

Université de Montréal

**Une étude cadavérique pour réduire les risques des
approches chirurgicales et percutanées de l'artère fémorale**

Par
Cécilia Tremblay

Programme de sciences biomédicales
Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté de médecine
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences
en sciences biomédicales

Août 2015

© Cécilia Tremblay, 2015

Résumé

En chirurgie vasculaire, l'accès à l'artère fémorale, qu'il soit par une incision chirurgicale ou par une approche percutanée, est très fréquemment utilisé pour une multitude d'interventions vasculaires ou endovasculaires; pour des pontages divers, le traitement d'occlusions artérielles, la réparation d'anévrismes et la pose d'endoprothèses. L'objectif général de ce projet de recherche est de faciliter et réduire les risques des approches de l'artère fémorale par une meilleure compréhension anatomique du triangle fémoral. La méthodologie a été réalisée grâce à l'utilisation de cadavres spécialement embaumés par la méthode développée par Walter Thiel.

Les résultats présentés dans ce mémoire ont permis de proposer des solutions en réponse à des problèmes cliniques en chirurgie vasculaire. Dans un premier temps, l'étude de la vascularisation cutanée du triangle fémoral a mené à proposer de nouvelles incisions chirurgicales afin de limiter la dévascularisation cutanée des plaies et ainsi réduire les problèmes de cicatrisation observés. Ensuite, nous avons validé l'identification radiographique et échographique de l'artère fémorale à son croisement avec le ligament inguinal afin de faciliter l'identification d'un site de ponction artérielle adéquat. Enfin, nous avons développé une méthode échographique simple qui facilite l'approche percutanée de l'artère fémorale, même chez les patients obèses.

Les retombées de ce projet de recherche sont multiples pour les cliniciens, l'étude fournit une meilleure compréhension anatomique tridimensionnelle du triangle fémoral et les techniques proposées dans ce mémoire pourront apporter une amélioration de la pratique chirurgicale et faciliter le travail des médecins. Toutefois, ces propositions devront maintenant être validées en clinique.

Mots-clés : artère fémorale, triangle fémoral, incision inguinale, ponction artérielle, cadavre Thiel, vascularisation, échographie

Abstract

In vascular surgery, access to the femoral artery is frequently used either through a surgical incision of the groin or by a percutaneous approach in a wide variety of vascular and endovascular procedures; for multiple bypasses, treatment of arterial occlusions, aneurysms repair and placement of various stents. The general purpose of this study is to facilitate and reduces the risks of both the surgical and the percutaneous approaches of the femoral artery through a better anatomical understanding of the femoral triangle. The methodology was conducted on specifically embalmed cadavers according to the method developed by Walter Thiel.

The results presented in this memory allowed us to propose solutions to clinical problems in vascular surgery. First, the study of the cutaneous vascularisation of the femoral triangle led to suggest new surgical approaches in order to reduce lesions of the cutaneous arteries and the potential devascularization of the borders of the wound yielding a better postoperative outcome. Then, we validated the radiographic and ultrasonographic position and identification of the inguinal ligament and the proximal femoral artery to facilitate the identification of a safe arterial puncture site. Moreover, we developed a simple method for ultrasound-guided arterial puncture, suitable for obese patients, to facilitate the percutaneous approach of the femoral artery.

The benefits of this research project are multiple for clinicians, the study provides a better tridimensional anatomic understanding of the femoral triangle and the techniques proposed will lead to an improved surgical practice and facilitate the work of doctors. However, our work and propositions still need to be validated clinically.

Keywords : femoral artery, femoral triangle, inguinal incisions, arterial puncture, Thiel cadavers, vascularisation, ultrasound

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux.....	vii
Liste des documents spéciaux.....	viii
Liste des abréviations et des sigles.....	ix
Remerciements.....	x
CHAPITRE 1.....	11
Introduction.....	11
Anatomie de l'artère fémorale.....	12
Anatomie du triangle fémoral.....	16
Approches du triangle fémoral.....	18
Pathologies vasculaires.....	19
Interventions.....	20
Embaumement Thiel.....	22
CHAPITRE 2 :.....	23
Approche chirurgicale du triangle fémoral.....	23
Introduction à la problématique.....	23
Complications des incisions inguinales.....	24
Hypothèses.....	25
Autres incisions décrites dans la littérature.....	27
Vascularisation cutanée du triangle fémoral.....	28
Objectifs de recherche.....	29
Méthodologie.....	30
Injection de latex radio-opaque.....	30

Prise de radiographie.....	30
Dissection fine et identification des artères cutanées	31
Article de recherche	32
Contribution des auteurs	32
Cutaneous vascularization of the femoral triangle in respect to groin incisions	33
Abstract.....	34
Clinical Relevance:	35
Introduction.....	35
Materials and Methods.....	37
Embalming.....	37
Preparation of the radiopaque latex	37
Injection of the radiopaque latex.....	37
Radiographs	38
Dissection of the thighs.....	38
Results:.....	40
Discussion	45
Conclusion	52
Author contributions	52
References.....	53
Discussion	55
CHAPITRE 3 :	58
Approche percutanée de l'artère fémorale.....	58
Introduction à la problématique	58
Complications de l'approche percutanée	59
Techniques développées pour l'approche percutanée.....	60
Objectifs de recherche.....	63
Méthodologie	64
Exploration de la région inguinale par dissection et radiographie.....	64
Exploration échographique et développement d'une approche percutanée écho-guidée.	65

Validation de l'identification de structures à l'échographe	66
Résultats	67
Exploration de la région inguinale par dissection et radiographie.....	67
Exploration échographique de la région inguinale	72
Vidéo d'une simulation de l'approche percutanée écho-guidée	75
Validation de l'identification de structures à l'échographe	77
Discussion	80
Étude radiographique du triangle fémoral	80
Étude échographique du triangle fémoral	83
CHAPITRE 4	85
Conclusion générale	85
Bibliographie.....	i
Annexe	i

Liste des figures

Figure 1.1 : Réseau artériel de la cuisse.....	14
Figure 1.2 : Branches collatérales de l'artère iliaque externe et de l'artère fémorale au niveau du ligament inguinal.	15
Figure 1.3 : Triangle fémoral.....	17
Figure 2.1 : Incision infra-inguinale classique du triangle fémoral.....	24
Figure 2.2: Illustration of the method used in this study.	39
Figure 2.3: Variations observed in the patterns of the cutaneous arteries in all the 11 cases studied.	42
Figure 2.4: Potential vascular injury caused by the classical vertical infra-inguinal incision in each of the 11 vascular patterns (cases A to K) shown in Figure 2.3.	44
Figure 2.5: Proposition of a new approach for the vertical infrainguinal incision.	48
Figure 2.6: Consequences of other incisions proposed in the literature.	50
Figure 3.1 : Exploration de la région inguinale par dissection et radiographie.	65
Figure 3.2 : Positionnement de l'artère fémorale commune par rapport à la tête fémorale	68
Figure 3.3 : Positionnement du ligament inguinal par rapport aux repères osseux.	70
Figure 3.4 : Échographie de la région inguinale, sonde dans le plan du ligament inguinal	73
Figure 3.5 : Échographie de la région inguinale, sonde dans le plan de l'artère fémorale	74
Figure 3.6 : Étapes de la simulation de l'approche percutanée de l'artère fémorale	76
Figure 3.7: Injection de latex sur le ligament inguinal	78
Figure 3.8 : Dissection de la région inguinale et validation de structures.	79

Liste des tableaux

Tableau I : Longueur des artères fémorales communes.....	69
Tableau II : Distance entre la position radiographique et réelle du ligament inguinal.	71
Tableau III: Localisation de la bifurcation de l'artère fémorale par rapport de la tête fémorale.	81

Liste des documents spéciaux

Vidéo de la simulation sur cadavre de notre technique développée pour l'approche percutanée écho-guidée.	i
--	---

Liste des abréviations et des sigles

AFC :	Artère fémorale commune
ÉIAS :	Épine iliaque antéro-supérieure
FICAT :	Federative International Committee on Anatomical Terminology
F :	Femme
H :	Homme
IMC :	Indice de masse corporelle
TP :	Tubercule pubien
cm :	Centimètres
g :	Grammes
mm :	Millimètres
mL :	Millilitres

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche le Pr Gilles Bronchti de m'avoir initiée à la recherche et m'avoir guidée dans toutes les étapes de ma maîtrise. Je suis extrêmement reconnaissante pour sa confiance, son soutien, sa disponibilité, et ses critiques constructives. Je le remercie aussi pour la formation qu'il m'a apportée en anatomie, pour l'opportunité de travailler au sein du carrefour anatomique et pour son appui financier.

Je remercie également mon codirecteur de recherche le Pr Detlev Grabs, pour son soutien, sa présence et sa disponibilité. Je le remercie pour son aide au développement des protocoles, son assistance pour des techniques d'imagerie, ses précieux conseils et la formation en anatomie qu'il m'a apportés.

Je remercie sincèrement le Dr Daniel Bourgouin pour son indispensable contribution au développement de ce projet de recherche et la suggestion de problèmes cliniques à l'origine mêmes de ce projet de maîtrise. Je le remercie pour sa précieuse collaboration, pour sa disponibilité, son implication essentielle et ses précieux conseils concernant les aspects cliniques et chirurgicaux du projet. Je le remercie aussi de son soutien et sa présence lors de mes présentations dans des congrès de chirurgie vasculaire.

Je remercie le département d'anatomie pour son personnel accueillant et disponible ainsi que toute l'équipe du laboratoire d'anatomie; Johanne Pellerin, Marie-Ève Lemire, Sophie Plante et Ursula Grabs pour leur présence, leur support, leur aide, leur écoute et leur amitié. En outre, j'exprime ma gratitude aux familles qui ont participé au programme de donation du laboratoire d'anatomie de l'Université du Québec à Trois-Rivières.

Je remercie mes parents et ma famille pour leur appui tout le long de mon cheminement académique et pour les belles valeurs qu'ils m'ont transmises. Merci à mon amoureux, Benoit, de m'avoir soutenue, écoutée, encouragée et d'être présent à mes côtés dans toutes les épreuves que je traverse.

Pour terminer, je remercie les fonds de recherche pour le démarrage de projets de recherche en collaboration UQTR-CSSSTR pour la bourse obtenue lors de la réalisation de ce projet de recherche.

CHAPITRE 1

Introduction

L'artère fémorale est l'artère principale de la cuisse qui donne naissance à toutes les branches artérielles du membre inférieur. Elle naît de l'artère iliaque externe, continuation de l'artère iliaque commune, une branche importante de l'aorte. L'artère fémorale est d'un calibre considérable et facilement accessible, par chirurgie ouverte ou par accès percutané, dans sa partie proximale au niveau du triangle fémoral. Aussi, l'artère fémorale est l'accès privilégié pour de nombreuses interventions en chirurgie vasculaire.

Ce mémoire de recherche veut, par une étude anatomique très précise sur cadavres, répondre à quelques problèmes cliniques reliés à l'approche de l'artère fémorale en chirurgie vasculaire, que l'approche soit chirurgicale ou percutanée. Les études réalisées au cours de ma maîtrise comprennent 2 volets :

(1) l'étude de la vascularisation fine du triangle fémoral en lien avec une complication fréquente des incisions inguinales chirurgicales sera l'objet du chapitre 2. Les résultats de ce volet de recherche seront présentés sous la forme d'un article scientifique. Celui-ci est en cours de publication dans une revue réputée de chirurgie vasculaire, le « Journal of Vascular Surgery ».

(2) l'étude des relations topographiques anatomiques, échographiques et radiographiques précises de l'artère fémorale proximale à son croisement avec le ligament inguinal pour faciliter son approche percutanée sera présentée dans le chapitre 3 de ce mémoire.

Tout d'abord, avant de présenter les résultats de ce projet de maîtrise, je vais introduire dans le présent chapitre l'anatomie de l'artère fémorale, son origine et ses branches ainsi que l'anatomie du triangle fémoral, la région de la cuisse où nous avons accès à l'artère. De plus, je présenterai quelques pathologies vasculaires et les interventions couramment utilisées en chirurgie vasculaire. En outre, comme cette étude a été réalisée sur cadavres spécialement embaumés, je décrirai ce modèle particulier.

Anatomie de l'artère fémorale

L'artère fémorale (voir figure 1.1) est la principale artère de la cuisse, elle irrigue ses régions antérieures et antéro-médiales, et se termine en arrière du genou où elle devient l'artère poplitée. L'artère fémorale naît, à son passage sous le ligament inguinal, de l'artère iliaque externe du bassin. Avant d'arriver dans le bassin, l'aorte abdominale se divise en deux artères iliaques communes droite et gauche. L'artère iliaque commune se divise en artère iliaque interne et artère iliaque externe. L'interne donne naissance aux artères glutéales inférieure et supérieure et aux artères sacrales qui vont irriguer la région fessière ainsi que les artères viscérales du petit bassin. Elle donnera aussi naissance à l'artère obturatrice, destinée à la loge médiale de la cuisse. L'artère iliaque externe chemine dans la paroi latérale du bassin et donne naissance, juste au-dessus du ligament inguinal, à une branche latérale, l'artère circonflexe iliaque profonde et à une branche médiale, l'artère épigastrique inférieure (Schünke, Schulte, & Schumacher, 2006) (voir figure 1.2).

En passant sous le ligament inguinal, l'artère iliaque externe change de nom et devient l'artère fémorale. Elle arrive dans le membre inférieur par la lacune vasculaire avec la veine fémorale et les vaisseaux lymphatiques et s'engage dans le triangle fémoral où sa course est la plus superficielle. L'artère fémorale est une artère élastique de diamètre important, son calibre à cet endroit est d'environ 8 à 9 mm, elle est facilement palpable à son origine où on peut y prendre le pouls fémoral (Kamina & Martinet, 2006; Moore & Dalley, 2001; Schünke et al., 2006). Il existe un réseau collatéral anastomotique entre les branches de l'artère iliaque externe et interne par l'artère glutéale supérieure qui s'anastomose avec l'artère circonflexe iliaque profonde, et par l'artère obturatrice qui s'anastomose avec l'artère circonflexe fémorale médiale (Testut, 1921).

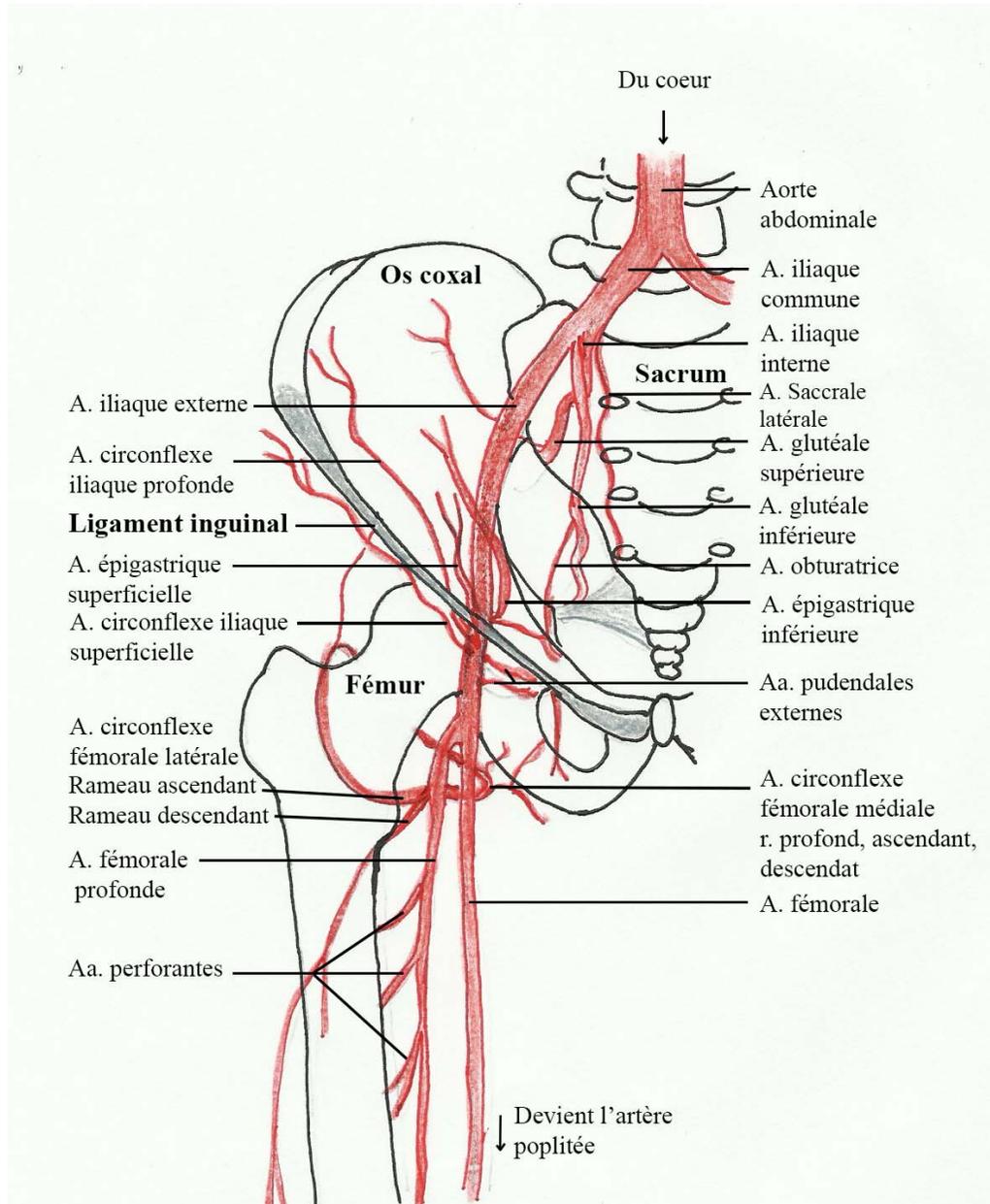
Après une course d'environ 2 à 5 cm, l'artère fémorale donne naissance à sa plus grosse branche, l'artère fémorale profonde qui irrigue la loge postérieure de la cuisse. L'orientation de cette branche à son origine est très variable, mais généralement elle naît postérieurement à l'artère fémorale. L'artère fémorale profonde donne naissance à l'artère circonflexe fémorale latérale (avec un rameau ascendant et un rameau descendant) et à l'artère circonflexe fémorale médiale (avec ses rameaux profond, ascendant et descendant). Ces 2

artères ont une origine variable, dans 58% des cas elles prennent origine toutes les deux de l'artère fémorale profonde, mais elles peuvent aussi naître de l'artère fémorale dans 18% des cas pour la circonflexe médiale et 15% des cas pour la circonflexe latérale (Schünke et al., 2006). Elles s'anastomosent entre elles et avec les artères glutéales inférieures derrière l'articulation coxo-fémorale et elles assurent l'irrigation de la tête et du col du fémur. L'artère fémorale profonde se divise ensuite en 3 à 5 artères perforantes, qui traversent le plancher musculaire et se dirigent vers la loge postérieure de la cuisse (Schünke et al., 2006).

C'est dans la partie proximale de l'artère fémorale, avant l'origine de l'artère fémorale profonde, que l'artère fémorale donne naissance aux branches responsables de l'irrigation cutanée de la région inguinale : l'artère épigastrique superficielle, l'artère circonflexe iliaque superficielle et les artères pudendales externes (ou honteuses externes) supérieure et inférieure qui sont visibles sur les figures 1.2 et 1.3 (Schünke et al., 2006). Rarement, ces artères cutanées peuvent prendre leur origine sur l'artère fémorale profonde ou au niveau des artères circonflexes fémorales médiale ou latérale (Adachi & Hasebe, 1928; Testut, 1921).

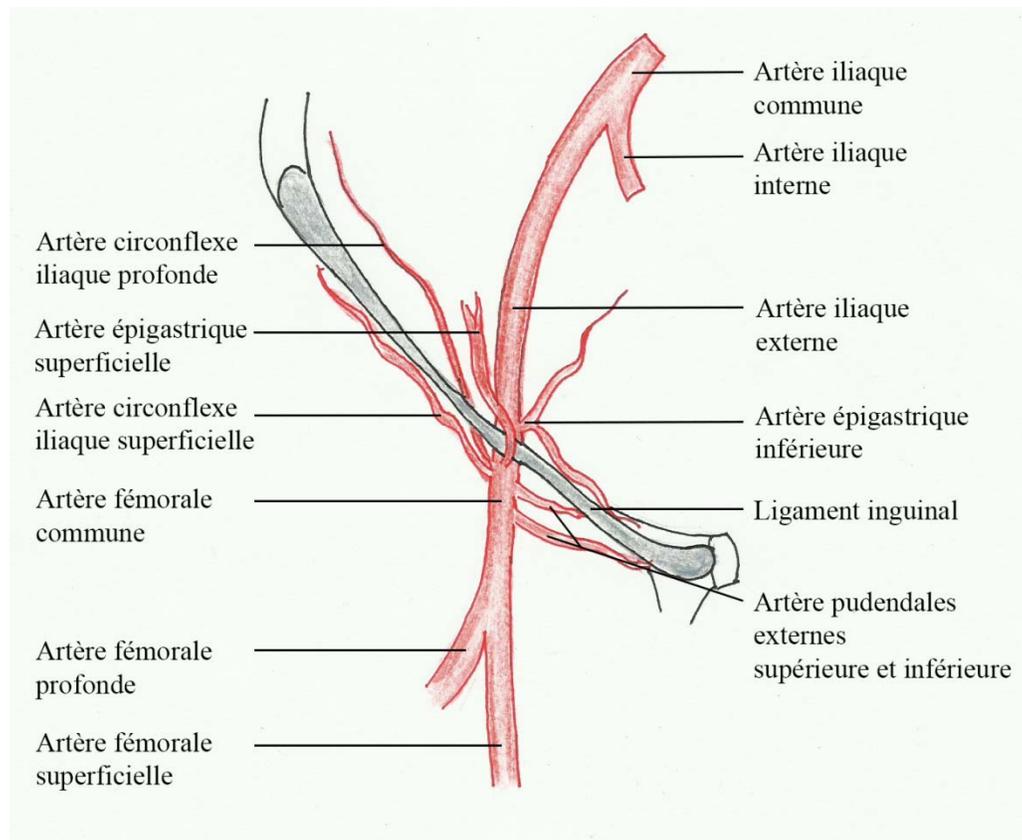
Suite à l'origine de l'artère fémorale profonde, l'artère fémorale poursuit sa course distalement sur la face antéro-médiale de la cuisse jusqu'au canal des adducteurs où elle devient artère poplitée derrière l'articulation du genou (Kamina & Martinet, 2006; Schünke et al., 2006).

Figure 1.1 : Réseau artériel de la cuisse



Représentation schématique du trajet des artères de la cuisse ainsi que les principales branches (profondes comme superficielles) par rapport à l'os coxal, le sacrum et le fémur.

Figure 1.2 : Branches collatérales de l'artère iliaque externe et de l'artère fémorale au niveau du ligament inguinal.

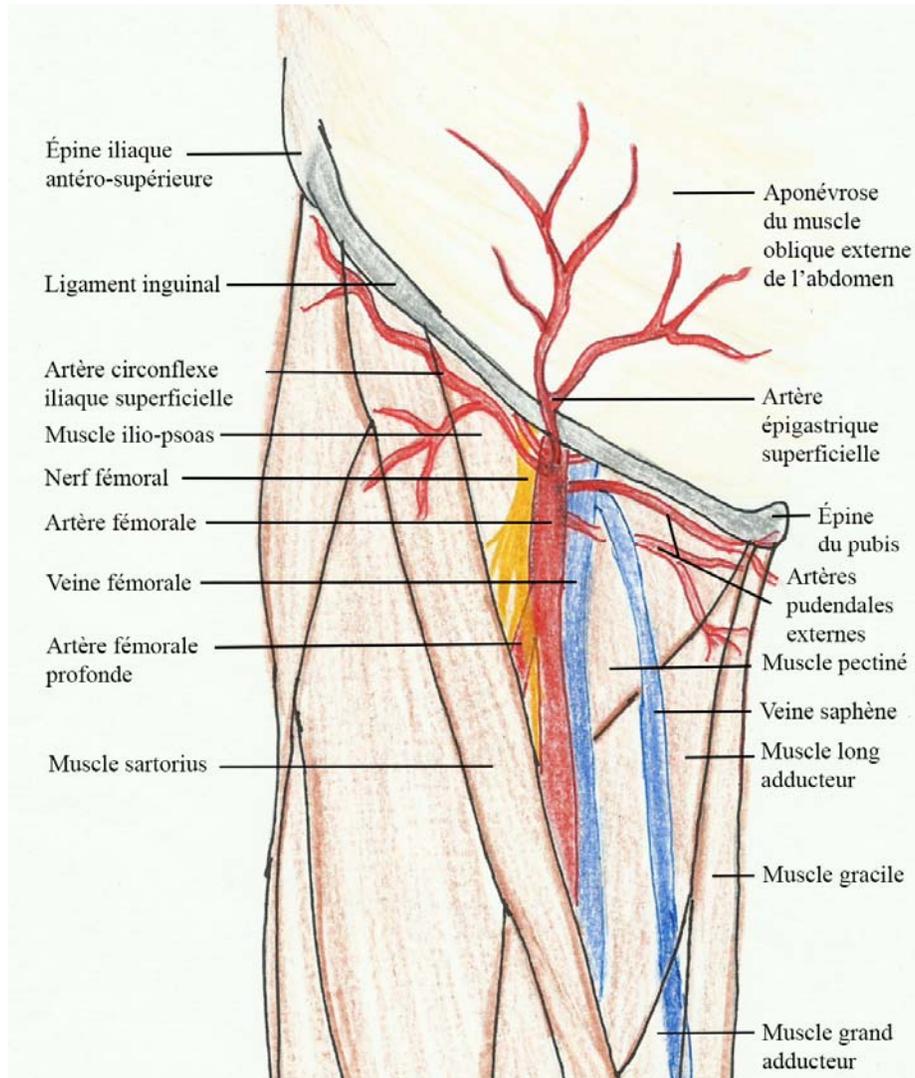


Représentation schématique de l'artère iliaque externe qui devient l'artère fémorale sous le ligament inguinal, avec leurs principales branches collatérales. L'artère fémorale commune (ancienne nomenclature, voir texte p.18) est la portion de l'artère fémorale avant la bifurcation de l'artère fémorale profonde, la partie distale de l'artère se nomme en clinique artère fémorale superficielle.

Anatomie du triangle fémoral

L'accès à l'artère fémorale est réalisé au niveau du triangle (ou trigone) fémoral (aussi appelé triangle de Scarpa). C'est une région anatomique située dans la partie haute antéro-médiale de la cuisse (voir figure 1.3). Le triangle est délimité crânialement par le ligament inguinal, qui est tendu entre l'épine iliaque antéro-supérieure et l'épine du pubis. Ce ligament forme la délimitation entre le tronc et la cuisse. Du côté latéral, le triangle est délimité par le bord médial du muscle sartorius et il est délimité médialement par le muscle gracile. Le plancher du triangle (sa paroi postérieure) sous les structures vasculo-nerveuses, est musculaire et constitué des muscles ilio-psoas, pectiné ainsi que long et grand adducteurs. L'artère fémorale s'engage dans le triangle fémoral par la lacune vasculaire, elle chemine dans sa gaine vasculaire latéralement accompagnée de la veine fémorale médialement. Le nerf fémoral pour sa part chemine dans la lacune musculaire accompagné du muscle ilio-psoas. Le plafond du triangle fémoral, qui constitue le plan superficiel, est composé du fascia lata, le fascia profond de la cuisse, des vaisseaux et nœuds lymphatiques inguinaux, du tissu adipeux ainsi que des veines et artères superficielles et de la peau (Kamina & Martinet, 2006; Schünke et al., 2006).

Figure 1.3 : Triangle fémoral



Représentation schématique de l'anatomie du triangle fémoral qui démontre le trajet des voies vasculo-nerveuses, les branches cutanées de l'artère fémorale et le plancher musculaire. La peau, le tissu sous-cutané et le fascia lata ont été enlevés.

Approches du triangle fémoral

Le triangle fémoral constitue la voie d'accès privilégiée à l'artère fémorale, mais aussi à la veine fémorale, dans le but de traiter diverses pathologies vasculaires. En clinique, la partie proximale de l'artère fémorale, sus-jacente à l'origine de l'artère fémorale profonde est nommée *artère fémorale commune* alors que la partie distale est nommée *artère fémorale superficielle*, car elle suit un trajet plus superficiel sur la face antérieure de la cuisse (Moore & Dalley, 2001). Cette terminologie n'est toutefois pas utilisée par la nouvelle nomenclature anatomique française et elle n'est pas recommandée par le Federative International Committee on Anatomical Terminology (FICAT) (Whitmore, 1998). Nous emploierons quand même cette terminologie afin de simplifier le texte et de permettre une meilleure discussion des articles cliniques qui l'utilisent. Pour la même raison, l'article présenté au chapitre 2 utilise aussi la terminologie clinique. C'est au niveau de l'artère fémorale commune que le chirurgien aura accès à l'artère fémorale, par une incision chirurgicale ou un accès percutané, pour le traitement de maladies vasculaires artérielles des membres inférieurs ou du tronc (Moore & Dalley, 2001; Wind & Valentine, 2013).

Le diagnostic des pathologies vasculaires sera souvent effectué grâce à une angiographie réalisée par l'approche percutanée. Celle-ci consiste en une ponction artérielle pour l'insertion d'un cathéter et l'injection d'un produit de contraste. Le réseau artériel sera ainsi rendu visible par fluoroscopie. L'angiographie permettra d'évaluer l'ampleur de pathologies comme un anévrisme, de l'athérosclérose, de l'obstruction d'une artère ou des segments à remplacer et permettra aussi de préciser l'intervention qui devra être priorisée par le chirurgien. La décision d'opérer, l'intervention choisie et la nécessité d'une chirurgie ouverte dépendront de l'étendue et de la sévérité de la maladie ainsi que des symptômes du patient (Cronenwett & Johnston, 2014).

Pathologies vasculaires

Athérosclérose

Le chirurgien pourrait avoir à intervenir lors d'une pathologie comme l'athérosclérose, une maladie inflammatoire de la paroi des artères. L'athérosclérose se décrit comme une série de remaniements de l'intima de l'artère (couche la plus interne de l'artère) par une accumulation de lipides, de tissu fibreux, de glucides, de sang et produits sanguins, de dépôts calcaires et autres minéraux. Les lésions de l'intima qui font saillie dans la lumière de l'artère sont appelées plaques athéromateuses. Ces plaques rigides vont fragiliser la média (couche élastique ou musculaire lisse sous-jacente à l'intima) de l'artère. Les lésions athéromateuses sont d'abord dispersées, mais vont augmenter en nombre avec l'évolution de la maladie et mener à un rétrécissement des artères atteintes et parfois à leur obstruction. La pathologie touche surtout les artères élastiques de calibre important comme l'aorte, les carotides, les artères iliaques et fémorales. Les complications de l'athérosclérose peuvent se traduire par des symptômes ischémiques graves des organes distaux et nécessiter l'intervention du chirurgien (Constans et al., 2010; Cronenwett & Johnston, 2014).

Anévrisme

L'anévrisme est décrit comme une dilatation permanente de la paroi d'une artère qui forme un gonflement sur un court segment de l'artère avec un diamètre augmenté d'au moins 50%. Dans cette pathologie, la matrice extracellulaire entourée de cellules musculaires lisses qui assure le maintien du diamètre artériel est détruite, souvent suite à des plaques d'athérome (Allaire, Guettier, Bruneval, Plissonnier, & Michel, 1994). L'anévrisme augmente de volume avec le temps puisque la paroi affaiblie ne supporte plus la force de la pression sanguine. L'anévrisme est souvent secondaire à l'athérosclérose et peut se retrouver sur une multitude d'artères, mais le plus fréquemment il se retrouve au niveau de l'aorte abdominale, l'aorte thoracique ou à la base du crâne. Le risque essentiel de l'anévrisme est sa rupture pouvant causer une hémorragie interne importante et souvent fatale (Constans et al., 2010).

Ces pathologies vasculaires sont fréquentes dans la société en raison du mode de vie. Les facteurs de risques des maladies vasculaires sont le tabac, l'âge, l'hypertension artérielle,

l'excès de cholestérol, les diabètes, l'obésité et la sédentarité (Kannel, Dawber, Kagan, Revotskie, & Stokes, 1961).

Interventions

Voici une liste non exhaustive de quelques interventions courantes qui se pratiquent au niveau du triangle fémoral.

Angioplastie

Lorsque les lésions athéromateuses ne s'étendent pas sur une grande distance, une technique de dilatation de l'artère peut être utilisée : l'angioplastie transluminale percutanée. Cette technique endovasculaire, est donc pratiquée par accès percutané, elle consiste à insérer une sonde munie d'un ballonnet à l'intérieur de l'artère rétrécie puis de gonfler le ballonnet pour ouvrir l'artère.

Endoprothèses

Une endoprothèse (aussi nommée Stent) peut être insérée à l'intérieur d'une artère pour la maintenir ouverte. L'endoprothèse est souvent insérée suite au traitement des occlusions artérielles par exemple par une angioplastie, la prothèse permettra d'éviter que l'artère se bouche à nouveau. De plus, les endoprothèses sont souvent insérées dans l'artère pour le traitement d'un anévrisme, la prothèse est insérée au niveau de la dilatation de l'anévrisme et la circulation se fait alors dans l'endoprothèse ce qui empêche le développement et la rupture de l'anévrisme. L'insertion d'une endoprothèse, par approche percutanée ou par une incision inguinale, est souvent réalisée par l'artère fémorale au niveau du triangle fémoral, elle est ensuite dirigée dans le segment artériel pathologique vers l'aorte abdominale ou dans le membre inférieur.

Pontages

Lorsque les techniques de dilatation ne sont pas possibles, les pontages sont utilisés pour rétablir la circulation sanguine en court-circuitant un segment artériel pathologique de plus grande étendue nuisant à la circulation artérielle. Le remplacement du vaisseau pourra se faire par l'utilisation d'une veine (le plus souvent la veine saphène), de prothèses vasculaires

synthétiques ou d'allogreffes artérielles. Plusieurs pontages nécessitent un accès chirurgical par le triangle fémoral accompagné d'autres incisions distales ou proximales, par exemple : pontage de l'aorte aux artères fémorales; de l'artère iliaque à l'artère fémorale; de l'artère fémorale à l'artère poplitée ou tibiale, etc.

Endartériectomie

L'endartériectomie consiste à ouvrir l'artère bouchée sur toute sa longueur et nettoyer l'artère en enlevant toutes les zones comportant des caillots, des plaques athéromateuses ou tout obstacle nuisant à la circulation sanguine. Cette technique est utilisée lorsque la zone artérielle à opérer est bien localisée, qu'elle est superficielle et facile à aborder chirurgicalement comme au niveau de l'artère fémorale commune. (Constans et al., 2010; Cronenwett & Johnston, 2014)

Embaumement Thiel

L'étude anatomique présentée dans ce mémoire a été effectuée au laboratoire d'anatomie de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les modèles cadavériques utilisés dans cette étude ont été embaumés selon la méthode développée par le professeur Walter Thiel (1992a, 1992b) et qui a été perfectionnée 10 ans plus tard (Thiel, 2002). Le but du professeur Thiel était de développer un embaumement qui permettrait de pratiquer sur cadavres des approches chirurgicales, chose impossible avec l'embaumement classique. Contrairement à la méthode classique, cet embaumement n'utilise que très peu de formaldéhyde, mais plutôt une solution saline à base d'eau. Le liquide d'embaumement entraîne une perte d'adhésion cellulaire qui confère la souplesse du vivant au cadavre et même plus en raison de l'absence de tonus musculaire. L'embaumement permet de conserver la texture, les couleurs, la flexibilité des articulations et la souplesse des tissus du corps humain semblable au vivant (Benkhadra, Bouchot, et al., 2011).

L'utilisation des cadavres embaumés par la méthode Thiel est multiple. Ils sont utilisés pour la simulation de diverses chirurgies, la reproduction de mouvement orthopédique, la simulation d'approches d'urgence comme, entre autres, des techniques d'intubation, pose de drain thoracique et massage cardiaque. L'utilisation de ces corps est aussi priorisée en recherche; le réseau sanguin des cadavres Thiel peut être injecté spécifiquement à l'aide de latex radio-opaque. Les corps sont idéaux pour des techniques de chirurgie mini invasive comme l'arthroscopie, la laparoscopie ou l'endoscopie. De plus, ils sont utilisés pour diverses techniques d'imagerie comme l'échographie et la radiologie.

CHAPITRE 2 :

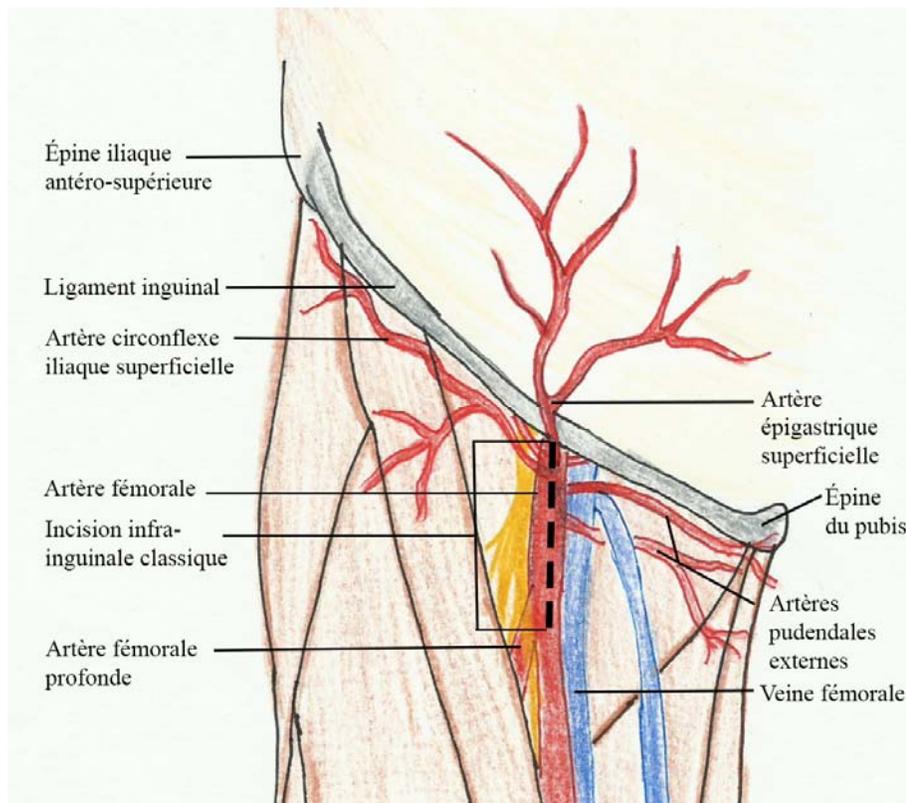
Approche chirurgicale du triangle fémoral

Introduction à la problématique

L'incision chirurgicale du triangle fémoral est fréquemment utilisée en chirurgie vasculaire pour offrir un accès adéquat aux vaisseaux fémoraux. C'est un endroit privilégié puisque l'artère fémorale y est facile d'accès, elle est relativement superficielle dans sa partie proximale juste en dessous du ligament inguinal. Cette artère constitue un accès idéal pour diverses procédures qu'elles soient distales, vers le membre inférieur ou proximales, vers l'aorte. L'accès fémoral est utilisé pour l'insertion de diverses endoprothèses, pour des endartériectomies, pour divers pontages vers l'aorte ou le membre inférieur, pour le traitement d'anévrismes ou pour une exploration fémorale en vue d'embolectomie ou, enfin, pour la réparation d'un traumatisme.

L'incision classique du triangle fémoral est aussi appelée incision infra-inguinale classique. C'est une incision cutanée verticale qui se fait parallèlement aux éléments vasculaires donnant un accès direct à l'artère fémorale. L'incision classique débute juste en dessous du ligament inguinal et se prolonge distalement, sur environ 5 cm (voir figure 2.1). Elle est, bien sûr, variable selon la gravité de la problématique et de l'accès nécessaire pour l'intervention voulue (Cronenwett & Johnston, 2014; Sabiston, 1994; Wind & Valentine, 2013).

Figure 2.1 : Incision infra-inguinale classique du triangle fémoral.



Reprise de la figure 1.3 qui représente l'anatomie du triangle fémoral avec l'ajout de l'incision infra-inguinale classique, représentée en ligne pointillée, elle longe l'artère fémorale et débute juste en dessous du ligament inguinal.

Complications des incisions inguinales

Suite à l'incision infra-inguinale, plusieurs problèmes post-opératoires ont été documentés dans la littérature. Ces complications incluent une mauvaise cicatrisation, une nécrose des bords de la plaie et son infection (Cronenwett & Johnston, 2014). Ces problèmes sont fréquents, selon la littérature, l'incidence des complications rapportée varie de 11 % à 44 % des cas (Kent, Bartek, Kuntz, Anninos, & Skillman, 1996; Pounds et al., 2005).

Malencontreusement, ces complications lymphatiques et infectieuses entraînent plusieurs conséquences pour les patients incluant la prolongation du séjour à l'hôpital, une deuxième opération de la plaie, une atteinte plus profonde qui met en danger la prothèse, la nécessité de recourir à la chirurgie plastique et à des lambeaux de grande taille pour recouvrir

la plaie, ou dans des cas plus extrêmes, la mise en danger de l'extrémité infectée. Il s'en suit donc d'une souffrance accrue pour le patient et une augmentation significative des coûts reliés dans tous les cas de complications (Kent et al., 1996; Turtiainen et al., 2010).

Quelques études permettent de documenter le haut taux de complications post-chirurgicales retrouvées suite à l'incision infra-inguinale classique (Kent et al., 1996; E. S. Lee, Santilli, Olson, Kuskowski, & Lee, 2000; Pounds et al., 2005; Slappy, Hakaim, Oldenburg, Paz-Fumagalli, & McKinney, 2003; Turtiainen et al., 2010) :

Un taux d'infection global de la plaie et du greffon de 11 % a été rapporté sur un total de 410 patients suite aux traitements de maladies vasculaires périphériques, dont 80 % suite à un traitement infra-inguinal. De plus, les travaux ont démontré que la présence d'une incision infra-inguinale constituait un facteur de risque important associé au développement d'infection, selon l'étude, 64 % des infections impliquaient l'incision infra-inguinale (Pounds et al., 2005). Un autre groupe de chercheurs a démontré un taux global de 13,2 % d'infection sur un total 978 interventions impliquant un pontage infra-inguinal (E. S. Lee et al., 2000).

Un taux de complications post-chirurgicales de 10 % a été démontré dans un groupe de 77 incisions infra-inguinales et un taux de complication de 44 % dans le cas d'incisions utilisées pour des pontages fémoraux distaux (de l'artère fémorale à l'artère poplitée ou tibiale) (Kent et al., 1996).

Une étude prospective (Turtiainen et al., 2010) a démontré que les procédures infra-inguinales constituent un facteur de risque important au développement d'infections post-chirurgicales, dans cette étude 27 % sur un total de 184 patients ont développé une infection de la plaie.

Les principaux facteurs de risques associés à ce haut taux d'infection qui ont été mis en évidence par ces groupes de chercheurs sont : la présence d'une incision inguinale, l'obésité, la présence d'un site de ponction artérielle pour une angiographie dans la même zone opératoire (durant l'opération) et une seconde opération (deuxième incision inguinale).

Hypothèses

Les causes de ces hauts taux de complications rapportés ne sont pas clairement comprises et la littérature sur le sujet est faible. Quelques hypothèses ont été soulevées, mais

aucune n'a été validée. Les hypothèses proposées incluent la proximité avec le périnée, la concentration élevée en glandes annexes et l'humidité du pli inguinal susceptible d'héberger des bactéries (Szilagyi, Smith, Elliott, & Vrandecic, 1972). D'autres auteurs proposent la lésion du système lymphatique inguinal (Ploeg, Lardenoye, Peeters, Hamming, & Breslau, 2009) et la dévascularisation cutanée suite à des lésions vasculaires (Raza, Newton, Harrison, McCollum, & Stonebridge, 1999).

Les travaux de recherche de Ploeg et al (2009) ont été basés sur l'hypothèse que l'incision infra-inguinale classique entraînerait d'importantes lésions du système lymphatique inguinal, qui se retrouve principalement superficiellement à l'artère fémorale (Giovannacci et al., 2001). Selon le groupe de chercheurs, ces lésions du système lymphatique inguinal seraient en grande partie à l'origine des problèmes de cicatrisation. Ils ont prédit une réduction des complications post-chirurgicales en proposant l'utilisation d'une incision infra-inguinale plus latérale qui limiterait la lésion du système lymphatique inguinal. Néanmoins, la comparaison et le suivi de ces deux types d'incisions dans une étude clinique, les a amenés à conclure que l'incision latérale n'a pas changé l'incidence des complications post-chirurgicales.

Les travaux de recherche de Raza et al (1999) ont été basés sur l'hypothèse que l'incision infra-inguinale classique longitudinale entraînerait une perturbation du flux sanguin dermique et qu'un gradient d'oxygénation tissulaire se développerait de part et d'autre de l'incision. Leurs travaux ont effectivement démontré une différence dans l'oxygénation tissulaire entre le côté médial et latéral de l'incision, avec un niveau d'oxygénation plus faible médialement. Ils expliquent la faible oxygénation médiale par une dévascularisation cutanée subséquente à des lésions vasculaires. Le groupe de chercheurs explique que la majorité de la vascularisation cutanée provient du lambeau latéral à l'incision par l'artère circonflexe iliaque superficielle qui vient irriguer le lambeau médial de l'incision. Une lésion de cette artère serait donc responsable d'un niveau d'oxygénation plus élevé latéralement que médialement. Puisqu'un flux sanguin adéquat et une bonne oxygénation tissulaire sont les déterminants les plus importants du succès d'une bonne cicatrisation (Forrester, 1988), ils ont conclu que ces perturbations du flux sanguin dermique pourraient contribuer aux problèmes de cicatrisation fréquemment retrouvés ainsi qu'au haut taux d'infection.

Autres incisions décrites dans la littérature

Puisque l'incision classique est reconnue pour entraîner des problèmes de cicatrisation et que la technique chirurgicale utilisée par le chirurgien peut influencer le taux de complications post-chirurgicales (Nam, Gahtan, Roberts, & Kerstein, 1999), certains auteurs ont décrit d'autres incisions dans le but de limiter ces complications (Chester, Butler, & Taylor, 1992).

Incision oblique supra-inguinale

Une incision oblique supra-inguinale a été décrite par plusieurs groupes de chercheurs (Caiati, Kaplan, Gitlitz, Hollier, & Marin, 2000; Chester et al., 1992; Chuter, Reilly, Stoney, & Messina, 1998; Hamman, Jernigan, Miller, & Fulton, 1983; Watson et al., 2004), cette incision se situe légèrement au-dessus du ligament inguinal et est parallèle à celui-ci. L'utilisation de cette incision est fortement recommandée puisqu'elle cicatrise bien, elle permet de diminuer les complications post-chirurgicales à un taux de 2,8 % (Caiati et al., 2000). De plus, selon une étude sur 134 patients, l'incision a présenté un taux d'infection nul (Watson et al., 2004). L'incision oblique supra-inguinale est recommandée pour le placement d'endoprothèses au niveau de l'aorte abdominale lors d'anévrismes abdominaux (Chuter et al., 1998; Watson et al., 2004). Néanmoins, cette incision a aussi des désavantages, elle n'offre pas une exposition adéquate de l'artère fémorale commune pour permettre d'autres procédures comme les interventions infra-inguinales (Ploeg et al., 2009).

Incision verticale latérale infra-inguinale

Une incision verticale infra-inguinale plus latérale que l'artère fémorale a été décrite (Ploeg et al., 2009) pour éviter les lésions du système lymphatique inguinal. Toutefois, l'utilisation de cette l'incision latérale n'a pas influencé l'incidence des complications post-chirurgicales.

Vascularisation cutanée du triangle fémoral

Il a été proposé qu'une des raisons pouvant expliquer l'incidence de complications post-chirurgicales de l'incision infra-inguinale classique est la lésion de branches artérielles cutanées (Raza et al., 1999). Or la vascularisation cutanée du triangle fémoral n'est pas complètement décrite et elle est très variable. Les artères cutanées décrites dans la littérature et présentes dans l'ensemble des atlas d'anatomie sont les artères épigastrique superficielle, circonflexe iliaque superficielle et pudendales externes supérieure et inférieure. Toutefois, le territoire cutané de chacune de ces artères n'est pas clairement défini. Quelques auteurs ont décrit plus en détail cette vascularisation fine du triangle fémoral.

Adachi (1928) dans une publication séminale, suite à ses travaux de dissection cadavérique sur la communauté japonaise, cite les artères cutanées connues (épigastrique superficielle, circonflexe iliaque superficielle et pudendale externe supérieure et inférieure) qui prennent toutes origine habituellement de l'artère fémorale commune. Dans environ 20 % des cas, quelques-unes de ces artères cutanées peuvent naître de l'artère fémorale profonde ou même des artères circonflexes fémorales médiale ou latérale. Il documente la possibilité de retrouver un tronc commun entre l'artère circonflexe iliaque superficielle et épigastrique superficielle dans 56 % des cas ou même d'un tronc commun cutané composé des 3 artères dans 5 % des cas.

Manchot (1983) fournit une description plus précise du trajet des artères cutanées : L'artère épigastrique superficielle origine de l'artère fémorale et vient irriguer la partie abdominale inférieure, elle se divise généralement en une branche qui chemine médialement vers l'ombilic et s'anastomose avec l'artère épigastrique inférieure et une autre branche qui chemine plus latéralement qui s'anastomose avec l'artère circonflexe iliaque profonde. L'artère circonflexe iliaque superficielle naît de l'artère fémorale et chemine latéralement, parallèlement au ligament inguinal, jusqu'à l'épine iliaque antéro-supérieure. Sur son passage elle donne naissance à des branches descendantes qui viennent irriguer la partie supérieure de la cuisse, elle va aussi irriguer la partie abdominale inféro-latérale. Les artères pudendales externes naissent habituellement de l'artère fémorale, elles sont parfois seules ou au nombre de 2 : une supérieure et une inférieure. L'artère pudendale supérieure est la plus superficielle, elle irrigue la partie médiale de la cuisse, elle se divise généralement en deux artères, une

branche abdominale et une branche pour le pubis. L'artère pudendale inférieure prend origine sur l'artère fémorale juste en dessous de la supérieure, elle chemine habituellement sous la crosse de la veine saphène, elle se dirige médialement et s'anastomose souvent avec la pudendale supérieure, elle donne des branches pour l'irrigation génitale.

Malgré la présence de cette littérature sur la vascularisation cutanée de la région inguinale, aucune de ces publications ne décrit clairement l'origine et le trajet précis des différentes artères cutanées en relation avec le trajet de l'artère fémorale. En outre, aucune de ces publications ne met en relation les conséquences des lésions de la vascularisation cutanée avec les complications post-chirurgicales connues en chirurgie vasculaire.

Objectifs de recherche

Pour répondre à la problématique des complications post-chirurgicales de la chirurgie du triangle fémoral, le premier volet du projet de recherche vise quelques objectifs:

1. Dans un premier temps, nous allons décrire la vascularisation cutanée du triangle fémoral et ses variations en tenant compte des territoires de chacune des artères cutanées.
2. Dans un deuxième temps, nous voulons évaluer les conséquences potentielles d'une incision infra-inguinale classique sur les patrons vasculaires observés.
3. Le but ultime est de proposer des approches chirurgicales qui tiendront compte de la vascularisation cutanée du triangle fémoral pour potentiellement réduire la dévascularisation et les complications post-chirurgicales.

Méthodologie

Notre étude anatomique a été effectuée au laboratoire d'anatomie de l'Université du Québec à Trois-Rivières sur 12 membres inférieurs de 6 cadavres embaumés par la méthode Thiel (1992b).

Injection de latex radio-opaque

Dans notre étude, le réseau artériel de l'ensemble de la cuisse des cadavres a été mis en évidence grâce à un produit radio-opaque à base de latex. Le produit d'injection radio-opaque utilisé est basé sur une recette de latex radio-opaque développée par Thiel (1992a) que nous avons modifiée pour optimiser la visualisation du réseau artériel en radiographie et en dissection. La nouvelle recette est publiée dans l'article inclus dans ce mémoire à la p.37.

Comme l'étude nécessite que la région du triangle fémorale reste intacte, le système artériel a été injecté en amont, au niveau pelvien. L'accès aux artères iliaques externes est obtenu par une incision de la ligne blanche abdominale, région peu vascularisée, ce qui permet de limiter les lésions vasculaires pouvant occasionner des fuites lors de l'injection. Les artères iliaques externes sont isolées de chaque côté pour y insérer une canule. Avant de commencer l'injection, la région poplitée est aussi disséquée pour ligaturer l'artère poplitée, afin de limiter l'injection à la cuisse et ainsi conserver une meilleure pression pour remplir les plus petits vaisseaux superficiels. Environ 50 ml de latex radio-opaque, tout dépendant de la corpulence du cadavre, sont injectés à pression constante dans les artères iliaques externes gauche et droite. Seulement 11 des 12 membres inférieurs ont été inclus dans les analyses, un cas a été exclu puisqu'une injection de latex a fuité à l'extérieur des vaisseaux et les artères cutanées n'étaient donc pas correctement remplies.

Prise de radiographie

Une fois le latex figé dans le réseau artériel, superficiel comme profond, des clichés radiographiques sont pris grâce à l'appareil du laboratoire d'anatomie de l'UQTR (SMR16 CeDecal Algete, Madrid, Espagne) avec l'aide de cassettes pour la radiographie numérique (AGFA.CRMD4.OT) et du lecteur numérique (CR-30X, AGFA Healthcare, Mortsels, Belgique). Les clichés radiographiques sont pris en position antéro-postérieure et à divers

degrés dans le but de bien visualiser, avant toute incision des tissus, chacune des artères cutanées injectées.

Dissection fine et identification des artères cutanées

Ensuite, une dissection fine de la région inguinale est réalisée dans le but d'obtenir une meilleure compréhension tridimensionnelle du passage des artères cutanées, les artères étant facilement visibles avec leur contenu de latex rouge. Chaque étape de la dissection, plan par plan, est photographiée afin de comparer les artères cutanées disséquées avec celles retrouvées sur les radiographies et ainsi faciliter l'identification des artères cutanées parmi tout le réseau artériel (superficiel et profond) visible sur la radiographie correspondante. Par conséquent, le trajet précis des artères cutanées et leur passage au-dessus de l'artère fémorale peuvent être adéquatement repérés sur les clichés radiographiques. Pour faciliter la présentation des résultats, les trajets des artères cutanées retrouvés dans la radiographie sont ensuite transposés sur une photographie cutanée avec les repères anatomiques d'intérêt comme l'artère fémorale et le ligament inguinal.

À partir de ces patrons d'artères cutanées, les différentes conséquences, les lésions vasculaires et la dévascularisation subséquente aux incisions inguinales, classiquement utilisées en chirurgie vasculaire, sont ensuite évaluées.

Voir la figure 2.3 de l'article suivant à la page 39, elle illustre toutes les étapes de la méthode utilisée.

Article de recherche

L'article de recherche suivant intitulé "*Cutaneous vascularization of the femoral triangle in respect to groin incisions*" rédigé par Cécilia Tremblay, Detlev Grabs, Daniel Bourgouin et Gilles Bronchti a été soumis au *Journal of Vascular Surgery* le 16 janvier 2015 et accepté pour publication le 4 avril 2015.

Contribution des auteurs

Cet article scientifique constitue l'ensemble du premier et principal volet de recherche de ce mémoire. Étant première auteure de l'article, j'ai moi-même rédigé cet ouvrage suivant les conseils de mes directeurs de recherche les professeurs Gilles Bronchti et Detlev Grabs qui ont supervisé chaque étape de l'écriture. La collaboration du Dr Daniel Bourgouin a été cruciale pour les aspects cliniques du travail comme pour la rédaction des réponses aux commentaires, rédigés par des chirurgiens. L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cet article est le fruit du travail de recherche expérimental accompli par moi-même et supervisé par mes 3 collaborateurs.

Cutaneous vascularization of the femoral triangle in respect to groin incisions

Authors

Cécilia Tremblay, BSc, ¹ Detlev Grabs, MD, PhD, ¹ Daniel Bourgouin, MD, FRCS(C) ² and Gilles Bronchti, PhD, ¹

Affiliations

¹ Département d'anatomie, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, Canada

² Département de chirurgie vasculaire et thoracique, Service de chirurgie vasculaire, Centre Intégré Universitaire de Santé et des Services Sociaux de Trois-Rivières, Trois-Rivières, Québec, Canada

Corresponding Author:

Gilles Bronchti, PhD,

Abstract

Objective:

The purpose of this anatomic study is to describe the cutaneous vascularization of the femoral triangle and its variation in order to evaluate the potential consequences of the classic incisions used in vascular surgery. The ultimate goal was to suggest surgical approaches that would take into account the vascularization of the inguinal region to potentially reduce the vascular lesions and wound complications at the groin.

Methods:

The cutaneous arteries of the femoral triangle were studied in 11 lower limbs from 6 human embalmed cadavers. The technique included embalming of the cadavers, radiopaque latex injection, radiographs, and anatomic dissection.

Results:

The comparison of the vascular patterns revealed that despite the high variability of the arborization of the cutaneous arteries, their distribution patterns share many characteristics. The main vascularization of the femoral triangle comes from three arteries: the superficial circumflex iliac, the superficial epigastric and the external pudendal. The first two arteries originate generally through a common trunk that buds laterally from the femoral artery about 1, 5 cm below the inguinal ligament. This study shows that the classic vertical incision at the groin would lead to damage of the cutaneous branches that cross over the femoral artery in its proximal part (the superficial epigastric artery in 82% and the common trunk of the superficial epigastric and circumflex iliac arteries in 18%); these lesions could lead to the postsurgical disruption of the dermal blood flow.

Conclusion:

The classic incisions could disrupt the cutaneous blood supply and thus increase the risk of tissue necrosis around the wound, explaining the observed postsurgical complications and infections. We propose to lower the vertical incision to start 2 cm under the inguinal

ligament to reduce lesions of the cutaneous arteries and the potential devascularization of the wounds.

Clinical Relevance:

Wound complications at the groin, such as poor healing, infection, and tissue necrosis, are known and frequent after inguinal incisions. The literature is lacking on the subject, and therefore the causes of the poor healing of these wounds are not fully understood. We surmise that the surgical incision may cause lesions of the cutaneous arteries, yielding a reduced oxygenation of the wound. This study offers the surgeon a better understanding of the cutaneous vascularization of the femoral triangle and points to the surgical approaches that would reduce vascular lesions, disruption of the dermal blood flow, and potentially wound complications at the groin.

Introduction

In vascular surgery, groin incisions are mostly used for exposure of femoral vessels in a wide variety of vascular and endovascular procedures. Wound complications at the groin, such as poor healing, infections, and tissue necrosis, are frequent; their incidence is reported to vary between 11 and 44%.^{1,2}

Most surgeons perform a classical incision known as a vertical infrainguinal incision because it offers good exposure and a direct approach to the femoral artery. The surgical technique may influence the incidence of post-operative wound complications. This is why other surgical approaches were described. Some researchers described the use of an oblique incision above and parallel to the inguinal ligament, sparing the regional lymphatic system to reduce the incidence of wound complications.³⁻⁵ The use of the oblique incision is recommended because it offers better healing characteristics, a decrease of wound complications, and a 0% infection rate.⁶ Ploeg et al⁷ described a vertical lateral approach, hypothesizing that the lymphatic tissue could be spared in comparison with the classic incisions, but concluded that the lateral incisions did not influence the incidence of post-operative wound complications.

The literature is lacking on the subject, and therefore the causes of the poor healing of these wounds are not fully understood. Some hypotheses that were proposed include (i) the close proximity to the perineum and the high concentration of annexed glands, (ii) lesions of groin lymphatics and (iii) the disruption of dermal blood flow by vascular lesions. Raza et al⁸ observed that following a longitudinal incision, there is a difference in the skin oxygenation between the lateral and medial aspects of the groin, with a lower tissue oxygenation level on the medial side. They explained the poor oxygenation of the medial flap of the wound by a disruption of its vascularization. Explaining that the superficial circumflex iliac artery takes origin laterally and contributes to the majority of the blood supply to the groin, they concluded that this later is responsible of the high oxygenation level of the lateral flap and the disruption of dermal blood supply on the medial side.

The principal cutaneous arteries of the femoral triangle are known as the epigastric artery, the circumflex iliac artery and the external pudendal artery, but the vascular territories of each cutaneous artery are not well described.

The aim of this anatomic study was first to describe the cutaneous vascularization of the femoral triangle and its variations with respect to the vascular territories of each cutaneous artery, using specifically embalmed cadavers. The second objective was to evaluate the potential devascularization consequences of the classic incisions used in vascular surgery relating to the observed vascular patterns. The ultimate goal was to point to surgical approaches that would take into account the vascularization of the inguinal region in order to reduce the vascular lesions and potentially wound complications at the groin.

Materials and Methods

Detailed anatomic studies were performed on 12 legs from 6 embalmed cadavers (3 male and 3 female subjects with an average age of 70.7 years [56 to 96 years]). This study was performed in the anatomy laboratory of the University du Québec at Trois-Rivières after approval of the local Ethics Committee. All cadavers were bequeathed to the anatomy laboratory at the University du Québec at Trois-Rivières by informed consent.

Embalming

The cadavers used in this study were embalmed with the method developed by Walter Thiel.⁹ This embalming technique without postmortem rigidity preserves texture, flexibility, and color of the structures of the human body¹⁰. Thiel cadavers can be used to inject selected blood vessels with radiopaque latex.

Preparation of the radiopaque latex

The arteries were injected with a radio-dense fluid¹¹ whose recipe was modified to be easily visible in radiograph and in dissection. Typically, 50 ml of the following solution was prepared:

- 32.61 g of lead oxide powder II/IV (Sigma-Aldrich, St. Louis, Mo)
- 2.175 mL of triethylamine (C₆H₁₅N) (Sigma-Aldrich)
- 5 mL of distilled water
- 16.5 mL of sodium phosphate buffer 10mM, pH 7, 4 (Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ)
- 21.5 mL of red latex (Carolina Biological Supply Company, Burlington, NC)

Injection of the radiopaque latex

Through an incision at the abdominal *linea alba*, both external iliac arteries were isolated on each cadaver for insertion of a cannula. The popliteal arteries were ligatured to force the liquid into the smallest inguinal vessels. About 50 ml of radiopaque latex, depending on the vessel's volume and the cadaver's corpulence, were slowly injected at constant pressure into the external iliac artery.

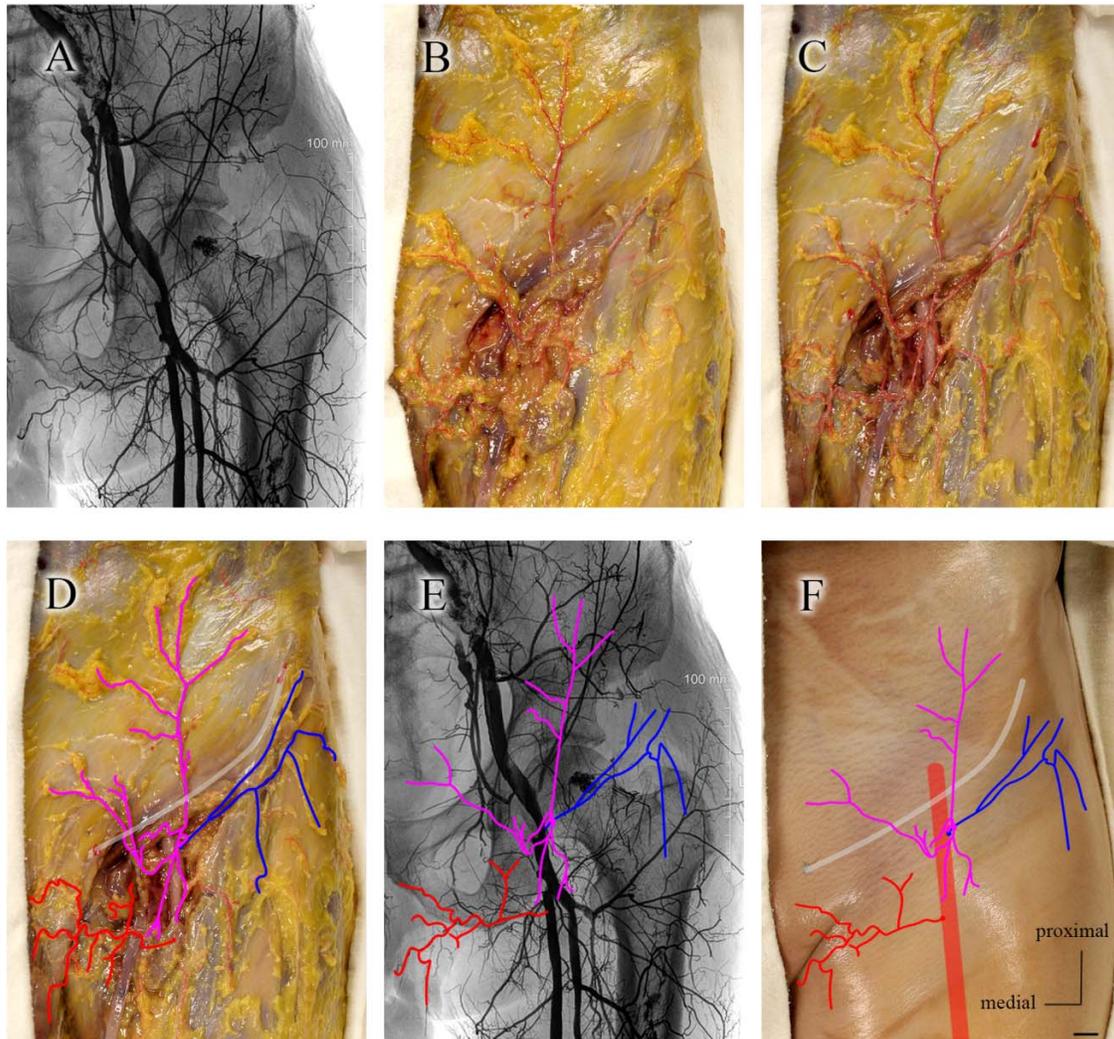
Radiographs

Using our radiography equipment (SMR16 CeDecal Algete, Madrid, Spain; CR-30X; AGFA Healthcare, Mortsel, Belgium) X-ray images of the hip were taken in antero-posterior position in order to visualize the injected arteries before any incisions of the tissues (Fig 2.2, A). The following parameters were used: 70 kVp and 25 mAs.

Dissection of the thighs

Before and during the plane by plane dissection, the injected thighs were photographed to correlate the observed cutaneous arteries to the radiographic image (Fig 2.2). When the skin was removed, the superficial arteries were easily visible with their red latex content. The cutaneous arteries were dissected as detailed as possible to characterize their vascular territories (Fig 2.2, B). All the cutaneous arteries were followed back to their origin (Fig 2.2, C). The course of each artery was drawn in different colors on the same photograph of the deep dissection. (Fig 2.2, D) This drawing was used to identify the cutaneous arteries on the radiographs of the intact thigh to correct for any modification in their course during the dissection (Fig 2.2, E). Then, for each thigh, the arborization of the cutaneous arteries was transposed on the skin photograph with respect to anatomic landmarks, such as the inguinal ligament and the course of the femoral artery, to compare the superficial vascular patterns (Fig 2.2, F).

Figure 2.2: Illustration of the method used in this study.



A, Radiograph of a radiopaque latex injected left thigh. B, Superficial dissection of the same thigh: after the removing of the skin, the cutaneous arteries are easily visible with their red latex content. C, Deep dissection to reveal the origin of each cutaneous artery; D, Same photograph of the deep dissection with the cutaneous artery outlined in different colors (detailed in Fig.2.3). This drawing helps to identify the different cutaneous arteries on the radiograph. E, Identification of the cutaneous arteries on the radiograph of the intact thigh; note that the course of some branches is different than that observed in D as this step serves to correct for any modifications in the position of the arteries during the dissection. F, The pattern of the cutaneous arteries is transposed onto the skin together with two anatomic landmarks, the femoral artery and the inguinal ligament. Scale bar = 1cm.

Results:

The comparison of 11 inguinal regions from 6 cadavers revealed that the pattern of arborization of cutaneous arteries, although sharing common features, is highly variable between individuals and also different on the right and left thighs of the same cadaver (Fig 2.3). The twelfth leg (left leg of case K) was excluded of the analysis because the injection of radio-opaque latex did not work; the latex leaked outside the vessels, so the cutaneous arteries were not filled. Throughout Figure 2.3, each identified cutaneous artery was outlined with the same color to facilitate comparison. All the cutaneous vascularization of the femoral triangle originates from the femoral artery. In a preliminary study (not shown), the internal iliac artery was also specifically injected in two cadavers in search for undescribed musculo cutaneous or septocutaneous branches reaching the femoral triangle and no labeled cutaneous artery could be found in the region. Besides some minor, unnamed branches of the femoral artery, the principal superficial arteries are the superficial epigastric, the superficial circumflex iliac and the external pudendal.

The comparison of the vascular patterns shows that the superficial circumflex iliac and the superficial epigastric arteries usually originate from the femoral artery through a common trunk in its proximal third. In Figure 2.3, in the cases C and J, the common trunk also gives rise to a third inconstant artery (presented in green). This common trunk of arteries originates laterally from the femoral artery in all the cases except in case A and F, where its origin is anterior to the femoral artery. In case G, a short branch sprouts from a common trunk with the superficial circumflex iliac that, we surmise, is a stump of the superficial epigastric artery. The groin in this case presented a small scar, sign of a previous inguinal incision and the rest of this artery is lacking.

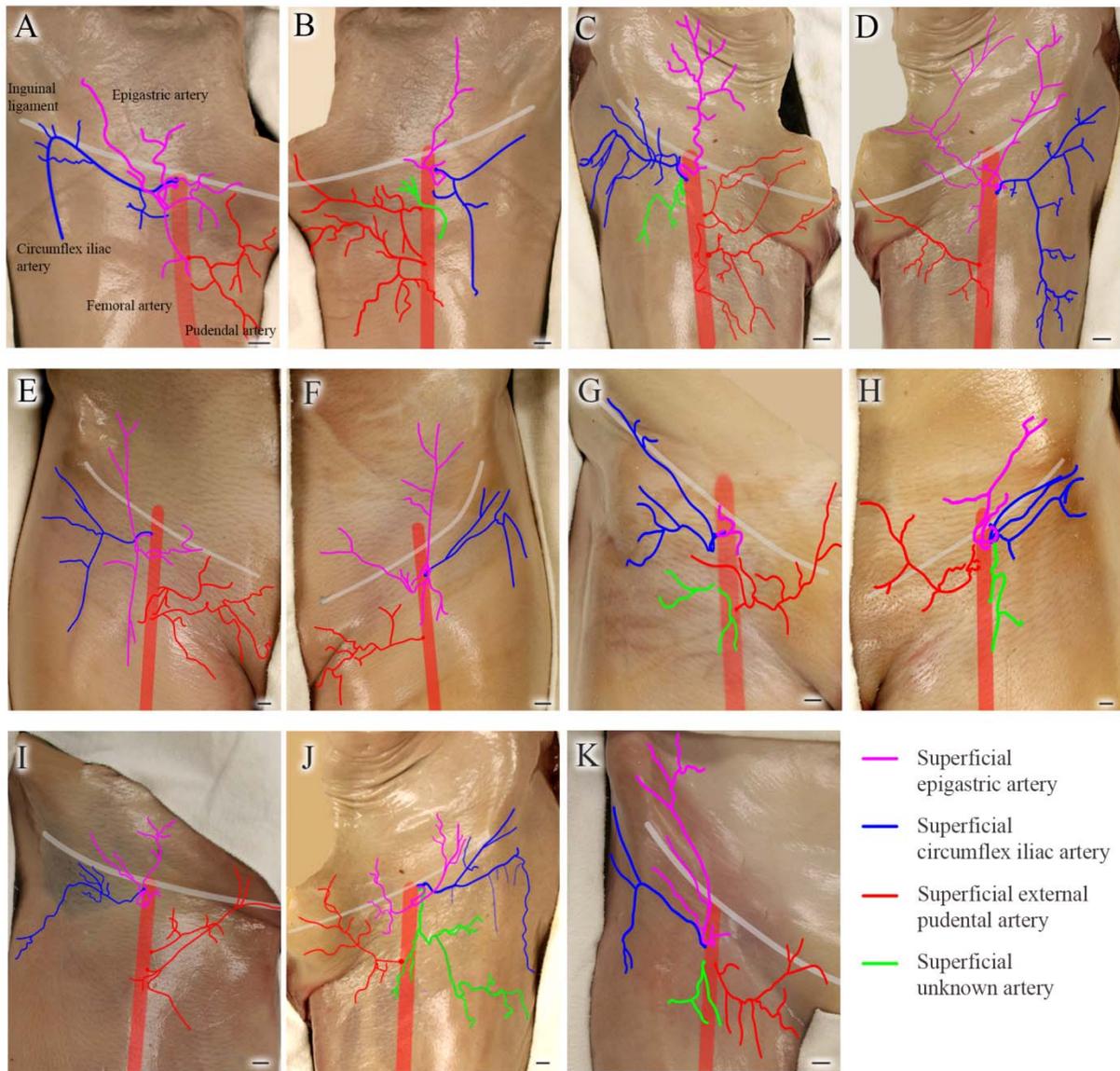
The superficial epigastric artery (drawn in pink) has a highly variable pattern and, therefore, variable cutaneous territory. Briefly, this artery has a main branch running vertically (Fig 2, B, C, G, I, H and K) or two branches one medially that crosses over the femoral artery and a second branch with a lateral course (Fig 2.3, A, D, E, F and J).

The superficial circumflex iliac artery (drawn in blue) supplies the lateral aspects of the upper thigh as it heads to the anterior superior iliac spine with some branches running more distally.

The superficial external pudendal arteries (drawn in red) originated medially from the femoral artery and headed in direction of the pubis. We observed two superficial external pudendal arteries, a superior and an inferior, in cases B, C, E and I. There was only a superior superficial external pudendal artery in cases G, H and J, and only an inferior superficial external pudendal artery in cases A, D, F and K. Some branches of the external pudendal arteries cross laterally over the femoral artery in its middle part in cases C and G and more distally in cases B, D, E and I.

There were inconstant unnamed branches of the femoral artery (drawn in green). In Figure 2, these arteries originated laterally to the femoral artery; some branches cross over the femoral artery in cases B, G, J and K.

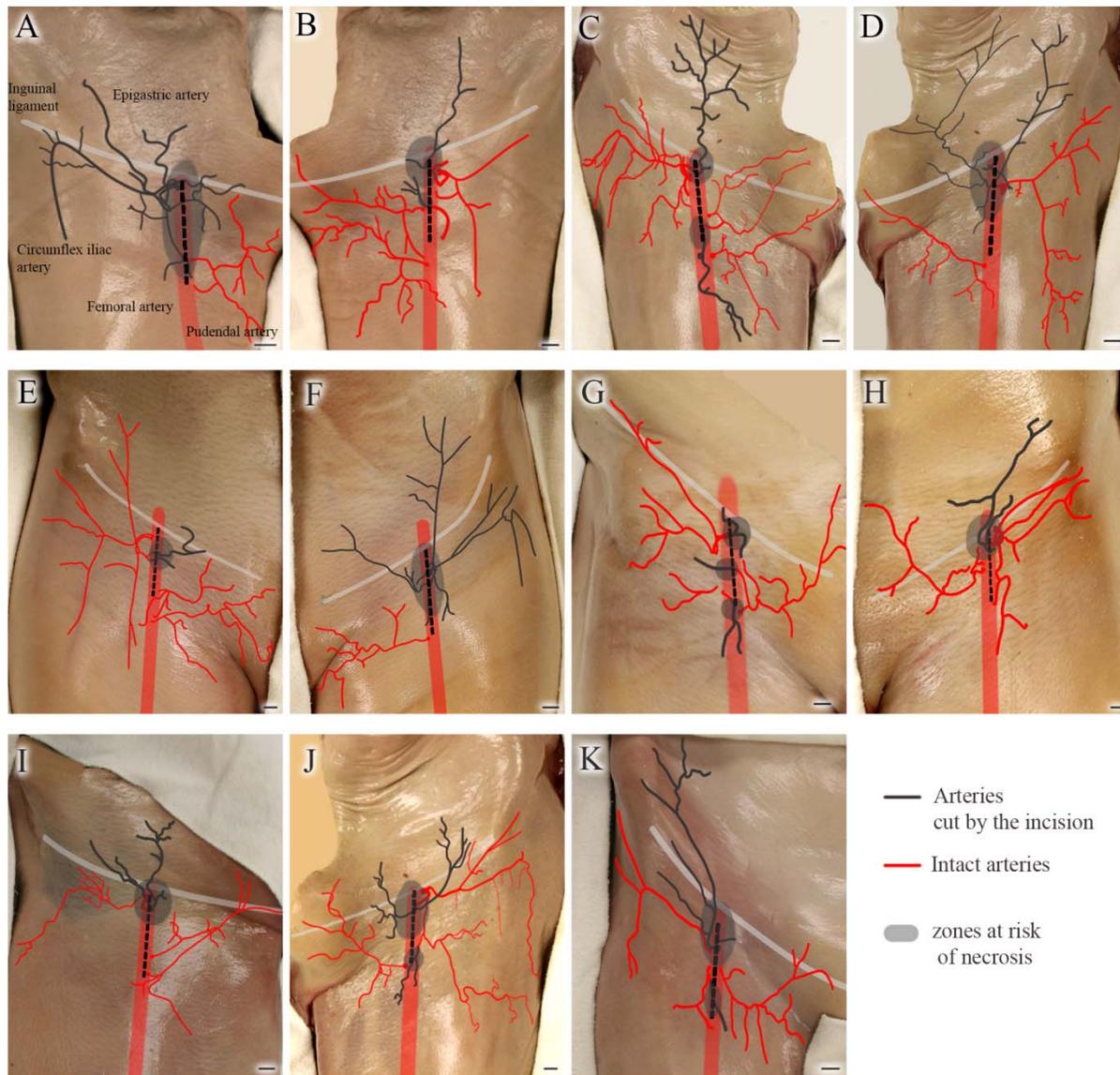
Figure 2.3: Variations observed in the patterns of the cutaneous arteries in all the 11 cases studied.



As in Fig. 2.2,F, the pattern of the cutaneous arteries is projected onto the skin with respect to the femoral artery (in red) and inguinal ligament (in white). The right (A, C, E, G, I and K) and left (B, D, F, H and J) thighs are placed one next to the other. The cutaneous arteries were drawn in different colors; pink, superficial epigastric artery; blue, superficial circumflex iliac artery; red, superficial external pudendal artery; green, unnamed superficial arteries. Note the large interindividual variation and that present even between the right and left thigh of the same person. Scale bar = 1cm.

These patterns of cutaneous arteries were used in Figure 2.4 to evaluate the consequences of the inguinal incisions usually made in vascular surgery. The classic vertical infrainguinal incision represented by the dotted lines in Figure 2.4, is a longitudinal incision about 5 cm or longer placed over the femoral artery that begins just under the inguinal ligament. In Figure 2.4, the arteries drawn in gray are those potentially injured by this classic incision. Their territories will therefore be devascularised. The red arteries are those that are left intact. The grayed zones on the figure correspond to the edge of the area at risk of necrosis and of postoperative complications. Figure 2.4 shows that while there is indeed a high variability in the course of the cutaneous arteries, the potential consequences of the classic incision are similar. In all the cases represented in Figure 2.4, the incision would lead to lesions of the cutaneous arteries in the proximal part of the (common) femoral artery, a loss of vascularization in this region, and an increased risk of tissue necrosis around the wound. In all the cases the lesions concern the superficial epigastric artery. In cases A and F, the vertical incision damages the common trunk of the superficial circumflex iliac and epigastric arteries that crosses over the femoral artery. This leads to a larger devascularised area which extends over the entire length of the incision because of the lack of other arterial branches to compensate. In cases B, D, G and J, the devascularised area extends to the middle part of the incision. In the distal part of the incision, some branches of cutaneous arteries would be cut by the classic incision, which are branches of the pudendal artery in case C and minors branches of the femoral artery in cases G, J, and K. The risk of necrosis is lessened because the vascularization of this area is well compensated by overlapping cutaneous arteries.

Figure 2.4: Potential vascular injury caused by the classical vertical infra-inguinal incision in each of the 11 vascular patterns (cases A to K) shown in Figure 2.3.



The arteries drawn in gray are the ones that would be injured by the classic incision and their territory is the area of, at least, a partial, ischemia. The red arteries are these that would stay intact. The greyed areas on the figures correspond to the edge of the incision at risk of necrosis due to devascularization. Scale bar = 1cm.

Discussion

In this study, the anatomic exploration has been made on 11 thighs, which is a relatively low number of cases in respect to the large variability of the cutaneous vascular patterns. We think, however, that this number is sufficient since the vascular patterns shared similar characteristics that help point out the potential consequences of the vertical infrainguinal groin incision, the objective of this study.

The main vascularization of the groin usually originates laterally from the femoral artery through a common trunk of the superficial circumflex iliac and the superficial epigastric arteries. In all the cases, the course of the epigastric artery that crosses medially over the femoral artery puts it at risk of being cut by the classic incision. These vascular lesions could lead to an important reduction of the cutaneous vascularization generally in the proximal third of the incision. This disruption of the dermal blood flow increases the risk of tissue necrosis around the wound and of poor healing. Throughout Figure 2.4, some vascular patterns are more at risk (Fig 2.4, A and F) and other less at risk (Fig 2.4, E and G) of artery injuries and devascularization by the incision, which could explain why poor cicatrization and wound complications are frequently but not always present after groin surgery.

Although there is not much literature on the cutaneous vascularization of the groin, it was described by some authors. However, none of these publications described the precise trajectory of the cutaneous arteries in relation to their passage over the femoral artery. The description by Manchot¹² presented some similar characteristics similar to our patterns of cutaneous arteries. Manchot reported the presence of the common trunk of the superficial circumflex iliac artery and the superficial epigastric artery and also the path of the superficial epigastric artery running more laterally in some cases and more medially in others, as we observed. The presence of this common trunk of arteries has previously been documented in the Japanese population by Adachi.¹³ In his seminal publication, he demonstrated that the common trunk of the superficial circumflex iliac artery and the superficial epigastric artery is present in 56% of the Japanese. We found it in all but 1 of our 11 cases. Is this trunk more common in the Quebec population than in the Japanese? A larger population study is needed to answer this question. In one case (Fig 2.3, G), the vascular pattern presented only a short

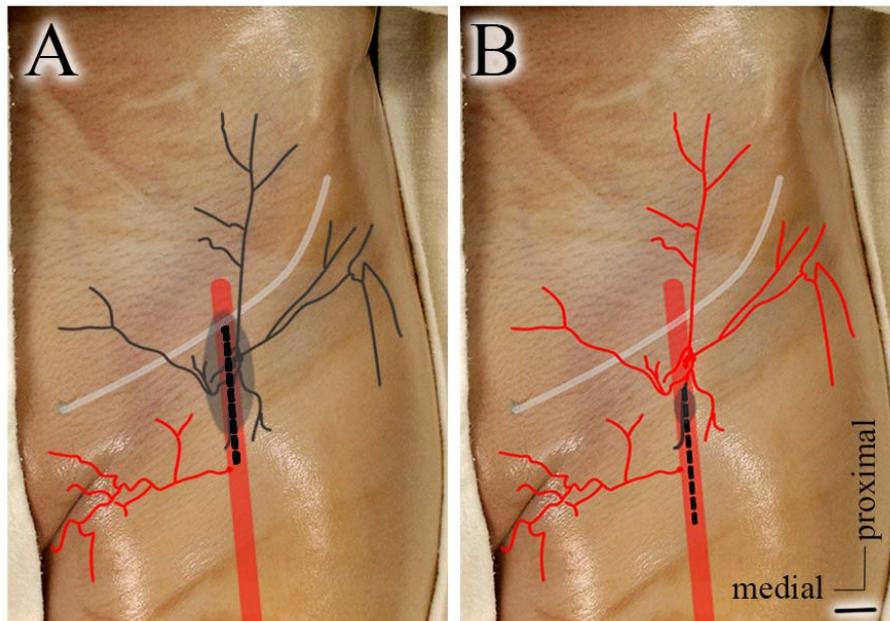
branch, which we supposed is a stump of the superficial epigastric artery that sprout from a common trunk with the superficial circumflex iliac artery. However, in this case, the groin presented a small scar, sign of a previous inguinal incision. We assumed that after the classic incision the superficial epigastric artery had been cut and only a short vestige of this artery remains. We decided to keep this case in our analysis because except for the stump of the superficial epigastric artery, the pattern of the cutaneous vascularization is complete. Moreover, this case is interesting as the vascular pattern found in this groin supports our hypothesis that the epigastric artery is at risk of injury by the classic vertical infrainguinal incision.

In a report on the quality of tissue oxygenation following the vertical infrainguinal incision, Raza et al⁸ observed a lower oxygenation level on the medial side of the incision. They explained the poor oxygenation of the medial flap of the wound by a disruption of its vascularization. They proposed that the superficial circumflex iliac artery contributes to the main vascularization of the groin. Thus, when the medial branches of this artery are injured by the incision, they observed a high oxygenation level on the side lateral to the incision and a low oxygenation level on the medial side. We also observed that the surgical incision has a more profound effect on the medial side of the wound but that this is rather the superficial epigastric artery that contributes to the majority of the blood supply of the groin in this part of the surgical incision. The vascular patterns illustrated in Figure 2.4 demonstrate that the vertical incision would causes injuries of the superficial epigastric artery in all the cases. This may lead to the disruption of the dermal blood flow on the medial side of the incision, which in turn may contribute to the relatively high incidence of infection in groin wounds. Adequate blood flow and tissue oxygenation are important factors for the success of wound healing.¹⁴

In our study, we propose a model of analysis on de basis of prediction of vascular lesions. This model can explain the problems of necrosis following the classic vertical incision and allows us to propose a new approach illustrate in figure 2.5. Case F from Figures 2.3 and 2.4 was used as typical example in figures 2.5 and 2.6 to compare the consequences of the different incisions. The results presented here showed that the classic incision (Figs 2.4 and 2.5, A) would cause injuries to the superficial arteries, mainly to the superficial epigastric artery leading to important disruption of the dermal blood flow around the incision. So we

propose a new approach for the infrainguinal interventions: the vertical infrainguinal incision might be lowered, when clinically possible, by 2 cm below the inguinal ligament (Fig 2.5, B). Such a “lower incision” would reduce the cutaneous vascular lesions in the proximal part of the femoral artery in most cases without causing more damage in its distal part (compare Fig 2.5, A and B).

Figure 2.5: Proposition of a new approach for the vertical infrainguinal incision.

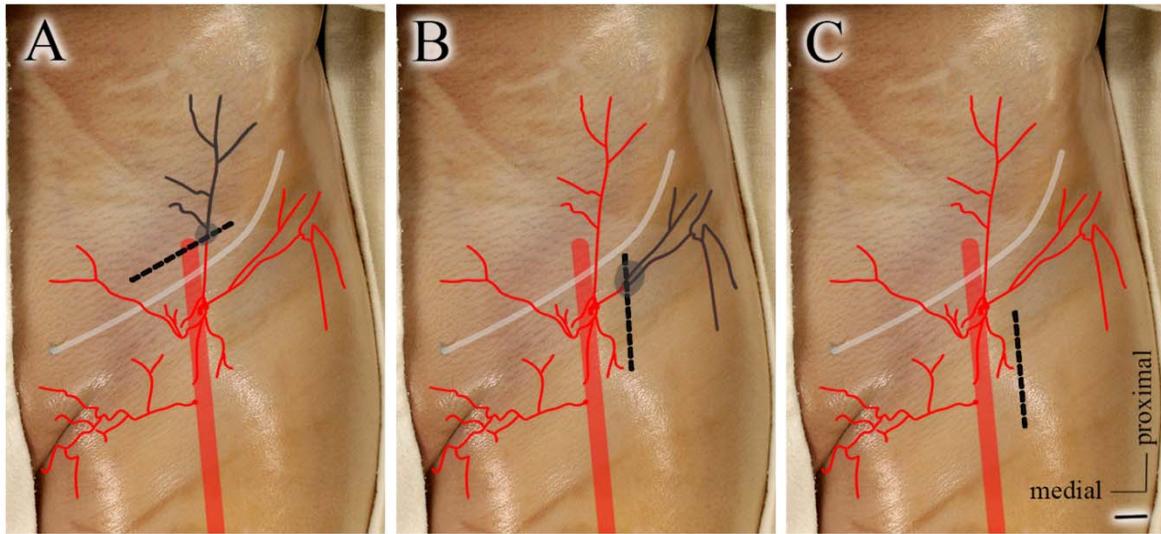


The vascular pattern in case F of Figs 2.3 and 2.4 was used as an example to present different positions of the incision (dotted lines). Again, arteries drawn in gray would be injured while the red arteries stay intact. The grayed zones on the figure correspond to the edge of the wound at risk of necrosis. A, The classic vertical infrainguinal incision leads to important vascular lesions as shown in Fig 2.4,F. B, If the incision would be lowered to start 2 cm below the inguinal ligament, the devascularization would be reduced to a minimum. Scale bar = 1cm.

In figure 2.6, we illustrate the consequences of other incisions described in the literature.

Because groin incisions are known as a risk factor for wound infection, with an incidence of site involvement up to 64 %¹, other researchers^{3, 15} proposed a different approach, the oblique suprainguinal incision. This incision is made parallel and slightly above the inguinal ligament and, it is particularly recommended for the placement of aortic stents. Chester et al⁵ compared the infection rates between the oblique and the vertical approaches and observed better healing characteristics with the oblique incisions and a rate of only 6% of wound complications. Watson et al⁶ recommend the use of the oblique groin incision because of the low rate of wound complications and a 0% infection rate. Caiti et al⁴ recommend this incision and report an incidence of wound complications of 2, 8% with the oblique incision. Figure 2.6, A presents this type of incision and demonstrates that this approach results in minor vascular lesions of the superficial epigastric artery in a region where the vascularization is well compensated by other abdominal cutaneous arteries and collaterals. The oblique incision should then be less disruptive of the dermal blood flow than the classic incision and this could explain the better healing characteristics reported. Ploeg et al⁷ hypothesized that the inguinal lymphatic system is at risk of injury with the classic vertical incision and that this would cause the postsurgical complications. They predicted improved wound healing with the use of a vertical lateral incision, sparing the lymphatic tissue; but this surgical approach, which avoids the region rich in lymphatic tissue, did not reduce the incidence of postoperative wound complications. According to our model of analysis, the lateral vertical incision (Fig 2.6, B), would result in lesion of the superficial circumflex iliac artery. Lowering the incision by 2 cm could save this artery and reduce the subsequent disruption of the dermal blood flow around the wound (Fig 2.6, C).

Figure 2.6: Consequences of other incisions proposed in the literature.



A, The oblique suprainguinal incision parallel and slightly above the inguinal ligament described by some researchers leads only to minor vascular lesions. *B*, The lateral vertical incision described by Pleog et al⁷ leads to an important lesion of the superficial circumflex iliac artery. *C*, The vascular lesion would be reduced if the lateral vertical incision is lowered by 2 cm. Scale bar = 1cm.

The model of analysis that we propose can explain the poor cicatrization reported in the literature with the use of the classic vertical infrainguinal incision and can also explain the better healing characteristics reported with the oblique incision. The proposed lower incision could reduce the problem when the surgeon finds it compatible with the clinical case. For example, in an intervention that needs a larger exposure of the femoral artery, such as extended endarterectomy, the lower incision would not suffice. Lowering the vertical and the laterally vertical incision is more susceptible to be feasible in case of infrainguinal bypasses. Moreover, these proposed incisions need to be tested in clinic to determine whether the access is adequate and if there is a reduction of complications as predicted. The patterns of cutaneous vascularization that we have observed suggest that during interventions requiring tunnelization, such as in the aortofemoral bypass, it would be preferable to place the tunneler anterior and slightly medially to the femoral artery in order to avoid lesions of the trunk of the superficial artery that originates laterally.

This analysis has some limitations. This is a cadaveric study, and the proposed lower incisions to reduce the devascularization (Figs 2.5, A and B) have not been tested on patients. We considered only the potential injury to the vascular system made by the surgical incision and did not take into account the injuries caused by the surgical dissection around the vessels and the use of retractors during the surgery.

Conclusion

The results of our study demonstrated that the classic incisions could lead to important vascular lesions in the proximal part of the femoral artery. These vascular lesions could lead to the disruption of the dermal blood flow, which may explain the poor healing of these wounds. We proposed the use, when clinically possible, of a lower vertical incision (starting 2 cm under the inguinal ligament) over or laterally to the femoral artery for infrainguinal interventions, an approach that should reduce the potential devascularization of the wound. Our results also support the approach of an oblique incision parallel and slightly above the inguinal ligament, when requested. Our work and propositions still need to be demonstrated clinically.

This work was supported by a grant from the program "soutien au démarrage de projets de recherche en collaboration UQTR-CSSSTR".

Author contributions

Conception and design: CT, DG, DB, GB

Analysis and interpretation: CT, DG, DB, GB

Data collection: CT

Writing the article: CT, DG, DB, GB

Critical revision of the article: CT, DG, DB, GB

Final approval of the article: CT, DG, DB, GB

Statistical analysis: Not applicable

Obtained funding: GB

Overall responsibility: GB

References

1. Pounds LL, Montes-Walters M, Mayhall CG, Falk PS, Sanderson E, Hunter GC, et al. A changing pattern of infection after major vascular reconstructions. *Vasc Endovascular Surg* 2005; 39:511-517.
2. Lee ES, Santilli SM, Olson MM, Kuskowski MA, Lee JT Wound infection after infrainguinal bypass operations: multivariate analysis of putative risk factors. *Surg Infect (Larchmt)* 2000; 1:257-263.
3. Hamman JL, Jernigan WR, Miller FB, Fulton RL Oblique incision of the groin for vascular reconstruction at the femoral level. *Surg Gynecol Obstet* 1983; 157:80-81.
4. Caiati JM, Kaplan D, Gitlitz D, Hollier LH, Marin ML The value of the oblique groin incision for femoral artery access during endovascular procedures. *Ann Vasc Surg* 2000; 14:248-253.
5. Chester JF, Butler CM, Taylor RS Vascular reconstruction at the groin: oblique or vertical incisions? *Ann R Coll Surg Engl* 1992; 74:112-114.
6. Watson DR, Tan J, Wiseman L, Ansel GM, Botti C, George B, et al. Oblique groin incision for endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *Heart Surg Forum* 2004; 7:E515-518.
7. Ploeg AJ, Lardenoye J-WP, Peeters M-PFMV, Hamming JF, Breslau PJ Wound complications at the groin after peripheral arterial surgery sparing the lymphatic tissue: a double-blind randomized clinical trial. *Am J Surg* 2009; 197:747-751.
8. Raza Z, Newton DJ, Harrison DK, McCollum PT, Stonebridge PA Disruption of skin perfusion following longitudinal groin incision for infrainguinal bypass surgery. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1999; 17:5-8.
9. Thiel W. The preservation of the whole corpse with natural color. *Annals of anatomy* 1992; 174:185-195.

10. Benkhadra M, Gerard J, Genelot D, Trouilloud P, Girard C, Anderhuber F, et al. Is Thiel's embalming method widely known? A world survey about its use. *Surgical and radiologic anatomy* : SRA 2011; 33:359-363.
11. Thiel W. An arterial substance for subsequent injection during the preservation of the whole corpse. *Annals of anatomy* 1992; 174:197-200.
12. Manchot C. *The cutaneous arteries of the human body*. New York: Springer-Verlag; 1983. p.71-75
13. Adachi B. *Anatomie der Japaner 2: Das Arteriensystem der Japaner*. Kyoto: Kaiserlich-Japanischen Universitat zu Kyoto; 1928. p. 144-146.
14. Forrester JC *Wounds and their management*. In: Cuschieri A, Giles GR, Moussa AR eds *Essential surgical practice* 2nd ed. U.K.: Butterworth-Heinemann; 1988. p. 3-15.
15. Chuter TA, Reilly LM, Stoney RJ, Messina LM *Femoral artery exposure for endovascular aneurysm repair through oblique incisions*. *Journal of endovascular surgery : the official journal of the International Society for Endovascular Surgery* 1998; 5:259-260.

Discussion

Le premier objectif de ce volet de recherche consistait à étudier la vascularisation cutanée du triangle fémoral ainsi que ses variations. Les résultats de l'étude anatomique, effectuée sur 11 régions inguinales, sont tous présentés dans l'article scientifique précédent. Cette étude a permis révéler qu'il y avait plusieurs caractéristiques récurrentes dans le trajet des artères cutanées malgré l'importante variabilité interindividuelle ou même entre les jambes droites et gauches d'un même cadavre. Les données de l'étude démontrent que l'irrigation cutanée des bords de l'incision classique du triangle fémoral est assurée principalement par un tronc commun composé des artères épigastrique superficielle et circonflexe iliaque superficielle qui prend origine latéralement à l'artère fémorale commune dans son tiers proximal (entre 0,5 et 1,5 cm sous du ligament inguinal) (figure 2.3).

Bien que le nombre de cas étudiés puisse sembler faible, nous croyons toutefois que ce nombre est suffisant puisque les caractéristiques récurrentes retrouvées d'une région inguinale à l'autre nous permettent d'identifier les potentielles conséquences de l'incision infra-inguinale classique; le second objectif de cette étude. Nous avons développé un modèle d'analyse sur la base de prédiction de lésions vasculaires, nous prétendons qu'une vascularisation réduite de l'incision peut favoriser la mauvaise cicatrisation, la nécrose tissulaire et les hauts taux d'infection observés. Un flux sanguin adéquat et une bonne oxygénation tissulaire sont les déterminants les plus importants pour le succès d'une bonne cicatrisation (Forrester, 1988). Dans 100% des régions inguinales étudiées (11 cas), la course de l'artère épigastrique superficielle, suite à son origine sur l'artère fémorale commune, la rend à risque d'être lésée par l'incision classique dans la partie proximale de l'incision. Dans 20 % des cas, c'est le tronc commun des artères circonflexe iliaque et épigastrique superficielles qui risque fortement d'être lésé. Ces lésions vasculaires peuvent mener à une importante dévascularisation cutanée principalement dans le tiers proximal de l'incision (Figure 2.4). Cette perturbation du flux sanguin dermique pourrait contribuer aux problèmes de cicatrisation et d'infection rapportés dans la littérature suite à l'incision infra-inguinale classique (Raza et al., 1999).

Notre modèle d'analyse peut expliquer les problèmes de nécrose rapportés dans la littérature suite à l'incision verticale infra-inguinale longitudinale par d'importantes lésions de l'artère épigastrique superficielle ou le tronc commun des 2 artères. Les données recueillies dans cette étude nous mènent à proposer une nouvelle approche chirurgicale pour réduire les risques de dévascularisation; la même incision verticale infra-inguinale abaissée de 2 cm en dessous du ligament inguinal réduirait les lésions vasculaires (figure 2.5).

Ce modèle d'analyse explique aussi la meilleure cicatrisation rapportée suite aux incisions obliques supra-inguinales décrites par plusieurs chercheurs. Nos travaux supportent l'utilisation de l'incision oblique supra-inguinale, lorsque requise pour un accès à l'aorte abdominale, elle n'entraîne que de mineures lésions vasculaires dans une région où la vascularisation est bien compensée par des artères collatérales (figure 2.6 A). En outre, notre modèle explique aussi le fait que l'incision verticale latérale (Ploeg et al., 2009), décrite pour éviter les lésions du système lymphatique inguinal, échoue à réduire l'incidence des complications; elle entraîne d'importantes lésions de l'artère circonflexe iliaque superficielle. La même solution proposée est aussi applicable dans le cas de l'incision latérale, abaissée aussi de 2 cm elle permettrait de réduire les risques de lésions vasculaires et conséquemment les risques de dévascularisation (Figure 2.6 B et C). De plus, les résultats suggèrent que pour les interventions nécessitant une tunnellisation, entre autres pour un pontage aorto-fémoral, il est préférable de tunnelliser antérieurement, mais légèrement médialement à l'artère fémorale pour éviter le tronc commun d'artères cutanées qui origine latéralement à l'artère fémorale commune.

Toutefois, il est fondamental que la priorité du chirurgien reste toujours de soigner le patient et d'avoir un accès suffisant pour l'intervention nécessaire. Nous ne proposons donc pas d'abandonner l'incision verticale, mais lorsque possible, lorsqu'elle est compatible avec l'intervention voulue, l'incision abaissée que nous proposons réduirait la dévascularisation de la plaie. Ces propositions déduites à partir de notre modèle d'analyse doivent maintenant être validées en clinique pour déterminer i) si elles offrent un accès adéquat et dans quels types d'interventions et/ou pathologies et ii) si elles réduisent les complications post-chirurgicales comme nous le supposons.

Bien que ces propositions ne soient pas encore officiellement testées en clinique, nous avons déjà obtenu une rétroaction positive du chirurgien vasculaire qui collabore sur ce projet de recherche. À partir de ces nouvelles connaissances sur la vascularisation cutanée du triangle fémoral, il priorise l'incision classique abaissée ou latérale abaissée lorsque l'intervention le permet. L'usage de ces incisions lui est possible principalement lors d'interventions infra-inguinales entre autres pour un pontage de l'artère fémorale à une artère plus distale. En revanche, ces incisions abaissées ne peuvent pas être utilisées lors de certaines interventions comme une endartérectomie étendue de l'artère fémorale qui nécessite une plus grande exposition de l'artère fémorale commune. Bien qu'il n'y ait pas de résultats compilés, lors de l'utilisation de ces incisions abaissées, la cicatrisation des plaies lui semble améliorée.

CHAPITRE 3 :

Approche percutanée de l'artère fémorale

Introduction à la problématique

L'approche percutanée de l'artère fémorale est aussi une approche très fréquemment utilisée en chirurgie vasculaire, plus fréquente encore que l'approche chirurgicale. Cette technique permet d'avoir accès à la circulation sanguine sans incision chirurgicale, mais plutôt par une ponction de l'artère fémorale à travers la peau, le tissu sous-cutané et le fascia. La première approche percutanée sans incision chirurgicale a été décrite par Jönsson (1949) il a atteint l'aorte thoracique par une ponction percutanée de l'artère carotide. Depuis, les techniques percutanées et le matériel endovasculaire ont beaucoup progressé et le nombre de patients en bénéficiant ne cesse de croître. Les techniques endovasculaires sont maintenant la première option dans la plupart des cas cliniques (Constans et al., 2010; Cronenwett & Johnston, 2014). L'approche percutanée est fréquemment utilisée pour cathétériser une artère et effectuer une angiographie dans le but d'évaluer l'état de la circulation sanguine et de poser un diagnostic, ce qui constitue la première étape dans de nombreuses approches vasculaires. Elle permet un grand nombre de procédures endovasculaires partout dans le corps, pour un diagnostic, mais aussi pour un traitement : pour une angioplastie transluminale, l'insertion d'endoprothèses diverses (Stents), pour le traitement d'anévrismes ou pour le traitement d'occlusions artérielles (Chaikof & Cambria, 2014).

La ponction artérielle percutanée peut être utilisée dans la plupart des artères; dans le membre inférieur comme approche des artères fémorale, poplitée ou tibiale et dans le membre supérieur pour les artères axillaire, brachiale ou radiale. Les artères carotides ou subclavières peuvent aussi être ponctionnées, mais l'accès n'est pas recommandé puisqu'il est associé à un haut risque d'hémorragie. L'artère fémorale demeure le point d'entrée le plus fréquemment utilisé, généralement dans la portion proximale de l'artère fémorale, entre le ligament inguinal et l'embranchement de l'artère fémorale profonde. Cette courte partie de l'artère fémorale avant la bifurcation est nommée en clinique artère fémorale commune. (Voir chapitre 1, p.18)

L'accès par l'artère fémorale commune est priorisé puisqu'il permet d'avoir accès aux artères du membre inférieur, à l'aorte, aux artères rénales et viscérales, au cœur et aux artères coronaires, aux artères du membre supérieur et aux artères cérébrales (Cronenwett & Johnston, 2014; Wind & Valentine, 2013). La longueur de l'artère fémorale commune varie de 2 à 5 cm avant de donner naissance à l'artère fémorale profonde (Kamina & Martinet, 2006; Testut, 1921). C'est sur cette courte portion que l'artère doit être ponctionnée. L'artère fémorale commune constitue le site de ponction le plus sécuritaire pour l'insertion d'un cathéter puisque l'artère est élastique et d'un bon calibre, elle est facile d'accès et elle est facilement compressible grâce aux structures musculaires et osseuses postérieures, ce qui permet d'éviter les saignements lors du retrait du cathéter. L'artère fémorale commune est superficielle, elle n'est recouverte que par le fascia lata, le tissu sous-cutané et la peau. Deux centimètres plus hauts, au-dessus du ligament inguinal, l'artère iliaque externe est plus profonde, elle se situe dans la paroi postérieure du bassin et elle est recouverte, en plus de la peau et du tissu sous-cutané, par les muscles obliques et le muscle transverse de l'abdomen ainsi que leur aponévrose, le péritoine et les viscères abdominaux et pelviens (Moore & Dalley, 2001).

Complications de l'approche percutanée

Bien que le triangle fémoral soit le site de ponction artérielle le plus utilisé, l'intervention ne demeure pas sans risques. L'artère fémorale commune est très courte, de 2 à 5 cm entre le ligament inguinal et l'embranchement de l'artère fémorale profonde, et il s'agit de bien viser avec une ponction généralement oblique, de bas en haut, et de superficiel à profond. Lorsque la ponction est réalisée plus distalement, dans la portion de l'artère fémorale nommée en clinique, artère fémorale superficielle, ou dans l'artère fémorale profonde, l'approche percutanée est associée à des risques plus élevés de complication puisque ces artères sont de plus petit calibre et moins compressibles. Les risques sont divers, ils vont d'une sensation de malaise chez le patient même si la douleur est contrôlée, à des hématomes, des pseudoanévrismes, des occlusions artérielles et des fistules artério-veineuses (Chaikof & Cambria, 2014). Une ponction au-dessus du ligament inguinal, c'est-à-dire au niveau de l'artère iliaque externe, peut entraîner des risques importants d'hémorragie rétropéritonéale puisque l'artère n'est plus compressible à l'intérieur du bassin, ce qui peut être fatal. Un taux de 0,57 % d'hémorragie rétropéritonéale a été rapporté dans une étude rétrospective incluant 28 378 patients (Ellis et al., 2006). Le taux est faible, mais il représente un danger de mort pour 161 patients

de cette étude seulement; or comme précisé plus haut, l'approche percutanée de l'artère fémorale est très fréquente.

Une ponction de l'artère en dehors de cette courte portion proximale augmente donc les risques de complications hémorragiques qui sont associées à une augmentation de morbidité, de la mortalité et des coûts des soins de santé (Kuchulakanti et al., 2004; M. S. Lee et al., 2014). Le taux global de mortalité suivant les complications iatrogènes de l'accès à l'artère fémorale est de 0,8 % (Ohlow et al., 2009). L'incidence de complications majeures ou mineures suite à la ponction de l'artère fémorale commune se situe entre 2,1 % et 10,3 % (Chinikar, Ahmadi, Heidarzadeh, & Sadeghipour, 2014; Ellis et al., 2006; Kuchulakanti et al., 2004; Ohlow et al., 2009).

Techniques développées pour l'approche percutanée

Lors de l'approche percutanée, l'artère est généralement ponctionnée « à l'aveugle » par palpation du pouls fémoral, du creux inguinal et des repères anatomiques osseux par le clinicien (Grier & Hartnell, 1990; Millward, Burbridge, & Luna, 1993). Le taux de succès d'un praticien expérimenté est très haut, de 90 à 95 %, mais n'est pas parfait et est moindre chez un praticien novice (Ammann et al., 2003). Toutefois, la longueur de l'artère fémorale commune est très variable d'une personne à l'autre (Kamina & Martinet, 2006; Testut, 1921) et si le pouls y est faible ou même absent, l'accès à l'artère devient plus difficile (Cronenwett & Johnston, 2014). Les techniques de palpation n'étant pas toujours fiables surtout chez les personnes souffrant d'embonpoint, plusieurs autres méthodes ont été décrites dans la littérature pour repérer l'artère : l'utilisation de rapports topographiques avec le ligament inguinal et le pli inguinal, l'utilisation d'un fluoroscope opératoire pour repérer l'artère par rapport à la tête fémorale et aussi le guidage par échographie.

Guidage par fluoroscopie

L'utilisation de la fluoroscopie pour localiser l'artère fémorale commune par rapport à la tête fémorale a été décrite par Grossman (1974). Une relation suffisamment constante entre le positionnement de l'artère fémorale commune et la tête fémorale a été rapportée (Dotter, Rosch, & Robinson, 1978) pour l'utiliser comme guide lorsque le pouls du patient n'est pas perçu. L'artère fémorale commune passe au-dessus de la tête fémorale dans 92 % des cas. La bifurcation de l'artère fémorale se retrouve en dessous du milieu de la tête fémorale dans 99 % des cas, mais au-dessus de la

bordure inférieure de la tête fémorale dans 20 % des patients (Garrett, Eckart, Bauch, Thompson, & Stajduhar, 2005). Une étude comparant l'utilisation de la fluoroscopie pour guider la ponction artérielle comparativement à un groupe contrôle utilisant la palpation seulement a démontré un meilleur taux de placement adéquat des prothèses, particulièrement chez les patients obèses (Jacobi, Schussler, & Johnson, 2009). De plus, un groupe de chercheur a démontré un taux de ponction adéquate dans l'artère fémorale commune de 90 % à l'aide du guidage par fluoroscopie comparativement à 85 % de succès avec palpation seulement, mais sans différence significative entre les 2 groupes (Huggins et al., 2009).

Néanmoins, l'utilisation de la fluoroscopie ne permet pas toujours d'identifier le site idéal de ponction de l'artère fémorale étant donné les vastes variations anatomiques rencontrées (M. S. Lee et al., 2014). N'oublions pas que l'artère et le ligament inguinal ne sont pas visibles en fluoroscopie, à moins d'une pathologie athérosclérotique avancée qui permet de percevoir l'artère.

Guidage par échographie

L'utilisation de l'échographie pour guider l'approche percutanée de l'artère fémorale comporte plusieurs avantages comme la visualisation de l'artère et de la veine par Doppler, la visualisation de la bifurcation fémorale, l'identification de plaques d'athérosclérose calcifiées et la visualisation de l'aiguille lors de la ponction. L'utilisation de l'échographie facilite grandement une ponction artérielle adéquate (M. S. Lee et al., 2014).

Plusieurs auteurs appuient l'utilisation de l'échographie pour guider l'approche percutanée (Shiloh & Eisen, 2010). Cette technique assure un accès adéquat à l'artère, toutefois, son utilisation ne semble pas nécessaire dans tous les cas, mais plutôt lors de cas problématiques (Wacker, Wolf, & Fobbe, 1997). Selon une étude de Dudeck et al (2004) sur 112 patients, l'utilisation de l'approche percutanée écho-guidée de l'artère fémorale a réduit de façon significative le nombre de tentatives et le temps d'une cannulation réussie, chez les patients avec un pouls faible, comparativement à l'utilisation de la palpation seulement. La technique est simple et facile à apprendre, elle est recommandée dans le cas de patients avec un pouls faible, absent ou chez des patients obèses ou avec une circonférence de la cuisse supérieure à 60 cm. De plus, l'utilisation de l'approche percutanée écho-guidée facilite l'accès à l'artère fémorale, réduit l'incidence des ponctions accidentelles des

veines et réduit l'incidence des complications cliniques. Selon le groupe de chercheurs, les bénéfices seraient en partie dus à une réduction des traumatismes aux tissus et aux vaisseaux qui sont induits par le nombre de tentatives infructueuses avant une ponction adéquate de l'artère (Seto et al., 2010). Selon une étude de Gedikoglu et al (2013), le guidage par échographie a amélioré le taux de succès lors du premier passage, réduit le nombre de tentatives avant une ponction adéquate puis a presque éliminé la ponction indésirable des veines tout en nécessitant moins de temps pour l'accès à l'artère. Le taux de complications est diminué avec l'utilisation concomitante de l'échographe et de la fluoroscopie pour la ponction de l'artère fémorale, mais sans différence significative.

La conclusion générale de ces auteurs est que le guidage par échographie est recommandé pour les patients avec un pouls faible ou absent et chez les patients obèses. Toutefois, malgré l'utilisation de l'échographe, l'incidence de ponction de l'artère au-dessus du ligament inguinal est rapportée dans 6,6 % des cas (M. S. Lee et al., 2014). Bien qu'il soit possible de visualiser l'artère, il est aussi important pour le clinicien de visualiser et d'utiliser le ligament inguinal comme repère pour éviter une ponction au niveau de l'artère iliaque externe (Yun, Nam, & Ryu, 2015).

Le ligament inguinal est composé de l'extension inférieure de l'aponévrose des muscles obliques de la paroi abdominale. Les fibres de tissu conjonctif s'épaississent inférieurement et viennent s'attacher latéralement au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure. Théoriquement le ligament est décrit comme une ligne droite entre l'épine iliaque antéro-supérieure et le tubercule pubien (Moore & Dalley, 2001). Toutefois anatomiquement le trajet du ligament inguinal n'est pas tout à fait droit, il est plutôt convexe et se dirige caudalement particulièrement chez les patients obèses avec des muscles abdominaux plus faibles et distendus, chez qui le ligament est plus difficile à palper (Lechner, Jantsch, Waneck, & Kretschmer, 1988; Rupp, Vogelzang, Nemcek, & Yungbluth, 1993). Des recherches sur cadavres ont démontré que la position du ligament inguinal estimée par radiographie est plus haute que sa position réelle (entre 3 mm en dessous et 24 mm au-dessus). La position estimée par palpation du ligament inguinal est approximativement 7,8 mm (entre 7 mm en dessous et 23 mm au-dessus) supérieurs à la position réelle déterminée par dissection (Rupp et al., 1993).

Une étude récente (Yun et al., 2015) a combiné l'utilisation de la fluoroscopie avec une technique basée sur l'identification du ligament inguinal par échographie, un accès adéquat à l'artère a été obtenu dans 100 % des cas sur 50 ponctions sans aucune complication majeure

ou mineure. Ils ont aussi observé une différence significative entre l'emplacement du ligament inguinal par utilisation de l'échographie et de la fluoroscopie.

Ainsi, en résumé de cette introduction, il est très important, pour le chirurgien, de bien localiser la courte portion de l'artère fémorale commune entre le ligament inguinal et la bifurcation de l'artère fémorale profonde.

Objectifs de recherche

1. Notre premier objectif vise à étudier le positionnement précis de l'artère fémorale à son croisement avec le ligament inguinal, ses rapports topographiques et ses variations selon une approche radiographique et échographique.
2. Notre second objectif vise à développer une méthode échographique simple, en relation avec le ligament inguinal, qui faciliterait l'approche percutanée de l'artère fémorale

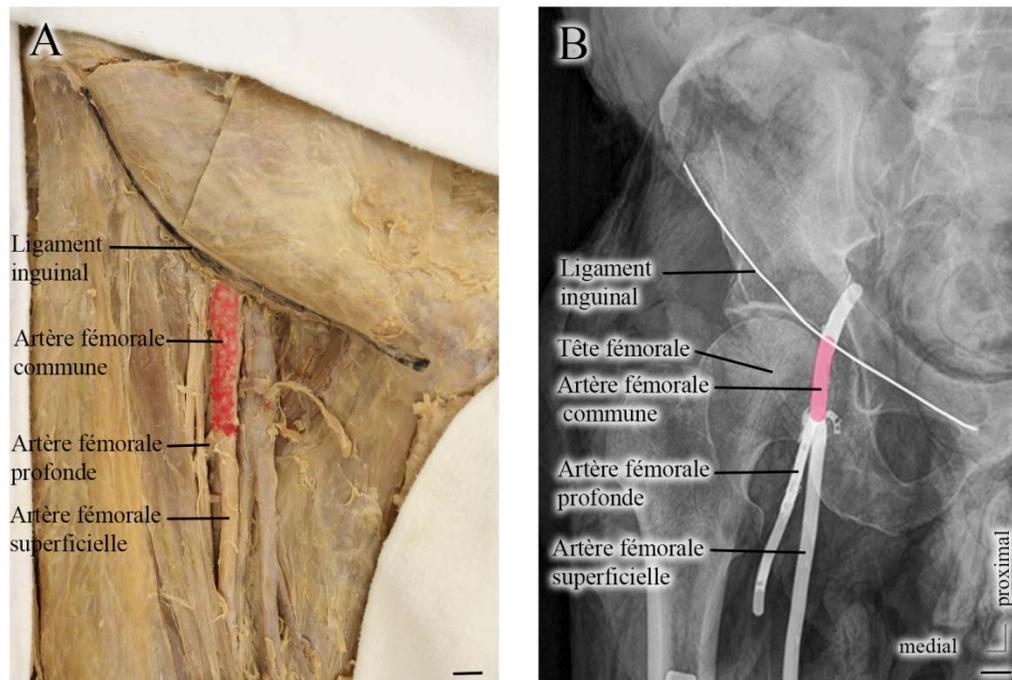
Méthodologie

La méthodologie de ce volet de recherche se développe en 3 principales étapes. La première étape consiste en l'exploration de la région inguinale par dissection et radiographie. Ensuite, la seconde étape consiste en l'exploration échographique et le développement d'une approche percutanée écho-guidée. Enfin, la troisième étape consiste à la validation de l'identification de structures à l'échographe, par dissection suite à l'injection de marqueurs.

1. Exploration de la région inguinale par dissection et radiographie

L'étude radiographique a été réalisée sur 10 cadavres, 3 femmes et 7 hommes âgés entre 60 et 89 ans (moyenne d'âge de 83,4 ans) qui ont été embaumés par une méthode classique à base de formaldéhyde. Ces cadavres rigides sont idéaux pour la visualisation de structures en dissection. La région inguinale de ces corps a été finement disséquée pour mettre en évidence le ligament inguinal et l'artère fémorale commune (voir la figure 3.1, A). Suite à la dissection, un produit de latex radio-opaque (Recette publiée dans l'article au chapitre 2 à la p.37) a été injecté dans l'artère iliaque externe pour remplir l'artère fémorale et fémorale profonde, puis un fil radio-dense a été apposé sur la bordure inférieure du ligament inguinal afin de bien visualiser ces structures sur radiographies. Finalement, des clichés radiographiques de la hanche ont été pris en position antéro-postérieure (voir la figure 3.1, B). Ces clichés en rayons X permettent de visualiser l'emplacement du ligament inguinal et de l'artère fémorale commune par rapport aux structures osseuses comme la tête fémorale et l'os coxal.

Figure 3.1 : Exploration de la région inguinale par dissection et radiographie.



A : Photographie du triangle fémoral après dissection (jambe droite) l'artère fémorale commune et le ligament inguinal sont colorés en rouge et noir respectivement. B : Radiographie de la même jambe. Le ligament inguinal est mis en évidence par un fil radio-opaque et les l'artère par un liquide radio-opaque. L'artère fémorale commune est tintée en rose (traitement de la photographie). Barre d'échelle = 1cm.

2. Exploration échographique et développement d'une approche percutanée écho-guidée.

Pour la réalisation de cette partie de l'étude, 5 cadavres supplémentaires ont été utilisés, 3 femmes et 2 hommes âgés de 60 à 89 ans (moyenne d'âge de 72,4 ans) qui ont été embaumés par la méthode développée par le professeur Walter Thiel (1992b) qui se prête bien à l'échographie. Les corps ont été choisis de taille et poids différents, les indices de masse corporelle (IMC) varient de 24,4 à 35,6.

La région inguinale a d'abord été explorée à l'aide de l'échographe (GE LogiqE, General Electric, Mississauga, ON [utilisation d'une sonde linéaire 38 mm, 12L-RS]). Afin de

visualiser le ligament inguinal, la sonde est placée axialement dans le plan du ligament et permet sa visualisation depuis l'épine iliaque antéro-supérieure jusqu'au tubercule pubien.

Lorsque la sonde est placée dans le plan du ligament inguinal, nous pouvons aussi visualiser les vaisseaux sanguins, la sonde est ensuite tournée d'environ 90° de façon à être placée longitudinalement et parallèle au trajet des vaisseaux tout en conservant l'identification du positionnement du ligament inguinal. Le placement de la sonde dans le plan de l'artère fémorale permet de visualiser la lumière de l'artère fémorale commune et l'emplacement du ligament inguinal.

Pour simuler l'approche percutanée, et sous guidage échographique, une aiguille (precisionGlide 16 G1 ½) reliée à une seringue de latex (de 20 ml) est insérée dans l'artère fémorale distalement au ligament inguinal, mais avant l'origine de l'artère fémorale profonde. Seringue et aiguille sont maintenues dans le même plan que la sonde afin de bien visualiser l'aiguille et l'artère sur l'échographe. Une fois l'aiguille en place, une petite boule de latex rouge est injectée à l'intérieur de l'artère fémorale.

Toutes ces étapes ont été filmées. La vidéo échographique a été jumelée avec la vidéo externe du positionnement de la sonde sur le cadavre. Cette vidéo est disponible en Annexe.

3. Validation de l'identification de structures à l'échographe

Afin de valider l'identification du ligament inguinal, des petites boules de latex bleu sont injectées sous guidage échographique sur le ligament à 3 différents endroits : sur l'épine iliaque antéro-supérieure, sur le tubercule pubien et au niveau du passage l'artère fémorale. Enfin, la région inguinale est disséquée pour confirmer l'identification des structures par les points de latex colorés.

Résultats

Exploration de la région inguinale par dissection et radiographie

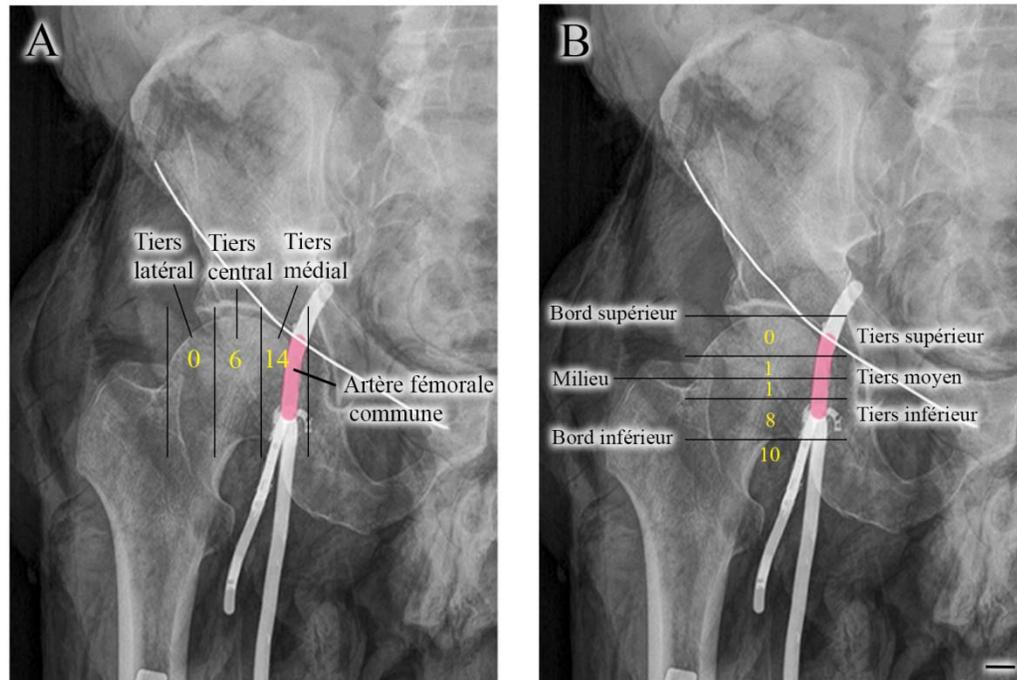
L'exploration radiographique suite à la dissection effectuée sur 10 cadavres a permis de relever quelques données sur le positionnement de l'artère fémorale commune et du ligament inguinal par rapport à des repères osseux.

Artère fémorale commune

Le positionnement de l'artère fémorale commune par rapport à la tête fémorale a été évalué. Dans tous les cas, l'artère fémorale commune passe au-dessus de la tête fémorale. Lorsque la tête fémorale est divisée en 3 tiers : médial, central et latéral (voir figure 3.2, A), l'artère fémorale se situe dans le tiers médial de la tête fémorale dans 70 % des cas et dans le tiers central dans 30% des cas (14/20 dans le tiers médial, 6/20 dans le tiers central et jamais dans le tiers latéral). La position de la bifurcation fémorale par rapport à la tête fémorale (voir figure 3.2 B) se situe en dessous de la bordure inférieure de la tête fémorale dans 10 cas sur 20 (50%), elle se situe dans le tiers inférieur de la tête fémorale dans 8 cas (40%) et elle se situe dans le tiers moyen dans 2 cas (10%) et aucune fois dans le tiers supérieur. Sur ces 20 artères fémorales, la bifurcation a été observée 1 seule fois au-dessus du milieu de la tête fémorale.

La comparaison des artères fémorales communes a montré que sa longueur est très variable d'une personne à l'autre et aussi entre la jambe droite et gauche d'un même cadavre. La longueur des 20 artères fémorales communes varie entre 1 et 5, 5 cm, pour une moyenne de 3,77 cm (voir tableau I).

Figure 3.2 : Positionnement de l'artère fémorale commune par rapport à la tête fémorale



Radiographie d'une hanche droite avec le ligament inguinal mis en évidence par un fil radio-opaque puis l'artère fémorale commune est teintée en rose. A : Division de la tête fémorale en trois tiers (latéral, central et médial) pour identifier le passage de l'artère fémorale commune. Elle se situe dans le tiers médial dans 14 cas et dans le tiers central dans 6 cas. B : Positionnement de la bifurcation de l'artère fémorale par rapport à la tête fémorale. Division de la tête fémorale en 2 par la ligne du milieu et en trois tiers (supérieur, moyen, inférieur). Les chiffres en jaunes représentent le nombre de cas sur 20 où la bifurcation se retrouve dans la section correspondante. Barre d'échelle = 1cm.

Tableau I : Longueur des artères fémorales communes.

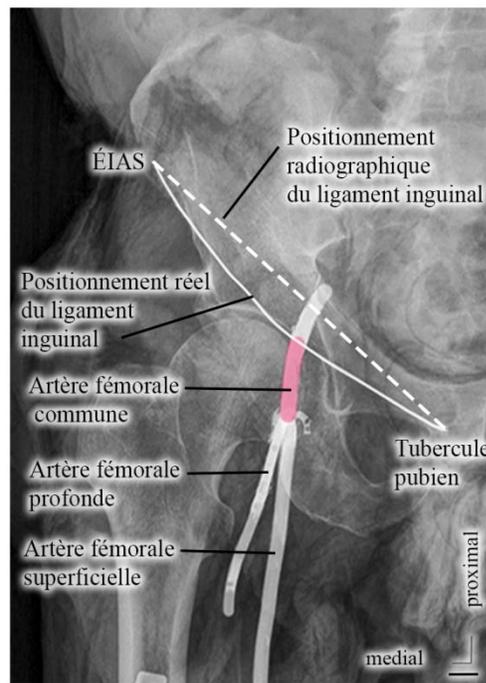
Corps	Genre	Jambe droite (cm)	Jambe gauche (cm)
1	F	4	4
2	F	4	5
3	H	3,7	2,5
4	H	4	3,5
5	H	3,5	2
6	H	5,5	5
7	H	5	4,5
8	H	2	3
9	H	2	1
10	F	4	5,5
Moyenne :		3,77	3,60
Écart-type :		1,1	1,5

Le tableau I représente les longueurs en cm des artères fémorales communes droites et gauches pour chacun des 10 cadavres disséqués pour les femmes (F) et les hommes (H) ainsi que la moyenne et l'écart-type.

Ligament inguinal

Le ligament inguinal n'est pas visible en radiographie. Dans ce cas, son positionnement est défini par une ligne imaginaire droite entre l'épine iliaque antéro-supérieure et l'épine du pubis (ligne pointillée sur la figure 3.3). Cette approximation du ligament inguinal a été comparée à son positionnement réel déterminé par la dissection (ligne continue sur la figure 3.3). Au point de passage de l'artère fémorale, la position réelle du ligament inguinal est en moyenne 13,04 mm (entre 8,37 mm et 20,25 mm) plus distaux que son approximation radiographique. Le tableau II illustre la distance entre les positionnements du ligament inguinal pour les 10 corps, il est possible d'observer qu'en général les mesures sont semblables pour les jambes droites et gauches un même corps.

Figure 3.3 : Positionnement du ligament inguinal par rapport aux repères osseux.



Radiographie de la hanche droite, le positionnement radiographique du ligament inguinal est représenté par la ligne pointillée (ligne droite entre l'épine iliaque antéro-supérieure (ÉIAS) et le tubercule pubien). Le positionnement réel du ligament inguinal déterminé par dissection est mis en évidence par un fil radio-opaque (ligne continue). Barre d'échelle = 1cm.

Tableau II : Distance entre la position radiographique et réelle du ligament inguinal.

Corps	Jambe droite (mm)	Jambe gauche (mm)
1	15,37	14,77
2	8,37	9,8
3	12,21	10,65
4	9,97	10,93
5	14,03	10,41
6	10,60	11,87
7	11,24	10,74
8	12,44	16,25
9	19,14	14,87
10	16,81	20,25
Moyenne :	13,02	13,05
Écart-type	3,3	3,4

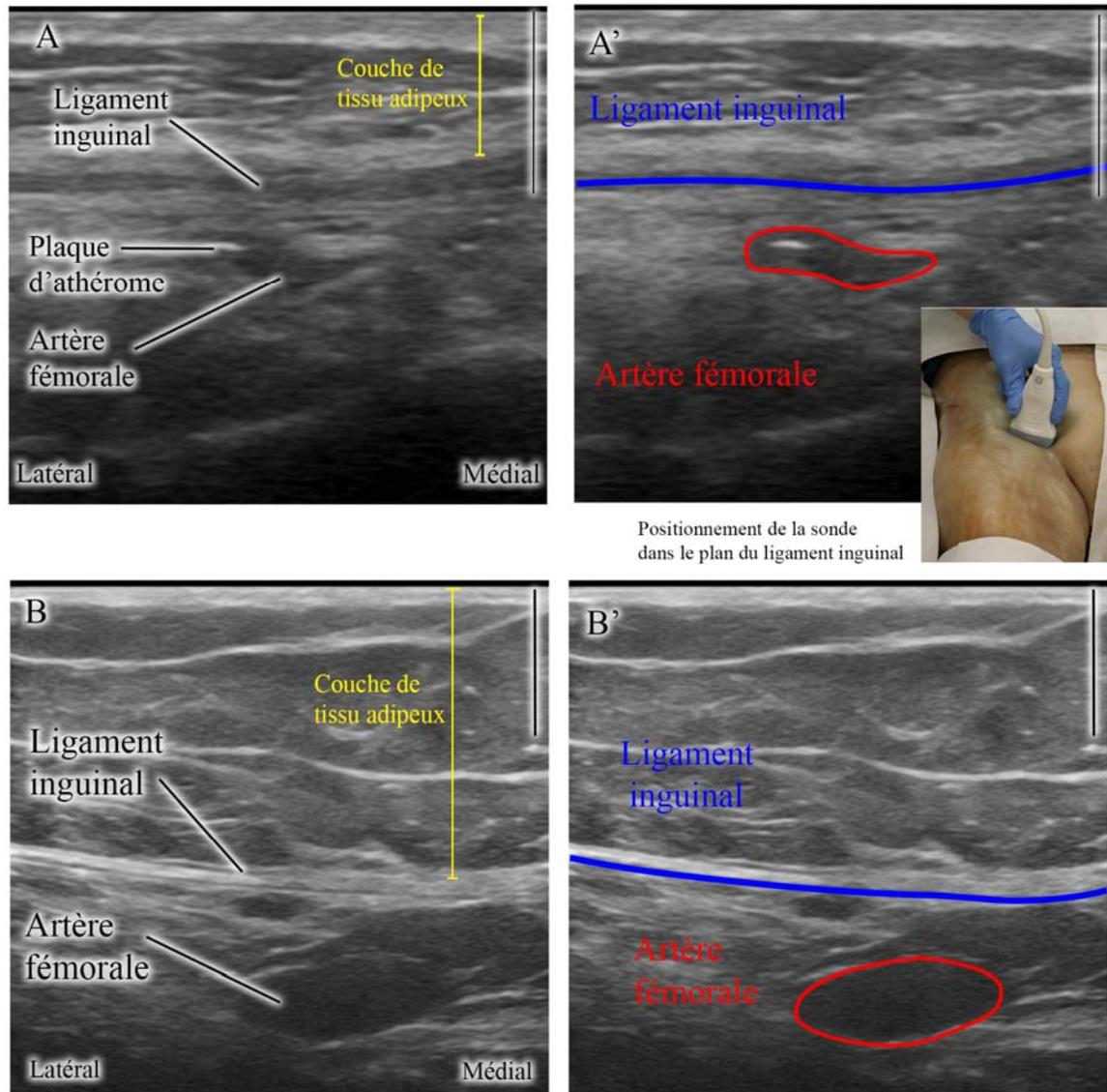
Le tableau II représente la distance entre le positionnement radiographique et le positionnement réel du ligament inguinal pour les jambes droites et gauches des 10 corps ainsi que la moyenne et l'écart-type. Dans tous les cas, le positionnement réel se situe distalement au positionnement radiographique.

Exploration échographique de la région inguinale

La visualisation du ligament inguinal et de l'artère fémorale commune par échographie a été validée sur 5 cadavres Thiel de poids différents. Sur la figure 3.4, la sonde est placée dans le plan du ligament inguinal entre l'épine iliaque antéro-supérieure et le tubercule pubien. Le ligament inguinal est visible sur toute sa longueur sous la forme d'une ligne sombre délimitée de part et d'autre par des lignes plus claires, réfléchissantes. Le premier corps en A (IMC : 28,4) peut être comparé avec le deuxième corps de corpulence plus importante en B (IMC : 35,6) la couche de tissu sous-cutané est plus importante. Sur ce dernier corps, la visualisation du ligament inguinal est plus difficile et celui-ci est beaucoup plus réfléchissant : les lignes claires sont plus épaisses alors qu'il n'y a qu'une minime ligne plus foncée entre les 2. L'artère fémorale est facilement identifiable par son aspect foncé. Étant donné l'absence de pulsion sanguine, l'artère se comprime facilement et a un aspect plus aplati que circulaire. Sur les corps plus obèses comme sur la figure 3.4 B, l'artère est moins comprimée par la sonde et conserve sa forme plus ronde. Sur la figure 3.4 A, il est possible de voir une plaque d'athérome qui se visualise comme une plaque blanche brillante à l'intérieur de l'artère.

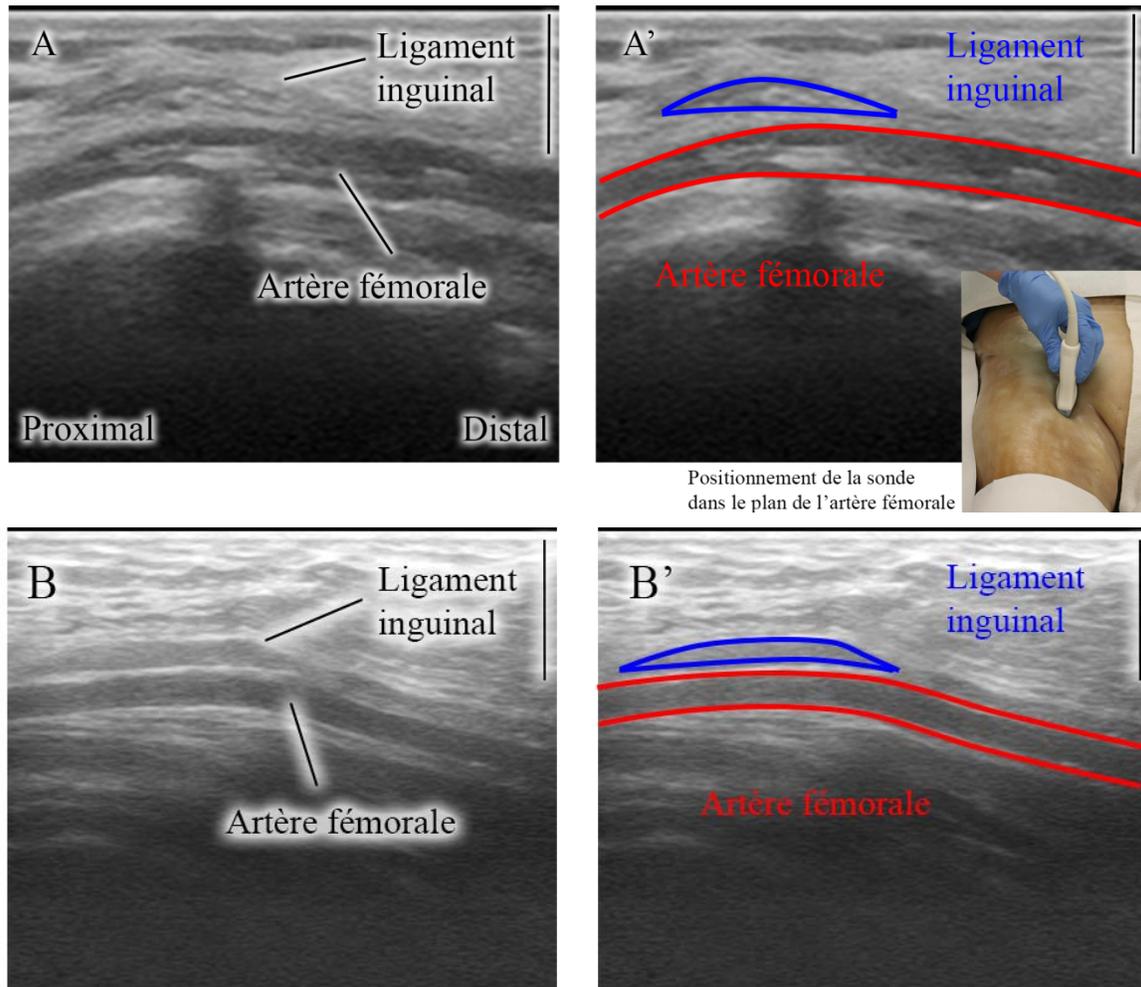
Sur la figure 3.5, la sonde est placée dans le plan de l'artère fémorale, le ligament inguinal est alors visible en coupe sous forme d'une demi-lune juste au-dessus de l'artère. La lumière de l'artère fémorale est visible sur sa longueur en plus foncée.

Figure 3.4 : Échographie de la région inguinale, sonde dans le plan du ligament inguinal



Échographie de la région inguinale avec positionnement de la sonde dans le plan du ligament inguinal (encart). Le ligament inguinal est mis en évidence en bleu et l'artère fémorale en rouge. Le corps présenté en A est de taille moyenne avec un indice de masse corporelle de 28,4. Le corps présenté en B est plus gros avec un indice de masse corporelle de 35,6. Comparez la couche de tissu adipeux qui est plus importante en B. Barre d'échelle = 1cm.

Figure 3.5 : Échographie de la région inguinale, sonde dans le plan de l'artère fémorale



Échographie de la région inguinale avec positionnement de la sonde dans le plan de l'artère fémorale (encart). Le ligament inguinal est mis en évidence en bleu et l'artère fémorale en rouge. Barre d'échelle = 1cm.

Vidéo d'une simulation de l'approche percutanée écho-guidée

La méthode échographique développée pour l'injection écho-guidée est présentée dans une vidéo à l'annexe. Le film échographique est jumelé au film en vue externe montrant le positionnement de la sonde sur le cadavre comme sur la figure 3.6. Les différentes étapes de la simulation sont :

1. Repérer le ligament inguinal en plaçant la sonde dans le plan du ligament inguinal, débiter à l'épine iliaque antéro-supérieure et se diriger vers le tubercule pubien puis arrêter la sonde au-dessus des vaisseaux sanguins (voir figure 3.6 A, A').
2. Garder la sonde fixe en son milieu et tourner la sonde d'environ 90°, tout en suivant le positionnement du ligament inguinal et de l'artère fémorale, de façon à se retrouver dans le plan de l'artère fémorale et voir la lumière allongée de l'artère fémorale (figure 3.6 B, B').
3. Maintenir la sonde en place pour visualiser le ligament inguinal et la lumière de l'artère fémorale. Insérer l'aiguille dans le même plan que la sonde de façon à ce que l'aiguille soit visible sur l'échographe. Aligner l'aiguille à l'intérieur de l'artère fémorale commune en s'assurant d'être en dessous du ligament inguinal et au-dessus de l'embranchement de l'artère fémorale profonde (figure 3.6 C, C').

Figure 3.6 : Étapes de la simulation de l'approche percutanée de l'artère fémorale

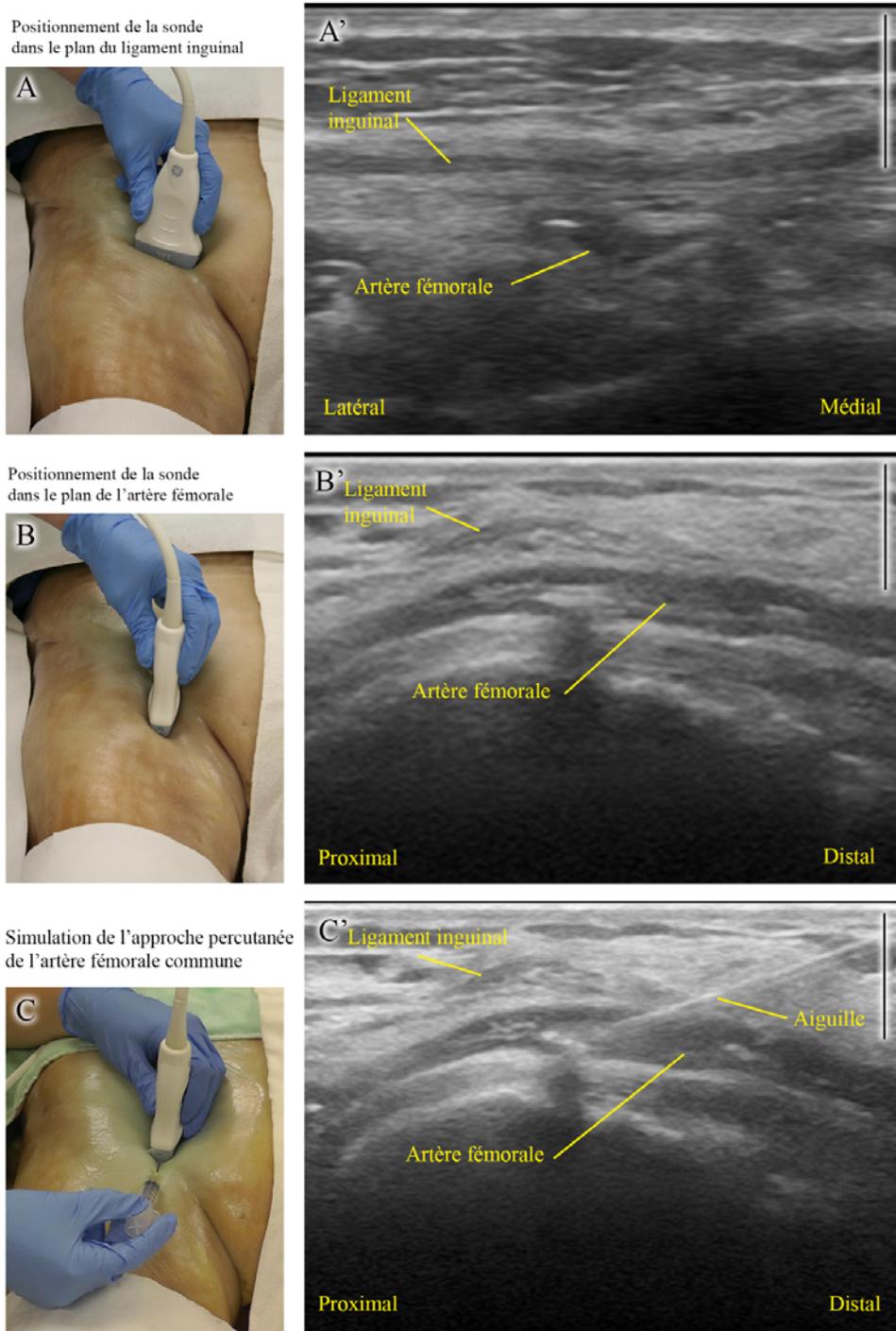


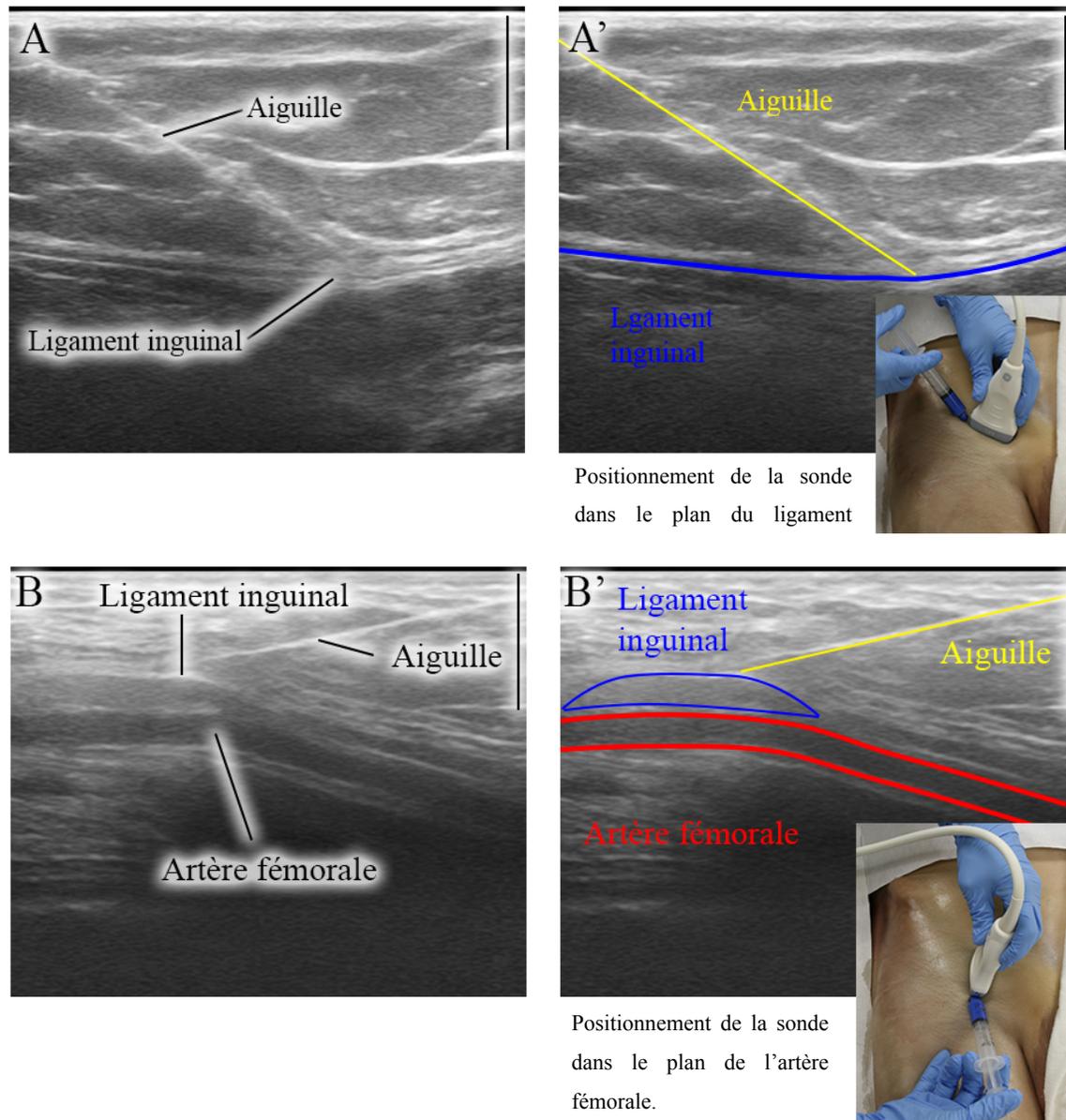
Illustration des 3 étapes de la simulation de l'approche percutanée écho-guidée. Les positionnements de la sonde (A, B, C) concordent avec les images échographiques (A', B', C'). Ces figures ont été extraites de la vidéo disponible en Annexe. Barre d'échelle = 1cm.

Validation de l'identification de structures à l'échographe

La validation de l'identification des structures visibles par échographie a été effectuée sur 2 cadavres (4 régions inguinales), par injection de latex sur le ligament inguinal et dans l'artère fémorale commune qui est ensuite visible après dissection. La figure 3.7 illustre l'injection de latex sur le ligament inguinal qui a été effectuée dans les 2 plans de visualisation, en A l'injection se déroule avec la sonde dans le plan du ligament inguinal alors qu'en B, l'injection est réalisée dans le plan de l'artère fémorale.

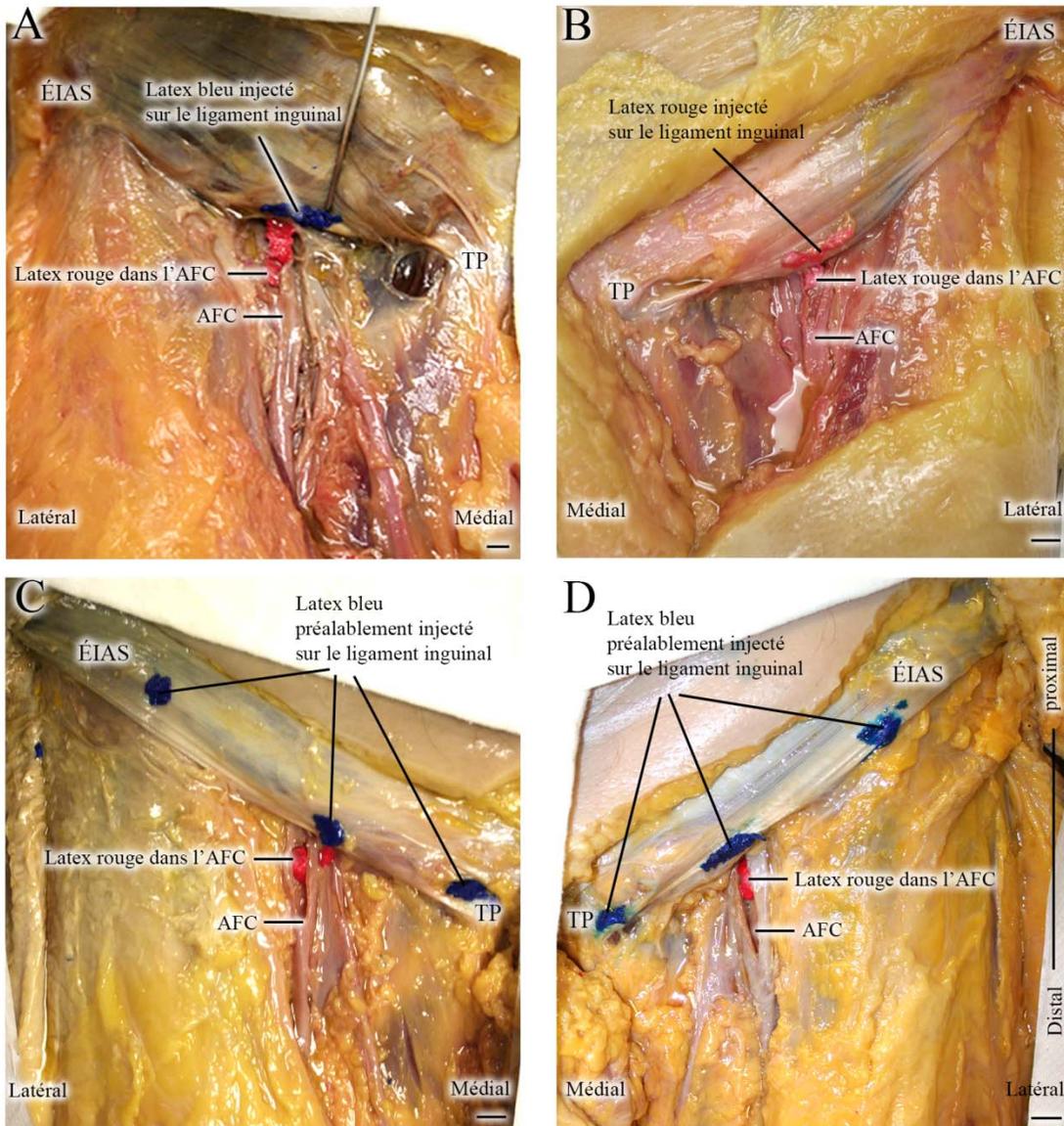
L'étape finale consiste à disséquer la région inguinale suite à l'injection de latex. La figure 3.8 montre la dissection de la région sur les jambes droites et gauches des 2 corps préalablement injectés sur le ligament inguinal et l'artère fémorale commune de façon échoguidée. Les photographies en A et en B présentent les régions inguinales droite et gauche du premier corps. En A le latex de couleur bleu est bien visible sur le ligament inguinal et le latex rouge est présent dans l'artère fémorale. Toutefois, il y a un peu de latex rouge retrouvé à l'extérieur de l'artère fémorale qui a été accidentellement injecté avant d'avoir introduit l'aiguille correctement dans l'artère fémorale commune. En B, c'est du latex rouge qui a été injecté sur le ligament inguinal et qui est aussi injecté et visible dans l'artère fémorale commune. Le processus effectué sur un deuxième corps est présenté en C pour la jambe droite et en D pour la jambe gauche. L'injection a été effectuée à 3 endroits sur le ligament inguinal au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure, au-dessus des vaisseaux inguinaux et au niveau du tubercule pubien ce qui permet de valider le positionnement de ces structures. La présence de latex bleu se retrouve bien à ces trois endroits et le latex rouge est aussi visible à l'intérieur de l'artère fémorale commune en C et en D, toutefois, un peu de latex rouge se retrouve aussi à l'extérieur de l'artère dans la photographie en C.

Figure 3.7: Injection de latex sur le ligament inguinal



*Image échographique de l'injection écho-guidée de marqueurs (points de latex). **A** : l'injection est réalisée lorsque la sonde est placée dans le plan du ligament inguinal (photographie du positionnement de la sonde en encart). **B** : l'injection est réalisée lorsque la sonde est placée dans le plan de l'artère fémorale (photographie du positionnement de la sonde en encart). Barre d'échelle = 1cm.*

Figure 3.8 : Dissection de la région inguinale et validation de structures.



Photographies de dissection suite à l'injection de latex écho-guidée. A : Jambe droite du premier corps avec présence de latex bleu sur le ligament inguinal. Le latex rouge injecté dans l'artère fémorale a légèrement fuité à l'extérieur. B : Jambe gauche du même corps avec injection de latex rouge sur le ligament inguinal et dans l'artère fémorale commune. C : Jambe droite d'un 2^e corps disséqué, le latex bleu a été injecté à trois endroits sur le ligament inguinal et le latex rouge dans l'artère fémorale commune. D : Jambe gauche de ce même corps avec injection aux mêmes endroits. Légende : TP : Tubercule pubien, AFC : Artère fémorale commune, ÉIAS : Épine iliaque antéro-supérieure. Barre d'échelle = 1cm.

Discussion

Étude radiographique du triangle fémoral

Cette étude anatomique effectuée sur 10 cadavres (20 régions inguinales) embaumés par la méthode classique a démontré une très grande variabilité quant au positionnement de l'artère fémorale commune et du ligament inguinal.

Pour ce qui est du positionnement de l'artère fémorale commune par rapport à la tête fémorale, selon la littérature, l'artère fémorale commune passe devant la tête fémorale dans 92 % des cas (n=126) (Garrett et al., 2005). Dans les 20 cas de notre étude (100%), l'artère fémorale commune passe superficiellement à la tête fémorale. Il est rapporté que l'artère fémorale commune se retrouve dans le tiers médial de la tête fémorale (Cronenwett & Johnston, 2014; Dotter et al., 1978; Grier & Hartnell, 1990). Selon nos résultats, l'artère fémorale commune se retrouve dans le tiers médial dans 70 % des cas (14/20) et dans le tiers central dans 30% des cas (6 /20) (voir la figure 3.5, A). Ces résultats vont dans la même direction que la littérature déjà présente.

Quelques auteurs ont étudié le positionnement de la bifurcation de l'artère fémorale par rapport à la tête fémorale. Le tableau III résume les résultats des différentes études et les compare avec notre étude. La majorité des auteurs divisent la tête fémorale en 2 par une ligne au milieu. Il est rapporté que la bifurcation de l'artère fémorale se retrouve en dessous du milieu de la tête fémorale dans 99 % des cas, mais au-dessus de la bordure inférieure de la tête fémorale dans 20 % des patients sur un total de 126 (Garrett et al., 2005). Aussi, la bifurcation de l'artère fémorale se retrouve en dessous du milieu de la tête fémorale dans 98,5 % (n=200) (Schnyder, Sawhney, Whisenant, Tsimikas, & Turi, 2001). Dans 76 % des cas sur un groupe de 60, la bifurcation se retrouverait en dessous de la bordure inférieure de la tête fémorale, donc 24% des cas au-dessus de la bordure inférieure (Spector & Lawson, 2001). D'autres auteurs divisent la tête fémorale en 3, résultant en un tiers supérieur, moyen et inférieur. Selon Chinikar et al (2014), dans 91,6 % des cas sur 304 patients, la bifurcation se retrouverait en dessous du tiers inférieur de la tête fémorale, mais dans 36,5 % des cas au-dessus de la bordure inférieure. Dans notre étude, la position de la bifurcation fémorale par rapport à la tête fémorale se situe en dessous du milieu de la tête fémorale dans 19 cas (95 %), mais elle se

situe au-dessus de la bordure inférieure de la tête fémorale dans 10 cas (50 %) (voir la figure 3.5, B). En ne tenant compte que du positionnement de l'artère fémorale commune, l'emplacement idéal de la ponction artérielle semble être juste au-dessus du milieu de la tête fémorale, mais en dessous de sa bordure supérieure.

Tableau III: Localisation de la bifurcation de l'artère fémorale par rapport de la tête fémorale.

Auteurs	Nombre de patients	En dessous du milieu de la tête fémorale	Au-dessus de la bordure inférieure de la tête fémorale	En dessous du tiers inférieur de la tête fémorale
Garrett et al. (2005)	126	99%	20%	-
Chinikar et al. (2014)	304	97%	36,5%	91,6 %
Spector et al. (2001)	60	-	24%	-
Schnyder et al. (2001)	200	98,5 %	-	-
Notre étude	10	95%	50%	90%

Le tableau III compare les résultats de différentes études concernant le positionnement de la bifurcation de l'artère fémorale profonde ainsi que les résultats de notre étude.

La longueur de l'artère fémorale, selon à la littérature, est en moyenne de 3,73 cm (Adachi & Hasebe, 1928) et 4,33 cm \pm 1,62 cm (Schnyder et al., 2001). Nos résultats vont dans la même direction, la dissection a démontré que l'artère fémorale commune est de longueur très variable, elle varie entre 1 et 5,5 cm pour une longueur moyenne de 3,77 cm (voir tableau I). La longueur est aussi variable entre les jambes droites et gauches d'un même corps. Selon nos résultats, l'artère fémorale commune semble un peu plus longue chez la femme que chez l'homme, toutefois, le nombre le cas est faible et l'étude n'est pas balancée, elle comprend que 3 femmes comparativement à 7 hommes. Nous n'avons pas observé de lien entre la longueur de l'artère fémorale commune et la taille et poids des corps.

En ce qui a trait au positionnement du creux inguinal, la distance entre le ligament inguinal et le creux inguinal est en moyenne de 6,4 cm pour les hommes et 7,5 cm pour les femmes. De plus, la bifurcation de l'artère fémorale se situe généralement au-dessus du creux

inguinal dans 76,5% des cas dans une étude sur 100 patients (Lechner et al., 1988) et 78 % des cas d'une étude sur 126 patients (Garrett et al., 2005).

Nous avons comparé le positionnement du ligament inguinal par radiographie, qui représente le positionnement fluoroscopique utilisé en clinique, par rapport au positionnement réel du ligament inguinal (voir la figure 3.6). La position radiographique du ligament inguinal est représentée par une ligne droite imaginaire entre l'épine iliaque antéro-supérieure et l'épine du pubis, ses 2 points d'attache. Dans une étude de Rupp et al (1993) réalisée sur 10 cadavres, la position du ligament inguinal estimé par radiographie est approximativement 15,5 mm (de 3 mm en dessous à 24 mm au-dessus) plus hauts que la position réelle du ligament inguinal. Nos résultats vont dans la même direction, ils démontrent que la position estimée par radiographie est en moyenne 13,04 mm (de 8,37 mm à 20,25 mm) au-dessus de la position réelle du ligament inguinal (voir tableau II). Par contre, dans tous les cas, la position réelle du ligament inguinal se situait en dessous de la position radiographique, nous ne l'avons jamais vu au-dessus ou au même niveau. Nos données confirment que le trajet anatomique réel du ligament inguinal n'est pas droit, mais plutôt convexe vers le bas. De plus, il a été démontré que les individus avec un IMC plus élevé présentent un ligament inguinal avec une courbure plus prononcée vers le bas. Dans une étude sur un groupe de 631 patients, 12 % présentaient un ligament inguinal qui s'étendait jusqu'en dessous du milieu de la tête fémorale, ces patients présentaient un indice de masse corporelle significativement plus élevée (Yaganti, Mejevoi, Hasan, Cohen, & Wasty, 2013). Dans la plupart des cas de notre étude (12/20), la courbure du ligament inguinal s'étendait en dessous de la bordure supérieure de la tête fémorale. Cependant, malgré la présence de courbure importante du ligament inguinal, nous n'avons observé aucune courbure du ligament inguinal qui s'étendait jusqu'au milieu de la tête fémorale. Ce qui pourrait être expliqué par l'indice de masse corporelle des cadavres utilisés dans notre étude qui est plutôt faible ($IMC < 30$) en raison de la limite de poids des cadavres recueillis au laboratoire d'anatomie.

En raison du petit nombre de cas de notre étude, les chiffres obtenus ne rejoignent pas ceux décrits dans la littérature, mais les conclusions vont dans la même direction. La localisation radiographique ou fluoroscopique du ligament inguinal n'est pas fiable étant donné l'importante variabilité du trajet du ligament inguinal, particulièrement chez les patients

obèses. Dans l'approche par fluoroscopie, le site idéal de ponction de l'artère fémorale se trouve au niveau du milieu de la tête fémorale, (Rupp et al., 1993) (Baim & Grossman, 2006) toutefois dans certains cas le ligament inguinal peut s'étendre jusqu'en dessous de la tête fémorale et la bifurcation de l'artère fémorale peut se retrouver au-dessus du milieu de la tête fémorale.

En raison de la grande variabilité observée dans le positionnement de l'artère fémorale commune et du ligament inguinal, l'utilisation de la fluoroscopie en clinique ne semble pas suffisante chez les cas plus problématiques où le pouls est faible ou même absent et chez les patients obèses. Malencontreusement, c'est ce type de patients, les patients obèses et présentant de l'athérosclérose, qui nécessitent souvent des interventions nécessitant une ponction artérielle. Les données recueillies au cours de cette étude et la littérature présente sur le sujet appuient l'utilisation de l'échographie pour guider l'approche percutanée de l'artère fémorale.

Étude échographique du triangle fémoral

L'utilisation de l'échographie en clinique pour guider l'approche percutanée a été décrite par quelques auteurs, elle facilite l'accès à l'artère fémorale et permet une réduction des complications (Gedikoglu et al., 2013; Seto et al., 2010; Wacker et al., 1997). Toutefois, un taux de 6,6 % de ponction de l'artère au-dessus du ligament inguinal (c'est-à-dire au niveau de l'artère iliaque externe) est encore observé (M. S. Lee et al., 2014). Étant donné les risques hémorragiques graves d'une ponction au niveau de l'artère iliaque externe, puisqu'elle n'est pas compressible, il est important de développer de nouvelles méthodes permettant une approche basée sur la visualisation du ligament inguinal. En effet, sur vivant l'échographie Doppler permet de bien visualiser l'artère fémorale grâce au flux sanguin et donc la problématique qui persiste est de bien visualiser le ligament inguinal.

Une étude publiée à la fin de mes travaux (Yun et al., 2015) a évalué l'utilisation de la fluoroscopie accompagnée d'une technique basée sur l'identification du ligament inguinal par échographie. C'est la première étude qui utilise l'identification échographique du ligament inguinal pour guider l'approche percutanée de l'artère fémorale et ainsi éviter une ponction trop haute. Le groupe de chercheurs montre la visualisation du ligament inguinal par

échographie et démontre une différence significative entre l'emplacement du ligament inguinal par utilisation d'échographie et de la fluoroscopie. Un accès adéquat à l'artère a été obtenu dans 100 % des cas (n=50), aucune ponction au-dessus du ligament inguinal n'a été observée dans l'étude.

Dans le même ordre d'idée, nous avons développé une méthode échographique simple pour faciliter l'approche percutanée en nous basant sur l'identification du ligament inguinal. La méthode échographique que nous avons développée est aussi applicable chez les patients obèses, la technique étant testée sur 5 cadavres de différent poids (IMC variant de 24,4 à 35,6). La technique de ponction écho-guidée permet la visualisation du ligament inguinal, de l'artère fémorale, de la bifurcation de l'artère fémorale, des plaques d'athérome et de l'aiguille lors de la ponction. Nous démontrons aussi, ce qui n'a jamais été fait auparavant, la validation de la technique par injection de marqueurs (boule de latex coloré) suivie d'une dissection qui permet de confirmer la visualisation du ligament inguinal par échographie ainsi que le site de ponction idéal dans l'artère fémorale commune.

Cette technique de ponction artérielle écho-guidée pourrait grandement faciliter l'approche pour les cliniciens, entre autres en réduisant le nombre d'essais avant une ponction adéquate et en diminuant considérablement les risques de ponction au-dessus du ligament inguinal. L'étude de Yun et al. a déjà démontré une réduction des complications chez les patients et un meilleur taux de succès avec une ponction artérielle écho-guidée basée sur l'emplacement du ligament inguinal. Notre technique développée sur cadavres doit maintenant elle aussi être validée en clinique chez des patients présentant une pathologie nécessitant une ponction artérielle. La validation sur patients permettra d'attester l'utilité de cette nouvelle technique de ponction artérielle écho-guidée.

CHAPITRE 4

Conclusion générale

L'ensemble des travaux de recherche présentés dans ce mémoire a permis de proposer des solutions en réponse à des problèmes cliniques en chirurgie vasculaire afin de réduire les risques des approches de l'artère fémorale. Dans un premier temps, l'étude de la vascularisation cutanée du triangle fémoral a mené à proposer de nouvelles incisions chirurgicales pour limiter la dévascularisation cutanée des plaies et potentiellement diminuer les problèmes de cicatrisation observés. Ensuite, nous avons validé l'identification radiographique et échographique de l'artère fémorale à son croisement avec le ligament inguinal afin de faciliter l'identification d'un site adéquat sur l'artère pour la ponction artérielle. Enfin, nous avons développé une méthode échographique simple qui facilite l'approche percutanée de l'artère fémorale, même chez les patients obèses.

Les retombées de ce projet de recherche sont multiples pour les cliniciens. L'ensemble des travaux fournit une meilleure compréhension anatomique tridimensionnelle du triangle fémoral. Les nouvelles techniques proposées dans ce mémoire pourront apporter une amélioration de la pratique chirurgicale et faciliter grandement le travail des médecins. Les résultats et solutions proposées dans le premier volet de recherche ont d'abord été présentés au congrès annuel de l'association des chirurgiens vasculaires du Québec où ils ont suscité un grand intérêt. Ces résultats sont aussi acceptés pour publication dans la meilleure revue internationale de chirurgie vasculaire. Enfin, la deuxième partie des résultats de ce mémoire sera présentée au congrès annuel de la société canadienne de chirurgie vasculaire en septembre.

Ces propositions établies à partir de méthodologie sur cadavres devront maintenant être testées en clinique par les professionnels de la santé. Cette validation confirmera si les approches proposées sont réalisables sur patient, si elles facilitent le travail du chirurgien, pour quelles interventions et quelles problématiques ces techniques doivent être priorisées et si elles entraînent une diminution des complications suite aux approches de l'artère fémorale.

Cette étude cadavérique a été réalisée, en grande partie, sur des cadavres embaumés selon la méthode développée par le Professeur Walter Thiel (1992b, 2002) qui utilise un liquide d'embaumement à base de sels et qu'un faible pourcentage de formaldéhyde. Cette méthode d'embaumement est reconnue pour ses caractéristiques spécifiques de flexibilité et de souplesse, elle conserve les couleurs et textures des tissus qui lui fournissent un aspect très semblable au vivant (Balta, Cronin, Cryan, & O'Mahony, 2015; Benkhadra, Gerard, et al., 2011; Jaung, Cook, & Blyth, 2011). Plusieurs auteurs décrivent l'utilisation des cadavres Thiel dans divers projets de recherche, pour l'utilisation de techniques d'imagerie et la simulation de chirurgies (Desroches, Grabs, & Grabs, 2013; Eisma, Lamb, & Soames, 2013; Prasad Rai et al., 2012). La souplesse des corps est une caractéristique indispensable pour la réalisation des diverses techniques utilisées dans cette étude, entre autres, pour l'injection de latex radio-opaque dans le réseau artériel, l'utilisation de l'échographie, l'injection écho-guidée de marqueurs ainsi que la prise de radiographie dans diverses positions.

Une courte section de notre méthodologie a été effectuée sur des cadavres embaumés classiquement, qui sont beaucoup plus rigides en raison de l'utilisation d'un liquide d'embaumement à base de formaldéhyde. Bien qu'il soit impossible de réaliser une telle étude sur des cadavres classiques, leur utilisation s'est avérée utile pour la dissection et la prise de radiographies en position fixe antéro-postérieure. Cependant, les tissus de ces cadavres sont rigides et ne permettent pas de mouvements des articulations, ils ne peuvent pas être utilisés par l'échographie et les membres ne peuvent pas être bougés afin de fournir des radiographies dans divers angles. L'utilisation des cadavres Thiel est donc indispensable aux développements de tels projets cliniques, notre étude démontre qu'ils constituent un modèle anatomique de choix pour répondre à des questionnements cliniques en chirurgie vasculaire, mais aussi dans le développement d'une multitude de projets de recherche.

De plus, le modèle d'analyse développé et proposé dans ce projet de recherche sera grandement utile dans de futurs projets afin de proposer des solutions à d'autres questionnements retrouvés dans la pratique clinique. Les techniques développées pour l'étude de la vascularisation fine pourraient, entre autres, être utilisées dans d'autres régions anatomiques où l'on y retrouve également des problèmes de cicatrisation. En plus d'être utilisée en chirurgie vasculaire, l'injection spécifique d'une artère est idéale pour l'étude de lambeaux en chirurgie plastique. Cette collaboration entre l'Université du Québec à Trois-

Rivières et le Centre Intégré Universitaire de Santé et des Services Sociaux de Trois-Rivières ouvre les portes pour le développement d'autres projets de recherche prometteurs pouvant répondre à des questionnements cliniques.

Bibliographie

- Adachi, B., & Hasebe, K. (1928). *Anatomie der Japaner 2: Das Arteriensystem der Japaner* (Vol. 2). Kyoto: Kaiserlich-Japanischen Universitat zu Kyoto.
- Allaire, E., Guettier, C., Bruneval, P., Plissonnier, D., & Michel, J. B. (1994). Cell-free arterial grafts: morphologic characteristics of aortic isografts, allografts, and xenografts in rats. *J Vasc Surg*, 19(3), 446-456.
- Ammann, P., Brunner-La Rocca, H. P., Angehrn, W., Roelli, H., Sagmeister, M., & Rickli, H. (2003). Procedural complications following diagnostic coronary angiography are related to the operator's experience and the catheter size. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 59(1), 13-18.
- Baim, D. S., & Grossman, W. (2006). *Grossman's cardiac catheterization, angiography, and intervention*. Philadelphia, pennsylvanie: Lippincott, Williams & Wilkins.
- Balta, J. Y., Cronin, M., Cryan, J. F., & O'Mahony, S. M. (2015). Human preservation techniques in anatomy: A 21st century medical education perspective. *Clin Anat*, 28(6), 725-734.
- Benkhadra, M., Bouchot, A., Gerard, J., Genelot, D., Trouilloud, P., Martin, L., . . . Feigl, G. (2011). Flexibility of Thiel's embalmed cadavers: the explanation is probably in the muscles. *Surg Radiol Anat*, 33(4), 365-368.
- Benkhadra, M., Gerard, J., Genelot, D., Trouilloud, P., Girard, C., Anderhuber, F., & Feigl, G. (2011). Is Thiel's embalming method widely known? A world survey about its use. *Surg Radiol Anat*, 33(4), 359-363.
- Caiati, J. M., Kaplan, D., Gitlitz, D., Hollier, L. H., & Marin, M. L. (2000). The value of the oblique groin incision for femoral artery access during endovascular procedures. *Annals of vascular surgery*, 14(3), 248-253.
- Chaikof, E. L., & Cambria, R. P. (2014). *Atlas of vascular surgery and endovascular therapy : anatomy and technique*. Philadelphia, Pennsylvanie: Elsevier Saunders.
- Chester, J. F., Butler, C. M., & Taylor, R. S. (1992). Vascular reconstruction at the groin: oblique or vertical incisions? *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 74(2), 112-114.
- Chinikar, M., Ahmadi, A., Heidarzadeh, A., & Sadeghipour, P. (2014). Imaging or trusting on surface anatomy? A comparison between fluoroscopic guidance and anatomic

landmarks for femoral artery access in diagnostic cardiac catheterization. A randomized control trial. *Cardiovascular intervention and therapeutics*, 29(1), 18-23.

Chuter, T. A., Reilly, L. M., Stoney, R. J., & Messina, L. M. (1998). Femoral artery exposure for endovascular aneurysm repair through oblique incisions. *J Endovasc Surg*, 5(3), 259-260.

Constans, J., Luizy, R., Luizy, F., Société française de médecine, v., Collège des enseignants de médecine, v., & Collège français de pathologie, v. (2010). *Traité de médecine vasculaire: principes de base, maladies artérielles* (Vol. 1). Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

Cronenwett, J. L., & Johnston, K. W. (2014). *Rutherford's vascular surgery* (8 éd. Vol. 2). Pennsylvanie, Philadelphie: Elsevier Saunders.

Desroches, J., Grabs, U., & Grabs, D. (2013). Selective ultrasound guided pectoral nerve targeting in breast augmentation: How to spare the brachial plexus cords? *Clin Anat*, 26(1), 49-55.

Dotter, C. T., Rosch, J., & Robinson, M. (1978). Fluoroscopic guidance in femoral artery puncture. *Radiology*, 127(1), 266-267. doi: 10.1148/127.1.266

Dudeck, O., Teichgraeber, U., Podrabsky, P., Lopez Haenninen, E., Soerensen, R., & Ricke, J. (2004). A randomized trial assessing the value of ultrasound-guided puncture of the femoral artery for interventional investigations. *The international journal of cardiovascular imaging*, 20(5), 363-368.

Eisma, R., Lamb, C., & Soames, R. W. (2013). From formalin to Thiel embalming: What changes? One anatomy department's experiences. *Clin Anat*, 26(5), 564-571.

Ellis, S. G., Bhatt, D., Kapadia, S., Lee, D., Yen, M., & Whitlow, P. L. (2006). Correlates and outcomes of retroperitoneal hemorrhage complicating percutaneous coronary intervention. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 67(4), 541-545.

Forrester, J. C. (1988). Wounds and their management. Dans: Cuschieri A, Giles GR, Moussa, AR Éds. *Essential surgical practice: higher surgical training in general surgery* (2 éd., pp. 3-15). U.K.: Butterworth-Heinemann: CRC Press Taylor & Francis Group.

Garrett, P. D., Eckart, R. E., Bauch, T. D., Thompson, C. M., & Stajduhar, K. C. (2005). Fluoroscopic localization of the femoral head as a landmark for common femoral artery cannulation. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 65(2), 205-207.

Gedikoglu, M., Oguzkurt, L., Gur, S., Andic, C., Sariturk, C., & Ozkan, U. (2013). Comparison of ultrasound guidance with the traditional palpation and fluoroscopy

- method for the common femoral artery puncture. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 82(7), 1187-1192.
- Giovannacci, L., Renggli, J. C., Eugster, T., Stierli, P., Hess, P., & Gurke, L. (2001). Reduction of groin lymphatic complications by application of fibrin glue: preliminary results of a randomized study. *Annals of vascular surgery*, 15(2), 182-185.
- Grier, D., & Hartnell, G. (1990). Percutaneous femoral artery puncture: practice and anatomy. *Br J Radiol*, 63(752), 602-604.
- Grossman, M. (1974). How to miss the profunda femoris. *Radiology*, 111(2), 482.
- Hamman, J. L., Jernigan, W. R., Miller, F. B., & Fulton, R. L. (1983). Oblique incision of the groin for vascular reconstruction at the femoral level. *Surgery, gynecology & obstetrics*, 157(1), 80-81.
- Huggins, C. E., Gillespie, M. J., Tan, W. A., Laundon, R. C., Costello, F. M., Darrah, S. B., . . . Stouffer, G. A. (2009). A prospective randomized clinical trial of the use of fluoroscopy in obtaining femoral arterial access. *The Journal of invasive cardiology*, 21(3), 105-109.
- Jacobi, J. A., Schussler, J. M., & Johnson, K. B. (2009). Routine femoral head fluoroscopy to reduce complications in coronary catheterization. *Proceedings (Baylor University Medical Center)*, 22(1), 7-8.
- Jaung, R., Cook, P., & Blyth, P. (2011). A comparison of embalming fluids for use in surgical workshops. *Clin Anat*, 24(2), 155-161.
- Jonsson, G. (1949). Thoracic aortography by means of a cannula inserted percutaneously into the common carotid artery. *Acta radiol*, 31(5-6), 376-386.
- Kamina, P., & Martinet, C. (2006). *Anatomie clinique: anatomie générale- membres* (3e éd. Vol. 1). Paris, France: Maloine.
- Kannel, W. B., Dawber, T. R., Kagan, A., Revotskie, N., & Stokes, J., 3rd. (1961). Factors of risk in the development of coronary heart disease--six year follow-up experience. The Framingham Study. *Ann Intern Med*, 55, 33-50.
- Kent, K. C., Bartek, S., Kuntz, K. M., Anninos, E., & Skillman, J. J. (1996). Prospective study of wound complications in continuous infrainguinal incisions after lower limb arterial reconstruction: incidence, risk factors, and cost. *Surgery*, 119(4), 378-383.
- Kuchulakanti, P. K., Satler, L. F., Suddath, W. O., Pichard, A. D., Kent, K. M., Pakala, R., . . . Waksman, R. (2004). Vascular complications following coronary intervention correlate with long-term cardiac events. *Catheterization and cardiovascular*

interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions, 62(2), 181-185.

- Lechner, G., Jantsch, H., Waneck, R., & Kretschmer, G. (1988). The relationship between the common femoral artery, the inguinal crease, and the inguinal ligament: a guide to accurate angiographic puncture. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 11(3), 165-169.
- Lee, E. S., Santilli, S. M., Olson, M. M., Kuskowski, M. A., & Lee, J. T. (2000). Wound infection after infrainguinal bypass operations: multivariate analysis of putative risk factors. *Surgical infections*, 1(4), 257-263.
- Lee, M. S., Applegate, B., Rao, S. V., Kirtane, A. J., Seto, A., & Stone, G. W. (2014). Minimizing femoral artery access complications during percutaneous coronary intervention: a comprehensive review. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 84(1), 62-69.
- Manchot, C. (1983). *The cutaneous arteries of the human body*. New York: Springer-Verlag.
- Millward, S. F., Burbridge, B. E., & Luna, G. (1993). Puncturing the pulseless femoral artery: a simple technique that uses palpation of anatomic landmarks. *J Vasc Interv Radiol*, 4(3), 415-417.
- Moore, K. L., & Dalley, A. F. (2001). *Anatomie médicale: aspects fondamentaux et applications cliniques* (J. Milaire, Trad. 4 éd.). Paris, France: De Boeck.
- Nam, J. H., Gahtan, V., Roberts, A. B., & Kerstein, M. D. (1999). Influence of incisional complications on infrainguinal vein bypass graft outcome. *Annals of vascular surgery*, 13(1), 77-83.
- Ohlow, M. A., Secknus, M. A., von Korn, H., Neumeister, A., Wagner, A., Yu, J., & Lauer, B. (2009). Incidence and outcome of femoral vascular complications among 18,165 patients undergoing cardiac catheterisation. *Int J Cardiol*, 135(1), 66-71.
- Ploeg, A. J., Lardenoye, J.-W. P., Peeters, M.-P. F. M. V., Hamming, J. F., & Breslau, P. J. (2009). Wound complications at the groin after peripheral arterial surgery sparing the lymphatic tissue: a double-blind randomized clinical trial. *American journal of surgery*, 197(6), 747-751.
- Pounds, L. L., Montes-Walters, M., Mayhall, C. G., Falk, P. S., Sanderson, E., Hunter, G. C., & Killewich, L. A. (2005). A changing pattern of infection after major vascular reconstructions. *Vascular and endovascular surgery*, 39(6), 511-517.
- Prasad Rai, B., Tang, B., Eisma, R., Soames, R. W., Wen, H., & Nabi, G. (2012). A qualitative assessment of human cadavers embalmed by Thiel's method used in laparoscopic training for renal resection. *Anat Sci Educ*, 5(3), 182-186.

- Raza, Z., Newton, D. J., Harrison, D. K., McCollum, P. T., & Stonebridge, P. A. (1999). Disruption of skin perfusion following longitudinal groin incision for infrainguinal bypass surgery. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*, 17(1), 5-8.
- Rupp, S. B., Vogelzang, R. L., Nemcek, A. A., Jr., & Yungbluth, M. M. (1993). Relationship of the inguinal ligament to pelvic radiographic landmarks: anatomic correlation and its role in femoral arteriography. *J Vasc Interv Radiol*, 4(3), 409-413.
- Sabiston, D. C. (1994). *Atlas of general surgery*. Pennsylvania, Philadelphia W. B. Saunders compagny.
- Schnyder, G., Sawhney, N., Whisenant, B., Tsimikas, S., & Turi, Z. G. (2001). Common femoral artery anatomy is influenced by demographics and comorbidity: implications for cardiac and peripheral invasive studies. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 53(3), 289-295.
- Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2006). *Atlas d'anatomie: anatomie générale et appareil locomoteur* (J. M. Chevallier & R. Douard, Trad. Vol. 1). Paris, France: Maloine. .
- Seto, A. H., Abu-Fadel, M. S., Sparling, J. M., Zacharias, S. J., Daly, T. S., Harrison, A. T., . . . Kern, M. J. (2010). Real-time ultrasound guidance facilitates femoral arterial access and reduces vascular complications: FAUST (Femoral Arterial Access With Ultrasound Trial). *JACC Cardiovascular interventions*, 3(7), 751-758.
- Shiloh, A. L., & Eisen, L. A. (2010). Ultrasound-guided arterial catheterization: a narrative review. *Intensive care medicine*, 36(2), 214-221.
- Slappy, A. L. J., Hakaim, A. G., Oldenburg, W. A., Paz-Fumagalli, R., & McKinney, J. M. (2003). Femoral incision morbidity following endovascular aortic aneurysm repair. *Vascular and endovascular surgery*, 37(2), 105-109.
- Spector, K. S., & Lawson, W. E. (2001). Optimizing safe femoral access during cardiac catheterization. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 53(2), 209-212.
- Szilagyi, D. E., Smith, R. F., Elliott, J. P., & Vrandecic, M. P. (1972). Infection in arterial reconstruction with synthetic grafts. *Ann Surg*, 176(3), 321-333.
- Testut, L. (1921). *Traité d'anatomie humaine: Angéiologie*. (Vol. 2). Paris, France: Gaston Doin.

- Thiel, W. (1992a). An arterial substance for subsequent injection during the preservation of the whole corpse. *Annals of anatomy*, 174(3), 197-200.
- Thiel, W. (1992b). The preservation of the whole corpse with natural color. *Annals of anatomy*, 174(3), 185-195.
- Thiel, W. (2002). [Supplement to the conservation of an entire cadaver according to W. Thiel]. *Annals of anatomy = Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft*, 184(3), 267-269.
- Turtiainen, J., Saimanen, E., Partio, T., Karkkainen, J., Kiviniemi, V., Makinen, K., & Hakala, T. (2010). Surgical wound infections after vascular surgery: prospective multicenter observational study. *Scandinavian journal of surgery : SJS : official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society*, 99(3), 167-172.
- Wacker, F., Wolf, K. J., & Fobbe, F. (1997). Percutaneous vascular access guided by color duplex sonography. *European radiology*, 7(9), 1501-1504.
- Watson, D. R., Tan, J., Wiseman, L., Ansel, G. M., Botti, C., George, B., & Snow, R. (2004). Oblique groin incision for endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *The heart surgery forum*, 7(5), E515-518.
- Whitmore, I. (1998). *Terminologia anatomica = International anatomical terminology*. Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- Wind, G. G., & Valentine, R. J. (2013). *Anatomic Exposures in Vascular Surgery*. Philadelphia, Pennsylvania: Wolters Kluwer Health.
- Yaganti, V., Mejevoi, N., Hasan, O., Cohen, M., & Wasty, N. (2013). Pitfalls associated with the use of current recommendations for fluoroscopy-guided common femoral artery access. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions*, 81(4), 674-679.
- Yun, S. J., Nam, D. H., & Ryu, J. K. (2015). Femoral Artery Access Using the US-Determined Inguinal Ligament and Femoral Head as Reliable Landmarks: Prospective Study of Usefulness and Safety. *J Vasc Interv Radiol*, 26(4), 552-559.

Annexe

Vidéo de la simulation sur cadavre de notre technique développée pour l'approche percutanée écho-guidée.

