



**ULBS**

Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu



Școala doctorală interdisciplinară

Domeniul de doctorat: Medicină

TEZĂ DE DOCTORAT

Lambourile bazate pe perforante pentru  
reconstrucția defectelor de părți moi la  
nivelul membrului inferior: Studiu  
experimental și clinic.

doctorand:

**Radu Olariu**

conducător științific:

**Prof. Dr. Dan Sabău**



## SUMAR

Lambourile pe perforante reprezintă o metodă relativ nouă de reconstrucție a defectelor tegumentare și de părți moi ce a căpătat o răspândire largă datorită morbidității minime a zonei donatoare. Vasele perforante sunt definite ca vase ce străbat (perforează) un mușchi sau o fascie pentru a ajunge și vasculariza un anumit segment cutanat. Progresul tehnic ce a revoluționat utilizarea lambourilor pe perforante este reprezentat de posibilitatea de a diseca aceste mici vase sanguine utilizând tehnici microchirurgicale și de a evita astfel sacrificarea structurilor profunde, potențial importante funcțional. Deși în activitatea clinică utilizarea lambourilor pe perforante este în continua expansiune, datele experimentale legate de aceste lambouri sunt relativ reduse. În special în cazul lambourilor pediculate, locale, bazate pe perforante (lambouri tip „propeller”, *propeller flaps*) datele experimentale sunt puține și problemele recunoscute ale necrozei parțiale nu au fost pe deplin înțelese. Până acum cercetările în acest domeniu s-au concentrat pe detectarea celor mai puternice vase perforante pentru a vasculariza lambouri cât mai extinse, neexistând studii legate de posibilitatea de a influența activ fluxul sangvin printr-un vas perforant dat. De asemenea, există un număr restrâns de studii care să analizeze rolul lambourilor locale, pediculate bazate pe perforante în acoperirea defectelor traumatiche ale membrului inferior. De aceea, ne-am propus în cadrul acestui studiu un dublu obiectiv. Pe de o parte am evaluat într-un model experimental efectele produse de modificările active asupra fluxului arterial și/sau a presiunii de întoarcere venoasă asupra ratei de supraviețuire a lambourilor perforante. Pe de altă parte, din punct de vedere clinic am efectuat o analiză detaliată a rezultatelor reconstrucțiilor post-traumatice ale membrului inferior cu lambouri locale pediculate bazate pe perforante utilizate în unitatea clinică a autorului.

# CUPRINS TEZĂ DOCTORAT

SUMAR .....	1
CUPRINS .....	3
1. INTRODUCERE .....	5
2. PARTEA TEORETICĂ .....	6
2.1 Istoric și concepte în reconstrucția membrului inferior .....	6
2.2 Evoluția tehnicilor de reconstrucție cu lambouri la nivelul membrului inferior.....	13
2.3 Lambourile bazate pe perforante la nivelul membrului inferior.....	15
2.3.1 Anatomia vasculara a tegumentului gambei.....	17
Angiosomul arterei geniculare descendente și a arterei safene.....	17
Angiosomul arterei poplitee.....	18
Angiosomul arterei tibiale posterioare.....	19
Angiosomul arterei tibiale anterioare.....	20
Angiosomul arterei fibulare (peroniere).....	21
2.3.2 Lambourile pediculate bazate pe perforatoare la nivelul gambei.....	22
Conceptul lamboului de tip „propeller” .....	23
Indicațiile chirurgicale.....	25
Considerente de tehnică chirurgicală.....	25
Probleme potențiale și soluții.....	26
Importanța tehnicii lamboului „propeller” la nivelul gambei.....	28
2.4. Probleme actuale în chirurgia lambourilor pediculate bazate pe perforante la nivelul gambei.....	29
2.5. Obiectivele cercetării.....	30
2.5.1. Studiul experimental.....	30

2.5.2. Studiul clinic.....	31
3. PARTEA PRACTICĂ.....	32
3.1 Studiul experimental.....	32
3.1.1 Considerații preliminare.....	32
3.1.2 Material și metode.....	33
3.1.2.1 Tehnica chirurgicala și ridicarea lamboului.....	34
3.1.2.2 Evaluarea lamboului.....	38
3.1.2.2.1 Planimetrie digitala.....	38
3.1.2.2.2 Evaluare Laser – Doppler.....	38
3.1.2.2.3 Analiza statistica.....	39
3.1.3 Rezultate.....	40
3.1.3.1 Planimetrie digitală.....	40
3.1.3.2 Laser – Doppler.....	41
3.1.3.2.1 Rezultate pentru P2.....	41
3.1.3.2.2 Rezultatele pentru P3.....	42
3.1.4 Discuție.....	43
3.1.5 Concluzii.....	46
3.2 Studiul clinic.....	48
3.2.1 Considerații preliminare.....	48
3.2.2 Material și Metode.....	49
3.2.2.1 Tehnica chirurgicală.....	53
3.2.2.1.1 Marcarea preoperatorie.....	53
3.2.2.1.2 Tehnica operatorie.....	54
3.2.2.1.3 Urmărirea postoperatorie.....	58
3.2.2.2 Analiza statistică.....	58
3.2.3 Rezultate.....	59

3.2.4 Discuție.....	60
4.CONCLUZII, IMPORTANȚA LUCRĂRII ȘI PERSPECTIVE DE VIITOR.....	69
5.BIBLIOGRAFIE.....	72

**Cuvinte cheie:** *Membrul inferior; traumatism; reconstrucție; defecte de părți moi; lambouri bazate pe perforante; studiu experimental; studiu clinic; model lambou bazat pe perforante șobolan;*

# 1. INTRODUCERE

Chirurgia plastică și reconstructivă modernă este indisolubil legată de reconstrucția defectelor tisulare la nivelul membrului inferior. În probabil nici un domeniu al chirurgiei reconstructive evoluția ultimelor câteva decenii nu a fost atât de impresionantă ca în reconstrucția defectelor de părți moi ale membrului inferior. Dacă din punct de vedere istoric pentru o lungă perioadă amputația a reprezentat singura metodă de a „trata” leziunile traumatice severe ale membrului inferior, în ziua de astăzi este posibilă salvarea membrului inferior chiar și în leziuni extrem de extinse. Rolul reconstrucției de părți moi este extrem de important în salvarea membrului inferior deoarece doar cu o corectă reconstrucție a structurilor de protecție tegumentare este posibilă vindecarea structurilor de rezistență osoase. Metodele de reconstrucție cu lambouri la nivelul membrului inferior au cunoscut o evoluție majoră odată cu dezvoltarea microchirurgiei și ulterior prin utilizarea lambourilor bazate pe perforante, o evoluție culminând cu descrierea și utilizarea pe scală tot mai largă a lambourilor *locale* bazate pe perforante ce au potențialul de a combina reconstrucția sigură cu o morbiditate redusă a zonei donatoare. Cu toate acestea, metoda lambourilor locale bazate pe perforante fiind una recentă mai există și diverse neclarități asupra limitărilor acestei metode atât din punct de vedere experimental cât și clinic.

În lucrarea de față ne-am propus să clarificăm unele din neclaritățile legate de metoda de reconstrucție a membrului inferior cu lambouri bazate pe perforante. În partea teoretică a lucrării vom face întâi un scurt excurs istoric descriind evoluția conceptelor de reconstrucție a membrului inferior de-a lungul timpului, ulterior concentrându-ne asupra lambourilor bazate pe perforante, pe care le vom descrie pornind de la anatomia vasculară a tegumentului membrului inferior urmat apoi de sumarul stadiului actual al experienței clinice și experimentale în domeniu, identificând problemele încă nerezolvate în acest domeniu

În partea practică vom arăta și discuta, pornind de la problemele identificate anterior, rezultatele cercetărilor noastre, în final oferind o privire de ansamblu asupra concluziilor studiului nostru și a perspectivelor de viitor.



## 2. PARTEA TEORETICĂ

### 2.1 Istoric și concepte în reconstrucția membrului inferior

Evoluția terapiei chirurgicale a leziunilor traumatice la nivelul membrului inferior se întinde pe durata mileniilor istoriei umane fiind în mod semnificativ influențată de experiențele acumulate ca urmare a conflagrațiilor secolului trecut.<sup>1</sup>

Începând cu antichitatea greacă și lucrările lui Hipocrate (460 – 370 î.e.n.) amputația membrului inferior a fost metoda chirurgicală de elecție pentru a trata fracturile deschise și traumele majore ale membrelor inferioare. Metodele de amputație au fost perfecționate de-a lungul multor secole încorporând concepte precum curățarea adecvata a plăgilor, ligatura hemostatică, debridarea țesuturilor necrotice și crearea unui bont amenabil protezării.<sup>2-4</sup>

Secolul al 19-lea a marcat evoluții majore în dezvoltarea chirurgiei în general dar și a traumatologiei membrului inferior în particular prin descoperirea anesteziei, a antisepsiei și a microbiologiei și implicit a conceptului de infecție. Cu toate acestea, până în secolul al 20-lea amputația a rămas singura metodă chirurgicală de tratament a traumatismelor severe ale membrului inferior.

Secolul al 20-lea, cu cele 2 războaie mondiale și multiple alte conflagrații majore a produs o nefastă dezvoltare a balisticii și ca urmare a generat traumatisme cu distrugerii tisulare de neimaginat anterior, făcând astfel necesară dezvoltarea chirurgiei plastice-reconstructive care și-a instituit și consolidat rolul esențial în tratamentul traumatismelor severe ale membrului inferior.<sup>1,6</sup>

Numeroasele evoluții chirurgicale și medicale generale ale perioadei moderne au dus printre altele la definirea și caracterizarea următoarelor concepte esențiale în reconstrucția membrului inferior: amputație versus reconstrucție; momentul ideal al tratamentului; stabilizarea osoasă; reconstrucția vasculară; reconstrucția nervilor periferici; reconstrucția osoasă; reconstrucția de părți moi.

Vom descrie pe scurt cele mai importante aspecte ale acestor concepte urmând ca în capitolul următor să detaliem evoluția tehnicilor de reconstrucție cu lambouri la nivelul membrului inferior.

- Amputație versus reconstrucție

În tratamentul pacientului cu traumatisme complexe de membru inferior este important de înțeles că încercările nereușite de a păstra extremitatea au implicații majore la nivel fizic, mental, social și financiar. În ciuda progreselor majore în domeniul reconstrucției microchirurgicale, a regenerării osoase sau a terapiei infecțiilor în ultimele decenii mulți pacienți trec printr-o serie de operații reconstructive doar ca să ajungă în final la amputația membrului. Este din această cauză importantă încercarea de a identifica acești pacienți încă de la început pentru a oferi fiecăruia opțiunea care maximizează funcția și potențialul de reabilitare.

O serie de factori pot contribui la predicția nevoii unei amputații precum:

- Fracturile tibiale tip Gustillo IIIC
- Leziunea nervului ischiadic sau tibial
- Ischemia prelungită (> 4 – 6 ore) sau necroza musculară
- Decolare sau contuzie majoră a țesuturilor moi
- Contaminarea severă a plăgilor
- Fracturi multiple / cu cominuție severă; defecte osoase
- Vârsta înaintată sau co-morbidități severe
- Revascularizare eșuată / predicția unei revascularizări nereușite

- Momentul ideal al tratamentului

Una dintre puținele certitudini în tratamentul traumatismelor deschise ale membrului inferior este că acești pacienți trebuie tratați inițial prin debridarea generoasă a țesuturilor devitalizate și irigarea extensivă a fracturilor deschise. În general este considerat standard dezideratul ca pacientul cu fracturi deschise să ajungă în sala de operație în primele 6 ore de la traumatism. Cu toate acestea, acest deziderat temporal nu este susținut prin evidență.<sup>8</sup>

În ceea ce privește momentul ideal al reconstrucției majoritatea experților susțin idea că o reconstrucție timpurie duce la rezultate mai bune. Cel mai citat studiu în acest domeniu este cel al lui Marko Godina<sup>9</sup> din 1986 care a analizat momentul reconstrucției microchirurgicale în 3 grupe în funcție de durata de la traumatismul inițial:

1. Reconstrucție imediată: în primele 72 ore
2. Reconstrucție întârziată: între 72 ore și 3 luni
3. Reconstrucție secundară: după 3 luni

Studiul arată clar că rezultatele optime sunt obținute în grupul cu reconstrucție imediată urmat de grupurile reconstrucție întârziată respectiv secundară.

Este important însă de recunoscut că reconstrucția imediată nu este o opțiune posibilă pentru orice pacient, de exemplu datorită prezenței altor leziuni severe ce necesită tratamentul de urgență sau datorită absenței infrastructurii instituționale și personale pentru a putea oferi debridarea și reconstrucția într-o singură intervenție cu caracter de urgență<sup>14</sup>. În cazul în care aceste condiții nu pot fi oferite, debridarea repetată și utilizarea unui pansament cu presiune negativă continuă (d. ex. sistemul VAC, ®KCI Medical Systems) înaintea reconstrucției definitive ar putea reprezenta strategia optimală.

- Stabilizarea osoasă / tratamentul fracturilor

Managementul ortopedic inițial al unei fracturi deschise de membru inferior este în mod tradițional bazată pe utilizarea fixatorului extern, într-un efort de a evita implantarea materialelor de osteosinteză într-un câmp operator posibil contaminat. Recent tot mai mulți traumatologi aleg să fixeze fracturile deschise imediat folosind tije intramedulare sau chiar plăci și șuruburi folosind o tehnică numită osteosinteză minimal invazivă<sup>14</sup>.

- Reconstrucția vasculară

Deși leziunile vasculare complete sunt rare în traumatismele de membru inferior, de multe ori pacienții prezintă semne clinice sugestive pentru o vascularizație compromisă. Acestea sunt însă deseori determinate de hemoragia la nivelul leziunilor părților moi sau al fracturilor, de tracțiunea arterelor altfel intacte cu pierderea consecutivă a pulsului sau de sindromul de compartiment. Cu toate acestea este prudent ca leziunile vasculare reale să fie excluse, astfel utilizarea metodelor imagistice adecvate este recomandată.

Terapia promptă a oricărei leziuni vasculare severe în cadrul unui traumatism al membrului inferior este evident o indicație chirurgicală absolută, durata ischemiei determinând în final șansele de supraviețuire ale țesuturilor, mai ales a țesutului muscular.

De asemenea, secvența operatorie în leziuni combinate osoase și vasculare este deseori dezbătută. Prin urmare există astfel pe de o parte conceptul tratamentului vascular imediat pentru a reduce durata ischemiei iar pe de altă parte există autori ce favorizează stabilizarea osoasă inițială pentru a evita o eventuală leziune iatrogenă a reconstrucției vasculare în timpul

tratamentului fracturii. O meta-analiză ce compară rezultatele celor două concepte de secvență operatorie nu a arătat o diferență clară între cele două grupuri în rata de amputație secundară<sup>20</sup>.

- Reconstrucția nervilor periferici

Până târziu în secolul 19 sutura și reconstrucția nervoasă nu au fost în general practicate datorită rezultatelor nesatisfăcătoare. Abia în anii 1873 respectiv 1917 au fost descrise pentru prima oară neurorafie epineurală respectiv neurorafie fasciculară. Tot la finalul secolului al 19-lea a fost raportată prima grefă nervoasă tronculară iar în 1939 Bunnell și Boyes au introdus grefa de tip cablu, însă va dura până în anul 1972 ca Millesi, bazat pe studiile extensive ale topografiei nervoase ale lui Sunderland, să descrie grefele nervoase topografice interfasciculare<sup>21</sup>. Rezultatele reconstrucției nervoase la nivelul membrului inferior rămân inconstante și depind semnificativ de factori imuabili din punct de vedere chirurgical<sup>22</sup>.

- Reconstrucția osoasă

Opțiunile pentru reconstrucția osoasă la nivelul extremității inferioare includ grefa de os autolog, transferul de os vascularizat și osteogeneza prin distracție, inclusiv tehnica Ilizarov.<sup>24</sup> Grefele de os autolog sunt utilizate pentru defecte de dimensiuni reduse. Cel mai frecvent utilizat lambou osos vascularizat este lamboul liber fibular<sup>25</sup>, iar ca alternative creasta iliacă vascularizată și lamboul osos sau osteo-cutanat scapular. Pentru defecte ce depășesc 10 cm osteogeneza prin distracție poate fi o opțiune de tratament.

- Reconstrucția de părți moi

Pentru managementul ideal al pacientului cu o leziune traumatică severă a membrului inferior este important de avut în vedere o paletă largă de opțiuni pentru reconstrucția de părți moi, alegând-o pe cea care prezintă cea mai mare siguranță și poate duce la cel mai bun rezultat funcțional.

În general este utilă distincția lambourilor utilizate la nivelul membrului inferior în lambouri locale, pediculate respectiv lambouri libere.

Lambourile locale reprezintă o opțiune viabilă în reconstrucția defectelor membrului inferior atâta timp cât vascularizația acestora nu a fost afectată de traumatismul inițial. Avantajul lambourilor locale sunt durata operatorie și complexitatea redusă a procedurii<sup>26</sup>. De asemenea lambourile locale utilizează țesuturi asemănătoare celor ce trebuie reconstruite. În mod

tradițional lambourile musculare reprezintă o opțiune bună în reconstrucția treimii superioare și medii a gambei.

Alternativa pentru lambourile locale este reprezentată de lambourile libere microchirurgicale, metodă ce pentru mulți autori reprezintă prima indicație reconstructivă la nivelul membrului inferior și mai ales la nivelul gambei. Pentru transferul microchirurgical în reconstrucția membrului inferior se pretează pe de o parte lambourile libere musculare și pe de altă parte lambourile fascio-cutanate.

Lambourile musculare libere permit obliterarea spațiilor virtuale și reprezintă o opțiune robustă pentru acoperirea defectelor chiar și de dimensiuni mari<sup>27</sup>.

Alternativa lambourilor musculare libere este reprezentată de lambouri fascio-cutanate ce prezintă avantajul de a putea fi re-elevate cu ușurință pentru intervenții chirurgicale secundare.

## **2.2 Evoluția tehnicilor de reconstrucție cu lambouri la nivelul membrului inferior**

În general istoria reconstrucției cu lambouri la nivelul membrului inferior s-a dezvoltat în paralel cu istoria lambourilor în general, un aspect particular la nivelul membrului inferior fiind reprezentat de dificultatea recunoscută în reconstrucția acestei regiuni și în special a gambei.

Deși evidențele primului lambou cutanat se regăsesc în scrierile lui Sushruta încă din anul 600 î.e.n. progresul în chirurgia lambourilor tisulare a fost frânat pentru milenii întregi datorită absenței cunoștințelor legate de vascularizația țesuturilor și în particular a tegumentului și datorită absenței schimbului cultural între diferitele părți ale lumii<sup>32,33</sup>.

În secolul 19 cunoștințele anatomice asupra vascularizației tegumentare au fost însă în mod dramatic schimbate prin lucrările lui Carl Manhot<sup>35</sup> și Michel Salmon<sup>36</sup>, în paralel cu aceste cunoștințe dezvoltându-se și noile tehnici de reconstrucție cu lambouri ce vor deveni procedurile chirurgicale de bază ale în reconstrucția membrului inferior.

Odată cu secolul al 20-lea și nevoile crescute de reconstrucție datorate traumatismelor multiple și grave rezultate din războaiele acestui secol chirurgia reconstructivă s-a dezvoltat semnificativ. Este poate interesant de precizat că printre primele utilizări ale lambourilor distanțe a fost descrierea de către Hamilton în 1854 a lamboului „cross leg”<sup>37</sup>. Lambourile de tip distant respectiv lambourile pre-condiționate au reprezentat multă vreme standardul reconstrucției la nivelul membrului inferior.

McGregor și Jackson<sup>41</sup> au explorat importanța vascularizației axiale a lambourilor descriind astfel pentru prima dată lamboul inghinal. Acest lambou avea să devină celebru odată cu dezvoltarea microchirurgiei reconstructive în anii 1970.

Odată bariera anastomozelor microchirurgicale depășită dezvoltarea transferurilor libere de lambouri la nivelul membrului inferior a cunoscut o dezvoltare accelerată, printre primele lambouri libere descrise fiind lambourile osoase libere de creasta iliaca respectiv de fibula tot pentru reconstrucția la nivelul membrului inferior, în acest caz a defectelor osoase<sup>25</sup>. Anii 80 ai secolului al 20-lea au adus cu sine descrierea și dezvoltarea transferului liber microchirurgical de lambouri musculare și musculo-cutanate. Marko Godina și Andrej Banic au dezvoltat și descris pentru prima oară transferul liber al mușchiului mare dorsal pentru reconstrucția la nivelul membrului inferior, acest lambou precum și alte lambouri musculare devenind metoda principală de reconstrucție a defectelor posttraumatice ale gambei<sup>45,46</sup>.

În ciuda popularității lambourilor musculare, dezavantajele acestora precum posibilitatea tulburărilor funcționale ale zonei donatoare i-au făcut pe unii chirurghi să exploreze noi posibilități. Astfel Ponté reintroduce în mod celebru o altă opțiune de lambouri locale la nivelul membrului inferior, prin utilizarea lambourilor fasciocutanate ce ofereau o rata de supraviețuire excelentă fiind supranumite de autor „super lambouri” (*superflaps*)<sup>47</sup>.

În definitiv, precum se va demonstra ulterior lambourile lui Ponté sunt vascularizate prin intermediul perforantelor fasciocutanate de la nivelul membrului inferior și astfel a fost doar o problemă de timp până când utilizarea acestor perforante vor revoluționa chirurgia reconstructivă în special la nivelul membrului inferior. Deosebit de importante în dezvoltarea lambourilor bazate pe perforante sunt lucrările lui Taylor și Palmer care au descris conceptul de angiosoame<sup>48</sup>. În 1989 Koshima și Soeda<sup>49</sup> descriu primul lambou bazat pe perforante (la nivelul abdomenului inferior). A urmat apoi descrierea lamboului antero-lateral de coapsă (ALT) introdus de Song<sup>51</sup> și popularizat în special la nivelul membrului inferior ca lambou liber de către Fu-Chan Wei, care l-a considerat un „lambou ideal”<sup>52</sup>. Dezvoltarea în continuare a reconstrucției la nivelul membrului inferior este caracterizată de lambourile locale bazate pe perforante cu următorul important pas fiind reprezentat de lambourile de tip „propeller”, descrise pentru prima oară de Hyakusoku<sup>53</sup>, dezvoltate de Hallock și Teo<sup>54,55</sup> și aplicate pe scară largă la nivelul membrului superior și inferior de către Georgescu la Cluj în România<sup>56</sup>.

## 2.3 Lambourile bazate pe perforante la nivelul membrului inferior

Extremitatea inferioară este o regiune anatomică bogată în perforante vasculare ce pot reprezenta pediculul unor lambouri locale. Aceste perforante au fost extensiv studiate și detaliate prin cercetări anatomice și angiografice<sup>58-60</sup>.

Arterele sursă ale lambourilor bazate pe perforante la nivelul coapsei sunt :

1. Artera femurală superficială cu perforatoare directe la nivelul regiunii mediale a coapsei.
2. Artera circumflexa iliacă superficială cu ramuri perforante la nivelul regiunii inghinale.
3. Artera circumflexa femurală laterală cu perforatoare în principal la nivelul tegumentului anterolateral al coapsei.
4. Artera circumflexa femurală medială ce asigură vascularizația coapsei posteromediale.
5. Artera femurală profundă asigură prin ramurile perforante vascularizația coapsei posterioare.
6. Arterele geniculare superioare mediale și laterale asigurând vascularizația la nivelul coapsei distale.

În regiunea genunchiului pot fi ridicate lambouri pe baza perforantelor musculo-cutanate cu origine din artera femurală precum și bazate pe multiple perforante septo-cutanate având proveniența în artera geniculară descendentă, arterele geniculare superioare mediale și laterale respectiv arterele geniculare inferioare mediale și laterale<sup>61</sup>. La vascularizația tegumentului în zona genunchiului mai participă artera tibială anterioară recurentă și artera poplitee cu ramuri cutanate directe. Artera safenă este o ramură superficială a arterei geniculare descendente și reprezintă baza lamboului perforant safen care poate încorpora nervul omonim creând astfel un lambou inervat. La nivelul regiunii popliteale arterele surale mediale și laterale sunt ramuri directe ale arterei popliteale și pot reprezenta sursele unor lambouri perforante d. ex. lamboul sural medial (*medial sural artery perforator flap – MSAP*).

La nivelul gambei lambourile perforante pot fi bazate pe perforatoare provenind din artera tibială posterioară, artera tibială anterioară și artera peronieră (fibulară)<sup>61</sup>. Perforatoarele cu origine la nivelul arterei tibiale posterioare se regăsesc în septul intermuscular între mușchiul soleus și mușchiul flexor lung al degetelor. Perforatoarele din artera tibială anterioară sunt pe de o parte fie musculo-cutanate la nivelul mușchiului tibial anterior sau septo-cutanate între mușchiul tibial anterior și mușchiul extensor lung al halucelui. De asemenea o serie de perforatoare din artera tibială anterioară pot fi regăsite în septul anteromedial între

compartimentul mușchilor extensori și mușchiul peronier scurt. Perforatoarele bazate pe artera peronieră se găsesc în principal în septul postero-lateral între mușchiul peronier lung și mușchiul solear.

La nivelul piciorului ramurile terminale ale arterelor tibială anterioară, tibială posterioară și fibulară sunt sursele lambourilor perforatoare calcaneal și plantar medial.

### **2.3.1 Anatomia vasculara a tegumentului gambei**

Regiunea genunchiului și a gambei reprezintă 34% din totalul suprafeței tegumentare al extremității inferioare (7% din suprafața totală corporală). Tegumentul acestei regiuni este vascularizat prin intermediul a circa  $30 \pm 13$  perforante cu un diametru de  $0.7 \pm 0.2$  mm. Un pedicul perforant vascularizează în medie o arie tegumentară de aproximativ  $40 \text{ cm}^2$ . La nivelul gambei se disting 5 teritorii vasculare având următoarele artere sursă (Figura 1):

- artera geniculară descendentă
- artera poplitee
- artera tibială posterioară
- artera tibială anterioară
- artera fibulară (peronieră)

### **2.3.2 Lambourile pediculate bazate pe perforatoare la nivelul gambei**

Lambourile bazate pe perforante la nivelul gambei reprezintă un punct de cotitură în evoluția continuă a tehnicilor reconstructive în direcția reducerii morbidității chirurgicale. Dezvoltarea conceptului lamboului de tip „propeller” a reprezentat un important pas înainte pentru aplicarea tehnicilor reconstructive bazate pe perforante în zona distală a gambei, regiune recunoscută pentru dificultatea reconstrucției de părți moi. Hyakusoku et al<sup>53</sup> a utilizat pentru prima oară termenul de lambou de tip „propeller” ( *din eng. Propeller flap*) (LP), pentru a descrie un lambou insular atașat printr-un pedicul central larg ce nu conține vase identificate. Acest pedicul restricționează rotația maximă posibilă a lamboului la  $90^\circ$ , limitând astfel aplicațiile acestei tehnici. Spre diferență, lamboul tip propeller modern, introdus de Hallock<sup>54</sup> și perfecționat de Teo și Georgescu<sup>55,56,67,68</sup>, este bazat pe un singur perforator făcând astfel posibilă rotația lamboului până la  $180^\circ$  în jurul axei perforante, lărgind astfel semnificativ posibilitățile acestei tehnici reconstructive.



## **Conceptul lamboului de tip „propeller”**

Lamboul de tip propeller este, simplu definit, un lambou local fascio-cutanat insularizat bazat pe un sigur perforator disecat extensiv. LP este conceput cu acest perforator reprezentând pivotul în jurul căruia cele 2 extremități ale lamboului, de lungime diferită, pot fi rotate așa încât extremitatea mai lungă să poată cu ușurință să acopere defectul tisular. Posibilitatea rotației acestui lambou până la un maxim de 180° îl face extrem de versatil, fiind astfel o opțiune bună pentru a reconstrui defectele traumatiche ale regiunii distale a gambei (Figura 4).

## **Indicațiile chirurgicale**

Deși lamboul de tip propeller poate fi folosit pentru a acoperi defectele de la nivelul treimii mijlocii și superioare a gambei sau a regiunii genunchiului, utilitatea sa majoră constă în posibilitatea reconstrucției defectelor în treimea distală a gambei. Aceste defecte rezultă deseori fie direct ca urmare a unui traumatism, pot fi generate de complicații postoperatorii după osteosinteza fracturilor maleolare, repararea rupturilor tendonului ahilean sau artroplastia tibio-talară sau pot rezulta din rezecții tumorale, ulcere de decubit sau ulcere cronice venoase.

## **Considerente de tehnică chirurgicală**

Pentru corecta utilizare a unui LP este nevoie de o atitudine flexibilă în designul și ridicarea lamboului. Următoarele considerente sunt importante pentru aplicația corectă a tehnicii LP.

- Localizarea, tipul și dimensiunea defectului.
- Traiectul arterei sursă și localizarea perforantelor.
- Lungimea și dimensiunile potențiale ale lamboului.
- Determinarea cantității de țesut sănătos adiacentă defectului.
- Evitarea morbidității zonei donatoare.

## **Importanța tehnicii lamboului „propeller” la nivelul gambei.**

Posibilitatea de a utiliza un lambou bazat pe un singur pedicul perforant situat în apropierea defectului oferă chirurgului reconstructiv o libertate neegalată în designul lambourilor locale. Astfel lamboul de tip „propeller” este o metodă extrem de versatilă la nivelul gambei unde laxitatea tegumentară, mai ales în zona distală, este foarte redusă<sup>55</sup>. Această tehnică chirurgicală deschide multiple căi pentru a permite acoperirea zonei notoriu dificile a gambei distale în mod rapid și sigur chiar și în unități cu resurse limitate în ceea ce privește microchirurgia reconstructivă. Deși această tehnică chirurgicală este foarte promițătoare, odată cu creșterea

experienței în utilizare se evidențiază și unele detrimente așa încât aplicarea ei trebuie să fie supusă unei analize lucide și corecte, bazate pe studii coerente experimentale și clinice luând în considerare și posibilele efecte și rezultate nedorite ale tehnicii.

## **2.4. Probleme actuale în chirurgia lambourilor pediculate bazate pe perforante la nivelul gambei**

Descoperirea și dezvoltarea lambourilor bazate pe perforante s-a dovedit a fi un pas major în direcția minimalizării morbidității zonei donatoare. Prin demonstrarea fiabilității clinice a eliberării prin disecție microchirurgicală a vaselor perforante de țesuturile adiacente a devenit posibilă recoltarea de țesuturi necesare reconstrucției fără a sacrifica elemente musculare, fasciale, vasculare și neurale importante funcțional. În special în cazul lambourilor locale bazate pe perforante, această metodă permite reducerea complexității și duratei operațiilor reconstructive cu limitarea morbidității la zona defectului propriu-zis și recoltarea de țesuturi similare celor deficiente prin utilizarea țesutului adiacent defectului. Deși până acum au existat cercetări clinice asidue în legătură cu lambourile pe perforante și multe tipuri de lambouri pe perforante s-au instituit ca metode standard în anumite demersuri reconstructive, principala problemă a acestor lambouri este imposibilitatea de a determina cu acuratețe volumul de țesut ce poate fi maximal recoltat bazat pe o singură perforantă. Astfel, problema cunoscută și temută a lambourilor clasice axiale și randomizate, anume necroza parțială, s-a transferat și în cazul lambourilor pe perforante, însă metodele de a evita aceasta complicație trebuie regândite și o noua paradigmă a lambourilor perforante trebuie construită bazat pe rezultate ale cercetărilor experimentale.

În ultimii ani, numeroși cercetători s-au concentrat pe metode farmacologice de a reduce rata necrozei lambourilor<sup>72,73</sup>, și, deși s-au obținut la nivel experimental date promițătoare, tranziția în practica clinică a acestor rezultate nu a putut fi realizată. Pe de altă parte studiile anatomice numeroase legate de vasele perforante au arătat că variațiile anatomice în aceste cazuri reprezintă mai degrabă regula decât excepția, așa încât este de mare interes dezvoltarea tehnicilor de influențare activă a volumului și implicit a suprafeței maxim viabile a lambourilor bazate pe perforante indiferent de dimensiunile date ale vasului perforant.

Deși ar părea evident că perfuzia din vasele perforatoare este principalul determinant al ariei de viabilitate a lamboului, foarte puțină cercetare experimentală a fost întreprinsă în acest domeniu și practic nici o metodă de a incrementa activ fluxul sangvin într-o perforantă nu a fost evaluată experimental. În plus, deși experiența clinică arată că de obicei necroza lambourilor pe

perforante este datorată mai degrabă insuficienței venoase decât celei arteriale, există foarte puține date experimentale ce evaluează fluxul venos în aceste lambouri. Există astfel o nișă în cadrul cercetării experimentale a lambourilor pe perforante pe care vom încerca să o explorăm în partea experimentală a studiului nostru.

Cercetarea clinică în privința lambourilor pe perforante este cu siguranță atractivă și numeroase centre pe plan internațional au aderat la această metodă, a cărei indicație este continuu extinsă în mai toate domeniile chirurgiei reconstructive. Desigur, cu extinderea, uneori forțată a indicațiilor unei metode chirurgicale, rata de eșec și de complicații riscă să crească. În special în ceea ce privește reconstrucția defectelor membrilor inferioare, metodele standard (lambourile libere) au fost înlocuite parțial sau chiar exclusiv în anumite clinici de lambouri locale bazate pe perforante. Unitatea unde își desfășoară activitatea autorul prezintă o situație ideală legată de posibilitatea unei analize detaliate și complete a cazurilor de reconstrucție cu lambouri de tip „propeller”, pe de o parte datorită cazuisticii traumatice extensive și pe de altă parte datorită utilizării tehnicii LP relativ recent (din 2014), toate operațiile ce folosesc această tehnică fiind executate de doctorand. Astfel, cazurile pot fi urmărite în mod prospectiv ceea ce determină o calitate înaltă a datelor, fără a risca pierderile de informație inevitabile într-un studiu retrospectiv.

## **2.5. Obiectivele cercetării**

Precum am detaliat anterior suntem de părere că cercetarea în domeniul lambourilor bazate pe perforante ar trebui completată cu date experimentale și clinice care pe de o parte să determine modul ideal de a influența activ supraviețuirea lambourilor prin manipularea directă a fluxului sangvin, arterial sau venos la nivelul pediculului propriu-zis iar pe de altă parte să ofere date clinice complete, culese prospectiv legate de rezultatele tehnicii lambourilor pe perforante tip propeller pentru reconstrucția defectelor post-traumatice ale membrului inferior, și aici în special a gambei unde se regăsesc potențialul dar și riscurile cele mai mari ale LP. Vom descrie în continuare obiectivele demersului nostru de cercetare și în partea practică vom detalia studiile propriu-zise și rezultatele acestora.

### **2.5.1. Studiul experimental**

Obiectivul studiului experimental este analiza influențelor exercitate de incrementarea fluxului arterial și/sau de reducerea presiunii de întoarcere venoasă la nivelul vaselor perforante într-un model experimental asupra ratei de viabilitate a unui lambou bazat pe perforante. Inovația

acestui demers experimental constă în modificarea activă a parametrilor fluxului sangvin în vasele perforante mai degrabă decât bazarea pe caracteristicile anatomice ale acestor vase pentru a obține un avantaj de viabilitate.

### **2.5.2. Studiul clinic**

Obiectivul studiului clinic constă în analiza detaliată a indicațiilor și rezultatelor clinice ale reconstrucțiilor defectelor de membru inferior efectuate cu lambouri locale bazate pe perforante într-un studiu prospectiv, monocentric, cu același operator efectuând procedurile reconstructive.

## **3. PARTEA PRACTICĂ**

### **3.1 Studiul experimental**

#### **3.1.1 Considerații preliminare**

Avansul cunoștințelor în domeniul anatomiei vaselor perforante și a fiziologiei perfuziei cutanate a permis clinicienilor utilizarea tehnicii lambourilor bazate pe perforante în reconstrucția variatelor defecte de părți moi<sup>74,75</sup>. Pionierii acestei tehnici, Koshima et al. au marcat începutul erei lambourilor bazate pe perforante în 1989 cu publicarea primului lambou bazat pe artera epigastrică inferioară fără a include mușchiul drept abdominal, aceasta tehnica având un impact major în reducerea morbidității asociate zonei donatoare<sup>49</sup>. Ulterior mulți cercetători și clinicieni au depus eforturi susținute pentru a extinde domeniile de utilizare ale acestei noi tehnici chirurgicale, unul din pașii importanți fiind dezvoltarea lambourilor pediculate bazate pe perforante<sup>76</sup> ce nu necesită anastomoze microchirurgicale. Deși în mod evident lambourile pediculate bazate pe perforante prezintă multiple avantaje chirurgicale precum reducerea morbidității zonei donatoare și a duratei intervenției chirurgicale<sup>77</sup>, unii autori au raportat o rată crescută de necroze parțiale ale acestui tip de lambou<sup>78,79</sup>. Din acest motiv numeroși cercetători și chirurghi au căutat metode pentru a îmbunătăți supraviețuirea lambourilor bazate pe perforante.

Modificările fluxului vascular, fie cu scopul de a crește fluxul arterial sau de a optimiza drenajul venos, au fost frecvent utilizate de cercetători pentru a îmbunătăți rata de supraviețuire a lambourilor bazate pe perforante. Rezultatele acestor cercetări au fost însă în mare măsură neconcludente<sup>80-84</sup>. De asemenea este important de menționat că aceste metode de a modifica fluxul sangvin în lambourile bazate pe perforante se bazează în exclusivitate pe adăugarea unor surse arteriale sau venoase suplimentare sub forma unor pedicule suplimentare. Această metodă însă este greu dacă nu chiar imposibil de aplicat în clinică unde pediculele suplimentare limitează sever gradul de rotație și astfel principalul avantaj reconstructiv al lambourilor locale bazate pe perforante.

Bazat pe considerentele de mai sus am elaborat studiul nostru experimental cu scopul de a evalua efectele optimizării fluxului arterial și venos în pediculul propriu-zis al lamboului asupra supraviețuirii acestuia, alegând ca model experimental un lambou bazat pe perforante musculo-cutanate la șobolan.

### 3.1.2 Material și metode

Un număr de 35 de șobolani Lewis cu o greutate inițială între 250-300 gr au fost utilizați pentru acest studiu. Toate animalele au fost tratate în conformitate cu prevederile legale legate de experimentele cu animale (*Public Health Service Policy în Humane Care and Use of Laboratory Animals*) pe durata întregului experiment. Șobolani au fost hrăniți cu hrană de laborator standard și consum neîngrădit de apă pe durata întregii perioade de observație iar starea lor de sănătate a fost monitorizată zilnic. Acest studiu a fost aprobat de Comisia de Etică pentru experimente cu animale a cantonului Berna, Elveția (număr de aprobare 89/16).

Pe baza modelului descris de Coskunfirat *et al*<sup>85</sup>, un lambou bazat pe perforatorul musculo-cutanat posterior al coapsei a fost elevat la toate animalele iar perforatorul musculo-cutanat a fost disecat până la emergența sa din vasele femurale. Animalele au fost atribuite aleatoriu în următoarele grupuri experimentale în funcție de modificările pediculului vascular după cum urmează:

- I. Control (n=10): fără modificări la nivelul pediculului, lamboul este re-suturat în poziția originală.
- II. Optimizare arterială imediată (n=10): o ligatură este plasată pe artera femurală distal de emergența pediculului perforant în momentul ridicării lamboului, apoi lamboul este re-suturat în poziția inițială.
- III. Pre-optimizare arterială (n=5): Printr-o incizie inghinală se efectuează ligatura arterei femurale distal de emergența pediculului perforant cu 5 zile înainte de ridicarea lamboului. Procedura de ridicare a lamboului este identică cu grupul I (control).
- IV. Pre-optimizare venoasă (n=5): Printr-o incizie inghinală se efectuează ligatura venei femurale distal de emergența pediculului perforant cu 5 zile înainte de ridicarea lamboului. Procedura de ridicare a lamboului este identică cu grupul I (control).
- V. Pre-optimizare venoasă și optimizare arterială imediată (n=5): Printr-o incizie inghinală se efectuează ligatura venei femurale distal de emergența pediculului perforant cu 5 zile înainte de ridicarea lamboului. În momentul ridicării lamboului o ligatură este plasată pe artera femurală distal de emergența pediculului perforant, apoi lamboul este re-suturat în poziția inițială.

Toate procedurile au fost efectuate sub anestezie continuă inhalatorie. Izofluran 5% cu oxigen (1 L/min) a fost folosit pentru inducerea anesteziei (2-3 min) într-o cameră de inducție.

Șobolanii au fost apoi plasați în anestezie de întreținere cu Izofluran 1-1,5% și 0,6 L / min oxigen. Toți șobolanii au fost menținuți în izotermie folosind suporturi termice și tratați cu unguent oftalmic pentru a preveni desicarea conjunctivală. Toate animalele au fost tratate cu analgezie preventivă cu Buprenorfină (50 μg/kg) subcutanat la 30 de minute pre-operator și apoi post-operator în funcție de necesitate (evaluată cu ajutorul unei liste standardizate de control al bunăstării animalelor de laborator).

### **3.1.2.1 Tehnica chirurgicală și ridicarea lamboului**

După îndepărtarea părului la nivelul jumătății posterioare drepte toți șobolanii au fost marcați precum urmează: un lambou dreptunghiular de 9 cm lungime și 3 cm lățime a fost trasat începând cu o linie care unește articulația genunchiului anterior și tuberozitatea ischiadică posterior. Linia axială centrală a dreptunghiului a fost trasată și pe aceasta au fost marcate următoarele puncte (P1-3) precum urmează (Figura 5):

- P1 – 2 cm cranial de la limita caudală a lamboului (aproximativ la nivelul perforatorului)
- P2 – 3 cm cranial de P1
- P3 – 3 cm cranial de P2

După incizia întregului lambou, s-a efectuat ridicarea acestuia retrograd sub paniculul cărnos până la identificarea perforatorului posterior al coapsei, care perforază mușchiul biceps femural (Figura 6). Pediculul perforant fost apoi disecat cu atenție, lăsând o manșetă musculară în jurul perforatorului pentru nu îl leza (Figura 7).

Perforatorul a fost urmat până la emergența din vasele femurale, la nivelul medial al coapsei. O incizie suplimentară a fost plasată aici, în pliul inghinal, pentru a asigura accesul la vasele femurale (Figura 8).

După efectuarea modificărilor la nivelul vaselor femurale în funcție de împărțirea pe grupuri detaliată anterior (Figura 9) lamboul a fost suturat în loc cu o sutură continuă intradermală cu fir PDS 5-0 (Figura 10). În grupurile de pre-optimizare (grupurile II și III) o incizie în inghinală a fost efectuată cu 5 zile înainte de ridicarea lamboului pentru a efectua modificările vasculare descrise.

Imediat înainte de sutura cutanată, șobolanii au fost tratați analgetic cu Buprenorfină subcutanat (50 μg/kg). Aceiași analgezie a fost administrată la fiecare 12 ore până în a doua zi

postoperatorie sau când animalele au prezentat semne clinice de durere (conform listei standardizate de control al bunăstării animalelor de laborator).

Șobolanii au fost monitorizați 7 zile postoperator și evaluări zilnice ale stării de sănătate au fost efectuate pe baza listei standardizate de control al bunăstării animalelor de laborator aprobate. Toți șobolanii au fost eutanasiați în a șaptea zi postoperatorie prin injectarea a 150 μg / kg pentobarbital intraperitoneal, iar moartea a fost confirmată prin toracotomii bilaterale.

### **3.1.2.2 Evaluarea lamboului**

#### ***3.1.2.2.1 Planimetrie digitala***

$$\text{Aria de viabilitate a lamboului} = \frac{\text{aria de viabilitate (numarul de pixeli)}}{\text{aria totala (numarul de pixeli)}} \times 100$$

#### ***3.1.2.2.2 Evaluare Laser – Doppler***

Fluxmetria laser Doppler a fost efectuată cu camera de fluxmetrie Aïmago EasyLDI® (Aïmago SA, Lausanne – Figura 11) la nivelul tuturor punctelor marcate (P1, P2, P3) înainte de ridicarea lamboului, după ridicarea lamboului, imediat după finalizarea operației și apoi la POD 1 și POD

#### ***3.1.2.2.3 Analiza statistica***

Analiza datelor a fost efectuată cu SPSS v21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, SUA). Testul non-parametric Kruskal-Wallis a fost utilizat pentru a compara fluxmetria între cele 3 grupuri. Ulterior, comparațiile în perechi au fost efectuate folosind procedura lui Dunn cu o corecție Bonferroni pentru comparații multiple. Un test unidirecțional ANOVA și analiza post-hoc Tukey-Kramer au fost utilizate pentru măsurătorile planimetrice digitale normal distribuite. Rezultatele au fost considerate statistic semnificative pentru  $p < 0.05$ .

## **3.1.3 Rezultate**

### **3.1.3.1 Planimetrie digitală**

Toate lambourile au prezentat o arie de necroza distală tipică (Figura 12). Aria de supraviețuire a lambourilor a fost semnificativ diferită statistic între grupuri,  $F(4,29) = 18,82$ ,  $p < 0,001$ .



Figura 13 prezintă reprezentarea grafică a rezultatelor planimetrii digitale. Datele sunt prezentate ca medii  $\pm$  abaterea standard. Cea mai mare arie de supraviețuire a fost regăsită în grupul II ( $78,12 \pm 8,38\%$ ), urmată de grupul V ( $74,33 \pm 8,21\%$ ), grupul III ( $71,85 \pm 1,76\%$ ) și grupul IV ( $60,35 \pm 2,41\%$ ). Grupul de control (I) a avut cele mai mici valori:  $56,55 \pm 8,38\%$ .

### **3.1.3.2 Laser – Doppler**

Distribuțiile fluxului de sânge au fost similare pentru toate grupele, în toate testele, conform evaluării prin inspecția vizuală a boxplot-urilor.

#### ***3.1.3.2.1 Rezultate pentru P2***

Figura 14 arată valorile procentuale mediane obținute în P2 pentru toate grupele. Singura diferență semnificativă statistic între grupuri a fost observată la POD 7 unde grupul II a avut valori mai mari decât grupul I și IV ( $p = 0,026$  și, respectiv,  $p = 0,039$ ).

Analiza din cadrul grupurilor a evidențiat o scădere semnificativă statistic a fluxului între măsurătorile luate înainte de ridicarea lamboului și POD 1 ( $p < 0.05$ ) în toate grupurile. Îmbunătățirea fluxului a fost semnificativa din punct de vedere statistic între POD 1 și POD 7 la toate grupele ( $p < 0.05$ ), cu excepția grupului III (pre-optimizare arteriala). Grupul II (optimizare arterială imediată) a arătat o creștere semnificativă a fluxului de la o valoare mediană de 85,49% pre-operator la 135,8% în POD 7.

#### ***3.1.3.2.2 Rezultatele pentru P3***

Așa cum este ilustrat în figura 15, a existat o scădere a fluxului în toate grupele între măsurătorile efectuate după ridicarea lamboului și POD 7 ( $p < 0.05$ ). Diferența dintre fluxul înainte de ridicarea lamboului sau înainte de manipularea vaselor și POD 7 a fost semnificativă din punct de vedere statistic la toate grupele ( $p < 0.05$ ), cu excepția grupului II.

La POD 7, grupul II a fost singurul care a înregistrat o creștere a fluxului în comparație cu POD 1 ( $p < 0.05$ ), în timp ce toate celelalte grupuri au continuat să aibă valori mai mici față de măsurătorile anterioare.

### **3.1.4 Discuție**

Inovația designului nostru experimental constă într-un mod diferit de manipulare a fluxului vascular în cadrul pediculului propriu-zis al lamboului prin ligatura arterei femurale distal de perforator, direcționând astfel tot fluxul arterei femurale către lambou.

Această abordare nouă nu necesită adăugarea unui pedicul vascular suplimentar, așa cum au făcut-o alți cercetători care investighează augmentarea arterială a lambourilor. Această soluție este derivată din experiența clinică cu lambouri pe perforatoare pediculate și în special lambouri tip „propeller”, unde, datorită necesității transpoziției lambourilor, un pedicul vascular suplimentar poate face imposibilă procedura.

Rezultatele noastre de planimetrie digitală arată clar că optimizarea influxului arterial și nu optimizarea drenajului venos în pediculul lamboului duce la o viabilitate crescută a lambourilor. Datele noastre sugerează de asemenea că nu există nicio diferență dacă optimizarea fluxului arterial se realizează acut sau ca o strategie de condiționare.

Studiul nostru arată clar că optimizarea fluxului la nivelul pediculului lamboului are efecte semnificative asupra supraviețuirii lamboului la un model de lambou pe perforatoare musculo-cutanat la șobolan. Chiar dacă datele Laser Doppler sugerează implicarea sistemului complex de vase-ventil, mecanismul care stă la baza acestor modificări rămâne în mare măsură necunoscut. Cu toate acestea, credem că rezultatele promițătoare ale acestui studiu justifică o examinare detaliată a mecanismelor implicate în efectul benefic asupra ratei de viabilitate a lambourilor observate.

### **3.1.5 Concluzii**

Optimizarea fluxului arterial în pediculul unui perforator musculo-cutanat la șobolan duce la o supraviețuire crescută a lamboului indiferent dacă este efectuată acut sau ca strategie de condiționare, pe când optimizarea fluxului venos nu are nici un efect asupra viabilității lamboului. Aceste rezultate ar putea avea implicații clinice, însă este necesară mai întâi caracterizarea mai precisă a mecanismelor implicate în efectele asupra viabilității lambourilor observate în studiul nostru.

## **3.2 Studiul clinic**

### **3.2.1 Considerații preliminare**

Defectele tegumentare și de părți moi ale gambei și piciorului reprezintă în continuare o provocare în chirurgia reconstructivă. Laxitatea tegumentară în această regiune și cantitatea țesutului subcutanat sunt reduse iar edemul și tensiunea rezultată chiar și din sutura chirurgicală primară a defectelor de mici dimensiuni duce adesea la complicații de vindecare ale plăgilor. Din punct de vedere al chirurgiei reconstructive lambourile libere microchirurgicale s-au cristalizat ca primă opțiune chirurgicală în acoperirea defectelor de la nivelul gambei<sup>95,96</sup> și piciorului dar complexitatea și durata operației împreună cu rata cunoscută de eșec al acestor proceduri nu permit utilizarea tehnicii la orice pacient și în orice unitate de chirurgie plastică. Alternativa lambourilor locale pediculate de tip „random-pattern” este practic inutilă la nivelul gambei datorita dimensiunii maxime limitate a acestor lambouri și necesitatea unui pedicul tegumentar cu bază foarte largă<sup>97</sup>. În aceste condiții, lambourile locale bazate pe perforante, mai ales cele de tip „propeller” dezvoltate în ultimii ani oferă o alternativă extrem de valoroasă în reconstrucția gambei și piciorului datorită principalelor avantaje: timp operator și morbiditate secundară reduse.<sup>76,78,98</sup>

Deși inițial considerate o adevărată revoluție pentru reconstrucția membrului inferior, cu acumularea experienței clinice a devenit clar că la nivelul membrului inferior rata de complicații postoperatorii ale LP este relevantă. Influența acestei rate de complicații asupra rezultatului reconstructiv, adică legătura cauzală dintre complicațiile postoperatorii și eventualul eșec reconstructiv este însă în continuare incertă. Tot incerte sunt pentru moment cauzele pentru complicațiile postoperatorii.

Studiul nostru are drept scop analiza experienței clinicii de Chirurgie Plastica din cadrul Spitalului Universitar Berna – Inselspital cu această tehnică reconstructivă în mod prospectiv la pacienți consecutivi în încercarea de a găsi relațiile cauzale între caracteristicile pacienților și a procedurilor operatorii și apariția și efectele complicațiilor postoperatorii.

### **3.2.2 Material și Metode**

În acest studiu au fost înrolați toți pacienții care au beneficiat de o reconstrucție cu lambou de tip „propeller” la nivelul membrului inferior distal de articulația genunchiului între anii 2014 – 2017. Au fost culese date demografice, operatorii și de urmărire postoperatorie.

Datele chirurgicale, inclusiv dimensiunea lambourilor, detalii legate de perforante, modalitatea de închidere a zonei donatoare, durata operației și artera sursă a perforantei este prezentată în tabelul 3

### **3.2.2.1 Tehnica chirurgicală**

#### ***3.2.2.1.1 Marcarea preoperatorie***

Perforantele relevante au fost marcate preoperator la nivelul feței laterale (pentru artera peronieră) sau la nivelul feței mediale (pentru artera tibială posterioară) a gambei pacientului. Mai exact, pentru defectele la nivelul feței laterale ale gambei a fost inițial trasată linia ce unește capul fibulei cu punctul de maximă proeminență a maleolei laterale. O linie punctată a fost trasată cca. 2,5 cm posterior de aceasta, această linie reprezentând proiecția cutanată a septului postero-lateral al gambei. Urmărind această linie cu Doppler-ul vascular au fost marcate perforantele cu origine la nivelul arterei peroniere. În cazul unui defect la nivelul feței mediale a gambei s-a procedat similar detectând perforatoarele de la nivelul septului antero-medial de-a lungul unei linii paralele cu marginea medială a tibiei și situate la 1,5 cm posterior de aceasta (Figura 16 și 17)

#### ***3.2.2.1.2 Tehnica operatorie***

Pacientul este poziționat în decubit dorsal sau lateral în funcție de localizarea defectului și a lamboului planificat. Un turnichet a fost utilizat fără exsanguinarea completă a membrului inferior pentru a permite mai bună vizualizare a perforantelor. După tratamentul chirurgical al defectului (resecție tumorală, debridarea plăgilor posttraumatice, postinfecțioase sau a ulcerelor cronice) acesta a fost măsurat iar lamboul planificat a fost desenat cu pediculul bazat pe perforanta cea mai apropiată de defectul tegumentar (Figura 18). Inițial doar una dintre laturile lamboului planificat (în marea majoritate a cazurilor marginea anterioară) a fost incizată până la și incluzând fascia profundă iar disecția a continuat în plan subfascial dinspre distal spre proximal și anterior spre posterior până la identificarea perforantelor care au fost disecate până la emergența din arterele și venele sursă (Figura 19).

Nu a fost efectuată separarea arterei perforante de venele comitante dar s-a urmărit cu rigurozitate separarea pediculului perforant de orice bride de la nivelul septelor și a fasciei ce ar putea duce la compresiunea vaselor în urma rotației (scheletizarea pediculului). Apoi turnichetul a fost dezumflat și alegerea finală a perforantei a fost făcută bazat pe prezența

pulsațiilor vizibile sau a semnalului Doppler cu cea mai mare intensitate. După alegerea perforantei ca pedicul, designul lamboului a fost adaptat dacă mai era nevoie iar apoi întregul lambou a fost incizat și eliberat subfascial complet cu excepția pediculului perforant (Figura 20). În funcție de localizarea defectului lamboul a fost rotat cu arcul minim de rotație necesar pentru a realiza acoperirea completa a defectului (Figura 21). Sutura și aplicarea drenajelor pasive sau active a fost efectuată în funcție de necesități. Zona donatoare a fost fie suturată primar sau acoperită cu grefe de piele liberă despicată (Figura 22). O atelă gipsată a fost aplicată la nivelul gambei operate, cu deosebită atenție pentru a evita compresia atelei la nivelul lamboului.

### ***3.2.2.1.3 Urmărirea postoperatorie***

În primele 48h postoperatorii lamboul a fost monitorizat în intervale de 2h ore în primele 24h iar apoi la intervale de 4h în următoarele 24h controlând culoarea, turgescența, temperatura tegumentară și semnalul Doppler la nivelul pediculului. După 5 zile postoperator a fost permisă poziționarea declivă a membrului inferior pentru intervale de timp incrementate zilnic. Compresia elastică a membrului operat a fost permisă după ziua a 10-a postoperator iar mersul cu suport pe membrul afectat a fost permisă (în absența altor contraindicații) după 2 săptămâni de la operație. În general vindecarea lamboului este completă după 2 săptămâni în cazul în care nu au apărut complicații postoperatorii (Figura 23).

### **3.2.2.2 Analiza statistică**

Analiza statistică a datelor a fost efectuată cu programul SPSS. Testul exact Fisher pentru independență a fost utilizat pentru analizarea variabilelor categorice. Coeficientul de corelație punct-biserial a fost utilizat pentru a analiza relația între complicații și vârstă, aria defectului, aria lamboului și arcul de rotație al acestuia. Testul Mann-Whitney a fost utilizat pentru compararea duratei de spitalizare și a duratei până la vindecarea completă între pacienții cu sau, respectiv, fără complicații postoperatorii. O valoare  $p < 0.05$  a fost considerată statistic semnificativă.

## **3.2.3 Rezultate**

Un număr total de 26 de pacienți au îndeplinit condițiile de eligibilitate. Unsprezece pacienți au fost bărbați și 15 femei. Vârsta pacienților a fost cuprinsă între 17-91 ani (media 60 ani). Nici

unul dintre pacienți nu a fost pierdut din urmărirea postoperatorie înainte de vindecarea definitivă a plăgilor. Complicațiile și detaliile postoperatorii, precum și durata de spitalizare și timpul până la vindecarea definitivă sunt prezentate în tabelul 3. Din cei 9 pacienți (34,6%) ce au prezentat complicații postoperatorii doar 3 (11,5%) au necesitat reintervenții chirurgicale. O pacientă cu o necroză parțială minimă a lamboului a prezentat o infecție de plagă ce a necesitat o nouă debridare și un mic lambou local bipediculat pentru acoperirea definitivă, o pacientă cu o necroză parțială extinsă a lamboului a necesitat ulterior un lambou liber microchirurgical pentru acoperirea defectului iar a treia pacientă cu necroză, completă a lamboului a fost tratată prin condiționarea plăgii cu sistem VAC iar apoi acoperirea defectului definitivă cu substitut dermal (Matriderm®, MedSkin Solutions Dr. Suwelack AG, Germania) și greafă de piele liberă despicate. Toate celelalte complicații au fost tratate conservator cu pansamente și consultații repetate. Durata până la vindecarea completă a variat între 2 și 32 de săptămâni cu o medie de 6,3 săptămâni.

A existat o asociație semnificativă statistic între complicații și polimorbiditate și între complicații și artera sursă a lamboului. Prezența polimorbidității a fost puternic corelată cu apariția complicațiilor postoperatorii ( $p < 0.0001$ ) iar LP bazate pe artera peronieră au fost de asemenea corelate cu complicațiile postoperatorii ( $p = 0.015$ ).

O diferență semnificativă statistic a fost identificată între numărul de săptămâni necesare până la vindecarea completă și durata de spitalizare când comparăm pacienții cu complicații postoperatorii față de cei ce nu au suferit complicații. Astfel, pacienții cu complicații postoperatorii au necesitat mai multe zile de spitalizare ( $p = 0.03$ ) și mai multe săptămâni până la vindecarea completă ( $p < 0.001$ ).

### 3.2.4 Discuție

Conform consensului din Gent, lambourile bazate pe perforante (*perforator flaps*) sunt arii tegumentare și de țesut subcutanat vascularizate prin ramuri arteriale și venoase perforante cu originea într-o axă vasculară profundă. Aceste vase pot penetra fie țesut muscular (perforante musculo-cutanate) fie pot circula la nivelul septelor intermusculare (perforante septo-cutanate).<sup>74</sup> Dezvoltarea acestei tehnici a fost facilitată prin studii extensive asupra vascularizației membrului inferior și printr-o mai bună înțelegere a principiilor de vascularizație a lambourilor.<sup>99–101</sup>

Deși lambourile libere sunt considerate metoda standard în reconstrucția membrului inferior, lambourile de tip „propeller” au devenit tot mai populare în ziua de astăzi.<sup>9,77,95,102–104</sup> Textura

și culoarea tegumentară este mai apropiată cu cea a zonei reconstruite, suplețea tegumentului reprezintă un real avantaj iar timpul operator este semnificativ redus fata de lambourile libere (Figura 24).<sup>97,98,105-107</sup> Mai mult, unele studii arată ca rata de complicații între reconstrucția cu lambouri libere microchirurgicale și lambourile locale bazate pe perforante nu diferă semnificativ.<sup>77,78</sup>

Cu toate acestea, există și dezavantaje în utilizarea LP în reconstrucția membrului inferior. Probabil cel mai important este proximitatea zonei donatoare de zona traumatică cu riscul ca vascularizația lamboului să fie afectată. Mai mult de atât, disecția lamboului poate duce la leziuni ale venelor și nervilor senzitivi superficiali cu risc crescut de edem și dureri postoperatorii.<sup>74</sup>

O notă aparte o necesită discuția reconstrucției treimii distale a gambei la pacienții cu boli asociate. La acest grup de pacienți este bine cunoscută rata crescută de complicații atât în reconstrucția cu lambouri locale clasice cât și cea cu lambouri libere. În aceste condiții tehnica LP a reprezentat speranța ameliorării rezultatelor. Într-adevăr, unele studii arată că LP bazate pe perforante din ATP sau AP pot fi folosite cu succes și la pacienții cu patologie asociată relevantă.<sup>110,111</sup>

În studiul nostru, toți cei 9 pacienți cu patologie asociată ce se încadrează în definiția de polimorbiditate au prezentat complicații postoperatorii, dar în mod interesant, doar un pacient a necesitat o reintervenție chirurgicală (Figurile 25 și 26). Prin contrast, doar 2 din cei 18 pacienți fără patologii asociate semnificative au prezentat complicații postoperatorii, dar ambii pacienți au necesitat reintervenții chirurgicale (Figurile 27 și 28).

Diabetul<sup>79,115</sup>, ACOMI și vârsta peste 60 ani au fost identificați în literatura ca factori de risc pentru eșecul LP<sup>79</sup>. În studiul nostru nu a putut fi determinată o diferență semnificativă statistic legată de vârsta între grupurile cu și fără complicații postoperatorii.

Precum a fost descris și de alți autori, LP bazat pe perforante din ATP este cel mai sigur lambou de acest tip de la nivelul membrului inferior.<sup>76</sup> și rezultatele noastre susțin această afirmație, dat fiind faptul că doar unul din pacienții tratați cu LP din ATP a suferit complicații postoperatorii. În cazul LP din AP au fost găsite complicații în 8 din 11 cazuri. Aceste rezultate trebuie interpretate însă cu precauție, deoarece în majoritatea cazurilor alegerea sursei arteriale a LP este predefinită prin localizarea defectului și nu este o variabilă independentă. Studiul nostru sugerează ca în cazul defectelor la nivelul fetei laterale a gambei, indicația de reconstrucție cu

LP trebuie analizata cu grija, pe când LP bazate pe ATP sunt o soluție semnificativ mai fiabila în cazul în care pot fi aplicate.

Deși pare astfel a exista un consens parțial asupra factorilor de risc în reconstrucția cu LP la nivelul membrului inferior trebuie precizat ca unii autori nu au identificat factori de risc specifici pentru complicații postoperatorii<sup>98</sup>. Astfel, utilizarea LP la pacienții cu patologii asociate semnificative (ex. ACOMI) este în continuare susținută de unii autori, în principal datorită timpului operator redus și a morbidității minime de zona donatoare.<sup>116</sup> Acești autori accepta riscul crescut de complicații postoperatorii minore în condițiile unei selecții riguroase a pacienților.<sup>105</sup>

Si în studiul nostru rata de complicații a fost mare la pacienții polimorbizi, dar majoritatea complicațiilor au fost minore, fără necesitatea reintervențiilor chirurgicale. Un singur lambou a fost pierdut în această grupă, toți restul pacienților realizând vindecarea locală secundară. Durata de spitalizare nu a diferit semnificativ statistic între grupul cu complicații postoperatorii și cel fără. Singura diferență semnificativă statistic a fost observată în durata până la vindecarea completă, în medie 2 săptămâni dacă nu au apărut complicații, dar între 4 și 36 săptămâni la grupul cu complicații postoperatorii.

Una din limitările acestui studiu este numărul relativ redus de pacienți. Acesta ar putea fi explicat prin indicația restrictivă a LP, reconstrucția cu lambouri libere fiind metoda de elecție în aceste cazuri în clinica noastră.



## 4. CONCLUZII, IMPORTANȚA LUCRĂRII ȘI PERSPECTIVE DE VIITOR

Tema ce ne-am propus-o în lucrarea de față, lambourile bazate pe perforante în tratamentul defectelor de părți moi la nivelul membrului inferior este o temă de profundă actualitate în contextul chirurgiei plastice și reconstructive moderne.

Precum am arătat în partea teoretică a lucrării, reconstrucția membrului inferior a fost dintotdeauna o temă de sporită relevanță în istoria chirurgiei plastice și reconstructive și în traumatologie. Microchirurgia reconstructivă a reprezentat un pas de o importanță majoră în încercarea de a salva membrele inferioare ale pacienților, care pe de o parte s-au văzut tot mai mult confrunțați cu traumatisme severe legate de rafinarea metodelor balistice în războaie dar și legate de creșterea importantă a accidentelor de mare viteză cu distrugerii importante de părți moi și pe de altă parte au beneficiat de evoluțiile generale ale medicinei ce le-au permis să supraviețuiască chiar și traumatismelor extrem de severe. Astfel, reconstrucția membrului inferior nu mai este astăzi doar o raritate în leziunile severe, din contră, dezideratul oricărui chirurg reconstructiv este de a oferi posibilitatea de salvare a membrului inferior în practic aproape orice situație. Mai mult, rafinarea metodelor și creșterea numărului de pacienți beneficiind de reconstrucția membrului inferior a dus la intense cercetări și încercări de îmbunătățiri rezultatele funcționale și estetice. Salvarea membrului inferior nu mai este un scop în sine ci scopul chirurgiei reconstructive moderne a membrului inferior este regăsit în încercarea de a oferi rezultatul cu un maxim funcțional și estetic în paralel cu o morbiditate asociată minimă.

Lambourile bazate pe perforante reprezintă un foarte important pas înainte în realizarea acestui deziderat deoarece permit recoltarea de țesuturi perfect adaptate defectului ce trebuie reconstruit fără afectând minimal structurile adiacente la nivelul zonei donatoare. Dezvoltarea acestor lambouri a fost făcută posibilă prin studii detaliate și extensive asupra vascularizației cutanate a membrului inferior. Mai mult, lambourile locale bazate pe perforante la nivelul membrului inferior reprezintă încă un pas în plus dând posibilitatea utilizării țesuturilor adiacente defectului ce prezintă calități virtual identice cu țesutul pierdut.

Între lambourile bazate pe perforante, la nivelul membrului inferior și mai ales în zona notoriu dificil de reconstruit a gambei, lambourile de tip propeller au reprezentat o veritabilă revoluție, permițând pentru prima oară utilizarea sigură a unor arii extinse de tegument și părți moi locale

într-un mod ideal pentru estetica zonei donatoare. Ca orice evoluție clinică însă, cu timpul și odată cu preluarea metodei pe scară largă în tot mai multe centre au devenit clare și limitările acestei metode. În principal rata de necroză parțială a fost extensiv și controversă discutată în lucrările clinice. Pe de o parte anumite grupuri arată rezultate impresionante cu foarte puține complicații, inclusiv necroze parțiale, pe când alte grupuri au rate de complicații semnificativ crescute.

Și în domeniul cercetării fundamentale, un număr de studii au pornit de la această percepție rată înaltă de necroze parțiale încercând să ofere soluții, acestea constând în principal în intervenții farmaceutice (practic deloc utilizate în clinică) sau în adăugarea de pedicule vasculare (venos și / sau arterial) lambourilor pe perforante. Din păcate însă, nici unul dintre aceste studii nu a putut formula concluzii clare. Deși este clar că adăugarea de pedicule vasculare (*arterial supercharging / venous superdrainage*) aduce beneficii în ceea ce privește supraviețuirea lambourilor, aceste intervenții implică întotdeauna un pas microchirurgical, ceea ce diminuează avantajele acestor lambouri.

Din acest motiv am încercat în studiul experimental să schimbăm strategia și să modificăm fluxul vascular ÎN pediculul lamboului. Am putut arăta clar că doar augmentarea arterială în pedicul oferă un beneficiu de supraviețuire a lamboului<sup>117</sup>. Pe scurt, indiferent de cantitatea fluxului arterial, venele din pedicul vor putea drena lamboul în orice caz. Studiul nostru experimental arată clar importante considerente clinice:

- Este recomandată prepararea perforantelor până la nivelul vasului sursă și ligatura acestuia distal de emergența perforantei în cazul unui lambou pe perforatoare pediculat local în **toate** cazurile în care acest lucru este fezabil din punct de vedere clinic.
- Dacă artera sursă principală a unui lambou pe perforatoare pediculat local este deja ligaturată sau trombozată distal de emergența perforatorului un lambou ridicat pe primul perforator viabil proximal de tromboza arterială este sigur (chiar mai sigur decât dacă artera ar fi în continuitate) din punct de vedere al vascularizației și reprezintă o opțiune reconstructivă ideală.

Pe de altă parte, ca orice studiu, și acesta ridică anumite întrebări al căror răspunsuri nu sunt în totalitate găsite. Pe de o parte, studiul experimental este realizat pe un model de lambou bazat pe perforante care este re-suturat în poziția inițială fără a fi rotat în jurul pediculului. Acest caz nu se regăsește evident la un lambou local tip propeller bazat pe perforante în utilizarea clinică. De aceea, posibilul efect al unei torsiuni a pediculului trebuie de asemenea evaluată în conjuncție cu modificările active ale fluxului vascular pentru a determina cu exactitate rolul

augmentării arteriale și / sau a reducerii rezistenței la flux venoasă în cadrul lambourilor pe perforante. Pe de altă parte, deși studiul nostru arată anumite direcții de urmat în clinică pentru a crește rata de supraviețuire a lambourilor bazate pe perforante, în definitiv doar experiența și, în mod ideal, studii clinice prospective pot defini rolul modificărilor active ale fluxului în pediculul perforant pentru metoda lambourilor locale tip propeller în practica chirurgiei reconstructive.

Partea clinică a lucrării noastre a avut în vedere în principal evaluarea reală, prospectivă și completă a rezultatelor reconstrucției cu lambouri bazate pe perforante la nivelul gambei efectuate de doctorand în cadrul Clinicii Universitare de Chirurgie Plastică și Reconstructivă a Spitalului Universitar „Inselspital” din Berna. Rezultatele acestei cercetări au arătat pentru prima oară în literatura legată de lambourile tip propeller la nivelul gambei o legătură între artera sursă a lamboului și rata de complicații postoperatorii, fiind un factor important în publicarea acestor rezultate în renumitul jurnal ortopedic, *Journal of Bone and Joint Surgery*<sup>118</sup>. Faptul că artera peronieră pare a fi mai puțin sigură ca arteră sursă a lambourilor de tip propeller este desigur inedit și a dat naștere la diferite discuții în domeniu. Acest studiu a avut însă și un impact direct asupra practicii clinice de zi cu zi în unitatea noastră. Astfel, la pacienți cu comorbidități și defecte laterale în treimea distală a gambei am redus indicația lambourilor tip propeller și preferăm să abordăm alte soluții reconstructive. Pe de altă parte, lambourile bazate pe perforante din artera tibială posterioară sunt extrem de robuste și utilizarea lor este recomandată oricând defectele de gamba se pretează acestei opțiuni.

În final credem că putem afirma pe de o parte că lucrarea noastră a reușit să tragă unele concluzii extrem de relevante în chirurgia reconstructivă cu lambouri bazate pe perforante, pe de altă parte a deschis evident și noi întrebări și direcții de cercetare, fiind, sperăm, un important pas în aprofundarea înțelegerii acestei tehnici chirurgicale atât din punct de vedere experimental cât și clinic.

## Lista tabelelor

**Tabelul 1.** Datele culese pentru analiza colectivului de pacienți colectivului de pacienți

**Tabelul 2.** Detalii demografice ale colectivului de pacienți

**Tabelul 3.** Date asupra lambourilor și complicațiilor

**Tabelul 4.** Diferențele între pacienții ce au suferit și cei ce nu au suferit complicații postoperatorii (medie ± deviație standard).

## Lista figurilor

**Figura 1.** A. Angiografie a tegumentului ventral al gambei unui cadavru injectat cu oxid de plumb și gelatina. B. Angiografie a tegumentului dorsal al gambei unui cadavru injectat cu oxid de plumb și gelatină. Cercurile roșii arată perforante musculo-cutanate iar cele albastre perforante septo-cutanate. Teritoriile anatomice ale vascularizației tegumentare sunt numerotate precum urmeaza: 1. Artera geniculară descendentă; 2. Artera geniculară laterală inferioară; 3. Arterele surale superficiale mediale și laterale; 4. Artera tibială anterioară; 5. Artera tibială posterioară; 6. Artera fibulară; 7. Artera calcaneală medială; 8. Artera calcaneală laterală. (imagine preluată din Taylor, G. I., and Pan, W. R. Angiosomes of the leg: Anatomic study and clinical implications. *Plast. Reconstr. Surg.* 102: 599, 1998.)

**Figura 2.** Angiografia tegumentului gambei posterioare la specimen cadaveric injectat cu oxid de plumb și gelatină. Artera tibială posterioară (PTA) și artera peronieră (PNA) asigură vascularizația tegumentului din jurul tendonului ahilean. Regiunea marcată de linia punctată reprezintă tendonul calcanean și tegumentul supraiacent. (L - maleola laterală; M - Maleola medială). (imagine preluată din Taylor, G. I., and Pan, W. R. Angiosomes of the leg: Anatomic study and clinical implications. *Plast. Reconstr. Surg.* 102: 599, 1998.)

**Figura 3.** A. Mulaj arterial și B. Diagramă a gambei ce detaliază arcul anastomotic antero-lateral al gambei (săgețile negre), ramura perforantă (săgeata albastră) a arterei peroniere (PNA), artera tibială anterioară(ATA), artera tibială posterioară (PTA) și artera maleolară antero-laterală (sageata galbenă). (imagine preluată din Taylor, G. I., and Pan, W. R. Angiosomes of the leg: Anatomic study and clinical implications. *Plast. Reconstr. Surg.* 102: 599, 1998.)

**Figura 4.** Reprezentare schematică a lamboului de tip „propeller” (dupa Pignatti et al. The “Tokyo” Consensus on Propeller Flaps, Plastic and Reconstructive Surgery: February 2011 - Volume 127 - Issue 2 - p 716-722).

**Figura 5.** Marcajele preoperatorii ale lamboului bazat pe perforatorul musculo-cutanat posterior al coapsei (P1 – P3: punctele standard marcate pe lambou pentru analiza Laser Doppler, PR – punctul de referință)

**Figura 6.** Identificarea perforatorului posterior al coapsei (săgeată)

**Figura 7.** Disecția transmusculară a perforatorului

**Figura 8.** Identificarea arterei și venei femurale la nivel inghinal printr-o incizie suplimentară și identificarea emergenței pediculului perforant la nivelul vaselor femurale (săgeată)

**Figura 9.** Aspect intraoperator după aplicarea modificărilor la nivelul pediculului. Exemplu din grupul II – optimizare arterială imediată cu evidențierea ligaturilor la nivelul arterei femurale distal de emergența perforatorului

**Figura 10.** Aspect imediat postoperator după re-suturarea lamboului în poziția inițială.

**Figura 11.** Exemplu al unei înregistrări video laser Doppler cu camera de fluxmetrie Aïmago EasyLDI® (Aïmago SA, Lausanne)

**Figura 12.** Aspect reprezentativ al ariei de necroză la POD 7 în diferitele grupuri. A. Grupul I (control). B. Grupul II (Optimizare arterială imediată). C. Grupul III (Pre-optimizare arterială). D. Grupul IV (Pre-optimizare venoasă). E. Grupul V (Pre-optimizare venoasă și optimizare arterială imediată).

**Figura 13.** Reprezentare grafică (box-plot) a ariei de viabilitate ale lambourilor din diferitele grupuri experimentale (\* - Diferențe semnificative statistic)

**Figura 14.** Evoluția valorilor mediane ale fluxmetriei Laser Doppler la nivelul punctului P2 exprimată procentual față de P1 în funcție de diferitele momente ale măsurătorii

**Figura 15.** Evoluția valorilor mediane ale fluxmetriei Laser Doppler la nivelul punctului P3 exprimată procentual față de P1 în funcție de diferitele momente ale măsurătorii

**Figura 16.** Reprezentare schematică a marcajelor preoperatorii pentru lambouri de tip „propeller” bazate pe art. tibială posterioară.

**Figura 17.** Reprezentare schematică a marcajelor preoperatorii pentru lambouri de tip „propeller” bazate pe art. peronieră

**Figura 18.** Marcarea intraoperatorie a designului potențial al lamboului bazat pe perforatoare ale arterei peroniere. Dimensiunile lamboului se înțeleg ca un ghid preliminar al unui posibil lambou bazat pe perforatorul (săgeată) cel mai apropiat de defectul ce urmează a fi reconstruit.

**Figura 19.** Evidențierea celor 2 perforatoare ce ar putea servi ca pedicul al lamboului final. A se observa vizualizarea excelentă a perforatoarelor datorată ușoarei staze venoase obținută prin utilizarea unui turnichet fără exsanguinarea completă a membrului inferior

**Figura 20.** Imagine intraoperatorie cu LP complet preparat și bazat doar pe pediculul perforant extensiv disecat (scheletizat) până la emergența din artera peronieră

**Figura 21.** Imagine intraoperatorie ce demonstrează arcul de rotație (în acest caz în sensul acelor de ceasornic) necesar pentru ca LP să acopere sigur defectul de la nivelul maleolei mediale.

**Figura 22.** Aspectul LP la finalul operației. În acest caz a fost posibilă sutura directă a zonei donatoare.

**Figura 23.** Aspect postoperator la 2 săptămâni înainte de îndepărtarea firelor de sutură al unui lambou bazat pe perforante din artera peronieră demonstrând vindecarea completă

**Figura 24.** Defect posttraumatic la nivelul feței mediale a gambei ca urmare a unei fracturi deschise. După debridare defectul este acoperit cu un lambou bazat pe perforante din art. tibială posterioară. Imagini imediat postoperatorii și la 3 luni postoperator cu un excelent rezultat în ceea ce privește conturul gambei.

**Figura 25.** Exemplu al unei complicații postoperatorii la un pacient în vârstă de 76 ani cu ACOMI și cardiopatie ischemică cronică și un defect maleolar lateral în urma unei infecții după o fractură deschisă de distală intra articulară de tibie și peroneu. Defectul a fost acoperit cu un LP bazat pe perforanta din AP. Minimă necroză distală parțială a lamboului cu dezvoltarea unei dehiscente de plaga. Vindecarea dehiscenteii cu tratament conservator la 6 săptămâni postoperator și rezultatul final la 6 luni postoperator fără alte complicații locale.

**Figura 26.** Exemplu al unei necroze cvasicomplete al unui lambou bazat pe perforante din artera tibială posterioară la o pacientă polimorbida cu acoperirea ulterioară a defectului cu un substitut dermal (Matriderm □, MedSkin Solutions Dr. Suwelack AG, Germania) și grefă de piele liberă despicată. Interesant de remarcat este stenoza proximală la nivelul arterei peroniere

care nu a fost considerată semnificativă așa încât să împiedice utilizarea lamboului bazat pe perforante, o decizie, retrospectiv evaluat, eronată.

**Figura 27.** Exemplu de caz al unui lambou bazat pe perforante ale arterei tibiale posterioare pentru un defect posttraumatic cu expoziția tendonului m. tibial anterior după încercarea nereușită de a închide plaga prin sutură directă în alt spital la o pacienta fără comorbidități. Lamboul a prezentat o suferință venoasă distal, ameliorată parțial de tratamentul cu lipitori. Cu toate acestea deși necroza distală este minimală aceasta a dus la o infecție ce a necesitat reintervenția chirurgicală, defectul ulterior necesitând un lambou bipediculat pentru acoperire.

**Figura 28.** Fractura deschisa de gamba la o pacientă fără comorbidități. Tratamentul initial cu un lambou bazat pe perforante din AP (sus), complicat cu hematom și necroză distală (mijloc) ce a necesitat un lambou liber de m. gracilis pentru acoperire cu un rezultat final satisfăcător (jos)

**Figura 29.** Exemplu de lambou bazat pe perforante din artera tibială posterioară pentru un defect după excizia controlată histologic a unui dermatofibrosarcom pruruberans la nivelul feței mediale a gambei în treimea distală (sus). Rezultatul imediat postoperator și aspectul reconstructiv târziu cu o foarte bună reconstrucție a conturului, unul din avantajele de netăgăduit ale lambourilor locale bazate pe perforante.

## 5. BIBLIOGRAFIA TEZEI DE DOCTORAT

1. Aldea PA, Shaw WW. The evolution of the surgical management of severe lower extremity trauma. *Clin Plast Surg*. 1986;13(4):549-569.
2. Hippocrates., Adams F. *The Genuine Works of Hippocrates ; Translated from the Greek with a Preliminary Discourse and Annotations*. W. Wood; 1886. Accessed April 2, 2020. <https://catalog.hathitrust.org/Record/009358009>
3. The Apologie and Treatise of Ambroise Paré Containing the Voyages Made into Divers Places, with Many of His Writings upon Surgery. *Yale J Biol Med*. 1953;25(6):545.
4. Larrey DJ. *Mémoires de Chirurgie Militaire et Campagnes*. Chez J. Smith; 1812. Accessed April 2, 2020. <https://catalog.hathitrust.org/Record/012241640>
5. Lister J. ON A NEW METHOD OF TREATING COMPOUND FRACTURE, ABSCESS, ETC., WITH OBSERVATIONS ON THE CONDITIONS OF SUPPURATION. *The Lancet*. 1927;209(5406):773-775. doi:10.1016/S0140-6736(00)73482-9
6. Hauben DJ, Sonneveld GJ. The influence of war on the development of plastic surgery. *Ann Plast Surg*. 1983;10(1):65-69. doi:10.1097/00000637-198301000-00009
7. Higgins TF, Klatt JB, Beals TC. Lower Extremity Assessment Project (LEAP)--the best available evidence on limb-threatening lower extremity trauma. *Orthop Clin North Am*. 2010;41(2):233-239. doi:10.1016/j.ocl.2009.12.006
8. Werner CML, Pierpont Y, Pollak AN. The urgency of surgical débridement in the management of open fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2008;16(7):369-375. doi:10.5435/00124635-200807000-00002
9. Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plast Reconstr Surg*. 1986;78(3):285-292.
10. Karanas YL, Nigriny J, Chang J. The timing of microsurgical reconstruction in lower extremity trauma. *Microsurgery*. 2008;28(8):632-634. doi:10.1002/micr.20551
11. Byrd HS, Spicer TE, Cierney G. Management of open tibial fractures. *Plast Reconstr Surg*. 1985;76(5):719-730. doi:10.1097/00006534-198511000-00011
12. Hertel R, Lambert SM, Müller S, Ballmer FT, Ganz R. On the timing of soft-tissue reconstruction for open fractures of the lower leg. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1999;119(1-2):7-12. doi:10.1007/s004020050346
13. Yaremchuk MJ, Brumback RJ, Manson PN, Burgess AR, Poka A, Weiland AJ. Acute and definitive management of traumatic osteocutaneous defects of the lower extremity. *Plast Reconstr Surg*. 1987;80(1):1-14. doi:10.1097/00006534-198707000-00001
14. Ong YS, Levin LS. Lower limb salvage in trauma. *Plast Reconstr Surg*. 2010;125(2):582-588. doi:10.1097/PRS.0b013e3181c82ed1



15. Giannoudis PV, Papakostidis C, Roberts C. A review of the management of open fractures of the tibia and femur. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(3):281-289. doi:10.1302/0301-620X.88B3.16465
16. Miller-Thomas MM, West OC, Cohen AM. Diagnosing Traumatic Arterial Injury in the Extremities with CT Angiography: Pearls and Pitfalls. *RadioGraphics.* 2005;25(suppl\_1):S133-S142. doi:10.1148/rg.25si055511
17. Seamon MJ, Smoger D, Torres DM, et al. A prospective validation of a current practice: the detection of extremity vascular injury with CT angiography. *J Trauma.* 2009;67(2):238-243; discussion 243-244. doi:10.1097/TA.0b013e3181a51bf9
18. Fitzgerald J, Michael E. Protocol for lower extremity trauma. *J Foot Ankle Surg.* 1995;34(1):2-11. doi:10.1016/S1067-2516(09)80095-1
19. Glass GE, Pearse MF, Nanchahal J. Improving lower limb salvage following fractures with vascular injury: a systematic review and new management algorithm. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2009;62(5):571-579. doi:10.1016/j.bjps.2008.11.117
20. Fowler J, Macintyre N, Rehman S, Gaughan JP, Leslie S. The importance of surgical sequence in the treatment of lower extremity injuries with concomitant vascular injury: A meta-analysis. *Injury.* 2009;40(1):72-76. doi:10.1016/j.injury.2008.08.043
21. Terzis JK, Sun DD, Thanos PK. Historical and basic science review: past, present, and future of nerve repair. *J Reconstr Microsurg.* 1997;13(3):215-225. doi:10.1055/s-2007-1006407
22. Desouches C, Alluin O, Mutaftschiev N, et al. [Peripheral nerve repair: 30 centuries of scientific research]. *Rev Neurol (Paris).* 2005;161(11):1045-1059. doi:10.1016/s0035-3787(05)85172-0
23. Lange RH. Limb reconstruction versus amputation decision making in massive lower extremity trauma. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(243):92-99.
24. Song DH, Neligan PC. *Plastic Surgery: Lower Extremity, Trunk and Burns.* Elsevier Health Sciences; 2012.
25. Taylor GI, Miller GD, Ham FJ. The free vascularized bone graft. A clinical extension of microvascular techniques. *Plast Reconstr Surg.* 1975;55(5):533-544. doi:10.1097/00006534-197505000-00002
26. Parrett BM, Talbot SG, Pribaz JJ, Lee BT. A review of local and regional flaps for distal leg reconstruction. *J Reconstr Microsurg.* 2009;25(7):445-455. doi:10.1055/s-0029-1223847
27. May JW, Lukash FN, Gallico GG. Latissimus dorsi free muscle flap in lower-extremity reconstruction. *Plast Reconstr Surg.* 1981;68(4):603-607. doi:10.1097/00006534-198110000-00022

28. Georgescu AV, Ignatiadis I, Ileana M, Irina C, Filip A, Olariu R. Long-term results after muscle-rib flap transfer for reconstruction of composite limb defects. *Microsurgery*. 2011;31(3):218-222. doi:10.1002/micr.20857
29. Pederson WC, Grome L. Microsurgical Reconstruction of the Lower Extremity. *Semin Plast Surg*. 2019;33(1):54-58. doi:10.1055/s-0039-1677878
30. Saint-Cyr M, Schaverien M, Wong C, et al. The extended anterolateral thigh flap: anatomical basis and clinical experience. *Plast Reconstr Surg*. 2009;123(4):1245-1255. doi:10.1097/PRS.0b013e31819e2718
31. Hong JP, Sun SH, Ben-Nakhi M. Modified superficial circumflex iliac artery perforator flap and supermicrosurgery technique for lower extremity reconstruction: a new approach for moderate-sized defects. *Ann Plast Surg*. 2013;71(4):380-383. doi:10.1097/SAP.0b013e3182503ac5
32. Bhashagratna Kunjalal. *An English Translation of the Sushruta Samhita Based on Original Sanskrit Text.*; 1907. Accessed February 19, 2021. <https://catalog.hathitrust.org/Record/100327008>
33. An Account of Two Successful Operations for Restoring a Lost Nose (Lost Noses) from the Integuments of the Forehead, in the Cases of Two Officers in His Majesty's Army : To Which Are Affixed, Historical and Physiological Remarks on the Nasal Operation; Including Descriptions of the Indian and Italian Methods. *Med Chir J Rev*. 1817;4(23):376-387.
34. De Curtorum Chirurgia Per Insitionem by Tagliacozzi, Gaspare: Near Fine Hardcover (1996) Reprint Edition | Row By Row Bookshop. Accessed February 19, 2021. <https://www.abebooks.co.uk/Curtorum-Chirurgia-Insitionem-Tagliacozzi-Gaspare-Classics/30303558108/bd>
35. Manhot C. *Die Hautarterien des menschlichen Körpers*. Vogel; 1889.
36. Salmon M. *Artères de la peau.*; 1936.
37. Hamilton FH, Hamilton FH. *Elkoplasty, or, Anaplasty Applied to the Treatment of Old Ulcers : Also, A New Mode of Treatment for Delayed or Non-Union of a Fractured Humerus*. New York : Holman, Gray, & Co.; 1854. Accessed February 19, 2021. <http://archive.org/details/66810110R.nlm.nih.gov>
38. Filatov VP, Labunka M, Gnudi MT, Webster JP. Plastic Procedure Using a Round Pedicle. *Surgical Clinics of North America*. 1959;39(2):277-287. doi:10.1016/S0039-6109(16)35731-0
39. Gillies HD. THE TUBED PEDICLE IN PLASTIC SURGERY. *The Lancet*. 1920;196(5058):320. doi:10.1016/S0140-6736(01)18742-8
40. Ger R. The technique of muscle transposition in the operative treatment of traumatic and ulcerative lesions of the leg. *J Trauma*. 1971;11(6):502-510. doi:10.1097/00005373-197106000-00007
41. McGregor IA, Jackson IT. The groin flap. *British Journal of Plastic Surgery*. 1972;25:3-16. doi:10.1016/S0007-1226(72)80003-1

42. Daniel RK, Taylor GI. Distant transfer of an island flap by microvascular anastomoses. A clinical technique. *Plast Reconstr Surg.* 1973;52(2):111-117. doi:10.1097/00006534-197308000-00001
43. McCraw JB. The recent history of myocutaneous flaps. *Clin Plast Surg.* 1980;7(1):3-7.
44. Mathes SJ, Nahai F. Classification of the vascular anatomy of muscles: experimental and clinical correlation. *Plast Reconstr Surg.* 1981;67(2):177-187.
45. Godina M, Lister G. The Tailored Latissimus Dorsi Free Flap. *Plastic and Reconstructive Surgery.* 1987;80(2):304-306.
46. Banic A, Wulff K. Latissimus dorsi free flaps for total repair of extensive lower leg injuries in children. *Plast Reconstr Surg.* 1987;79(5):769-775. doi:10.1097/00006534-198705000-00016
47. Pontén B. The fasciocutaneous flap: its use in soft tissue defects of the lower leg. *Br J Plast Surg.* 1981;34(2):215-220. doi:10.1016/s0007-1226(81)80097-5
48. Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Br J Plast Surg.* 1987;40(2):113-141. doi:10.1016/0007-1226(87)90185-8
49. Koshima I, Soeda S. Inferior epigastric artery skin flaps without rectus abdominis muscle. *Br J Plast Surg.* 1989;42(6):645-648.
50. Taylor GI, Doyle M, McCarten G. The Doppler probe for planning flaps: anatomical study and clinical applications. *Br J Plast Surg.* 1990;43(1):1-16. doi:10.1016/0007-1226(90)90039-3
51. Song YG, Chen GZ, Song YL. The free thigh flap: a new free flap concept based on the septocutaneous artery. *Br J Plast Surg.* 1984;37(2):149-159. doi:10.1016/0007-1226(84)90002-x
52. Wei F, Jain V, Celik N, Chen H, Chuang DC-C, Lin C. Have we found an ideal soft-tissue flap? An experience with 672 anterolateral thigh flaps. *Plast Reconstr Surg.* 2002;109(7):2219-2226; discussion 2227-2230. doi:10.1097/00006534-200206000-00007
53. Hyakusoku H, Yamamoto T, Fumiiri M. The propeller flap method. *Br J Plast Surg.* 1991;44(1):53-54.
54. Hallock GG. The propeller flap version of the adductor muscle perforator flap for coverage of ischial or trochanteric pressure sores. *Ann Plast Surg.* 2006;56(5):540-542. doi:10.1097/01.sap.0000210512.81988.2b
55. Teo TC. The propeller flap concept. *Clin Plast Surg.* 2010;37(4):615-626, vi. doi:10.1016/j.cps.2010.06.003
56. Georgescu AV. Propeller Perforator Flaps in Distal Lower Leg: Evolution and Clinical Applications. *Arch Plast Surg.* 2012;39(2):94-105. doi:10.5999/aps.2012.39.2.94

57. Pignatti M, Ogawa R, Hallock GG, et al. The “Tokyo” consensus on propeller flaps. *Plast Reconstr Surg*. 2011;127(2):716-722. doi:10.1097/PRS.0b013e3181fed6b2
58. Taylor GI, Pan WR. Angiosomes of the leg: anatomic study and clinical implications. *Plast Reconstr Surg*. 1998;102(3):599-616; discussion 617-618.
59. Morris SF, Tang M, Almutari K, Geddes C, Yang D. The anatomic basis of perforator flaps. *Clin Plast Surg*. 2010;37(4):553-570, xi. doi:10.1016/j.cps.2010.06.006
60. Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M, Mojallal A, Rohrich RJ. The perforasome theory: vascular anatomy and clinical implications. *Plast Reconstr Surg*. 2009;124(5):1529-1544. doi:10.1097/PRS.0b013e3181b98a6c
61. Geddes CR, Tang M, Yang D, Morris SF. Anatomy of the Integument of the Lower Extremity. In: *Perforator Flaps Anatomy, Technique, & Clinical Applications Second Edition*. ; :667-705.
62. Acland RD, Schusterman M, Godina M, Eder E, Taylor GI, Carlisle I. The saphenous neurovascular free flap. *Plast Reconstr Surg*. 1981;67(6):763-774. doi:10.1097/00006534-198106000-00009
63. Shaw AD, Ghosh SJ, Quaba AA. The island posterior calf fasciocutaneous flap: an alternative to the gastrocnemius muscle for cover of knee and tibial defects. *Plast Reconstr Surg*. 1998;101(6):1529-1536. doi:10.1097/00006534-199805000-00016
64. Hallock GG. Anatomic basis of the gastrocnemius perforator-based flap. *Ann Plast Surg*. 2001;47(5):517-522. doi:10.1097/0000637-200111000-00008
65. Morrison WA, Shen TY. Anterior tibial artery flap: anatomy and case report. *Br J Plast Surg*. 1987;40(3):230-235. doi:10.1016/0007-1226(87)90115-9
66. Masquelet AC, Beveridge J, Romana C, Gerber C. The lateral supramalleolar flap. *Plast Reconstr Surg*. 1988;81(1):74-81. doi:10.1097/00006534-198801000-00014
67. Georgescu AV, Matei IR, Bumbasirevic M, Soucacos PN. Why, when and how propeller perforator flaps in reconstructive surgery. *Injury*. 2019;50 Suppl 5:S3-S7. doi:10.1016/j.injury.2019.10.037
68. Georgescu AV, Matei IR, Capota IM. The use of propeller perforator flaps for diabetic limb salvage: a retrospective review of 25 cases. *Diabet Foot Ankle*. 2012;3. doi:10.3402/dfa.v3i0.18978
69. Gokrem S, Sarifakioğlu N, Toksoy K, Terzioğlu A, Aslan G. Effects of 360-degree pedicle torsion on island skin flaps: experimental study in rats. *J Reconstr Microsurg*. 2005;21(5):313-316. doi:10.1055/s-2005-871773
70. Donski PK, Fogdestam I. Distally based fasciocutaneous flap from the sural region. A preliminary report. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1983;17(3):191-196. doi:10.3109/02844318309013118
71. Taylor GI, Corlett RJ, Dhar SC, Ashton MW. The anatomical (angiosome) and clinical territories of cutaneous perforating arteries: development of the concept and designing

- safe flaps. *Plast Reconstr Surg.* 2011;127(4):1447-1459. doi:10.1097/PRS.0b013e318208d21b
72. Shafiqhi M, Olariu R, Fathi AR, et al. Dimethylxalylglycine stabilizes HIF-1 $\alpha$  in cultured human endothelial cells and increases random-pattern skin flap survival in vivo. *Plast Reconstr Surg.* 2011;128(2):415-422. doi:10.1097/PRS.0b013e31821e6e69
  73. Shafiqhi M, Olariu R, Brun C, et al. The role of androgens on hypoxia-inducible factor (HIF)-1 $\alpha$ -induced angiogenesis and on the survival of ischemically challenged skin flaps in a rat model. *Microsurgery.* 2012;32(6):475-481. doi:10.1002/micr.21996
  74. Blondeel PN, Van Landuyt KHI, Monstrey SJM, et al. The “Gent” consensus on perforator flap terminology: preliminary definitions. *Plast Reconstr Surg.* 2003;112(5):1378-1383; quiz 1383, 1516; discussion 1384-1387. doi:10.1097/01.PRS.0000081071.83805.B6
  75. Ayestaray B, Ogawa R, Ono S, Hyakusoku H. Propeller flaps: classification and clinical applications. *Ann Chir Plast Esthet.* 2011;56(2):90-98. doi:10.1016/j.anplas.2010.11.004
  76. Quaba O, Quaba A. Pedicled Perforator Flaps for the Lower Limb. *Seminars in Plastic Surgery.* 2006;20(2):103-111. doi:10.1055/s-2006-941717
  77. Bekara F, Herlin C, Somda S, de Runz A, Grolleau JL, Chaput B. Free versus perforator-pedicled propeller flaps in lower extremity reconstruction: What is the safest coverage? A meta-analysis. *Microsurgery.* Published online March 28, 2016. doi:10.1002/micr.30047
  78. Nelson JA, Fischer JP, Brazio PS, Kovach SJ, Rosson GD, Rad AN. A review of propeller flaps for distal lower extremity soft tissue reconstruction: Is flap loss too high? *Microsurgery.* 2013;33(7):578-586. doi:10.1002/micr.22134
  79. Bekara F, Herlin C, Mojallal A, et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Perforator-Pedicled Propeller Flaps in Lower Extremity Defects: Identification of Risk Factors for Complications. *Plast Reconstr Surg.* 2016;137(1):314-331. doi:10.1097/PRS.0000000000001891
  80. Tanaka Y, Tajima S. The influence of arterial inflow and venous outflow on the survival of reversed-flow island flaps: an experimental study. *Plast Reconstr Surg.* 1997;99(7):2021-2029.
  81. Hallock GG, Rice DC. Efficacy of venous supercharging of the deep inferior epigastric perforator flap in a rat model. *Plast Reconstr Surg.* 2005;116(2):551-555; discussion 556.
  82. Groth AK, Campos ACL, Gonçalves CG, et al. Effects of venous supercharging in deep inferior epigastric artery perforator flap. *Acta Cir Bras.* 2007;22(6):474-478.
  83. Yamamoto Y, Sakurai H, Nakazawa H, Nozaki M. Effect of vascular augmentation on the haemodynamics and survival area in a rat abdominal perforator flap model. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2009;62(2):244-249. doi:10.1016/j.bjps.2007.11.078
  84. Gümüş N, Erkan M, Erçöçen AR. Vascular pressure monitorization for necessity of vascular augmentation in a rat extended abdominal perforator flap model. *Microsurgery.* 2012;32(4):303-308. doi:10.1002/micr.21952

85. Coşkunfirat OK, Islamoğlu K, Ozgentaş HE. Posterior thigh perforator-based flap: a new experimental model in rats. *Ann Plast Surg.* 2002;48(3):286-291.
86. Tim CR, Martignago CCS, da Silva VR, et al. A Comparison of Three Methods for the Analysis of Skin Flap Viability: Reliability and Validity. *Adv Wound Care (New Rochelle).* 2018;7(5):157-163. doi:10.1089/wound.2017.0758
87. Chang H, Nobuaki I, Minabe T, Nakajima H. Comparison of three different supercharging procedures in a rat skin flap model. *Plast Reconstr Surg.* 2004;113(1):277-283. doi:10.1097/01.PRS.0000095953.57320.2F
88. Chen W, Li Y-Q, Tang Y, et al. [Which vessel, the artery or the vein is more important in vascular supercharge: an investigation of vascular changes on rat abdominal supercharging flap models]. *Zhonghua Zheng Xing Wai Ke Za Zhi.* 2013;29(1):40-44.
89. Sano K, Hallock GG, Rice DC. Venous “supercharging” augments survival of the delayed rat TRAM flap. *Ann Plast Surg.* 2003;51(4):398-402. doi:10.1097/01.SAP.0000068111.83104.7F
90. Zheng J, Xi S, Ding M, et al. Effects of Venous Superdrainage and Arterial Supercharging on Dorsal Perforator Flap in a Rat Model. *PLOS ONE.* 2016;11(8):e0160942. doi:10.1371/journal.pone.0160942
91. Callegari PR, Taylor GI, Caddy CM, Minabe T. An anatomic review of the delay phenomenon: I. Experimental studies. *Plast Reconstr Surg.* 1992;89(3):397-407; discussion 417-418.
92. Dhar SC, Taylor GI. The delay phenomenon: the story unfolds. *Plast Reconstr Surg.* 1999;104(7):2079-2091.
93. Taylor GI, Corlett RJ, Ashton MW. The Functional Angiosome: Clinical Implications of the Anatomical Concept. *Plast Reconstr Surg.* 2017;140(4):721-733. doi:10.1097/PRS.0000000000003694
94. Seyhan T, Deniz M, Borman H, Ulusal Güzel B, Çağlar B. Comparison of two different vascular delay methods in a rat cranial epigastric perforator flap model. *Ann Plast Surg.* 2010;64(1):89-92. doi:10.1097/SAP.0b013e3181951720
95. D’Arpa S, Toia F, Pirrello R, Moschella F, Cordova A. Propeller Flaps: A Review of Indications, Technique, and Results. *BioMed Research International.* 2014;2014:986829. doi:10.1155/2014/986829
96. Blondeel PN, Morris SF, Hallock GG, Neligan PC. *Perforator Flaps: Anatomy, Technique, & Clinical Applications, Second Edition.* CRC Press; 2013.
97. Rad AN, Singh NK, Rosson GD. Peroneal artery perforator-based propeller flap reconstruction of the lateral distal lower extremity after tumor extirpation: case report and literature review. *Microsurgery.* 2008;28(8):663-670. doi:10.1002/micr.20557
98. Innocenti M, Menichini G, Baldrighi C, Delcroix L, Vignini L, Tos P. Are there risk factors for complications of perforator-based propeller flaps for lower-extremity reconstruction? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(7):2276-2286. doi:10.1007/s11999-014-3537-6

99. Blondeel PN, Beyens G, Verhaeghe R, et al. Doppler flowmetry in the planning of perforator flaps. *Br J Plast Surg*. 1998;51(3):202-209.
100. Koshima I, Moriguchi T, Ohta S, Hamanaka T, Inoue T, Ikeda A. The vasculature and clinical application of the posterior tibial perforator-based flap. *Plast Reconstr Surg*. 1992;90(4):643-649.
101. Tanaka K, Matsumura H, Miyaki T, Watanabe K. An anatomic study of the intermuscular septum of the lower leg; branches from the posterior tibial artery and potential for reconstruction of the lower leg and the heel. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2006;59(8):835-838. doi:10.1016/j.bjps.2005.10.020
102. Acland RD. Refinements in lower extremity free flap surgery. *Clin Plast Surg*. 1990;17(4):733-744.
103. Artiaco S, Battiston B, Colzani G, et al. Perforator Based Propeller Flaps in Limb Reconstructive Surgery: Clinical Application and Literature Review. *BioMed Research International*. 2014;2014:690649. doi:10.1155/2014/690649
104. Yazar S, Lin C-H, Lin Y-T, Ulusal AE, Wei F-C. Outcome comparison between free muscle and free fasciocutaneous flaps for reconstruction of distal third and ankle traumatic open tibial fractures. *Plast Reconstr Surg*. 2006;117(7):2468-2475; discussion 2476-2477. doi:10.1097/01.prs.0000224304.56885.c2
105. Gunnarsson GL, Jackson IT, Westvik TS, Thomsen JB. The freestyle pedicle perforator flap: a new favorite for the reconstruction of moderate-sized defects of the torso and extremities. *Eur J Plast Surg*. 2015;38:31-36. doi:10.1007/s00238-014-1043-4
106. Karki D, Narayan RP. The versatility of perforator-based propeller flap for reconstruction of distal leg and ankle defects. *Plast Surg Int*. 2012;2012:303247. doi:10.1155/2012/303247
107. Mateev MA, Kuokkanen HOM. Reconstruction of soft tissue defects in the extremities with a pedicled perforator flap: series of 25 patients. *J Plast Surg Hand Surg*. 2012;46(1):32-36. doi:10.3109/2000656X.2011.634562
108. Georgescu AV, Matei I, Ardelean F, Capota I. Microsurgical nonmicrovascular flaps in forearm and hand reconstruction. *Microsurgery*. 2007;27(5):384-394. doi:10.1002/micr.20376
109. Yu S, Zang M, Xu L, et al. Perforator Propeller Flap for Oncologic Reconstruction of Soft Tissue Defects in Trunk and Extremities. *Ann Plast Surg*. 2016;77(4):456-463. doi:10.1097/SAP.0000000000000649
110. Ignatiadis IA, Georgakopoulos GD, Tsiampa VA, Polyzois VD, Arapoglou DK, Papalois AE. Distal posterior tibial artery perforator flaps for the management of calcaneal and Achilles tendon injuries in diabetic and non-diabetic patients. *Diabet Foot Ankle*. 2011;2. doi:10.3402/dfa.v2i0.7483

111. Schaverien MV, Hamilton SA, Fairburn N, Rao P, Quaba AA. Lower limb reconstruction using the islanded posterior tibial artery perforator flap. *Plast Reconstr Surg.* 2010;125(6):1735-1743. doi:10.1097/PRS.0b013e3181ccdc08
112. Jakubietz RG, Jakubietz MG, Gruenert JG, Kloss DF. The 180-degree perforator-based propeller flap for soft tissue coverage of the distal, lower extremity: a new method to achieve reliable coverage of the distal lower extremity with a local, fasciocutaneous perforator flap. *Ann Plast Surg.* 2007;59(6):667-671. doi:10.1097/SAP.0b013e31803c9b66
113. Erdmann MW, Court-Brown CM, Quaba AA. A five year review of islanded distally based fasciocutaneous flaps on the lower limb. *Br J Plast Surg.* 1997;50(6):421-427.
114. Masia J, Moscatiello F, Pons G, Fernandez M, Lopez S, Serret P. Our experience in lower limb reconstruction with perforator flaps. *Ann Plast Surg.* 2007;58(5):507-512. doi:10.1097/01.sap.0000239841.47088.a5
115. Tos P, Innocenti M, Artiaco S, et al. Perforator-based propeller flaps treating loss of substance in the lower limb. *Journal of Orthopaedics and Traumatology : Official Journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology.* 2011;12(2):93-99. doi:10.1007/s10195-011-0136-0
116. Jiga LP, Barac S, Taranu G, et al. The versatility of propeller flaps for lower limb reconstruction in patients with peripheral arterial obstructive disease: initial experience. *Ann Plast Surg.* 2010;64(2):193-197. doi:10.1097/SAP.0b013e3181a72f8c
117. Olariu R, Moser HL, Lese I, et al. The effects of optimizing blood inflow in the pedicle on perforator flap survival: A pilot study in a rat model. *Arch Plast Surg.* 2020;47(3):209-216. doi:10.5999/aps.2019.00871
118. Lese I, Grobbelaar AO, Sabau D, Georgescu AV, Constantinescu MA, Olariu R. The Propeller Flap for Traumatic Distal Lower-Limb Reconstruction: Risk Factors, Pitfalls, and Recommendations. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(6):510-518. doi:10.2106/JBJS.19.00648