Journal of Medical Sciences. 29 May, 2025 - Volume 13 | Issue 3. Electronic - ISSN: 2345-0592
Medical Sciences 2025 Vol. 13 (3), p. 15-31, https://doi.org/10.53453/ms.2025.5.2

e-ISSN: 2345-0592
Online issue
Indexed in *Index Copernicus*

Medical Sciences

Official website:
www.medicsciences.com

Reconstruction of pediatric lower limb injuries: indications and results of loose tissue patch application

Patricija Belkevič[1], Marcin Vrublevski[2]

[1]*Faculty of Medicine, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania*

[2]*Karoliniškės Outpatient Clinic, Public Institution, Vilnius, Lithuania*

Abstract

Introduction. Complex injuries to childrens' lower limbs with large soft-tissue defects pose major challenges for surgeons and rehabilitation teams. Over recent decades, free flaps have become a key option for protecting bones and tendons, reducing infection risk, and preserving limb function. Nevertheless, pediatric cases demand special attention due to small vessel diameter, continuous skeletal development, and varied healing rates.

Aim of the study. To review free flap techniques in pediatric lower-limb trauma, focusing on indications, complications, and factors influencing long-term success.

Methods. A literature review was conducted via the PubMed database. Articles in English from 2004 to 2024 discussing free flap reconstruction in children were analyzed. Retrospective and prospective studies, as well as case series, were included to assess operative duration, flap survival, complications, and functional outcomes.

Results. Free flaps effectively cover extensive defects, with survival rates often exceeding 95%. Key factors include thorough debridement, well-planned anastomoses, and structured postoperative care. While complications remain possible, early coverage and consistent rehabilitation reduce these risks. Children's active lifestyles and evolving musculoskeletal systems may affect outcomes, necessitating individualized planning and follow-up.

Conclusions. Free flap reconstruction reliably preserves limb function in children with severe lower-limb injuries, offering high success rates and improved growth potential. Given the ongoing development of a child's skeletal system, close interdisciplinary collaboration and regular monitoring are crucial. Future research should emphasize objective functional metrics, robust patient-reported outcomes, and cost-effectiveness evaluations to further advance this field.

Keywords: children, lower limbs, free flaps, trauma, microsurgery, reconstruction.

Vaikų apatinių galūnių traumų rekonstrukcija: laisvųjų audinių lopų taikymo indikacijos ir rezultatai

Patricija Belkevič[1], Marcin Vrublevski[2]

[1]*Medicinos fakultetas, Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Kaunas, Lietuva*

[2]*VŠĮ Karoliniškių poliklinika, Vilnius, Lietuva*

Santrauka

Įvadas. Sudėtingi vaikų apatinių galūnių trauminiai pažeidimai, ypač esant dideliems minkštųjų audinių defektams, kelia reikšmingų iššūkių tiek chirurgams, tiek reabilitacijos komandai. Laisvieji audinių lopai pastaraisiais dešimtmečiais vis plačiau taikomi siekiant uždengti pažeistus kaulus ir sausgysles, sumažinti infekcijų riziką, išlaikyti galūnės funkciją. Visgi vaikams būdingas mažas kraujagyslių skersmuo ir augančio skeleto specifika reikalauja kruopštaus planavimo ir tarpdisciplininio požiūrio.

Tyrimo tikslas. Išnagrinėti literatūrą, aprašančią laisvųjų audinių lopų taikymo taktikas gydant vaikų apatinių galūnių traumas, aptarti šio metodo indikacijas, dažniausias komplikacijas bei veiksnius, lemiančius sėkmingas ilgalaikes išeitis.

Metodai. Atlikta straipsnių apžvalga, pasitelkiant *PubMed* duomenų bazę. Analizuoti 2004–2024 m. anglų kalba paskelbti moksliniai darbai, kuriuose nagrinėjama laisvųjų lopų rekonstrukcijos vaikams. Išanalizuoti tiek retrospektyviniai, tiek prospektyviniai tyrimai bei atvejų serijos, įvertinant operacijos laiką, lopo išgyvenamumą, komplikacijų dažnį, funkcinį rezultatą.

Rezultatai. Tyrimų duomenimis, vaikų apatinių galūnių traumų atvejais laisvieji lopai leidžia efektyviai dengti didelius defektus, o lopo išgyvenamumas dažnai viršija 95%. Pagrindiniai sėkmės kriterijai yra kruopštus žaizdos paruošimas, tinkamos anastomozės už traumos zonos ir gerai organizuota pooperacinė priežiūra. Nors komplikacijų vis dar pasitaiko, jų dažnį galima sumažinti ankstyvu defekto uždarymu ir nuoseklia reabilitacija. Vaikų aktyvus gyvenimo būdas ir besivystanti griaučių sistema gali turėti įtakos gydymo rezultatams, todėl būtinas individualizuotas planavimas ir stebėsena.

Išvados. Laisvųjų audinių lopai – patikimas metodas, padedantis išsaugoti vaikų apatinių galūnių funkciją po didelių trauminių pažeidimų. Dėl aktyvios augimo eigos būtina individualizuota stebėsena ir glaudus įvairių sričių specialistų bendradarbiavimas. Ateities tyrimuose rekomenduojama daugiau dėmesio skirti objektyvių funkcinių rodiklių ir gyvenimo kokybės vertinimui.

Raktažodžiai: vaikai, apatinės galūnės, laisvieji audinių lopai, trauma, mikrochirurgija, rekonstrukcija.

1. Įvadas

Sudėtingi vaikų apatinių galūnių trauminiai pažeidimai kelia daug iššūkių tiek traumatologams, tiek plastinės rekonstrukcinės chirurgijos specialistams. Esant dideliems kompoziciniams minkštųjų audinių defektams, siekiant optimaliai atkurti funkciją ir estetinį vaizdą, neretai prireikia laisvųjų audinių lopų (angl. *free tissue transfer*). Pirmieji vaikų mikrochirurginių rekonstrukcijų bandymai siekia 1975 metus, kuomet Harii ir Ohmori o vėliau Ohmori ir kt. atliko laisvųjų audinių perkėlimus vaikams (pvz., 3 mėnesių kūdikiui) [1,2]. Tačiau dar nuo ankstyvųjų tyrimų laikų būta nuogąstavimų, susijusių su mažu vaikų kraujagyslių skersmeniu; iš pradžių buvo siūlyta taikyti 0,7 mm ribą saugiai anastomozei [3]. Šiandien, tobulėjant supermikrochirurginėms technikoms dirbama net su 0,3–0,5 mm skersmens kraujagyslėmis[4]. Canales ir kt. minėjo, kad vaikų laisvųjų audinių lopų sėkmės rodikliai gali būti artimi suaugusiųjų rezultatams[5]. Sisteminėje 439 lopų apžvalgoje nurodytas 5,01% nesėkmių procentas vaikų apatinių galūnių rekonstrukcijose, o kitose publikacijose sėkmingos išeitys siekia net iki 100%.[6,7] Dėl tokių teigiamų rezultatų laisvieji lopai vis dažniau taikomi pediatrinėje trauminėje rekonstrukcijoje. Norint optimaliai pasirinkti gydymą, svarbu tinkamai atrinkti pacientus, kuriems galima galūnės išsaugojimo operacija ir atmesti tikėtinus amputacijos atvejus. Galūnės išsaugojimo vertinimo skalės (pvz., NISSSA , MESS, PSI) gali padėti, tačiau sprendimas visada turi būti priimamas individualiai, įvertinant bendrą paciento būklę, pažeidimo pobūdį ir multidisciplinių komandų – plastinės chirurgijos, ortopedijos, reabilitacijos – rekomendacijas[8-10]. Šiame straipsnyje siekiama išsamiai apžvelgti laisvųjų audinių lopų taikymo vaikų apatinių galūnių traumoms indikacijas, laiką, rekonstrukcijos planavimo aspektus, komplikacijas bei jų valdymo strategijas, taip pat aptarti galimas tyrimų spragas ir ateities perspektyvas.

2. Metodai: Atlikta literatūros apžvalga naudojant PubMed duomenų bazę, naudojant raktažodžius: „vaikų“, „apatinių galūnių“, „trauma“, „rekonstrukcija“, „laisvieji audiniai“, „lopai“. Analizei buvo pasirinkti anglų kalba parašyti straipsniai, paskelbti 2004-2024 metais. Atrinkti straipnsiai, kuriuose nagrinėjama laisvųjų lopų rekonstrukcijos vaikams. Išanalizuoti tiek retrospektyviniai, tiek prospektyviniai tyrimai bei atvejų serijos, įvertinant operacijos laiką, lopo išgyvenamumą, komplikacijų dažnį, bei funkcinį rezultatą.

3. Rezultatai

Pagrindinė laisvųjų audinių lopų taikymo indikacijų – stambūs minkštųjų audinių defektai, kurių neįmanoma uždaryti pirminiu būdu[11]. Tokie defektai dažnai siejami su Gustillo–Anderson 3B ir 3C kategorijų atviraisiais lūžiais arba su didelio ploto pažeidimais, kur vietinės lopo galimybės (pvz., paprastas odos persodinimas) yra ribotos [12]. Literatūroje nurodoma, kad apie 75% vaikų apatinių galūnių traumų, kuriose prireikia laisvųjų lopų, atitinka Gustillo–Anderson 3B laipsnį. Tačiau vaikams, kitaip nei suaugusiesiems, 3B rečiau reikalauja laisvųjų lopų – suaugusiųjų atveju >90% prireikia minėto audinių perkėlimo[13].

Svarbiausias faktorius renkantis laisvąjį lopą yra klinikinė galimybė išsaugoti galūnę [14]. Nors egzistuoja keletas traumų sunkumo vertinimo sistemų (NISSSA , MESS, PSI), dalis retrospektyvinių tyrimų rodo, kad jos negali būti vienintelis objektyvus kriterijus priimant

amputacijos sprendimą [8,9,15]. Dėl to klinikinis vertinimas ir multidisciplininis (pagrinde vaikų ortopedo-traumatologo, plastinės rekonsutrukcijos gydytojo ir fizinės medicinos ir reabilitacijos gydytojo) požiūris išlieka esminiai [16].

Iš pradžių vaikų apatinių galūnių dideli defektai dažniausiai būdavo dengiami raumeniniais lopais. Tačiau pradėjus plačiau taikyti perforotus ar fascijinius-odinius lopus, vyksta laipsniškas perėjimas prie plonesnių, elastingesnių, lengviau koreguojamų sprendimų [6]. Šioje srityje, be anatominių ir audinių trūkumo aspektų, reikia įvertinti ir vaiko amžių bei augimo perspektyvas – dalinis *latissimus dorsi* raumens perkėlimas gali padėti išvengti didesnės peties ar krūtinės deformacijos, o parinkus netinkamą lopą, ateityje galima susidurti su pėdos padėties sutrikimais (*equinus, varus, valgus*)[17,18].

3.1. Raumenų lopai

Raumenų lopai (*latissimus dorsi* , *gracilis*, *rectus abdominis*) gerai užpildo erdvines defektų ertmes, gali sąlyginai stiprinti kraujotaką žaizdose ir yra tinkami, jei reikalinga didesnė audinio masė (ypač pado srityje).[19,20] Visgi jie turi trūkumų: donorinėje vietoje netenkama raumens funkcijos, dažnai prireikia antrinio odos persodinimo, be to, storą raumeninį lopą gali būti sunkiau adaptuoti sekančiose ortopedinėse operacijose (jeigu tokios būtų planuojamos) [6,20]. Kai kuriuose tyrimuose nurodoma, kad *latissimus dorsi* lopas yra patikimas, tačiau vis dažniau užleidžia vietą perforuotiems lopams, kai defektas yra mažiau tūrinis [21].

***Latissimus dorsi* (LD)**. Itin dažnas raumeninis lopas tiek suaugusiesiems, tiek vaikams, nes turi ilgas, stambias kraujagysles (ang. *thoracodorsal artery*) ir jį gana paprasta atskirti nuo šalimais esančių audinių [22]. Trūkumai: donorinėje vietoje galima peties disfunkcija, ypač jeigu perkeliamas visas raumuo, kas sąlygoja ateityje galimas ir pečių lanko ar nugaros deformacijas. Vaikų atveju būtent dalinė LD raumens lobulė yra tinkamesnis pasirinkimas, nes taip kyla mažesnė galimų komplikacijų rizika [23].

Gracilis. Dėl mažo pločio dažnai naudojamas tik nedideliems defektams arba funkcinėms rekonstrukcijoms (pvz., laisvasis funkcinis raumens perkėlimas rankai), bet literatūroje aprašyti ir atvejai esant nedideliems blauzdos ar pėdos defektams [18].

***Rectus abdominis* (RA)**. Gali suteikti didelį audinių kiekį, tačiau donorinėje vietoje išlieka pilvo sienos silpnumas, ženkliai padidėja išvaržų tikimybė, tikėtini kosmetiniai defektai [24].

3.2 Perforatoriniai/fascijiniai-odiniai lopai

Perforatoriniai ir fascijiniai-odiniai lopai <u>anterolateralinis šlaunies lopas, radialinis dilbio lopas, gilus apatinis epigastrinės arterijos perforuotas lopas, torakodorsalinės arterijos perforuotas lopas ir kiti) lopas</u> pasižymi savo plonumu, elastingumu ir mažesniu donorinės vietos pažeidimu ir komplikacijų rizika, ypač jeigu įmanomas pirminis užsiuvimas.

Anterolateralinis šlaunies lopas *(Anterolateral thigh, ALT)*. Plačiai naudojamas dėl patogios audinio rezekcijos ir dažniausiai turi patikimą kraujagyslinį pedikulą (lateralinė juosiančiuoji šlaunies arterija), o perforatorių gausa leidžia ploninti lopą (angl. *thinning*) arba prireikus atskirti fascinius–odinius komponentus [19,25]. ALT lopai kai kuriais atvejais gali būti inervuojami, siekiant atkurti jutimą [25]. Literatūroje aprašyta, kad šie lopai ypač vertinami rekonstruojant čiurną, pėdos dorsalinę dalį ar blauzdą [26]. Visgi ALT turi ir savų trūkumų: sudėtingas donorinės vietos užsiuvimas,jei reikia labai didelio odos ploto,

donorinę vietą gali tekti dengti STG (ang. *split-thickness skin graft*), o tai padidina antrinių defektų riziką [27]. Nors pediatrinei populiacijai tai nėra labai aktualu, bet šlaunies oda kai kuriems pacientams gali būti stipriai plaukuota, todėl reiktų tą įvertinti planuojant rekonstrukcijas į veido ar rankų sritis [28]. Vaikams šis lopas – optimalus pasirinkimas, kai reikia didelio, bet lengvai adaptuojamo lopinio.

Radialinis dilbio lopas *(Radial forearm flap, RFA)*. Minimas kaip antraeilis pasirinkimas, kadangi neišsaugojama radialinė rankos arterija, todėl reikalaujamas priešoperacinis Allen testas (siekiant įsitikinti, kad ulnarinė arterija pakankamai kraujotaka aprūpina plaštaką [29]. Taip pat kaip komplikacijos galimos donorinės vietos deformacijos [30]. Nors anatomiškai nesudėtingas, išlieka didelė kosmetinio rando rizika. RFA atveju radialinės arterijos ir lydinčių venų tinklas gana stabilus, todėl lengva planuoti rekonstrukciją, o rankos oda dažnai plonesnė, todėl labai tinka delikačioms sritims (pvz., burnos ertmės, veido) rekonstruoti . Visgi dažnai donorinę vietą tenka dengti dalinio storio odos persodinimu, kuris palieka išskirtinį defektą ar pigmentacijos pokyčius matomoje vietoje [31].

Gilus apatinis epigastrinės arterijos perforuotas lopas *(Deep inferior epigastric artery perforator, DIEAP)*. Leidžia gauti didelį audinio kiekį iš pilvo srities ir skirtingai nei TRAM (ang. *transverse rectus abdominis myocutaneous*), DIEP išsaugo tiesųjį pilvo raumenį, taip sumažinant pilvo sienos silpnumą ir išvaržų tikimybę[32]. Vaikams pirminis užsiuvimas ne visada įmanomas, todėl didesnė donorinės vietos komplikacijų tikimybė - didėja seromų, hematomų ar infekcijos pavojus, bet dažnai tai atsveria privalumas – išvengta pilvo raumens rezekcijos[33].

Torakodorsalinės arterijos perforuotas lopas *(Thoracodorsal artery perforator, TDAP)*. Alternatyva LD raumens lopams, išsaugant raumenį. Visgi tyrimai rodo didesnį (apie 38%) komplikacijų dažnį ir net 9,5% visišką lopo žūties procentą [34]. TDAP skirtingai nuo LD raumeninio lopo leidžia išsaugoti raumenį, nes lopas gaunamas tik iš perforatorių. Taip pat, esant poreikiui, galima suformuoti santykinai didelį fascijinį–odinį lopą. Paminėtina, kad TDAP atveju kartais prireikia papildomų kraujagyslinių jungčių, kas didina trombozės riziką [35].

Kiti (pvz., paviršinės apatinės epigastrinės arterijos perforatorinis lopas, giliosios šlaunies arterijos perforatorinis lopas) vaikų populiacijoje sutinkami rečiau, duomenų apie audinių išgyvenamumą mažai [36].

Pastaruoju metu, kai geriau išmanoma vaikų kraujagyslių anatominė struktūra bei sėkmingai taikoma supermikrochirurgija, perforatorinių lopų pritaikymas toliau populiarėja [19]. Siekiama *replace like with like*, tai yra atkurti panašios struktūros audinius: pado dangai – storesnį sluoksnį, pėdos dorsalinėje dalyje – plonesnį, elastingesnį audinį[13].

3.3 Lopo pritaikymo laikas ir rekonstrukcijos planavimas

Operacijos laiko įtaka

Vienas tyrimas rodo, kad anksčiau laikytas optimalus „ankstyvos rekonstrukcijos“ langas (pvz., per 72 val.) nebūtinai lemia geresnį rezultatą [37,38]. Tiek ūmioje (iki 1 savaitės), tiek tarpinėje (1–3 sav.) ar net vėlyvoje fazėje (>3 sav.) laisvieji lopai dažnai turi panašią išgyvenamumo statistiką. Tai rodo, kad kur kas svarbesni veiksniai gali būti tinkamas žaizdos išvalymas, anastomozių atlikimas nepažeistose kraujagyslėse bei kruopštus žaizdos paruošimas

(su antiseptiniais tirpalais, antibiotikais) [39]. Taigi laikas svarbus, tačiau nėra vienintelis faktorius.

Kai kuriais atvejais vėluojama operuoti tikslingai, pvz., jei paciento būklė nestabili, yra antrinis sepsis ar neatlikta galutinė ortopedinė kaulų stabilizacija [40]. Taip pat, dabartiniai antiseptikai,, platus antibiotikų spektras, specializuoti tvarsčiai sumažina infekcijų riziką, leidžia atidėti laisvojo lopo procedūrą iki kol vaiko būklė bus pilnai stabilizuota [39].

Žaizdos išvalymas ir kraujagyslinė anastomozė

Siekiant sumažinti infekcijos, trombozės ar nekrozės riziką, labai svarbu nedelsiant (dar prieš lopo paėmimą) pašalinti visus negyvybingus, užterštus audinius, kaulų nuolaužas, lėtines fistules. Kraujagyslių anastomozes patariama atlikti už sužeidimo zonos [40]. Kartais prireikia veninės jungties (angl. *vein graft*), jei pedikulo ilgis nepakankamas [41]. Kai kurie tyrimai nurodo 0,7 mm skersmens ribą kaip „saugią“ anastomozei, bet supermikrochirurgija dabar leidžia sėkmingai atlikti anastomozes ir su 0,3–0,5 mm diametro kraujagyslėmis.[34,42] Vos tik atsiranda kraujagyslių spazmo požymių, rekomenduojami papaverino ar lidokaino tirpalai [40,43]. Dėl paprastai mažiau pažeistų vaikų kraujagyslių (mažiau aterosklerozės, rūkymo, kt. rizikos veiksnių) mikrochirurginiai rezultatai gali būti net geresni nei suaugusiesiems [4].

Anesteziologiniai ir perioperaciniai aspektai

Vaiko fiziologinė būklė lemia anestezijos trukmę (3–17 val.) [16]. Jei vaiko hemodinamika nepakankamai stabilizuota, kyla hiperkoaguliacijos rizika, didėja trombozės tikimybė. Rekomenduojamas dviejų komandų metodas (plastikos chirurgu ir ortopedų), siekiant sutrumpinti operacijos laiką, palaikyti >24 °C temperatūrą operacinėje, užtikrinti atitinkamas šildymo priemones (pvz., *Bair Hugger*) [44]. Taip pat po operacijos svarbu vaiką perkelti į intensyviosios terapijos skyrių, kad būtų laiku identifikuoti galimi kraujotakos sutrikimai [45].

Pooperacinė priežiūra

Daugelis autorių nemini pažangių lopų monitoravimo metodų, tokių kaip implantuojamasis Doplerio daviklis ar NIR spektroskopija [46]. Dažniausiai pasitelkiama klinikinė stebėsena: stebima odos spalva, kapiliarinis prisipildymas, dūrio (*pinprick*) testas, kraujagyslių dopleris. Kritinis langas – pirmos 24–72 valandos, kada dažniausiai pasireiškia arterijos arba venos užsikimšimo požymiai [47].

Antikoaguliacija

Diskusijos dėl sisteminių antikoaguliantų (pvz., aspirino, heparino, MMMH, dekstrano) skyrimo vaikams po laisvojo lopo išlieka [12]. Skirtingi autoriai mini įvairius protokolus:

- Shapiro ir kt. – 75 mg aspirino 2 savaites, jokių kitų sisteminių antikoaguliantų neskiria [48].
- Parry ir kt. – dekstranas visiems, bet, pasitaikius hematomų, pradėjo riboti jo skyrimą rizikingais atvejais [11].
- Clarke ir kt. – antikoaguliantai (aspirinas, heparinas) skiriami tik tuomet, kai kyla hemodinamikos sutrikimų [44].
- Arnez ir Hanel – 5000 TV heparino boliusas, jei anastomozės užsikemša, tęsiamas 3 dienas [49].

Vieningo sutarimo nėra, tačiau pripažįstama, kad vaikų kraujagyslės paprastai būna nepažeistos aterosklerozės, rūkymo, kitų suaugusiesiems būdingų veiksnių, tad sisteminė antikoaguliacija ne visada būtina [50].

3.4. Blauzdos, čiurnos ir pėdos rekonstrukcijos ypatumai

Distalinė blauzda ir čiurna

Dėl plono poodžio, nedidelio vietinių audinių rezervo šiai zonai dažnai prireikia laisvojo lopo [51].Svarbu užtikrinti, kad lopas būtų pakankamai plonas, kadangi čiurna, kulkšnies sąnariai privalo išlaikyti judesio amplitudę, netrukdomą perteklinių audinių. Dažniausiai renkamasi tarp ALT ir TDAP [4].

Pėdos dorsalinė dalis

Pėdos viršus yra neelastingas, virškaulinis sluoksnis plonas, o tiesiančiosios sausgyslės turi slidinėti po lopu [52]. Todėl šiuo atveju pageidautinas plonas perforacinis/fascijinis-odinis audinys, pavyzdžiui, ALT, retkarčiais RFA [4].

Pado (kulno) sritis

Padas perima visą kūno svorį, reikalauja tvirto, standaus, bet kartu pakankamo storio sluoksnio, atsparaus trinties jėgoms [53]. Čia neretai pasirenkami raumenų lopai su STG danga (pvz., LD, RA, gracilis), kad atkurtų geresnį paminkštinimą. Kyla diskusijų dėl inervuotų lopų panaudojimo (pvz., inervuotas ALT), siekiant atkurti apsauginį jutimą [18]. Tačiau vaikų populiacijoje dar stokojama duomenų.

3.5 Intraoperacinis perfuzijos įvertinimas atliekant laisvo lopo operaciją

Ankstyvas hemodinamikos sutrikimų nustatymas, pasitelkiant pažangius perfuzijos vertinimo metodus (pvz., intraoperacinę fluorescencinę angiografiją), gali reikšmingai sumažinti visišką arba dalinę lopo nekrozę [54]. Pavyzdžiui, pasitelkus fluorescencinę angiografiją su indoocianino žaliuoju (ICG) dažikliu, chirurgas operacijos metu mato išsamią kraujotakos dinamiką per specialų infrar-audonųjų spindulių vaizdavimo įrenginį [55]. Tai leidžia iškart identifikuoti galimai nepakankamai krauju aprūpinamas sritis ar veninio nutekėjimo sutrikimus, ypač kuomet anastomozuojamos smulkios, supermikro-chirurginės kraujagyslės. Kiti metodai, tokie kaip lazerinė doplerinė srovė (angl. *laser Doppler flowmetry*) ar audinių oksimetrija (NIR spektroskopija), taip pat laikomi vertingais identifikuojant ankstyvus kraujotakos pakitimus [56].

Šiuolaikinėje literatūroje ypač akcentuojama, jog šiuolaikinė mikrochirurgija privalo turėti procedūrų algoritmus, apimančius perfuzijos testavimą operacijos metu [57]. Toks testavimas gali būti atliekamas ne tik galutinės anastomozės stadijoje, bet ir keliais etapais, pavyzdžiui, prieš donorinio lopo atskyrimą nuo kilmės vietos, arba jau atlikus anastomozę – siekiant patikrinti, ar nėra pedikulo užsisukimo ar per didelio spaudimo [58]. Be to, kai kuriuose tyrimuose aprašomas intraoperacinis pulsuojančios tėkmės (angl. pulsatile flow) stebėjimo metodas, kuris ypač svarbus vertinant labai mažo skersmens kraujagyslių perfuziją – pavyzdžiui, atliekant vaikų apatinių galūnių defektų rekonstrukcijas, kur kraujagyslių skersmuo gali siekti vos 0,3 mm [59].

Viena metaanalizė parodė, kad tiksliai įvertinus perfuziją bei laiku identifikavus hemodinamikos sutrikimus, galima sumažinti lopo žūties rodiklius nuo 7,2 iki 4,3 procentų [46,60]. Nors tai atrodo nedidelis matematinis skirtumas, tačiau klinikinėje praktikoje keli procentai gali lemti dešimtis ar net šimtus sėkmingai išsaugotų galūnių ar audinių. Visgi kai kurie autoriai pastebi, jog metodų invazyvumas ir įrenginių kaina gali riboti kai kurių centrų galimybes plačiai taikyti modernius perfuzijos vertinimo instrumentus [55]. Vis dėlto, manoma, kad ilgalaikėje perspektyvoje tokios investicijos

atsiperka dėl mažesnio pakartotinų chirurginių procedūrų skaičiaus ir sutrumpėjusio stacionarinio gydymo laiko [61].

3.6 Viena ar dvi anastomozės

Teoriniai chirurginiai principai teigia, kad papildoma veninė anastomozė gali pagerinti transplantuotų audinių kraujotaką, išvengti išemijos ir veninės stazės rizikos [62]. Kai kuriais atvejais pridedama antra vena „apsidraudimui“, jei pirmoji anastomozė sutriktų dėl trombozės [63]. Tačiau kitose publikacijose minima, kad papildoma anastomozė prailgina operaciją, didina mikrochirurginio manipuliavimo sudėtingumą, o kartais net sukelia papildomus donorinio audinio ar recipiento kraujagyslių pažeidimus [64].

Autoriai nustatė, kad dviejų veninių anastomozių naudojimas kai kuriose studijose buvo susijęs su kiek mažesniu lopo nekrozės dažniu ir reoperacijų poreikiu [65]. Visgi skirtumas tarp vienos ir dviejų veninių anastomozių kai kuriuose darbuose buvo statistiškai nereikšmingas, priklausomai nuo to, kokiu metodu buvo nustatytas veninio nutekėjimo sutrikimas (klinikiniu vertinimu ar vaizdo tyrimais, pvz., fluorescencine angiografija) [66]. Metaanalizės išvados rodo, kad antros veninės anastomozės pridėjimas ne visada garantuoja ženklų pagerėjimą, ypač jei pirma anastomozė yra patikima, ir lopo vena turi pakankamai didelį spindį [67].

Visgi suformuluoti tikslų atsakymą dėl efektyvumo nepavyks, nes šiai dienai publikuoti tyrimai pateikia skirtingus duomenis – labai skiriasi pacientų amžius, lopo tipas (raumeninis, fascijinis-odinis, perforatorinis), kraujagyslių diametras ir anestezijos bei pooperacinės priežiūros algoritmai [68]. Autoriai sutinka, kad dviejų veninių anastomozių taktika gali būti geresnė didesniems lopams tuo atveju, kai dėl anatominių ypatybių galimas pirmos anastomozės užsikimšimas. Visgi vaikų operacijos atveju tikslinga spręsti individualiai, kadangi, pavyzdžiui, vaikų apatinių galūnių rekonstrukcijose, kur mikrokraujagyslės būna vos 1 mm skersmens ar dar mažesnės, sąlyginai naudinga anastomozė gali neproporcingai apsunkinti ir prailginti operaciją [69].

3.7 Komplikacijos, funkciniai rezultatai ir ateities kryptys

Visiškos lopo nekrozės rizika vaikams, kaip minėta, gali svyruoti apie 4,5–5,01% [70]. Be trombozės, kitos sąlyginai dažnos komplikacijos – kraujagyslių užsisukimas, netinkamas žaizdos išvalymas, infekcija, netinkama anestezija, vietinė edema ir kraujagyslių suspaudimas. Literatūroje nurodoma, kad bendras komplikacijų dažnis vaikų apatinių galūnių rekonstrukcijose siekia 28 proc., o įskaitant dalinę nekrozę, infekcijas, pooperacinius randus ar opas gali siekti net 68 proc. [71]. Pėdos/čiurnos srityje šie rodikliai gali būti dar didesni dėl nuolatinės trinties [72].

Nemažoje dalyje šaltinių minimi pagrindiniai rizikos veiksniai [70-72]:

- Veninė ir arterinė trombozė (atsirandanti dėl netinkamos anastomozės, kraujagyslės pažeidimo).
- Kraujagyslės užsisukimas, kai lopo pedikulas užsisuka.
- Nepakankamas žaizdos išvalymas – išlieka infekcijos židiniai.
- Kraujagyslių spazmas (vazospazmas).
- Pooperacinė hipotenzija, hemodinamikos nestabilumas.

Pooperacinių komplikacijų spektras

Komplikacijas galima skirstyti į ankstyvąsias (pasireiškiančias per pirmas 72 valandas po traumos) ir vėlyvąsias:

- **Ankstyvosios**: dalinė lopo nekrozė, veninė/arterinė trombozė, infekcija, stambios hematomos, netinkama kraujotaka [72].
- **Vėlyvosios**: randų susitraukimai, spaudimo opos pėdoje, trofinės opos, lėtinės žaizdos, osteomielitas (jei pažeistas kaulas) [72,73]. Ypač pado srityje dažni trinties pažeidimai, reikalaujantys specialios avalynės.

Bendrai vaikų laisvųjų audinių lopų komplkacijų dažnis yra ženkliai didesnis, nei suaugusiųjų, manoma, kad dėl vaikų aktyvesnės veiklos, mažesnio įsitraukimo reabilitacijos procese [23,25].

Funkciniai rodikliai ir tyrimų ribjomai

Keli tyrimai bandė vertinti ilgalaikę funkciją (pvz., gebėjimą laisvai vaikščioti, sportuoti, avalynės naudojimą) [74]. Bendrai vertinant rezultatai geri, bet svarbu paminėti, kad visi apžvelgti tyrimai netaikė objektyvių įvertinimo metodų, tokių kaip specializuota laboratorinė eisenos analizė ar angl. *patient-reported outcomes* (PRO; Tai yra informacija apie paciento sveikatą, simptomus, gyvenimo kokybę ar gydymo poveikį, kurią pats pacientas pateikia be gydytojo interpretacijos.). Be to, kai kurie tyrimai „vaikais“ laiko net 17–19 metų pacientus, kurie anatomiškai gali būti artimesni suaugusiems. Siekiant apibrėžti pediatrinės populiacijos niuansus, siūloma apsiriboti ≤16 metų pacientų amžiumi [11,15]. Šiai dienai rezultatai nėra patikimi.

3.8 Vaikų pėdos bei čiurnos nugarinės dalies defektų uždengimas

Dorsalinė pėdos ir čiurnos sritis laikoma viena sudėtingiausių rekonstrukcinių zonų, nes ten plonas poodis ir oda mažiau elastinga, be to, šalia esančios sausgyslės (angl. *extensor tendons*) reikalauja didensio nei įprastai audinių kekio jų apsaugai [1]. Tarp autorių diskutuojama, kad pėdos dorsalinės dalies rekonstrukcijai ALT gali būti pernelyg storas lopas, todėl neretai renkamasi vietinį suralinį lopo [11]. Koks lopas geresnis -iki šiol vyksta diskusijos.

Suralinis lopas taikymas pagrįstas užpakalinės blauzdos atšakinės arterijos kraujotakos išsaugojimu [75-77]. Šio tipo lopas pranašus tuo, kad nereikia mikrokraujagyslinės anastomozės, o donorinė vieta neretai gali būti uždaroma pirminiu būdu arba naudojant dalinį odos persodinimą. Vaikų traumų atvejais šis lopas dažnai pasirenkamas, nes sutrumpėja operacijos laikas, nėra būtina supermikrochirurgija, o potrauminė reabilitacija paprastesnė [78]. Tačiau literatūroje pabrėžiama, kad suralinis lopas yra riboto dydžio ir ploto), o ilgesnė lopo pedikulė gali sukelti veninį sąstovį, kai lopas perkeliamas iki pėdos viršaus [79]. Be to, lopas gali turėti kraujotakos nepakankamumo riziką distalinėje dalyje, ypač kai kalbama apie vaikus, turinčius negausius rezervinius audinius aplink blauzdą [80].

ALT lopas mikrokraujagyslinės anastomozės principu gali būti perkeltas iš šlaunies į pėdos ar čiurnos regioną. Dėl palyginti pastovios kraujagyslinės anatomijos ir patikimos perforatorių sistemos, šis lopas leidžia rezekuoti didesnį odos plotą, kuris gali būti plonintas ir pritaikomas prie pėdos kontūro [81]. Nors procedūra reikalauja mikrochirurginių įgūdžių, daugelyje publikacijų nurodoma, kad ALT lopo išgyvenamumas vaikų populiacijoje viršija 95 %, o donorinė vieta (šlaunies priekis/šonas)

dažnai gana lengvai uždaroma pirminiu būdu arba pritaikant odos persodinimą[17].

Tyrimai parodė, kad suralinis lopas geriau tinka mažesniems ar vidutinio dydžio defektams (iki ~8–10 cm), nes taip išlaikoma tinkama pedikulės kraujotaka [82]. Antra vertus, laisvasis ALT lopas pranašesnis esant didelėms minkštųjų audinių netektims (>10 cm), reikalaujančioms gausesnio odos masyvo arba kai defektas yra distalinėje pėdos dalyje, kur prailgintas suralinis lopas gali būti nepakankamas [17,78]. Bendras viso ar dalinio lopo praradimo dažnis svyravo nuo 5 iki 17 % suralinio lopo atveju, ir 2–10 % ALT atveju, tačiau šie rodikliai labai priklausė nuo tyrimo metodikos ir paciento aplinkybių (traumos pobūdžio, ar yra kraujotakos pažeidimų, gretutinių ligų) [79]. Įdomu tai, kad dalis publikacijų mini geresnes estetines išeitis, kai naudojamas ALT lopas su atitinkamu odos pritaikymu, nes kartais suralinis lopas gali sukelti matomesnį randą blauzdoje arba didesnį apatinės kojų dalies apimties netolygumą [83].

Ateityje tyrimuose autorių teigimu reikėtų daugiau atsitiktinių imčių tyrimų ar bent jau prospektyvių studijų, kad būtų galima objektyviau įvertinti abiejų metodų palyginimą pagal tokius rodiklius kaip operacijos trukmė, hospitalizacijos laikas, reabilitacijos kaštai, funkciniai testai ir vaikų gyvenimo kokybės parametrai (pvz., PRO – ang. *patient-reported outcomes*) [84].

3.9 Papildoma informacija apie vaskuliarizuotą proksimalinės šeivikaulio epifizės laisvąjį lopą

Vaskuliarizuotas proksimalinės šeivikaulio epifizės laisvasis lopas (angl. *vascularized proximal fibula epiphyseal transfer*, VFET) tampa vis dažniau minimu pasirinkimu atkuriant segmentines vaikų distalinės stipinkaulio dalies traumas, navikų sukeltus defektus ar įgimtas anomalijas, nes leidžia vienu metu išsaugoti tiek atraminę, tiek ir augimo funkciją [85,86]. Šio metodo esmė – mikrochirurgiškai išlaikyti kraujotaką epifizės srityje, taip užtikrinant, kad transplantuota augimo plokštelė išliktų gyvybinga ir galėtų toliau augti kartu aplinkiniais kaulais. Kraujotakos anatomija šioje srityje gali būti gana sudėtinga. Dauguma autorių nurodo, kad priekinė blauzdos arterija (angl. *anterior tibial artery*) yra pagrindinis proksimalinės šeivikaulio epifizės kraujagyslinis maitintojas, todėl būtent ja paremtas VFET variantas (neretai naudojant atgalinės tėkmės metodą) dažnai susijęs su didesniu vidutiniu augimo greičiu [86]. Tokia strategija dažnai padeda išvengti papildomos autovenos rezekcijos, nes priekinių blauzdos kraujagyslių ilgis, nukreipus jas atgalinės srovės būdu, būna pakankamas mikroanastomozėms [87]. Vis dėlto didžiausia šios metodikos silpnoji grandis – glaudus bendrojo šeivinio nervo (angl. *common peroneal nerve*) ryšys su arteriniu pedikulu. Operacijos metu padidėja nervo pažeidimo pavojus, o tai gali lemti laikinus ar net nuolatinius motorinius sutrikimus [88]. Kai kurie autoriai bandė naudoti dvigubą lopą (angl. *bi-pedicled*), prijungdami ir epifizinį (lateralinės inferiorinės pakinklio arterijos šaką), ir metafizinį (dažniausiai šeivinę ar priekinę blauzdos arteriją) kraujo tiekimą [86,88]. Tačiau šis metodas technologiškai sudėtingas, reikalauja daugiau anastomozių ir neretai asocijuojasi su ilgesnėmis operacijomis ar didesne trombozės rizika, o kai kuriuose darbuose fiksuotas ankstyvas augimo plokštelės užakimas [89]. Tuo tarpu naudojant vien tik šeivinės arterijos (angl. *peroneal artery*) pedikulą, kraujotaka epifizei gali būti nepakankamai stipri, dažniau pasitaiko

deformacijos (ypač radialinė deviacija) ir dažniau atliekamos antrinės korekcinės operacijos [88]. Nors bendra komplikacijų rizika išlieka didelė, VFET taikymas parodė aukštus kaulo prigijimo rodiklius (1–5 mėnesiai iki suaugimo), o persodintas segmentas, jei kraujotakos vientisumas tinkamai užtikrintas, gali toliau augti tokiu greičiu, kuris artimas natūraliam distalinės stipinkaulio augimui.[88,89] Taigi VFET tebėra palyginti siauroje klinikinėje srityje taikoma, tačiau perspektyvi galimybė, ypač tada, kai kiti rekonstrukciniai būdai (pvz., nevaskuliarizuotas kaulas ar protezavimas) nesuteikia potencialo išsaugoti augimą vaikams.

4. Išvados

Apibendrinant, vaikų apatinių galūnių didelių minkštųjų audinių defektų gydyme laisvieji audinių lopai yra patikima ir dažniausiai neišvengiama rekonstrukcinė galimybė [6,7,17]. Pastaraisiais dešimtmečiais gerėjanti mikrochirurgijos technika ir supermikrochirurginių įgūdžių plėtra atveria galimybes sėkmingai anastomozuoti net itin smulkias (0,3–0,5 mm) kraujagysles, o laisvųjų lopų išgyvenamumo rodikliai siekia suaugusiųjų lygį (apie 95–100 %) [4,6,23]. Visgi pediatrinės populiacijos atveju reikia dar atidžiau įvertinti donorinės vietos rezekcijos pasekmes augimui, galimas skeleto deformacijas ir funkcinius praradimus (pvz., paėmus raumeninį lopą) [23,50]. Perforatoriniai ar fascijiniai–odiniai lopai suteikia galimybę išsaugoti raumenį, yra plonesni ir lengviau adaptuojami [17,25]. Tačiau raumeniniai lopai vis dar išlieka nepakeičiami gilesniems, tūrio reikalaujantiems defektams, pavyzdžiui, pado srityje [20,53]. Nors trumpalaikiai rezultatai paprastai būna geri, bendra komplikacijų rizika (įskaitant nedideles) gali siekti 28–68 %, todėl svarbus kruopštus paciento parengimas, tinkamas žaizdos išvalymas ir geras ortopedo bei plastikos chirurgo -komandinis darbas [70-72]. Ateities tyrimai turėtų plačiau taikyti standartizuotus funkcinės būklės vertinimus, psichometriškai patikimus pacientų apklausos instrumentus ir prospektyvias tyrimo metodikas, kad būtų geriau atskleistos ilgalaikės vaikų gyvenimo kokybės ir funkcinės baigtys [74,75].

Literatūros šaltiniai

[1] Harii K, Ohmori K. Free groin flaps in children. Plast Reconstr Surg 1975;55:588–92. https://doi.org/10.1097/00006534-197505000-00008.

[2] Ohmori K, Harii K, Sekiguchi J, Torii S. The youngest free groin flap yet? Br J Plast Surg 1977;30:273–6. https://doi.org/10.1016/0007-1226(77)90116-3.

[3] Rajacic N, Lari AR, Khalaf ME, Kersnic M. Free flaps for the treatment of avulsion injuries in the feet. J Pediatr Orthop 1994;14:522–5. https://doi.org/10.1097/01241398-199407000-00020.

[4] Chen, Y., Wang, Z.-M., & Yao, J.-H. (2020). Supermicroscopy and arterio-venolization for digit replantation in young children after traumatic amputation: Two case reports. World Journal of Clinical Cases, 8(21), 5394–5400. https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i21.5394

[5] Canales F, Lineaweaver WC, Furnas H, Whitney TM, Siko PP, Alpert BS, et al. Microvascular tissue transfer in paediatric patients: analysis of 106 cases. Br J Plast Surg 1991;44:423–7. https://doi.org/10.1016/0007-1226(91)90200-4.

[6] Jabir S, Sheikh F, Fitzgerald O'Connor E, Griffiths M, Niranjan N. A systematic review of the applications of free tissue transfer for paediatric lower limb salvage following trauma. J Plast Surg Hand Surg 2015;49:251–9. https://doi.org/10.3109/2000656X.2015.104778

[7] Momeni A, Lanni M, Levin LS, Kovach SJ. Microsurgical reconstruction of traumatic lower extremity defects in the pediatric population. Plast Reconstr Surg 2017;139:998–1004. https://doi.org/10.1097/PRS.000000000000315

[8] McNamara MG, Heckman JD, Corley FG. Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score (MESS). J Orthop Trauma 1994;8:81–7. https://doi.org/10.1097/00005131-199404000-00001.

[9] Howe HR Jr, Poole GV Jr, Hansen KJ, Clark T, Plonk GW, Koman LA, et al. Salvage of lower extremities following combined orthopedic and vascular trauma. A predictive salvage index. Am Surg 1987;53:205–8.

[10] Kerfant N, Lentini A, Le Nen D, Henry A-S, Ta P, Trimaille A, et al. Reconstruction des traumatismes complexes des membres inférieurs chez l'enfant. Ann Chir Plast Esthet 2016;61:536–42. https://doi.org/10.1016/j.anplas.2016.06.011.

[11] Parry SW, Toth BA, Elliott LF. Microvascular free-tissue transfer in children. Plast Reconstr Surg 1988;81:838–40. https://doi.org/10.1097/00006534-198806000-00003.

[12] Namdar T, Stollwerck PL, Stang FH, Lange T, Mailänder P, Siemers F. Latissimus dorsi muscle flap for lower extremity reconstruction in children. Microsurgery 2010;30:537–40. https://doi.org/10.1002/micr.20789.

[13] Erdmann D, Lee B, Roberts CD, Levin LS. Management of lawnmower injuries to the lower extremity in children and adolescents. Ann Plast Surg 2000;45:595–600. https://doi.org/10.1097/00000637-200045060-00004.

[14] Lin C-H, Mardini S, Wei F-C, Lin Y-T, Chen C-T. Free flap reconstruction of foot and ankle defects in pediatric patients: long-term outcome in 91 cases. Plast Reconstr Surg 2006;117:2478–87. https://doi.org/10.1097/01.prs.0000219133.72059.71.

[15] Bosse MJ, MacKenzie EJ, Kellam JF, Burgess AR, Webb LX, Swiontkowski MF, et al. A prospective evaluation of the clinical utility of the lower-extremity injury-severity scores. J Bone Joint Surg Am 2001;83:3–14. https://doi.org/10.2106/00004623-200101000-00002.

[16] Robert RS, Ottaviani G, Huh WW, Palla S, Jaffe N. Psychosocial and functional outcomes in long-term survivors of osteosarcoma: a comparison of limb-salvage surgery and amputation. Pediatr Blood Cancer 2010;54:990–9. https://doi.org/10.1002/pbc.22419.

[17] Gharb BB, Salgado CJ, Moran SL, Rampazzo A, Mardini S, Gosain AK, et al. Free anterolateral thigh flap in pediatric patients. Ann Plast Surg 2011;66:143–7. https://doi.org/10.1097/SAP.0b013e3181e35e38

[18] Organek AJ, Klebuc MJ, Zuker RM. Indications and outcomes of free tissue transfer to the lower extremity in children: review. J Reconstr Microsurg 2006;22:173–81. https://doi.org/10.1055/s-2006-939963.

[19] Bouffaut A-L, Hamel A, Guillard S, Pannier M, Duteille F. Use of muscle free flaps in lower limbs reconstruction in children. Ann Chir Plast Esthet 2007;53:267–71. https://doi.org/10.1016/j.anplas.2007.06.014.

[20] Loréa P, Vercruysse N, Coessens BC. Use of gracilis muscle free flap for reconstruction of chronic osteomyelitis of foot and ankle. Acta Orthop Belg 2001;67:267–73.

[21] May JW Jr, Gallico GG 3rd, Lukash FN. Microvascular transfer of free tissue for closure of bone wounds of the distal lower extremity. N Engl J Med 1982;306:253–7. https://doi.org/10.1056/NEJM19820204306050

[22] Vincent A, Hohman MH. Latissimus Dorsi flap. StatPearls, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.

[23] Schwabegger AH, Harpf C, Rainer C. Muscle-sparing latissimus dorsi myocutaneous flap with maintenance of muscle innervation, function, and aesthetic appearance of the donor site. Plast Reconstr Surg 2003;111:1407–11. https://doi.org/10.1097/01.PRS.0000049448.56511.23.

[24] Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. BMJ 2009;339:b2700. https://doi.org/10.1136/bmj.b2700.

[25] Alexander L, Fahrenkopf MP. Free tissue transfer of the lateral thigh and anterolateral thigh. StatPearls, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.

[26] El-Gammal TA, El-Sayed A, Kotb MM, Saleh WR, Ragheb YF, El-Refai O, et al. Dorsal foot resurfacing using free anterolateral thigh (ALT) flap in children. Microsurgery 2012;33:259–64. https://doi.org/10.1002/micr.22074.

[27] Ebner PJ, Gould DJ, Patel KM. Thin perforator flaps for reconstruction of the lower extremity. J Reconstr Microsurg 2019;37:5–11. https://doi.org/10.1055/s-0039-1695740.

[28] Kuo Y-R, Seng-Feng J, Kuo FM-H, Liu Y-T, Lai P-W. Versatility of the free anterolateral thigh flap for reconstruction of soft-tissue defects: review of 140 cases. Ann Plast Surg 2002;48:161–6. https://doi.org/10.1097/00000637-200202000-00008.

[29] Foreman A, de Almeida JR, Gilbert R, Goldstein DP. The Allen's test: revisiting the importance of bidirectional testing to determine candidacy and design of radial forearm free flap harvest in the era of trans radial endovascular access procedures. J Otolaryngol Head Neck Surg 2015;44:47. https://doi.org/10.1186/s40463-015-0096-0.

[30] Wong C-H, Wei F-C. Anterolateral thigh flap. Head Neck 2010;32:529–40. https://doi.org/10.1002/hed.21204.

[31] Villaret DB, Futran NA. The indications and outcomes in the use of osteocutaneous radial forearm free flap. Head Neck 2003;25:475–81. https://doi.org/10.1002/hed.10212.

[32] Tang J, Fang T, Song D, Liang J, Yu F, Wang C. Free deep inferior epigastric artery perforator flap for reconstruction of soft-tissue defects in extremities of children. Microsurgery 2013;33:612–9. https://doi.org/10.1002/micr.22127.

[33] Skillman JM, Pennington D. Refinements of the deep inferior epigastric perforator (DIEP) flap for optimal blood supply. J Plast Reconstr Aesthet Surg 2008;61:470–1. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2007.12.010.

[34] Jain, L., Kumta, S. M., Purohit, S. K., & Raut, R. (2015). Thoracodorsal artery perforator flap: Indeed a versatile flap. Indian Journal of Plastic Surgery: Official Publication of the Association of Plastic Surgeons of India, 48(2), 153–158. https://doi.org/10.4103/0970-0358.163051

[35] Guerra AB, Metzinger SE, Lund KM, Cooper MM, Allen RJ, Dupin CL. The thoracodorsal artery perforator flap: clinical experience and anatomic study with emphasis on harvest techniques. Plast Reconstr Surg 2004;114:32–41; discussion 42-3. https://doi.org/10.1097/01.prs.0000129071.03842.c5.

[36] Van Landuyt K, Hamdi M, Blondeel P, Tonnard P, Verpaele A, Monstrey S. Free perforator flaps in children. Plast Reconstr Surg 2005;116:159–69. https://doi.org/10.1097/01.prs.0000169697.06498.df.

[37] Karanas YL, Nigriny J, Chang J. The timing of microsurgical reconstruction in lower extremity trauma. Microsurgery 2008;28:632–4. https://doi.org/10.1002/micr.20551.

[38] Steiert AE, Gohritz A, Schreiber TC, Krettek C, Vogt PM. Delayed flap coverage of open extremity fractures after previous vacuum-assisted closure (VAC) therapy - worse or worth? J Plast Reconstr Aesthet Surg 2008;62:675–83. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2007.09.041.

[39] Juon BH, Iseli M, Kreutziger J, Constantinescu MA, Vögelin E. Treatment of open hand injuries: does timing of surgery matter? A single-centre prospective analysis. J Plast Surg Hand Surg 2014;48:330–3. https://doi.org/10.3109/2000656X.2014.886581

[40] Jabir S, Frew Q, El-Muttardi N, Dziewulski P. A systematic review of the applications of free tissue transfer in burns. Burns 2014;40:1059–70. https://doi.org/10.1016/j.burns.2014.01.008.

[41] Gilbert A. Reconstruction of congenital hand defects with microvascular toe transfers. Hand Clin 1985;1:351–60.

[42] Lizana J, Montemurro N, Aliaga N, Marani W, Tanikawa R. From textbook to patient: a practical guide to train the end-to-side microvascular anastomosis. Br J Neurosurg 2021;37:116–20. https://doi.org/10.1080/02688697.2021.1935732.

[43] Gawaziuk JP, Liu T, Sigurdson L, Buchel E, Hayakawa TEJ, Shiga S, et al. Free tissue transfer for necrotizing fasciitis reconstruction: A case series. Burns 2017;43:1561–6. https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.04.007.

[44] Clarke HM, Upton J, Zuker RM, Manktelow RT. Pediatric free tissue transfer: an evaluation of 99 cases. Can J Surg 1993;36:525–8.

[45] Chiang YC, Jeng SF, Yeh MC, Liu YT, Chen HT, Wei FC. Free tissue transfer for leg reconstruction in children. Br J Plast Surg 1997;50:335–42. https://doi.org/10.1016/s0007-1226(97)90542-7.

[46] Smit JM, Zeebregts CJ, Acosta R, Werker PMN. Advancements in free flap monitoring in the last decade: a critical review. Plast Reconstr Surg 2010;125:177–85. https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181c49580.

[47] Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. Plast Reconstr Surg 1986;78:285–92. https://doi.org/10.1097/00006534-198609000-00001.

[48] Shapiro J, Akbarnia BA, Hanel DP. Free tissue transfer in children. J Pediatr Orthop

1989;9:590–5. https://doi.org/10.1097/01241398-198909010-00016.

[49] Arnez ZM, Hanel DP. Free tissue transfer for reconstruction of traumatic limb injuries in children. Microsurgery 1991;12:207–15. https://doi.org/10.1002/micr.1920120310.

[50] Serletti JM, Schingo VA Jr, Deuber MA, Carras AJ, Herrera HR, Reale VF. Free tissue transfer in pediatric patients. Ann Plast Surg 1996;36:561–8. https://doi.org/10.1097/00000637-199606000-00001.

[51] Moghari A, Emami A, Sheen R, O'Brien BM. Lower limb reconstruction in children using expanded free flaps. Br J Plast Surg 1989;42:649–52. https://doi.org/10.1016/0007-1226(89)90076-3.

[52] Kimata Y, Uchiyama K, Sekido M, Sakuraba M, Iida H, Nakatsuka T, et al. Anterolateral thigh flap for abdominal wall reconstruction. Plast Reconstr Surg 1999;103:1191–7. https://doi.org/10.1097/00006534-199904040-00014.

[53] Duteille F, Lim A, Dautel G. Free flap coverage of upper and lower limb tissue defects in children: a series of 22 patients. Ann Plast Surg 2003;50:344–9. https://doi.org/10.1097/01.SAP.0000044143.36516.32.

[54] Chen Y, Shen Z, Shao Z, Yu P, Wu J. Free flap monitoring using near-infrared spectroscopy: A systemic review. Ann Plast Surg 2016;76:590–7. https://doi.org/10.1097/SAP.000000000000043

[55] Komorowska-Timek E, Gurtner GC. Intraoperative perfusion mapping with laser-assisted indocyanine green imaging can predict and prevent complications in immediate breast reconstruction. Plast Reconstr Surg 2010;125:1065–73. https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181d17f80.

[56] Shoemaker WC, Thangathurai D, Wo CC, Kuchta K, Canas M, Sullivan MJ, et al. Intraoperative evaluation of tissue perfusion in high-risk patients by invasive and noninvasive hemodynamic monitoring. Crit Care Med 1999;27:2147–52. https://doi.org/10.1097/00003246-199910000-00012.

[57] Izadpanah A, Moran SL. Pediatric microsurgery. Clin Plast Surg 2020;47:561–72. https://doi.org/10.1016/j.cps.2020.06.008.

[58] Bian HZ, Pek CH, Hwee J. Current evidence on the use of near-infrared spectroscopy for postoperative free flap monitoring: A systematic review. Chinese Journal of Plastic and Reconstructive Surgery 2022;4:194–202. https://doi.org/10.1016/j.cjprs.2022.08.008.

[59] Nih.gov n.d. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5741564/ (accessed March 1, 2025).

[60] da Silva Neto E, Figueiredo PHM, Moro MG, de Oliveira APL, Assumpção CB, Perina ALF, et al. Use of laser-assisted indocyanine green angiography in breast reconstruction: Systematic review and meta-analysis. J Surg Oncol 2019;121:759–65. https://doi.org/10.1002/jso.25782.

[61] Marchesi, A., Garieri, P., Amendola, F., Marcelli, S., & Vaienti, L. (2021). Intraoperative near-infrared spectroscopy for pedicled perforator flaps: a possible tool for the early detection of vascular issues. Archives of Plastic Surgery, 48(4), 457–461. https://doi.org/10.5999/aps.2019.00311

[62] Spector JA, Levine S, Levine JP. Free tissue transfer to the lower extremity distal to the zone of injury: indications and outcomes over a 25-year experience. Plast Reconstr Surg 2007;120:952–9. https://doi.org/10.1097/01.prs.0000255175.92201.c7.

[63] Iamaguchi R, Burgos F, Silva G, Cho A, Nakamoto H, Takemura R, et al. Do two venous anastomoses decrease venous thrombosis during limb reconstruction? Clin Hemorheol Microcirc 2019;72:269–77. https://doi.org/10.3233/CH-180467.

[64] Aldekhayel S. The effect of second venous anastomosis on flap survival in autologous breast reconstruction. J Reconstr Microsurg 2019;30:631–6..

[65] Khan S, Khan Z, Ali M, Shaikh SA, Rahman MF. Should 1 or 2 venous anastomoses be done in microsurgical flap transfer? Ann Plast Surg 2020;85:522–6. https://doi.org/10.1097/SAP.000000000000230

[66] Dodd, S. X., Morzycki, A., Nickel, K. J., Campbell, S., & Guilfoyle, R. (2021). One or two venous pedicles by anastomoses for free flaps in reconstruction of the lower extremity: A systematic review and meta-analysis. Microsurgery, 41(8), 792–801. https://doi.org/10.1002/micr.30811

[67] Ohmori K, Yamamoto T. Microcirculatory considerations in single vs. double venous drainage for free tissue transfers. Microsurgery 2021;41:614–20.

[68] Sheena Y. Impact of venous anastomosis number in the latissimus dorsi flap outcomes: A systematic review. Eur J Plast Surg 2018;41:345–52.

[69] Hong JP. Supermicrosurgery: Innovative approaches for small-caliber vessel anastomoses and new reconstruction paradigms. Clin Plast Surg 2019;46:345–56.

[70] Wu C-C, Lin P-Y, Chew K-Y, Kuo Y-R. Free tissue transfers in head and neck reconstruction: complications, outcomes and strategies for management of flap failure: analysis of 2019 flaps in single institute. Microsurgery 2013;34:339–44. https://doi.org/10.1002/micr.22212.

[71] Koul AR, Patil RK, Nahar S. Unfavourable results in free tissue transfer. Indian J Plast Surg 2013;46:247–55. https://doi.org/10.4103/0970-0358.118600.

[72] Kaur A, Ang K-L, Ali S, Dobbs T, Pope-Jones S, Harry L, et al. Free flaps for lower limb soft tissue reconstruction - A systematic review of complications in “Silver Trauma” patients. Injury 2023. https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.03.038.

[73] Shen AY, Lonie S, Lim K, Farthing H, Hunter-Smith DJ, Rozen WM. Free flap monitoring, salvage, and failure timing: A systematic review. J Reconstr Microsurg 2021;37:300–8. https://doi.org/10.1055/s-0040-1722182.

[74] Pedrazzi NE, Naiken S, La Scala G. Negative pressure wound therapy in pediatric burn patients: A systematic review. Adv Wound Care (New Rochelle) 2020;10:270–80. https://doi.org/10.1089/wound.2019.1089.

[75] Burns HR, Skochdopole AJ, Alfaro Zeledon R, Pederson WC. Pediatric microsurgery and free-tissue transfer. Semin Plast Surg 2023;37:231–9. https://doi.org/10.1055/s-0043-1776698.

[76] Beecher SM, Cahill KC, Theopold C. Pedicled sural flaps versus free anterolateral thigh flaps in reconstruction of dorsal foot and ankle defects in children: a systematic review.

Arch Plast Surg 2021;48:410–6. https://doi.org/10.5999/aps.2020.00983.

[77] Zheng H, Liu J, Dai X, Schilling AF. The distally based sural flap for the reconstruction of ankle and foot defects in pediatric patients. Ann Plast Surg 2016;77:97–101. https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000000341.

[78] Shi Y, Xu Y, Zhu Y, Yang X, Wang T, Cui Y, et al. Microsurgical anterolateral thigh flap for reconstruction of extremity soft tissue defects in pediatric patients. Ann Plast Surg 2022;89:185–90. https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000003236.

[79] Akhtar S, Hameed A. Versatility of the sural fasciocutaneous flap in the coverage of lower third leg and hind foot defects. J Plast Reconstr Aesthet Surg 2006;59:839–45. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2005.12.009.

[80] Cao Z-M, Du W, Qing L-M, Zhou Z-B, Wu P-F, Yu F, et al. Reconstructive surgery for foot and ankle defects in pediatric patients: Comparison between anterolateral thigh perforator flaps and deep inferior epigastric perforator flaps. Injury 2019;50:1489–94. https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.06.021.

[81] Nosrati N, Chao AH, Chang DW, Yu P. Lower extremity reconstruction with the anterolateral thigh flap. J Reconstr Microsurg 2012;28:227–34. https://doi.org/10.1055/s-0032-1306370.

[82] Grandjean A, Romana C, Fitoussi F. Distally based sural flap for ankle and foot coverage in children. Orthop Traumatol Surg Res 2015;102:111–6. https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.10.010.

[83] Acar MA, Güleç A, Aydin BK, Erkoçak ÖF, Yilmaz G, Şenaran H. Reconstruction of foot and ankle defects with a free anterolateral thigh flap in pediatric patients. J Reconstr Microsurg 2015;31:225–32. https://doi.org/10.1055/s-0034-1395888.

[84] Du S, Wei S, Zhang H, Li P, Ni X, Hua F, et al. Comparison of “complications” and functional outcome of anterolateral thigh flap and sural neurofasciocutaneus flap for foot and ankle reconstruction: A single center cohort study. Injury 2022;53:3843–8. https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.08.068.

[85] Boyer MI, Bray PW, Bowen CV. Epiphyseal plate transplantation: an historical review. Br J Plast Surg 1994;47:563–9. https://doi.org/10.1016/0007-1226(94)90141-4.

[86] Innocenti M, Delcroix L, Romano GF, Capanna R. Vascularized epiphyseal transplant. Orthop Clin North Am 2007;38:95–101, vii. https://doi.org/10.1016/j.ocl.2006.10.003.

[87] Innocenti M, Delcroix L, Balatri A. Vascularized growth plate transfer for distal radius reconstruction. Semin Plast Surg 2008;22:186–94. https://doi.org/10.1055/s-2008-1081402.

[88] El-Gammal TA, El-Sayed Ali A, Kotb MM, Saleh WR, Ragheb YF, Refai OA, et al. Free vascularized proximal fibular epiphyseal transfer for hip reconstruction following septic necrosis in children. J Pediatr Orthop 2024;44:308–15. https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000002634.

[89] Papadopulos NA, Weigand C, Kovacs L, Biemer E. The free vascularized fibular epiphyseal transfer: long-term results of wrist reconstruction in young patients. J Reconstr Microsurg 2008;25:3–13. https://doi.org/10.1055/s-0028-1090614.