunchiului și gleznei.

6. Pacienții amputați transtibial au propriocepție deficitară care e compensată prin stimulare suplimentară pe partea sanatoasă și prin control vizual. La arteriopați, posibilitatea de menținere a echilibrului e scăzută, proporțional cu neuropatia periferică. Obișnuința și ajustarea la mersul protezat se realizează preponderent cu încălțăminte și uneori este drastic perturbată de absența acesteia.

7. Limitările majore ale amputațiilor transtibiali vasculari sunt determinate de factori generali. Resursele vitale sunt scăzute prin boala cardiovasculară asociată arteriopațiilor periferici. Astfel, nu există date obiective care să arate beneficiul folosirii unei proteze scumpe la acești pacienți.

8. Mersul cu amputație unilaterală protezată necesită în plus bont vindecat, cupă confortabilă și ajustare psihosocială a pacientului. Neuropatia periferică alterează propriocepția și pacienții își folosesc vederea pentru a compensa echilibrul.

9. Ajustarea psihologică la amputație este cel mai puternic influențată de durata scursă de la operație. Totuși, după ce trec de faza acută, amputații posttraumatici pot conviețui cu noua situație mult mai bine. Prin comparație, cei arteriopați percep noua situație mai fatidică și sunt mai puțin motivați să-și redobândească independența locomotorie.

10. Acest studiu constituie o bază documentată prin care pacienții arteriopați vasculari pot fi consiliați asupra importanței profilaxiei, controalelor regulate și a procedurilor de reperfuzie. În același timp, cuantifică deficitul funcțional după amputație și subliniază factorii importanți în redobândirea mobilității: comorbiditățile, acomodarea la mersul protezat, tipul protezei și acceptarea handicapului.

9. Contribuții originale

Noutatea pe care a adus-o această lucrare rezidă în primul rând din abordarea translațională – chirurgie, ortopedie, bioinginerie - în îmbunătățirea managementului pacienților amputați. S-a comparat membrul amputat/protezat transtibial cu cel contralateral și subiecți cu etiologie arteriopată (studiu) cu amputați posttraumatici și tumorali.

S-a urmărit simetria mersului respectiv modificările deficitare și compensatorii apărute în planurile sagital, frontal și transversal la nivelul șoldurilor, genunchilor și ale gleznei. Folosind senzorii spațiali am determinat o scădere a lungimii pasului și vitezei comparativ cu subiecții control precum și o fază de mers intermediară mai scurtă pentru membrul protezat datorită mobilității scăzute la nivelul genunchiului și gleznei.

Analiza mersului a fost continuată la alergare pe bandă în rampă. Unghiurile de flexie-extensie și de adducție-abducție sunt mai mici pentru membrul protezat. Unghiul de rotație a șoldului este mai mic la pacienții vasculari bilateral. Unghiul de flexie-extensie este mai mic la proteze simple iar cel de rotație în plan transversal e comparabil cu grupul control.

În plus, am determinat traiectoria centrului de greutate prin determinarea presiunilor plantare la mers și în ortostatism. S-a observat că parcursul centrului de presiune al corpului este angulat abrupt sub piciorul protetic datorită rostogolirii improprii a segmentului gleznă-picior artificial în timpul perioadei de sprijin a mersului.

S-a arătat că membrul pelvin indemn are pași, perioadă de sprijin totală, perioadă de sprijin pe un singur picior și încărcare preintermediară mai lungă și un răspuns de încărcare mai scăzut; aceste modificări arată un control și o încredere inadecvate pe membrul protezat precum și o funcție deficitară a gleznei în timpul fazelor de pre-swing și lovire cu călcâiul.

Variația forțelor de reacțiune plantară pe ante și retropicior e accentuată la vasculari și membrul indemn și atenuată de încălțăminte și controlul vizual al posturii. Incertitudinea în menținerea poziției se manifestă și când pacientul are control vizual suplimentar al echilibrului.

Prin analiza consumului energetic am determinat că amputații vasculari au viteza confortabilă și maximală mai mică, lungime scăzută a pașilor și indice de cost fiziologic crescut.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Akula M, Gella S, Shaw CJ, McShane P, Mohsen AM. A meta-analysis of amputation versus limb salvage in mangled lower limb injuries--the patient perspective. *Injury*. 2011 Nov;42(11):1194-7.
2. Baum BS, Schnall BL, Tis JE, Lipton JS. Correlation of residual limb length and gait parameters in amputees. *Injury*. Jul 2008;39(7):728-33
3. Cretual A, Bervet K, Ballaz L. Gillette Gait Index in adults. *Gait Posture*. 2010 Jul;32(3):307-10.
4. Eskelinen, E., Lepantalo, M., Hietala, E. M., et al. Lower limb amputations in Southern Finland in 2000 and trends up to 2001. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2004 27(2): 193-200.
5. Fernie GR, Holliday PJ: Postural sway in amputees and normal subjects. *J Bone Joint Surg Am* 1978, 60:895-8.
6. Fortington LV, Rommers GM, Geertzen JH, Postema K, Dijkstra PU. Mobility in elderly people with a lower limb amputation: a systematic review. *J Am Med Dir Assoc*. 2012 May;13(4):319-25.
7. Guzman RJ, Brinkley DM, Schumacher PM, Donahue RM, Beavers H, Qin X. Tibial artery calcification as a marker of amputation risk in patients with peripheral arterial disease. *J Am Coll Cardiol*. 2008 May 20;51(20):1967-74.
8. Johansson JL, Sherrill DM, Riley PO, Bonato P, Herr H. A clinical comparison of variable-damping and mechanically passive prosthetic knee devices. *Am J Phys Med Rehabil*. 2005 Aug;84(8):563-75.
9. Levangie PK, Norkin CC *Joint Structure and Function: A Comprehensive Analysis*, 4-th Ed F. A. Davis Company 2005
10. Mayer et al.: Adaptation to altered balance conditions in unilateral amputees due to atherosclerosis: a randomized controlled study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2011 12:118.
11. Meier MR, Desrosiers J, Bourassa P, Blaszczyk J. Effect of type II diabetic peripheral neuropathy on gait termination in the elderly. *Diabetologia*. 2001;44(5):585-92.
12. Meyers, A. R. and Andresen, E. M. Enabling our instruments: accommodation, universal design, and access to participation in research. *Arch Phys Med Rehabil* 81 2000 (12 Suppl 2): S5-9.
13. Nadollek H, Brauer S, Isles R. Outcomes after trans-tibial amputation: the relationship between quiet stance ability, strength of hip abductor muscles and gait. *Physiother Res Int*. 2002;7(4):203-14.
14. O'Neal ML, Bahner R, Ganey TM, Ogden JA. Osseous overgrowth after amputation in adolescents and children. *J Pediatr Orthop*. 1996 Jan-Feb;16(1):78-84.
15. Otto Bock, Germany, C-Walk Product Information 2001, www.ottobock.com, 2013
16. Pinzur MS, Littooy F, Daniels J et al . Multidisciplinary preoperative assessment and late function in dysvascular amputees. *Clin Orthop* 1992 :281 :239-43.
17. Pinzur MS. Gait analysis in peripheral vascular insufficiency through-knee amputation. *J Rehabil Res Dev*. 1993;30(4):388-92.
18. Raya MA, Gailey RS, Fiebert IM, Roach KE. Impairment variables predicting activity limitation in individuals with lower limb amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2010 Mar;34(1):73-84.
19. Refaat, Y., Gunnoe, J., Hornicek, F. J. and Mankin, H. J. Comparison of quality of life after amputation or limb salvage. *Clin Orthop* 2002 (397): 298-305.
20. Sagawa Y Jr, Turcot K, Armand S, Thevenon A, Vuillerme N, Watelain E. Biomechanics and physiological parameters during gait in lower-limb amputees: a systematic review. *Gait Posture*. 2011 Apr;33(4):511-26.

