



UiT Norges arktiske universitet

Det helsevitenskapelige fakultet

Termografi vid lambåkirurgi

En litteraturstudie

Maria Sofia Koivumäki

Masteroppsats i medicin (MED-3950), juni 2021

Förord

Denna uppsats handlar om termografi som ett kliniskt verktyg vid lambåkirurgi, det vill säga återställande kirurgi med vävnadsflikar. Uppsatsen ger en översikt över utveckling och användning av värmekamera vid lambåkirurgi som är en av de viktigaste teknikerna inom modern plastisk- och rekonstruktiv kirurgi. Icke-invasiv monitorering av lambåer med hjälp av infraröd termografi har visat sig vara såväl kostnadseffektivt som pålitligt. Tekniken är enkel, snabb och inte minst trygg för patienten, men utnyttjas i dagens läge fortfarande i liten grad. Det tar sin tid att få budskapet att nå fram och övertyga den centrala målgruppen bland specialister – att påverka etablerade standarder och procedurer i en större skala tar oundvikligen lång tid. Utgångspunkten är intressant, och målet har nu varit att skapa en slags tidslinje och se på de olika faserna denna välkända, men inom medicin något färskare och fortfarande i mindre grad godkända avbildningsteknik har genomgått, samt på utvecklingen av lambåplastik.

Jag vill rikta ett enormt tack till min huvudhandledare, biträdande professor och överläkare Sven Weum, och bihandledare, professor och överläkare Louis de Weerd, som med sina värdefulla kommentarer och aktivt deltagande bidragit till uppsatsen. Vilket fascinerande forskningsfält jag fått bekanta mig med. Tack för engagemang, goda handledarmöten, inspiration och uppmuntran, trots tidspressen. Den pågående covid-19-pandemin avlägsnade tyvärr tills vidare möjligheten att fysiskt närvara vid operationer, vilket naturligtvis var en besvikelse då temat är så pass konkret att jag gärna också hade upplevt det i praktiken. Inbjudan lär stå kvar, så förhoppningsvis får jag vara med vid en senare tidpunkt. Ett ödmjukt tack till båda handledarna för samarbetet, det har varit en glädje, och jag kunde inte haft mer tur än att få just er som handledare. Och inte minst, tack för att ni orkat påminna mig om att uppsatsskrivning faktiskt också ska vara roligt!

Till sist vill jag även tacka min närmaste familj och goda vänner för den senaste tiden. Ni lyser alla upp min vardag och lyckas gång på gång välja de rätta orden. Ett speciellt tack till Emil för hjälpen med det tekniska, och Nimbus för goda skratt. Tack för guld värt stöd i både med- och motvind.

Åbo, maj 2021

Maria Sofia Koivumäki

Sammanfattning

Mål

Denna uppsats har haft som mål att skapa en helhetsbild av medicinsk infraröd termografi som verktyg vid rekonstruktiv kirurgi med vävnadsflikar. Värmefotograferingens och lambåkirurgins historia och utveckling betraktas var för sig och tillsammans. Det ges en översikt över bakgrunden till de moderna tillämpningarna av termografi samt dess användbarhet såväl pre-, intra- som postoperativt i samband med lambåplastik.

Metoder

En litteraturstudie har baserats på ett bakgrundsarbete för att bygga upp historisk kontext samt genomgång av 16 relevanta tidskriftsartiklar inom forskningsområdet. Litteratursökningen har gjorts i databasen PubMed och endast studier gjorda på människor har inkluderats. De utvalda artiklarna behandlar termografins tillämpningar vid lambåkirurgi, i synnerhet rekonstruktiva ingrepp med fria mikrovaskulära lambåer, och omfattar både tidig forskning och nya studier.

Resultat

Termografi har undersökts som ett potentiellt verktyg vid lambåkirurgi, och i dag, trots att metoden fortfarande söker sin plats och inte är speciellt utbredd, är tillämpningarna inom området många och intresset ökande. Värmefotograferingens nytta vid preoperativ kartläggning av perforanter är uppenbar. Reperfusion kan enkelt övervakas också under operationen, och kirurgen får värdefull realtidsinformation med tanke på lambåns överlevnad. Postoperativ termografisk monitorering vid sidan av traditionell klinisk observation av lambån kan effektivt upptäcka eventuell vaskulär obstruktion och påskynda reoperationen.

Konklusion

Det har setts ett behov av en icke-invasiv, enkel, kostnadseffektiv och trygg metod som alternativ till andra vanliga avbildningstekniker vid lambåkirurgi, och termografins nytta som en sådan metod har bevisats. Proceduren är snabb, kan utföras av kirurgen själv och kräver ingen teknisk specialkompetens. Termografering är lätt tillgängligt i alla faser pre-, intra- och postoperativt. IR-bilder ger endast indirekt information om perfusion genom att mäta temperaturskillnader, och säger därmed inget om vaskulär morfologi, men forskning talar för dess pålitlighet samt ser positivt på den stadiga tekniska utvecklingen av värmekameror.

BEGREPPSAVKLARNINGAR OCH FÖRKORTNINGAR

INFRARÖD STRÅLNING	Elektromagnetisk strålning i våglängdsområdet ca. 700 nm – 1 mm. Kallas också för värmestrålning.
TERMOGRAFI	Värmefotografering, bestämmer föremålets värmedistribution.
TERMOGRAM	Bild på infraröd strålning, producerad av en värmekamera.
DIRT	Dynamic infrared thermography, dynamisk infraröd termografi. Värmefotografering där temperaturskillnader mäts efter påförd termisk stress.
CT, DT	Computed tomography, datortomografi
MDCT	Multidetektor datortomografi
REKONSTRUKTIV KIRURGI	Återställande plastikkirurgi.
LAMBÅ	Kirurgisk vävnadsflik. Kroppseget vävnadsstycke som överflyttas från ett kroppsområde till ett annat. Kan bestå av flera vävnadstyper
<ul style="list-style-type: none">• STJÄLKAD• FRI, MIKROVASKULÄR	Behåller sin ursprungliga blodförsörjning. Lossas från sitt underlag och kopplas till matarkärl i mottagarområdet
<ul style="list-style-type: none">• PERFORANT-• MUSKULOKUTAN• FASCIOKUTAN• TRAM	Försörjs av ett bestämt kärl som löper genom muskel Består av muskel, subkutan vävnad och hud Består av fascia, subkutan vävnad och hud Transverse rectus abdominis myocutaneous - (tvär magmuskel myokutan -)
<ul style="list-style-type: none">• DIEP	Deep inferior epigastric perforator (perforant från a. / v. epigastrica inferior profunda)
<ul style="list-style-type: none">• SIEA	Superficial inferior epigastric artery (ytlig nedre epigastriartär)
PERFORANT (HUD)	Litet kärl som utgår från en större källartär, går genom muskel och försörjer subkutan vävnad och hud.

INNEHÅLL

FÖRORD	i	
SAMMANFATTNING	ii	
BEGREPPSAVKLARNINGAR OCH FÖRKORTNINGAR	iii	
1	BAKGRUND	1
	1.1 Val av tema	1
	1.2 Infraröd strålning	2
	1.3 Termografi	3
	1.3.1 Statisk vs. dynamisk infraröd termografi	4
	1.3.2 Om DIRT som begrepp	4
	1.3.3 Värmefotografering i kliniken	5
	1.4 Rekonstruktiv kirurgi	5
	1.4.1 Lambåer	6
	- Historisk bakgrund och utveckling av olika lambåer	6
	- Om klassificering	8
	- Perforantlambåer	9
2	MATERIAL OCH METOD	10
3	RESULTAT	13
	3.1 En tillbakablick	13
	3.2 Preoperativ kartläggning av perforanter med värmekamera	14
	3.3 Termografi vid intraoperativ monitorering av perfusion	19
	3.4 Postoperativt utnyttjande av termografi	21
	3.5 IR-kamera kopplad till smarttelefon	23
	3.6 Standardisering av DIRT	24
4	DISKUSSION	26
	4.1 För- och nackdelar med termografi	26
	4.2 Med eller utan köldstress?	27
	4.3 Effektivitet på flera nivåer	28
	4.4 Styrkor, svagheter och utmaningar med uppsatsen	28
5	KONKLUSION	30
KÄLLFÖRTECKNING	31	
SAMMANFATTNING AV ARTIKLAR, KUNSKAPSUTVÄRDERINGAR		

1 Bakgrund

Användning av termografi vid plastik- och rekonstruktiv kirurgi är i dagens läge inte speciellt utbrett, och varför det är så är en intressant fråga. ”Det är för enkelt”, påstod handledarna för uppsatsen, och det lär stämma. Termografi är billigt, tekniskt lättanvänt och tryggt. Med andra ord kan det låta som något misstänksamt okomplicerat för att användas i ett komplicerat syfte, såsom hjälpmedel vid avancerad kirurgi. Informationen termografi ger om hudens blodcirkulation genom temperaturmätning är indirekt, och det är således naturligt att ifrågasätta dess pålitlighet.

Lambåplastikens historia sträcker sig långt tillbaka i tiden före vår tideräkning, medan termografi är en förhållandevis ny uppfinning vars utveckling började då den för ögat osynliga värmestrålningen upptäcktes för ett par hundra år sedan. Gemensamt för dessa två är att båda i olika sammanhang mottagits med skepticism – för termografi är detta mer aktuellt då lambåplastik i dag är en av de viktigaste teknikerna inom plastik- och rekonstruktiv kirurgi. Målet har varit att få en helhetsuppfattning om såväl historisk bakgrund som utveckling av dessa två, på varsitt håll och tillsammans.

1.1 Val av tema

När det gäller medicinsk termografi och forskning inom området är Universitetssykehuset Nord-Norge (UNN) Tromsø unikt. Forskningslaboratoriet grundades år 2005, och då erbjöd röntgenavdelningen vid UNN termografi som den enda i hela Europa. Intresset är ökande, men termografi är fortfarande sparsamt använd. Detta var en av orsakerna bakom val av tema för uppsatsen, och något som gav möjlighet till en fascinerande arbetsprocess under speciellt sakkunnig och kompetent handledning inom just detta område.

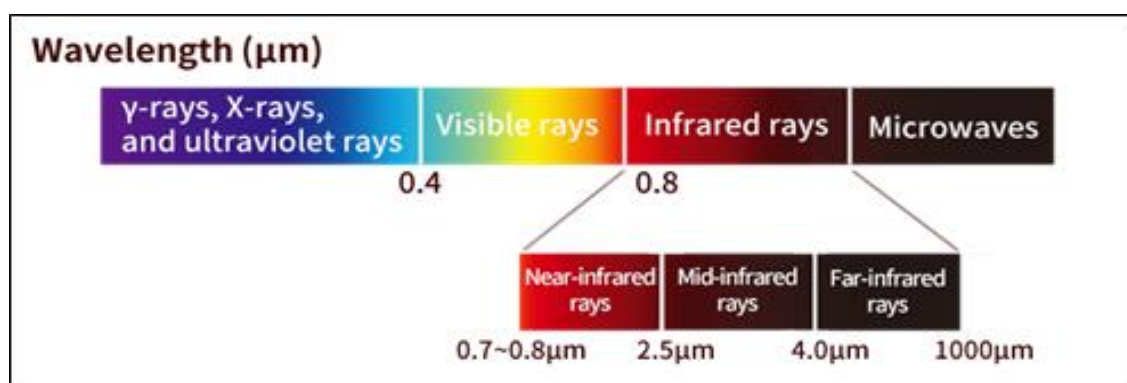
Medveten om hur speciellt forskningsområde medicinsk termografi är, var det av intresse att se om det producerats några masteruppsatser eller doktorsavhandlingar som berör ämnet termografi och kirurgi vid andra universitet med medicinsk fakultet i Norge. Allt är dock inte tillgängligt på internet, men universitetens digitala publikationsarkiv ger någon sorts uppfattning. På förhand visste jag om tre doktorsavhandlingar vid UiT – två av dessa av mina handledare – samt hittade en masteruppsats i arkivet Munin. Varken Universitetet i Oslo, NTNU eller Universitetet i Bergen gav några träffar. Av

ren nyfikenhet sökte jag även upp alla medicinska fakulteter i mitt hemland Finland. Resultatet var endast en doktorsavhandling (Uleåborgs universitet 2020) om termografi inom kärlkirurgi, men inte där heller som ett operationsrelaterat verktyg.

1.2 Infraröd strålning

Värmestrålning utanför det synliga ljusspektrumet upptäcktes av Sir William Herschel år 1800. Han lyckades bevisa att denna typ av strålning följer samma lagar som synligt ljus trots att den inte kan ses med blotta ögat. Dock blev inte utrustning för att kunna detektera strålningen utvecklad förrän 30 år senare, och det var sonen John Herschel som upprepade sin fars experiment och lyckades producera en bild på solljus. Bilden fick namnet termogram, och detta begrepp används fortfarande om bilder på värmestrålning. Ytterligare 100 år gick innan det vi i dag kallar värmekamera blev till. (1,2)

Den elektromagnetiska, för ögat osynliga strålningen i våglängdsområdet från cirka 700 nanometer till 1 millimeter kallas infraröd (IR-) eller värmestrålning, och området delas in i tre spektrumregioner: fjärran, mid- och nära infrarött, varav nära IR är den region som ligger närmast det synliga spektrumet (Figur 1). Strålningen absorberas av föremål, och den utsända strålningen mäts med hjälp av värmedetektorer – ju högre temperatur desto högre intensitet. Aktiva IR-detektorers delar både mottar och emitterar (avger) medan passiva endast mottar strålning. (3)

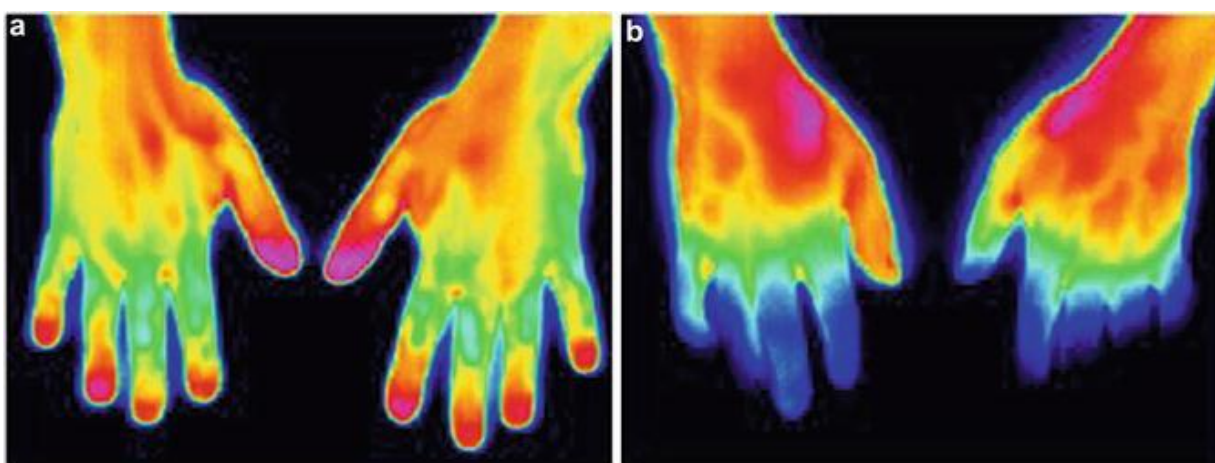


Figur 1 **Det elektromagnetiska spektrumet.**
Det infraröda våglängdsområdet ligger mellan 700 nm och 1 mm. (4)

1.3 Termografi

Alla föremål med en temperatur över absoluta nollpunkten $-273,15^{\circ}\text{C}$ avger elektromagnetisk strålning, dvs. utstrålar värme. Vid termografi, eller värmefotografering, bestäms föremålets värmedistribution – förenklat omvandlas IR-strålningen till en synlig bild (Figur 2). Termografering visar alltså det osynliga, med den speciella fördelen att testning sker beröringsfritt då föremålets temperatur bestäms indirekt genom detektering och mätning av värmestrålning. (2) Bland annat vid industriell processkontroll, oförstörande provning inom vetenskap och teknologi, räddningsoperationer samt inom byggbranschen och militären har termografi utnyttjats sedan länge, och tillämpningar inom såväl human- som veterinärmedicin har funnits sedan 1950- respektive 1960-talet. (2,5)

Människokroppens termoreglering sker via olika fysiologiska mekanismer i kärl- och nervsystemet samt muskulaturen. Variation i kroppstemperatur kan detekteras mycket noggrant med värmekamera, och tekniken utvecklas och blir alltmer precis. Modifiering, ökning och förlust av värme kan utnyttjas som indikator för skada och patologi, men också bland annat som parameter för kontrollering av terapieffekt samt val av behandling. Som resultat av riklig forskning kan det konstateras att termografi är ett hjälpmedel som inte bör användas som diagnostiskt verktyg för sjukdom. Eftersom metoden är icke-invasiv och inte heller utsätter patienten för strålning, behöver det inte tas ställning till säkerhet i tillägg till indikation och nytta. (6,7)



Figur 2 **IR-strålningen omvandlas till en synlig bild.**
Termogram på a) normala händer och b) Raynauds fenomen, efter påförd köldstress.

Ring JW. *Skin Thermal Imaging* (Springer International Publishing, 2017). (8)

1.3.1 Statisk vs. dynamisk infraröd termografi

Mätning av hudtemperatur kan ge värdefull, dock indirekt, information om perfusion. Vid statisk temperaturmätning visar enstaka bilder läget vid en exakt tidpunkt, och värdena kan påverkas av flera faktorer såsom metabolism, miljö eller temperaturen djupare ned i vävnaden. Detta försvårar tolkningen eftersom det då är flera fenomen som spelar in. Lösningen har blivit att registrera temperaturändringen efter påförd termisk stress – i form av värme eller kyla – i stället för att se på enskilda värden som vid statisk infraröd termografi. Genom att mäta temperaturskillnader blir resultaten entydiga och återspeglar den faktiska perfusionen. (9,10) Sådan här mätning kallas för dynamisk infraröd termografi, eller DIRT.

1.3.2 Om DIRT som begrepp

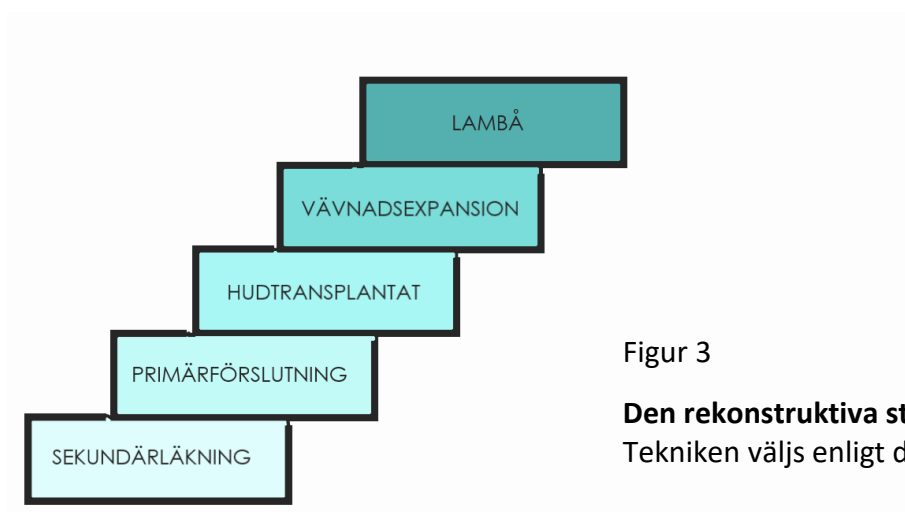
”Dynamisk infraröd termografi” nämns som ett helt begrepp för första gången i en ryskspråkig artikel (abstrakt tillgänglig på engelska) om Raynauds fenomen, från 1990. (11) Bland engelskspråkiga tidskriftsartiklar dyker begreppet upp år 2003; då hade tekniken använts intraoperativt vid instrumentell kärlförslutning. (12) Själva metoden omtalas redan i tidigare litteratur, men med andra namn. Som ett mer eller mindre väletablerat allmänt begrepp som det är nu har det inte använts speciellt länge. Den första artikeln där begreppet är representerat i samband med rekonstruktiv lambåkirurgi är från UNN Tromsø år 2006. Då monitorerade de Weerd et al. reperfusion i lambåer intraoperativt vid fri lambåkirurgi. (13) År 2008, också vid UNN, beskrevs DIRT i ortopediskt syfte för att säkerställa diagnosen lateral epikondylit, och postoperativt för att kontrollera behandlingsresultat. (14) 2009 monitorerade de Weerd et al. postoperativ perfusionsdynamik i fria DIEP- och SIEA-lambåer. (15) Inte förrän 2012 blev begreppet använt av andra forskare inom området lambåplastik, då i en fallrapport av Whitaker et al. som jämförde termografi med DT vid planering av rekonstruktiv kirurgi med perforantlambåer. (16) Själva temat hade redan behandlats i en artikel av de Weerd et al. år 2009 (se 3.2). (17)

1.3.3 Värmefotografering i kliniken

Termografi har redan funnit sin plats inom flera specialiteter såsom neurologi, onkologi, reumatologi, dermatologi – och mycket mer. (18) Dessa är starkt representerade i relevant litteratur om utnyttjandet av värmekameror, men trots att andra kirurgiska specialiteter lyfts fram lyser lambåkirurgi i stort sett med sin frånvaro. Bland annat i boken *Photography in Clinical Medicine* (Springer International Publishing), utgiven så nyligen som år 2020, nämns plastik- eller rekonstruktiv kirurgi inte med ett ord i kapitlet om aktuell forskning och framtidsutsikter runt den medicinska termografins kliniska tillämpningar (7) – något som i samband med denna uppsats är av intresse att nämna.

1.4 Rekonstruktiv kirurgi

Vid rekonstruktiv dvs. återställande plastikkirurgi menas procedurer där en skada, missbildning eller avlägsnad struktur med resulterande funktionssvikt eller -förlust repareras eller ersätts, huvudsakligen med kroppsegen vävnad. Det strävas alltid efter optimalt resultat såväl funktionellt som estetiskt, med lägsta möjliga morbiditet på tagstället. Vid rekonstruktion av kroppsstrukturer utnyttjas en rad olika tekniker varav lambåkirurgi framstår som en av de viktigaste. Rekonstruktiv och kosmetisk kirurgi överlappar betydligt varandra, då de i stor utsträckning följer samma kirurgiska principer och alltid strävar efter utseendemässigt bästa möjliga resultat. (19–21) Kirurgen följer en så kallad *rekonstruktiv stega* där rekonstruktionstekniken bestäms efter bedömning av defekten, och komplexiteten ökar för varje steg. Lambåer ligger högst upp, och av dessa är *fria lambåer / mikrokirurgi* de mest avancerade (Figur 3). (22,23)



Figur 3

Den rekonstruktiva stegen, förenklad.
Tekniken väljs enligt defektens karaktär.

1.4.1 Lambåer

En lambå är ett vävnadsstycke som överförs till sitt mottagarområde med bibehållen blodförsörjning, till skillnad från ett transplantat (graft) som i stället är fullständigt beroende av mottagarområdets cirkulation. Lambåer, eller vävnadsflikar, kan därmed också användas för att reparera större och djupare områden än transplantat, med större sannolikhet för överlevnad tack vare egen blodförsörjning. Lokala lambåer är vävnadsflikar som flyttas från ett område i närheten av defekten, medan fjärrlambåer (distant flaps) härstammar från mer avlägsna kroppsområden. Fjärrlambåer kan vara stjälkade eller fria. Vid överflyttning av en stjälkad lambå behåller den sin ursprungliga blodcirkulation. Fria mikrovaskulära vävnadsflikar däremot lossas helt från sitt underlag och kopplas till matarkärl i mottagarområdet. (24)

Det finns otaliga typer av lambåer, och det är stor variation bland såväl form som indikation. En lambå kan bestå av antingen en eller flera vävnadstyper, och en viktig princip är att ersätta "lika med lika", det vill säga välja ett tagställe som i så hög grad som möjligt motsvarar mottagarområdet. (25,26)

Lambåkirurgin är viktig inom många typer plastik- och rekonstruktiv kirurgi, och dessa avancerade tekniker kräver både praktisk erfarenhet och förutsätter speciellt djupgående kunskaper om vaskulär anatomi och fysiologi. Värsta möjliga utfall och den mest fruktade komplikationen vid misslyckad lambåkirurgi är delvis eller fullständig lambåförlust, och tillräcklig perfusion är helt avgörande för ett lyckat ingrepp. Sannolikheten för lambåförlust kan minimeras genom noggrann planering av proceduren, samt god intra- och postoperativ monitorering av vävnadsperfusion. (19,25) Icke-invasiv monitorering av lambåns blodcirkulation genom indirekt temperaturmätning med hjälp av infraröd termografi har visat sig vara lämpligt för detta, och ändamålsenligt såväl ekonomiskt som rent praktiskt. Forskning visar att termografi kan vid planering av lambåer och kartläggning av dess blodförsörjning betraktas som ett pålitligt verktyg som dessutom är helt tryggt för patienten. (27,28)

Historisk bakgrund och utveckling av olika lambåer

När och var den första lambån blev uppfunnen är osäkert, men de äldsta dokumenterade ingreppen med vävnadsflikar ser ut att ha genomförts i Indien hundratals år f.v.t., och plastikkirurgins far sägs vara den indiske kirurgen Sushruta som levde runt 800 – 600 f.v.t. De allra första vävnadsflikarna var lokala lambåer, det vill säga med ett tagställe i omedelbar närhet av defekten. Det vi kallar

fjärrlambåer eller *distant flaps*, lambåer från andra kroppsregioner än runt mottagarområdet, introducerades inte förrän på 1400-talet, troligen som följd av renässansens estetikuppfattning. (29)

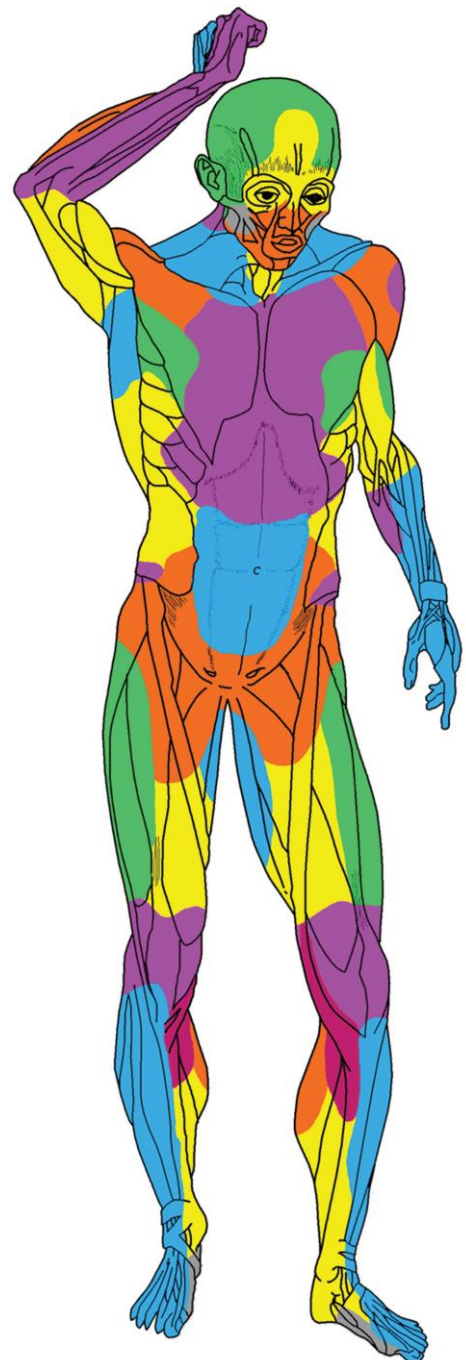
Lambåernas historia är lång och brokig, liksom plastikkirurgins utvecklingsfaser generellt, och trots att utvecklingen börjat långt tillbaka i tiden har denna typ av kirurgi i perioder förklenats och underskattats av olika orsaker. En viktig person i den tidiga utvecklingen av lambåer var italienske Gaspare Tagliacozzi, professor i anatomi och kirurgi vid universitetet i Bologna på 1500-talet, och känd för sin bok *De Curtorum Chirurgia per Insitionem*. Tagliacozzi var på många sätt före sin tid och – i motsats till fältskärkirurger – satsade på att noga dokumentera, undervisa och lära bort sin erfarenhet.

Trots omfattande och avancerad kunskap, och litteratur med detaljerat dokumenterat, banbrytande utvecklingsarbete, mötte Tagliacozzi stort motstånd och skepticism, men också avundsjuka, och lambåkirurgi dömdes till och med som hednisk verksamhet. Tekniken blev så gott som bortglömd, och efter att ha varit närmast oanvänd i ett par hundra år togs det framsteg igen från och med 1700-talet. (19,29)

Den unge läkarstudenten Carl Manchot kartlade i slutet av 1800-talet kärterritorierna i huden (30), något som är en betydande prestation i *perforantlambåns* historia. Trots detta var de vaskulära strukturerna generellt dåligt kända i lång tid framöver, och flikarna som användes var slumpmässiga (*random flaps*), det vill säga med en blodförsörjning från ospecificerade kärl. (29)

Figur 4

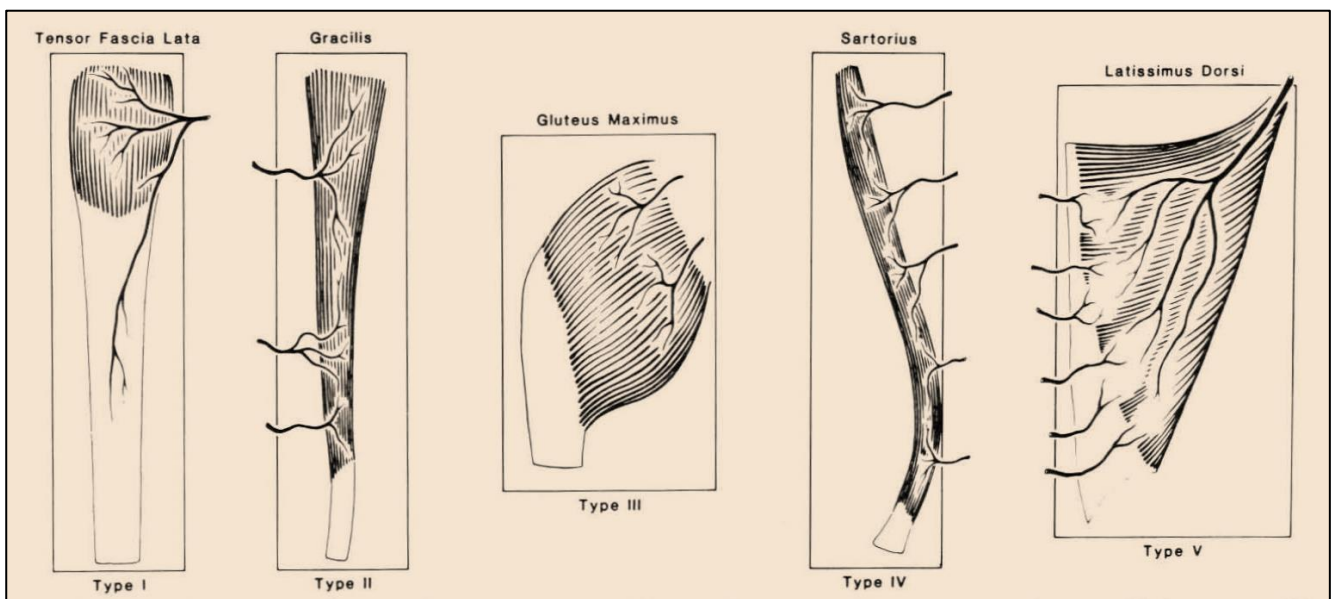
Angiosomkonceptet enligt Taylor och Palmer. De olika färgerna representerar kärlets försörjningsområde. (31)



Salmon, i sin tur, hade möjlighet att utnyttja röntgenstrålar då han på 1930-talet omvärderade Manchot's arbete. Att Manchot skrev på tyska och Salmon på franska var en orsak till att det tog lång tid innan deras arbete nådde ut till den stora allmänheten. (30) På 1980-talet fortsatte Taylor och Palmer i deras fotspår och som resultat av bredare forskning kring vaskulära territorier presenterade de *angiosomkonceptet* (Figur 4). De konkluderade att kroppen består av tredimensionella block – hudområden med underliggande vävnad – som försörjs av varsin källartär och dess åtföljande vener, och att vaskulaturen i dessa områden är sammankopplade delar av det kutana cirkulationssystemet. (31) Det så kallade längd/bredd-förhållandet (*length-to-width ratio*), där den levnadsdugliga längden av en lambå antogs vara direkt proportionell mot bredden av dess kärlstjälk, eller vaskulära *pedikel*, hade motbevisats av Milton redan år 1970. (32)

Om klassificering

Lambåer kan klassificeras på flera olika sätt, såsom enligt blodförsörjning, sammansättning / vävnadstyp, design eller tagställe. Till exempel "The 5 Cs"-indelningen står för *circulation, composition, contiguity, contour* och *conditioning* – eller blodförsörjning, sammansättning, kontaktyta, kontur / förflyttning och konditionering / förbehandling. (33) Den välkända klassifikationen av muskel-lambåer, presenterad av Mathes och Nahai 1981, grupperar lambåerna enligt antal tillgängliga kärlstjälkar (Figur 5). (34)



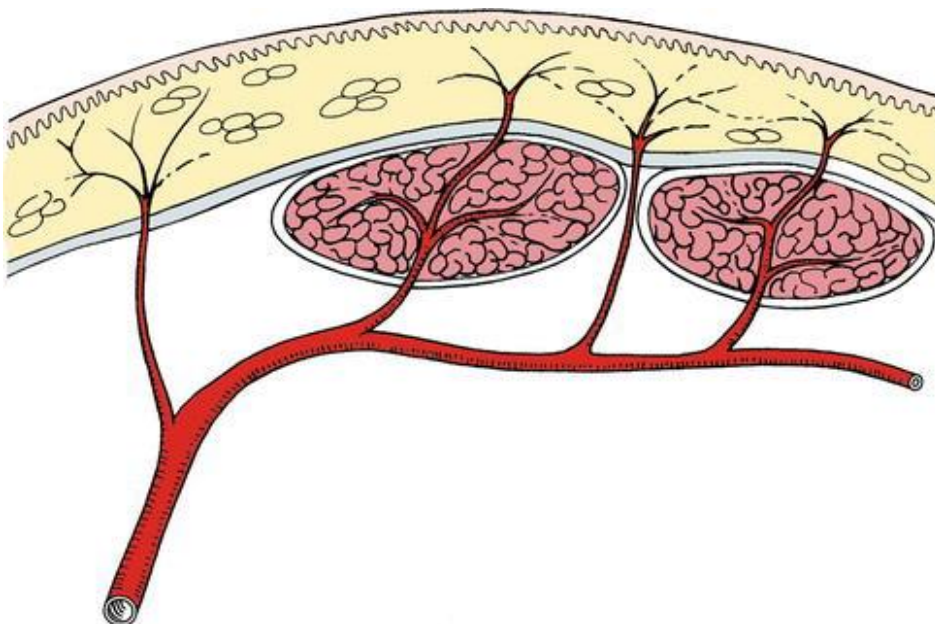
Figur 5 **Olika muskellambåer.** Klassifikationen I-V baserar sig på antal tillgängliga kärlstjälkar. Mathes och Nahai, 1981. (34)

Det är än i dag oenighet om ett gemensamt klassifikationssystem; det finns mängder av olika vävnadsflikar, exemplen är många, ingen klassifikation är helt entydig, och nomenklaturen är svår att standardisera. Det är således inte ändamålsenligt att gå närmare in på olika klassificeringsmönster. Denna uppsats behandlar kutana lambåer dvs. flikar med hudvävnad, närmare perforantlambåer vars uppfinnande har varit en beaktansvärd milstolpe och utvecklingen av stor betydelse för rekonstruktiv kirurgi.

Perforantlambåer

Enkelt definierat är perforanter små kärl som härstammar från en specifik större källartär, löper genom muskel och försörjer subkutan vävnad och hud. Perforanter kan klassas som indirekta eller direkta, beroende på vilka vävnadsstrukturer de passerar (Figur 6). (35)

Det antogs länge att muskelvävnad alltid bör vara en del av lambån för att säkra dess överlevnad. År 1989 visade Koshima och Soeda att en stor hudlambå ändå kan överleva utan underliggande muskel, endast försörjd av en muskelperforant. (36) Detta var början på en ny era inom rekonstruktiv kirurgi, där perforantlambåer sedan dess har spelat en avgörande roll. De kan skräddarsys för att exakt rekonstruera defekten, och med ökande kunskap kan de skördas allt tunnare. Morbiditeten på tagstället minimeras då ingen muskel eller fascia behöver offras, och läkningstiden blir därmed kortare. (19,37)



Figur 6

Perforantkärl till huden. De kutana kärlen kan vara direkta, löpa genom muskel (muskulokutan) eller mellan muskler (septokutan). (35)

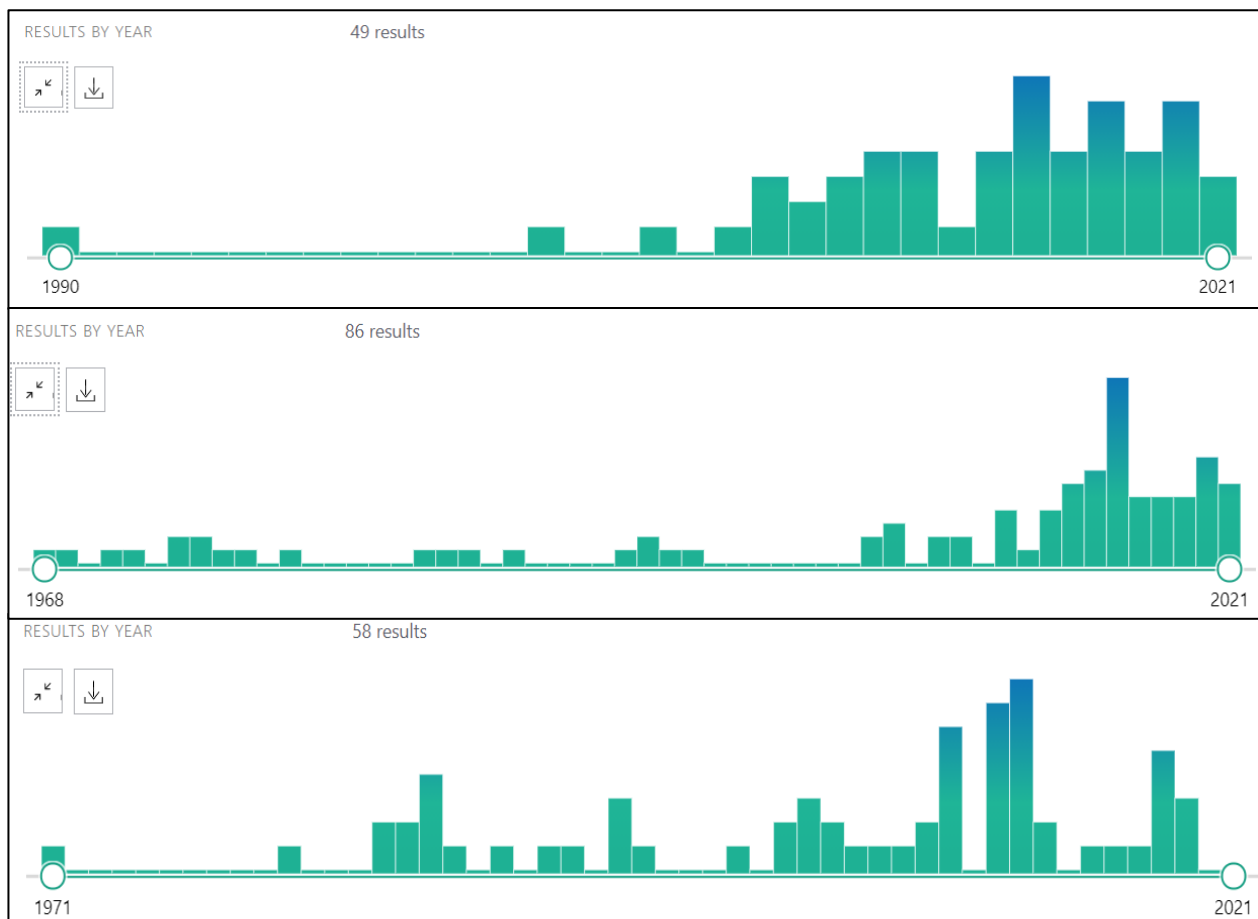
2 Material och metod

Uppsatsen är genomförd som en litteraturstudie, och litteratursökningen har gjorts i databasen PubMed. Databasen blev vald efter ett fåtal provsökningar där samt i SveMed+ och Cinahl. Flera olika sökningar har kombinerats, speciellt för att få de bästa träffarna bland äldre artiklar om både termografi och lambåplastik.

SveMed+ var ursprungligen av intresse för att se på eventuella skandinaviska tidskriftsartiklar, men redan så oprecisa sökord som *thermography* / *termografi* gav endast 29 och "*infrared thermography*" / "*infraröd termografi*" 8 träffar. Alla var irrelevanta för uppsatsens tema, så dessa togs inte i beaktande. "*Surgical flaps*" / "*kirurgiska vävnadsflikar*" gav 70 träffar varav ett fåtal av de allra äldsta var av intresse, men tyvärr för gamla för att vara tillgängliga online. SveMed+ har inte heller uppdaterats sedan 2019, så de nyaste artiklarna får man inte tag på där.

Databasen Cinahl gav också ett förhållandevis litet antal sökträffar som vid mer detaljerad sökning blev så få som 1-2 stycken. Då var det ändamålsenligt att gå tillbaka ett steg till en något bredare sökning och gå igenom titlarna som fortfarande var tämligen få, men alla som ansågs vara potentiellt relevanta kom också upp i PubMed som därmed blev vald. När sökningarna görs med mer preciserade termer, även i PubMed där antalet träffar är betydligt större än i övriga databaser, ses ändå hur nytt temat faktiskt är – dock med en förhållandevis ökande publiceringsaktivitet under åren. Figur 7 illustrerar några exempel på detta. Artiklarna blev därmed avsiktligt valda utgående från en något bredare sökning för att så gå igenom fler titlar och sedan manuellt gallra bort utav dessa, i stället för att ursprungligen använda så preciserade sökord som möjligt.

För att få en översikt över även utländska publikationer på andra språk än engelska användes det inget språkfilter. Speciellt bland äldre artiklar var andra språk väl representerade, och detta gav en tydligare helhetsbild på när och var forskning föregått. I flera tillfällen hade dock endast titeln översatts, men i och med att många också hade ett engelskspråkigt abstrakt, nämns några av dessa



Figur 7 **Exempel på provsökning och antal resultat.**
"Dynamic infrared thermography" med totalt 49^{*)}, *thermography AND "plastic surgery"* med 86 och *thermography AND "surgical flaps"* med totalt 58 träffar. (skärmbilder, PubMed).

^{*)} Dynamisk värmefotografering som metod omtalas i tidigare litteratur medan *DIRT* som begrepp är nyare, se 1.3.2.

kort. Eftersom målet med uppsatsen innebar att se på utvecklingen, kunde alltså inte existerande publikationer helt överses enbart på grund av främmande språk.

Efter provsökningarna vars träffar i hög grad överlappade varandra, kombinerades sökorden för att avlägsna duplikat, och för att först gallra bort den uppenbart minst relevanta litteraturen lästes titlarna till dessa 164 artiklar. 57 artiklar valdes till vidare läsning av abstrakt, och ytterligare 41 gallrades bort, samtidigt uteslöts review-artiklar och djurförsök. Därefter var det alltså 16 artiklar som ansågs som de mest relevanta och lästes igenom i sin helhet (Figur 8).

SÖKORD, alla fält (Filter: inga)	ANTAL TRÄFFAR	ANTAL LÄSTA TITLAR	ANTAL LÄSTA ABSTRAKT	ANTAL INKLUDERADE ARTIKLAR
<i>thermography</i> AND ("plastic surgery" OR "reconstructive surgery" OR "surgical flaps")	164	164	57	16

Figur 8 Slutlig litteratursökning, kombinerade sökord. PubMed, 25 mars 2021.

Eftersom det inte användes några filter, inte heller för fulltext, gav sökningarna också träffar som inte var tillgängliga i sin helhet. Bland de slutliga 16 artiklarna var det tre äldre publikationer som ansågs som nödvändiga att ha med men endast hade abstrakt tillgänglig. Dessa fick jag av handledarna. I slutet av arbetsprocessen fick jag ytterligare 3 artiklar – utanför den initiala sökningen eller PubMed – vars innehåll var så pass relevant att de också togs med, och därmed blev det totala antalet artiklar 19.

För korrekt svensk terminologi och översättning av engelska fackord har det utnyttjats tidskrifter såsom Läkartidningen, Finlands Läkartidning, Duodecim, samt för MeSH-termer

<https://mesh.kib.ki.se/> eller <https://finto.fi/mesh/>.

3 Resultat

3.1 En tillbakablick

År 1986 publicerades den första engelskspråkiga tidskriftsartikeln om användning av termografi i samband med lambåkirurgi: Theuvenet et al. påstod sig ha hittat en pålitlig icke-invasiv metod för lokalisering av perforantartärer för att bättre kunna planera en lambå, och kallade metoden för "thermographic assessment of perforating arteries", TAPA. (38) Den nederländska forskargruppen hade med framgång använt metoden sedan några år innan i samband med lambåplastik på högriskpatienter med avvikande hemodynamik. Flödesmätning med Doppler hade misslyckats antagligen på grund av nedsatt blodflöde i perforantartärerna hos dessa patienter, och därmed var det av intresse att leta vidare. Eftersom noggrannheten i en värmekamera inte var tillräcklig för termografering vid normal hudtemperatur, kylde de ned huden genom att rulla en metalltrumma fylld med kallt vatten över området, för att så med hjälp av värmekamera registrera *hot spots* som dök upp på bilden på det bestämda hudområdet. För att se på förhållandet mellan perforantartärerna och dessa hot spots hade det först gjorts försök på lambåer tagna från lik. I dessa ersattes blodflödet med varm saltlösning och sambandet mellan hot spots och perforanter kontrollerades genom färgning med metylenblått. 31 av 36 perforanter som registrerats termografiskt bekräftades, resten visade sig vara distalt obstruerade. Det konstaterades att belägenheten av kärlen är individuell, och att TAPA kan anses som ett beaktansvärt verktyg vid planering av *muskulokutana* och *fasciokutana* lambåer. Preoperativ lokalisering av perforantartärer och information om blodcirkulationen vid planering av lambåer antogs kunna öka överlevnaden av hela lambån, och denna metod, som både hade visat sig vara enkel och snabb att utföra, ansågs som ett passande hjälpmedel att användas i detta syfte.

Theuvenet et al.:s arbete var startpunkten för forskning inom området, men det var tyst inom forskningsfältet i en tid framöver. Termisk stress, då i form av isvatten, i samband med registrering av hot spots med termografi användes också av japanska Itoh och Arai som i sin tur kallade metoden "recovery-enhanced thermography". Deras studie (39), publicerad år 1995, var i sin tur den första som beskrev användning av termografi vid planering av perforantlambåer. Belägenheten av perforanterna kontrollerades med Doppler. Även här diskuterades den individuella anatomiska variatio-

nen som understryker behovet av ett effektivt preoperativt planeringsverktyg. Samma år publicerades också en artikel av Salmi et al. (40) som gjorde sina försök utan köldstress. Termografi användes vid intra- och postoperativ monitorering av hudtemperatur i samband med fri mikrovaskulär TRAM-lambåplastik på åtta patienter. Mätningarna gjordes vid rumstemperatur, utan att först kyla ned huden. Det konstaterades att perforanternas belägenhet ses som hot spots på bilden, och att deras synlighet följer temperaturvariationen i lambån. Lägre temperatur i lambån under operationen gjorde att hot spots'en försvann, men dök upp igen kort tid efter lyckad anastomosering då blodcirkulationen i lambån ökade kraftigt. Ingen lambåförlust förekom. Författarna påpekade att det är behov av ett förmånligt och icke-invasivt verktyg för övervakning av perfusion vid lambåkirurgi, ett som också lämpar sig för "bedside" användning.

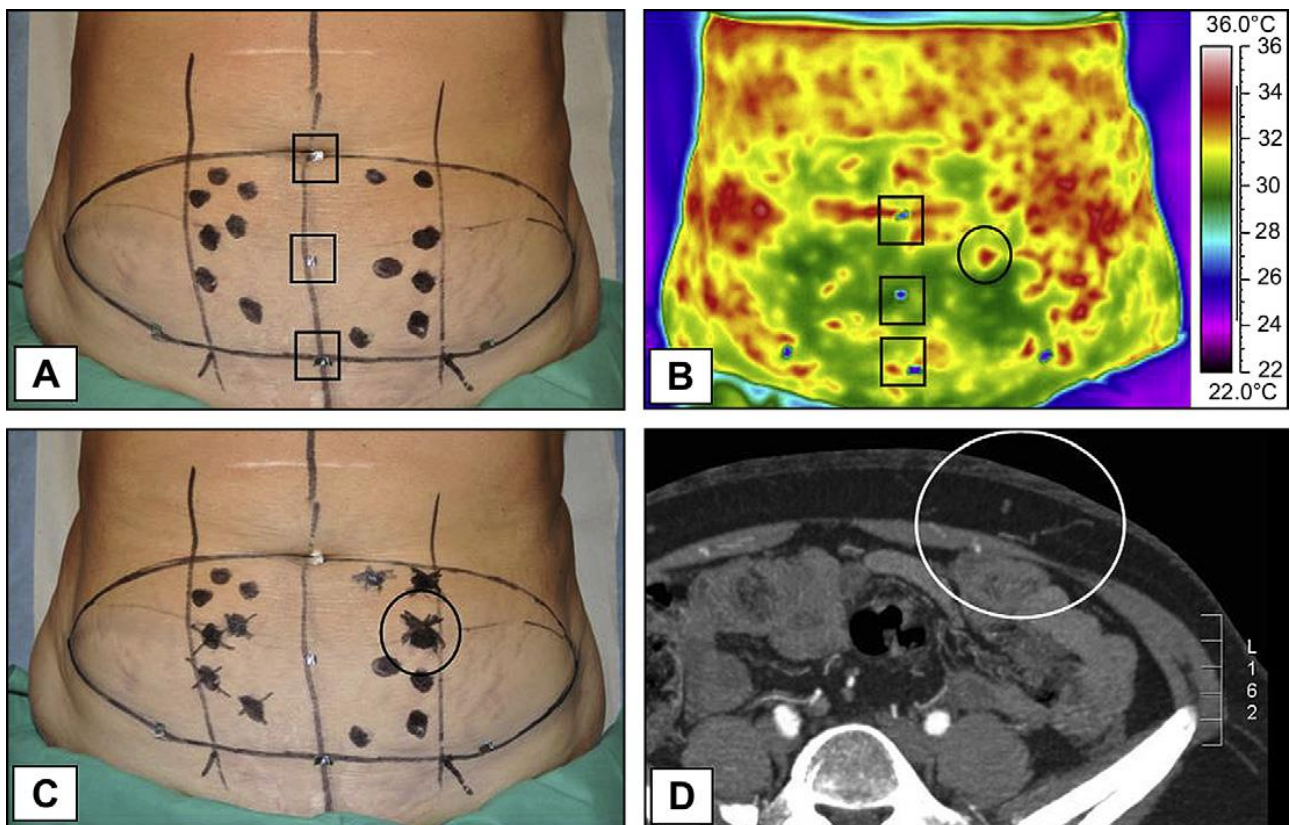
3.2 Preoperativ kartläggning av perforanter med värmekamera

Ett behov av ett pålitligt verktyg för effektiv och god planering av lambåkirurgi har funnits länge, och användningsområdet är i hög grad aktuellt inom modern rekonstruktiv kirurgi. De ovan beskrivna artiklarna av Theuvenet et al. samt Itoh och Arai publicerades under ett långt tidsintervall på 10 år och resulterade inte i någon klinisk tillämpning.

Förutom kirurgens erfarenhet, goda tekniska färdigheter och djupgående kunskap om vaskulär anatomi, är noggrann planering helt nödvändigt för att uppnå ett tillfredsställande resultat samt undvika delvis eller fullständig lambåförlust relaterat till otillräcklig perfusion. (27)

DIRT som preoperativt hjälpmedel för kartläggning av perforanter utvärderas av de Weerd et al. i en artikel från 2009. (17) Teknikens lämplighet för utväljande av perforanter vid planering av fria DIEP-lambåer bedömdes i en studie som inkluderade 27 patienter planerade för sekundär autolog bröstrekonstruktion. Perforanterna kartlades preoperativt både med bärbar Doppler och DIRT, och dessutom med multidetektor datortomografi (MDCT) hos de åtta sista patienterna. Vid DIRT användes en bordsfläkt för att påföra köldstress: rumstempererad luft blåstes över abdomen i två minuters tid. IR-bilder togs både före och efter nedkylning. Hastighet och mönster för återuppvärmning registrerades, och en bestämd perforant uppfyllde kriterierna ifall dess läge inte var på kanten av lambån, dess hot spot dök upp snabbt, och hot spot'ens belägenhet motsvarade ett arteriellt Doppler-ljud. Hos alla patienter med DIEP-lambå var perforanten som valts med hjälp av DIRT

lämplig. Alla MDCT-kartlagda lambåer var av typen DIEP, och resultaten från termografering och datortomografi stämde väl överens. Figur 9 illustrerar lokalisering och markering av perforanter vid planering av en DIEP-lambå. Det observerades stor individuell variation i perforanters belägenhet mellan patienterna, samt sidoskillnader i de enskilda lambåerna. DIEP- och SIEA-lambåer hade olika återuppvärmningsmönster. Slutsatsen i studien var att DIRT, trots att informationen är indirekt, underlättar val av perforanter och planering av DIEP-lambåer samt är ett tekniskt lättanvänt icke-invasivt verktyg.



Figur 9

Preoperativ kartläggning av perforanter för en DIEP-lambå.

A: Arteriellt Doppler-ljud har registrerats vid punkterna som markerats med svarta prickar. Metalltejpbitar har använts som referenspunkter (kvadrater på A och B).

B: IR-termogram taget tre minuter efter två minuters nedkylning med bordsfläkt. Den förstuppstående hot spot'en har markerats med en cirkel.

C: Punkterna där det arteriella Doppler-ljudet motsvarade en hot spot är betecknade med X, och den utvalda perforanten med en cirkel.

D: Den utvalda perforanten korrelerar med en lämplig perforant på MDCT-bilden, markerad med vit cirkel.

de Weerd et al., 2011. (27)

Termografi och Doppler som hjälpmedel vid preoperativ planering av lambåer jämförs med varandra i en artikel av Tenorio et al. (41) Denna publikation från 2011 beskriver 16 patienter, tio av dem var planerade för bröstrekonstruktion med fri DIEP- och sex för rekonstruktion av underkäke med fri fibularlambå. Författarna kallar värmefotograferingen för "dynamic infrared imaging" (DIRI). Bilderna analyserades för generell hudtemperatur, belägenhet av hot spots samt diametern av ringen ("warm halo") runt dem. Fler hot spots registrerades med termografi än med Doppler, detta i både abdominalområdet och fibulart. Av de kärl som detekterats med värmekamera var motsvarigheten med Doppler-signal abdominalt 67% och peronealt 80%. Alla operationer var vällyckade och ingen lambåförlust förekom. Författarna kom fram till att både termografi och Doppler är värdefulla vid planering av fria lambåer, och det konkluderades att metoderna på grund av sina olikheter kompletterar varandra och kan gärna användas tillsammans för mest möjlig nytta. Trots namnet "DIRI" använde gruppen alltså statisk termografi, och ingen köldstress utnyttjades; författarna ansåg det som obehagligt för patienten samt som ett onödigt steg då moderna värmekameror är tillräckligt noggranna för att detektera väldigt små temperaturskillnader.

År 2012 publicerades en fallrapport av Whitaker et al. där gruppen hade jämfört termografi med DT-angiografi vid en bilateral bröstrekonstruktion med fria DIEP-lambåer. (16) Termisk stress påfördes med hjälp av kallt vatten. På högra sidan visade termogrammet en tydlig hot spot som bekräftade perforanten som tidigare setts på DT. Inga hot spots dök upp på vänstra sidan, och därmed blev operationen en unilateral rekonstruktion i stället, med lambå av högra hemiabdomen, medan det andra bröstet skulle rekonstrueras med implantat vid en senare tidpunkt. Lambåplastiken var okomplicerad och vällyckad. Artikeln listar egenskaper till båda modaliteterna, i stort sett till termografins fördel. Ekonomiskt, tidsmässigt och med tanke på säkerhet är termografi överlägset, och det poängteras att även om en värmekamera varken detekterar alla perforanter eller deras storlek och riktning – vilket DT gör – visas i stället de kliniskt signifikanta kärlen. Felaktigt presenterar författarna fallrapporten som den första där termografi jämförs med DT-angiografi vid preoperativ planering av fria DIEP-lambåer, och referenser till relevanta artiklar fattas.

Sheena et al. utvärderade termografins användbarhet vid preoperativ lokalisering av kutana perforanter i sin år 2013 publicerade artikel (42) som jämförde metoden med Doppler. Det poängteras att nya värmekameror blivit allt mer användarvänliga då de minskat i storlek och blivit betydligt noggrannare och känsligare för små temperaturskillnader samt är utrustade med skärmar av god kvalitet. På 20 frivilliga deltagare undersöktes tre områden: DIEP, samt perforanter lateralt på

framsidan av låren och sakralt. Undersökningen gjordes vid rumstemperatur, utan påförd köldstress. Hot spots'en markerade på termogrammen kontrollerades med bärbar Doppler-apparat för att registrera eventuellt pulseringsljud. Totalt lokaliserades 757 hot spots varav 732, dvs. 97%, bekräftades som perforanter med hjälp av Doppler. Gruppen kom fram till att studien stärker uppfattningen om att termografi kan utnyttjas för att pålitligt bestämma perforanternas belägenhet, och att även om metoden inte säger något om tredimensionell anatomi eller perforanternas riktning är det skäl att anta att de varmaste och största hot spots'en korrelerar med de lämpligaste perforanterna. Författarna kommenterar också DIRT och användning av köldstress, och konstaterar att de i denna studie effektivt klarat att lokalisera perforanterna utan behov för nedkyllning.

DT-angiografi anses som guldstandarden vid kartläggning av perforanter i samband med planering av DIEP-lambåer. I en studie från 2016 utvärderar Weum et al. DIRT som alternativ teknik till DT i detta syfte. (28) Studien inkluderade 25 patienter planerade för sekundär bröstrekonstruktion med fri DIEP-lambå. Perforanterna på nedre abdomen kartlades med DIRT, DT-angiografi och bärbar Doppler. Termografering genomfördes både före och efter köldstress som påfördes genom att blåsa rumstempererad luft över hudområdet med hjälp av en bordsfläkt. De första hot spots'en som dök upp utvärderades med hjälp av bärbar Doppler, och vid närvaro av ett arteriellt flödesljud på en hot spot markerades denna punkt på huden. Återuppvärmningsmönster och -hastighet av hot spots'en analyserades. DIRT visade variation i belägenhet, storlek och antal hot spots mellan patienterna, samt sidoskillnader i de enskilda lambåerna. Ett arteriellt Doppler-ljud hördes vid varje hot spot, och alla förstuppträdande hot spots motsvarade också en tydlig perforant i samma område på DT. Det observerades att hot spot'en i förhållande till DT alltid låg något lateralt om perforantens utgångspunkt genom fascian. Alla lambåer baserades på perforanten som valts med hjälp av DIRT, och även de intraoperativa kirurgiska fynden motsvarade den utvalda hot spot'en hos alla patienter. Det konstaterades att perforanter som väljs med hjälp av DIRT försörjer lambån med tillräcklig perfusion för bröstrekonstruktion med en DIEP-lambå, och att DIRT ger information om perforantens belägenhet och hemodynamik. Tekniken ansågs som ett lovande alternativ till DT-angiografi vid kartläggning av perforanter för bröstrekonstruktion med DIEP-lambå.

Xiao et al. jämförde termografi med färg-Doppler vid detektering av perforanter inför kirurgi med anterolateral lårlambå (ALT). (43) Studien, publicerad år 2020, inkluderade sammanlagt 20 antingen fria eller stjälkade ALT-lambåer. Vid preoperativ kartläggning av perforanter med färg-Doppler registrerades också hemodynamik samt tjockleken på det subkutana fettlagret i anterolateralområdet

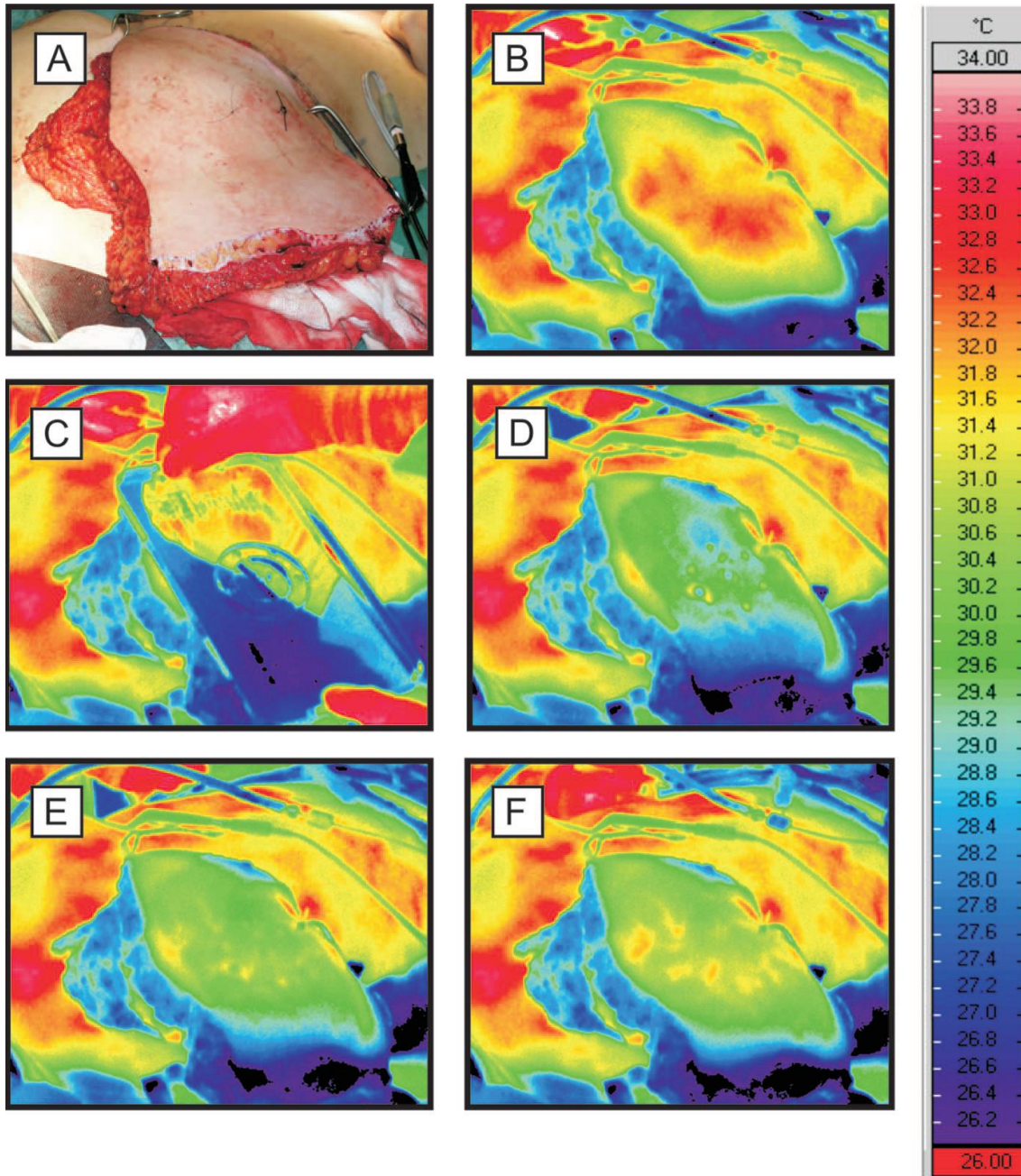
på låret. IR-bilder togs efter acklimatisering till rumstemperatur, utan efterföljande köldstress, och hot spots'en markerades. Intraoperativt jämfördes båda modaliteternas resultat med den egentliga belägenheten av perforanten. 53 perforanter detekterades med färg-Doppler, och 50 av de 51 hot spots som detekterats med termografi motsvarade i sin tur resultaten från färg-Doppler. Överensstämmelsen beräknades att vara god ($\kappa=0,712$) och det var ingen statistiskt signifikant skillnad mellan de två modaliteterna. Även här beskrivs den ideala modaliteten för kartläggning av perforanter som icke-invasiv, kostnadseffektiv, snabb, enkel och reproducerbar. Termografi fyller dessa kriterier i högre grad än Doppler som bland annat är en operatörsberoende teknik. Vidare konstaterades det att ju tjockare det subkutana fettlagret var desto större avstånd var det mellan hot spots'en och de motsvarande punkterna markerade med Doppler. Gruppen kom fram till att värmefotografering borde vara en väsentlig del av den preoperativa planeringen av lambåer och kan effektivt användas tillsammans med färg-Doppler, speciellt hos patienter med mindre underhudsfett.

År 2019 undersökte Steenackers et al. termografi i samband med en unilateral bröstrekonstruktion med DIEP-lambå för att se om metoden kunde vara ett nyttigt verktyg för pre- och intraoperativ visualisering av perfusion. (44,45) Den exakta belägenheten av de dominanta perforanterna skulle pekats ut, och intraoperativt skulle perforanternas individuella inverkan på lambån kartläggas. Preoperativt valdes två perforanter med hjälp av termografi, i tillägg togs DT-bilder för att bestämma belägenheten av kärnen. Trots att perforanter ofta liknar varandra på DT kan områdena de värmer upp på lambån vara olika stora. Gruppen kom fram till att värmefotografering ger nyttig tilläggsinformation om perforanterna i planeringsfasen.

Användning av DIRT på stjälkade TDAP- (thoracodorsal artery perforator) lambåer har det inte publicerats om förrän år 2020. Då undersökte Sjøberg et al. metodens användbarhet på 21 lambåer. (46) Preoperativ kartläggning av perforanter gjordes också med bärbar Doppler och DT-angiografi. Köldstress i samband med DIRT påfördes med hjälp av en bordsfläkt vid rumstemperatur. De först uppträdande hot spots'en på termogrammet motsvarade alla ett arteriellt Doppler-ljud. De utvalda hot spots'en visade sig motsvara de lämpliga perforanternas egentliga belägenhet, vilket bekräftades intraoperativt.

3.3 Termografi vid intraoperativ monitorering av perfusion

I en originalartikel av de Weerd et al. från 2006 (13) beskrivs intraoperativ registrering av hudtemperatur med hjälp av DIRT i samband med fri lambåkirurgi. I detta arbete påfördes köldstressen med hjälp av en metallplatta. Totalt tio patienter som skulle genomgå sekundär bröstrekonstruktion, sju av dessa med en fri DIEP- och tre med en fri SIEA-lambå, inkluderades i arbetet. Preoperativt togs det IR-bilder på abdomen både vid rumstemperatur och efter köldstress, och de arteriella perforantljuden lokaliserades med bärbar Doppler-apparat på nedre abdomen. IR-bilder togs vid olika faser under operationen: precis före och efter öppnande av kärklämman, vid fyra tillfällen efter en extra venös anastomosering samt vid tre tillfällen efter lokal köldstress (som illustrerat i Figur 10). Perforantljuden lokaliserades med Doppler också i slutet av operationen. I sex av tio lambåer skedde återuppvärmning och framträdande av hot spots snabbt efter att kärklämman öppnats. I två lambåer skedde detta långsamt, men orsaken kunde elimineras och reperfusion uppnås. Åtta operationer var alltså vällyckade, medan arteriell trombosbildning respektive skadad perforant var orsakerna till frånvarande återuppvärmning i två av lambåerna. Det visade sig att i varje lambå som överlevde, korrelerade belägenheten av den första hot spot'en som dök upp väl med det arteriella Doppler-ljudets läge, och det konstaterades att detta måste vara en perforant. Vidare var det tydligt att den information termografi kan ge kirurgen om reperfusion under fri lambåkirurgi är värdefull, och något som kan vara helt avgörande med tanke på lambåns överlevnad.



Figur 10

En fri DIEP-lambå.

A: efter lyckad anastomosering till de inre bröstkärlen, digitalt fotografi. B-F: DIRT i samband med köldstress. B innan huden kylts ned, C-F under och efter köldstress, tagna under 3 minuter. Hot spots dyker upp snabbt.

de Weerd et al., 2006. (13)

Artikeln om TDAP-lambåer av Sjøberg et al. behandlar också intraoperativ DIRT. (46) I tillägg till termografi bedömdes perfusionen i lambån med Doppler samt genom observation av kliniska tecken. För att påföra köldstress sköljdes ytan med rumstempererad saltlösning som sedan torkades av. Som nämnt i 3.2 bekräftades de utvalda perforanterna på tagstället. Efter dissekering förslöts de andra perforanterna med mikrokärklämna för att sedan utvärdera hudperfusionen i varje potentiell perforant var för sig. Utvärdering gjordes också efter transposition av lambån samt i slutet av operationen. Som regel var återuppvärmningsmönstret oförändrat efter transposition, men förångsammades något. Det observerades att eventuell förflyttning tillbaka till tagstället vid ett sådant tillfälle fick återuppvärmningen att öka igen, och vid upprepad omflyttning ökade perfusionen i lambån generellt. I tillfällen med försämrat arteriellt inflöde i kärlstjälken avslöjade DIRT och Doppler tillståndet innan kliniska tecken kunde observeras.

Kartläggning av enstaka perforanters försörjningsområden kan påverka vilka perforanter som blir valda vid intraoperativ utvärdering. Perforanten som försörjer det största området är det mest sannolika valet, men även diameter, graden av förgrening samt hur perforanten passerar den tvära magmuskeln är avgörande faktorer. Steenackers et al. konkluderade i sin studie (44,45) att identifiering av de bäst perfunderade, mest användbara delarna av lambån kan optimeras med hjälp av termografi, samt att det är ett gott hjälpmedel vid visualisering av de delar som potentiellt kommer att utveckla nekros.

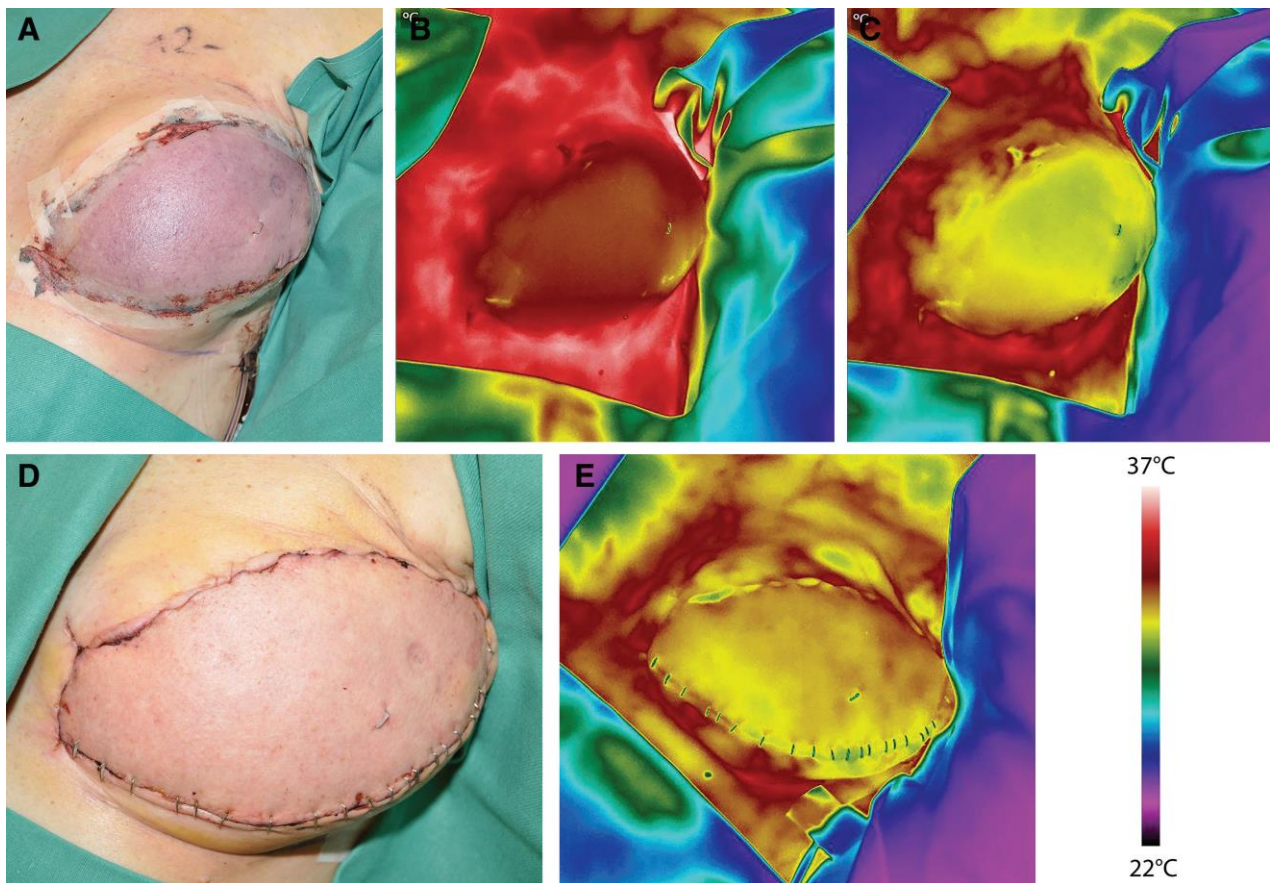
3.4 Postoperativt utnyttjande av termografi

År 2009 publicerades en artikel som behandlade monitorering av perfusionsdynamik i fria DIEP- och SIEA-lambåer med hjälp av DIRT under den första veckan efter sekundär autolog bröstrekonstruktion. (15) 16 DIEP- och 4 SIEA-lambåer inkluderades i studien av de Weerd et al. IR-bilder av abdomen togs preoperativt vid rumstemperatur och efter köldstress påfört genom att i två minuters tid blåsa luft över hudytan med en bordsfläkt. I slutet av operationen togs IR-bilder av alla lambåer. Under den postoperativa perioden övervakades lambåerna genom klinisk observation och med hjälp av bärbar Doppler-apparat samt DIRT vid dag 1, 3 och 6 efter operationen. Proceduren för fotografering och köldstress var densamma som preoperativt, och IR-bilder togs med jämna mellanrum för att registrera hastighet och mönster vid återuppvärmning. Alla DIEP-lambåer och de SIEA-lambåer som överlevde följde mönster med både hot spots och generell temperaturökning – efter

nedkylning bör återuppvärmningen starta vid kärlstjälkens ingångspunkt som är väldefinierad i båda lambåtyperna. Det konkluderades att perfusion i dessa lambåer är en dynamisk process, och återuppvärmning i dessa kan enkelt registreras och bedömas med hjälp av DIRT.

Cruz-Segura et al. undersökte termografi som ett postoperativt verktyg för tidig upptäckt av vaskulär obstruktion i mikrovaskulära lambåer. (47) I denna studie från 2019 inkluderades totalt 40 patienter planerade för fri lambåkirurgi. Sex olika typer av vävnadsflikar var representerade: 28 DIEP, 5 anterolaterala och 1 anteromedial lårlambå samt 1 fibula-, 2 scapula- och 3 radialislambåer. Patienterna undersöktes kliniskt, med Doppler och med värmekamera varje timme under de första 24 timmarna efter operationen, varannan timme under de nästa 24 timmarna och sedan var tredje timme fram till utskrivning. För termografering användes en liten värmekamera kopplad till smarttelefon. Venös obstruktion uppstod hos fem patienter, arteriell hos en patient. Fyra av lambåerna med vaskulär obstruktion kunde räddas, en utvecklade partiell nekros, och en förlorades. Det visade sig att obstruktion kan detekteras 2 - 12 timmar tidigare med hjälp av termografi än med kliniska metoder, och författarna konkluderade att en värmekamera kan vara ett värdefullt hjälpmedel för att upptäcka postoperativ vaskulär obstruktion i ett så tidigt skede som möjligt.

TDAP-lambåerna i studien av Sjøberg et al. övervakades postoperativt med hjälp av DIRT, Doppler och genom klinisk observation. (46) Lambån värmefotograferades dagarna 1, 2, 3 och 6 efter operationen. Två av lambåerna förlorades, dessa hade båda smala TDA (torakodorsalartärer) på de preoperativa DT-bilderna. Postoperativ DIRT visade förlångsammad återuppvärmning. Båda patienterna hade fått strålterapi under sin cancerbehandling. I tillfällen med blåaktig missfärgning på lambån, homogen återuppvärmning utan tydliga hot spots samt gradvis försvinnande arteriella Doppler-ljud var det alltid frågan om venös stockning. I Figur 11 har detta skett på grund av bröstimplantat, och tillståndet har korrigerats genom att avlägsna implantatet.



Figur 11

Venös stockning orsakad av bröstimplantat. Blåaktig lambå (A), jämn färg på termogrammet (B) och återuppvärmning utan hot spots efter köldstress (C). Normal färg på lambån (D) och synliga hot spots på termogrammet (E) efter avlägsnande av implantat.

Sjöberg et al., 2020. (46)

3.5 IR-kamera kopplad till smarttelefon

Man vet att termografi är tekniskt enkelt att genomföra, kamerorna är billiga att använda och att de förutom att ha blivit allt noggrannare också har blivit mindre. Ett intresse för även smarttelefonkopplade värmekameror har uppstått, då denna utrustning potentiellt kan fungera som ett mycket billigt och lättillgängligt hjälpmedel i kliniken. En artikel av Hardwicke et al. (48), publicerad år 2016, diskuterar användbarheten av en sådan liten värmekamera, kopplad till en mobilapplikation. IR-bilder på abdomen och lår togs på 10 frivilliga, vid rumstemperatur. Den kompakta värmekameran

hade lägre resolution och saknade förmågan att detektera väldigt små temperaturskillnader, men hot spots observerades och perforanter identifierades, vilket sedan underlättade Dopplerundersökningen. Under en primär bröstrekonstruktion med DIEP-lambå där perforanten valts med hjälp av DT-angiografi togs det också IR-bilder av lambån efter att den lyfts, för att identifiera området perforanten försörjer. I tillägg användes värmekameran som hjälpmedel vid klinisk monitorering av lambån efter operationen, något som mörkare hudfärg potentiellt kan försvåra. Ingen lambåförlust förekom. Det föreslås att en enkel värmekamera som denna kan suppleras andra metoder, och dessa borde kunna användas vid sidan av varandra såväl pre-, intra- som postoperativt.

Smarttelefonbaserad termografi utvärderas av Walle et al. i en artikel publicerad år 2018 (49). Studien inkluderade 13 fria DIEP-lambåer hos 10 patienter planerade för bröstrekonstruktion. Abdominala hot spots på de preoperativt tagna IR-bilderna analyserades och jämfördes med både preoperativ DT-angiografi och intraoperativa fynd. Alla perforanter som valts med hjälp av värmekamera bekräftades och blev också valda intraoperativt, i tillägg stämde alla överens med DT-bilderna. Termografi ansågs som pålitligt hos alla patienter, och metoden som enkel, billig och snabb att utföra. Som nackdel nämns oförmågan att ge information om kärlens förlopp och storlek.

3.6 Standardisering av DIRT

Studierna beskrivna ovan använder sig av varierande metoder och förhållanden i samband med termografering. Olikheter i utrustning och miljö som en svag punkt med tanke på försökens kvalitet och reproducerbarhet tas tag i av Thiessen et al. (50) som önskar standardisering av de olika komponenterna som spelar in vid DIRT. I sin år 2019 publicerade artikel kommer författarna med ett förslag till en sådan standardiserad mätning vid bröstrekonstruktion med DIEP-lambå, för att olika studier bättre skulle kunna jämföras med varandra. Kameratyper, ställning och mjukvara för analysering av data tas upp. Flera metoder för nedkylning utvärderades, och gruppen kom fram till att köldstress mest optimalt påförs genom att placera en steril påse fylld med isvatten ovanpå abdomen. Preoperativt tas en statisk bild före, och dynamisk mätning efter nedkylning. Under operationen görs mätningarna efter att perforanterna dissekerats: efter köldstress och utan kärklämningar, efter öppnande av kärklämman samt efter anastomosering av lambån. 1 - 2 dagar efter operationen tas en statisk bild, samt en dynamisk mätning efter köldstress. Författarna understryker behovet av bredare studier för att större slutsatser om denna lovande teknik ska kunna dras.

Året därpå (2020) publicerades Thiessen et al.'s studie där de hade använt sig av detta standardiserade system hos 21 patienter planerade för bröstrekonstruktion med DIEP-lambå. (51) Samma protokoll för termografering följdes såväl pre-, intra- som postoperativt. Av de 33 ursprungliga DIEP-lambåerna som inkluderades i studien konverterades en till en muskelsparande fri TRAM-lambå på grund av skadad perforant. Operationsresultatet var vällyckat hos alla, standardiserade protokollet för DIRT fungerade väl i alla faser utan att störa kirurgen. Återigen konkluderades det att DIRT är en lovande teknik, men flera större, randomiserade kontrollerade studier behövs i framtiden för att verkligen kunna bedöma både kliniskt resultat och kostnadseffektivitet.

4 Diskussion

Termografins kliniska tillämpningar har existerat och forskats på mer eller mindre i tiotal år, men tekniken har länge ansetts som något alternativt, generellt osäkert och endast ett kompletterande hjälpmedel. Under åren har det dock i ökande grad blivit mer godkänt, men det har tagit lång tid innan det rent praktiskt blivit ett potentiellt värdefullt verktyg i kliniken. Trots att värmefotografering efterhand funnit sin plats inom flera medicinska och kirurgiska specialiteter är inte lambåplastik något speciellt synligt användningsområde. Per i dag har det dock publicerats några systematiska review-artiklar inom temat, och detta tyder på att det får uppmärksamhet och väcker intresse då forskningsvolymen småningom ökar.

Lambåkirurgi är utan tvekan en av de viktigaste teknikerna inom modern plastik- och rekonstruktiv kirurgi, och utveckling pågår konstant. Själva principen bakom användning av vävnadsflikar för att reparera skador och defekter på kroppen är långt ifrån ny och uppfanns ursprungligen för tusentals år sedan. (29) Dagens lambåkirurgi har genomgått en stor transformation under bara några årtionden, och enorma framsteg har gjorts under den tiden. Bland annat kan flikarna skördas allt tunnare, och mer exakt kunskap om anatomi och blodförsörjning har möjliggjort nya slags tillämpningar. Att termografi kan framstå som ett "för enkelt" verktyg i ett sådant syfte är en trovärdig förklaring på varför det tagit så pass lång tid att öka intresset för tekniken.

4.1 För- och nackdelar med termografi

Vid ny forskning som gett lovande resultat ser man gärna för sig att det hittats något närmast optimalt, eller åtminstone bättre än det gamla, men som alla avbildningstekniker som utnyttjas vid lambåplastik har också termografi sina brister. Styrkorna, jämfört med andra metoder, är uppenbara: temperaturmätningen är en beröringsfri och icke-invasiv procedur som ger värdefull information om vävnadsperfusion såväl pre-, intra- som postoperativt, utrustningen är billig, genomförandet är snabbt och enkelt samt tryggt för patienten då hen inte utsätts för varken joniserande strålning eller kontrastämne. Bland annat har forskning tydligt visat termografins värde som ett gott alternativ till DT-angiografi vid preoperativ planering av lambåer (17,28), vilket är en beaktansvärd

upptäckt också med tanke på kostnadseffektivitet. Det är givetvis en stor fördel att kunna utnyttja en teknik där klinisk nytta inte behöver vägas mot eventuell risk. En perforantlambås perfusion är fullständigt beroende av den ena bestämda perforanten som går in i lambån vid en väldefinierad ingångspunkt, och vid DIRT elimineras andra potentiella källor för ökad värmestrålning.

Termografi som teknik saknar förmågan att förmedla viss typ av exakt information – temperaturmätning är en indirekt metod för registrering av vävnadsperfusion och säger ingenting om morfologi, i motsats till DT-angiografi som bland annat anses som guldstandarden vid preoperativ identifiering av perforanter vid lambåplastik. Man har ändå konstaterat att hudtemperatur väl korrelerar med perfusion, och att DIRT är ett gott hjälpmedel i såväl planeringsfasen av som under och efter fri lambåkirurgi. Adekvat vävnadsperfusion är helt essentiellt vid lambåkirurgi och en förutsättning för en lyckad operation.

4.2 Med eller utan köldstress?

Det har använts isvatten, tunga behållare och diverse kontaktkrävande metoder med i vissa fall onödigt stor temperaturändring för att registrera återuppvärmningsmönstret i lambån med hjälp av DIRT. Det är naturligt att detta kan upplevas som obehagligt. Diskussionen om eventuellt obehag i samband med köldstress är dock i dagens läge irrelevant, eftersom tillräcklig nedkylningseffekt uppnås redan genom att blåsa rumstempererad luft över hudområdet. Termisk stress i samband med termografering diskuteras ändå fortfarande, trots att dess värde bevisats, då standardisering av nedkylningen har setts som ett potentiellt problem. (50) En bordsfläkt har dock upprepade gånger visat sig vara ett tillräckligt verktyg, och då sker hela processen beröringsfritt. (15,17,27,28) Fördelen med DIRT jämfört med statisk termografi är utan tvekan att temperaturskillnaden ger upphov till tydligare registrerbara ändringar, då processen är dynamisk och särskilt återuppvärmningsmönstret av hot spots'en av betydning. Perforanterna "tävlar" med varandra för att värma upp den nedkylda lambån, och den bästa kan väljas baserat på dess hot spot. Information fås om de enstaka perforanters egenskaper utan att mätningen påverkas av till exempel metabolism.

4.3 Effektivitet på flera nivåer

Perforanter kan kartläggas och den lämpligaste av dem väljas pålitligt baserat på värmefotografering, och preoperativt val av perforant i stället för att fatta beslutet intraoperativt sparar också värdefull operationstid. (41) Perfusionen i lambån kan med hjälp av termografi övervakas under operationen, och kirurgen får då realtidsinformation om blodcirkulationen vilket kan vara avgörande för lambåns överlevnad. Man vet i dag att återuppvärmningen av lambån är en dynamisk process där termografisk monitorering kan spela en viktig roll. (15) Förutom att ha god kunskap om vaskulär anatomi och fysiologiska mekanismer är det en fördel att förstå denna process med sina tidsaspekter. En värmekamera ger objektiv information om vaskulär fysiologi, och kan lätt tas i bruk utan krav till specialkompetens.

Användning av termografi kan i alla faser också ses på ur en ekonomisk synvinkel. En eventuell postoperativ komplikation i form av vaskulär obstruktion bör kunna upptäckas så tidigt som möjligt för att maximera lambåns chans att överleva, och ju mindre lambåförlust med behov för reoperation, desto högre kostnadseffektivitet. Termografins värde som hjälpmedel vid såväl intra- som postoperativ övervakning av återuppvärmning är tydlig, då fallgropen vid klinisk observation är dess subjektivitet. Alla användningsområden är således värdefulla med tanke på operationsresultat och det praktiska, men också en fördel på samhällsnivå då dessa tillämpningar potentiellt sänker utgifterna i hälsovården.

4.4 Styrkor, svagheter och utmaningar med uppsatsen

En potentiell utmaning med en uppsats som denna är uppenbart den begränsade mängden litteratur, eftersom en litteraturstudie gärna startar med ett brett urval av material, trots att området sedan också bör begränsas noggrant. Det var i detta fall inte ändamålsenligt att ens definiera några absoluta inklusions- och exklusionskriterier innan det setts på sökresultaten, inte heller aktivera några filter vid sökning i databasen, men i stället sträva efter att manuellt plocka ut det mest relevanta. Å andra sidan kan det också ha sina styrkor att ämnet är nytt, utvecklingskurvan brant och helt ny kunskap fås på ett annat sätt än inom speciellt välkända och stora forskningsfält. Det är i högsta grad positivt att faktiskt kunna bläddra igenom det mesta. Att litteraturstudie valdes som metod var i detta fall en självklarhet med tanke på genomförbarhet.

Detaljerad sökning ger få träffar, och mängden forskning kring termografins kliniska tillämpningar och utnyttjande vid lambåkirurgi är helt enkelt relativt liten. Det är värt att påpeka att flera av de för uppsatsen aktuella artiklarna också är publikationer där handledarna medverkat i. Ämnet är i kärnan av just deras forskningsområde, och eftersom båda också doktorerat i temat har deras avhandlingar varit till stor hjälp och en god utgångspunkt vid litteratursökning och för att komma i gång med projektet.

Den totala volymen av forskning per i dag är de facto inte stor, men givetvis inte heller hanterbar för att gås igenom noga i sin helhet. Den klassiska fallgropen är att man eventuellt överser något mycket relevant, vilket sedan förskjuter konklusionerna i fel riktning. Det kunde utan tvekan ha tagits med fler artiklar än det som till slut var realistiskt under projektet, i synnerhet tidsmässigt. Handledare som innehar bred kunskap och erfarenhet inom området i fråga – något jag under mitt arbete varit väldigt tacksam för att ha – kan dock ses som en styrka här, och en märkbar resurs för att undvika sådana fallgropar, jämfört med att jobba under handledning på mer generell nivå.

Man utgår vanligtvis ifrån att ställa specifika inklusions- och exklusionskriterier för att kunna begränsa en ofta enorm mängd litteratur till ett tillräckligt klart och väldefinierat område. I motsats till detta kan antalet träffar vid precis litteratursökning kan bli ett problem om forskningsvolymen är mindre. Att i stället gå igenom något fler artiklar och välja av dessa kan vara en fallgrop men lika gärna en möjlighet, och är vad som gjorts här. Vilka artiklar som togs med, och varför den ena togs med medan den andra gallrades bort, är alltid ett val som bör kunna motiveras. Av samma orsak har uppgiften varit intressant och givande att jobba med, då detta bjuder på en möjlighet att sätta sig in i temat och se på det lite bredare för att få en helhetsuppfattning om ämnesområdet, också delvis utanför det som anses som relevant att skriva om. Redan val av ett fortfarande relativt nytt forskningsfält som tema kan vara en resurs då det vidare möjliggör val av en problemställning som uppenbart få masteruppsatser sett på. Då hittar man inte mängder av potentiella färdiga, inte heller populärvetenskapliga, svar på sin problemställning direkt vid informationssökning. Vilken typ av uppsats och metod som väljs beror naturligtvis på materialet tillhanda, vilket sätt att samla in data är realistiskt – i synnerhet tidsmässigt – samt vilka krav detta ställer till genomföring av projektet.

Det har tidvis varit svårt att hitta lämpliga översättningar till engelskspråkiga fackuttryck och därmed något problematiskt att säkra korrekt användning av svensk terminologi. Resultatet blev språkmässigt lyckat till slut, men uppgiften var relativt tidsödande.

5 Konklusion

Trots att man sedan länge haft kunskap om termografi, och tekniken blivit ett väletablerat hjälpmedel inom flera medicinska och kirurgiska specialiteter, har inte värmefotografering lyckats uppnå status som standardverktyg inom plastik- och rekonstruktiv kirurgi än. Tekniken är möjligtvis rentav för enkel för att övertyga allmänheten, men allt ivrigare forskning pågår.

Theuvenet's pionjärbete för 35 år sedan resulterade inte i några kliniska tillämpningar, inte heller det Itoh och Arai publicerade cirka 10 år senare. Efter en lång tyst tidsperiod ökade publiceringsaktiviteten, och småningom började termografi tas på allvar i den grad att dess användbarhet också började jämföras med andra avbildningstekniker i samband med lambåplastik – numera med fokus på perforantlambåer. Intresset för termografi är utan tvekan ökande inom denna specialitet, och i och med att just perforantlambåer i dag är i kärnan av modern plastik- och rekonstruktiv kirurgi, har det uppstått ett behov för ett pålitligt verktyg för planering av lambåer. Då termografi inte utsätter patienten för strålning eller ett potentiellt allergent kontrastämne är det av intresse att vidareutveckla kunskapen om tekniken och graden av dess pålitlighet.

En värmekamera kan lätt användas av så gott som vem som helst, och ingen specialkunskap vad gäller varken teknisk rutin eller tolkning behövs. Mätningarna är entydiga, och termografi kan utnyttjas vidare såväl intra- som postoperativt för att monitorera perfusion och lambåns överlevnad. Postoperativ monitorering har traditionellt betytt klinisk observation, något som alltid påverkas av ens tolkning och grad av erfarenhet.

Termografi ger indirekt information om vävnadsperfusion, och det är således naturligt att ifrågasätta dess pålitlighet. Å andra sidan, när det ses en reell möjlighet att till och med sänka kostnaderna inom hälsovården – något som givetvis gagnar hela samhället – är det till följd av lovande forskningsresultat också av intresse att fortsätta undersöka verktygets potential och utveckla det vidare, och detta förutsätter grundlig forskning. Så länge forskningsvolymen är begränsad är det svårt att nå ordentligt fram, men grunden till även detta skapas av fortlöpande utvecklingsarbete och forskning av god kvalitet.

Källförteckning

1. Ring EFJ. The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Phys Technol*. 01 januari 2007;49(3):297–301.
2. Carpentier M-H, Smith BL, Gaussorgues G. *Infrared Thermography* [Internet]. Dordrecht, NETHERLANDS, THE: Springer Netherlands; 1994 [citerad 22 februari 2021]. Tillgänglig vid: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tromsoub-ebooks/detail.action?docID=3109028>
3. infraröd strålning - Uppslagsverk - NE.se [Internet]. [citerad 22 februari 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/infrar%C3%B6d-str%C3%A5lning>
4. Image Inspection Future Lab Vol.1 | Our Image Inspection Newspaper Provides Information on Current Image Processing Inspection Trends | ViSCO Technologies Corporation [Internet]. [citerad 01 mars 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.visco-tech.com/english/newspaper/vol12/detail03/>
5. Meola C. *Infrared Thermography: Recent Advances And Future Trends* [Internet]. SAIF Zone, UNITED ARAB EMIRATES: Bentham Science Publishers; 2012 [citerad 23 februari 2021]. Tillgänglig vid: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tromsoub-ebooks/detail.action?docID=1046406>
6. Pereira CB, Yu X, Dahlmanns S, Blazek V, Leonhardt S, Teichmann D. *Infrared Thermography. I: Abreu de Souza M, Remigio Gamba H, Pedrini H, redaktörer. Multi-Modality Imaging: Applications and Computational Techniques* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [citerad 07 april 2021]. s. 1–30. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/978-3-319-98974-7_1
7. Monje-Arenas L, Pérez-Mallada N. *Medical Thermography. I: Pasquali P, redaktör. Photography in Clinical Medicine* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [citerad 06 april 2021]. s. 515–26. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/978-3-030-24544-3_30
8. Ring FJ. *Skin Thermal Imaging. I: Humbert P, Fanian F, Maibach HI, Agache P, redaktörer. Agache's Measuring the Skin: Non-invasive Investigations, Physiology, Normal Constants* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2017 [citerad 11 maj 2021]. s. 1303–10. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32383-1_73
9. Wilson SB, Spence VA. Dynamic thermographic imaging method for quantifying dermal perfusion: potential and limitations. *Med Biol Eng Comput*. 01 september 1989;27(5):496–501.
10. Wilson SB, Spence VA. A tissue heat transfer model for relating dynamic skin temperature changes to physiological parameters. *Phys Med Biol*. 01 augusti 1988;33(8):895.
11. Shcherbakov AB, Koreneva LG, Markov AG. [A study of Raynaud's syndrome using dynamic infrared thermography]. *Revmatol Mosc Russ*. juni 1990;(2):7–11.
12. Campbell PA, Cresswell AB, Frank TG, Cuschieri A. Real-time thermography during energized vessel sealing and dissection. *Surg Endosc Interv Tech*. 01 oktober 2003;17(10):1640–5.
13. de Weerd L, Mercer JB, Setså LB. Intraoperative Dynamic Infrared Thermography and Free-Flap Surgery. *Ann Plast Surg*. september 2006;57(3):279–84.

14. Meknas K, Odden-Miland Å, Mercer JB, Castillejo M, Johansen O. Radiofrequency Microtenotomy: A Promising Method for Treatment of Recalcitrant Lateral Epicondylitis. *Am J Sports Med.* 01 oktober 2008;36(10):1960–5.
15. de Weerd L, Miland ÅO, Mercer JB. Perfusion Dynamics of Free DIEP and SIEA Flaps During the First Postoperative Week Monitored With Dynamic Infrared Thermography. *Ann Plast Surg.* januari 2009;62(1):42–7.
16. Whitaker IS, Lie KH, Rozen WM, Chubb D, Ashton MW. Dynamic infrared thermography for the preoperative planning of microsurgical breast reconstruction: A comparison with CTA. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 01 januari 2012;65(1):130–2.
17. de Weerd L, Weum S, Mercer JB. The Value of Dynamic Infrared Thermography (DIRT) in Perforator Selection and Planning of Free DIEP Flaps. *Ann Plast Surg.* september 2009;63(3):274–9.
18. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Phys Technol.* juli 2012;55(4):221–35.
19. Kauhanen S, Kolehmainen M. Perforant- och propellerlambåer; en ny gammal metod inom plastikkirurgin. *Fin Läkaresällskapets Handl.* 2008;6.
20. Minas Chrysopoulou M | SA, Friday J 12, MoreAddThis51 ASB to F to T to L to. What's the difference between reconstructive and cosmetic procedures? [Internet]. American Society of Plastic Surgeons. [citerad 07 april 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.plasticsurgery.org/news/blog/whats-the-difference-between-reconstructive-and-cosmetic-procedures>
21. Harbo S. rekonstruktiv kirurgi. I: Store medisinske leksikon [Internet]. 2019 [citerad 02 mars 2021]. Tillgänglig vid: http://sml.sn.no/rekonstruktiv_kirurgi
22. Simman R. Wound Closure and the Reconstructive Ladder in Plastic Surgery. *J Am Coll Certif Wound Spec.* 01 maj 2009;1(1):6–11.
23. Buchanan PJ, Kung TA, Cederna PS. Evidence-Based Medicine: Wound Closure. *Plast Reconstr Surg.* september 2016;138(3S):257S.
24. Flaps | DermNet NZ [Internet]. [citerad 11 maj 2021]. Tillgänglig vid: <https://dermnetnz.org/topics/flaps/>
25. Tissue Flaps: Classification and Principles: Classification and Principles of Flap Surgery, Flap History and Classification, Principle I: Replace Like With Like. 15 mars 2021 [citerad 01 april 2021]; Tillgänglig vid: <https://emedicine.medscape.com/article/1284474-overview>
26. Kirurgisk vävnadsflik | Svensk MeSH [Internet]. [citerad 01 april 2021]. Tillgänglig vid: <https://mesh.kib.ki.se/term/D013524/surgical-flaps>
27. de Weerd L, Mercer JB, Weum S. Dynamic Infrared Thermography. *Clin Plast Surg.* 01 april 2011;38(2):277–92.
28. Weum S, Mercer JB, de Weerd L. Evaluation of dynamic infrared thermography as an alternative to CT angiography for perforator mapping in breast reconstruction: a clinical study. *BMC Med Imaging* [Internet]. 15 juli 2016 [citerad 12 april 2021];16(43). Tillgänglig vid: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4947300/>

29. Santoni-Rugiu P, Sykes PJ, redaktörer. *Skin Flaps. I: A History of Plastic Surgery* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer; 2007 [citerad 03 maj 2021]. s. 79–119. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/978-3-540-46241-5_3
30. Manchot C. *The Cutaneous Arteries of the Human Body* [Internet]. New York, NY: Springer New York; 1983 [citerad 31 maj 2021]. Tillgänglig vid: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4613-8221-8>
31. Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Br J Plast Surg*. 01 mars 1987;40(2):113–41.
32. Milton SH. Pedicled skin-flaps: The fallacy of the length: Width ratio. *BJs Br J Surg*. 1970;57(7):502–8.
33. Hodges A. *Flap. I: A-Z of Plastic Surgery* [Internet]. Oxford University Press; 2008 [citerad 03 maj 2021]. Tillgänglig vid: <http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199546572.001.0001/acref-9780199546572-e-0418>
34. Mathes SJ, Nahai F. Classification of the Vascular Anatomy of Muscles: Experimental and Clinical Correlation. *Plast Reconstr Surg*. februari 1981;67(2):177–87.
35. Hou C, Chang S, Lin J, Song D. Anatomy, Classification, and Nomenclature. I: Hou C, Chang S, Lin J, Song D, redaktörer. *Surgical Atlas of Perforator Flaps: A Microsurgical Dissection Technique* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2015 [citerad 10 maj 2021]. s. 5–11. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9834-1_2
36. Koshima I, Soeda S. Inferior epigastric artery skin flaps without rectus abdominis muscle. *Br J Plast Surg*. 01 november 1989;42(6):645–8.
37. Hou C, Chang S, Lin J, Song D. A Brief History of Perforator Flaps. I: Hou C, Chang S, Lin J, Song D, redaktörer. *Surgical Atlas of Perforator Flaps: A Microsurgical Dissection Technique* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2015 [citerad 05 maj 2021]. s. 1–4. Tillgänglig vid: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9834-1_1
38. Theuvenet WJ, Koeyers GF, Borghouts MH. Thermographic assessment of perforating arteries. A preoperative screening method for fasciocutaneous and musculocutaneous flaps. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1986;20(1):25–9.
39. Itoh Y, Arai K. Use of recovery-enhanced thermography to localize cutaneous perforators. *Ann Plast Surg*. maj 1995;34(5):507–11.
40. Salmi AM, Tukiainen E, Asko-Seljavaara S. Thermographic mapping of perforators and skin blood flow in the free transverse rectus abdominis musculocutaneous flap. *Ann Plast Surg*. augusti 1995;35(2):159–64.
41. Tenorio X, Mahajan AL, Elias B, van Riepst JS, Wettstein R, Harder Y, m.fl. Locating Perforator Vessels by Dynamic Infrared Imaging and Flow Doppler With No Thermal Cold Challenge. *Ann Plast Surg*. augusti 2011;67(2):143–6.
42. Sheena Y, Jennison T, Hardwicke JT, Titley OG. Detection of Perforators Using Thermal Imaging. *Plast Reconstr Surg*. december 2013;132(6):1603–10.

43. Xiao W, Li K, Kiu-Huen NG S, Feng S, Zhou H, Nicoli F, m.fl. A Prospective Comparative Study of Color Doppler Ultrasound and Infrared Thermography in the Detection of Perforators for Anterolateral Thigh Flaps. *Ann Plast Surg.* maj 2020;84(5S):S190.
44. Steenackers G, Verstockt J, Cloostermans B, Thiessen F, Ribbens B, Tjalma W. Infrared Thermography for DIEP Flap Breast Reconstruction Part I: Measurements †. *Proceedings.* 2019;27(1):48.
45. Steenackers G, Cloostermans B, Thiessen F, Dirx Y, Verstockt J, Ribbens B, m.fl. Infrared Thermography for DIEP Flap Breast Reconstruction Part II: Analysis of the Results. *Proceedings.* 2019;27(1):49.
46. Sjøberg T, Mercer JB, Weum S, de Weerd L. The Value of Dynamic Infrared Thermography in Pedicled Thoracodorsal Artery Perforator Flap Surgery. *Plast Reconstr Surg Glob Open* [Internet]. 15 juli 2020 [citerad 15 maj 2021];8(7). Tillgänglig vid: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7413795/>
47. Cruz-Segura A, Cruz-Domínguez MP, Jara LJ, Miliar-García Á, Hernández-Soler A, Grajeda-López P, m.fl. Early Detection of Vascular Obstruction in Microvascular Flaps Using a Thermographic Camera. *J Reconstr Microsurg.* september 2019;35(07):541–8.
48. Hardwicke JT, Osmani O, Skillman JM. Detection of Perforators Using Smartphone Thermal Imaging. *Plast Reconstr Surg.* januari 2016;137(1):39–41.
49. Walle L, Fansa H, Frerichs O. Die Smartphone-basierte Thermographie zur Lokalisation von Perforatoren bei der mikrovaskulären Brustrekonstruktion. *Handchir · Mikrochir · Plast Chir.* april 2018;50(02):111–7.
50. Thiessen FEF, Tondu T, Vermeersch N, Cloostermans B, Lundahl R, Ribbens B, m.fl. Dynamic infrared thermography (DIRT) in Deep Inferior Epigastric Perforator (DIEP) flap breast reconstruction: standardization of the measurement set-up. *Gland Surg.* december 2019;8(6):799–805.
51. Thiessen FEF, Vermeersch N, Tondu T, Van Thielen J, Vrints I, Berzenji L, m.fl. Dynamic Infrared Thermography (DIRT) in DIEP flap breast reconstruction: A clinical study with a standardized measurement setup. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* september 2020;252:166–73.

År	Författare	Tidskrift	Deltagare och / eller procedur	Syfte (pre- / intra- / postoperativt) och ev. kliniskt resultat
1986	Theuvenet et al.	Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery	4 lik, 16 frivilliga	Pre
1995	Itoh och Arai	Annals of Plastic Surgery	12 frivilliga 1 lat. dorsi -lambå 1 paraumb. lambå	Pre Alla vällyckade
1995	Salmi et al.	Annals of Plastic Surgery	8 TRAM-lambåer	Intra, post Ingen lambåförlust
2006	de Weerd et al.	Annals of Plastic Surgery	7 DIEP-lambåer 3 SIEA-lambåer	Intra 8/10 vällyckade
2009	de Weerd et al.	Annals of Plastic Surgery	16 DIEP-lambåer 4 SIEA-lambåer	Post Alla DIEP överlevde 1 förlorad SIEA
2009	de Weerd et al.	Annals of Plastic Surgery	23 DIEP-lambåer	Pre Alla vällyckade
2011	Tenorio et al.	Annals of Plastic Surgery	10 DIEP-lambåer 6 fibulalambåer	Pre Alla vällyckade
2012	Whitaker et al.	Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery	1 DIEP-lambå	Pre Vällyckad
2013	Sheena et al.	Plastic and Reconstructive Surgery	20 frivilliga	Pre
2016	Hardwicke et al.	Plastic and Reconstructive Surgery	10 frivilliga 1 DIEP-lambå	Pre, intra, post Ingen lambåförlust
2016	Weum et al.	BMC Medical Imaging	25 DIEP-lambåer	Pre 24/25 vällyckade
2018	Walle et al.	Handchirurgie – Mikrochirurgie – Plastische Chirurgie	13 DIEP-lambåer	Pre Alla vällyckade
2019	Cruz-Segura et al.	Journal of Reconstructive Microsurgery	28 DIEP-, 5 ALT-, 1 AMT-, 1 fibula-, 2 scapula-, 3 radialislambåer	Post 1 total förlust
2019	Thiessen et al.	Gland Surgery		<i>Förslag till standardiserad DIRT</i>
2019	Steenackers et al.	Proceedings (2 delartiklar)	1 DIEP-lambå	Pre, intra
2020	Xiao et al.	Annals of Plastic Surgery	20 ALT-lambåer	Pre
2020	Sjøberg et al.	Plastic and Reconstructive Surgery Global Open	21 TDAP-lambåer	Pre, intra, post 3 partiella nekroser 2 förlorade
2020	Thiessen et al.	European Journal of Gynecology & Obstetrics and Reproductive Biology	32 DIEP-lambåer 1 TRAM-lambå	Alla vällyckade 1/33 urspr. DIEP konvert. till TRAM

Artikelöversikt. Kronologisk översikt över inkluderade artiklar.

Mål	Material och metod	Resultat	Diskussion / kommentarer
Undersöka om dynamisk infraröd termografi (DIRT) kan fungera som ett hjälpmedel vid övervakning av reperfusion under rekonstruktiv kirurgi med fria lambåer	<p>10 patienter, medelålder 49.5 år (34–59 år)</p> <p>Gjennomsn. kroppsmasseindex 25.3 kg/m² (20.2–30.5 kg/m²)</p> <p>Alla patienter planerade för sekundär bröstrekonstruktion med fri DIEP- eller SIEA-lambå.</p> <p>Köldstress: metallplatta</p> <p>Preoperativt togs IR-bilder på abdomen vid rumstemperatur och efter köldstress, arteriella perforantljud lokaliserades med bärbar Doppler-apparat på nedre abdomen.</p> <p>Intraoperativa IR-bilder togs vid olika faser: precis före och efter öppnande av kärlklämman, vid fyra tillfällen efter en extra venös anastomosering samt vid tre tillfällen efter lokal köldstress.</p> <p>Perforantljuden lokaliserades med Doppler också i slutet av operationen.</p>	<p>I sex av tio lambåer skedde återuppvärmning och framträdande av hot spots snabbt efter att kärlklämman öppnats.</p> <p>I två lambåer skedde återuppvärmning långsammare och mindre tydligt. Den kliniska bedömningen var att lambåerna var dåligt perfunderade. Orsakerna var extern kompression och kärlvidring. Båda orsakerna kunde elimineras och reperfusion uppnåddes.</p> <p>Två lambåer visade ingen återuppvärmning alls efter öppnande av kärlklämman, en pga. intimalesion som orsakat arteriell propp, den andra pga. skadad perforant.</p> <p>Totalt 8/10 välyckade</p> <p>I varje lambå som överlevde korrelerade belägenheten av den första hot spot'en som dök upp med det arteriella Doppler-ljudets läge.</p>	<p>Var forskningsfrågan välformulerad? Ja</p> <p>Var studiedesignen tydlig? Ja</p> <p>Var studiens kontext klar? Ja</p> <p>Var studien kopplad till en teoretisk ram? Ja</p> <p>Är val av population beskrivet, relevant och motiverat? Ja</p> <p>Är datainsamlingen tydligt beskriven och systematisk? Ja</p> <p>Motsvarar konklusionerna resultaten? Ja</p> <p>Refererar författarna till annan litteratur som förstärker / försvagar resultaten? Ja</p>
Konklusion			
Dynamisk infraröd termografi ger värdefull information om reperfusion i lambån under fri lambåkirurgi.			
Land			
Norge			
År			
2006			

Referens: de Weerd L, Weum S, Mercer JB. The Value of Dynamic Infrared Thermography (DIRT) in Perforator Selection and Planning of Free DIEP Flaps. Ann Plast Surg. 2009;63(3):274–9.		Design: Deskr. klinisk studie
Mål	Material och metod	GRADE
Konklusion	Resultat	Diskussion / kommentarer
<p>Utvärdera dynamisk infraröd termografi som ett hjälpmedel vid preoperativt val av perforanter inför kirurgi med DIEP-lambåer</p>	<p>27 patienter, medelålder 50 år (34–65 år), genomsn. kroppsmasseindex 26.2 kg/m² (20.2–36.4 kg/m²).</p> <p>Alla patienter var planerade för sekundär bröstrekonstruktion med fri DIEP- eller SIEA-lambå.</p> <p>Perforanterna kartlades preoperativt med bärbar Doppler och DIRT, och med multidetektor datortomografi (MDCT) hos de åtta sista patienterna. Köldstress vid DIRT: rumstempererad luft blåstes över abdomen i 2 min med en bordsfläkt. IR-bilder togs före och efter nedkylning. Hastighet och mönster för återuppvärmning registrerades. Perforanten uppfyllde kriterierna ifall dess läge inte var på kanten av lambån, dess hot spot dök upp snabbt, och hot spot'ens belägenhet motsvarade ett arteriellt Doppler-ljud.</p>	<p>++</p>
<p>DIRT underlättar val av perforanter vid planering av DIEP-lambåkirurgi. Tekniken är icke-invasiv och lättanvänd.</p>	<p>Hos alla patienter med DIEP-lambå var perforanten som valts med hjälp av DIRT lämplig.</p> <p>Alla MDCT-kartlagda lambåer var av typen DIEP, och resultatet från termografering och datortomografi stämde väl överens.</p> <p>Det observerades stor individuell variation i perforanters belägenhet, samt sidoskillnader i de enstaka lambåerna, och DIEP- och SIEA-lambåer hade olika återuppvärmningsmönster.</p> <p>DIRT var tekniskt lättanvänt och underlättade utväjlning av perforanter och planering av DIEP-lambåer.</p> <p>Alla lambåer överlevde, partiell nekros i 3 stycken.</p>	<p>Var forskningsfrågan välformulerad? Ja Var studiedesignen tydlig? Ja Var studiens kontext klar? Ja Var studien kopplad till en teoretisk ram? Ja Är val av population beskrivet, relevant och motiverat? Ja Är datainsamlingen tydligt beskriven och systematisk? Ja Motsvarar konklusionerna resultaten? Ja Refererar författarna till annan litteratur som förstärker / försvagar resultaten? Ja</p>
Land		
Norge		
År		
2009		

Referens: Whitaker IS, Lie KH, Rozen WM, Chubb D, Ashton MW. Dynamic infrared thermography for the preoperative planning of microsurgical breast reconstruction: A comparison with CTA. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2012;65(1):130–2.		Design: Fallrapport	
Mål	Material och metod	Resultat	Diskussion / kommentarer
Jämföra dynamisk infraröd termografi med DT-angiografi som preoperativt verktyg vid kartläggning av perforanter inför bröstrekonstruktion med DIEP-lambå.	Kaukasisk kvinna på 41 år, planerad för bilateral bröstrekonstruktion med DIEP-lambå. Perforant lokaliserades preoperativt med DT-angiografi Termografi efter köldstress (kallt vatten, 10 min)	På högra sidan på termogrammet tydlig hot spot, motsvarande DT. Termogrammet visade inga hot spots på vänstra sidan, och operationen blev en unilateral rekonstruktion i stället, med lambå av högra hemiabdomen. Det andra bröstet skulle rekonstrueras med implantat vid en senare tidpunkt. Lambåplastik okomplicerad och vällyckad, patient utskrivnen på dag 5.	Var forskningsfrågan välformulerad? Ja Var studiedesignen tydlig? Ja Var studiens kontext klar? Var studien kopplad till en teoretisk ram? Är val av population beskrivet, relevant och motiverat? - Är datainsamlingen tydligt beskriven och systematisk? - Motsvarar konklusionerna resultaten? Ja Refererar författarna till annan litteratur som förstärker / försvagar resultaten? Nej? Fallrapport på 1 patient, därmed mycket låg evidensnivå. Bristfälliga referenser.
Konklusion			
Jämfört med DT är DIRT överlägset ekonomiskt, tidsmässigt och mtp säkerhet, men detekterar varken storlek eller riktning på perforanterna. De kliniskt signifikanta kärlen visas. Lovande, men mer studier krävs.			
Land			
Australien			
År			
2012			

Referens: Weum S, Mercer JB, de Weerd L. Evaluation of dynamic infrared thermography as an alternative to CT angiography for perforator mapping in breast reconstruction: a clinical study. BMC Med Imaging. 2016;16(43).			Design: Deskr. klinisk studie
			GRADE
			++
Mål	Material och metod	Resultat	Diskussion / kommentarer
<p>Utvärdera DIRT som ett alternativ till dagens guldstandard DT-angiografi vid kartläggning av perforanter.</p> <p>Konklusion</p> <p>DIRT är ett lovande alternativ till DT-angiografi för preoperativ kartläggning av perforanter vid bröstrekonstruktion med DIEP-lambå</p>	<p>25 patienter planerade för sekundär bröstrekonstruktion med DIEP-lambå.</p> <p>Medelålder 57 år (38-69)</p> <p>Genomsn. KMI 27.2kg/m2 (21.6-32.4)</p> <p>Preoperativ undersökning av nedre abdomen med Doppler, DIRT and DT-angiografi.</p> <p>Arteriella Doppler-ljud markerades på huden. DIRT efter påförd köldstress vid rumstemperatur med bordsfläkt.</p> <p>Hot spots på DIRT jämfördes med Doppler-ljudens läge. Hot spots'ens hastighet och återuppvärmningsmönster analyserades. Alla lambåer baserades på perforanter som valts med hjälp av DIRT.</p>	<p>De förstupptrådande hot spots'en var alltid associerade med arteriellt Doppler-ljud.</p> <p>De intraoperativa kirurgiska fynden motsvarade den utvalda hot spot'en hos alla patienter</p> <p>DIRT visade variation i belägenhet, storlek och antal hot spots mellan patienterna, samt sidoskillnader i de enstaka lambåerna.</p> <p>Ett arteriellt Doppler-ljud hördes vid varje hot spot, och alla förstupptrådande hot spots motsvarade också en tydlig perforant i samma område på DT.</p> <p>Hot spot'en låg i förhållande till DT alltid något lateralt om perforantens utgångspunkt genom fascian.</p> <p>24/25 vällyckade</p>	<p>Var forskningsfrågan välformulerad? Ja</p> <p>Var studiedesignen tydlig? Ja</p> <p>Var studiens kontext klar? Ja</p> <p>Var studien kopplad till en teoretisk ram?</p> <p>Ja</p> <p>Är val av population beskrivet, relevant och motiverat? Ja</p> <p>Är datainsamlingen tydligt beskriven och systematisk? Ja</p> <p>Motsvarar konklusionerna resultatena? Ja</p> <p>Refererar författarna till annan litteratur som förstärker / försvagar resultaten?</p> <p>Ja</p>
Land			
Norge			
År			
2016			

Referens: Sjøberg T, Mercer JB, Weum S, de Weerd L. The Value of Dynamic Infrared Thermography in Pedicled Thoracodorsal Artery Perforator Flap Surgery. Plast Reconstr Surg Glob Open. 2020;8(7).		Design: Deskr. klinisk studie
Mål	Material och metod	GRADE
Konklusion	Resultat	Diskussion / kommentarer
<p>Utvärdera DIRT som pre-, intra- och postoperativt verktyg vid TDAP-lambåkirurgi</p>	<p>21 patienter planerade för rekonstruktiv kirurgi med TDAP-lambå</p> <p>Preoperativ kartläggning av perforanter med DIRT, Doppler och DT-angiografi.</p> <p>Köldstress: blåsning av rumstemp. luft med bordsfläkt i 2 min</p> <p>Hastighet och återuppvärmningsmönster av hot spots registrerades, och de förstoppstående markerades.</p> <p>Intra- och postoperativ övervakning av perfusion gjordes genom klinisk observation samt DIRT och Doppler.</p> <p>Postop. dagarna 1, 2, 3 och 6 efter operationen</p>	<p>Var forskningsfrågan välformulerad? Ja</p> <p>Var studiedesignen tydlig? Ja</p> <p>Var studiens kontext klar? Ja</p> <p>Var studien kopplad till en teoretisk ram? Ja</p> <p>Är val av population beskrivet, relevant och motiverat? -</p> <p>Är datainsamlingen tydligt beskriven och systematisk? Ja</p> <p>Motsvarar konklusionerna resultaten? Ja</p> <p>Refererar författarna till annan litteratur som förstärker / försvagar resultaten? Ja</p>
<p>DIRT ger värdefull realtidsinformation vid kartläggning av perforanter samt för intra- och postoperativ monitorering av perfusion i TDAP-lambåer</p>	<p>Preoperativt</p> <p>Stor variation i läge och antal hot spots mellan patienterna. De snabbast uppstående hot spots'en var alltid associerade med ett arteriellt Doppler-ljud.</p> <p>Intraoperativt</p> <p>Vid operation bekräftades perforanternas belägenhet, och de lämpliga perforanterna motsvarade hot spots'en som valts.</p> <p>Postoperativt</p> <p>Två lambåer förlorades pga otillräcklig postoperativ perfusion, dessa hade båda smala TDA på DT.</p> <p>Patienterna hade båda fått strålterapi under sin cancerbehandling.</p> <p>I två tillfällen med blåaktig missfärgning på lambån och homogen återuppvärmning utan tydliga hot spots var det alltid frågan om venös stockning. Tillståndet korrigerades genom att avlägsna bröstimplantatet.</p> <p>Alla överlevde</p> <p>3 partiella nekroser</p>	
Land	Norge	
År	2020	

