

UNIVERSITÉ DE NANTES

FACULTÉ DE MÉDECINE

Année : 2020

N° 2020-124

THÈSE

pour le

DIPLOÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

DES de chirurgie plastique reconstructrice et esthétique

par

Julien VERDIER

Présentée et soutenue publiquement le 1^{er} octobre 2020

LE LAMBEAU ANTÉROLATÉRAL DE CUISSE À PÉDICULE DISTAL DANS LES
PERTES DE SUBSTANCE DU GENOU : PLACE DE L'ÉCHOGRAPHIE DOPPLER DANS
LA CARTOGRAPHIE PRÉOPÉRATOIRE

Président : Monsieur le Professeur Pierre PERROT

Directeur de thèse : Docteur Anaïs DELGOVE

Composition du jury

Président du jury

Monsieur le Professeur Pierre PERROT

Directrice de thèse

Madame le Docteur Anaïs DELGOVE

Membres du jury

Monsieur le Professeur Franck DUTEILLE

Monsieur le Professeur Vincent CASOLI

Monsieur le Docteur Denis WAAST

Remerciements

Monsieur le PROFESSEUR Pierre PERROT, président du jury.

Tu me fais l'honneur de présider cette thèse. Je te remercie pour ton enseignement et tes conseils avisés au cours de ces cinq années. Ta relation avec les patients et ta rigueur chirurgicale sont pour moi des exemples. J'espère avoir encore de nombreuses occasions pour apprendre et travailler à tes côtés. Sois assuré de mon respect et de ma gratitude.

Madame le DOCTEUR Anaïs DELGOVE, directrice.

Merci de m'avoir accompagné et guidé tout au long de cette thèse. Ta réactivité, ta disponibilité, ton discernement et tes idées plus brillantes les unes que les autres m'ont permis d'aboutir à ce travail. Au cours de ces six mois, j'ai pu profiter de ton aisance chirurgicale, de la qualité de ton enseignement et de ta passion pour la reconstruction. Sois assurée de ma profonde reconnaissance.

Monsieur le PROFESSEUR Franck DUTEILLE, juge.

Malgré des débuts un peu "houleux", vous m'avez montré le chemin à suivre tout au long de mon internat. Votre expérience et votre facilité déconcertante pour la chirurgie reconstructrice, avec votre célèbre "je te pique pas le geste", resteront ancrés dans ma mémoire. Soyez assuré de mon respect et de ma reconnaissance.

Monsieur le PROFESSEUR Vincent CASOLI, juge.

Votre enseignement, votre don pour la chirurgie et votre aura ont marqué plusieurs générations d'internes dont je fais à présent partie. Merci de me faire l'honneur de juger ce travail. Soyez assuré de mon profond respect et de ma reconnaissance.

Monsieur le DOCTEUR Denis WAAST, juge.

Vos qualités tant humaines que chirurgicales imposent naturellement le respect de vos confrères et de vos internes. Merci d'avoir accepté et de me faire l'honneur de juger ce travail. J'espère avoir l'occasion de bénéficier de votre expertise et de pouvoir travailler, un jour, à vos côtés. Veuillez accepter toute ma reconnaissance et mon respect.

Madame le DOCTEUR Perrine RIDEL.

Ta bienveillance, ton investissement et ton exigence envers toi-même font de toi un chirurgien remarquable. Merci de m'avoir transmis ces valeurs. C'est pour moi un honneur et un plaisir d'avoir appris à tes côtés.

Madame le DOCTEUR Frédérique BELLIER-WAAST.

Merci pour toutes ces années où j'ai pu profiter de ton apprentissage, de ton éternelle bonne humeur et de tes qualités de chirurgien. L'affection que te porte les patients n'a d'égale que celle de tes internes. Tu es pour moi un modèle tant sur le plan humain que professionnel. Merci pour tout.

Madame le DOCTEUR Eva GACHIE.

Ton arrivée dans le service fut comme une bouffée d'air frais. Avec ta bonne humeur, ton sourire et ton dynamisme, tu m'as transmis ton expérience chirurgicale. Sois assurée de ma reconnaissance.

Aux chefs et anciens chefs de clinique, les DOCTEURS Marie-Victoria CAMUT, Vincent LESOUR, Audrey LEDUC, Hadrien TILLIET LE DENTU, Diane ADAM et Ugo LANCIEN.

Parfois chefs, parfois co-internes, ou parfois simplement collègues ou amis autour d'un verre, d'une Bodega, ou autre soirée endiablée. Merci pour votre apprentissage, votre disponibilité et vos conseils.

Aux équipes de chirurgie orthopédique et de chirurgie vasculaire de la Roche sur Yon, une pensée particulière pour les DOCTEURS Pierre Alexandre VENT et Philippe POIRIER.

Vous m'avez accueilli dans vos spécialités et vous m'avez apporté une formation complémentaire indispensable. Merci pour tous ces agréables moments passés en votre compagnie.

Au service de chirurgie plastique du CHU de Bordeaux, et particulièrement, Monsieur le PROFESSEUR Philippe PELISSIER, Monsieur le PROFESSEUR Vincent PINSOLLE, Monsieur le DOCTEUR Romain WEIGERT, Monsieur le DOCTEUR Jean-Christophe LEPIVERT, Madame le DOCTEUR Laura DE LUCA.

Merci de m'avoir transmis une partie de votre savoir et de votre expérience. Soyez assurés de mon admiration et de ma reconnaissance.

Mais aussi aux chefs de clinique et assistants Antoine et Florent et à mes co-internes Antoine, Sara, Amrouche, Pascal, Thomas, Philippe, Ismaël, Emanuelle.

Ces six mois passés avec vous resteront inoubliables.

À mes co-internes, Oillic, Elo, Djérémy, (Monika ^^), Anoujat et Anoussat, Antoning, Loulou, Julie, Solène, Florent...

Parce que sans vous les journées seraient bien fades. Merci pour cette bonne ambiance entre co-internes, pour vos blagues (pourries) et ces bons moments passés ensemble. Mais également merci pour vos râleries et gémissements en tout genre. Ne changez rien.

Aux équipes médicales et paramédicales du service des brûlés et de chirurgie plastique du CHU de Nantes.

À Félicien.

Mon vieux Fefé, que dire de plus que tu ne saches déjà. Tes qualités humaines feront de toi un excellent médecin et un grand Homme. Merci pour toutes ces années, ton soutien dans les moments les plus difficiles, tes conseils avisés, sans toi je n'en serais pas là actuellement. Avec toute mon amitié.

À Marine.

Merci pour ton amitié, ces soirées, ces confidences ... Ton côté fédérateur et ta capacité à réunir et à t'entourer des personnes qui te sont chères sont pour moi des exemples et des preuves de ta grande générosité.

À mes amis Joao, Julien et Julien, Sisi.

Malgré la distance, nos liens d'amitié sont inébranlables. Merci pour les bons moments passés ensemble. Jojo avec tes plans foireux mais qui traduisent toujours une occasion de tous se retrouver, merci pour ton sens de l'amitié et de l'orthographe. Pelo, ton sens de la rigueur, de la précision et ta logique sans faille sont des valeurs qui nous unissent, certains diront "psychorigides" ... Mich', le "toujours plus" qui rend mémorable toutes nos soirées et le "Tik-Tok" qui résonne encore dans ma tête.

À mes amis du lycée, ma biche, ma couille ...

Polo, tout simplement merci. Tu as toujours été présent à chacune des étapes de ma vie, ni la distance, ni le temps n'ont su entraver notre amitié. Plus qu'un simple partenaire de soirées, de vacances, d'internat, de bêtises en tout genre... tu es un confident, un ami, un frère. Tu es pour moi un modèle de réussite qui me permet d'avancer dans la vie.

Aurel, merci pour toutes ces années et ces cicatrices indélébiles... j'admire ta sérénité et ton flegme dans n'importe quelle situation. Tu es un ami et un pilier (de bar aussi) solide sur lequel on peut toujours compter.

Papy, qui l'aurait cru, 15 ans après ce premier jour d'internat. Merci pour tous ces bons moments, ton investissement sans faille pour nous débaucher, et ton amitié tout au long de ces années.

Mon gros Beber, toi le papa de la bande, tu as toujours été un précurseur dans la vie comme dans la connerie.

Dams, l'intellectuel et le vénère du groupe mais un ami précieux.

Et aux pièces rapportées BenJ, quelle belle rencontre, j'ai enfin trouvé quelqu'un qui pouvait dépasser les limites que je n'ai jamais osé franchir. Casa, Momo, Allan.

À la team des Agenais, Yanus, Matou, Chanchan, Aude, Alex, Caro, Camille, Marion, Didi, Flo ...

Vous êtes, tout simplement, géniaux. Ne changez rien.

À mes parents.

Vous avez toujours fait preuve d'intelligence et vous avez toujours su me préserver malgré des moments parfois difficiles. Vous m'avez soutenu dans mes choix, mes décisions, aussi bonnes soient-elles, et tout au long de ce parcours. Votre éducation, vos encouragements, vos conseils m'ont permis de me construire et d'être là aujourd'hui. Merci pour tout, je vous aime

À Tony, Mary.

Merci d'être présents et de partager ma vie. J'ai pu trouver auprès de vous une deuxième famille.

À Gabriel.

Mon "petit" frère (déjà plus grand que moi), treize ans nous séparent, mais ne nous ont pas empêché de tisser des liens solides.

À mes grands-parents.

A toutes nos belles vacances et nos bons moments passés en famille.

À Jean-François.

Tu as toujours su trouver les mots et le moment opportun pour m'accompagner sur ce long chemin que tu connais si bien. Merci pour ton soutien.

À ma belle-famille.

Merci pour votre accueil chaleureux, pour votre générosité et pour les valeurs familiales que vous aimez transmettre. Veuillez accepter toute mon affection et ma gratitude.

À Amélie.

Un jour amis puis amants, avec un peu de recul c'était comme une évidence. Ta joie, ta bonne humeur, ton sourire, ton dynamisme, ta franchise et ton honnêteté sont autant de valeurs qui font de toi quelqu'un d'exceptionnel. J'ai beaucoup de chance de t'avoir à mes côtés, de bénéficier de ta clairvoyance, de ton soutien et de ton amour. Il me tarde de continuer à avancer avec toi et de concrétiser tous les beaux projets qui nous unissent. Merci de partager ma vie. Je t'aime.

Avant-propos

Ce travail de thèse s'articule autour de six parties : l'introduction, les résultats sous la forme de trois articles originaux soumis au journal *Surgical and Radiologic Anatomy*, au *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery* et au journal *Plastic and Reconstructive Surgery* pour le dernier article, la mise en pratique clinique et la conclusion.

Table des matières

1	<i>Introduction</i>	16
1.1	Problématique des pertes de substance du genou	16
1.2	Techniques de couverture des PDS de la face antérieure du genou	19
1.3	Le lambeau antérolatéral de cuisse	21
1.3.1	Historique du lambeau ALT	21
1.3.2	Rappels anatomiques sur le lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal	23
1.3.3	Variations anatomiques et classifications :	25
1.3.4	L'angioscanner dans le repérage des vaisseaux	29
1.3.5	L'échographie doppler dans le repérage des vaisseaux	30
1.3.6	Autres techniques d'imagerie	31
1.3.7	Technique chirurgicale	31
1.3.7.1	Tracé du lambeau	31
1.3.7.2	Dissection du lambeau	33
1.4	Objectif du travail de thèse	37
2	<i>Vascular Doppler ultrasound on cadaveric piece: a training tool in preoperative mapping for the reconstructive surgeon.</i>	38
2.1	Abstract	38
2.2	Purpose:	39
2.3	Methods	39
2.4	Results	42
2.5	Discussion	45
2.6	Conclusion	46
3	<i>Comparative anatomical study of distally-based anterolateral thigh flap perforators location using bidirectional color Doppler versus computed tomography: preliminary study about 15 perforators.</i>	47
3.1	Abstract	47
3.2	Introduction	48

3.3	Materials and Methods	49
3.4	Results	54
3.5	Discussion	58
3.6	Conclusion	60
4	<i>Color Doppler ultrasound: can it replace the computed tomographic angiography for assessment of the distally based anterolateral thigh flap landmarks?</i>	61
4.1	Abstract	61
4.2	Background	62
4.3	Methods	63
4.4	Results	66
4.5	Discussion	70
4.6	Conclusion	72
5	<i>Cas clinique</i>	73
5.1	Cas clinique n°1	73
5.2	Cas clinique n°2	76
6	<i>Conclusion</i>	82
7	<i>Bibliographie</i>	86

Liste des figures

Figure 1 : fracture bi-spino-tubérositaire de l'épiphyse proximale du tibia droit par choc direct avec contusion cutanée, traitement par plâtre cruro-pédieux.	17
Figure 2: Sarcome genou droit.	18
Figure 3: nécrose cutanée face antérieure de genou droit post-arthroplastie totale de genou.	19
Figure 4: Vascularisation de la cuisse d'après Franck Netter ; ligne bleue en pointillés reliant l'épine iliaque antérieure et supérieure à l'angle supéro-externe de la patella ; cercle bleu de rayon 3cm, centre de cette ligne regroupant les perforantes ; ellipse rouge, dessin de la palette cutanée de l'ALT.	24
Figure 5 : classification de Shieh du pédicule de l'ALT ; Type I à gauche et type II à droite	25
Figure 6 : classification de Shieh du pédicule de l'ALT ; Type III à gauche et type IV à droite	26
Figure 7:classification de Yu ABC ; A, la perforante la plus proximale ; B, la perforante du milieu; C, la perforante la plus distale	27
Figure 8: classification de Yu ABC; type I la perforante provient de la branche descendante de l'ACFL, type II de la branche transverse et type III de l'artère fémorale profonde.	27
Figure 9 : variations anatomiques du pédicule de l'ALT, d'après Lee et al. étude sur 110 lambeaux. d-LCFA, branche descendante de l'artère circonflexe fémorale latérale ; t-LCFA, branche transverse de l'artère circonflexe fémorale latérale ; FA, artère fémorale ; DFA, artère fémorale profonde ; SFA, artère fémorale superficielle ; AB, branche ascendante de l'artère circonflexe fémorale latérale ; TB, branche transverse de l'artère circonflexe fémorale latérale ; DB, branche descendante de l'artère circonflexe fémorale latérale.	28
Figure 10 : répartition des perforantes sur un cercle de 3cm de diamètre d'après Da Chuan et al.	32
Figure 11 : tracé du lambeau antérolatéral de cuisse ; centré sur la palette à gauche ; excentré à droite	32
Figure 12 : incision de la berge médiale de l'ALT ; lac bleu, repérage de la branche descendante de l'ACFL ; flèche bleue, perforante septocutanée ; étoile bleue, muscle droit fémoral récliné.	33
Figure 13 : technique chirurgicale choisie en fonction des constatations peropératoires : A perforante au milieu de la cuisse = ALT à pédicule distal ; B perforante à la partie distale de la cuisse = ALT propeller ; C perforante provenant de la branche transverse = ALT libre	34
Figure 14 : Algorithme décisionnel de l'utilisation de l'ALT en fonction de la perte de substance et de la position des perforantes.	35
Figure 15 : à gauche : incision du pont cutané entre la perte de substance et le lambeau ; à droite : fermeture du site donneur sans tension.	36
Figure 16: Left, heparinized serum and fresh porcine blood; Right, catheterization of vessels; LCFA, lateral circumflex femoral artery; SFA, superficial femoral artery; DFA, deep femoral artery; FV, common femoral vein	40
Figure 17: data assessed with color doppler ultrasound; blue circle, color doppler ultrasound examination; LCFA, lateral circumflex femoral artery; DFP, deep femoral artery; SFA, superficial femoral artery; SLGA, superolateral genicular artery.	41
Figure 18: transversal section with color doppler ultrasound, LCFA distention	42

<i>Figure 19: longitudinal section: pulsed injection of porcine blood; pulsatile flow and doppler signal into the descending branch of the LCFA.</i>	43
<i>Figure 20: ALT flap drawing; line joining: ASIS, anterior superior iliac spine and superior lateral aspect of the patella; red circle, location of the perforators.</i>	50
<i>Figure 21: longitudinal section: pulsed injection of porcine blood; pulsatile flow and doppler signal into the descending branch of the LCFA.</i>	52
<i>Figure 22: Axial section, injection into the descending branch of the LCFA and perforator; RF, rectus femoris; VL, vastus lateralis.</i>	53
<i>Figure 23: ALT dissection, right thigh; PPP, proximal pivot point; RF, rectus femoris muscle isolated; black arrows, descending branch of the LCFA; black stars, perforators; VL, vastus lateralis muscle; DPP, distal pivot point.</i>	54
<i>Figure 24: mean of differences comparison between CD ultrasound and CT angiography.</i>	58
<i>Figure 25 : Shieh classification ; type I = vertical musculocutaneous perforator, type II = horizontal musculocutaneous perforator, type III = vertical septocutaneous perforator, type IV = horizontal septocutaneous perforator; LCFA, lateral circumflex femoral artery; A, ascending branch of the LCFA; T, transverse branch of the LCFA; D, descending branch of the LCFA; TFL, tensor fasciae latae muscle; S, sartorius muscle; AL, adductus longus muscle; VL, vastus lateralis muscle; VM, vastus medialis muscle; RF, rectus femoris reclined.</i>	64
<i>Figure 26: data recorded during examinations. Circles, proximal pivot point and descending branch of the LCFA to define the Shieh classification, perforator and distal pivot point. Double arrows; 1, distance between first perforator and superolateral aspect of the patella; 2, distance between first perforator and distal pivot point; 3, distance between distal pivot point and superolateral aspect of the patella. LCFA, Lateral Circumflex Femoral Artery; DFA, Deep Femoral Artery; SFA, Superficial Femoral Artery; SLGA, Superolateral Genicular Artery.</i>	65
<i>Figure 27 :Example of a type I of Shieh classification, muscular perforator in the vastus lateralis muscle (VL) in CDU.</i>	67
<i>Figure 28 : Example of a type III of Shieh classification, septal perforator between vastus lateralis muscle (VL) and rectus femoris muscle (RF) in CTA.</i>	67
<i>Figure 29 : Differences between CDU and CTA for distal pivot point (dpp) and perforator location. Left Scattergrams illustrated the distance from dpp to the superolateral aspect of the patella; middle Scattergrams, the distance between the first perforator and the superolateral aspect of the patella; right Scattergrams, the distance from the first perforator to the dpp. The y-axis represented the differences between data assessed with CDU and CTA.</i>	69
<i>Figure 30: Dessin préopératoire ; Ligne reliant l'épine iliaque antéro-supérieure à l'angle supéro-externe de la patella ; Palette cutanée mesurant 18x12cm ; Sarcome face antérieure du genou droit avec marge latérale de 3cm.</i>	74
<i>Figure 31: Dissection peropératoire :à gauche, perte de substance de la face antérieure du genou droit après tumorectomie ; au milieu, levée de l'ALT avec une longueur de pédicule de 10,5cm ; à droite, positionnement du lambeau après rotation à 180°.</i>	75

<i>Figure 32: Photos post-opératoire : à gauche J0 post-opératoire ; au milieu, J1 post-opératoire ; à droite, J3 post-opératoire.</i>	75
<i>Figure 33: Perte de substance préopératoire : infection sur prothèse massive de genou gauche ; étoile noire, exposition du tendon quadricipital et du matériel sous-jacent.</i>	76
<i>Figure 34: repérage préopératoire ; croix noire, perforante proximale ; flèche noire, point pivot distal.</i>	78
<i>Figure 35: Photos peropératoires : Photo de gauche = perte de substance de la face antérieure du genou après parage cutané et ablation de la prothèse. Photo de droite = Levée du lambeau ALT ; Flèche noire, branche descendante de l'ACFL et pédicule distal ; Etoile noire, perforante</i>	79
<i>Figure 36: Photos peropératoires : Photo de gauche = levée du lambeau ; Flèche noire, pédicule distal. Photo de droite = postopératoire immédiat.</i>	80
<i>Figure 37: Photo de gauche = J1 postopératoire ; flèche noire, site donneur laissé en cicatrisation dirigée ; étoile noire, souffrance veineuse distale. Photo de droite = 3 semaines postopératoire ; greffe de peau mince sur le site donneur ; parage de la pointe distale et remobilisation du lambeau.</i>	81
<i>Figure 38 : algorithme décisionnel des techniques de reconstruction en cas de perte de substance de la face antérieure du genou.</i>	84

Liste des tableaux

Table 1: CD ultrasound analysis, proximal, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%. _____	44
Table 2: Dissection analysis, proximal, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%. _____	44
Table 3: data assessed; Shieh classification; type 1 = vertical musculocutaneous perforator, type 2 = horizontal musculocutaneous perforator, type 3 = vertical septocutaneous perforator, type 4 = horizontal septocutaneous perforator. _____	51
Table 4: CD ultrasound analysis, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%. _____	55
Table 5: CT angiography analysis, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%. _____	56
Table 6: Dissection analysis, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%. _____	57
Table 7: CD ultrasound and CT angiography comparison to dissection; mean difference and confidence interval 95%. _____	58
Table 8: Patient information _____	66
Table 9: comparison between CDU and CTA with Wilcoxon signed rank test. IQR, interquartile range. _____	68
Table 10: data assessed for two db-ALT and two free ALT, comparison between CDU, CTA and dissection. Each data represented the difference recorded between CTA and dissection or CDU and dissection. _____	70
Table 11: Comparaison des données recueillies par échographie doppler couleur, angioscanner et dissection. _____	73
Table 12: Comparaison des données recueillies par échographie doppler couleur, angioscanner et dissection. _____	77

Liste des abréviations :

- ACFL : artère circonflexe fémorale latérale
- AGSL : artère géniculée supérolatérale
- ALT : anterolateral thigh flap, lambeau antérolatéral de cuisse
- BMF : blood mimicking fluid, fluide mimant le sang
- CDU : color doppler ultrasound, échographie doppler couleur
- CTA : computed tomographic angiography, angiographie par tomodensitométrie
- Db-ALT : distally based anterolateral thigh flap, lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal
- IRM : imagerie par résonance magnétique
- LCFA : lateral circumflex femoral artery, artère circonflexe fémorale latérale
- PDS : perte de substance
- SLGA : superolateral genicular artery, artère géniculée supérolatérale
- TDM : tomodensitométrie

1 Introduction

1.1 Problématique des pertes de substance du genou

Les pertes de substance du genou (PDS) sont des indications fréquentes de chirurgie réparatrice de l'appareil locomoteur. Il s'agit souvent d'un défi complexe pour les chirurgiens plasticiens et orthopédistes. Le genou est une zone de grande mobilité, à l'union de la jambe et de la cuisse. Préserver sa fonction articulaire est l'une des priorités pour les chirurgiens. Les particularités anatomiques de cette région, avec un plan sous-cutané et musculaire peu développés, une peau fine et directement au contact des structures osseuses et tendineuses sous-jacentes, imposent le choix d'une reconstruction adaptée à chaque PDS.

Les PDS du genou peuvent prendre des aspects très différents selon la nature du traumatisme et les structures sous-jacentes exposées.

Les traumatismes du genou constituent une des causes principales de PDS (Figure 1). Ils surviennent le plus souvent chez des sujets jeunes, en activité et sont fréquemment secondaires à un accident de la voie publique, avec véhicules motorisés. En cas de traumatisme complexe, la priorité est d'assurer la vascularisation de la jambe et d'immobiliser les structures osseuses, par fixateurs externes ou ostéosynthèses. La reconstruction chirurgicale des parties molles peut être différée de quelques jours, grâce à la mise en place d'une thérapie à pression négative transitoire. Dans cet intervalle, la réalisation d'un angioscanner et la concertation pluridisciplinaire entre les chirurgiens orthopédistes et plasticiens permettent de choisir la technique de reconstruction la plus adaptée (1,2).



Figure 1 : fracture bi-spino-tubérositaire de l'épiphyse proximale du tibia droit par choc direct avec contusion cutanée, traitement par plâtre cruro-pédieux.

Les PDS du genou peuvent également être d'origine néoplasique (Figure 2), notamment en cas de sarcomes, dont les résections larges entraînent des PDS exposant les structures nobles et mettant en jeu la fonctionnalité du genou. Le rôle du chirurgien plasticien est alors de réaliser un lambeau qui assure une couverture souple qui ne gêne pas les mobilités articulaires et résistant à un éventuel traitement adjuvant comme la radiothérapie (3).



Figure 2: Sarcome genou droit.

Les complications post-opératoires de prothèse de genou sont également une source fréquente de PDS (Figure 3). Elles sont consécutives à l'implantation du matériel prothétique et se manifestent souvent par une nécrose cutanée des berges de la voie d'abord avec désunion de la cicatrice ou par l'apparition d'une fistule, cause ou conséquence d'une infection du matériel sous-jacent. Le délai entre l'implantation du matériel et l'apparition de ces complications conditionne souvent le geste chirurgical. Il s'agit d'un parage des tissus cutanés avec, soit un lavage de la prothèse, soit une explantation avec réimplantation en un ou deux temps, nécessitant parfois un lambeau mobilisable (2).



Figure 3: nécrose cutanée face antérieure de genou droit post-artroplastie totale de genou.

Les dermohypodermites, les fasciites nécrosantes, les brûlures ou les séquelles de brûlures peuvent également être à l'origine de PDS du genou. Elles nécessitent la plupart du temps une simple greffe de peau mince parfois, ou associée à un derme artificiel, mais une couverture par lambeau peut être nécessaire.

1.2 Techniques de couverture des PDS de la face antérieure du genou

Avant d'envisager la reconstruction d'une PDS du genou, plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- Relatifs à la PDS elle-même : son origine, sa dimension, la présence d'une contamination ou d'une infection, d'une exposition osseuse, tendineuse ou de matériel.
- Relatifs au genou : sa mobilité avant l'apparition de la PDS, antécédents de cicatrices témoignant d'un traumatisme ou d'une chirurgie antérieure, présence d'un hématome, d'un traumatisme des vaisseaux.

- Relatifs à l'état général et aux comorbidités du patient : tabagisme, obésité, diabète, artérite, antécédent de thrombose veineuse profonde.

Le parage complet des tissus nécrosés et infectés et l'ablation du matériel d'orthopédie sous-jacent constituent le principe de base de tout traitement d'une PDS de genou. La reconstruction a pour objectifs de conserver la fonction articulaire du genou et de limiter les séquelles fonctionnelles et esthétiques de la chirurgie, afin de préserver au maximum l'intégrité du membre et l'image corporelle du patient.

La position du genou, à la jonction des 2 segments proximaux du membre inférieur, autorise la manipulation de lambeaux prélevés aux dépens de la jambe, comme de la cuisse. L'arsenal thérapeutique du chirurgien plasticien est donc important, avec un éventail de lambeaux locaux et pédiculés palliant à la majorité des PDS et permettant de surseoir aux techniques plus complexes de transferts microchirurgicaux.

Certaines études proposent un algorithme de prise en charge en fonction des caractéristiques de la PDS (4).

Lorsque la PDS est purement cutanée et peu profonde, une greffe de peau mince est privilégiée à une cicatrisation dirigée. En cas de PDS plus profonde mais sans exposition sous-jacente, la greffe de peau peut être précédée d'une thérapie à pression négative (5,6) et parfois associée à un derme artificiel (7). En présence d'une exposition osseuse, tendineuse, de matériel ou d'une infection documentée, le recours à un lambeau est indispensable.

Parmi les lambeaux musculaires ou musculo-cutanés prélevés aux dépens de la jambe, le muscle gastrocnémien médial reste actuellement le plus utilisé. C'est un lambeau simple, fiable, indiqué pour les PDS complexes avec exposition de matériel ou de l'articulation. Son aire de recouvrement intéresse le tiers supérieur du tibia et la face médiale du genou, elle peut être accrue au niveau de la face antérieure du genou par le décroisement du muscle avec les tendons du muscle gracilis, semi-tendineux et semi-membraneux. Il permet un apport vasculaire riche, qui facilite l'action des antibiotiques en traitement de l'infection (8,9). Le lambeau pédiculé de muscle gastrocnémien latéral peut aussi être utilisé, mais avec un pédicule vasculaire plus court et un arc de rotation moins important que son homologue médial, il est réservé aux PDS de la partie inféro-latérale du genou. Ces lambeaux présentent une faible morbidité mais leur degré de couverture est parfois limité en cas de PDS étendue ou proximale de la face antérieure du genou.

D'autres lambeaux musculaires prélevés aux dépens de la cuisse ont été décrits, comme le lambeau de muscle gracilis à pédicule distal, de muscle sartorius, de muscle vaste médial ou latéral (10–13).

Les lambeaux cutanés ou fascio-cutanés tels que le lambeau saphène ou neuro-cutané saphène, le lambeau sural postéro-latéral, ou encore le lambeau cutané latéro-distal de cuisse ont pour principal avantage de respecter les axes vasculaires majeurs. Cependant ils présentent des limites de mobilisation et de rotation, ils sont soumis aux variations anatomiques et leur fiabilité est inconstante (1,14,15).

Depuis quelques années, les lambeaux perforants ont fait leur apparition. Leur réalisation technique complexe est contrebalancée par la faible morbidité de leur site donneur, ainsi que par leur adaptabilité à la PDS (épaisseur, taille ou forme) (16).

Parmi les lambeaux perforants pédiculés, le lambeau antérolatéral de cuisse (ALT) à flux rétrograde ou le lambeau perforant médial sural peuvent être utilisés (17,18). D'autres lambeaux perforants ont été décrits, basés sur l'artère fibulaire (19,20) ou encore l'artère tibiale antérieure (21), parfois utilisés en hélice (propeller) pour couvrir les PDS de la face antérieure du genou. Leur réalisation nécessite un repérage précis des perforantes par angioscanner ou par échographie doppler afin de guider au mieux le geste chirurgical (15).

Les lambeaux libres sont souvent effectués en dernier recours pour la couverture du genou. Que ce soit sous leur forme musculaire ou musculocutanée (grand dorsal, dentelé antérieur...) (22,23) ou perforante (ALT, perforant thoracodorsal...) (24,25), leur faisabilité technique est plus complexe car elle impose un transfert microchirurgical sur des vaisseaux difficilement accessibles, situés en profondeur autour du genou (4).

Parmi les différentes alternatives chirurgicales accessibles pour couvrir une PDS au niveau du genou, l'ALT et le repérage par imagerie de ses perforantes, ont fait l'objet de notre travail.

1.3 Le lambeau antérolatéral de cuisse

1.3.1 Historique du lambeau ALT

L'ALT est un lambeau perforant décrit pour la première fois par une équipe asiatique, Song *et al.* en 1984. Il est alors décrit sous sa forme libre avec une perforante septocutanée sortant à la jonction

entre le milieu et le tiers proximal de la cuisse, au sommet d'un triangle unissant le muscle droit fémoral, le vaste latéral et le tenseur du fascia lata.

En 1989, Koshima *et al.* ont rapporté quelques variations anatomiques du pédicule ainsi que les différentes applications cliniques de ce lambeau (26).

En 2000, l'équipe taïwanaise de Shieh *et al.* établit une classification en fonction des variations anatomiques de son pédicule et de la nature musculocutanée ou septocutanée de ses perforantes. Cette classification permet d'orienter les indications opératoires et la technique chirurgicale choisie (27).

Largement utilisé par les équipes asiatiques, l'ALT est décrit par l'équipe américaine de Pribaz *et al.* en 1995 sous sa forme libre et septofasciocutanée pour les reconstructions des membres inférieurs et supérieurs, mais également de la tête et du cou. Cette étude réalisée sur 44 cas le présente comme un lambeau avec un pédicule long et de bon calibre (28).

La première équipe française de chirurgiens plasticiens à avoir décrit ce lambeau est l'équipe de Tiguemounine *et al* en 2002. Ils l'utilisent dans les reconstructions de la tête et du cou après résection tumorale, en remplacement du lambeau antébrachial radial ou de droit de l'abdomen musculocutané (29). En 2004, l'équipe américaine de Yu *et al.* rapporte que l'utilisation de ce lambeau est moins populaire aux États-Unis que dans les pays asiatiques en raison des variations anatomiques de son pédicule et d'une palette cutanée plus épaisse chez les patients caucasiens (30). Les techniques de prélèvement se sont progressivement améliorées afin de prélever ce lambeau sous une forme supra-faciale voire sous dermique pour qu'il soit le plus fin possible (31,32).

L'ALT à pédicule distal a été décrit pour la première fois en 1990 par Zhang (33). En 2004, Pan *et al.* ont précisément défini son pédicule vasculaire rétrograde. D'après leur étude anatomique, la branche descendante de l'artère circonflexe fémorale latérale (ACFL) est toujours anastomosée avec l'artère géniculée supérolatérale (AGSL), l'artère fémorale profonde ou les deux, avec un point pivot distal disséqué sans risque jusqu'à 10 cm de la patella. Elle décrit également les flux artériels rétrogrades au sein du pédicule de l'ALT (34).

L'ALT à pédicule distal a fait l'objet de nombreuses études, dans le but de clarifier cette anastomose distale, de déterminer un point pivot fiable où le pédicule peut être disséqué sans risque et d'identifier les perforantes les plus adaptées à la couverture du genou (35–39). En 2014, sur une large étude anatomique portant sur 38 pièces cadavériques, Yamada *et al.* ont défini que ce point pivot distal se situait entre 4 et 13,6 cm de la patella. Ils considèrent ce lambeau comme une méthode de choix pour la couverture des PDS du genou (40).

1.3.2 Rappels anatomiques sur le lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal

Le pédicule proximal de l'ALT naît habituellement de la branche descendante de l'ACFL. Il s'agit d'une branche collatérale de l'artère fémorale profonde de la cuisse, elle-même collatérale de l'artère fémorale. L'ACFL naît juste après la naissance de l'artère fémorale profonde et se dirige latéralement, croisant la face postérieure du muscle droit fémoral. Elle se divise alors en 3 branches : une branche ascendante (qui s'anastomose avec l'artère circonflexe fémorale médiale), une branche transverse (qui contourne le fémur et participe à l'anastomose cruciforme) et une branche descendante (Figure 4).

Cette branche descendante chemine entre le muscle vaste latéral et le muscle droit fémoral avec la branche motrice du nerf fémoral destinée au muscle vaste latéral.

Elle donne des branches musculaires pour ces muscles mais aussi des branches perforantes vascularisant la palette cutanée de la face antérolatérale de la cuisse. Elle descend ensuite dans le septum intermusculaire et dans le vaste latéral avant de s'anastomoser avec soit l'AGSL appartenant au cercle anastomotique du genou, soit l'artère fémorale profonde. Cette anastomose est responsable de la vascularisation à rétro du lambeau et constitue le pédicule distal de l'ALT. Des études anatomiques ont montré que ces anastomoses sont présentes dans 100% des cas avec un trajet intramusculaire ou septal et avec un point pivot entre 3 et 10 cm de la patella (34).

En revanche, un des principaux inconvénients de ce lambeau est la variation anatomique de son pédicule et particulièrement de son pédicule proximal.

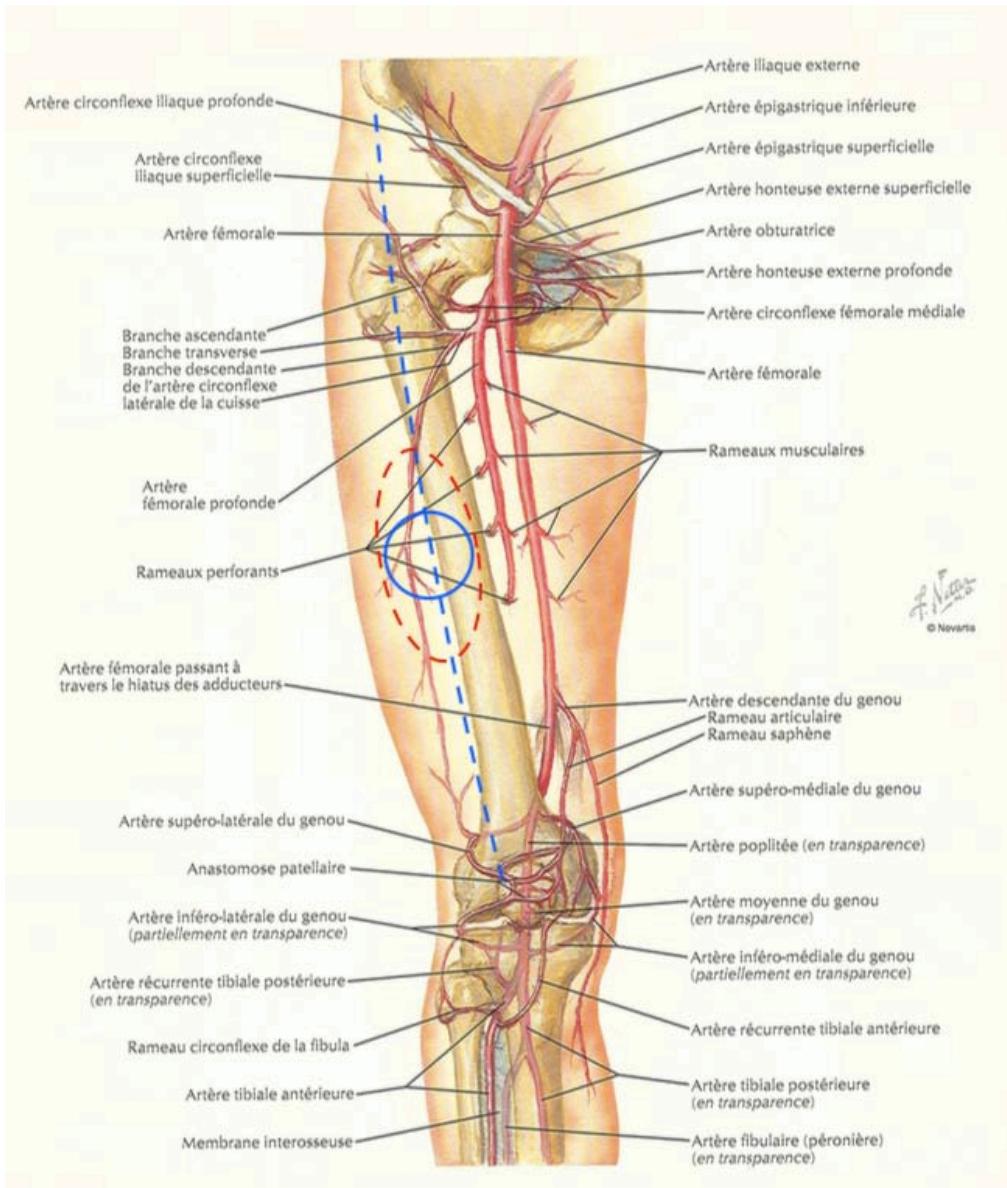


Figure 4: Vascularisation de la cuisse d'après Franck Netter ; ligne bleue en pointillés reliant l'épine iliaque antérieure et supérieure à l'angle supéro-externe de la patella ; cercle bleu de rayon 3cm, centre de cette ligne regroupant les perforantes ; ellipse rouge, dessin de la palette cutanée de l'ALT.

1.3.3 Variations anatomiques et classifications :

Shieh *et al.* proposent une classification de l'ALT en fonction de la naissance de son pédicule et de ses variations anatomiques (27) (Figure 5 et Figure 6):

- Type I : perforante musculocutanée verticale provenant de l'ACFL dans 56,8% des cas, avec une longueur des perforantes de $4,83 \pm 2,04\text{cm}$ et une longueur de pédicule de $12,48 \pm 1,15\text{cm}$
- Type II : perforante musculocutanée horizontale provenant de la branche transverse de l'ACFL dans 27% des cas, perforantes $6,77 \pm 3,48\text{cm}$ et pédicule $11,10 \pm 2,01\text{cm}$
- Type III : perforante verticale septocutanée provenant de la branche descendante de l'ACFL 10,8% des cas, perforante $3,60 \pm 1,47\text{cm}$, pédicule $11,50 \pm 1,22\text{cm}$
- Type IV : perforante horizontale septocutanée provenant de la branche transverse de l'ACFL 5,4% des cas, perforantes $7,75 \pm 1,06\text{cm}$, pédicule $12,75 \pm 1,06\text{cm}$

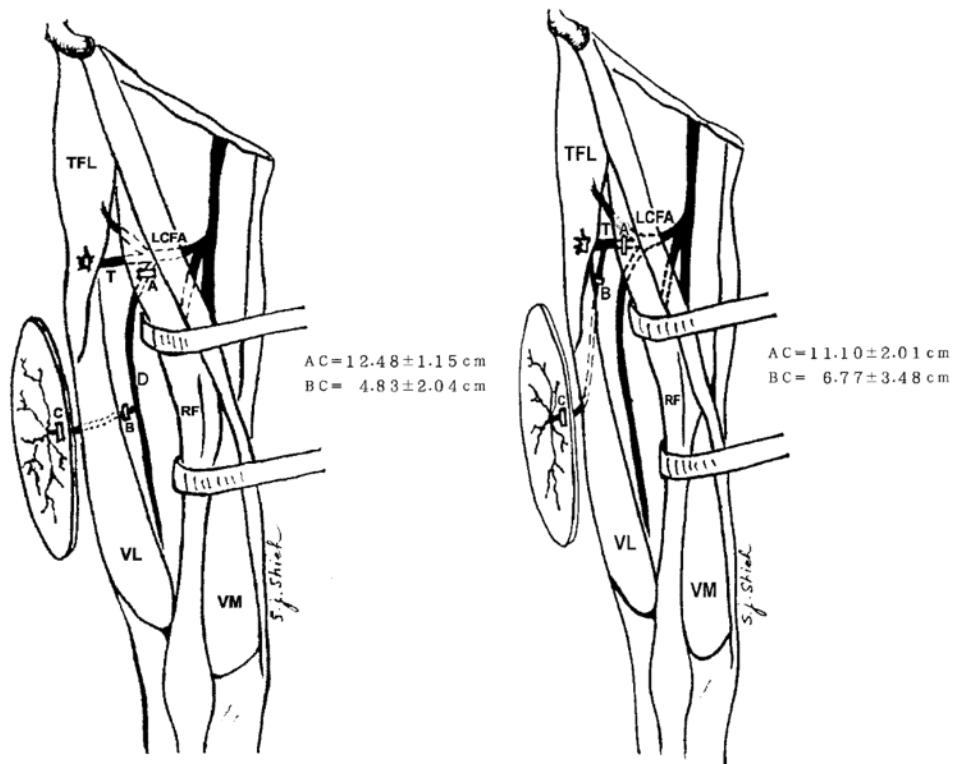


Figure 5 : classification de Shieh du pédicule de l'ALT ; Type I à gauche et type II à droite

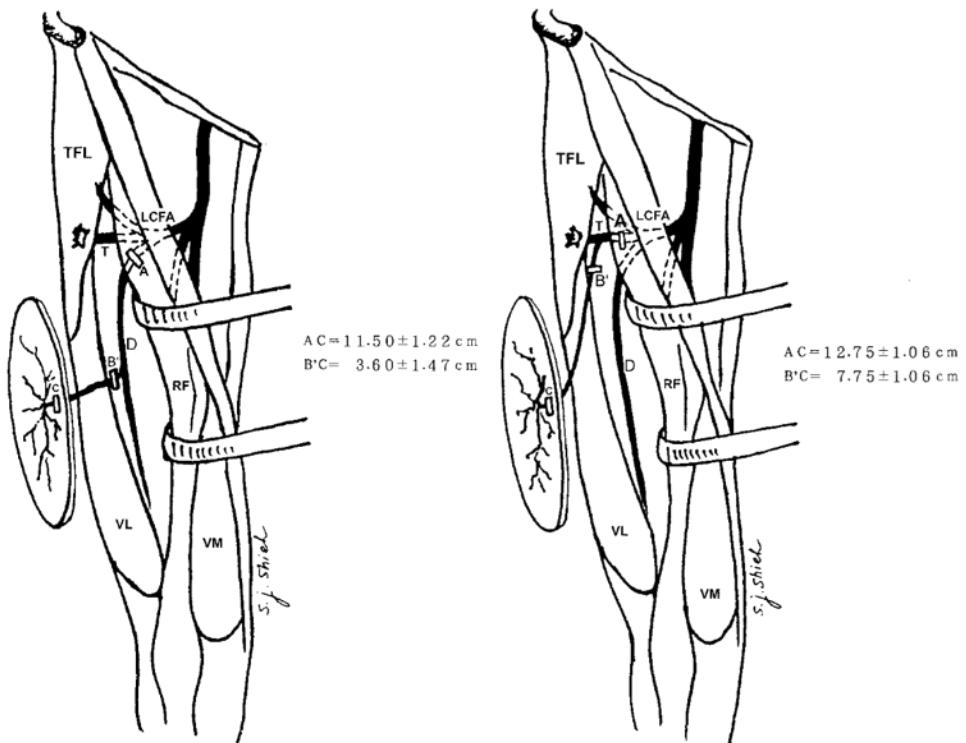


Figure 6 : classification de Shieh du pédicule de l'ALT ; Type III à gauche et type IV à droite

Plus récemment, la classification de Yu prend en compte la position des perforantes (30). Les perforantes sont classées en 3 groupes (A, B ou C) en fonction de leur position par rapport au centre de la ligne reliant l'épine iliaque antérieure et supérieure à l'angle supéroexterne de la patella : A correspond à la perforante la plus proximale, B à la perforante du milieu et C à la plus distale (Figure 7), puis en 3 types (I à III) en fonction de leur origine : type I une perforante provenant de la branche descendante de l'ACFL (90% des cas), type II si elle provient de la branche transverse et type III si elle vient directement de l'artère fémorale profonde (Figure 8).

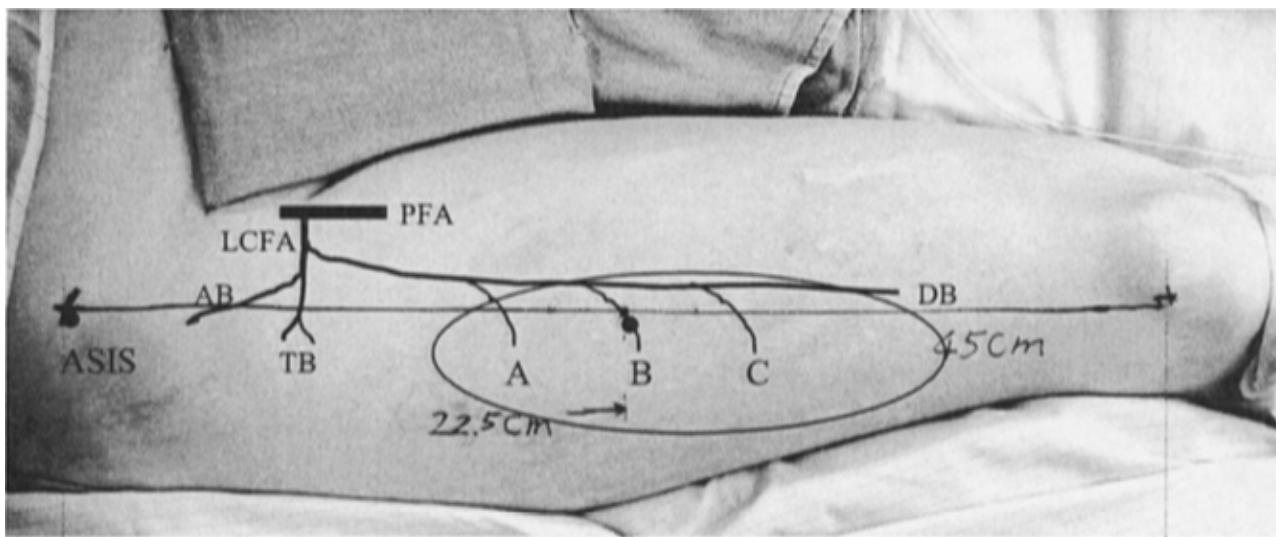


Figure 7: classification de Yu ABC ; A, la perforante la plus proximale ; B, la perforante du milieu; C, la perforante la plus distale

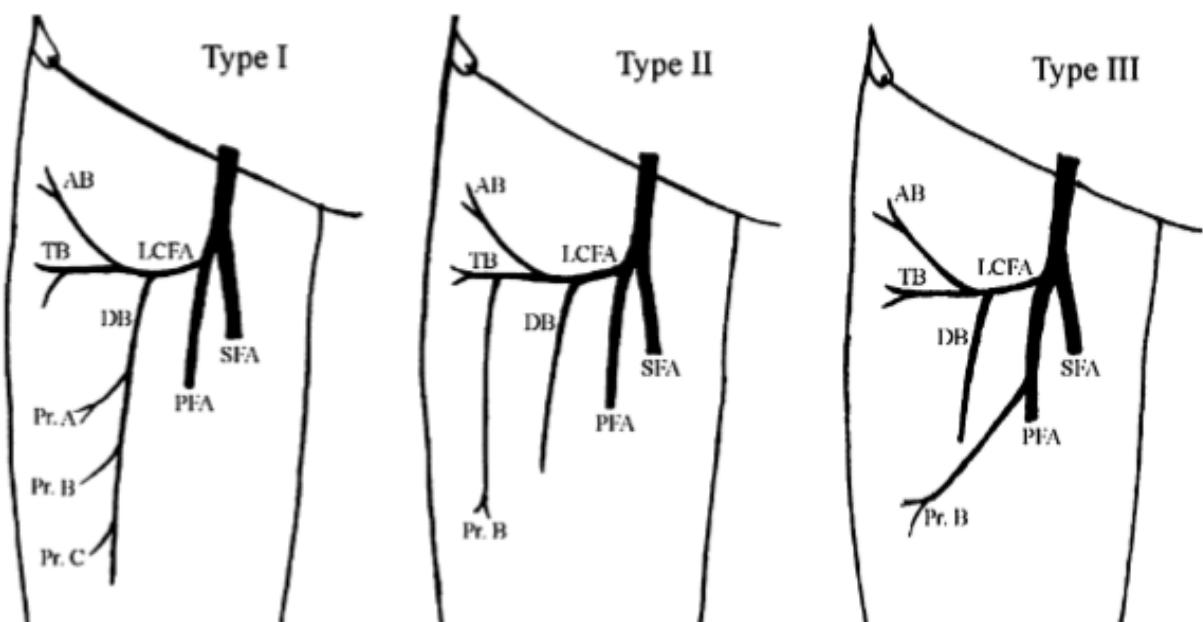


Figure 8: classification de Yu ABC; type I la perforante provient de la branche descendante de l'ACFL, type II de la branche transverse et type III de l'artère fémorale profonde.

En 2015, l'étude de Lee *et al.* s'appuie sur les classifications de Shieh et Yu pour montrer la multiplicité des variations anatomiques du pédicule de ce lambeau, avec un total de 19 combinaisons possibles (Figure 9) (41).

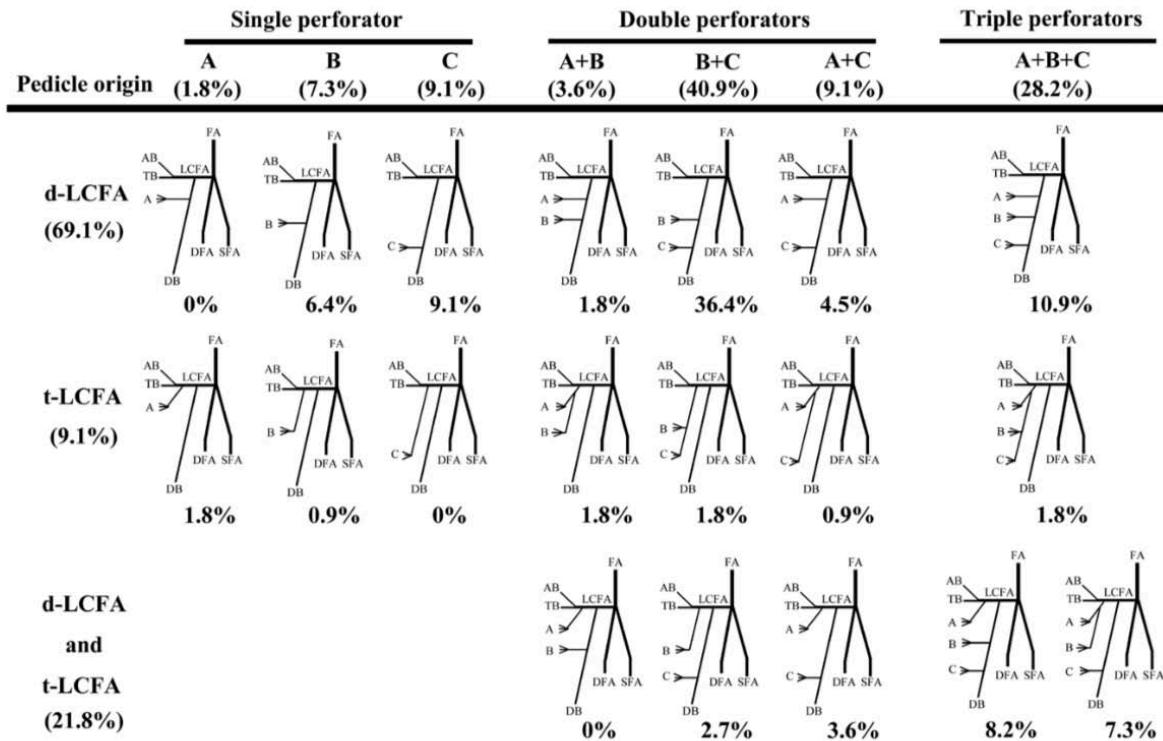


Figure 9 : variations anatomiques du pédicule de l'ALT, d'après Lee *et al.* étude sur 110 lambeaux. d-LCFA, branche descendante de l'artère circonflexe fémorale latérale ; t-LCFA, branche transverse de l'artère circonflexe fémorale latérale ; FA, artère fémorale ; DFA, artère fémorale profonde ; SFA, artère fémorale superficielle ; AB, branche ascendante de l'artère circonflexe fémorale latérale ; TB, branche transverse de l'artère circonflexe fémorale latérale ; DB, branche descendante de l'artère circonflexe fémorale latérale.

L'indication chirurgicale de l'ALT à pédicule distal et la technique opératoire seront adaptées en fonction de la variante anatomique de chaque patient. Il est alors important de déterminer la position anatomique des vaisseaux en préopératoire pour faciliter et guider au mieux le geste chirurgical.

1.3.4 L'angioscanner dans le repérage des vaisseaux

L'essor des lambeaux perforants a longtemps été limité par des questionnements sur leur vascularisation, mettant en cause leur fiabilité.

Depuis quelques années, la réalisation d'une imagerie en préopératoire permet de connaître l'anatomie vasculaire précise des lambeaux perforants et d'établir une cartographie complète augmentant leur fiabilité (42).

En 2006, Masia *et al.* ont décrit l'utilisation de l'angioscanner dans le repérage préopératoire des vaisseaux perforants qui fait, à ce jour, office de référence pour le lambeau de DIEP (Deep Inferior Epigastric Perforator flap) mais également pour de nombreux lambeaux perforants (43,44).

Il permet une analyse précise des perforantes, de leur localisation, de leur calibre, de leur trajet sous-cutané, septal ou intramusculaire et de l'origine du vaisseau source. Il favorise la sélection des meilleures perforantes optimisant le dessin du lambeau. Plusieurs études s'accordent sur le fait que l'angioscanner permet d'augmenter la fiabilité des lambeaux, et de diminuer leurs complications (nécroses partielles, cytostéatonécrose, complications du site donneur...) ainsi que le temps opératoire et le stress du chirurgien (42,45).

Pour optimiser les performances et la qualité de cet examen, il est important d'avoir un protocole standardisé et validé par le chirurgien plasticien et le radiologue.

Boucher *et al.* proposent un protocole bien défini pour le lambeau ALT qui repose sur 4 caractéristiques (46):

- La position du patient : position opératoire, en décubitus dorsal, bras en extension au-dessus de la tête sans drap ni objet interférant.
- Un produit de contraste à haute concentration entre 350 et 400 mg/mL (Ultravist 370®, Omnipaque 350®...), avec une injection intraveineuse de 130 mL de produit à une vitesse de 4 mL/s.
- Le déclenchement de l'acquisition, avec un ROI (Region Of Interest) placé de l'aorte abdominale terminale jusqu'au-dessous des genoux avec des coupes de 0,625 mm idéalement.
- Le type de reconstruction, MIP (Maximum Intensity Projection) permettant le repérage des perforantes, de leur diamètre et du trajet des vaisseaux sources ; MPR (Multiplan Reconstruction) qui apporte des coupes en 3 dimensions (sagittales, coronales, axiales) pour un guidage précis de la dissection des perforantes ; et le VR (Volume Rendering) en reconstituant l'étui cutané permet de localiser avec précision les perforantes sur la peau.

L'apport de l'angioscanner a donc permis de fiabiliser ces lambeaux perforants. La technique chirurgicale choisie peut même être réfutée, sur la base de cet examen, en cas de perforantes trop

grêles ou absentes, de longueur de pédicule trop courte, ou de variation anatomique rendant impossible la réalisation du lambeau.

L'utilisation de l'angioscanner a néanmoins quelques limites. Tout d'abord, il expose le patient à un niveau d'irradiation non négligeable, pouvant aller jusqu'à 10mS ce qui correspond à 3 fois la dose de radiation annuelle naturelle (47). D'autre part, son coût est élevé. Enfin, il s'agit d'un examen invasif, avec de possibles effets secondaires tels qu'une réaction allergique au produit de contraste iodé, ou encore la survenue d'une insuffisance rénale.

1.3.5 L'échographie doppler dans le repérage des vaisseaux

En 1998, Blondeel *et al.* comparent l'échographie doppler couleur à la sonde doppler unidirectionnelle pour le repérage des lambeaux perforants. Son utilisation permet le repérage du pédicule des lambeaux ainsi que de leurs branches et perforantes. Elle permet également de recueillir des informations sur les structures traversées par les vaisseaux, sur leur rapport avec les muscles et les fascias et sur l'épaisseur du tissu sous-cutané.

Selon l'orientation de la sonde d'écho-doppler, le vaisseau source peut être mesuré, son flux systolique déterminé et le calibre des perforantes calculé (48,49).

La sensibilité de cet examen est élevée pour la détection des perforantes, même pour des diamètres < 0,2 mm, tout comme sa valeur prédictive positive évaluée à 100% (48,50,51).

L'échographie doppler permet enfin de repérer certaines anomalies ou dommages vasculaires, engendrés par l'athérosclérose ou des chirurgies antérieures (cicatrices, fibrose...) par exemple, afin de vérifier la bonne perméabilité des vaisseaux perforants.

Par rapport à l'angioscanner, l'échographie doppler couleur offre plusieurs avantages : son faible coût, son caractère non invasif, non irradiant et facilement réalisable au lit du malade. De plus, elle ne nécessite pas d'injection de produit de contraste et il n'y a pas d'interférence avec certains objets métalliques, comme les prothèses de genoux, pouvant altérer la qualité de l'image. Il n'y a ainsi aucune contre-indication qui s'oppose à sa réalisation (52,53).

Cependant, elle présente également quelques inconvénients. La durée de l'examen est souvent longue (environ 30-40 min) et parfois inconfortable pour le patient. La qualité de l'examen est opérateur dépendant et difficilement reproductible. Enfin la morphologie du patient (obésité, tissu sous-cutané épais) et ses antécédents peuvent influencer l'examen (52-54).

Étant donné la variabilité anatomique des lambeaux perforants, cet examen est un outil précieux et largement utilisé pour cartographier la localisation et la taille des perforantes notamment pour l'ALT et les lambeaux perforants en hélice (perforator propeller flap) (28,48,49,55,56).

1.3.6 Autres techniques d'imagerie

Le doppler acoustique est régulièrement utilisé pour le repérage des artères perforantes. Il s'agit d'un examen non invasif, peu coûteux et facilement disponible mais qui ne permet pas de détecter des vaisseaux au-delà de 20 mm de profondeur ni de cartographier de façon précise le pédicule (53). De plus, il y a de nombreux faux positifs, jusqu'à 47% dans certaines séries (57).

L'artériographie est couramment pratiquée en chirurgie vasculaire. Elle permet de visualiser avec précision le trajet des vaisseaux principaux et la présence d'athérosclérose. Cependant il s'agit d'un examen onéreux et particulièrement invasif, avec des risques de dommages vasculaires et rénaux. D'autre part, elle est peu précise sur le repérage des perforantes et sur la relation du pédicule vasculaire avec les structures adjacentes.

L'angiographie par résonnance magnétique est un examen non irradiant et peu invasif. Elle est actuellement peu utilisée pour la cartographie des lambeaux perforants en raison de son coût élevé et de sa faible disponibilité. Cependant à l'avenir, elle pourrait faire partie des examens de référence, au vu des avancées récentes en matière d'imagerie par résonnance magnétique (IRM) (53).

Enfin, l'angiographie fluorescente au vert d'indocyanine ou la thermographie infrarouge dynamique sont également pratiquées en per ou préopératoire essentiellement pour déterminer le territoire vasculaire de ces lambeaux (53).

1.3.7 Technique chirurgicale

1.3.7.1 *Tracé du lambeau*

Le tracé de ce lambeau relève d'une technique bien standardisée dans la littérature (58). Le patient est placé en décubitus dorsal et une ligne reliant l'épine iliaque antérieure et supérieure à l'angle supéro-externe de la patella est tracée. Le milieu de cette ligne est repéré et un cercle de 3 cm de diamètre est tracé autour. Ce cercle correspond au point d'émergence des principales perforantes, 92% d'après une étude de Da Chuan *et al.* dont 80% dans le quadrant inféro-latéral (59) (Figure 10).

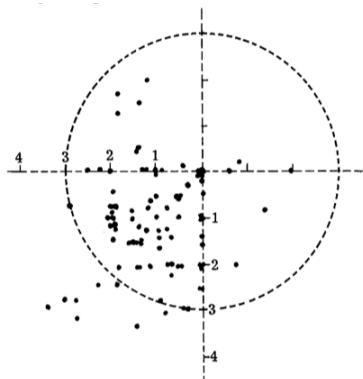


Figure 10 : répartition des perforantes sur un cercle de 3cm de diamètre d'après Da Chuan et al.

Le lambeau est ensuite tracé, centré sur ce cercle afin d'inclure le maximum de perforantes (Figure 11). Le dessin du lambeau peut être adapté si besoin après l'incision et l'identification des perforantes, afin de centrer la palette sur les perforantes ou au contraire de l'excentrer pour augmenter la distance de couverture (Figure 11).

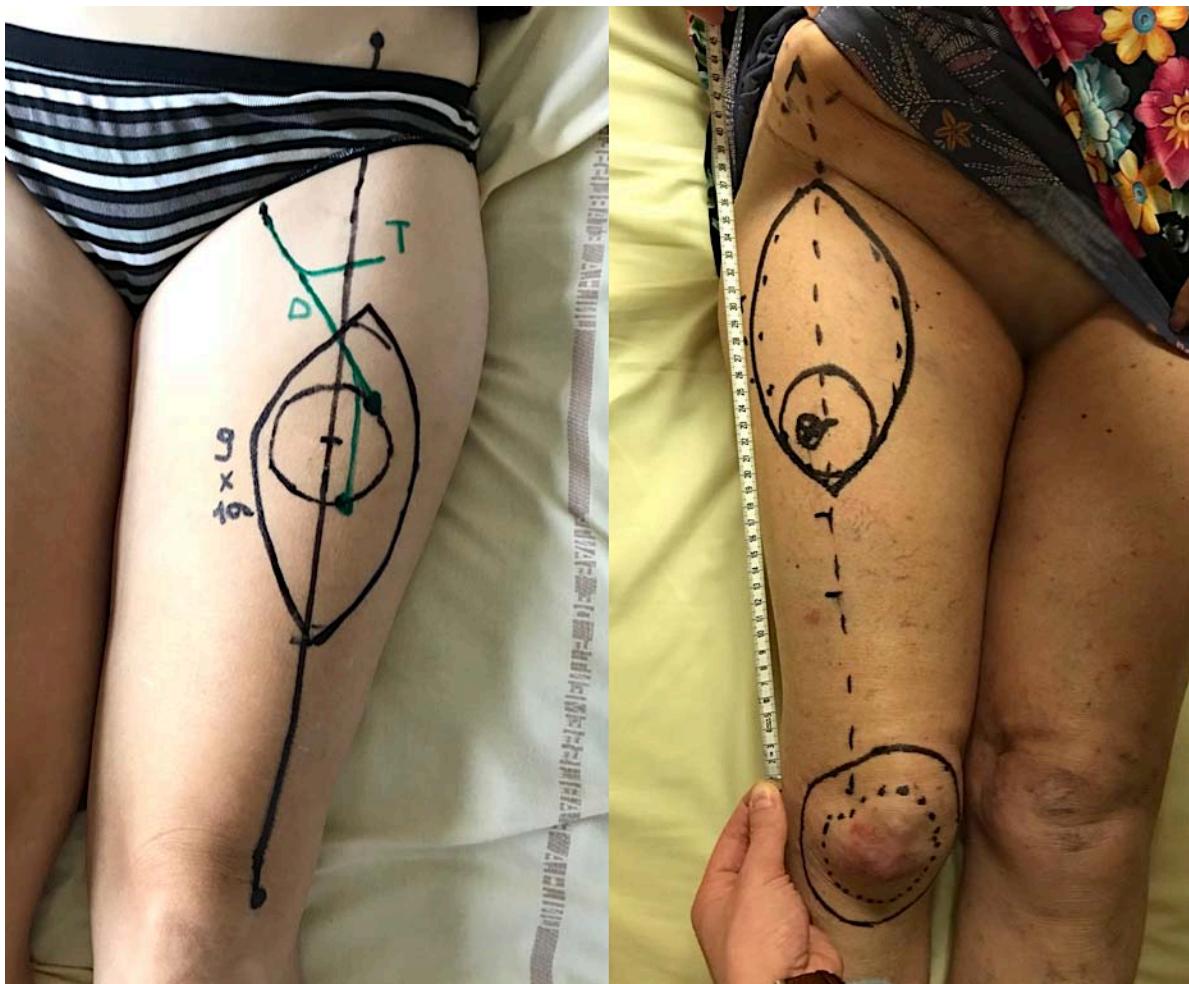


Figure 11 : tracé du lambeau antérolatéral de cuisse ; centré sur la palette à gauche ; excentré à droite

Une ligne reliant le milieu de ce cercle au milieu de l'arcade crurale peut être tracée afin de marquer le trajet de la branche descendante de l'ACFL sur ses 2/3 inférieurs. (58,60)

1.3.7.2 Dissection du lambeau

La palette cutanée du lambeau est ensuite incisée sur son bord médial. Elle se poursuit en profondeur jusqu'à l'aponévrose musculaire du muscle droit fémoral. Dans sa forme fascio-cutanée, l'aponévrose est incisée et la dissection est poursuivie au ras du muscle jusqu'au repérage de la branche descendante de l'ACFL dans le septum entre le muscle vaste latéral et droit fémoral (Figure 12).

La dissection se poursuit jusqu'au repérage des perforantes. S'il s'agit de perforantes septocutanées, elles sont facilement individualisables dans le septum, dans le cas contraire, lorsqu'elles sont musculo-cutanées, leur repérage se fait par incision du lambeau sur sa berge latérale. La branche descendante est suivie jusqu'à son origine au niveau de l'ACFL afin de s'assurer du type de perforante d'après la classification de Shieh *et al.*

Le lambeau est incisé sur son versant latéral en emportant l'aponévrose du muscle vaste latéral. La dissection se poursuit à nouveau au ras du muscle jusqu'au septum où est repéré la branche descendante de l'ACFL ainsi que les perforantes.

En cas de perforante musculocutanée, il est recommandé d'emporter 0,5 cm de muscle autour de cette dernière (37).

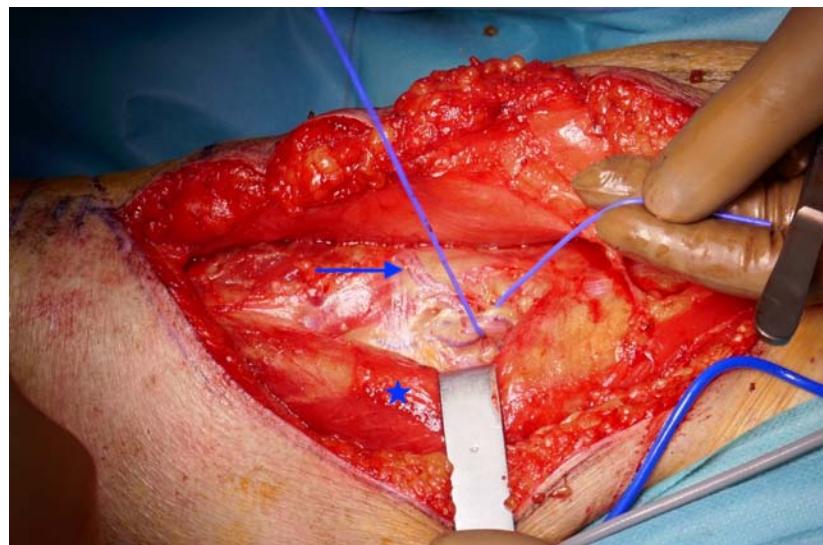


Figure 12 : incision de la berge médiale de l'ALT ; lac bleu, repérage de la branche descendante de l'ACFL ; flèche bleue, perforante septocutanée ; étoile bleue, muscle droit fémoral récliné.

En cas de lambeau perforant cutané ou adipo-cutané, l'incision cutanée va jusqu'au fascia profond sans l'emporter (supra fascial flap) ou jusqu'au fascia superficiel (super-thin flap) (31,32). La perforante est ensuite repérée et disséquée au travers du fascia jusqu'à la branche descendante.

La dissection de la branche descendante est poursuivie en distalité dans le septum intermusculaire puis dans le vaste latéral où il est recommandé d'emporter un morceau de muscle de 1 à 2 cm autour du pédicule par sécurité jusqu'au point pivot distal repéré préalablement par échographie doppler ou angioscanner (37).

Une épreuve de clampage est réalisée sur la branche descendante de l'ACFL en proximal afin de vérifier la présence d'un battement et d'un flux rétrograde dans la branche descendante. L'étude de Pan *et al.* a démontré que l'anastomose de la branche descendante de l'ACFL avec l'AGSL permet une perfusion constante du lambeau par un flux rétrograde (34).

Après s'être assuré de la présence de ce flux dans le pédicule, la branche descendante de l'ACFL est ligaturée en proximal, en amont des perforantes. Le lambeau peut ainsi être levé de proximal en distal. En fonction de la position de la perforante, on opère une translation ou une rotation à 180° sur la perte de substance. Wong *et al.* proposent un algorithme décisionnel en fonction de la position de la perforante par rapport au point pivot distal et à la classification de Shieh (38) (Figure 13 et Figure 14).

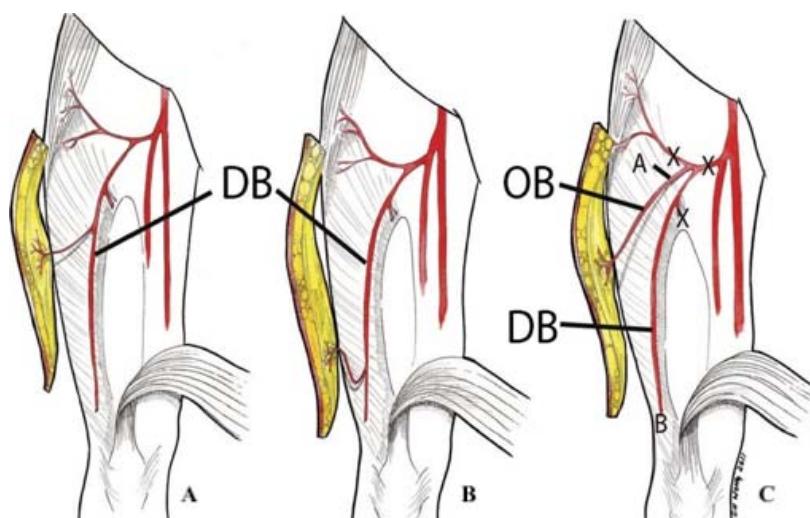


Figure 13 : technique chirurgicale choisie en fonction des constatations peropératoires : A perforante au milieu de la cuisse = ALT à pédicule distal ; B perforante à la partie distale de la cuisse = ALT propeller ; C perforante provenant de la branche transverse = ALT libre

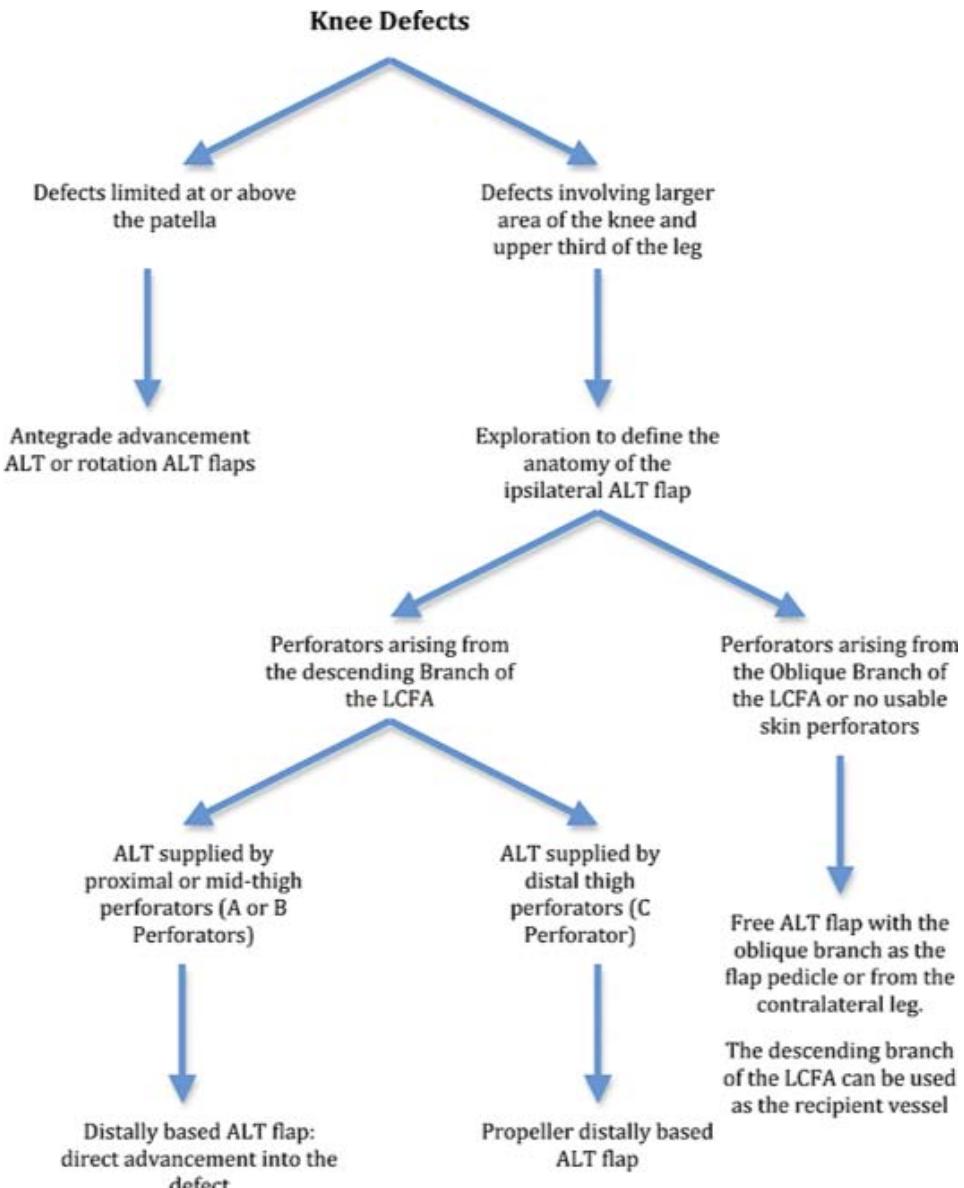


Figure 14 : Algorithme décisionnel de l'utilisation de l'ALT en fonction de la perte de substance et de la position des perforantes.

Le pont cutané peut être incisé entre le point pivot distal et la perte de substance (Figure 15) ou le lambeau peut être tunnellié mais avec des risques de compression du pédicule.

Le site donneur est ensuite fermé en première intention sans tension (Figure 15) ou alors greffé par une greffe de peau mince si le défaut cutané est trop important.



Figure 15 : à gauche : incision du pont cutané entre la perte de substance et le lambeau ; à droite : fermeture du site donneur sans tension.

1.4 Objectif du travail de thèse

Dans la reconstruction du genou, la place des lambeaux musculaires pédiculés prélevés sur la jambe est incontestable, bien que controversée depuis quelques années par l'essor des lambeaux perforants prélevés autour du genou, jugés moins morbides sur le plan fonctionnel.

L'ALT est bien connu et utilisé depuis longtemps sous sa forme libre ou à pédicule proximal, mais reste encore rarement utilisé dans sa forme à pédicule distal, bien que Zhang l'ai décrit pour la première fois en 1990 (33). Ce lambeau perforant cutané ou fascio-cutané pédiculé pourrait pourtant être une bonne alternative en cas de PDS du genou, en apportant un tissu fin, de taille relativement importante et plus fiable qu'un lambeau libre.

D'après l'état actuel des connaissances, l'angioscanner et l'échographie doppler couleur sont les méthodes actuellement utilisées pour la cartographie des lambeaux perforants du membre inférieur, et en particulier de l'ALT (52).

L'objectif final de ce travail de thèse était d'étudier la faisabilité du repérage pré opératoire de l'ALT à flux rétrograde en échographie doppler par le chirurgien afin de guider les indications et de faciliter le geste chirurgical.

La première partie de notre travail avait pour but de comparer les résultats des repérages de l'angioscanner et de l'échographie doppler couleur à la dissection, sur des pièces cadavériques. Pour ce faire, nous avons mis en place une étude préliminaire visant à prouver la faisabilité de l'échographie doppler couleur pour le repérage de vaisseaux sur pièces cadavériques.

La seconde partie de notre travail consistait à comparer, *in vivo*, l'échographie doppler couleur et l'angioscanner pour le repérage des perforantes, du point pivot distal et du pédicule de l'ALT.

2 Vascular Doppler ultrasound on cadaveric piece: a training tool in preoperative mapping for the reconstructive surgeon.

2.1 Abstract

Purpose

Recent application of vascular color Doppler ultrasound includes bedside vascular evaluation prior to reconstructive surgery. This specific task requires adequate training of the surgeons.

The goal of this study is to present a cadaver model that can be used for vascular studies using doppler ultrasound prior to dissection. It is illustrated by demonstrating the feasibility of locating the descending branch of the lateral circumflex femoral artery (LCFA) perforators.

Methods

The study was performed on five fresh cadaver lower limbs. Porcine blood was chosen as a human blood mimicking fluid (BMF). It was pulsed in the vessels and Doppler location was performed with a Fujifilm Sonosite SII ultrasound system and a L38xi probe. We assessed different landmarks necessary for realization of a proximal or distal anterolateral thigh flap.

Results

A doppler signal could be received on the five pieces. All anatomical landmarks could be found on doppler ultrasound. The proximal pivot point was located at a mean of 30.9 ± 2.6 cm from the superior lateral aspect of the patella, the distal pivot point at 13 ± 3.29 cm, the first perforator was located at a mean of 24.5 ± 4.4 cm from the patella. These data were confirmed by dissection, respectively 31.6 cm ± 1.6 cm, 9.4 ± 3.65 cm and 23.3 ± 4.4 cm.

Conclusion

Color Doppler ultrasound of the vessels can be performed on a cadaver with pulsatile injection of porcine blood. This experimental model can be used for research, learning or surgeon training, for preoperative location with color Doppler ultrasound, particularly in reconstructive surgery.

Key words: Doppler – cadaver – plastic surgery – perforator flap – training device

2.2 Purpose:

In reconstructive surgery, with the rise of the perforators flaps, color Doppler ultrasound has become a benchmark for preoperative vessels assessment, in order to guide and facilitate the surgical procedure (48,61). The color Doppler ultrasound performed by the operator himself is a non-irradiating and low cost technique, accessible to the patient's bed, nevertheless it needs a learning curve to use it effectively.

There is no experimental learning model in the literature allowing verification of the anatomy identified prior to the Doppler echo. Such a model would be interesting to check the radioclinical concordance and to train surgeons on preoperative flaps assessment by color Doppler ultrasound.

The goal of this study was to create a fresh cadaver teaching model for thigh vessel assessment by color Doppler ultrasound to understand the radiological clinical concordance for execution of a proximal or distal pedicled Lateral Circumflex Femoral Artery Perforator flap LCFAp (Anterolateral Thigh flap or ALT flap).

2.3 Methods

Fresh porcine blood recovered at a slaughterhouse was chosen as a human blood mimicking fluid (BMF). It was anticoagulated with 2.5mL of heparin sodium (12,500 IU), then fresh packaged in an infusion bag (Figure 16).

To limit BMF losses, the collateral branches at the root of the thigh, the femoral vein and the lower popliteal artery were previously ligated.

The LFCA was catheterized with BMF injection through an arterial introducer. The deep, superficial femoral artery and the common femoral vein were also catheterized using nasogastric tubes in order to collect blood return (Figure 16).

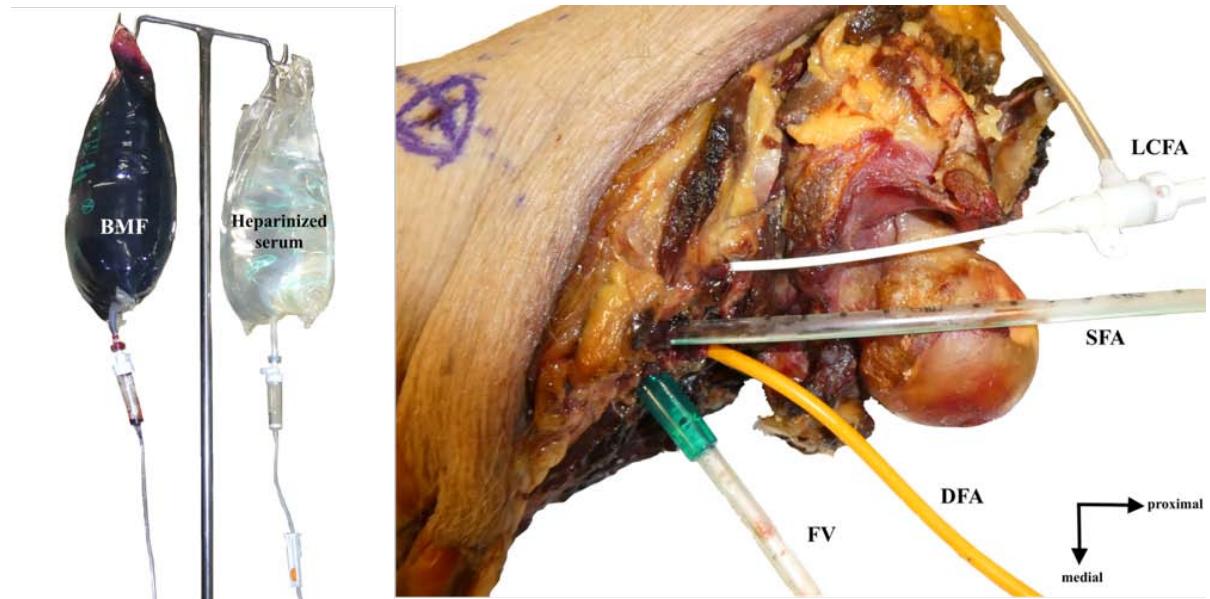


Figure 16: Left, heparinized serum and fresh porcine blood; Right, catheterization of vessels; LCFA, lateral circumflex femoral artery; SFA, superficial femoral artery; DFA, deep femoral artery; FV, common femoral vein

Vessels were washed with heparinized serum to remove all the clotted blood. A first Doppler vessel assessment was performed during this serum injection, using a Fujifilm Sonosite SII ultrasound system (L38xi probe, 5-10MHz, arterial distal lower limb program, $\pm 7\text{cm/sec}$).

Secondly, the BMF was injected in a pulsed manner thanks to a syringe connected to the introducer. A second Doppler location was performed and every landmarks were searched: the LCFA and its descending branch, the proximal and distal pivot points, and perforator vessels of the descending branch of the LCFA. The superolateral genicular artery (SLGA) and its anastomosis with the descending branch of the LCFA were also searched (Figure 17).

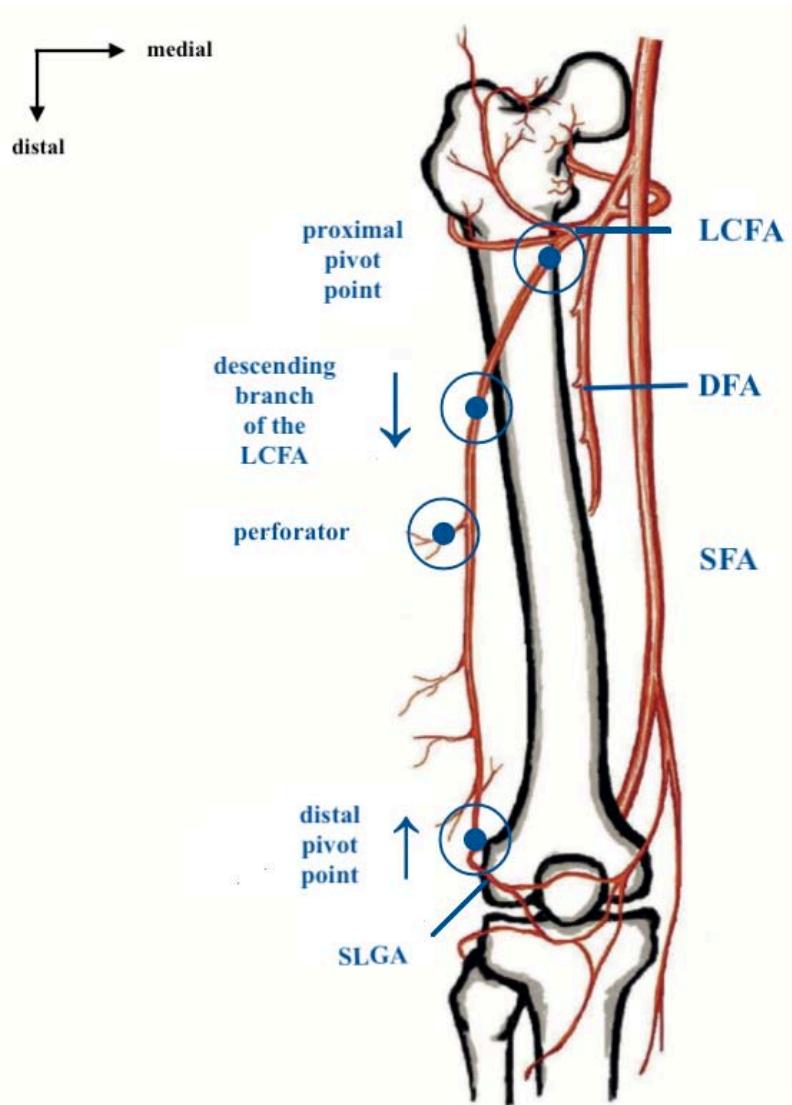


Figure 17: data assessed with color doppler ultrasound; blue circle, color doppler ultrasound examination; LCFA, lateral circumflex femoral artery; DFP, deep femoral artery; SFA, superficial femoral artery; SLGA, superolateral genicular artery.

The proximal pivot point was defined by the origin of the descending branch from the LCFA. This point is used, in clinical practice, to proximal LCFAp flap harvesting to cover soft tissue defect around groin, perineal or abdominal. The distal pivot point was defined in following the descending branch of the LCFA distally until the disappearance of the doppler signal in the vastus lateralis muscle. This point is used, in clinical practice, to distal LCFAp flap harvesting to cover knee defects.

2.4 Results

One the first thigh, the Doppler examination during the injection of heparinized serum allowed us to notice a distension of the vessels as the serum was passing without any viewable color signal (Figure 18).



Figure 18: transversal section with color doppler ultrasound, LCFA distention

Secondly, a pulsatile Doppler flow into the LCFA and its descending branch with the fresh porcine blood vascular injection was noticed (Figure 19, video in on-line supplemental material) allowing us to identify the proximal and distal pivot point and one perforator. On the other side, the SLGA and its anastomosis with the descending branch of the LCFA were not visualized.

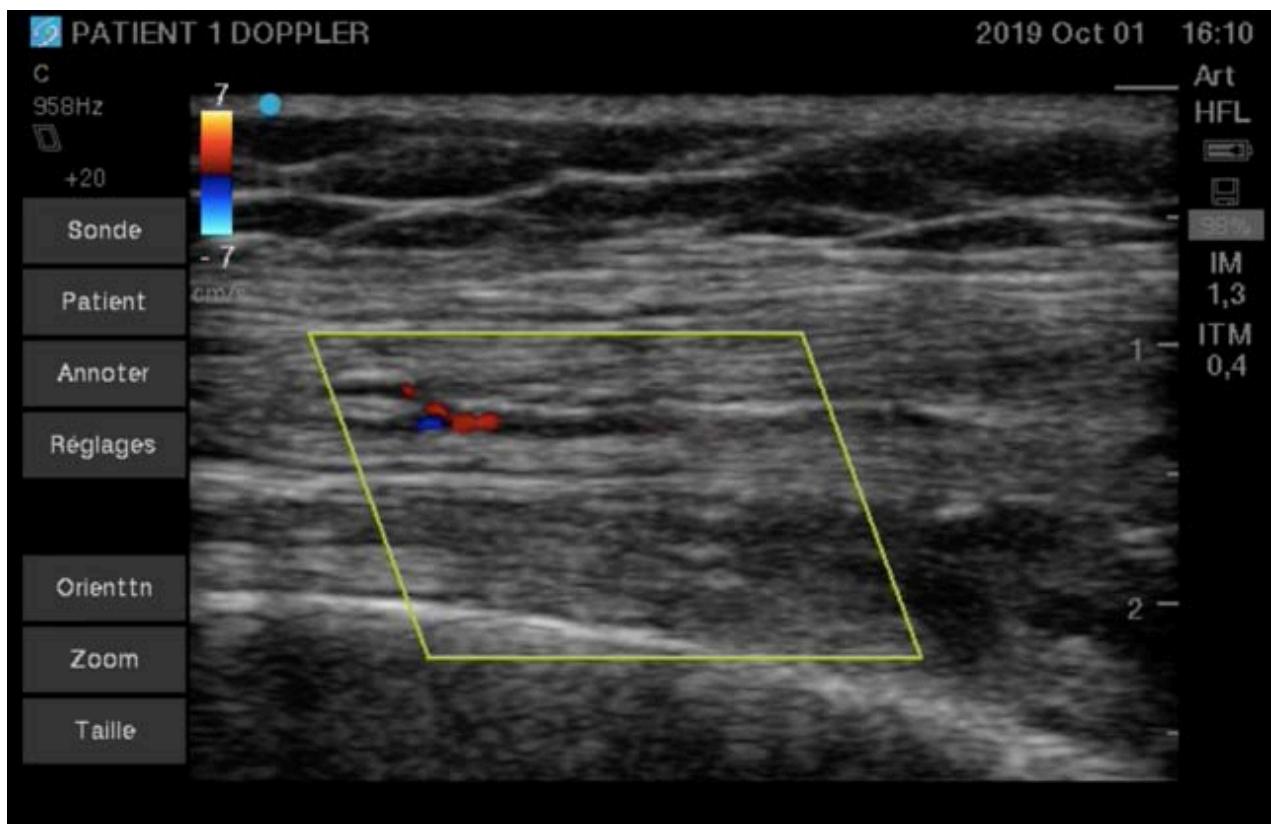


Figure 19: longitudinal section: pulsed injection of porcine blood; pulsatile flow and doppler signal into the descending branch of the LCFA.

With color doppler assessment, the proximal pivot point was located at a mean of 30.9 ± 2.6 cm from the superior lateral aspect of the patella, the distal pivot point at 13 ± 3.29 cm, the first perforator was located at a mean of 24.52 ± 4.35 cm from the patella and the 2nd perforator on one thigh at 18 cm from the patella (Table 1).

CD ultrasound analysis							
Data assessed	Thigh 1	Thigh 2	Thigh 3	Thigh 4	Thigh 5	Mean	CI 95%
Distance (cm) from proximal pivot point to superior lateral aspect of the patella	26	31.5	31.5	31.5	34	30.9	2.6
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	8	16.5	10	15.5	15	13	3.3
Distance (cm) from first perforator to superior lateral aspect of the patella	17.5	21.1	27.3	28.3	28.5	24.5	4.4
Distance (cm) from second perforator to superior lateral aspect of the patella						18	
Total number of perforators	1	1	1	1	2	1.2	0.4

Table 1: CD ultrasound analysis, proximal, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%.

These data were immediately confirmed by the complete dissection of the thigh and the descending branch of the LCFA. The proximal pivot point was found at a mean of $31.6 \text{ cm} \pm 1.6 \text{ cm}$ from the superior lateral aspect of the patella, the distal pivot point at $9.4 \pm 3.65 \text{ cm}$. The perforators located by Doppler were assessed at a mean of $23.3 \pm 4.4 \text{ cm}$ from the patella for the first ones and at 19.5 cm for the second one on the fifth thigh. On the first thigh, we located four perforators, three perforators on the second thigh, one on the third and the fourth thighs, then two perforators on the fifth thigh (Table 2).

Dissection analysis							
Data assessed	Thigh 1	Thigh 2	Thigh 3	Thigh 4	Thigh 5	Mean	CI 95%
Distance (cm) from proximal pivot point to superior lateral aspect of the patella	32	31	34	29	32	31.6	1.6
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	7	10	4	11	15	9.4	3.7
Distance (cm) from first perforator to superior lateral aspect of the patella	17	20.5	30	23	26	23.3	4.4
Distance (cm) from second perforator to superior lateral aspect of the patella						19.5	
Total number of perforators	4	3	1	1	2	2.2	1.1

Table 2: Dissection analysis, proximal, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%.

250 cc of BMF per thigh were injected to enable the collection of all data and a mean of 46 cc were collected via nasogastric tubes.

2.5 Discussion

Our preliminary study proves the technical feasibility of the color doppler ultrasound on a cadaver piece. Having a circulating but also cellularized liquid to record a doppler signal is essential. Indeed, serum injection is insufficient to obtain a Doppler signal, the use of a BMF is essential. The BMF must look like as much as possible to human blood in terms of density, size and concentration of particles, viscosity and acoustic properties. The literature found fluids composed of water and glycerol associated with suspended particles such as nylon (Orgasol particles) (62)(63), polystyrene (62) or poly (4-methylstyrene) microspheres (64), Sephadex particles (filtration gel) (62)(64) or even polysaccharides such as xanthan gum (food gelling agent) (65). But also other industrial products such as Silcolapse (anti-foam) (66), Synperonic N and A7 (detergents) (67)(68) or industrial lubricants (69). Some studies directly used porcine or equine blood from slaughterhouses (70). According to the results of the Weng et al study (71) comparing different animal bloods with human blood and the technical feasibility of the Allard L and Cloutier G study (70), porcine blood had physical and chemical properties close to human with an expected echogenicity close to the human blood.

In order to best mimic a doppler ultrasound performed on living humans, we chose to administer the BMF in a pulsed manner. It was administered manually through the introducer via a 50cc syringe, the flow generated allowed us to obtain a quality image.

We were able to easily identify small vessels (0.46 cm for LCFA and 0.2 cm for its descending branch) thanks to the pulsed administration of fresh porcine blood, whose ultrasound properties seem similar to human blood, as suggested by Weng et al study (71).

The model made it possible to carry out a dissection after the Doppler tracking in order to verify the different benchmarks found. The Doppler echo tracking was correct. The biggest difference was in the number of perforators found. Doppler ultrasound had less sensitivity than dissection, however it was possible to find at least one perforator on doppler echo on each thigh.

The small quantity of BMF collected from catheterization can certainly be explained by a thigh congestion during the injection. A catheterization of all the collateral vessels including the popliteal artery would collect a greater volume of BMF and would facilitate the repetition of examinations on the same subject.

This study was a preliminary study whose aim was to show the feasibility of color Doppler ultrasound on a cadaver for vessel location. A second study is in progress to correlate the results of color Doppler ultrasound mapping on cadaver lower limbs compared to computed tomographic angiography for ALT flap landmarks.

2.6 Conclusion

Color Doppler ultrasound of the vessels can be performed on a cadaver with pulsatile injection of porcine blood. This experimental model can be used for research, learning and surgeon training, particularly for preoperative location of vessels in reconstructive surgery.

3 Comparative anatomical study of distally-based anterolateral thigh flap perforators location using bidirectional color Doppler versus computed tomography: preliminary study about 15 perforators.

3.1 Abstract

Introduction

The distally-based anterolateral thigh flap (dbALT) could be a useful tool to reconstruct around-the-knee defects. There are numerous perforator anatomical variations and the dbALT flap distal pivot point could be hardly located. Nowadays, the computed tomographic angiography (CT angiography) is the preoperative marking benchmark.

The aim of our anatomical study was to compare the CT angiography and the color doppler ultrasound (CD ultrasound) for dbALT flap distal pivot point assessment, its perforators and the path of its pedicle.

Materials and Methods

Five fresh cadaver lower limbs were studied. For each thigh, we recorded the path of the pedicle with Shieh classification, the distal pivot point and perforator location by CD ultrasound compared to CT angiography. Data collected with both imaging techniques were checked with anatomic dissection which was taken as a reference.

Results

The type of perforator, according to the Shieh classification, was the same with CD ultrasound, CT angiography and dissection.

Compared to the dissection, the mean difference distance between distal pivot point and patella was $3.60 \pm 2.58\text{cm}$ for the CD ultrasound and $4.86 \pm 3.31\text{cm}$ for the CT angiography. For the distance

from the 1st perforator to the patella, the CD ultrasound and the CT angiography showed a mean difference of 2.91 ± 1.49 cm and 2.67 ± 1.57 cm respectively.

Conclusion

Color Doppler ultrasound could be a good examination for preoperative marking of distal pedicle ALT flap in knee soft tissue defect. It could help locate the anatomy of its vascular pedicle, the location of its perforators and the distal pivot point.

Key words: Distally-based anterolateral thigh flap – computed tomographic angiography – color doppler ultrasound – preoperative mapping

3.2 Introduction

Soft-tissue defect around the knee is often a reconstruction challenge for plastic or orthopaedic surgeons. The gastrocnemius flap (medial or lateral) and local flaps are often used for soft tissue defect from the upper end of the tibia (14). However, in case of an extensive soft tissue defect, reaching the patella or the quadriceps tendon, these flaps are often insufficient.

The Lateral Circumflex Femoral Artery perforator flap (LCFAp flap) or Anterolateral Thigh flap (ALT) was first described by Song *et al.* in 1984 (72). Since it has been widely used in reconstruction, due to its size, possible low thickness and its low donor site morbidity.

In 1990 Zhang was the first to describe the distally-based anterolateral thigh flap (dbALT) (33). The viability of this flap needs the presence of an anastomosis between the descending branch of the lateral circumflex femoral artery (LCFA), and the superolateral genicular artery (SLGA) or the deep femoral artery, which would be constantly present (34,40,73). It also needs the presence of perforators in communication with this descending branch which presents lots of anatomical variations (30,74,75).

Various preoperative perforators and pedicle mapping could be used (unidirectional handheld doppler, color doppler ultrasound (CD ultrasound), digital subtraction angiography, computed tomographic angiography (CT angiography) and magnetic resonance angiography) (53).

Several studies have shown the advantage of CT angiography in the preoperative markings of ALT (46,76), but it exposes to a risk of irradiation and allergy to iodinated contrast medium, it is limited

by the renal insufficiency and its interpretation can be altered by artefacts with metallic object, like a knee prosthesis (52,53).

With the rise of “ultrasound-surgery”, CD ultrasound has become an increasingly used tool for the surgeon (48,54,61). It seems to be a good examination in addition to or instead of the CT angiography when it is contraindicated. It has already shown its interest in guiding surgeon in performing perforator flaps, such as the DIEP flap, without increasing the operative time or complications, compared to CT angiography (77).

Our study is the first step to validate this tool for the dbALT.

The aim of our anatomical study was to compare, on cadaver pieces, results of CT angiography and CD ultrasound mapping in the dbALT distal pivot point, perforators and pedicle path assessment.

3.3 Materials and Methods

The study took place in September 2019 at the anatomy laboratory of our University. Five fresh cadaver lower limbs, two rights and three lefts, were studied.

On each thigh, we performed the preoperative drawing of the ALT flap; a line from the anterior superior iliac spine to the superior lateral aspect of the patella was drawn and in the middle of this line was drawn a circle of 3 cm in diameter which represented the theoretical location of the perforators (58,59). (Figure 20)

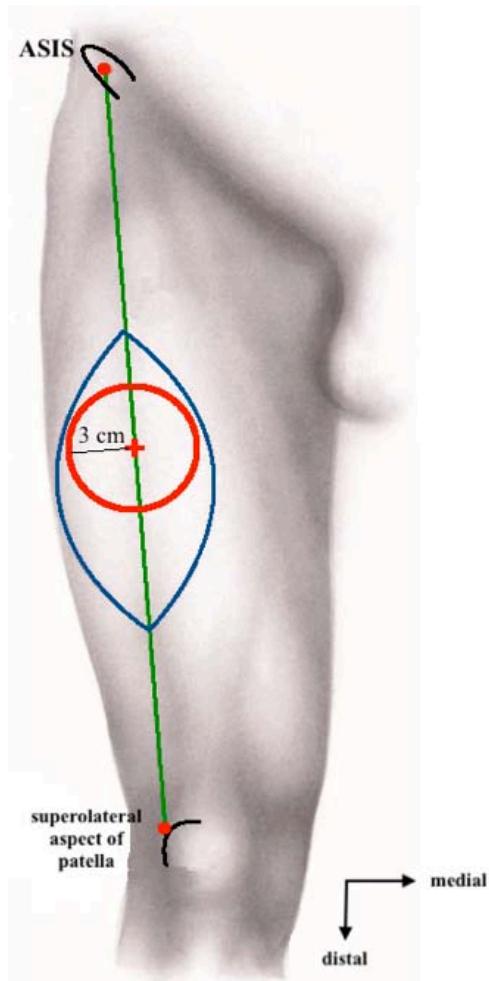


Figure 20: ALT flap drawing; line joining: ASIS, anterior superior iliac spine and superior lateral aspect of the patella; red circle, location of the perforators.

For each thigh, the sequence followed was: 1) CD ultrasound 2) CT angiography, 3) dissection. At each step, recorded data were the Shieh classification used to standardize the pedicle path assessment and the perforators; the distance (cm) from the distal pivot point to the superior lateral aspect of the patella and to the first perforator; then the distance (cm) from the first perforator to the superior lateral aspect of the patella and the total number of perforators (Table 3). Distal pivot point was defined as the last viewable point of the descending branch of the LCFA by CD ultrasound, CT angiography and dissection. First perforator was the most proximal perforator.

Shieh classification: type I to IV

Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella

Distance (cm) from first perforator origin to distal pivot point

Distance (cm) from first perforator to superior lateral aspect of the patella

Total number of perforators

Table 3: data assessed; Shieh classification; type 1 = vertical musculocutaneous perforator, type 2 = horizontal musculocutaneous perforator, type 3 = vertical septocutaneous perforator, type 4 = horizontal septocutaneous perforator.

Color doppler ultrasound

Thigh vessels study by CD ultrasound has been validate in a previous study (under review). Briefly, LCFA catheterization was performed using an arterial introducer through which was injected a Blood Mimicking Fluid (BMF). BMF was fresh porcine blood, chosen for its physical and chemical properties and its near-human echogenicity (70,71). Catheterization of the deep, superficial femoral artery and the common femoral vein, using nasogastric tubes, was used to collect blood return. The vessels were previously rinsed with heparinized serum, then a pulsed injection of fresh porcine blood, anticoagulated with heparin sodium, was administered through the introducer, to allow the detection by a Fujifilm Sonosite SII ultrasound system and a L38xi probe (Figure 21).

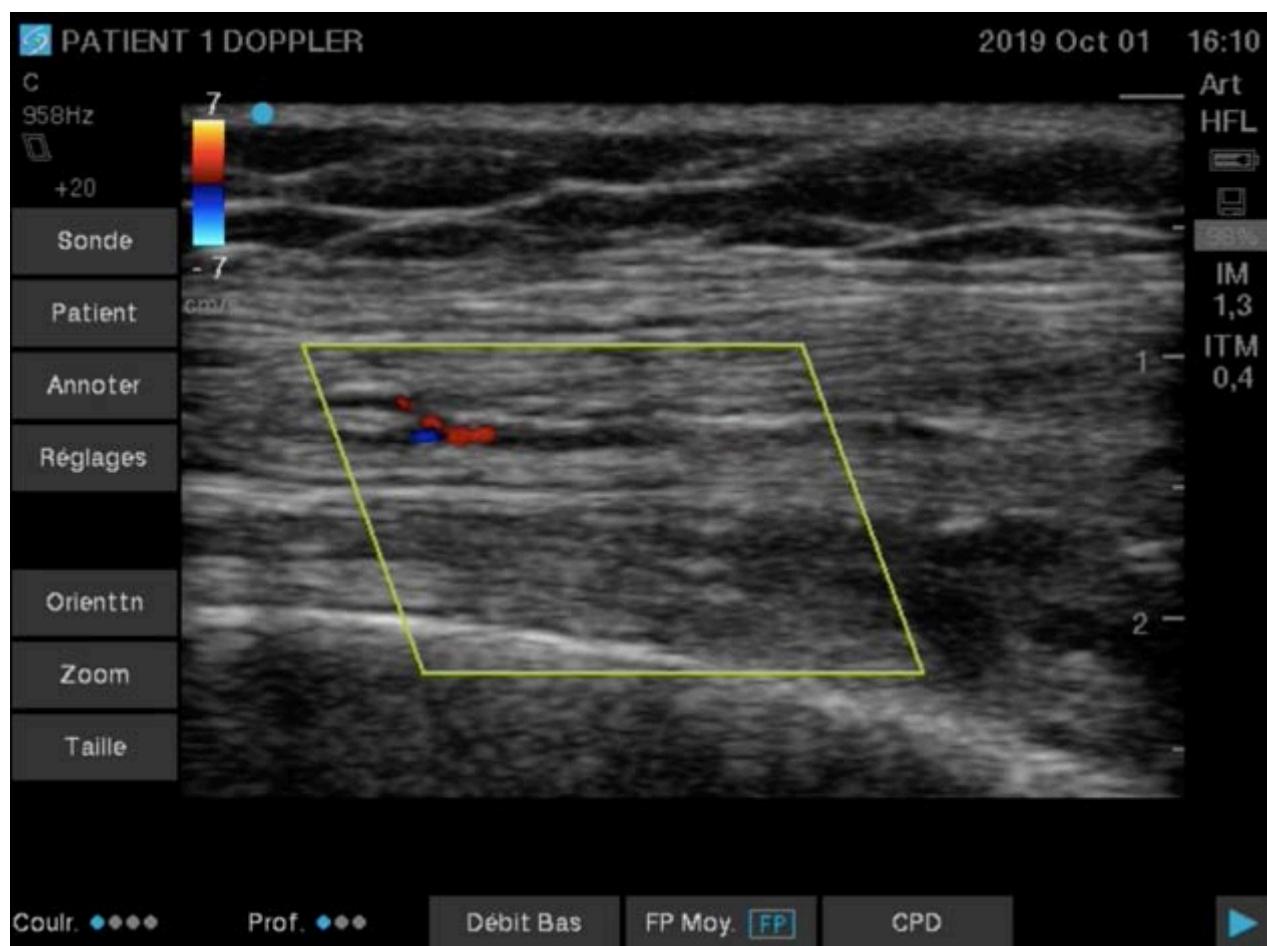


Figure 21: longitudinal section: pulsed injection of porcine blood; pulsatile flow and doppler signal into the descending branch of the LCFA.

Computed tomographic angiography

All the main vessels except the LCFA were ligated proximally and distally at the level of the popliteal vessels. After rinsing of the vessels, a mix of barium sulfate, gelatin and dye was injected slowly and continuously through the catheter introduced into the LCFA. The cadaver pieces were kept cool (4°C; 39.2°F) for at least 24 hours (setting time for gelatin) before being scanned (GE Healthcare, Optima CT660, 0.6mm sections, DLP 1175.81 mGy.cm) (Figure 22).

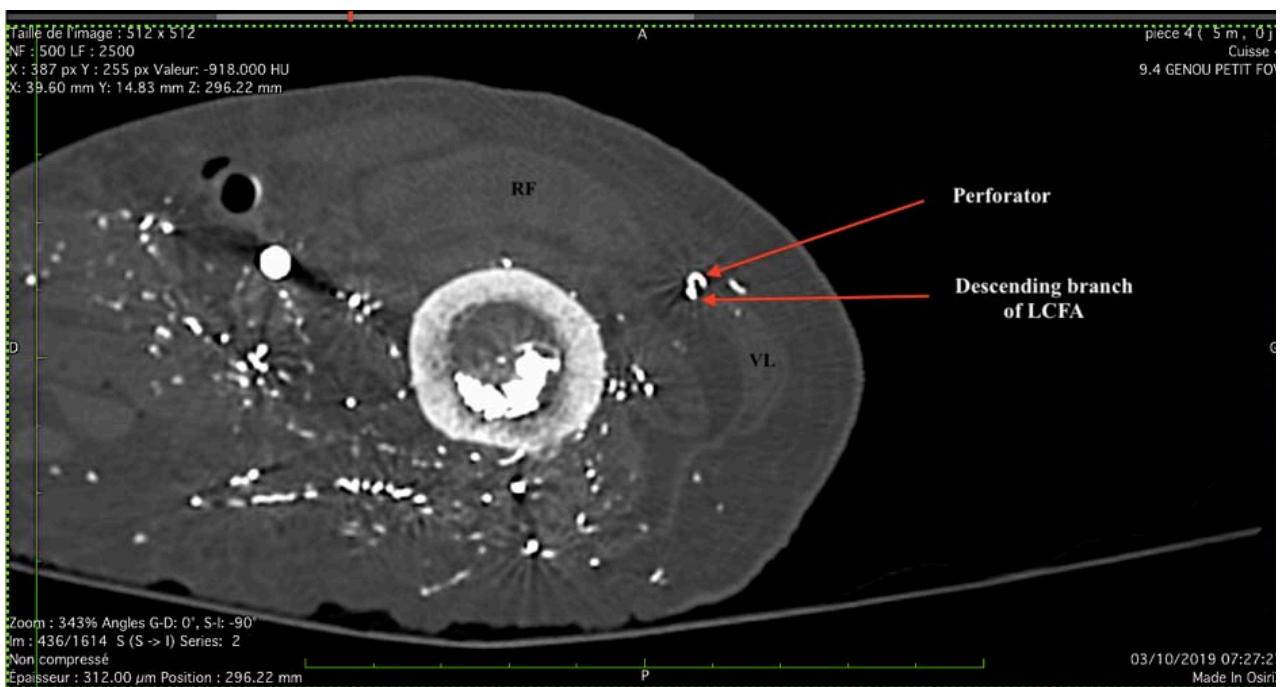


Figure 22: Axial section, injection into the descending branch of the LCFA and perforator; RF, rectus femoris; VL, vastus lateralis.

Anatomic study

An ALT flap dissection was performed with firstly a longitudinal incision over the medial margin of the flap down to the rectus femoris muscle, followed by a laterally subfascial dissection to identify the intermuscular septum, the descending branch of the LCFA and the perforators. Their dissection was proceeded proximally up to the LCFA, and the type of perforator was identified according to the Shieh classification. Finally, the dissection locates down the distal pivot point where the descending branch disappears in the vastus lateralis muscle (Figure 23).

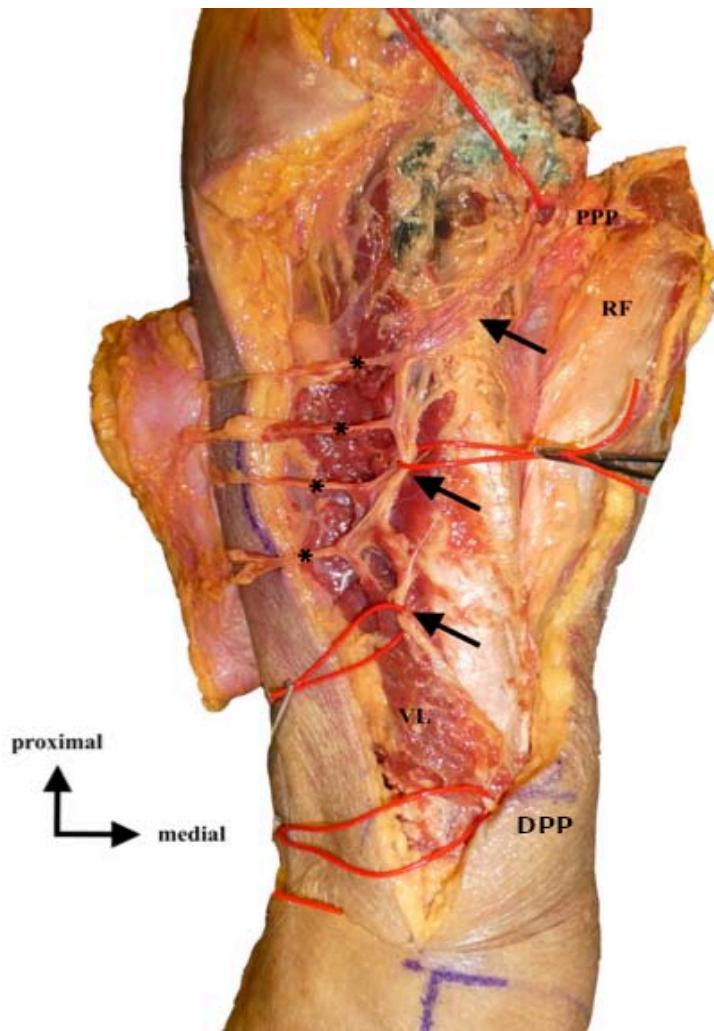


Figure 23: ALT dissection, right thigh; PPP, proximal pivot point; RF, rectus femoris muscle isolated; black arrows, descending branch of the LCFA; black stars, perforators; VL, vastus lateralis muscle; DPP, distal pivot point.

To compare the results, for each data assessed in CD ultrasound, CT angiography and dissection, the dissection was taken as a reference. We analysed the mean differences in distance with CD ultrasound and CT angiography.

3.4 Results

Color doppler ultrasound results

We found two type I of Shieh classification, the descending branch emerged from LCFA, had a septocutaneous path and gave out a musculocutaneous perforator. In two other cases, the perforator

was septocutaneous, type III of Shieh. And for the last case the perforator emerged directly from the transverse branch and was septocutaneous, that is type IV of Shieh.

The distal pivot point of the descending branch of the LCFA was located at a mean of 13 ± 3.3 cm from the superolateral aspect of the patella.

The CD ultrasound allowed us to locate one perforator on four thighs and two perforators on the last. The main perforator was located at a mean of 12 ± 3.4 cm from the distal pivot point and 24.5 ± 4.4 cm from the superior lateral aspect of the patella (Table 4).

Data assessed	Thigh	Thigh	Thigh	Thigh	Thigh	Means	CI
	1	2	3	4	5		95%
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	8	16.5	10	15.5	15	13	3.3
Distance (cm) from first perforator to distal pivot point	9.5	7.1	17.3	12.8	13.5	12	3.4
Distance (cm) from first perforator to superior lateral aspect of the patella	17.5	21.1	27.3	28.3	28.5	24.5	4.4
Total number of perforators	1	1	1	1	2	1.2	0.4

Table 4: CD ultrasound analysis, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%.

CT angiography results

On the five thighs studied, we found the same anatomy as the CD ultrasound examination about the descending branch and its perforators, according to the Shieh classification.

The distance from the distal pivot point to the superolateral aspect of the patella was at a mean of 10.5 ± 3.7 cm.

Perforators were found on all thighs with a mean of two perforators per thigh.

The mean distance between the first perforator (the most proximal) and the distal pivot point was 11.7 ± 4.1 cm and 22.2 ± 4.3 cm to the superolateral aspect of the patella (Table 5).

Data assessed	Thigh	Thigh	Thigh	Thigh	Thigh	Means	CI
	1	2	3	4	5		95%
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	7.8	9.2	11.8	17.2	6.4	10.5	3.7
Distance (cm) from first perforator to distal pivot point	7.4	10.2	15.8	7.7	17.4	11.7	4.1
Distance (cm) from first perforator to superior lateral aspect of the patella	15.2	19.4	27.7	24.9	23.8	22.2	4.3
Total number of perforators	3	3	1	1	2	2	0.9

Table 5: CT angiography analysis, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%.

Dissection results

ALT dissection of the five thighs confirmed the anatomy of the descending branch of the LCFA and its perforators.

The distal pivot point was located at a mean of 9.4 ± 3.6 cm from the superolateral aspect of the patella.

In total, we founded 11 perforators, with a mean of 2.2 ± 1.1 perforators per thigh.

The mean distance between the first perforator and the distal pivot point was 15.3 ± 5.5 cm.

Finally, the mean distance between the first perforator and the superolateral aspect of the patella was 24.1 ± 3.5 cm (Table 6).

Data assessed	Thigh	Thigh	Thigh	Thigh	Thigh	means	CI
	1	2	3	4	5		95%
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	7	10	4	11	15	9.4	3.6
Distance (cm) from 1st perforator to distal pivot point	16	10.5	26	12	12	15.3	5.5
Distance (cm) from 1st perforator to superior lateral aspect of the patella	21	20.5	30	23	26	24.1	3.5
Total number of perforators	4	3	1	1	2	2.2	1.1

Table 6: Dissection analysis, distal pivot point and perforators; CI, confidence interval 95%.

We only choose the first perforator for results analysis, and we recorded 15 measures.

The type of perforator, was the same with CD ultrasound, CT angiography and dissection, we found two type I, two type III and one type IV of Shieh classification.

The mean difference between distal pivot point and patella was 3.60 ± 2.58 cm for the CD ultrasound and 4.86 ± 3.31 cm for the CT angiography.

CD ultrasound showed a mean difference of 4.18 ± 2.95 cm for the distance from the 1st perforator to distal pivot point against 5.76 ± 3.39 cm for the CT angiography.

And for the distance from the first perforator to the patella, the CD ultrasound and the CT angiography showed a mean difference of 2.91 ± 1.49 cm and 2.67 ± 1.57 cm respectively (Table 7 and Figure 24).

	Mean of difference	CI	Mean of difference	CI
	CD ultrasound - dissection	95%	CT angiography - dissection	95%
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	3.60		2.58	4.86 3.31
Distance (cm) from 1st perforator to distal pivot point	4.18		2.95	5.76 3.39
Distance (cm) from 1st perforator to superior lateral aspect of the patella	2.91		1.49	2.67 1.57

Table 7: CD ultrasound and CT angiography comparison to dissection; mean difference and confidence interval 95%.

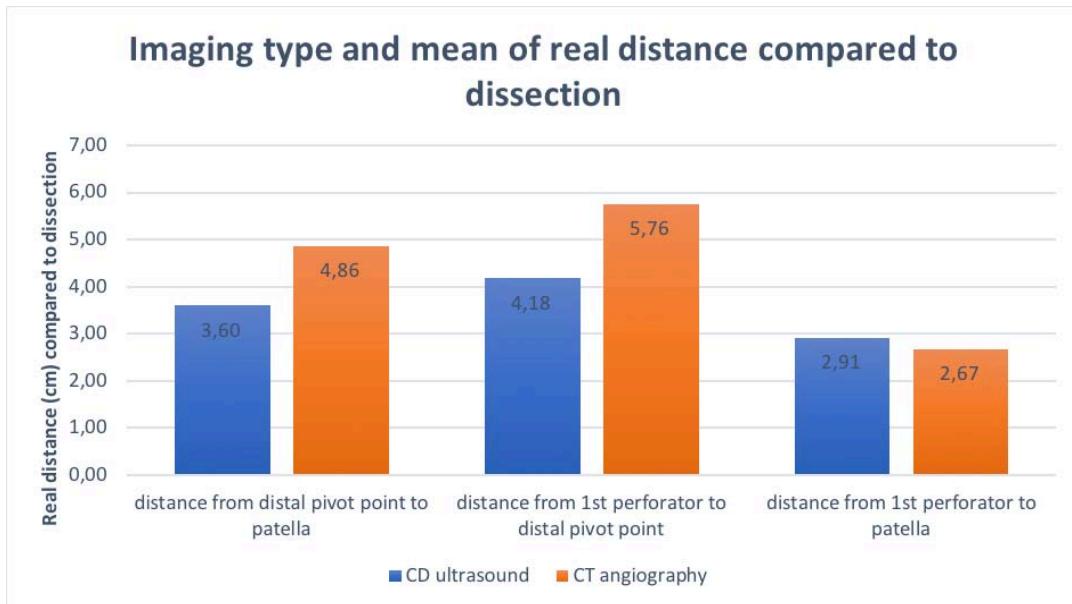


Figure 24: mean of differences comparison between CD ultrasound and CT angiography.

3.5 Discussion

The origin of the descending branch of the LCFA, the proximal perforator and the distal pivot point assessment are the anatomical landmarks required for planning the dbALT. CT angiography is the radiological benchmark for vascular mapping in the planning of perforator flaps (53). CD ultrasound performed by the operator himself at the patient's bed has already shown its interest in guiding

surgeon in performing perforator flaps, such as the DIEP flap or free ALT flap (77) and it could be an easy, accessible, low cost and non-irradiating tool. A preliminary study seemed to be pertinent to check by dissection data compared between CD ultrasound and CT angiography.

This anatomical study on fresh cadaver pieces shows that CD ultrasound would allow to easily locate the distal pivot point of the ALT with a similar precision with CT angiography (mean difference 3.60 ± 2.58 cm for doppler examination and 4.86 ± 3.31 cm for the CT angiography). There also would be no difference for the distance from first perforator to patella (mean difference 2.91 ± 1.49 cm for doppler examination against 2.67 ± 1.57 cm for the CT angiography).

Compared to dissection, the differences recorded with these two exams for distal pivot point assessment, can be explained by the decrease in calibre of the descending branch of the LCFA when it approaches the distal pivot point. It divides into numerous ramifications in the vastus lateralis muscle before anastomosing with the SLGA and becomes difficult to be located by CD ultrasound or CT angiography, at least on a cadaver piece. Furthermore, despite all precautions taken, the dissection may be modifying the vessel location and the calculation of data.

Pan *et al.* suggested that a dissection of the descending branch of the LCFA could be performed safely up to 10 cm from the patella and even up to 3 cm if a long pedicle is required (34).

We only selected the first perforator (the most proximal) for the analysis of the results. Most of the time this perforator is the largest and permits a greater arc of rotation with a more important pedicle length to harvest a dbALT flap (38,44,78).

Our results are concordant with Yamada *et al.* study (40) which aimed to clarify the anastomosis between the descending branch of the LCFA and the SLGA about 38 formalin fixed dissections. The distal pivot point was found between 4.0 and 13.6 cm (a mean of 9.8 cm) from the superolateral aspect of the patella for 9.40 ± 3.65 cm in our study. Boonrod *et al.* in 2016, which reported the dissection of 50 thighs, also found a distal pivot point located 9.4 ± 3.7 cm from the superolateral aspect of the patella (36).

In a recent cadaver study in 2018, by Jenwitheesuk et al, 100% of the perforators were found approximately 20 ± 3 cm from the patella, which corresponds to data from the literature and to our study (a mean of 24.10 ± 3.46 cm). Those data show that the arc of rotation of this flap allow to cover soft tissue defect of the knee and the proximal third of the leg (37,73).

In our study we found 6 perforators with CD ultrasound, 10 perforators with CT angiography and 11 perforators by dissection. This is a limit of the doppler examination on a cadaver. The blood pressure level through the descending branch of the LCFA did not record during the CD ultrasound harvesting. The physiological pressure is probably more important than the porcine blood pulsed through the introducer, it could explain that the more distal perforators did not locate and we found more perforators with CT angiography than CD ultrasound.

In the 2016, Feng et al (52), did not find any significant difference between CD ultrasound and CT angiography to identify perforating vessels. However, CT angiography was more sensitive for locating small vessels, around 0.3mm in diameter, against 0.5mm for CD ultrasound (52). Our study suggests that the precision of the CD ultrasound was similar to the CT angiography for the perforator location within 2mm (mean difference $2.91 \pm 1.49\text{cm}$ and $2.67 \pm 1.57\text{cm}$ respectively).

Many authors, Shieh (74), Kimata (75) or recently Yu et al (30), have shown the great variability of the pedicle of the anterolateral thigh flap. The feasibility and viability of this flap, in its distal pedicle form, need a precise identification of the perforator origin and its distance to the distal pivot point. The indication and the surgical technique can change with this mapping, from the classic version of the dbALT flap to the free flap, if the perforator coming from the transverse branch of the LCFA (38).

Our study has limits, the data extrapolation is difficult due to the small number of thighs studied and their cadaveric nature. CD ultrasound lacks precision in this cadaveric study, however it did not reveal any false positives. The information from this examination would be reliable.

A comparative clinical study between CD ultrasound and CT angiography is in progress in our unit.

3.6 Conclusion

Color Doppler ultrasound could help the reconstructive surgeon to locate the anatomy of its vascular pedicle, the location of its perforators and the distal pivot point in preoperative marking of dbALT flap. It could be used as the only preoperative mapping tool when the CT angiography is contraindicated or in association to improve the vessel location.

4 Color Doppler ultrasound: can it replace the computed tomographic angiography for assessment of the distally based anterolateral thigh flap landmarks?

4.1 Abstract

Background

This study compared the color Doppler ultrasound (CDU) and the computed tomographic angiography (CTA) for the preoperative marking of the distal pivot point, the pedicle path and the perforator location of the distally-based anterolateral thigh flap.

Methods

It was a prospective study, we included consecutively all the patients hospitalized in the orthopaedic or plastic surgery department following for trauma or tumor, requiring flap reconstruction and who had undergone a CTA of lower limbs. On each patient was performed CDU and CTA was used as a reference. The pedicle and the perforator path with the Shieh classification, the distance from the distal pivot point to the superolateral aspect of the patella and to the first perforator, the distance from the first perforator to the superolateral aspect of the patella and the total number of perforators were assessed. If a distally-based or a free anterolateral thigh flap was performed, data were checked during the operation.

Results

On 20 patients, there was no difference between CDU and CTA about the pedicle path, about the distal pivot point location ($p = 0.41$) and about the perforator location accuracy ($p = 0.09$). CTA seemed to be more sensitive for perforator detection with 34 perforators found against 30 for CDU ($p = 0.05$).

Conclusion

CDU could be used as a preoperative marking tool for the distally-based anterolateral thigh flap. It allows perforator locations precisely, to locate the course of the pedicle and its distal pivot point.

Key words

Distally-based anterolateral thigh flap – color Doppler ultrasound – computed tomographic angiography – preoperative mapping

4.2 Background

Since its introduction in 1984 by Song and al. (79) the anterolateral thigh flap (ALT) has become very popular in reconstructive surgery and frequently used to head and neck, limbs or pelvis reconstruction. Its vascularization comes from the descending branch of the lateral circumflex femoral artery (db-LCFA) and the success of this flap is based on the perforator dissection, which presents anatomical variability described by Shieh and al. (27).

Very few studies have explored the distally-based ALT (db-ALT) for knee reconstruction. It is described for the first time by Zhang (33) and its anatomy has been clearly identified by Pan et al. (34) in 2004. The success of this procedure depends on the anastomosis of the db-LCFA with the superolateral genicular artery (SLGA) or the deep femoral artery which defined the distal pivot point. Nowadays, computed tomographic angiography (CTA) is the radiological benchmark for perforator flaps preoperative assessment (42,44,47,53).

The use of color Doppler ultrasound (CDU) for preoperative flap marking was first described in the 1980s and widely used since the 1990s (80). It allows a vessel mapping and an accurate assessment of the main pedicle and perforators diameter. Anatomical variations can be anticipated and ultrasound provides information about the thickness of the subcutaneous tissue and the arrangement of the underlying anatomical structures (48). Then, it is a low-cost and non-invasive examination (53) which can be performed at the patient's bed by the surgeon himself.

The aim of our study was to compare assessment of different pre-operative landmarks of the db-ALT with CDU and CTA to know if CDU could become the radiological benchmark compared to the CTA.

4.3 Methods

It was a prospective study between November 2019 and July 2020. We included consecutively all the patients hospitalized in the orthopaedic or plastic surgery department following for trauma or tumor, requiring flap reconstruction and who had undergone a CTA of lower limbs. We excluded all patients with contraindication to CTA, renal insufficiency (creatinine clearance < 40 mL/minute) and allergy to iodinated contrast media.

On each patient was performed a CDU preoperative marking (with a Fujifilm Sonosite SII, HFL38xi 13-6 MHz probe) and the CTA performed was used as a reference. The surgeon chose the final flap for the reconstruction following various settings (Body Mass Index, pedicle long, size of the soft tissue defect, arteriosclerosis presence...) and its habits.

At each step, recorded data were the Shieh classification used to standardize the pedicle path assessment and the perforators (Figure 25); the distance from the distal pivot point to the superior lateral aspect of the patella and to the first perforator; then the distance from the first perforator to the superior lateral aspect of the patella and the total number of perforators (Figure 26). For the patients who finally benefited of a db-ALT or free ALT, these data were recorded during the dissection too.

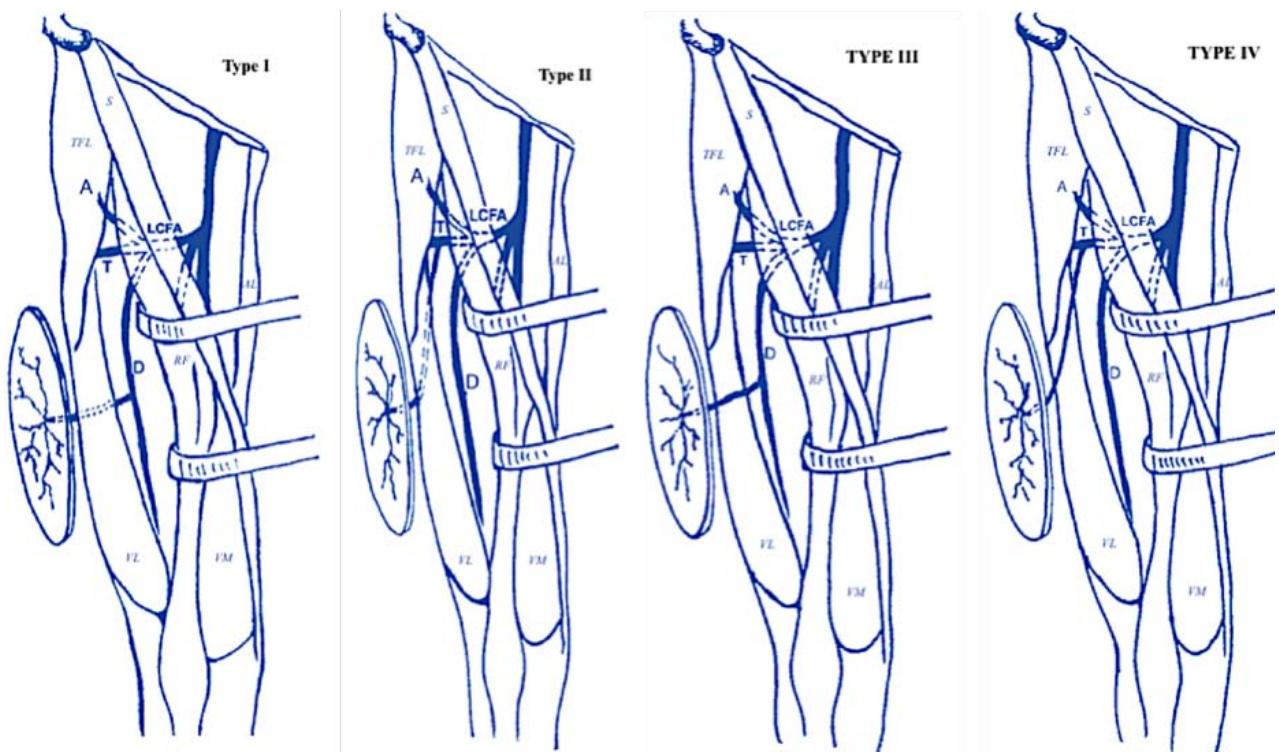


Figure 25 : Shieh classification ; type I = vertical musculocutaneous perforator, type II = horizontal musculocutaneous perforator, type III = vertical septocutaneous perforator, type IV = horizontal septocutaneous perforator; LCFA, lateral circumflex femoral artery; A, ascending branch of the LCFA; T, transverse branch of the LCFA; D, descending branch of the LCFA; TFL, tensor fasciae latae muscle; S, sartorius muscle; AL, adductus longus muscle; VL, vastus lateralis muscle; VM, vastus medialis muscle; RF, rectus femoris reclined.

Data recorded with CDU were measured with a tape measure, with an analyse of the number and thickness of the slices for the CTA and with a surgical decimetre when dissection was performed. Distal pivot point was defined as the last viewable point of the descending branch of the LCFA by CDU, CTA. First perforator was the most proximal perforator.

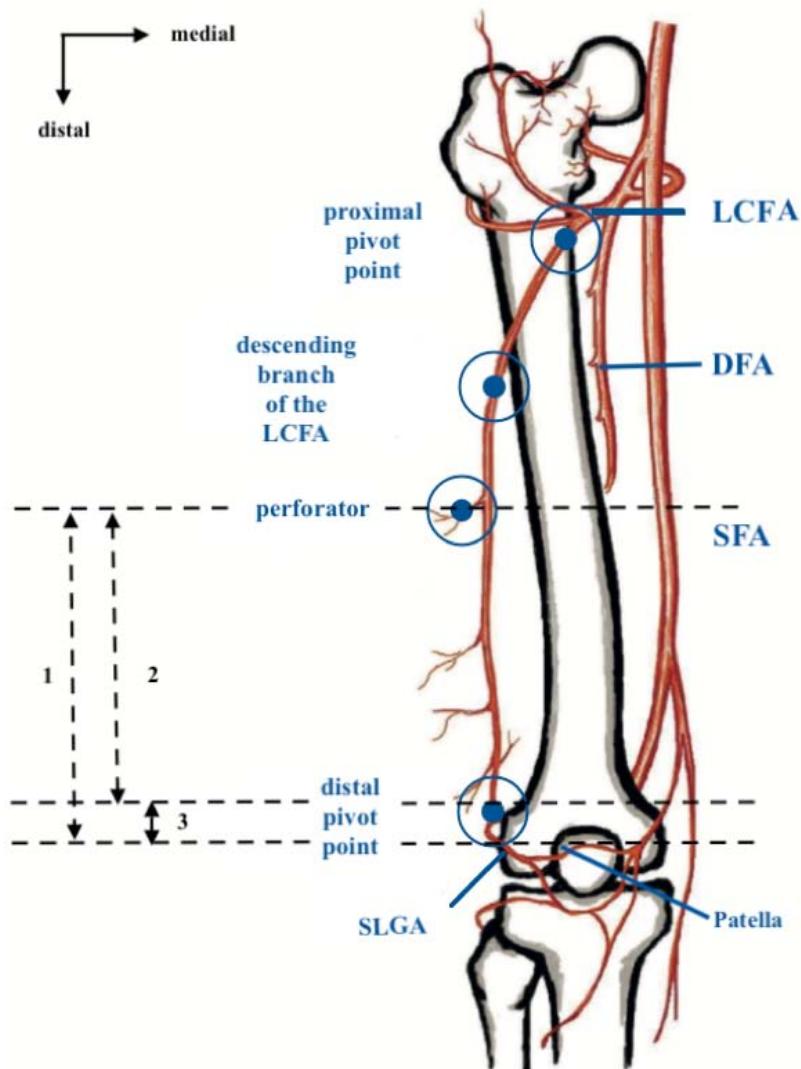


Figure 26: data recorded during examinations. Circles, proximal pivot point and descending branch of the LCFA to define the Shieh classification, perforator and distal pivot point. Double arrows; 1, distance between first perforator and superolateral aspect of the patella; 2, distance between first perforator and distal pivot point; 3, distance between distal pivot point and superolateral aspect of the patella. LCFA, Lateral Circumflex Femoral Artery; DFA, Deep Femoral Artery; SFA, Superficial Femoral Artery; SLGA, Superolateral Genicular Artery.

When db-ALT or free ALT were performed, a line from the anterosuperior iliac spine to the superolateral aspect of the patella was drawn and in the middle was drawn a three centimetres diameter circle which represented the theoretical location of the perforators. Data assessed with CDU and CTA were marked on the patient and we adjusted the design of the flap.

Statistical analysis

Data were described with a median and interquartile range analysis. Non-parametric values, such as the distal pivot point, the first perforator location and the number of perforators were compared and analysed using a Wilcoxon signed rank test. A value of $p < 0.05$ was considered significant. In case of null hypothesis (H_0), CDU and CTA were not statistically different for the perforator and distal pivot point location.

Ethical aspects

The principles outlined in the Declaration of Helsinki have been followed. All patients were fully informed and signed an informed consent before investigation.

4.4 Results

Twenty patients were included, 14 men and 6 women between 17 and 81 years old. Data about the loss of substance and the reconstruction performed were listed in the Table 8.

Diagnostic	Number of patients	Type of reconstruction finally done
Open leg fracture	5	Serratus anterior free flap, latissimus dorsi free flap, propeller flap
Infected total knee arthroplasty	1	Db-ALT
Hand and upper limb loss of substance	2	Free ALT
Lower limb tumor	1	Db-ALT
Other loss of substance of the lower limb	9	Fascia superficialis temporalis free flap, serratus anterior free flap, dermal regeneration template
Head and neck tumor	2	Radial forearm free flap, fascia superficialis temporalis pedicled flap

Table 8: Patient information

We found a type I of Shieh classification in 55% of cases (11 patients) (Figure 27), a type II in 15% (3 patients), a type III in 20% of cases (4 patients) (Figure 28) and a type IV in 10% of our patients (2 patients). These results were identical by CDU and CTA analysis.

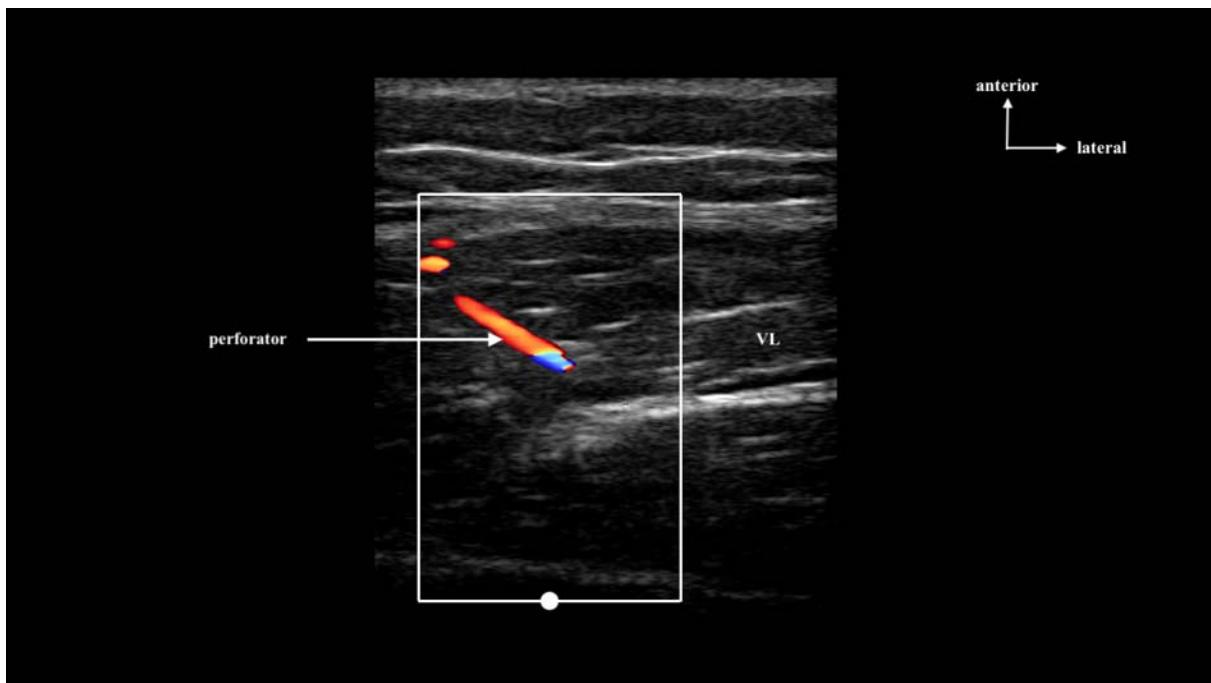


Figure 27 :Example of a type I of Shieh classification, muscular perforator in the vastus lateralis muscle (VL) in CDU.



Figure 28 : Example of a type III of Shieh classification, septal perforator between vastus lateralis muscle (VL) and rectus femoris muscle (RF) in CTA.

The median of the ALT distal pivot point location was 11 cm from the superolateral aspect of the patella for the CDU and 10.3 cm for the CTA ($p = 0.41$) (table 9). The median difference between CDU and CTA was calculated at 0.5 (Figure 29).

For the most proximal perforator location, the median was 13.2 cm from the distal pivot point and 24 cm from the superolateral aspect of the patella in the CDU group, against 14.1 cm and 24.2 cm respectively in the CTA group ($p = 0.47$ and $p = 0.09$) (Table 9). And the median of each difference was estimated at -0.95 and -0.25 respectively (Figure 29).

Then, we found 30 perforators (with a mean of 1.5 perforator) in the CDU group against 34 perforators (with a mean of 1.7 perforator) in the CTA group ($p = 0.05$).

Data assessed	CDU	IQR	CTA	IQR	p-value
	median		median		
Distance (cm) from distal pivot point to superior lateral aspect of the patella	11	2.6	10.3	3.2	0.41
Distance (cm) from first perforator to distal pivot point	13.2	5.7	14.1	7.1	0.47
Distance (cm) from first perforator to superior lateral aspect of the patella	24	2	24.2	4.3	0.09

Table 9: comparison between CDU and CTA with Wilcoxon signed rank test. IQR, interquartile range.

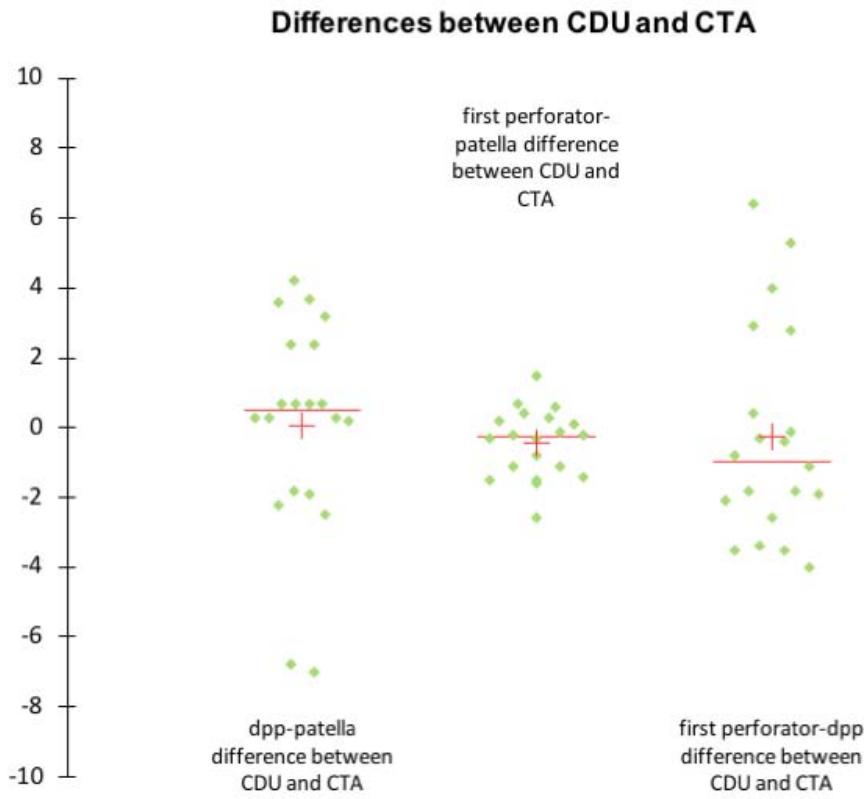


Figure 29 : Differences between CDU and CTA for distal pivot point (dpp) and perforator location. Left Scattergrams illustrated the distance from dpp to the superolateral aspect of the patella; middle Scattergrams, the distance between the first perforator and the superolateral aspect of the patella; right Scattergrams, the distance from the first perforator to the dpp. The y-axis represented the differences between data assessed with CDU and CTA.

We proceeded to the dissection of two db-ALT for a loss of substance from the anterior aspect of the knee and of two free ALT for a soft tissue defect from the hand or upper extremity. Data assessed during the dissection and preoperative marking are listed in the Table 10. There was no difference between CDU and CTA for the Shieh classification (type III and I for db-ALT, IV and III for free-ALT) checked by dissection. There was no major difference for the distance from the first perforator to the superolateral aspect of the patella (within 1 cm). For the two db-ALT, the distance from the distal pivot point to the superolateral aspect of the patella was different about 1cm for the CDU and 2.6 or 0.3 cm for the CTA, compared to the dissection.

Patient and reconstruction type	Distance (cm) from first perforator to superolateral aspect of patella		Distance (cm) from first perforator to distal pivot point		Distance (cm) from distal pivot point to superolateral aspect of patella	
	CTA	CDU	CTA	CDU	CTA	CDU
Patient 1 db-ALT	0.1	0	2.5	1	2.6	1
Patient 2 db-ALT	0.1	0.5	0.2	0.5	0.3	1
Patient 3 free ALT	1	0.5	None	None	None	None
Patient 4 free ALT	0.6	0.5	None	None	None	None

Table 10: data assessed for two db-ALT and two free ALT, comparison between CDU, CTA and dissection. Each data represented the difference recorded between CTA and dissection or CDU and dissection.

4.5 Discussion

Our study shows that the CDU results are similar to CTA for the distal pivot point and perforator location.

Since its introduction in 1990 by Zhang (33), the place of the ALT in the loss of substances from the knee is indisputable (35,36,38,40,73,81–85). Distal anastomosis between the db-LCFA and the superolateral genicular artery (SLGA) or deep femoral artery is well described in numerous cadaver studies and is considered as the distal pivot point of the flap. However, this distal pivot point can be located from 3 to 16 cm of the patella (34–36,38,40,73,81). This variation is important to consider for the flap harvest. A too proximal pivot point could contraindicate the db-ALT if the loss of substance involves the lower part of the knee or the proximal third of the leg. The preoperative location of the distal pivot point is essential to determine the pedicle length and the rotation arch of the flap.

The preoperative imaging techniques for the location of this distal pivot point are not clearly defined in the literature. Nowadays, the CTA is the benchmark for perforator flaps preoperative mapping. It allows a precise analysis of perforators (location, calibre, their subcutaneous, septal or intramuscular path and the pedicle origin) (53). However, there are some limits, its cost is high, and the patient is exposed to a risk of radiation, iodinated contrast media allergy and kidney insufficiency (42,47,52,53). And actually, it has not shown superiority for the ALT distal pivot point location.

CDU has already shown its value for preoperative marking of perforator flaps (28,48,49,52,54,55,61,86). It allows the pedicle and the perforators flap location and it gives information about the subcutaneous tissues thickness and the relationship between muscles, fascia, and blood vessels (48). It is a low cost, non-invasive, non-irradiating technique and easily performed at the patient bedside (52,53).

The pedicle identification according to the Shieh classification (27) was the same in both groups. The CDU could allow to easily identify the origin of the perforator and its intramuscular or septal course. When a perforator come from the transverse branch of the LCFA (type II and IV of Shieh), many studies recommend to change the surgical procedure from a db-ALT to a free ALT, to not be too deleterious for the vascularization and innervation of the thigh (38), although its realization is possible according to Lin and Chien or Shieh and al (34,87). CDU could be a good exam to check the feasibility of this flap.

The CDU seems to be similar to CTA for distal pivot point location ($p = 0.41$). The difference found for the first patient during the dissection can be explained by the measuring technique. On the CTA, the distance between the distal pivot point and the superolateral aspect of the patella was measured with the sum of slices that correspond to a straight line, whereas for the CDU or the dissection a tape measure or a decimetre were used and could be different of some centimetres. The two clinical cases of db-ALT performed in our study show that these data would be checked by dissection. These two examinations and especially the CDU would be reliable for the location of the ALT distal pivot point, allowing to determine the rotation arch and the flap pedicle length. The large difference between CDU and CTA for the distal pivot point location, -7 and -6.8 on the Figure 29, can be explained by a slide acquisition problem with CTA, some patients hospitalised in our centre had ever undergoing a CTA in other centre without an accurate injection and acquisition protocol to locate perforator flap. On the other side, the difference observed between CDU and CTA, from 3.6 to 4.2 on the Figure 29, can be explained by the low echogenicity of the patients who had a fat subcutaneous tissue.

Compared to CTA, we did not find any difference for the perforator locations from the superolateral aspect of the patella ($p = 0.09$). The study by Feng et al. showed that Doppler ultrasound would be more effective than CTA in perforator location (52). And a recent study noted that CDU had a better sensitivity, specificity and accuracy than CTA or Hand-Held Doppler for the preoperative vascular mapping of free based-flaps (88).

The CTA would be more sensitive for perforator location. We found 34 perforators in the CTA group against 30 in the CDU group ($p = 0.05$). This difference between these two examinations is probably explained by the best resolution of the CTA for small vessels detection up to 0.3 mm against 0.5 mm for the CDU (52). Rozen et al. (42) in 2009 in a large CTA study on 80 thighs found a mean of two perforators per thigh, we found a mean of 1.7 perforators in our study.

One of the limits is the low power study design which necessitate further work. Furthermore, the CDU was blind performed, but with the same surgeon.

A study is in progress in our department to include more patients undergoing db-ALT to compare clinical data with CDU and CTA.

Liu et al. in a study on 19 db-ALT, they found a distal pivot point located between 5 and 16 cm from the superolateral aspect of the patella (81). These results are comparable to our study (9 to 16 cm). Based on the Pan, Yamada, Jenwitheesuk and al. findings (34,40,73), which confirm the constant presence of an anastomosis between descending branch of the LCFA and SLGA or the deep femoral artery and on our study results, we could note that: the assessment of a perforator on CDU directly connected with the descending branch of the LCFA, associated to the presence of a Doppler signal in this branch up to 13cm or less from the patella would be sufficient to ensure the dbALT feasibility.

And the equation $\frac{\text{distance dpp-perforator}}{\text{distance dpp-patella}} \geq 1$ would ensure a sufficient pedicle length to cover the anterior aspect of the knee (dpp = distal pivot point).

4.6 Conclusion

CDU could become the radiological benchmark for the db-ALT preoperative mapping. It allows precise location of perforator, pedicle course and distal pivot point.

5 Cas clinique

5.1 Cas clinique n°1

Il s'agit d'une patiente de 78 ans admise dans le service de chirurgie orthopédique et traumatologie du CHU de Nantes pour un sarcome grade II de la face antérieure du genou (Figure 30). Elle est non fumeuse et a comme principaux antécédents une hypertension artérielle et un stripping de varices.

Après réunion de concertation pluridisciplinaire, il est décidé d'une tumorectomie emportant en latéral des marges de 3cm et en profondeur la partie superficielle de la patella et de l'appareil extenseur, suivi d'une reconstruction par lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal.

La branche descendante de l'ACFL, les perforantes et le point pivot distal du lambeau ont été préalablement repérés par angioscanner et par échographie doppler puis reportés sur la patiente (Table 11).

	Angioscanner	Échographie doppler couleur	Dissection
Classification de Shieh	Type III	Type III	Type III
Distance perforante proximale – angle supéro-externe de la patella en cm	22,4	22,5	22,5
Distance perforante proximale – point pivot distal en cm	13	9,5	10,5
Distance point pivot distal – angle supéro-externe de la patella en cm	9,4	13	12

Table 11: Comparaison des données recueillies par échographie doppler couleur, angioscanner et dissection.

Dissection :

Au cours de la dissection, la position de la perforante était identique à celle décrite par l'échographie et l'angioscanner. Le pédicule a été disséqué jusqu'à 12 cm de l'angle supéroexterne de la patella, permettant d'obtenir une longueur de pédicule suffisante pour couvrir la perte de substance. La dissection de la branche descendante n'a pas été réalisée plus en distalité car la dissection devenait difficile du fait d'une artère grêle avec de nombreuses ramifications partant dans le muscle vaste latéral. Une bandelette de fascia lata a été prélevée avec le lambeau afin de renforcer l'appareil extenseur. Le lambeau a été tourné à 180° dans le sens horaire sans tunnelisation de son pédicule, puis fixé sur la perte de substance (Figure 31). Le site donneur a été fermé sans tension. Les données repérées en préopératoires étaient fiables et aucune adaptation de la palette cutanée du lambeau n'a été réalisée en fonction des constatations peropératoires.

Suites chirurgicales :

Dans les suites opératoires immédiates, une congestion veineuse du lambeau est apparue nécessitant la mise en place d'une héparinothérapie locale pendant 72H.

Il n'y a pas eu d'autres complications en dehors d'un sérome ponctionné sur le site donneur (Figure 32).



Figure 30: Dessin préopératoire ; Ligne reliant l'épine iliaque antéro-supérieure à l'angle supéro-externe de la patella ; Palette cutanée mesurant 18x12cm ; Sarcome face antérieure du genou droit avec marge latérale de 3cm.

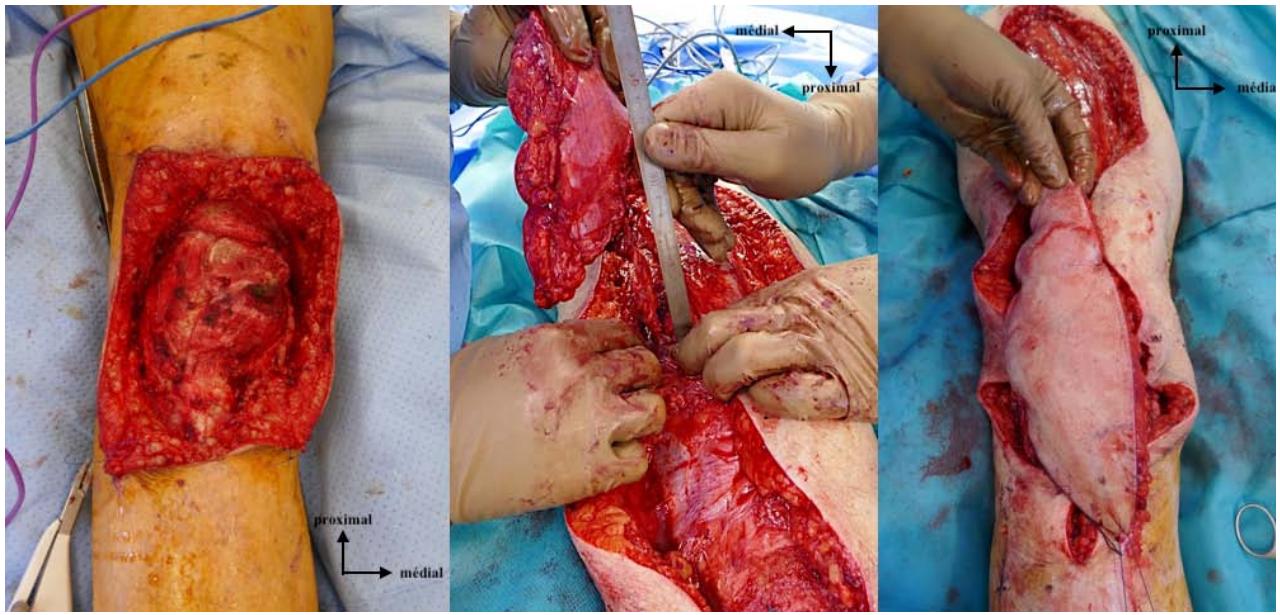


Figure 31: Dissection peropératoire : à gauche, perte de substance de la face antérieure du genou droit après tumorectomie ; au milieu, levée de l'ALT avec une longueur de pédicule de 10,5cm ; à droite, positionnement du lambeau après rotation à 180°.

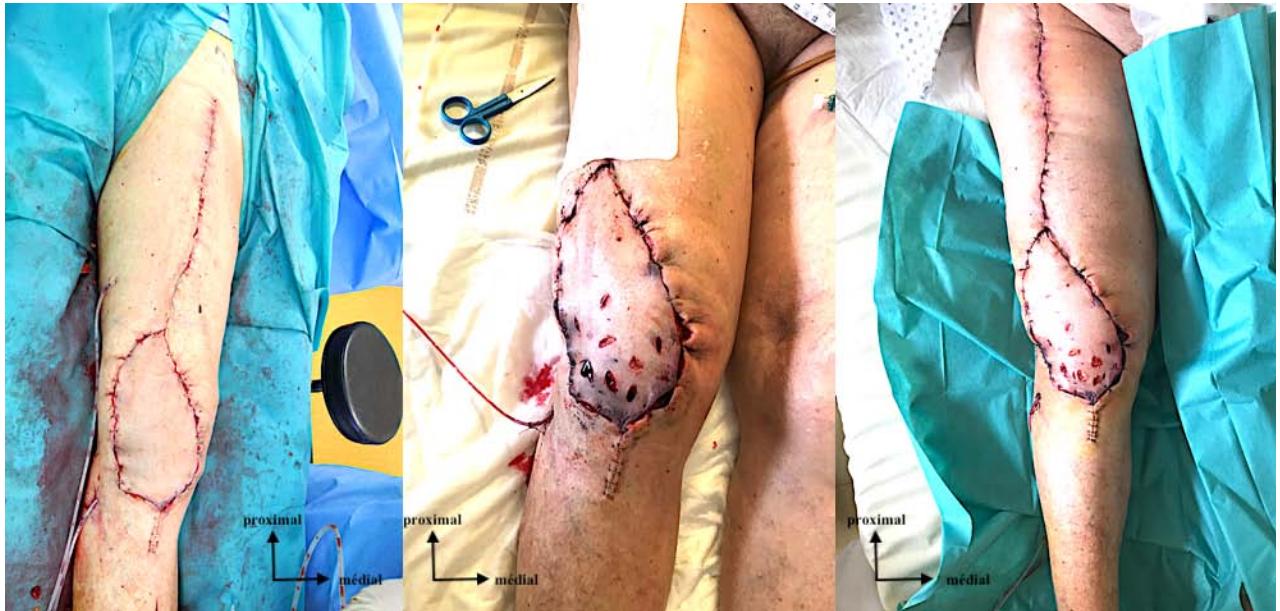


Figure 32: Photos post-opératoire : à gauche J0 post-opératoire ; au milieu, J1 post-opératoire ; à droite, J3 post-opératoire.

5.2 Cas clinique n°2

Il s'agit d'un patient de 59 ans, ayant pour principaux antécédents une hypertension artérielle, une dyslipidémie, un tabagisme sévré, un pontage coronaire et une valve aortique mécanique.

Mise en place d'une prothèse totale de genou gauche en 2018, compliquée d'un sepsis avec ablation de prothèse et mise en place d'un spacer. La réimplantation par une prothèse massive de genou est effectuée en septembre 2019 et de nouveau compliquée d'une infection sur prothèse avec exposition de l'implant (Figure 33).



Figure 33: Perte de substance préopératoire : infection sur prothèse massive de genou gauche ; étoile noire, exposition du tendon quadricipital et du matériel sous-jacent.

Le patient refuse catégoriquement l'amputation. Il est décidé de réaliser l'explantation de l'implant, associée à une arthrodèse de genou puis couverture par lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal.

Un repérage préopératoire de la branche descendante, des perforantes et du point pivot distal du lambeau a été réalisé par angioscanner et par échographie doppler couleur (Table 12).

	Angioscanner	Échographie	Dissection
	doppler couleur		
Classification de Shieh	Type I	Type I	Type I
Distance perforante proximale – angle supéroexterne de la patella en cm	20,1	20,5	20
Distance perforante proximale – point pivot distal en cm	8,8	8,5	9
Distance point pivot distal – angle supéroexterne de la patella en cm	11,3	12	11

Table 12: Comparaison des données recueillies par échographie doppler couleur, angioscanner et dissection.

Dissection :

Le lambeau emporte une large palette cutanée mesurant 20x12 cm. Le pédicule est disséqué jusqu'à 11cm de la patella, l'anastomose de la branche descendante de l'ACFL avec l'AGSL n'a pas été visualisée laissant présager que le pédicule pouvait être disséqué plus en distalité, mais le point pivot distal repéré par échographie doppler permettait de couvrir la perte de substance sans tension et d'assurer la faisabilité de ce lambeau. La perforante a été retrouvée exactement à l'endroit repéré par l'échographie doppler et l'angioscanner. Au final, le repérage échographique nous a permis de repérer précisément les points essentiels à la réalisation du lambeau, à savoir : la provenance du pédicule, la localisation de la perforante et du point pivot distal. Le dessin préopératoire n'a pas été modifié en fonction des constatations peropératoires (Figure 34, Figure 35 et Figure 36).

Le site donneur est fermé avec tension et une partie est laissée en cicatrisation dirigée puis greffée dans un second temps (Figure 37).



Figure 34: repérage préopératoire ; croix noire, perforante proximale ; flèche noire, point pivot distal.

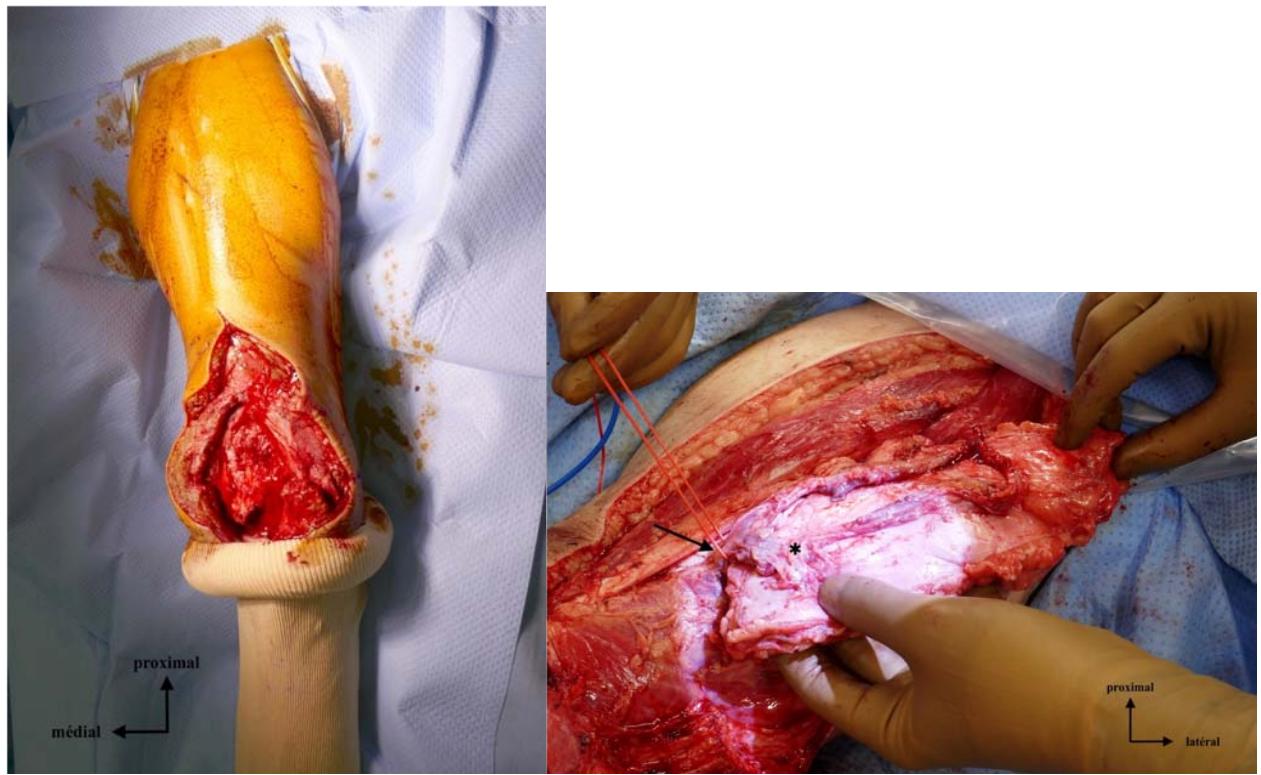
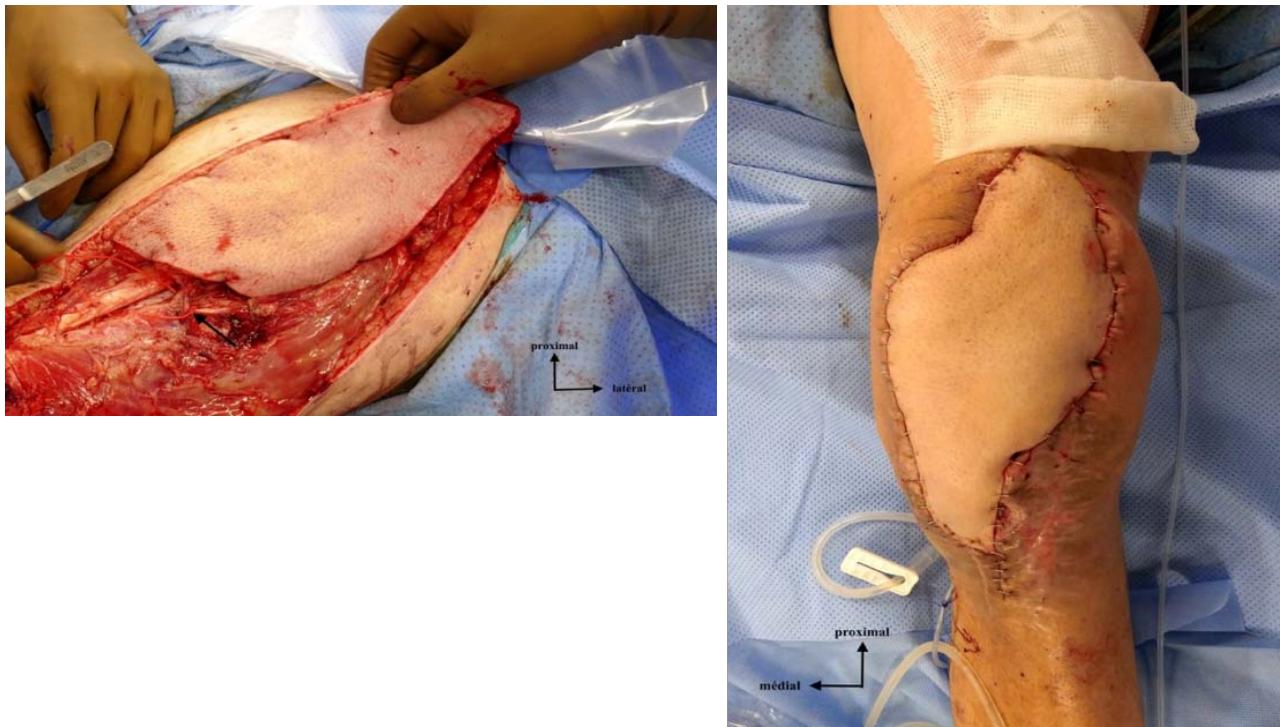


Figure 35: Photos peropératoires : Photo de gauche = perte de substance de la face antérieure du genou après parage cutané et ablation de la prothèse. Photo de droite = Levée du lambeau ALT ; Flèche noire, branche descendante de l'ACFL et pédicule distal ; Etoile noire, perforante



*Figure 36: Photos peropératoires : Photo de gauche = levée du lambeau ; Flèche noire, pédicule distal.
 Photo de droite = postopératoire immédiat.*

Suites chirurgicales :

Pendant les 24 premières heures, apparition d'une congestion veineuse du lambeau nécessitant la mise en place d'une héparinothérapie locale avec scarifications. L'évolution est rapidement favorable avec une nécrose limitée à la pointe distale du lambeau n'exposant pas le matériel sous-jacent. Le patient reprend la marche à J5.

Le site donneur est greffé 3 semaines après, le lambeau est remobilisé et la pointe parée (Figure 37).



Figure 37: Photo de gauche = J1 postopératoire ; flèche noire, site donneur laissé en cicatrisation dirigée ; étoile noire, souffrance veineuse distale. Photo de droite = 3 semaines postopératoire ; greffe de peau mince sur le site donneur ; parage de la pointe distale et remobilisation du lambeau.

6 Conclusion

D'après la littérature, l'ALT à pédicule distal est un lambeau adapté à la couverture d'une PDS de la face antérieure du genou. Sa réalisation semble possible chez les patients fragiles présentant un terrain vasculaire peu favorable. Il représente une bonne alternative au lambeau libre lorsque les lambeaux locaux tels que le lambeau de gastrocnémien médial sont insuffisants de par la taille et la localisation de la PDS. Malgré cela, il reste encore peu pratiqué dans de nombreux centres, dont le nôtre, en raison de ses nombreuses variations anatomiques.

La complexité de la dissection de l'ALT constitue une des limites principales de ce lambeau. Celle-ci peut s'avérer longue (2 à 3 heures minimum) et fastidieuse lorsque la perforante est musculocutanée et que la branche descendante donne de nombreuses ramifications pour les tissus environnants. Elle impose d'avoir un opérateur entraîné ayant une bonne connaissance des lambeaux perforants. De plus, les nombreuses variations anatomiques de son pédicule nécessitent une cartographie préopératoire fiable et de qualité.

Plusieurs examens permettent cette cartographie, mais l'angioscanner reste pour le moment l'examen de référence en raison de sa reproductibilité, de son accessibilité et de la possibilité d'avoir une interprétation simple par le radiologue ou le chirurgien plasticien lui-même. Cependant une des conditions nécessaires pour obtenir une image de qualité est d'avoir un protocole d'injection de produit de contraste et d'acquisition des images précis et approprié à la détection des perforantes. À ce jour, ce protocole reste à définir dans notre centre pour le repérage de l'ALT.

L'échographie doppler couleur, bien que moins répandue, apporte pourtant de nombreux avantages. Il s'agit d'un examen non invasif, facilement réalisable au lit du malade, qui offre une précision similaire à l'angioscanner pour la localisation des perforantes, du point pivot distal et de la provenance du pédicule. Elle peut également être employée en peropératoire si nécessaire. Néanmoins, sa réalisation nécessite une courbe d'apprentissage importante. L'examen peut être long et fastidieux pour le chirurgien (30 à 40 min) avec une fiabilité opérateur dépendant.

L'objectif de ce travail de thèse était d'étudier la place de l'échographie doppler dans la cartographie préopératoire de ce lambeau en vue de fiabiliser sa dissection.

Les trois articles permettent de souligner quelques points :

- D'après la technique mise en place par notre équipe, l'échographie doppler couleur peut être utilisée sur pièce anatomique. Elle pourrait devenir un outil d'entraînement pour les chirurgiens afin de se familiariser à l'échographie doppler et au repérage des perforantes, de leur provenance et du point pivot distal de l'ALT à pédicule distal. Elle pourrait également être utilisée pour d'autres lambeaux perforants.
- Notre étude cadavérique nous a permis de montrer que l'échographie doppler couleur obtenait des résultats similaires à l'angioscanner pour le repérage des perforantes, de leur provenance et du point pivot distal de l'ALT à flux rétrograde. Cet examen simple et facilement réalisable au lit du malade pourrait donc permettre de se passer de l'angioscanner.
- L'étude in-vivo confirme les résultats annoncés sur pièce anatomique. L'échographie doppler peut devenir un examen de référence pour la cartographie préopératoire de l'ALT à pédicule distal.

Actuellement dans notre service, les techniques chirurgicales simples et fiables, telles que le lambeau de gastrocnémien médial, sont privilégiées en cas de PDS du genou.

Cependant depuis ce travail, l'ALT à pédicule distal fait partie de notre arsenal thérapeutique et peut s'imposer en cas de PDS complexe, étendue, proximale ou nécessitant une reconstruction de l'appareil extenseur du genou. Il peut être une alternative au lambeau libre, comme présenté sur l'algorithme thérapeutique proposé ci-dessous (Figure 38). Il peut être réalisé pour traiter toutes les PDS du genou en présence de 3 critères repérés au moins par échographie doppler couleur :

- La présence d'une perforante de type I ou III de la classification de Shieh
- Un signal doppler dans la branche descendante de l'ACFL avec un point pivot distal repéré à 13cm ou moins de l'angle supéro-externe de la patella
- L'équation vérifiée : $\frac{\text{distance point pivot distal - perforante}}{\text{distance point pivot distal - patella}} \geq 1$

Dans le cas contraire un lambeau libre serait préférable.

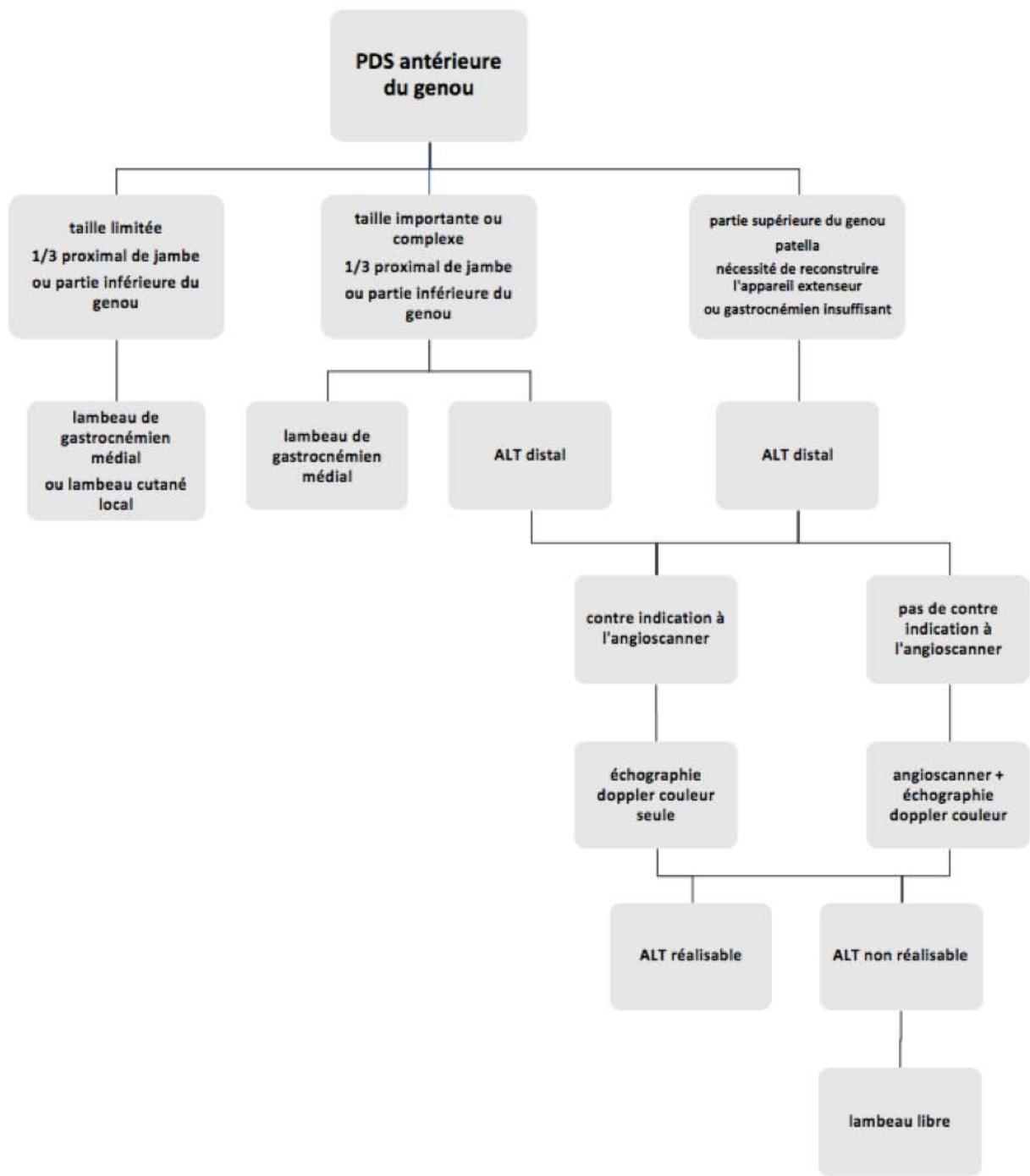


Figure 38 : algorithme décisionnel des techniques de reconstruction en cas de perte de substance de la face antérieure du genou.

Au travers de notre expérience clinique, nous avons pu constater que l'échographie doppler nous apportait des résultats fiables, elle permettait d'assurer la réalisation et de sécuriser la dissection de ce lambeau. Les perforantes étaient retrouvées exactement à l'endroit repéré par échographie et il n'y avait pas d'erreur dans l'identification du trajet du pédicule. Le point pivot distal était en général plus proximal d'environ 1cm à l'échographie sans modification de la technique chirurgicale ni du dessin préopératoire.

C'est un examen chronophage qui demande beaucoup d'entrainement avant de pouvoir distinguer allègrement les tissus et identifier avec précision les points clefs à la réalisation de l'ALT à flux rétrograde.

La réalisation technique de l'ALT à pédicule distal nécessite une cartographie préopératoire par imagerie. En pratique, nous utilisons pour l'instant systématiquement l'angioscanner associé à l'échographie doppler couleur pour réaliser ce repérage. L'échographie doppler est un examen opérateur dépendant qui demande une importante courbe d'apprentissage. Une fois l'expérience acquise, le chirurgien plasticien peut être à même de réaliser seul la cartographie préopératoire de l'ALT au moyen de l'échographe. Cet examen simple, fiable et non invasif pour le patient permet de se passer de l'angioscanner qui garderait comme seule indication les patients présentant une obésité sévère avec une faible échogénicité.

7 Bibliographie

1. Masquelet A-C. Pertes de substance cutanée du genou. In: Fontaine C, Vannineuse A, éditeurs. Fractures du genou [Internet]. Paris: Springer; 2005 [cité 6 mai 2020]. p. 387-97. (Orthopedie-Traumatologie). Disponible sur: https://doi.org/10.1007/2-287-28278-5_39
2. Bégué T. Aux frontières de la jambe: perte de substance cutanée du genou et prothèse totale. In: Le Nen D, Fabre A, Dubrana F, éditeurs. Réparations tissulaires à la jambe: De l'os... à la peau [Internet]. Paris: Springer; 2012 [cité 6 mai 2020]. p. 395-405. (Collection Approche pratique en orthopédie — traumatologie). Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-2-287-99066-3_36
3. Wei F-C, Mardini S. Flaps and Reconstructive Surgery E-Book. Elsevier Health Sciences; 2016. 1196 p.
4. Gravvanis A. Flap reconstruction of the knee: A review of current concepts and a proposed algorithm. World Journal of Orthopedics. 2014;5(5):603.
5. Klayman MH, Trowbridge CC, Stammers AH, Wolfgang GL, Zijerdi DA, Bitterly TJ. Autologous platelet concentrate and vacuum-assisted closure device use in a nonhealing total knee replacement. J Extra Corpor Technol. mars 2006;38(1):44-7.
6. Duteille F. La TPN : quelle place dans la stratégie thérapeutique des plaies ? Revue Francophone de Cicatrisation. oct 2018;2(4):53-6.
7. Alet J-M, Weigert R, Castede J-C, Casoli V. Management of traumatic soft tissue defects with dermal regeneration template: A prospective study. Injury. juill 2014;45(7):1042-8.
8. Le Corre A, Duteille F, Gouin F. Les lambeaux de gastrocnémiens réalisés dans le cadre de défauts cicatriciels suite à une chirurgie d'arthroplastie du genou permettent-ils de conserver ces prothèses ? Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique. nov 2014;100(7):S302.
9. Feldman JJ, Cohen BE, May JW. THE MEDIAL GASTROCNEMIUS MYOCUTANEOUS FLAP: Plastic and Reconstructive Surgery. avr 1978;61(4):531-9.
10. Tiengo C, Macchi V, Vigato E, Porzionato A, Stecco C, Azzena B, et al. Reversed Gracilis Pedicle Flap for Coverage of a Total Knee Prosthesis*: The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume. juill 2010;92(7):1640-6.
11. Petty CT, Hogue RJ. CLOSURE OF AN EXPOSED KNEE JOINT BY USE OF A SARTORIUS MUSCLE FLAP: Plastic and Reconstructive Surgery. sept 1978;62(3):458-61.
12. Arnold PG, Prunes-Carrillo F. Vastus Medialis Muscle Flap for Functional Closure of the Exposed Knee Joint: Plastic and Reconstructive Surgery. juill 1981;68(1):69-72.
13. Swartz WM, Ramasastry SS, McGill JR, Noonan JD. Distally Based Vastus Lateralis Muscle

Flap for Coverage of Wounds About the Knee: Plastic and Reconstructive Surgery. août 1987;80(2):255-63.

14. Masquelet AC, Alain G, Alain G. An Atlas of Flaps of the Musculoskeletal System [Internet]. CRC Press; 2001 [cité 6 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.taylorfrancis.com/books/9780367805401>
15. Gobel F, Pélissier P, Casoli V. Le Lambeau perforant en hélice pour la couverture cutanée du genou. Annales de Chirurgie Plastique Esthétique. août 2011;56(4):280-6.
16. Gravvanis AI, Iconomou TG, Panayotou PN, Tsoutsos DA. MEDIAL GASTROCNEMIUS MUSCLE FLAP VERSUS DISTALLY BASED ANTEROLATERAL THIGH FLAP: CONSERVATIVE OR MODERN APPROACH TO THE EXPOSED KNEE JOINT?: Plastic and Reconstructive Surgery. sept 2005;116(3):932-4.
17. Al-Himdani S, Din A, Wright TC, Wheble G, Chapman TWL, Khan U. The medial sural artery perforator (MSAP) flap: A versatile flap for lower extremity reconstruction. Injury. avr 2020;51(4):1077-85.
18. Luca-Pozner V, Delgove A, Kerfant N, Karra A, Herlin C, Chaput B. Medial Sural Artery Perforator Flap for Leg and Knee Coverage: Extended Skin Paddle With 2 Perforators. Annals of Plastic Surgery. avr 2020;1.
19. Ruan H-J, Cai P-H, Schleich AR, Fan C-Y, Chai Y-M. The Extended Peroneal Artery Perforator Flap for Lower Extremity Reconstruction: Annals of Plastic Surgery. avr 2010;64(4):451-7.
20. Alshomer F, Alhujayri A, Althubaiti G. Pedicled Peroneal Artery Perforator Flap for Knee Defect Reconstruction: Case Presentation and Literature Discussion. Plast Reconstr Surg Glob Open [Internet]. 21 nov 2018 [cité 6 avr 2020];6(11). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6414094/>
21. Rad AN, Christy MR, Rodriguez ED, Brazio P, Rosson GD. The Anterior Tibialis Artery Perforator (ATAP) Flap for Traumatic Knee and Patella Defects: Clinical Cases and Anatomic Study. Annals of Plastic Surgery. févr 2010;64(2):210-6.
22. Duteille F, Waast D, Perrot P, Cronier P, Hubert L, Pannier M. Le lambeau de serratus anterior en chirurgie reconstructrice du membre inférieur. À propos de 30 cas. Annales de Chirurgie Plastique Esthétique. févr 2005;50(1):71-5.
23. Perrot P, Duteille F, Leaute F, Le Borgne J, Pannier M. Étude anatomique et applications cliniques des caractéristiques de la palette cutanée du lambeau libre de grand dentelé. Annales de Chirurgie Plastique Esthétique. déc 2006;51(6):494-8.

24. Boucher F, Mojallal A. Atlas des artères perforantes de la peau du tronc et des membres – Guide dans la réalisation des lambeaux perforants. Annales de Chirurgie Plastique Esthétique. déc 2013;58(6):644-9.
25. Boucher F, Mojallal A. Atlas des artères perforantes de la peau, du tronc et des membres.
26. Koshima I, Fukuda H, Utunomiya R, Soeda S. The anterolateral thigh flap; variations in its vascular pedicle. British Journal of Plastic Surgery. mai 1989;42(3):260-2.
27. Shieh S-J, Chiu H-Y, Yu J-C, Pan S-C, Tsai S-T, Shen C-L. Free Anterolateral Thigh Flap for Reconstruction of Head and Neck Defects following Cancer Ablation: Plastic & Reconstructive Surgery. juin 2000;105(7):2349-57.
28. Pribaz JJ, Orgill DP, Epstein MD, Sampson CE, Hergrueter CA. Anterolateral Thigh Free Flap: Annals of Plastic Surgery. juin 1995;34(6):585-92.
29. Tiguemounine J, Picard A, Laure B, Bonin B, Ballon G, Fassio E, et al. [Anterolateral thigh free flap. Surgical technique]. Rev Stomatol Chir Maxillofac. déc 2002;103(6):373-8.
30. Yu P. Characteristics of the anterolateral thigh flap in a Western population and its application in head and neck reconstruction. Head Neck. sept 2004;26(9):759-69.
31. Agostini T, Lazzeri D, Spinelli G. Anterolateral Thigh Flap Thinning: Techniques and Complications. Annals of Plastic Surgery. févr 2014;72(2):246-52.
32. Diamond S, Seth A, Chattha A, Iorio M. Outcomes of Subfascial, Suprafascial, and Super-Thin Anterolateral Thigh Flaps: Tailoring Thickness without Added Morbidity. J Reconstr Microsurg. mars 2018;34(03):176-84.
33. Zhang G. [Reversed anterolateral thigh island flap and myocutaneous flap transplantation]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi. déc 1990;70(12):676-8, 46.
34. Pan S-C, Yu J-C, Shieh S-J, Lee J-W, Huang B-M, Chiu H-Y. Distally Based Anterolateral Thigh Flap: An Anatomic and Clinical Study: Plastic and Reconstructive Surgery. déc 2004;114(7):1768-75.
35. Erba P, Raffoul W, Bauquis O. Safe Dissection of the Distally Based Anterolateral Thigh Flap. Journal of Reconstructive Microsurgery [Internet]. 18 juin 2012 [cité 8 mars 2020]; Disponible sur: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0032-1315764>
36. Boonrod A, Thammaroj T, Jianmongkol S, Prajaney P. Distal anastomosis patterns of the descending branch of the lateral circumflex femoral artery. Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery. 3 mai 2016;50(3):167-70.
37. Demirseren ME, Efendioglu K, Demiralp CO, Kilicarslan K, Akkaya H. Clinical experience with a reverse-flow anterolateral thigh perforator flap for the reconstruction of soft-tissue defects of

the knee and proximal lower leg. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. déc 2011;64(12):1613-20.

38. Wong C-H, Goh T, Tan B-K, Ong YS. The Anterolateral Thigh Perforator Flap for Reconstruction of Knee Defects: *Annals of Plastic Surgery*. janv 2012;1.
39. Cotrufo S, Hart A. A Note of Caution on the Use of the Distally Based Anterolateral Thigh Flap: Anatomical Evidence: *Plastic and Reconstructive Surgery*. janv 2010;125(1):30e-1e.
40. Yamada S, Okamoto H, Sekiya I, Wada I, Kobayashi M, Goto H, et al. Anatomical basis of distally based anterolateral thigh flap. *Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery*. juin 2014;48(3):197-200.
41. Lee Y-C, Chen W-C, Chou T-M, Shieh S-J. Anatomical Variability of the Anterolateral Thigh Flap Perforators: Vascular Anatomy and Its Clinical Implications. *Plastic and Reconstructive Surgery*. avr 2015;135(4):1097-107.
42. Rozen WM, Ribuffo D, Atzeni M, Stella DL, Saba L, Guerra M, et al. Current state of the art in perforator flap imaging with computed tomographic angiography. *Surgical and Radiologic Anatomy*. oct 2009;31(8):631-9.
43. Masia J, Clavero JA, Larrañaga JR, Alomar X, Pons G, Serret P. Multidetector-row computed tomography in the planning of abdominal perforator flaps. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. juin 2006;59(6):594-9.
44. Garvey PB, Selber JC, Madewell JE, Bidaut L, Feng L, Yu P. A Prospective Study of Preoperative Computed Tomographic Angiography for Head and Neck Reconstruction with Anterolateral Thigh Flaps: *Plastic and Reconstructive Surgery*. avr 2011;127(4):1505-14.
45. Uppal RS, Casaer B, Van Landuyt K, Blondeel P. The efficacy of preoperative mapping of perforators in reducing operative times and complications in perforator flap breast reconstruction. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. juill 2009;62(7):859-64.
46. Boucher F, Moutran M, Boutier R, Papillard M, Rouviere O, Braye F, et al. Angiotomodensitométrie préopératoire dans les lambeaux perforants : standardisation du protocole. *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*. août 2013;58(4):290-309.
47. Ribuffo D, Atzeni M, Saba L, Milia A, Guerra M, Mallarini G. Angio Computed Tomography Preoperative Evaluation for Anterolateral Thigh Flap Harvesting: *Annals of Plastic Surgery*. avr 2009;62(4):368-71.
48. Blondeel PN, Beyens G, Verhaeghe R, Van Landuyt K, Tonnard P, Monstrey SJ, et al. Doppler flowmetry in the planning of perforator flaps. *British Journal of Plastic Surgery*. 1998;51(3):202-9.

49. Hallock GG. Doppler sonography and color duplex imaging for planning a perforator flap. Clinics in Plastic Surgery. juill 2003;30(3):347-57.
50. Miller JR, Potpari Z, Colen LB, Sorrell K, Carraway JH. The Accuracy of Duplex Ultrasonography in the Planning of Skin Flaps in the Lower Extremity: Plastic and Reconstructive Surgery. juin 1995;95(7):1221-7.
51. Schwabegger AH, Bodner G, Rieger M, Jaschke WR, Ninković MM. Internal Mammary Vessels as a Model for Power Doppler Imaging of Recipient Vessels in Microsurgery: Plastic and Reconstructive Surgery. nov 1999;104(6):1656-61.
52. Feng S, Min P, Grassetti L, Lazzeri D, Sadigh P, Nicoli F, et al. A Prospective Head-to-Head Comparison of Color Doppler Ultrasound and Computed Tomographic Angiography in the Preoperative Planning of Lower Extremity Perforator Flaps: Plastic and Reconstructive Surgery. janv 2016;137(1):335-47.
53. Smit JM, Klein S, Werker PMN. An overview of methods for vascular mapping in the planning of free flaps. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery. sept 2010;63(9):e674-82.
54. Iida H, Ohashi I, Kishimoto S, Umeda T, Hata Y. Preoperative assessment of anterolateral thigh flap cutaneous perforators by colour Doppler flowmetry. British Journal of Plastic Surgery. janv 2003;56(1):21-5.
55. Zhou G, Qiao Q, Chen GY, Ling YC, Swift R. Clinical experience and surgical anatomy of 32 free anterolateral thigh flap transplantations. British Journal of Plastic Surgery. 1991;44(2):91-6.
56. Qassemyar Q, Sinna R. Le lambeau perforant en hélice. Annales de Chirurgie Plastique Esthétique. 1 juin 2010;55(3):204-10.
57. Giunta RE, Geisweid A, Feller AM. The Value of Preoperative Doppler Sonography for Planning Free Perforator Flaps: Plastic & Reconstructive Surgery. juin 2000;105(7):2381-6.
58. Quezzani S, Gangloff D, Garrido I, Grolleau J-L, Guitard J, Chavoin J-P. Le lambeau antérolatéral de cuisse: de l'étude anatomique à la technique chirurgicale. Annales de Chirurgie Plastique Esthétique. juin 2008;53(3):232-8.
59. Da-Chuan X, Shi-zhen Z, Ji-ming K, Guo-ying W, Muzhi L, Li-sheng L, et al. Applied Anatomy of the Anterolateral Femoral Flap: Plastic and Reconstructive Surgery. août 1988;82(2):305-10.
60. Da-Chuan X, Shi-zhen Z, Ji-ming K, Guo-ying W, Muzhi L, Li-sheng L, et al. Applied Anatomy of the Anterolateral Femoral Flap: Plastic and Reconstructive Surgery. août 1988;82(2):305-10.

61. Dorfman D, Pu LLQ. The Value of Color Duplex Imaging for Planning and Performing a Free Anterolateral Thigh Perforator Flap: Annals of Plastic Surgery. mai 2014;72:S6-8.
62. Oqlat AA, Suardi N, Matjafri MZ, Oqlat MA, Abdelrahman MA, Oqlat AA. A Review of Suspension-Scattered Particles Used in Blood-Mimicking Fluid for Doppler Ultrasound Imaging. J Med Ultrasound. 2018;26(2):68-76.
63. Jensen AJ, Nikolov SI. Directional synthetic aperture flow imaging. IEEE Trans Ultrason, Ferroelect, Freq Contr. sept 2004;51(9):1107-18.
64. Ramnarine KV, Nassiri DK, Hoskins PR, Lubbers J. Validation of a New Blood-Mimicking Fluid for Use in Doppler Flow Test Objects. Ultrasound in Medicine & Biology. mars 1998;24(3):451-9.
65. Deplano V, Knapp Y, Bailly L, Bertrand E. Flow of a blood analogue fluid in a compliant abdominal aortic aneurysm model: Experimental modelling. Journal of Biomechanics. avr 2014;47(6):1262-9.
66. Harrington K, Deane C, Campbell S. Measurement of volume flow with time domain and M-mode imaging: in vitro and in vivo validation studies. Journal of Ultrasound in Medicine. oct 1996;15(10):715-20.
67. Zhou X, Hoskins PR. Testing a new surfactant in a widely-used blood mimic for ultrasound flow imaging. Ultrasound. nov 2017;25(4):239-44.
68. Thorne ML, Poepping TL, Rankin RN, Steinman DA, Holdsworth DW. Use of an Ultrasound Blood-Mimicking Fluid for Doppler Investigations of Turbulence In Vitro. Ultrasound in Medicine & Biology. juill 2008;34(7):1163-73.
69. Guo Z, Fenster A. Three-dimensional power Doppler imaging: A phantom study to quantify vessel stenosis. Ultrasound in Medicine & Biology. janv 1996;22(8):1059-69.
70. Allard L, Cloutier G. Power Doppler ultrasound scan imaging of the level of red blood cell aggregation: An in vitro study. Journal of Vascular Surgery. juill 1999;30(1):157-68.
71. Weng X, Cloutier G, Pibarot P, Durand L. Comparison and simulation of different levels of erythrocyte aggregation with pig, horse, sheep, calf, and normal human blood. Biorheology. 10 juill 1996;33(4-5):365-77.
72. Song Y, Chen G, Song Y. The free thigh flap: a new free flap concept based on the septocutaneous artery. British Journal of Plastic Surgery. avr 1984;37(2):149-59.
73. Jenwitheesuk K, Sukprasert P, Winaikosol K, Jantajang N. Knee reconstruction using a distally based anterolateral thigh flap: an anatomical cadaveric study. J Wound Care. sept 2018;27(Sup9a):S28-31.

74. Shieh S-J, Chiu H-Y, Yu J-C, Pan S-C, Tsai S-T, Shen C-L. Free Anterolateral Thigh Flap for Reconstruction of Head and Neck Defects following Cancer Ablation: Plastic & Reconstructive Surgery. juin 2000;105(7):2349-57.
75. Kimata Y, Uchiyama K, Ebihara S, Nakatsuka T, Harii K. Anatomic Variations and Technical Problems of the Anterolateral Thigh Flap: A Report of 74 Cases: Plastic & Reconstructive Surgery. oct 1998;102(5):1517-23.
76. Ribuffo D, Atzeni M, Saba L, Milia A, Guerra M, Mallarini G. Angio Computed Tomography Preoperative Evaluation for Anterolateral Thigh Flap Harvesting: Annals of Plastic Surgery. avr 2009;62(4):368-71.
77. Klasson S, Svensson H, Malm K, Wassélius J, Velander P. Preoperative CT angiography versus Doppler ultrasound mapping of abdominal perforator in DIEP breast reconstructions: A randomized prospective study. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery. juin 2015;68(6):782-6.
78. Lu D, Chan P, Ferris S, Shayan R, Angliss M, Bruscino-Raiola F. Anatomic symmetry of anterolateral thigh flap perforators: a computed tomography angiographic study. ANZ Journal of Surgery. mai 2019;89(5):584-8.
79. Song Y, Chen G, Song Y. The free thigh flap: a new free flap concept based on the septocutaneous artery. British Journal of Plastic Surgery. avr 1984;37(2):149-59.
80. Hutchinson DT. Color duplex imaging. Applications to upper-extremity and microvascular surgery. Hand Clin. févr 1993;9(1):47-57.
81. Liu Y, Ding Q, Zang M, Yu S, Zhu S, Chen B, et al. Classification and Application of the Distally-Based Thigh Flap Based on the Lateral Circumflex Femoral Artery System: Annals of Plastic Surgery. mai 2017;78(5):497-504.
82. Uygur F, Duman H, Ülkür E, Celiköz B. Are Reverse Flow Fasciocutaneous Flaps an Appropriate Option for the Reconstruction of Severe Postburn Lower Extremity Contractures?: Annals of Plastic Surgery. sept 2008;61(3):319-24.
83. Ismail HA, El-Bassiony LE. Reverse-flow anterolateral thigh perforator: an ad hoc flap for severe post-burn knee contracture. Ann Burns Fire Disasters. 31 mars 2016;29(1):71-5.
84. Yildirim S, Avci G, Akan M, Misirlioglu A, Aköz T. Anterolateral Thigh Flap in the Treatment of Postburn Flexion Contractures of the Knee: Plastic and Reconstructive Surgery. avr 2003;111(5):1630-7.
85. Zhou G, Zhang Q-X, Chen G-Y. The earlier clinic experience of the reverse-flow anterolateral thigh island flap. British Journal of Plastic Surgery. mars 2005;58(2):160-4.

86. Tsukino A, Kurachi K, Inamiya T, Tanigaki T. Preoperative Color Doppler Assessment in Planning of Anterolateral Thigh Flaps: Plastic and Reconstructive Surgery. janv 2004;113(1):241-6.
87. Lin RY-C, Chien W-H. Experiences in Harvesting Type II Distally Based Anterolateral Thigh Flaps: Plastic and Reconstructive Surgery. juill 2006;118(1):282-4.
88. González Martínez J, Torres Pérez A, Gijón Vega M, Nuñez-Villaveiran T. Preoperative vascular planning of free-based flaps. Comparative study between Computed Tomographic Angiography, Color Doppler Ultrasonography and Hand-Held Doppler. Plastic & Reconstructive Surgery [Internet]. 28 avr 2020 [cité 21 juill 2020];Publish Ahead of Print. Disponible sur: <https://journals.lww.com/10.1097/PRS.0000000000006966>

Vu, le Président du Jury,
(tampon et signature)

Professeur Pierre PERROT

Vu, le Directeur de Thèse,
(tampon et signature)

Docteur Anaïs DELGOVE

Vu, le Doyen de la Faculté,

Professeur Pascale JOLLIET

NOM : VERDIER

PRENOM : Julien

**Titre de Thèse : LE LAMBEAU ANTEROLATERAL DE CUISSE A PEDICULE DISTAL
DANS LES PERTES DE SUBSTANCE DU GENOU : PLACE DE L'ECHOGRAPHIE
DOPPLER DANS LA CARTOGRAPHIE PREOPERATOIRE**

RESUME

Le lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal est un lambeau permettant de traiter les pertes de substance de la face antérieure du genou. Il est actuellement peu utilisé dans de nombreux centres en raison de sa difficulté technique, due à ses nombreuses variations anatomiques. L'objectif de ce travail était d'étudier la faisabilité de son repérage préopératoire par échographie doppler par le chirurgien afin de guider les indications et de faciliter le geste chirurgical. Notre étude anatomique a montré la faisabilité de l'échographie doppler sur pièce anatomique ainsi que sa capacité à localiser les perforantes et le point pivot distal du lambeau avec une précision similaire à l'angioscanner. Notre étude clinique est venue confirmer ces résultats. Elle montre que l'échographie doppler a parfaitement sa place dans la cartographie préopératoire et pourrait devenir l'examen de référence, fiabilisant la technique chirurgicale et permettant de remplacer l'angioscanner.

MOTS-CLES

Lambeau antérolatéral de cuisse à pédicule distal – échographie doppler – angioscanner – reconstruction – genou