

UNIVERSITE DE LILLE – SECTEUR DROIT ET SANTE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2022

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Évaluation de la récupération sensitive en fonction de la
perméabilité artérielle dans les sections des pédicules
digitaux palmaires**

Présentée et soutenue publiquement le 28 Avril 2022
à 18 heures au Pôle Formation

Par ZIAD ABDALLAH

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Christophe CHANTELOT

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Carlos MAYNOU

Monsieur le Professeur Xavier DEMONDION

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Marc SAAB

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

BMRC	<i>British Medical Research Council</i>
CCAM	Classification Commune des Actes Médicaux
DIM	Département de l'Information Médicale
DN4	Douleur Neuropathique en 4 Questions
QuickDASH	<i>Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand</i>
S2PD	<i>Static Two-Point Discrimination</i> (ou Test de Weber Statique)
SMI	<i>Superb Microvascular Imaging</i>
SVR	<i>Systolic Velocity Ratio</i>
VSM	Vitesse Systolique Maximale

Sommaire

Avertissement.....	2
Liste des abréviations.....	3
Sommaire	4
Introduction.....	6
Matériel et méthodes.....	12
1 Plan expérimental.....	12
2 Patients	13
3 Geste chirurgical	14
4 Inclusion des patients.....	14
5 Recueil des données.....	15
5.1 Données cliniques et démographiques.....	15
5.2 Données paracliniques.....	17
6 Critères de jugement.....	20
6.1 Objectif principal.....	20
6.2 Objectifs secondaires.....	21
7 Analyse statistique	21
Résultats.....	23
1 Données démographiques	23
2 Critère de jugement principal	28
3 Critères de jugement secondaires.....	29
3.1 La collatéralité artérielle	29
3.2 Résultats fonctionnels	29
3.2.1 Intolérance au froid	29

3.2.2	Douleur neuropathique	29
3.2.3	« Hot Point »	30
3.2.4	QuickDASH.....	30
3.3	Calibre artériel et Systolic Velocity Ratio.....	30
	Discussion	33
	Conclusion.....	41
	Liste des Tableaux	42
	Liste des figures	43
	Références	44
	Annexes.....	50

Introduction

Les sections des nerfs digitaux palmaires propres de la main constituent les lésions les plus fréquentes des nerfs périphériques. Souvent perçue comme une lésion bénigne, la perte de sensibilité liée aux lésions des nerfs digitaux peut entraîner des conséquences fonctionnelles importantes [1]. Non traitées, ces lésions peuvent être responsables d'un handicap relativement important, lié à une hypoesthésie de la pulpe digitale, une intolérance au froid et des douleurs neuropathiques [2]. La prise en charge de ces lésions a évolué de manière progressive depuis les années 1950. Actuellement, la réparation nerveuse primaire est la règle et constitue une urgence chirurgicale. Avec le développement de la microchirurgie, les techniques chirurgicales de plus en plus fines visent une réparation la plus anatomique possible [3–6]. Celle-ci consiste en une suture épipérineurale avec un bon affrontement des groupes fasciculaires, indispensable pour assurer une repousse nerveuse harmonieuse, et éviter une cicatrisation désordonnée à l'origine du développement d'un névrome. La suture doit être réalisée sans tension pour éviter un étirement et donc une ischémie des fibres nerveuses.

Bien qu'il n'y ait pas de consensus, plusieurs facteurs pronostiques influenceraient la qualité de la récupération nerveuse : l'âge, le tabagisme, la nature de la lésion, la présence de lésions associées (osseuses, tendineuses et/ou artérielles), le délai de réparation, l'expérience du chirurgien, la technique chirurgicale de réparation et la rééducation post-opératoire [7–17]. Le lien entre ces différents facteurs et le pronostic sensitif ne semblait pas être constant dans la littérature. Notre recherche portait particulièrement sur le rapport entre la récupération sensitive et la réparation concomitante de l'artère digitale palmaire en cas de section d'un des pédicules digitaux palmaires propres de la main, la perméabilité artérielle pouvant être un facteur pronostic.

L'importance de la vascularisation des nerfs périphériques sur la régénération nerveuse a été mise en évidence par plusieurs auteurs au niveau des gros troncs nerveux de l'avant-bras [18–22]. Au niveau du poignet, Leclercq et al. [23] ont évalué les résultats cliniques des réparations de lésions traumatiques distales du nerf ulnaire

en fonction de la perméabilité de l'artère ulnaire. Ils retrouvaient une meilleure récupération nerveuse sensitivomotrice chez les patients présentant une artère ulnaire perméable par rapport à ceux présentant une artère non perméable. Merle et al. [24], dans une étude sur les lésions des nerfs médian ou ulnaire au niveau de l'avant-bras, retrouvaient de meilleurs résultats cliniques chez les patients présentant une artère radiale ou ulnaire réparée et perméable par rapport à ceux présentant des artères non réparées ni perméables.

Chaque nerf digital palmaire propre est vascularisé par l'artère digitale palmaire dont il est satellite [25], formant ainsi un pédicule vasculonerveux. Cette vascularisation est assurée par deux systèmes richement anastomosés :

- Un système extrinsèque constitué par l'artère digitale palmaire et ses artérioles nourricières segmentaires à destinée du nerf, présentes sur toute la longueur du doigt.
- Un système intrinsèque composé de la division des artérioles nourricières en branches ascendantes et descendantes à l'origine de deux réseaux anastomotiques, l'un au sein de l'épinèvre et l'autre intrafasciculaire traversant l'endonèvre (Figure 1).

En outre, il existe entre les deux artères digitales palmaires propres un réseau anastomotique riche constitué par trois arcades palmaires, et de nombreuses branches dorsales communicantes [26] (Figure 2). Ceci peut suggérer qu'une lésion d'une des artères pourrait être compensée par la richesse des anastomoses au niveau du doigt. Cependant pour certains auteurs, l'indication d'une réparation systématique de l'artère semblait être évidente pour rétablir l'anatomie vasculaire et assurer une repousse nerveuse de bonne qualité. Néanmoins, il existe peu d'études démontrant l'intérêt de ce geste sur le pronostic de la récupération nerveuse.

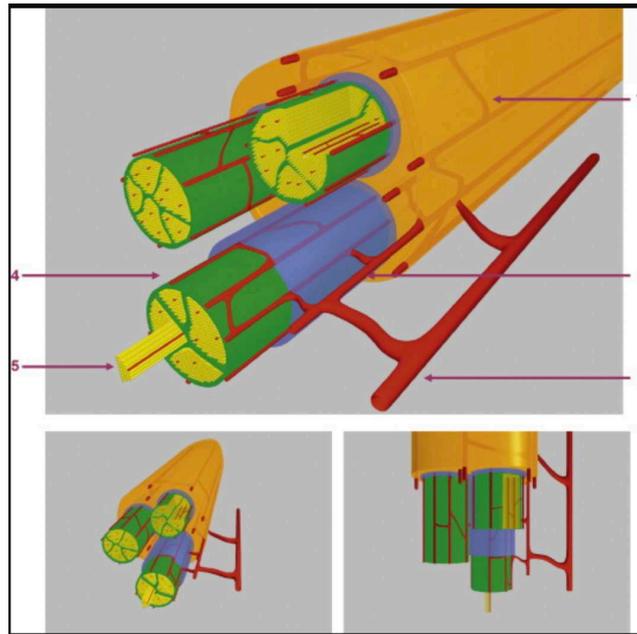


Figure 1 : Vascularisation du nerf périphérique.

1. Plexus vasculaire épineural. 2. Vaisseau nourricier régional. 3. Vaisseau extrinsèque. 4. Vascularisation périneurale. 5. Vascularisation endoneurale. (graphisme : J.-P. Giot et P. Rigoard) [27].

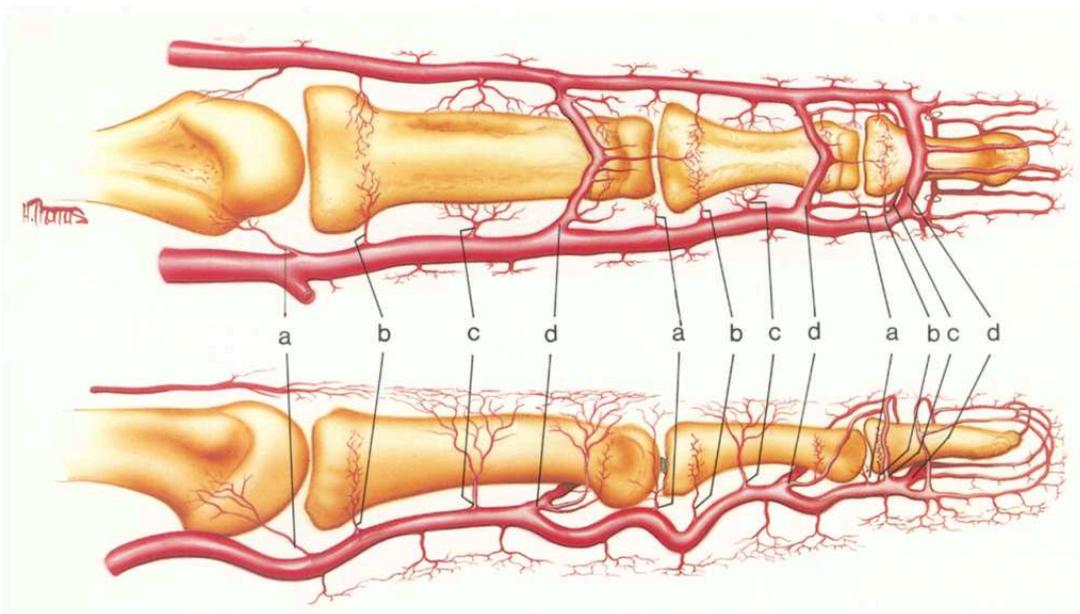


Figure 2 : Vascularisation artérielle des doigts.

a. Branches condyliennes. b. Branches métaphysaires. c. Branches dorsales créant un réseau anastomotique avec l'artère adjacente. d. Branches transversales rétro tendineuses créant les 3 arcades palmaires (Schéma par Strauch B. et de Moura W.) [26].

Les premiers auteurs évaluant le caractère pronostique de la présence d'une lésion artérielle dans les sections des nerfs digitaux étaient :

- Altissimi et al. [14] (1991), qui comparaient des artères digitales saines versus des artères non réparées.
- Elias et al. [28] (1994), qui comparaient des artères digitales saines versus des artères sectionnées réparées.

La récupération de la sensibilité ne semblait pas être influencée par la présence d'une lésion artérielle dans ces deux séries. Cependant, aucune conclusion ne pouvait en être tirée sur l'intérêt pronostique de la réparation artérielle :

- Les résultats n'étaient pas statistiquement significatifs.
- Aucune évaluation de la perméabilité artérielle n'était réalisée.
- Aucune ne comparait des artères réparées versus des artères non réparées.

En 2009, Hohendorff et al. [29] ont été les premiers à réaliser une étude dont l'objectif principal était l'évaluation des résultats sensitifs en fonction de la présence ou non d'une réparation artérielle associée. Ils ne retrouvaient aucune influence de la réparation artérielle sur la récupération de la sensibilité. Toutefois, la perméabilité des artères réparées était évaluée par un test d'Allen. Malgré la pratique courante de ce test pour évaluer la perméabilité des artères radiale et ulnaire au niveau du poignet, sa fiabilité au niveau digital reste discutable, ne permettant pas de confirmer avec précision l'état de l'artère étudiée [30–32].

Le recours à l'échographie s'est ensuite manifesté dans la littérature. Nous retrouvons seulement quatre études [10,33–35] évaluant l'influence de la perméabilité artérielle sur la récupération sensitive au niveau digital, avec une étude échographique des artères :

- En 2010, Piquet et al. [33] retrouvaient une meilleure récupération sensitive en cas d'artère perméable avec une différence statistiquement significative. Cependant, dans cette série, les artères perméables (25/40) étaient majoritairement des artères saines non lésées (22/25).

- En 2015, Fakin et al. [10] ne retrouvaient aucune influence de la perméabilité artérielle sur la récupération sensitive. Néanmoins, en raison du faible effectif d'artères réparées (11/93), le résultat n'était pas statistiquement significatif.
- En 2017, Pomares et al. [34] avaient uniquement inclus des patients ayant bénéficié d'une réparation microchirurgicale de l'artère et du nerf. Ils retrouvaient une meilleure récupération sensitive en cas d'artère perméable avec une différence statistiquement significative. Cette étude, toutefois la plus pertinente dans la littérature, restait limitée par le faible effectif, et ne permettait pas à elle seule de conclure sur l'indication d'une réparation systématique de l'artère.
- En 2020, Yildiran et al. [35] avaient exclu les réparations artérielles, et comparaient un groupe comprenant des artères lésées non réparées avec un groupe comprenant des artères saines. Ils n'observaient aucune différence significative entre les deux groupes. Cependant, aucune artère réparée n'était incluse dans ce travail.

Comme précisé ci-dessus, il n'existe aujourd'hui pas de consensus sur l'indication de la réparation systématique de l'artère dans les sections unipédiculaires des pédicules vasculonerveux digitaux palmaires propres. La réalisation de ce geste complémentaire n'est pas anodine, et est à l'origine de :

- Une augmentation significative du coût de l'intervention d'au moins 200 euros :
 - o 333,54 euros pour une réparation de l'artère et du nerf (code CCAM AHCA015) versus 158,11 euros pour une réparation du nerf sans l'artère (code CCAM AHCA023).
 - o Le prix du fil de suture non résorbable 9/0 ou 10/0 supplémentaire utilisé pour réparer l'artère est d'environ 40 à 60 euros.
 - o Le coût supplémentaire lié à la prolongation de la durée de l'intervention (mains d'œuvres et occupation de salle opératoire).

- Une augmentation de la durée de l'intervention, et par conséquent une majoration de l'anxiété du patient, du risque de douleur post-opératoire, d'algoneurodystrophie et d'infection du site opératoire [36].
- Une augmentation du temps de garrot pneumatique au niveau de la racine du membre exposant le patient à des douleurs peropératoires prolongées et, quoique rare, au risque d'ischémie nerveuse [37,38].

De ce fait, pour que le geste soit justifié, il nous semble primordial qu'il soit d'un véritable intérêt pour le patient.

L'objectif principal de l'étude était de comparer la récupération sensitive, à minimum 1 an de la chirurgie, en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire dans les réparations primaires des sections des pédicules vasculonerveux digitaux palmaires propres.

Les objectifs secondaires de l'étude étaient de comparer à minimum 1 an de recul :

- La fréquence de douleur neuropathique, d'un « hot point », d'une intolérance au froid et le score fonctionnel QuickDASH en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire
- La richesse de la collatéralité artérielle péri-lésionnelle en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire.
- La récupération sensitive en fonction de la vitesse du flux artériel et la réduction du calibre artériel au niveau du site lésé pour les artères perméables.

Matériel et méthodes

1 Plan expérimental

L'Étude était comparative, rétrospective et monocentrique visant à évaluer la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle chez les patients opérés d'une réparation nerveuse associée ou non à une réparation artérielle dans les sections des pédicules digitaux palmaires propres avec un recul minimal post-opératoire de 1 an. Le protocole de recherche de ce travail a reçu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes (CPP).

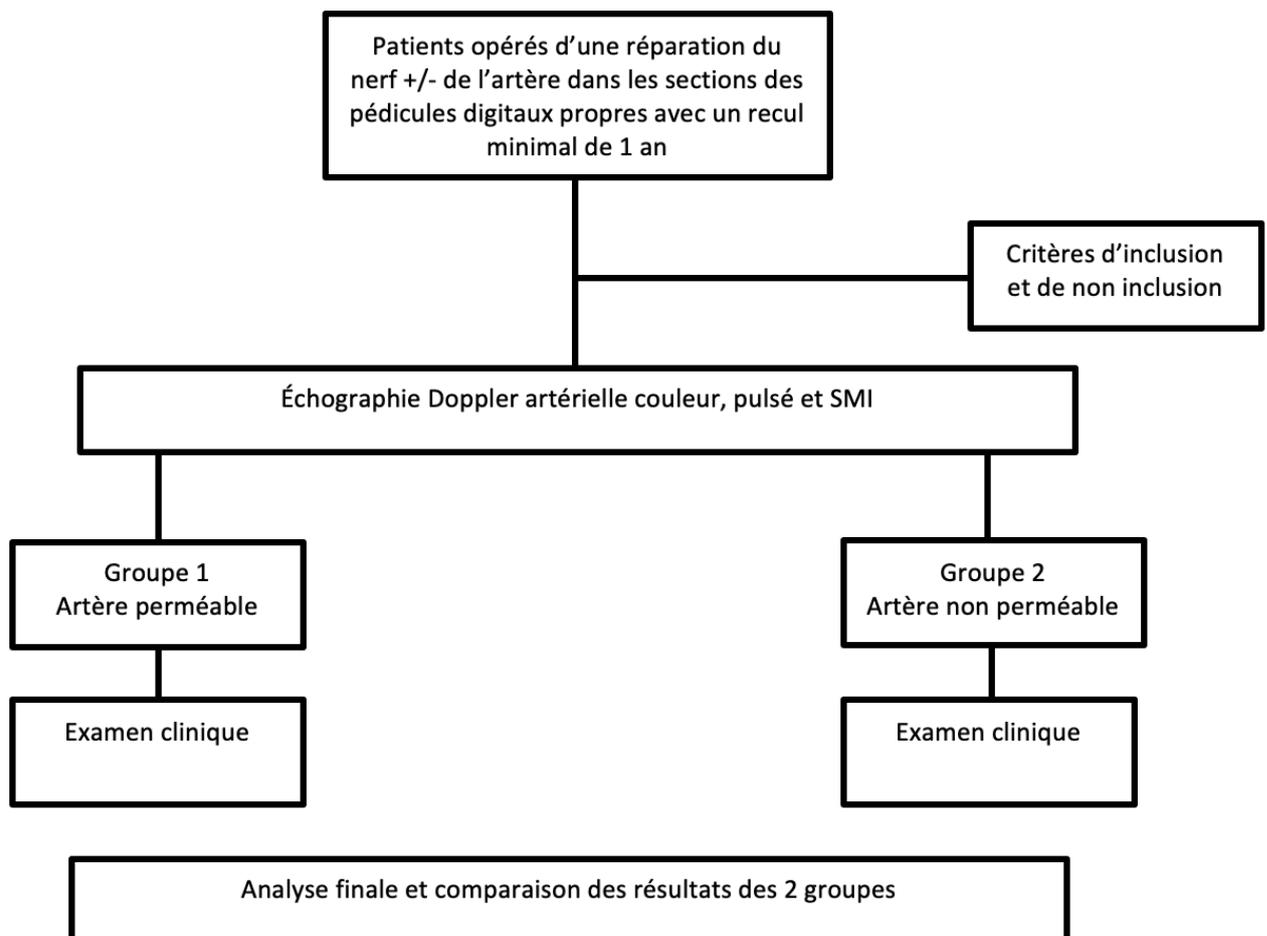


Figure 3 : Plan expérimental.

2 Patients

Sur autorisation de la commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL), une liste nominative des patients ayant bénéficié d'un geste chirurgical codé par AHCA015, AHCA0023, MJCA003, MJCA006, MJMA015 ou MJMA016 dans la classification commune des actes médicaux (CCAM) entre 2018 et 2020, a été demandée auprès du Département d'Information Médicale (DIM). La nature du geste chirurgical, les informations sur le suivi du patient et les données démographiques nécessaires à l'inclusion ont été récupérées sur les compte rendus informatisés sur Sillage, le logiciel informatique d'accès sécurisé du CHU de Lille.

Les **critères d'inclusion** étaient les suivants :

- Âge \geq 18 ans au moment de l'intervention
- Patient ayant présenté section totale d'un pédicule digital palmaire propre
- Lésion unipédiculaire (pédicule adjacent sain)
- Section totale du nerf et de l'artère digitaux palmaires propres
- Réparation primaire du nerf +/- associée à une réparation de l'artère
- Geste réalisé par un chirurgien de la main (chef de clinique des universités-assistant des hôpitaux ou chirurgien senior)
- Recul minimal de 1 an par rapport au geste chirurgical à l'étude
- Consentement éclairé et écrit pour participer à l'étude

Les **critères d'exclusion** étaient les suivants :

- Lésions bipédiculaires
- Antécédent de lésion des pédicules vasculonerveux au niveau du doigt concerné
- Perte de substance nerveuse ou artérielle nécessitant une technique de reconstruction (greffe, pontage etc.)
- Perte de substance cutanée en regard de la lésion et/ou au niveau de l'hémipulpe concernée requérant la réalisation d'un lambeau de couverture
- Reprise chirurgicale en regard de la zone lésée
- Antécédent de pathologies neurologiques et neurovasculaires affectant la sensibilité périphérique des membres supérieurs
- Mineurs et adultes protégés

- Troubles psychiatriques non équilibrés

3 Geste chirurgical

Toutes les réparations pédiculaires ont été réalisées sous microscope ou sous loupes binoculaires chirurgicales (grossissement x 3,5 ou x 4,5) par un chirurgien de la main.

Pour l'artère, une recoupe des moignons artériels était réalisée suivie d'une adventicectomie économe. Une anastomose termino-terminale était ensuite réalisée par des points de suture séparés avec du fil non résorbable de taille 9/0 ou 10/0 en fonction du diamètre de l'artère concernée.

Pour le nerf, une recoupe des extrémités nerveuses était également réalisée pour retrouver du tissu nerveux sain non contus. Une suture épipérineurale termino-terminale était ensuite réalisée par des points séparés au fil non résorbable de taille 8/0, 9/0 ou 10/0 en fonction du diamètre du nerf concerné.

4 Inclusion des patients

Les patients étaient initialement contactés par appel téléphonique : une information complète orale concernant l'étude et ses modalités était communiquée. Un délai de réflexion raisonnable d'au moins 2 semaines était laissé au participant afin de confirmer ou non sa participation à l'étude. Une date de visite au CHU de Lille était ensuite fixée.

Une information complète et écrite décrivant le déroulement de la visite était adressée aux patients avec la convocation à la consultation. Les modalités d'information étaient conformes aux dispositions de l'article L.1122-1 du code de la santé publique (Annexe 1). Pour chaque patient, un consentement éclairé, écrit et signé était recueilli avant son entrée dans l'étude. Aucun acte spécifique au protocole n'a été réalisé sans l'accord signé du patient. Le formulaire de consentement (Annexe 2) était établi en 3 exemplaires : un remis au patient, un conservé par l'investigateur et un conservé par le promoteur en toute confidentialité.

5 Recueil des données

Les compte-rendu opératoires et de consultation, les caractéristiques démographiques et les informations nécessaires à l'inclusion des patients ont initialement été recueillies à partir des dossiers informatiques sur le logiciel sécurisé Sillage du CHU de Lille. Ces informations ont systématiquement été vérifiées lors de l'interrogatoire. Chaque patient a bénéficié d'une consultation pour réévaluation clinique par un chirurgien de la main et d'une échographie par un radiologue spécialisé en imagerie musculo-squelettique. **Chaque examinateur recueillait ses données en insu des résultats de l'examen de l'autre.**

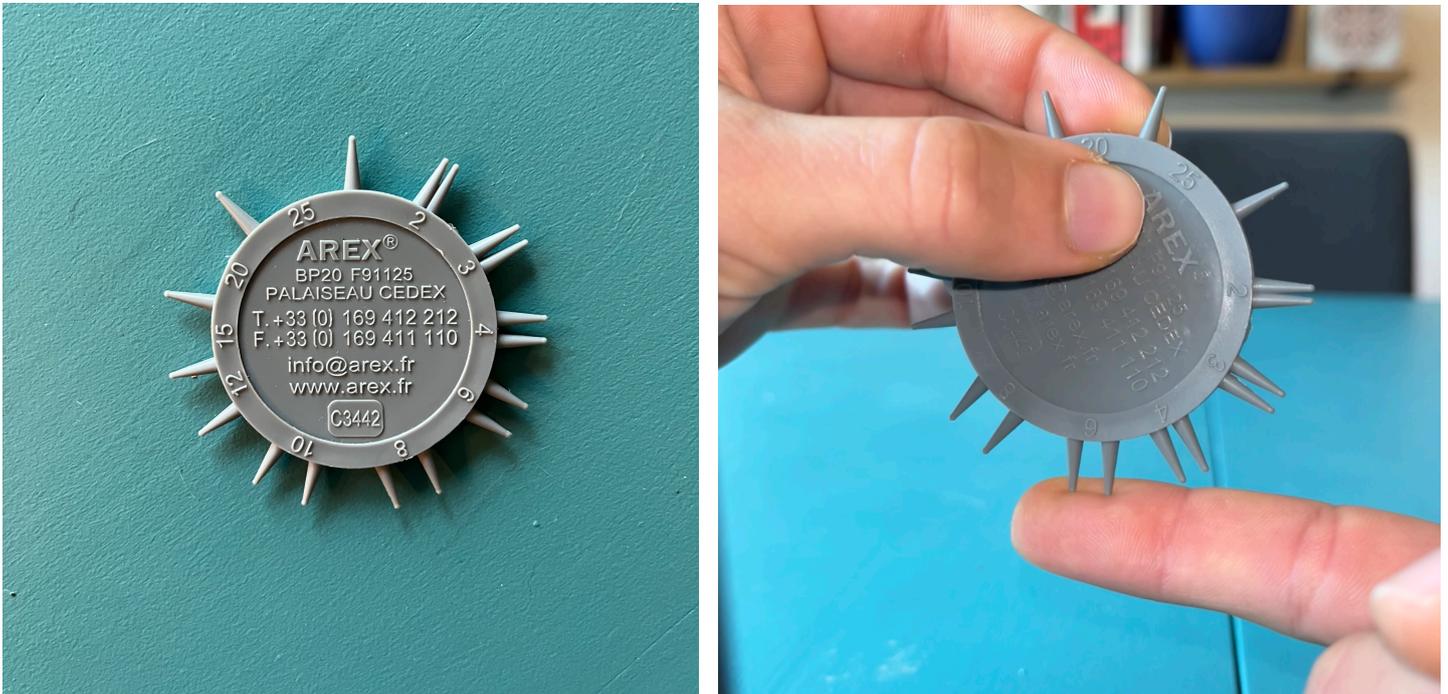
5.1 Données cliniques et démographiques

Le recueil des données cliniques a été réalisé par un examinateur unique pour tous les patients inclus. Un interrogatoire détaillé était mené au début de la consultation pour recueillir les informations suivantes : sexe, âge, profession, membre dominant, tabagisme, antécédents médicaux et chirurgicaux, localisation de la plaie, lésions associées (fracture des phalanges et/ou lésion tendineuse), date de l'intervention, le délai de la prise en charge chirurgicale et la **présence d'une intolérance au froid**. Cette dernière, définie par Campbell et al. [39], était considérée présente en cas d'apparition d'au moins un des symptômes suivants dans les suites d'une exposition au froid : une gêne douloureuse, une raideur ou une altération de la sensibilité. Une modification isolée de la coloration cutanée n'était pas retenue comme une intolérance au froid.

L'examen clinique était ensuite réalisé pour :

- La réalisation d'un **test de Weber statique ou Static Two-Point Discrimination (s2PD)** à l'aide d'un disque de Greulich (Arex, Paris, France) (Figures 4 et 5), au niveau de l'hémi-pulpe du doigt lésé et celle controlatérale saine. Les patients avaient les yeux fermés durant le test. Les deux points étaient appliqués de manière perpendiculaire sur la surface examinée pendant 2 à 3 secondes. **La pression exercée sur la pulpe ne devait pas dépasser le seuil de blanchiment cutané pour permettre une mesure précise.**

- La recherche d'un "**Hot Point**". Celui-ci était considéré présent si le patient présentait des paresthésies douloureuses à la percussion en regard de la zone de réparation, témoignant d'une repousse nerveuse de mauvaise qualité.



Figures 4 et 5 : Test de Weber statique (s2PD).

Gauche : Disque de Greulich (Arex®) ; Droite : Application des deux points sur l'hémipulpe

A la fin de chaque consultation, les questionnaires suivants seront remplis par le patient :

- Le **DN4 (Douleur Neuropathique en 4 Questions)** est un questionnaire dirigé par l'examineur, composé de 4 questions. Le diagnostic de douleur neuropathique était établi devant un score supérieur ou égal à 4/10. [40] (Annexe 3).
- Le **QuickDASH** (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) est un auto-questionnaire pour évaluer le retentissement fonctionnel de la pathologie sur le patient. Le score du QuickDASH est compris entre 0 (aucune incapacité) et 100 (incapacité sévère) (Annexe 4).

5.2 Données paracliniques

Toutes les échographies ont été réalisées par le même radiologue. Une machine unique a servi pour la réalisation de l'ensemble des examens : Canon® Applio i800 avec une sonde « Club de Golf » linéaire i22LH8 à haute fréquence de 22 MHz.

L'examen explorait initialement l'aspect du nerf à la recherche d'un névrome. Une échographie artérielle était ensuite réalisée en mode **Doppler couleur**, **Doppler pulsé** et le **microDoppler Superb Microvascular Imaging (SMI)**. Devant le calibre millimétrique et le caractère superficiel des artères digitales, la sonde échographique était posée délicatement sur la zone explorée pour éviter de créer une sténose artificielle (Figures 6 et 7). Elle évaluait la perméabilité artérielle, le calibre artériel, la vitesse systolique maximale et la richesse de la collatéralité péri-lésionnelle :

- La **perméabilité artérielle** était définie par une continuité de l'artère digitale palmaire propre associée à la mise en évidence d'un signal en Doppler couleur et en SMI sur toute sa longueur. Ceci permettait de définir deux groupes :
 - Groupe 1 : Artère perméable
 - Groupe 2 : Artère non perméable

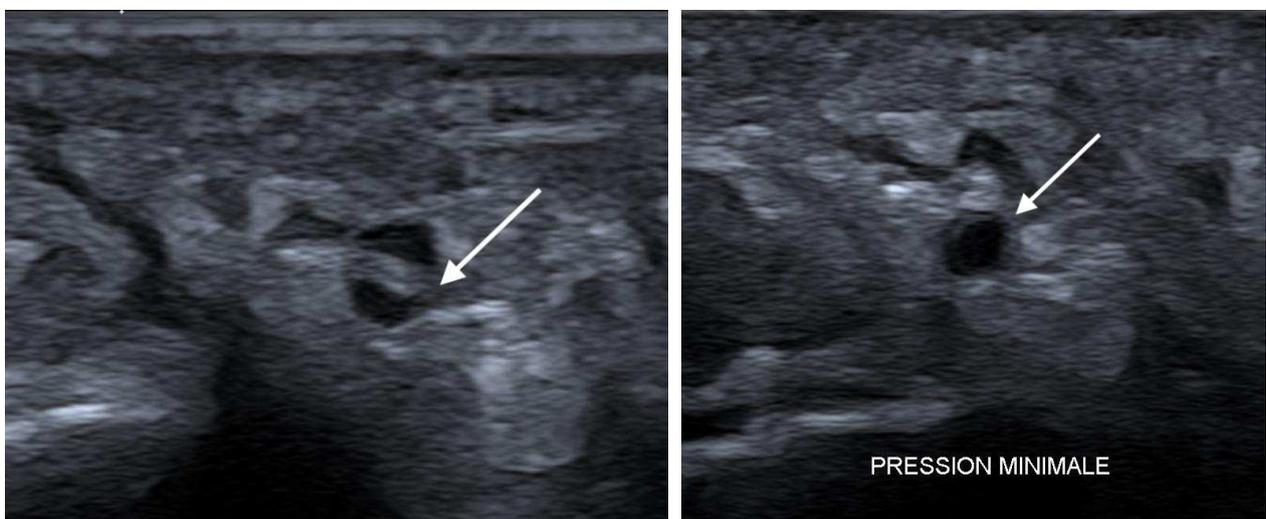


Figure 6 : Exemple d'une sténose artificielle sur une coupe transversale en mode B.

Gauche : Sténose artificielle ; Droite : Calibre normal du même vaisseau.

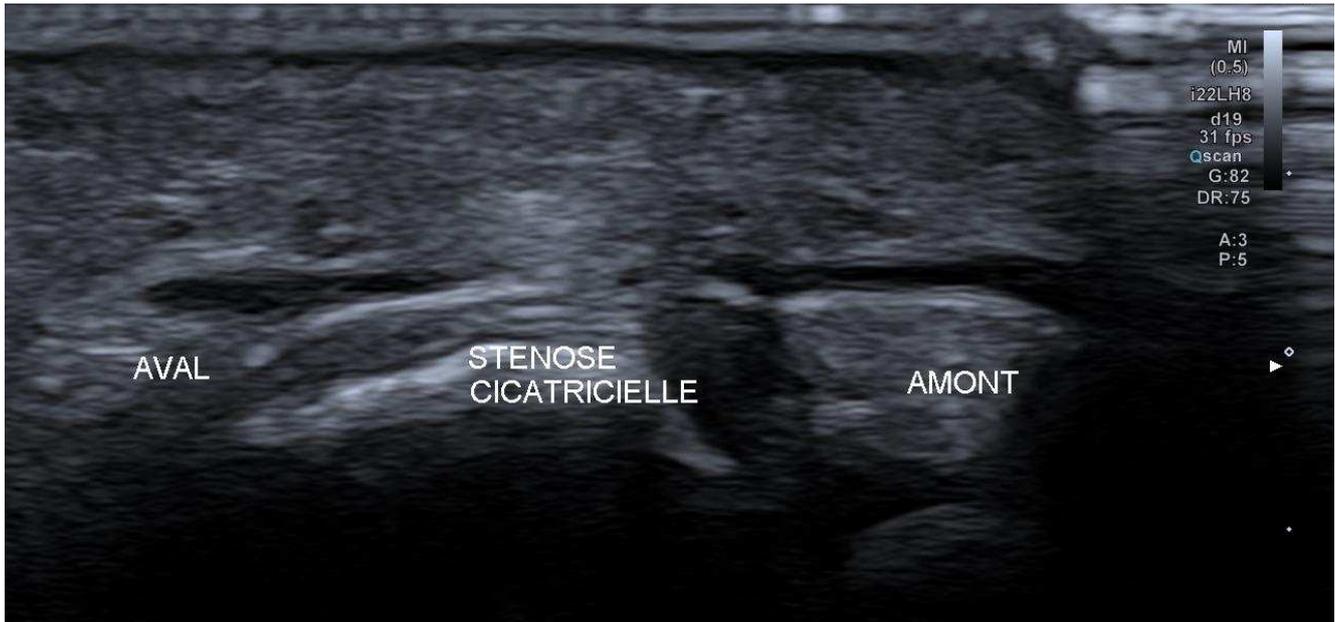


Figure 7 : Image échographique longitudinale en mode B montrant une zone de sténose cicatricielle.

- Le diamètre artériel était mesuré sur des coupes transversales au niveau de la zone réparée et au niveau du segment sain situé immédiatement en amont (Figure 8). **La réduction du calibre artériel** de la zone réparée était définie en pourcentage du diamètre mesuré au niveau du segment sain :

$$\circ \text{ Réduction du calibre artériel} = \frac{\text{Diamètre artériel zone saine}}{\text{Diamètre artériel zone réparée}} \times 100$$

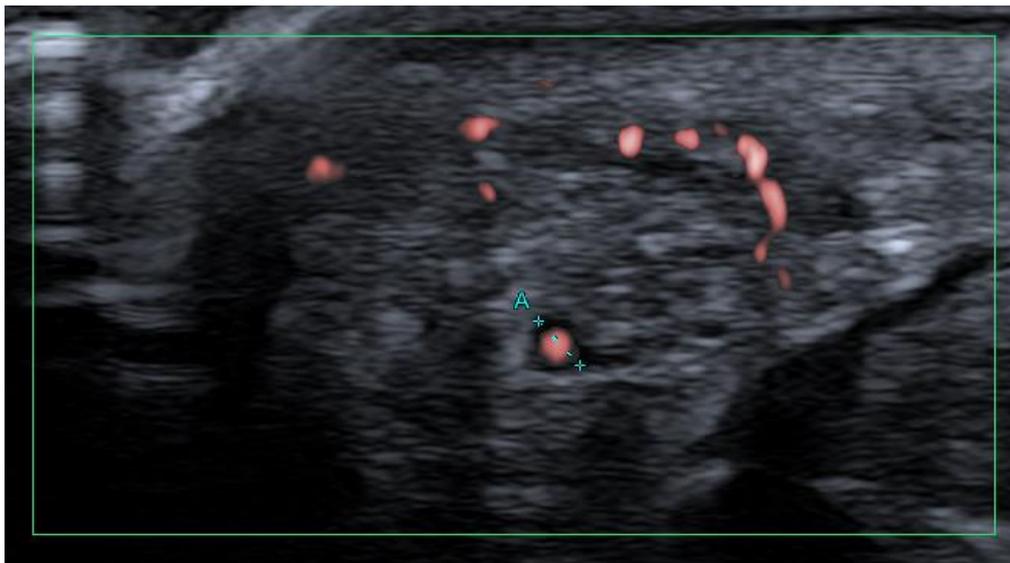


Figure 8 : Mesure du calibre artériel sur une artère perméable, coupe transversale en SMI.

- La vitesse systolique maximale (VSM) était mesurée au niveau de la zone réparée et au niveau d'un segment sain situé au moins 5 mm en amont de la lésion (Figure 9). À partir de ces mesures, on calculait le **Systolic Velocity Ratio (SVR)** défini par le rapport de la vitesse systolique maximale au niveau de la zone réparée sur la vitesse systolique maximale retenue au niveau du segment sain en amont de la lésion :

$$\circ \text{SVR} = \frac{\text{VSM zone réparée}}{\text{VSM zone saine}}$$

Plus la sténose est serrée, plus la VSM est élevée et plus le SVR est important. Ce ratio est habituellement interprété selon des seuils permettant de définir un pourcentage de sténose précis pour les artères carotides [41] et les artères du membre inférieurs [42] (Exemple : $\text{SVR} > 2 \rightarrow \text{Sténose} > 50\%$ en notant que les seuils varient selon les classifications et les auteurs). Il n'existait pas de seuil défini pour des artères présentant un calibre similaire à celui des artères digitales. Nous avons défini la valeur quantitative du SVR comme critère de jugement pour les analyses statistiques.

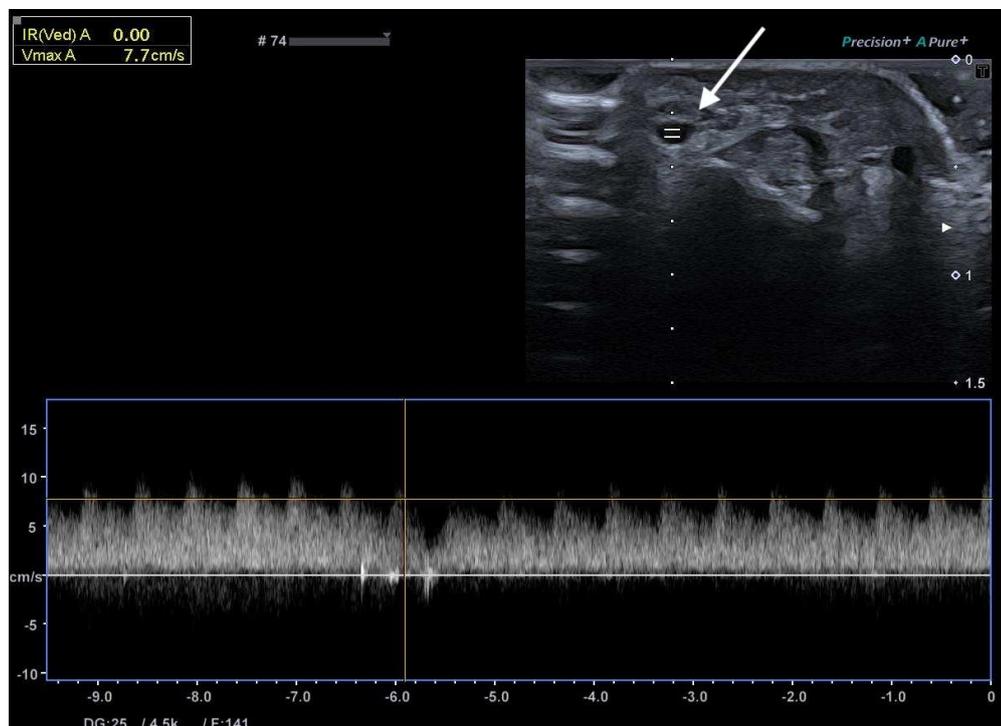


Figure 9 : Mesure de la Vitesse Systolique Maximale (VSM) en mode Doppler pulsé.

- Évaluation de la **collatéralité artérielle** au pourtour de l'artère lésée en trois niveaux (Figure 10) :
 - Absence : Aucune collatéralité artérielle décelable
 - Pauvre : Collatéralité retrouvée en SMI sans traduction en mode Doppler Couleur
 - Riche : Traduction de la collatéralité en SMI ET en Doppler Couleur

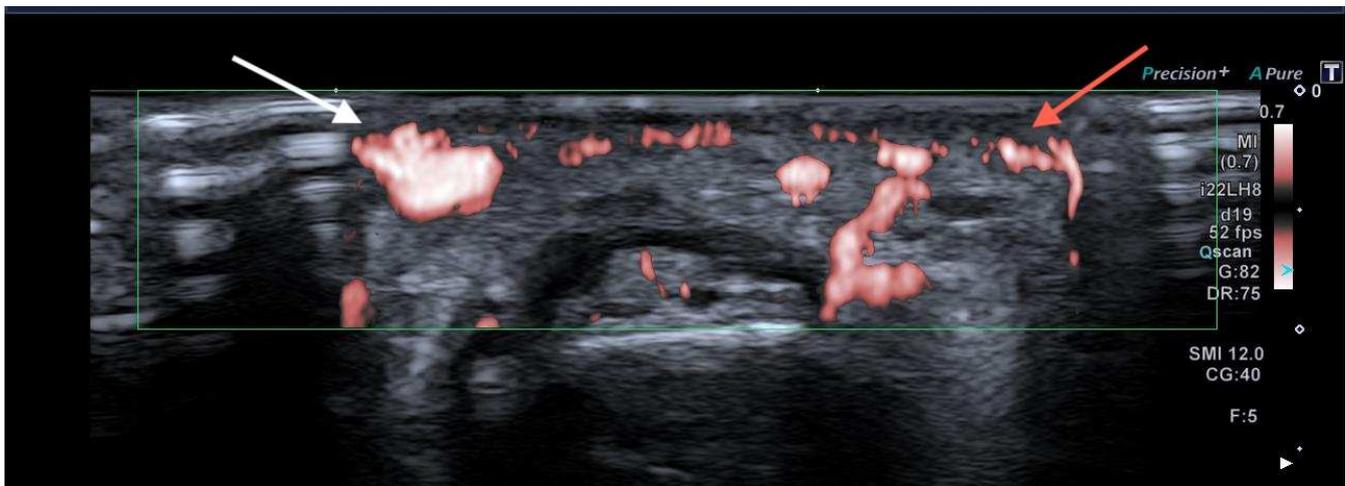


Figure 10 : Richesse de la collatéralité artérielle en SMI, coupe transversale.

Flèche blanche : artère saine non lésée ; Flèche rouge : artère lésée, non réparée, avec un réseau collatéral artériel riche.

6 Critères de jugement

6.1 Objectif principal

Pour répondre à l'objectif principal, deux groupes ont été créés en fonction de la perméabilité artérielle échographique. Le critère de jugement principal était la récupération de la sensibilité discriminative. Celle-ci était définie par la valeur quantitative en millimètre recueillie au **test de Weber statique** ou **s2PD**.

6.2 Objectifs secondaires

Une comparaison des critères de jugement secondaires suivants était réalisée en fonction de la perméabilité artérielle :

- La richesse de la **collatéralité artérielle** péri-lésionnelle
- La **douleur neuropathique** positive définie par un score supérieur ou égal à 4/10 au questionnaire DN4
- La présence d'un « **Hot Point** » définie par la présence de paresthésies douloureuses déclenchées à la percussion de la zone de réparation nerveuse
- La présence d'une **intolérance au froid** à l'interrogatoire
- Le score **QuickDASH** évaluant le retentissement fonctionnel

Pour le groupe perméable, une évaluation de la corrélation entre la récupération sensitive (s2PD) et les critères de jugement secondaires suivants était réalisée :

- La **réduction du calibre artériel**
- Le **Systolic Velocity Ratio (SVR)**

7 Analyse statistique

Les variables qualitatives ont été décrites en termes de fréquences et de pourcentages. Les variables quantitatives ont été décrites par la moyenne et l'écart type ou par la médiane et l'intervalle interquartile. La normalité des distributions a été vérifiée graphiquement et à l'aide du test de Shapiro-Wilk.

Concernant la comparaison des critères de jugement en fonction de la perméabilité (Groupe Perméable vs Groupe Non Perméable) :

La récupération sensitive, mesurée par le s2PD, a été comparée selon la perméabilité de l'artère par le test U de Mann-Whitney.

Bien qu'une corrélation ne soit pas clairement établie dans la littérature, les facteurs pronostics potentiels les plus fréquemment évoqués était l'âge, le tabagisme et les lésions associées [43]. Une analyse descriptive était réalisée pour étudier l'influence de ces trois variables sur la récupération sensitive dans notre série.

La présence d'une douleur neuropathique, d'un hot point ou d'une intolérance au froid a été comparé selon la perméabilité de l'artère par le test du Chi-2 ou le test Exact de Fisher. Le score QuickDASH a été comparé selon la perméabilité de l'artère par le test U de Mann-Whitney.

La richesse de la collatéralité artérielle péri-lésionnelle a été comparée selon la perméabilité artérielle par le test Exact de Fisher.

Concernant les analyses de corrélation spécifiques menées sur le groupe perméable :

Le lien entre la récupération sensitive et la SVR au niveau du site lésé, et le degré de sténose, chez les artères perméables, a été étudié par un coefficient de corrélation de Spearman.

Le niveau de significativité a été fixé à 5%. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute version 9.4) par l'unité de Méthodologie - Biostatistique et Data Management du CHU de Lille.

Résultats

1 Données démographiques

Sur les 112 patients opérés d'une réparation du nerf, associée ou non à une réparation de l'artère, dans les sections des pédicules vasculonerveux digitaux palmaires propres entre mars 2018 et décembre 2020, 89 patients ont été inclus (Figure 11). Nous avons pu réévaluer 51 patients dans le cadre de ce travail. Il n'existait aucune donnée manquante pour l'ensemble des patients inclus.

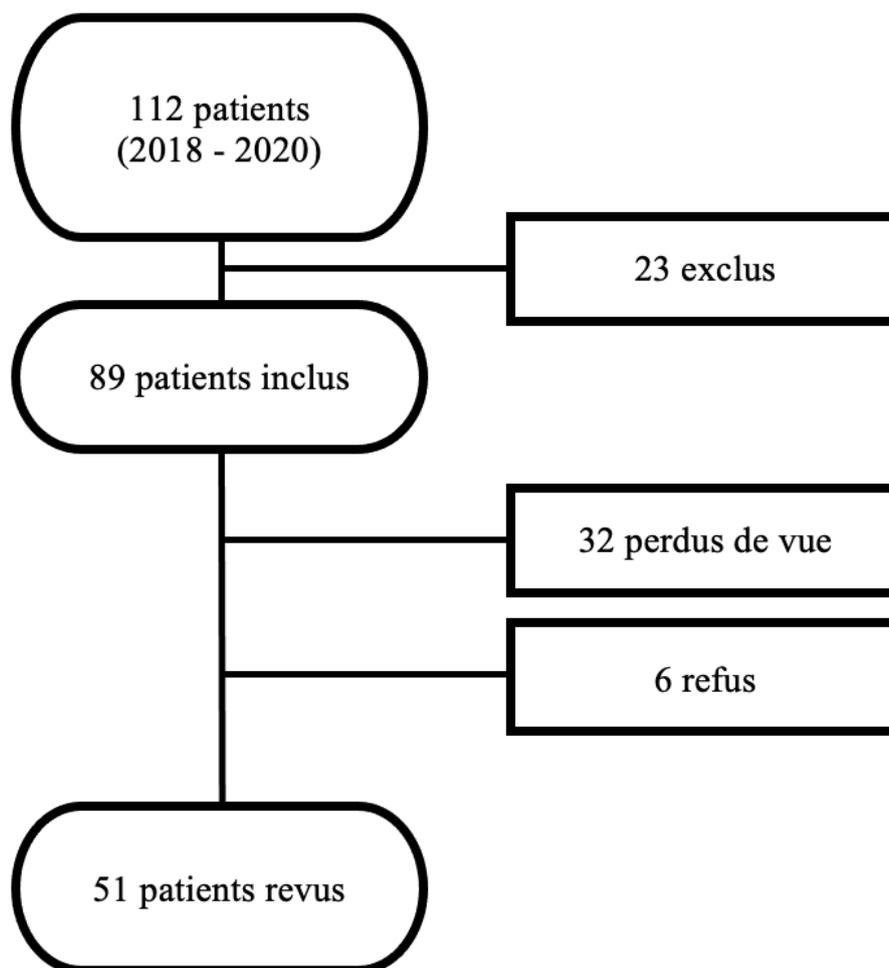


Figure 11 : Flow Chart.

Dans 41 cas (80,4%), l'artère digitale palmaire propre était réparée. Trente-six artères étaient jugées perméables à l'échographie en Doppler couleur et SMI, soit un taux de perméabilité de 87,8%. Aucun névrome n'était retrouvé dans cette série.

Les caractéristiques démographiques et chirurgicales sont présentées dans le tableau 1. Trente-six (70,6%) étaient des hommes et 15 (29,4%) étaient des femmes. Le recul moyen entre l'intervention et le recueil des données était de 1,9 ans +/- 0,8. L'âge moyen au moment de l'intervention était de 39 ans +/- 11,2. Le côté droit était concerné dans 27 cas (52,9%) et le côté gauche dans 24 cas (47,1%). Le membre dominant était atteint dans 27 cas (52,9%). Trente-et-un patients (60,8%) étaient des travailleurs manuels, et ont tous pu reprendre leurs activités professionnelles. Le doigt le plus fréquemment atteint était l'index (47,1%). La lésion concernait le pédicule radial dans 31 cas (60,8%), et le pédicule ulnaire dans 20 cas (39,2%). Une hémipulpe dominante était atteinte dans 28 cas (54,9%). Les plaies siégeaient essentiellement en zone 2 (86,3%) selon les zones topographiques des tendons fléchisseurs. Quatorze patients (27,5%) étaient tabagiques actifs, 13 (25,5%) présentait un tabagisme sevré depuis plus de 3 ans et 24 (47%) étaient non tabagiques. Des lésions associées étaient présentes dans 23 cas (45,1%).

		Groupe Perméable	Groupe Non Perméable	Total
Nombre de patients		36	15	51
Sexe (Homme / Femme)		25 (69,4%) / 11 (30,6%)	11 (73,3%) / 4 (26,7%)	36 (70,6%) / 15 (29,4%)
Âge (années) : Médiane (EIQ)		39.0 (31.0 - 43.5)	31.0 (28.0 - 52.0)	39.0 (30.0 ; 46.0)
Recul moyen (années) +/- DS		2.3 +/- 0.8	1.8 +/- 0.7	1.9 +/- 0.8
Côté (Droit / Gauche)		21 (58.3%) / 15 (41,7%)	6 (40%) / 9 (60%)	27 (52,9%) / 24 (47,1%)
Membre dominant atteint		23 (63.9%)	4 (26.7%)	27 (52.9%)
Doigt	1	1 (2.8%)	2 (13.3%)	3 (5.9%)
	2	17 (47.2%)	7 (46.7%)	24 (47.1%)
	3	6 (16.7%)	2 (13.3%)	8 (15.7%)
	4	8 (22.2%)	1 (6.7%)	9 (17.6%)
	5	4 (11.1%)	3 (20.0%)	7 (13.7%)
Pédicule	Radial	22 (61.1%)	9 (60.0%)	31 (60.8%)
	Ulnaire	14 (38.9%)	6 (40.0%)	20 (39.2%)
Hémipulpe dominante		19 (52.8%)	9 (60.0%)	28 (54.9%)
Zone	1	4 (11.1%)	3 (20.0%)	7 (13.7%)
	2	32 (88.9%)	12 (80.0%)	44 (86.3%)
Travail manuel		21 (58.3%)	10 (66.7%)	31 (60.8%)
Tabagisme	Sevré > 3 ans	9 (25.0%)	4 (26.7%)	13 (25.5%)
	Actif	8 (22.2%)	6 (40.0%)	14 (27.5%)
Lésions associées		16 (44.4%)	7 (46.7%)	23 (45.1%)

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques et chirurgicales.

EIQ : Écart Interquartile (Lower Quartile – Upper Quartile) ; DS : Déviation Standard.

Les facteurs pronostiques pouvant potentiellement influencer la récupération sensitive étaient l'âge, le tabagisme et la présence de lésions associées. Ces variables semblaient être comparables entre les deux groupes (Tableau 1). Aucune ne semblait influencer le résultat du test de Weber statique (s2PD) dans notre série :

- Une analyse de régression a été réalisée retrouvant une dispersion aléatoire des résultats du s2PD en fonction de l'âge (Figure 12).
- Des box-plots ont été réalisés pour évaluer le lien entre, d'une part la récupération sensitive, et d'autre part le tabagisme et la présence de lésions associées (Figures 13 et 14). Les box-plots présentaient des longueurs avec une distribution homogène et symétrique des résultats du s2PD.

Aucun ajustement statistique n'était nécessaire devant l'absence de facteurs de confusions.

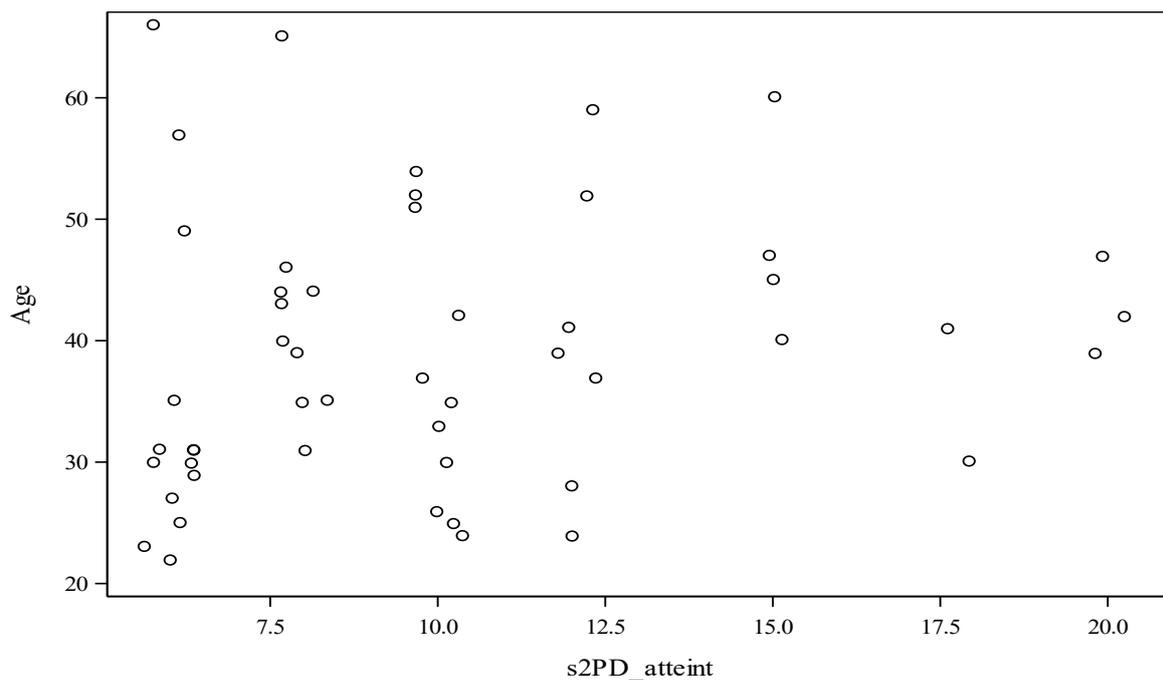


Figure 12 : Nuage de points décrivant la relation entre l'âge au moment de l'intervention et la récupération sensitive.

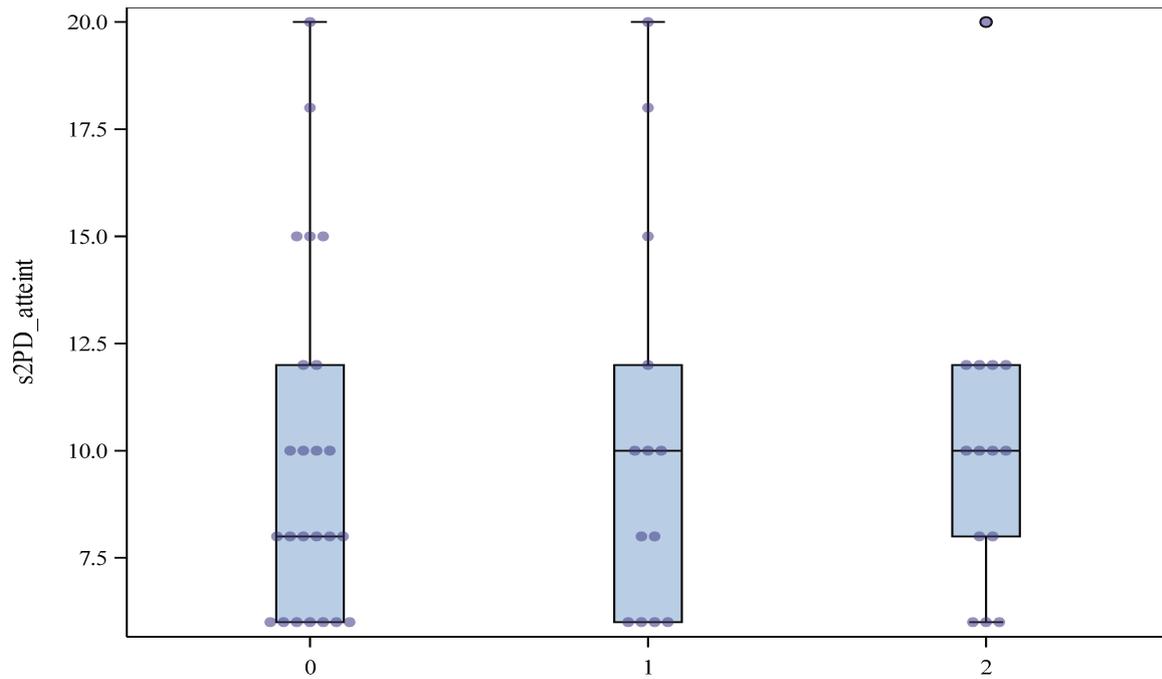


Figure 13 : Box-plot décrivant la distribution des résultats du s2PD en fonction du tabagisme. 0 : Absence de tabagisme ; 1 : Tabagisme sévère depuis plus de 3 ans ; 2 : Tabagisme actif.

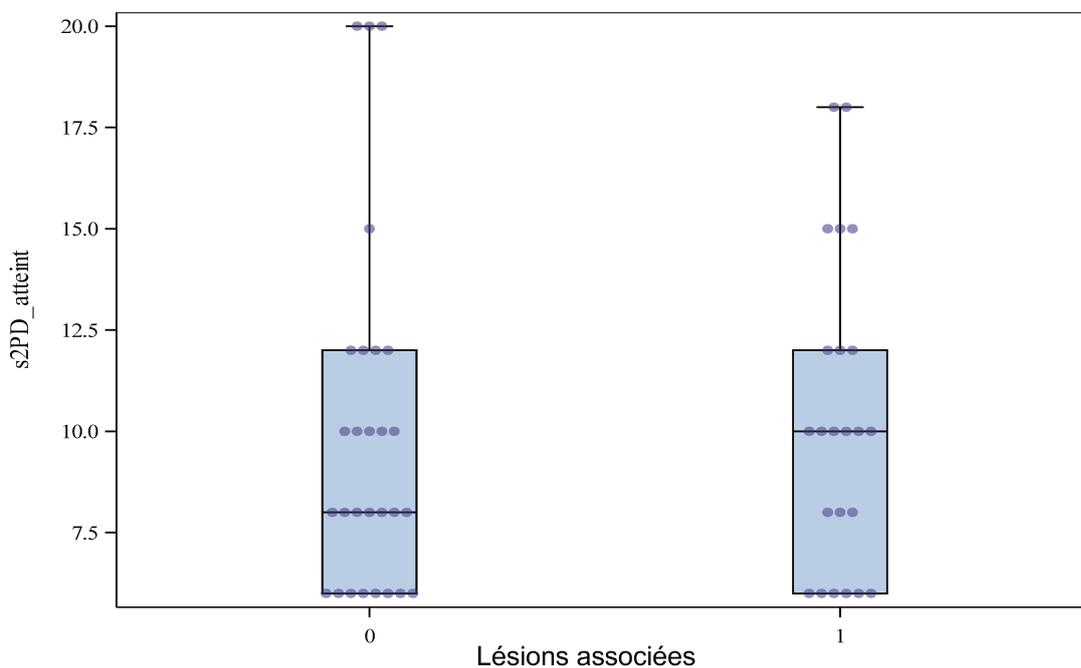


Figure 14 : Box-plot décrivant le lien entre la récupération sensitive (s2PD) et la présence ou non de lésions associées.

0 : Absence de lésions associées ; 1 : Présence de lésions associées.

2 Critère de jugement principal

Aucune différence statistiquement significative n'était retrouvée entre les groupes perméable et non perméable sur la valeur quantitative du s2PD (Tableau 2).

La médiane du s2PD présentait la même valeur pour les deux groupes avec des écarts interquartiles assez similaires : 10 mm (8 – 12) pour le groupe perméable et 10 mm (6 – 12) pour le groupe non perméable. Le s2PD moyen était de 10,31 +/- 4,03 mm pour le groupe perméable et de 9,53 +/- 4,19 mm pour le groupe non perméable.

	Perméable (n = 36)	Non Perméable (n = 15)	P
s2PD atteint * (mm) : Médiane (EIQ)	10,00 (8,00 – 12,00)	10,00 (6,00 – 12,00)	0,453
s2PD sain ** (mm) : Médiane (EIQ)	4,00 (3,00 – 4,00)	4,00 (3,00 – 4,00)	-

Tableau 2 : Comparaison de la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle.

s2PD : Valeur quantitative du test de Weber statique ; mm : millimètre ; DS : Déviation Standard ; EIQ : Écart Interquartile (Lower Quartile – Upper Quartile).

* s2PD atteint : mesuré au niveau de l'hémipulpe concernée par la lésion.

** s2PD sain : mesuré au niveau de l'hémipulpe controlatérale correspondante.

3 Critères de jugement secondaires

3.1 La collatéralité artérielle

La collatéralité artérielle péri-lésionnelle était significativement plus riche chez les patients du groupe non perméable (86,67%) que chez ceux du groupe perméable (47,22%) ($p = 0,021$) (Tableau 3).

Collatéralité artérielle	Perméable (n = 36)	Non Perméable (n = 15)	P
Absence	7 (19,44%)	0 (0,00%)	-
Pauvre	12 (33,33%)	2 (13,33%)	-
Riche	17 (47,22%)	13 (86,67%)	0,021

Tableau 3: Comparaison de la richesse de la collatéralité artérielle en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire propre.

3.2 Résultats fonctionnels

3.2.1 Intolérance au froid

Une intolérance au froid était retrouvée dans 18/36 cas (50%) chez les patients du groupe perméable, et dans 9/15 cas (60%) chez les patients du groupe non perméable. Néanmoins, cette différence n'était pas statistiquement significative (Tableau 4).

3.2.2 Douleur neuropathique

Sept (13,7%) patients présentaient une douleur neuropathique à l'examen clinique, confirmé par un questionnaire DN4. Six (16,6%) patients appartenaient au groupe perméable et un seul (6,6%) appartenait au groupe non perméable. Cependant, cette différence n'était pas statistiquement significative (Tableau 4).

3.2.3 « Hot Point »

Sept (19,4%) patients présentaient un « Hot point » dans le groupe perméable, versus 2 (13,3%) patients dans le groupe non perméable. Cette différence n'était pas statistiquement significative (Tableau 4).

3.2.4 QuickDASH

Les QuickDASH présentaient des valeurs médianes similaires au sein des 2 groupes avec 1,15 (0 – 5,65) chez les perméables versus 1,00 (0 – 6,80) chez les non perméables. Le résultat n'était cependant pas statistiquement significatif (Tableau 4).

	Perméable (n = 36)	Non Perméable (n = 15)	P
Intolérance au froid	18 (50%)	9 (60%)	0,514
Douleur neuropathique	6 (16,6 %)	1 (6,6 %)	0,658
« Hot Point »	7 (19.4%)	2 (13.3%)	0.708
QuickDASH Médiane (EIQ)	1,15 (0 – 5,65)	1,00 (0 – 6,80)	0,724

Tableau 4 : Comparaison des résultats fonctionnels en fonction de la perméabilité artérielle.

EIQ : Écart Interquartile (Lower Quartile – Upper Quartile).

3.3 Calibre artériel et Systolic Velocity Ratio

Calibre artériel

Chez les patients présentant une artère perméable, le diamètre moyen de l'artère était de 1,00 +/- 0,47 mm au niveau des zones réparées, et de 1,15 +/- 0,48 mm au niveau des segments sains situés en amont de la lésion. Onze patients (30,5%) ne présentaient aucune réduction du calibre artériel au niveau de la zone réparée par rapport au segment sain et un pourcentage de réduction du calibre artériel de 0% leur

a été attribué. 25 patients (69,5%) présentaient une réduction du calibre artériel. Celle-ci présentait une valeur médiane de 9,5 % (0 – 19) et une valeur moyenne de 12,4 +/- 12,3 % (Tableau 5).

Systolic Velocity Ratio (SVR)

Chez les patients présentant une artère perméable, la vitesse systolique maximale (VSM) moyenne était de 7,1 +/- 3,7 cm/s au niveau de la zone réparée et de 5,6 +/- 3,1 cm/s au niveau du segment sain situé en amont de la lésion. Les valeurs mesurées au niveau de l'artère controlatérale correspondante était comparable à celles retrouvées au niveau du segment sain de l'artère concernée. Le SVR moyen était de 1,3 +/- 0,4 avec une médiane à 1,2 (1,00 – 1,5) (Tableau 5).

	Zone réparée	Segment sain en amont
Diamètre artériel (mm)	1,00 +/- 0,47	1,15 +/- 0,48
Réduction du calibre artériel (%) +/- DS	12,4 +/- 12,3	
Vitesse systolique maximal (VSM) (cm/s)	7,1 +/- 3,7	5,6 +/- 3,1
Systolic Velocity Ratio (SVR) +/- DS	1,3 +/- 0,4	

Tableau 5 : Données échographiques mesurées au niveau de la zone réparée et au niveau du segment sain en amont de la lésion.

DS : Déviation Standard ; mm : millimètre ; cm/s : centimètre par seconde.

- Réduction du calibre artériel = $\frac{\text{Diamètre artériel zone saine}}{\text{Diamètre artériel zone réparée}} \times 100$
- SVR = $\frac{\text{VSM zone réparée}}{\text{VSM zone saine}}$

Il n'existait aucune corrélation entre, d'une part, la réduction du calibre artériel et le Systolic Velocity Ratio (SVR), et d'autre part, la récupération sensitive traduite par la valeur quantitative du s2PD (respectivement $p=0,466$; $p=0,419$) (Tableau 6).

		s2PD (mm)	P
Réduction du calibre artériel (%)	ρ	0.12533	0.466
SVR	ρ	-0.13895	0.419

Tableau 6: Résultats du test de corrélation de Spearman entre les données échographiques et la récupération sensitive.

Une valeur absolue ρ de 1 ou -1 traduit une relation linéaire parfaite ; une valeur proche de 0 traduit l'absence de relation linéaire.

Discussion

La récupération de la sensibilité en fonction de la perméabilité artérielle

L'objectif principal de ce travail était de comparer la récupération sensitive en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire propre. Contrairement aux deux autres études similaires à la nôtre [33,34], il n'existait aucune différence significative entre les groupes perméable et non perméable sur la récupération sensitive. Cependant, plusieurs différences méthodologiques étaient retrouvées entre les trois séries (Tableau 7).

Pomares et al. [34], dans une série composée entièrement de patients chez qui le nerf et l'artère ont systématiquement été réparés, avaient choisi comme critère de jugement principal une variable qualitative suivant le score BMRC (British Medical Research Council) modifié par Mackinnon et Dellon (Annexe 5) [44]. La récupération « favorable » était définie par les grades S3+ et S4, regroupant ainsi tous les patients présentant un s2PD \leq 15 mm. Ils retrouvaient une différence significative avec 22/32 (46,8%) patients présentant une récupération « favorable » chez les perméables contre 5/15 (10,6%). Les valeurs quantitatives des s2PD n'étaient malheureusement pas indiquées dans leur publication et les résultats ne pouvaient donc pas être comparés à ceux de notre série.

Dans la série de Piquet et al. [33], la récupération sensitive était définie par plusieurs variables sans qu'un critère jugement principal unique soit défini. Concernant la classification de Möberg (Annexe 6), la différence était significative avec 80% des patients présentant un s2PD \leq 10 mm (Résultat Bon/Très Bon) dans le groupe perméable contre 40% dans le groupe non perméable. Concernant le score BMRC (Annexe 5), ils retrouvaient une meilleure récupération sensitive de manière significative avec 52% de stade S4 dans le groupe perméable contre 13% dans le groupe non perméable. Concernant la valeur quantitative moyenne du s2PD, il existait une différence significative avec 8,54 mm pour le groupe perméable versus 13,47 mm pour le groupe non perméable. Cependant, le groupe perméable ne comptait que 3 artères réparées, le reste n'étant que des artères saines non lésées. Or, les propriétés

hémodynamiques d'une artère intacte non lésée pourraient ne pas être les mêmes que celle d'une artère sectionnée et réparée. Les résultats de cette étude restent donc théoriques et nous semblent difficilement extrapolables sur l'indication d'une réparation artérielle.

Yildiran et al. [35] ont comparé les résultats d'un groupe comportant des artères saines avec un groupe comportant des artères sectionnées non réparées. Il n'existait aucune différence significative avec un s2PD moyen de 5,29 mm dans le groupe « artère saine » contre 5,37 mm dans le groupe « artère non réparée ». De même, ce résultat ne pouvait pas être appliqué en pratique devant l'absence d'artère réparée dans cette série.

Dans la série de Fakin et al. [10], la récupération sensitive était définie par le score de Al-Ghazal [17] (Annexe 7). La réparation artérielle ne semblait pas améliorer la récupération sensitive. Néanmoins, le résultat n'était pas statistiquement significatif devant le faible taux d'artères réparées (11/93).

Hohendorff et al. [29] ne retrouvait aucune différence significative de la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle. Néanmoins, les résultats de cette étude nous semblaient très discutables. D'une part, l'évaluation de la perméabilité artérielle a été réalisée par un test d'Allen digital. Celui-ci nous paraît peu fiable pour confirmer ou infirmer la perméabilité artérielle, notamment au niveau digital. D'autre part, ils retrouvaient la même valeur médiane de 4 mm pour le s2PD au niveau des doigts concernés par la réparation nerveuse, ainsi qu'au niveau des doigts sains pris comme référence. Cette valeur était très différente par rapport aux résultats habituellement retrouvés dans la littérature, oscillant entre 8 et 12 mm selon les séries [10,12,13,43] Ce résultat nous semble étonnant et évoque une pratique différente du test de Weber malgré une description similaire de celui-ci dans leur article.

Les résultats de ces différentes séries étaient difficilement comparables en raison de la multitude des classifications et des critères de jugement choisis pour définir la récupération sensitive.

Le taux de perméabilité artériel dans notre série (87,8%) se situait dans la fourchette haute de ceux retrouvés dans la littérature [45–48]. Ceci serait probablement lié à une sélection minutieuse et raisonnable des artères à réparer.

		Piquet et al. (2010)[33]		Pomares et al. (2016)[34]		Notre série (2022)	
Effectif (P vs NP)		40 (25 vs 15)		47 (32 vs 15)		51 (36 vs 15)	
Artères réparées		3 (7,5%)		47 (100%)		41 (80,4%)	
Échographie Doppler		Sonde linéaire de 14 MHz Couleur + Pulsé		Sonde linéaire de 15MHz Couleur + Pulsé		Sonde linéaire de 22 MHz Couleur + Pulsé + SMI	
CJP		BMRC + s2PD quantitatif		BMRC		s2PD quantitatif	
Groupes		P	NP	P	NP	P	NP
Résultats	BMRC s2PD (mm)	S4 : 52% 8,54	S4 : 13% 13,47	S4/S3+ : 46,8% -	S4/S3+ : 10,6% -	- 10,31	- 9,53
Résultat sur le CJP		Différence S		Différence S		PAS de différence S	
Intolérance au froid		16%	86,7%	50%	86,7%	50%	60%
« Hot Point »		-	-	19,1%	17%	19,4%	13,3%
Douleur neuropathique		-	-	0	4,2%	16,6%	6,6%
Calibre artériel		-		NS		PAS de corrélation S	

Tableau 7 : Tableau comparatif des trois séries principales évaluant la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle confirmée par une échographie.

P : Perméable ; NP : Non Perméable ; mm : millimètre ; CJP : critère de jugement principal ; S : significatif ; NS : Non significatif.

Concernant les objectifs secondaires

Collatéralité artérielle

Notre série constitue la première étude évaluant la richesse du réseau collatéral artériel. La collatéralité artérielle péri-lésionnelle était significativement plus riche chez les patients du groupe perméable (86,7%) que chez ceux du groupe non perméable (47,22%). Le développement de ce réseau artériel pourrait éventuellement pallier la disparition de la vascularisation extrinsèque segmentaire provenant de l'artère digitale non fonctionnelle, nourrissant la repousse nerveuse au niveau de la zone réparée, et expliquant donc l'absence de différence entre les deux groupes dans notre étude. Toutefois, cette collatéralité ne permettait pas une reperméabilisation du segment distal. Aucun signal échographique n'était retrouvé au niveau des segments artériels distaux entre la zone lésée et la pulpe. Contrairement à ce qu'on pouvait penser, les arcades anastomotiques ne semblaient pas permettre une reperméabilisation des segments distaux. Ce phénomène a également été observé par Pomares et al. [34], qui le justifiait par soit une lésion traumatique ou iatrogène des arcades, soit par un phénomène thrombotique.

Intolérance au froid

Dans notre série, le taux d'intolérance au froid semblait être comparable entre les groupes perméable (60%) et non perméable (50%). Cependant devant une différence d'effectif importante entre les deux groupes, le test statistique n'était pas significatif. Pomares et al. [34] ne retrouvait pas de différence significative dans leur série, malgré un taux d'intolérance au froid plus élevé dans le groupe non perméable. Dans la série de Piquet et al. [33], l'intolérance au froid était significativement plus fréquente dans le groupe non perméable (86,7%) que dans le groupe perméable (16%).

Yildiran et al. [35] ne trouvaient aucune différence significative entre le groupe « artère saine » (20,8%) et le groupe « artère lésée non réparée » (12,5%) sur l'intolérance au froid. Dans leur étude, la présence d'une intolérance au froid était définie par un score > 50 au questionnaire du Cold Intolerance Symptom Severity décrit par Irwin et al. [49]. Leurs résultats ne pouvaient donc pas être comparés à ceux retrouvés dans notre étude.

La fréquence de l'intolérance au froid après réparation d'un nerf digital retrouvée dans notre série (53%) était comparable à celles retrouvées dans la littérature. [10,28,50,51].

Le mécanisme physiopathologique de l'intolérance au froid reste inconnu. Celle-ci présente une prévalence importante dans les traumatismes de la main [52–54]. On la retrouve dans les fractures, qu'elles soient traitées de manière chirurgicale ou orthopédique [55]. On la retrouve également dans les lésions des tendons fléchisseurs : Lied et al. [56] observaient 67,6% de patients présentant une intolérance au froid sans aucune influence de la présence ou non d'une lésion nerveuse digitale concomitante. Certains auteurs considèrent que l'intolérance au froid était le résultat d'une réduction du débit sanguin circulant en aval de la zone artérielle lésée [57,58]. D'autres ne trouvaient aucune corrélation entre la perméabilité artérielle, les caractéristiques hémodynamiques de l'artère lésée (réparée ou pas) et l'intolérance au froid évoquant une altération de la thermorégulation [59–64]. La physiopathologie de ce phénomène reste inconnue et semble être multifactorielle.

Douleur neuropathique et « Hot point »

La présence d'une douleur neuropathique et d'un « Hot Point » était comparable entre les deux groupes, et la perméabilité artérielle ne semblait pas influencer ces deux variables. Ce résultat est comparable à celui retrouvé dans la série de Pomares et al. [34]. Aucun patient manifestant un « Hot Point » ne présentait un névrome à l'échographie. Ce signe, très aspécifique, ne semblait pas être évocateur du développement d'un névrome, mais plutôt de phénomènes cicatriciels neuropathiques.

Calibre artériel et Systolic Velocity ratio

Il n'existait aucune corrélation significative entre, d'une part, la récupération sensitive et, d'autre part, la réduction du calibre artériel et le Systolic Velocity Ratio. Ce dernier est habituellement interprété selon des seuils prédéfinis pour déterminer un pourcentage de sténose précis. Il n'existait cependant aucun seuil défini dans la littérature pour des calibres correspondants aux artères digitales palmaires. La valeur

quantitative de ce ratio avait donc été utilisée pour le test de corrélation. Il serait intéressant d'effectuer une évaluation de la corrélation entre la réduction du calibre artériel et le SVR dans notre série, pour définir plus précisément le degré de sténose.

Pomares et al. [34] avaient défini le degré de sténose en fonction des modifications du signal Doppler selon la classification définie par Dauzat et al.[65]. Il semblait exister une corrélation entre le degré de sténose et la récupération sensitive, mais aucun test statistique n'a pu être réaliser devant le faible effectif. Toutefois, cette classification était basée sur des mesures réalisées sur des gros axes vasculaires. Celle-ci était jugée inadaptée et difficilement réalisable sur les artères digitales par notre équipe de radiologie musculo-squelettique.

Discussion de la méthode

Les données échographiques étaient recueillies à l'aide d'une sonde linéaire à haute fréquence 22 MHz permettant une visualisation précise de structures recherchées. Le Superb Microvascular Imaging (SMI), une fonctionnalité qui a prouvé son utilité diagnostique dans plusieurs indications [66–68] nous a permis de réaliser des mesures planimétriques et vélocimétriques fiables et notamment l'exploration du réseau collatéral artériel. Mücke et al. [69] ont réalisé une étude sur la performance du microDoppler sur des artères carotides, fémorales et aortes sectionnées et réparées chez le rat (présentant des dimensions comparables à celles des artères digitales humaines). Ils retrouvaient une sensibilité de 100%, une spécificité 86,9%, une VPP de 95,8% et une VPN de 100% sur l'évaluation de la perméabilité et du degré de sténose.

Le choix du score BMRC comme critère de jugement principal ne nous semblait pas adapté pour la récupération de la sensibilité digitale. Les intervalles de s2PD définissant les différents grades, notamment le S3+, sont trop larges. Le stade S4, traduisant une récupération normale, comporte les valeurs de s2PD ≤ 6 mm ; le stade S3+, traduisant la récupération d'une discrimination utile, comporte les valeurs de s2PD de 7 à 15 mm inclus. La pulpe digitale mesure en moyenne 25,4 mm de longueur (entre le pli de flexion IPD et l'hyponichium) et 18 mm de largeur au niveau des doigts longs, 32,3 mm de longueur et 22,4 mm de largeur au niveau du pouce [70–72]. La différence entre les valeurs extrêmes du stade S3+ (7 – 15 mm) constitue environ la

largeur d'une hémipulpe et 1/3 de la longueur moyenne d'une pulpe. Ce score nous semble donc trop optimiste et inadapté pour l'évaluation de la sensibilité discriminative au niveau d'une surface limitée comme la pulpe digitale. Comme avancé par Piquet et al. [73], il serait intéressant que le critère de jugement principal choisi par les études soit la valeur quantitative du s2PD, pour s'affranchir de la multitude des classifications, et permettre une comparaison fiable entre les différentes séries.

Le test de Weber statique (s2PD) est l'examen objectif de la sensibilité le plus utilisé dans la littérature. Cependant, sa réalisation est difficile et délicate. L'angle d'application, la force et la durée d'appui des deux points peuvent influencer les résultats [74–76]. Ceci pourrait expliquer les grandes différences retrouvées parfois entre les séries. Ce détail important doit être pris en considération dans la comparaison des résultats avec la littérature. Il nous semble donc primordial que ce test soit réalisé par le même chirurgien pour une série à l'étude. Une description détaillée de la méthode de réalisation de ce test est essentielle.

Pour lutter contre les variabilités inter-examineurs, toutes les données cliniques ont été recueillies par le même examinateur spécialisé en chirurgie de la main, et toutes les échographies ont été réalisées par le même opérateur, spécialisé en imagerie musculo-squelettique. L'un recueillait ses données en insu des résultats de l'examen de l'autre.

Le mécanisme lésionnel des différentes lésions n'était pas retenu. Celui-ci n'était pas systématiquement indiqué dans les compte-rendu opératoires et les lettres d'hospitalisation. La définition rétrospective des mécanismes lésionnels basée uniquement sur la description du patient à plus d'un an de la blessure est difficile et imprécise. Néanmoins, nous avons pu limiter ce facteur de confusion potentiel par l'exclusion des patients présentant une perte de substance artérielle, nerveuse et/ou cutanée.

Quoique de peu, notre étude présentait l'effectif le plus élevé parmi celles évaluant la perméabilité artérielle par une échographie. Cependant, l'inégalité d'effectif entre les deux groupes constituait une des seules faiblesses de l'étude. Le calcul du nombre de sujet nécessaire était basé sur les capacités de recrutement importantes du service SOS mains – CHU de Lille et les taux de perméabilité artérielle moyens retrouvés dans la littérature. Le recrutement de 108 patients, nous permettrait de mettre en évidence

un risque relatif de récupération sensitive en cas d'artère perméable ≥ 1.7 avec une puissance de 80% et un risque de première espèce de 5% (test bilatéral).

Le recrutement sera poursuivi dans le service suivant la même méthodologie employée jusqu'à atteinte du nombre de sujets nécessaires.

Ouverture et significativité clinique

L'absence de différence significative en termes de récupération sensitive selon la perméabilité artérielle ne permettait pas de conclure sur la nécessité de réparer une lésion concomitante de l'artère digitale palmaire en cas de lésion nerveuse. Il existe pour l'instant trop peu de séries évaluant l'intérêt de la perméabilité artérielle digitale. Bien qu'il y ait des différences, la base méthodologique et les effectifs restaient assez comparables entre ces deux séries [33,34] et la nôtre. Pourtant, les résultats étaient contradictoires ne permettant pas de conclure. Le recrutement du nombre de sujets nécessaires, non réalisé dans les autres séries, sera poursuivi dans notre centre pour permettre une puissance statistique suffisante permettant d'extrapoler les résultats à la pratique clinique.

En attendant l'obtention des résultats définitifs de ce travail, une artère sectionnée, non dilacérée et sans perte de substance devrait être réparée si une anastomose termino-terminale est jugée réalisable. En cas de perte de substance artérielle post-traumatique, la reperméabilisation de l'artère nécessiterait un pontage veineux par un greffon inversé prélevé au niveau de la face dorsale de la main ou au niveau de l'avant-bras. Ce geste ne nous semble plus justifié devant les résultats retrouvés dans notre série.

Conclusion

Notre étude ne retrouvait aucune influence de la perméabilité artérielle sur la récupération sensitive dans les sections unipédiculaires des pédicules vasculonerveux digitaux palmaires propres. Le développement d'une collatéralité artérielle péri-lésionnelle semblait compenser la disparition de la vascularisation extrinsèque en regard de la zone nerveuse lésée.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques démographiques et chirurgicales.....	25
Tableau 2 : Comparaison de la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle.....	28
Tableau 3 : Comparaison de la richesse de la collatéralité artérielle en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire propre.	29
Tableau 4 : Comparaison des résultats fonctionnels en fonction de la perméabilité artérielle.....	30
Tableau 5 : Données échographiques mesurées au niveau de la zone réparée et au niveau du segment sain en amont de la lésion.	31
Tableau 6 : Résultats du test de corrélation de Spearman entre les données échographiques et la récupération sensitive.	32
Tableau 7 : Tableau comparatif des trois séries principales évaluant la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle confirmée par une échographie...	35

Liste des figures

Figure 1 : Vascularisation du nerf périphérique.....	8
Figure 2 : Vascularisation artérielle des doigts.....	8
Figure 3 : Plan expérimental.....	12
Figures 4 et 5 : Test de Weber statique (s2PD).....	16
Figure 6 : Exemple d'une sténose artificielle sur une coupe transversale en mode B.	17
Figure 8 : Mesure du calibre artériel sur une artère perméable, coupe transversale en SMI.	18
Figure 9 : Mesure de la Vitesse Systolique Maximale (VSM) en mode Doppler pulsé.	19
Figure 10 : Richesse de la collatéralité artérielle en SMI, coupe transversale.	20
Figure 11 : Flow Chart.	23
Figure 12 : Nuage de points décrivant la relation entre l'âge au moment de l'intervention et la récupération sensitive.....	26
Figure 14 : Box-plot décrivant le lien entre la récupération sensitive (s2PD) et la présence ou non de lésions associées.....	27

Références

1. Swanson AB, Hagert CG, deGroot Swanson G. Evaluation of impairment of hand function. *J Hand Surg.* 1983 Sep;8(5):709–22.
2. Thorsén F, Rosberg H-E, Steen Carlsson K, Dahlin LB. Digital nerve injuries: epidemiology, results, costs, and impact on daily life. *J Plast Surg Hand Surg.* 2012 Sep;46(3–4):184–90.
3. Bunnell S. Hand surgery: the surgery of nerves of the upper extremity. *Instr Course Lect.* 1956;13:101–9.
4. de Medinaceli L, Seaber AV. Experimental nerve reconnection: importance of initial repair. *Microsurgery.* 1989;10(1):56–70.
5. Merle M, de Medinaceli L. Primary nerve repair in the upper limb. Our preferred methods: theory and practical applications. *Hand Clin.* 1992 Aug;8(3):575–86.
6. Holst HI. Primary peripheral nerve repair in the hand and upper extremity. *J Trauma.* 1975 Oct;15(10):909–11.
7. Mermans JF, Franssen BBGM, Serroyen J, Van der Hulst RRWJ. Digital nerve injuries: a review of predictors of sensory recovery after microsurgical digital nerve repair. *HAND.* 2012 Sep;7(3):233–41.
8. Honner R, Fragiadakis EG, Lamb DW. An investigation of the factors affecting the results of digital nerve division. *The Hand.* 1970 Mar;2(1):21–30.
9. Bulut T, Akgun U, Ozcan C, Unver B, Sener M. Inter- and intra-tester reliability of sensibility testing in digital nerve repair. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016 Jul;41(6):621–3.
10. Fakin RM, Calcagni M, Klein HJ, Giovanoli P. Long-term clinical outcome after epineural coaptation of digital nerves. *J Hand Surg Eur Vol.* 2016 Feb;41(2):148–54.
11. Wang WZ, Crain GM, Baylis W, Tsai TM. Outcome of digital nerve injuries in adults. *J Hand Surg.* 1996 Jan;21(1):138–43.
12. Weinzwieg N, Chin G, Mead M, Stone A, Nagle D, Gonzalez M, et al. Recovery of sensibility after digital neurotomy: a clinical investigation of prognostic factors. *Ann Plast Surg.* 2000 Jun;44(6):610–7.
13. Poppen NK, McCarroll HR, Doyle JR, Niebauer JJ. Recovery of sensibility after suture of digital nerves. *J Hand Surg.* 1979 May;4(3):212–26.
14. Altissimi M, Mancini GB, Azzarà A. Results of Primary Repair of Digital Nerves. *J Hand Surg.* 1991 Oct;16(5):546–7.

15. Slutsky DJ. The management of digital nerve injuries. *J Hand Surg.* 2014 Jun;39(6):1208–15.
16. Cheng AS, Hung L, Wong JM, Lau H, Chan J. A prospective study of early tactile stimulation after digital nerve repair. *Clin Orthop.* 2001 Mar;(384):169–75.
17. al-Ghazal SK, McKiernan M, Khan K, McCann J. Results of clinical assessment after primary digital nerve repair. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1994 Apr;19(2):255–7.
18. Starkweather RJ, Neviasser RJ, Adams JP, Parsons DB. The effect of devascularization on the regeneration of lacerated peripheral nerves: An experimental study. *J Hand Surg.* 1978 Mar 1;3(2):163–7.
19. Lundborg G. The intrinsic vascularization of human peripheral nerves: Structural and functional aspects. *J Hand Surg.* 1979 Jan;4(1):34–41.
20. Smith JW. Factors influencing nerve repair. I. Blood supply of peripheral nerves. *Arch Surg Chic Ill* 1960. 1966 Aug;93(2):335–41.
21. Caillaud M, Richard L, Vallat J-M, Desmoulière A, Billet F. Peripheral nerve regeneration and intraneural revascularization. *Neural Regen Res.* 2019 Jan;14(1):24–33.
22. Millesi H, Boltzmann L. Microvascular and microneural repair: technique and results. *Langenbecks Arch Chir.* 1978 Nov;347:89–92.
23. Leclercq DC, Carlier AJ, Khuc T, Depierreux L, Lejeune GN. Improvement in the results in sixty-four ulnar nerve sections associated with arterial repair. *J Hand Surg.* 1985 Nov 1;10(6, Part 2):997–9.
24. Merle M, Amend P, Foucher G, Michon J. Plaidoyer pour la réparation primaire microchirurgicale des lésions des nerfs périphériques: étude comparative de 150 lésions du nerf médian et du nerf cubital avec un recul supérieur à deux ans. *Chirurgie* 1984;110(8–9):761–71.
25. Dautel G, Merle M. The blood supply of digital nerves: a microanatomical study of superficial and deep palmar venous networks. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1992 Dec;17(6):632–7.
26. Strauch B, de Moura W. Arterial system of the fingers. *J Hand Surg.* 1990 Jan 1;15(1):148–54.
27. Rigoard P, Buffenoir K, Wager M, Bauche S, Giot J-P, Robert R, et al. Organisation anatomique et physiologique du nerf périphérique. *Neurochirurgie.* 2009 Mar 1;55:S3–12.
28. Elias BE, Tropet Y, Brientini JM, Vichard Ph. Résultats de la réparation primaire des nerfs collatéraux digitaux palmaires. *Ann Chir Main Memb Supér.* 1994 Jan 1;13(2):107–12.
29. Hohendorff B, Staub L, Fritsche E, von Wartburg U. [Sensory nerve function after unilateral digital vascular-nerve injury: nerve repair with and without arterial repair]. *Handchir Mikrochir Plast Chir Organ Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Handchir*

- Organ Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Mikrochir Peripher Nerven Gefasse Organ V. 2009 Oct;41(5):306–11.
30. Ashbell TS, Kutz JE, Kleinert HE. The digital Allen test. *Plast Reconstr Surg.* 1967 Mar;39(3):311–2.
 31. Stead SW, Stirt JA. Assessment of digital blood flow and palmar collateral circulation. Allen's test vs. photoplethysmography. *Int J Clin Monit Comput.* 1985;2(1):29–34.
 32. Romeu-Bordas Ó, Ballesteros-Peña S. [Reliability and validity of the modified Allen test: a systematic review and metanalysis]. *Emerg Rev Soc Espanola Med Emerg.* 2017 Abr;29(2):126–35.
 33. Piquet M, Obert L, Laveaux C, Sarlieve P, Vidal C, Tropet Y, et al. Influence de la perméabilité de l'artère digitale palmaire sur la récupération nerveuse dans les lésions des nerfs digitaux palmaires. *Chir Main.* 2010 Apr 1;29(2):94–9.
 34. Pomares G, Dap F, Dautel G. Complete section of proper palmar digital pedicles: Correlation between arterial patency and sensory recovery. *Hand Surg Rehabil.* 2017 Apr 1;36(2):136–40.
 35. Yildiran G, Sutcu M, Akdag O, Tosun Z. Long-Term Outcomes of Digital Nerve Repair Accompanied by Digital Artery Injury in Flexor Zone 2. *Surg J.* 2019 Dec 2;6(1):e7–9.
 36. de Boer AS, Mintjes-de Groot AJ, Severijnen AJ, van den Berg JM, van Pelt W. Risk assessment for surgical-site infections in orthopedic patients. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 1999 Jun;20(6):402–7.
 37. Flatt AE. Tourniquet time in hand surgery. *Arch Surg Chic Ill* 1960. 1972 Feb;104(2):190–2.
 38. Odinson A, Finsen V. Tourniquet use and its complications in Norway. *J Bone Joint Surg Br.* 2006 Aug;88(8):1090–2.
 39. Campbell DA, Kay SP. What is cold intolerance? *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1998 Feb;23(1):3–5.
 40. Bouhassira D, Attal N, Alchaar H, Boureau F, Brochet B, Bruxelle J, et al. Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4). *Pain.* 2005 Mar;114(1–2):29–36.
 41. Grant EG, Benson CB, Moneta GL, Alexandrov AV, Baker JD, Bluth EI, et al. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis--Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference. *Radiology.* 2003 Nov;229(2):340–6.
 42. Ranke C, Creutzig A, Alexander K. Duplex scanning of the peripheral arteries: correlation of the peak velocity ratio with angiographic diameter reduction. *Ultrasound Med Biol.* 1992;18(5):433–40.
 43. Dunlop RLE, Wormald JCR, Jain A. Outcome of surgical repair of adult digital nerve injury: a systematic review. *BMJ Open.* 2019 Mar 13;9(3):e025443.

44. Mackinnon SE, Dellon AL. *Surgery of the Peripheral Nerve*. Thieme Medical Publishers; 1988. 638 p.
45. Lee C-H, Han S-K, Dhong E-S, Kim H-P, Kim W-K. The fate of microanastomosed digital arteries after successful replantation. *Plast Reconstr Surg*. 2005 Sep;116(3):805–10.
46. Lannau B, Bliley J, James IB, Wang S, Sivak W, Kim K, et al. Long-term Patency of Primary Arterial Repair and the Modified Cold Intolerance Symptom Severity Questionnaire. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2015 Nov;3(11):e551.
47. Schmidt DM, McClinton MA. Microvascular anastomoses in replanted fingers: do they stay open? *Microsurgery*. 1990;11(3):251–4.
48. Renaud B, Langlais F, Colmar M, Thomazeau H. [Digital reimplantations and revascularizations. Factors of preservation. 183 fingers]. *Ann Chir Main Memb Supérieur Organe Off Soc Chir Main Ann Hand Up Limb Surg*. 1991;10(5):385–98; discussion 398.
49. Irwin MS, Gilbert SE, Terenghi G, Smith RW, Green CJ. Cold intolerance following peripheral nerve injury. Natural history and factors predicting severity of symptoms. *J Hand Surg Edinb Scotl*. 1997 Jun;22(3):308–16.
50. Frostadottir D, Ekman L, Zimmerman M, Andersson S, Arner M, Brogren E, et al. Cold sensitivity, functional disability and predicting factors after a repaired digital nerve injury. *Sci Rep*. 2022 Mar 22;12(1):4847.
51. Thorsén F, Rosberg H-E, Steen Carlsson K, Dahlin LB. Digital nerve injuries: epidemiology, results, costs, and impact on daily life. *J Plast Surg Hand Surg*. 2012 Sep;46(3–4):184–90.
52. Nancarrow JD, Rai SA, Sterne GD, Thomas AK. The natural history of cold intolerance of the hand. *Injury*. 1996 Nov;27(9):607–11.
53. Gustafsson M, Hagberg L, Holmefur M. Ten years follow-up of health and disability in people with acute traumatic hand injury: pain and cold sensitivity are long-standing problems. *J Hand Surg Eur Vol*. 2011 Sep 1;36(7):590–8.
54. Craigen M, Kleinert JM, Miller Crain G, McCabe SJ. Patient and injury characteristics in the development of cold sensitivity of the hand: A prospective cohort study. *J Hand Surg*. 1999 Jan 1;24(1):8–15.
55. Nijhuis THJ, Smits ES, Jaquet JB, Van Oosterom FJT, Selles RW, Hovius SER. Prevalence and severity of cold intolerance in patients after hand fracture. *J Hand Surg Eur Vol*. 2010 May;35(4):306–11.
56. Lied L, Lydersen S, Finsen V. Cold Intolerance after Flexor Tendon Injury. Disposing Factors and Long Term Prognosis. *Scand J Surg*. 2010 Sep 1;99(3):187–90.
57. Gelberman RH, Urbaniak JR, Bright DS, Levin LS. Digital sensibility following replantation. *J Hand Surg*. 1978 Jul;3(4):313–9.

58. Tark KC, Kim YW, Lee YH, Lew JD. Replantation and revascularization of hands: Clinical analysis and functional results of 261 cases. *J Hand Surg.* 1989 Jan;14(1):17–27.
59. Klocker J, Peter T, Pellegrini L, Mattesich M, Loescher W, Sieb M, et al. Incidence and predisposing factors of cold intolerance after arterial repair in upper extremity injuries. *J Vasc Surg.* 2012 Aug;56(2):410–4.
60. Zhao G, Mi J, Rui Y, Pan X, Yao Q, Qiu Y. Correlation of volumetric flow rate and skin blood flow with cold intolerance in digital replantation. *Medicine (Baltimore).* 2017 Dec;96(51):e9477.
61. Nylander G, Nylander E, Lassvik C. Cold sensitivity after replantation in relation to arterial circulation and vasoregulation. *J Hand Surg Br Eur Vol.* 1987 Feb 1;12(1):78–81.
62. Freedlander E. The relationship between cold intolerance and cutaneous blood flow in digital replantation patients. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1986 Feb;11(1):15–9.
63. Klein-Weigel P, Pavelka M, Dabernig J, Rein P, Kronenberg F, Fraedrich G, et al. Macro- and microcirculatory assessment of cold sensitivity after traumatic finger amputation and microsurgical replantation. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2007 Jul;127(5):355–60.
64. Ruijs ACJ, Jaquet J-B, van Riel WG, Daanen H a. M, Hovius SER. Cold intolerance following median and ulnar nerve injuries: prognosis and predictors. *J Hand Surg Eur Vol.* 2007 Aug;32(4):434–9.
65. Dauzat M. Les principaux tableaux séméiologiques artériels [Internet]. Ultrasonographie - Echographie - Doppler. EFR de médecine Montpellier - Nîmes. Available from: <https://ultrasonographie-vasculaire.edu.umontpellier.fr/ultrasonographie-vasculaire/angiosonologie-principes-technique-et-methode-dinterpretation/les-principaux-tableaux-semeiologiques-arteriels/>
66. Machado P, Segal S, Lyshchik A, Forsberg F. A Novel Microvascular Flow Technique: Initial Results in Thyroids. *Ultrasound Q.* 2016 Mar;32(1):67–74.
67. Jiang Z, Huang Y, Shen H, Liu X. Clinical Applications of Superb Microvascular Imaging in the Liver, Breast, Thyroid, Skeletal Muscle, and Carotid Plaques. *J Ultrasound Med.* 2019;38(11):2811–20.
68. Tang K, Liu M, Zhu Y, Zhang M, Niu C. The clinical application of ultrasonography with superb microvascular imaging-a review. *J Clin Ultrasound JCU.* 2022 Mar 31;
69. Mücke T, Wolff K-D, Wagenpfeil S, Hölzle F, Scholz M. Reliability of near-infrared angiography and micro-Doppler sonography for evaluating microvascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg.* 2010 Nov;126(5):1506–14.
70. Murai M, Lau H-K, Pereira BP, Pho RWH. A cadaver study on volume and surface area of the fingertip. *J Hand Surg.* 1997 Sep 1;22(5):935–41.
71. Garrett JW. The Adult Human Hand: Some Anthropometric and Biomechanical Considerations. *Hum Factors.* 1971 Apr 1;13(2):117–31.

72. Gordon C, Churchill T, Clauser C, Bradtmiller B, McConville J, Tebbetts I, et al. Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Summary Statistics, Interim Report for 1988. 1989 Jan 1;
73. Piquet M, Obert L, Laveaux C, Sarlieve P, Vidal C, Tropet Y, et al. Influence de la perméabilité de l'artère digitale palmaire sur la récupération nerveuse dans les lésions des nerfs digitaux palmaires. *Chir Main*. 2010 Apr 1;29(2):94–9.
74. Dellon AL, Mackinnon SE, Crosby PM. Reliability of two-point discrimination measurements. *J Hand Surg*. 1987 Sep;12(5 Pt 1):693–6.
75. Yokota H, Otsuru N, Kikuchi R, Suzuki R, Kojima S, Saito K, et al. Establishment of optimal two-point discrimination test method and consideration of reproducibility. *Neurosci Lett*. 2020 Jan 1;714:134525.
76. Wolny T, Linek P. Reliability of two-point discrimination test in carpal tunnel syndrome patients. *Physiother Theory Pract*. 2019 Apr;35(4):348–54.
77. Lésions traumatiques des nerfs périphériques ; de la réparation nerveuse directe aux interventions palliatives [Internet]. Sauramps Medical. Available from: <https://www.livres-medicaux.com/chirurgie-orthopedique/2027-lesions-traumatiques-des-nerfs-peripheriques-cahiers-d-enseignement-de-la-sofcot-n-95.html>

Annexes

Annexe 1 : Note d'information

Note d'information pour les participants à la recherche impliquant la personne humaine intitulée « SENARTECH »

La réparation de l'artère digitale palmaire propre améliore-t-elle la récupération sensitive dans les sections de pédicules digitaux palmaires ?

Promoteur :
CHRU de Lille

Investigateur coordonnateur :
Pr CHANTELOT Christophe, PU-PH
Hôpital Roger Salengro – Traumatologie / Orthopédie B
Avenue Emile Laine, 59037 Lille Cedex
Mail : christophe.chantelot@chru-lille.fr

Madame, Monsieur,

Le présent document décrit l'étude à laquelle il vous est proposé de participer. Il résume les informations actuellement disponibles en répondant aux différentes questions que vous pouvez vous poser dans le cadre de votre participation à cette recherche.

1) Pourquoi me propose t-on de participer à cette étude ?

Les sections des nerfs digitaux palmaires propres de la main constituent les lésions les plus fréquentes des nerfs périphériques. Chaque nerf digital palmaire propre est vascularisé par l'artère digitale palmaire dont il est satellite. L'indication d'une réparation primaire systématique de l'artère associée à une réparation du nerf semble être évidente, cependant la réparation de l'artère augmente le coût de l'intervention, prolonge la durée de l'opération et le temps de garrot pneumatique, et accroît donc les risques qui en découlent sans pour autant garantir une meilleure récupération sensitive. Cela impose que la réparation de l'artère du pédicule présente un véritable intérêt pour le patient et c'est à dire une meilleure récupération de la sensibilité au niveau de l'hémipulpe. Néanmoins, il existe peu d'études démontrant l'intérêt de ce geste sur le pronostic de la récupération nerveuse.

2) Quel est l'objectif de la recherche ?

L'objectif principal de l'étude est la comparaison de la récupération sensitive en fonction de la perméabilité de l'artère digitale palmaire propre dans les réparations primaires des sections des pédicules vasculo-nerveux digitaux palmaires.

3) Comment va se dérouler la recherche ?

Une échographie en mode Doppler couleur, Doppler pulsé et Superb Microvascular Imaging (SMI) sera réalisée pour analyser l'état de perméabilité artérielle au site de réparation et définir ses caractéristiques. Ces acquisitions nous permettront de définir deux groupes : un groupe comprenant les patients présentant une artère perméable (groupe 1), et un groupe présentant une artère non

perméable (groupe 2). Une consultation avec un chirurgien orthopédique sera également réalisée pour recueillir les critères d'évaluation clinique. La durée de participation du patient à la recherche est d'environ 30 minutes (durée de la consultation associée à la réalisation d'une échographie du doigt lésé et du doigt controlatéral correspondant) :

- **Consultation avec un chirurgien orthopédique (faisant partie des investigateurs principaux) :**

Un interrogatoire détaillé sera mené au début de la consultation pour recueillir (et/ou vérifier) les informations suivantes : sexe, âge, profession, membre dominant, tabagisme, antécédents médicaux et chirurgicaux, mécanisme lésionnel et type de plaie, localisation de la plaie, date de l'intervention, le délai de la prise en charge chirurgicale et la présence ou non d'une douleur neuropathique et/ou une intolérance au froid.

L'examen clinique de la sensibilité sera débuté par une inspection de la main à la recherche d'éventuels troubles trophiques. Plusieurs tests cliniques évaluant la sensibilité seront ensuite réalisés :

- Le test de Weber statique (s2PD) sera réalisé à l'aide d'un disque de Greulich (Arex, Paris, France), appliqué sur la pulpe du doigt lésé et celui controlatéral sain. La pression exercée sur la pulpe ne doit pas dépasser le seuil de blanchiment cutané.
- La recherche d'un "Hot Point". Celui-ci est considéré présent si le patient présente des paresthésies à la percussion en regard de la zone de réparation, témoignant d'une repousse nerveuse de mauvaise qualité et éventuellement le développement d'un névrome.

A la fin de chaque consultation, les questionnaires suivants seront remplis par le patient :

- Le DN4 (Douleur Neuropathique 4 Questions) est un questionnaire dirigé par l'examineur, composé de 4 questions. Le diagnostic de douleur neuropathique est établi devant un score supérieur ou égal à 4/10.
- Le QuickDASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) est un auto-questionnaire pour évaluer le retentissement fonctionnel de la pathologie sur le patient.

- **Échographie (Doppler couleur, Doppler pulsé et Superb Microvascular Imaging) réalisée par un radiologue spécialisé en imagerie musculo-squelettique :**

- Échographie ciblée sur la zone d'intérêt (doigt ayant été pris en charge chirurgicalement) et utilisant comme comparatif le même doigt de la main controlatérale (si sain) ou le doigt adjacent sain le plus proche.

4) Quels sont les bénéfices attendus ?

Il n'existe aujourd'hui pas de consensus sur l'indication de la réparation systématique de l'artère dans les sections unipédiculaires des pédicules vasculo-nerveux digitaux palmaires propres. La réalisation de ce geste complémentaire n'est pas anodine, et est à l'origine de :

- Une augmentation significative du coût de l'intervention.
- Une augmentation de la durée de l'intervention, et par conséquent une majoration de l'anxiété du patient, du risque de douleur post-opératoire et d'algoneurodystrophie, et du risque d'infection du site opératoire.

- Une augmentation du temps de garrot pneumatique au niveau de la racine du membre exposant le patient à des douleurs peropératoires prolongées et, quoique rare, au risque d'ischémie nerveuse.

De ce fait, pour que le geste soit justifié, il est primordial qu'il soit d'un véritable intérêt pour le patient et donc pour le pronostic de la récupération nerveuse. Une analyse fine, pertinente et comparative de la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle nous permettra de juger l'intérêt de la réparation artérielle en cas de section unipédiculaire.

5) La recherche comporte-t-elle des risques, des effets indésirables et/ou des contraintes particulières ?

Il n'existe aucun risque connu lié à l'examen clinique de la sensibilité (comme détaillé ci-dessus), ni à l'échographie des doigts.

8) Quelles sont les conditions de participation à la recherche ?

Afin de pouvoir participer à cette étude, vous devez être affilié(e) à un régime obligatoire d'Assurance Maladie ou ayant droit d'un assuré social.

Votre participation à cette étude nécessite que nous informions votre médecin traitant, sauf si vous le refusez.

9) Quels sont mes droits en tant que participant à la recherche ?

Dans le cadre de la recherche, un traitement de vos données personnelles sera mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de l'étude au regard de l'objectif de cette dernière qui vous a été présenté.

A cette fin, les données médicales vous concernant ou tout autre type de données existantes pourront être transmises au Promoteur de la recherche ou aux personnes ou société agissant pour son compte ou menant des projets de recherche conjoints, en France ou à l'étranger, y compris en dehors de l'Union Européenne à condition que le pays de destination soit reconnu par les autorités françaises comme assurant un niveau de protection des données suffisant et approprié. Ces données seront identifiées par un numéro de code et vos initiales. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises et étrangères.

Conformément aux dispositions de la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés, et au règlement européen sur la protection des données personnelles (2016/679), vous disposez des droits suivants :

Droit d'accès

Vous pouvez à tout moment obtenir au cours ou à l'issue de la recherche, communication de vos données de santé détenues par votre médecin (article 12 RGPD).

Droit à l'information : Vous disposez d'un droit d'information sur les données personnelles vous concernant collectées, traitées ou, le cas échéant, transmises à des tiers (article 15 RGPD).

Droit à la rectification : Vous avez le droit de demander la correction des données personnelles incorrectes vous concernant (articles 16 et 19 RGPD).

Droit d'effacement : Vous avez le droit de demander l'effacement des données personnelles vous concernant uniquement si ces données ne sont plus nécessaires aux fins pour lesquelles elles ont été collectées (articles 17 et 19 de la RGPD).

Droit à la limitation du traitement : Sous certaines conditions, vous avez le droit de demander une limitation du traitement. Dans ce cas, vos données pourront uniquement être stockées mais pas utilisées dans le cadre du traitement, sauf avec votre consentement exprès (articles 18 et 19 RGPD).

Droit à la portabilité des données : Vous avez le droit de recevoir vos données personnelles qui ont été fournies à la personne responsable de l'essai clinique. Vous pouvez ensuite demander que ses données vous soient transmises ou, si cela est techniquement possible, qu'elles soient transmises à un autre organisme de votre choix (Article 20 RGPD).

Droit d'opposition : Vous avez le droit de vous opposer à tout moment au traitement de vos données personnelles (article 21 RGPD). Le traitement est alors arrêté par le promoteur, sauf motifs légitimes et impérieux, ou pour la constatation, l'exercice ou la défense de droits en justice.

Consentement au traitement des données personnelles et droit de révoquer ce consentement.
Le traitement de vos données personnelles n'est autorisé qu'avec votre consentement (article 6 RGPD).

Vous avez le droit de révoquer votre consentement au traitement de vos données personnelles à tout moment (article 7, paragraphe 3 RGPD).

Pour exercer l'un de ces droits, vous pouvez contacter le médecin investigateur de l'étude ou le délégué à la protection des données du promoteur (DPO).

Vous avez également le droit de déposer une plainte auprès de la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL) si vous estimez que le traitement de vos données personnelles est réalisé en violation de vos droits.

Si vous le souhaitez, nous vous communiquerons les résultats globaux de l'étude à la fin de celle-ci par courrier postal.

Vous n'aurez à supporter aucune charge financière supplémentaire du fait de votre participation à cette étude.

10) Le CHRU de Lille est-il autorisé à réaliser ce type de recherche ?

Oui, en application de la loi, a reçu, le 08 décembre 2021 un avis favorable du Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest, organisme officiel et indépendant qui a vocation à protéger la sécurité des personnes qui se prêtent à la recherche.

11) A qui dois-je m'adresser en cas de questions ou de problèmes ?

Vous pouvez poser toutes les questions que vous souhaitez, avant, pendant et après l'étude en vous adressant à :

- Ziad ABDALLAH, interne en chirurgie orthopédique et traumatologique au CHU de Lille
Mail : ziad.g.abdallah@gmail.com
- Marc SAAB, Chef de clinique en Orthopédie B au CHU de Lille
Mail : marc.saab@outlook.com

Nous vous remercions de parapher chaque page de ce document (réalisé en trois exemplaires), afin d'attester que vous l'avez lu et compris. Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, nous vous remercions également de bien vouloir donner votre consentement écrit en signant le formulaire ci-après.

Annexe 2 : Formulaire de consentement

Formulaire de consentement de participation à une recherche RIPH

Promoteur CHRU de Lille
Investigateur coordonnateur (Pr. Christophe CHANTELOT)

Je soussigné(e) Mme, M^{lle}, M. (rayer les mentions inutiles)
accepte librement et volontairement de participer à la recherche (RIPH) intitulée

La réparation de l'artère digitale palmaire propre améliore-t-elle la récupération sensitive dans les sections de pédicules digitaux palmaires ?

dont le CHRU de Lille est promoteur et qui m'a été proposée par le Docteur/Professeur (nom, coordonnées).....

Etant entendu que :

- Le médecin qui m'a informé(e) et a répondu à toutes mes questions, m'a précisé que ma participation à cette étude est libre et que je peux arrêter d'y participer à tout moment en informant préalablement mon médecin
- J'ai été clairement informé(e) des éléments suivants : But de la Recherche- Méthodologie- Durée de ma participation- Bénéfices attendus- Contraintes- Risques prévisibles.
- J'ai bien compris que pour pouvoir participer à cette recherche, je dois être affilié(e) à un régime de sécurité sociale ou être ayant-droit d'un assuré social. Je confirme que c'est bien le cas,
- Si je le souhaite, je serai informé(e) par le médecin des résultats globaux de cette recherche selon les modalités figurant dans la note d'information qui m'a été remise,
- Mon consentement ne décharge en rien le médecin et le promoteur de l'ensemble de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

-J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette recherche puissent faire l'objet d'un traitement informatisé par le promoteur ou pour son compte. J'ai bien noté que les droits concernant mes données personnelles prévus par la loi du 6 janvier 1978 modifiée relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (art. 39) et par le règlement européen sur la protection des données personnelles (2016/679) (Articles 12 et suivants)¹ s'exercent à tout moment auprès du médecin qui me suit dans le cadre de la recherche et qui connaît mon identité ou du Responsable de la protection des données du promoteur (DPO). Je pourrai exercer mon droit de rectification et d'opposition auprès de ce même médecin ou du DPO, qui contacteront le promoteur de la recherche.

Fait à, le.....

Signature du participant, ou du représentant légal (barrer la mention inutile) :

Fait à, le.....

Signature du médecin investigateur ou du médecin qui le représente (barrer la mention inutile) :

Le présent formulaire est réalisé en trois exemplaires, dont un est remis à l'intéressé, ou à son représentant légal (pour les majeurs sous tutelle ou sous curatelle). Un exemplaire sera conservé par l'investigateur ; le dernier sera conservé par le promoteur en toute confidentialité, conformément à la loi.

¹ Les droits concernant les données personnelles sont détaillés dans la note d'information de l'étude remis au participant à la recherche.

Annexe 3 : Questionnaire DN4 (Douleur Neuropathique en 4 Questions)

Questionnaire DN4

Un outil simple pour rechercher les douleurs neuropathiques

Pour estimer la probabilité d'une douleur neuropathique, le patient doit répondre à chaque item des 4 questions ci dessous par « oui » ou « non ».

QUESTION 1 : la douleur présente-t-elle une ou plusieurs des caractéristiques suivantes ?

	Oui	Non
1. Brûlure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Sensation de froid douloureux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Décharges électriques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION 2 : la douleur est-elle associée dans la même région à un ou plusieurs des symptômes suivants ?

	Oui	Non
4. Fourmillements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Picotements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Engourdissements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Démangeaisons	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION 3 : la douleur est-elle localisée dans un territoire où l'examen met en évidence :

	Oui	Non
8. Hypoesthésie au tact	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Hypoesthésie à la piquûre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION 4 : la douleur est-elle provoquée ou augmentée par :

	Oui	Non
10. Le frottement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

OUI = 1 point

NON = 0 point

Score du Patient : /10

MODE D'EMPLOI

Lorsque le praticien suspecte une douleur neuropathique, le questionnaire DN4 est utile comme outil de diagnostic.

Ce questionnaire se répartit en 4 questions représentant 10 items à cocher :

- ✓ Le praticien interroge lui-même le patient et remplit le questionnaire
- ✓ A chaque item, il doit apporter une réponse « oui » ou « non »
- ✓ A la fin du questionnaire, le praticien comptabilise les réponses, 1 pour chaque « oui » et 0 pour chaque « non ».
- ✓ La somme obtenue donne le Score du Patient, noté sur 10.

Si le score du patient est égal ou supérieur à 4/10, le test est positif (sensibilité à 82,9 % ; spécificité à 89,9 %)

D'après Bouhassira D et al. Pain 2004 ; 108 (3) : 248-57

Echelle téléchargée sur le site www.sfetd-douleur.org



Annexe 4 : QuickDASH

1

Quick DASH					
Veuillez évaluer vos possibilités d'effectuer les activités suivantes au cours des 7 derniers jours en entourant le chiffre placé sous la réponse appropriée					
	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1.	Dévisser un couvercle serré ou neuf				
	1	2	3	4	5
2.	Effectuer des tâches ménagères lourdes (nettoyage des sols ou des murs)				
	1	2	3	4	5
3.	Porter des sacs de provisions ou une mallette				
	1	2	3	4	5
4.	Se laver le dos				
	1	2	3	4	5
5.	Couper la nourriture avec un couteau				
	1	2	3	4	5
6.	Activités de loisir nécessitant une certaine force ou avec des chocs au niveau de l'épaule du bras ou de la main. (bricolage, tennis, golf, etc..)				
	1	2	3	4	5
	Pas du tout	Légèrement	Moyennement	Beaucoup	Extrêmement
7.	Pendant les 7 derniers jours, à quel point votre épaule, votre bras ou votre main vous a-t-elle gêné dans vos relations avec votre famille, vos amis ou vos voisins ? (entourez une seule réponse)				
	1	2	3	4	5
	Pas du tout limité	Légèrement limité	Moyennement limité	Très limité	Incapable
8.	Avez-vous été limité dans votre travail ou une de vos activités quotidiennes habituelles en raison de problèmes à votre épaule, votre bras ou votre main?				
	1	2	3	4	5
	Aucune	Légère	Moyenne	Importante	Extrême
Veuillez évaluer la sévérité des symptômes suivants durant les 7 derniers jours. (entourez une réponse sur chacune des lignes)					
9.	Douleur de l'épaule, du bras ou de la main				
	1	2	3	4	5
10.	Picotements ou fourmillements douloureux de l'épaule, du bras ou de la main				
	1	2	3	4	5
	Pas du tout perturbé	Un peu perturbé	Moyennement perturbé	Très perturbé	Tellement perturbé que je ne peux pas dormir
11.	Pendant les 7 derniers jours, votre sommeil a-t-il été perturbé par une douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ? (entourez une seule réponse)				
	1	2	3	4	5
Le score QuickDASH n'est pas valable s'il y a plus d'une réponse manquante.					
Calcul du score du QuickDASH = ([somme des n réponses] - 1) X 25, où n est égal au nombre de réponses.					
n					

MODULE PROFESSIONNEL (OPTIONNEL)

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **au cours de votre travail (y compris les travaux ménagers s'il s'agit de votre activité principale)**.

Précisez la nature de votre travail/métier : _____

Je ne travaille pas (Vous pouvez sauter cette partie du questionnaire)

Entourez la réponse qui décrit le plus précisément vos possibilités durant les 7 derniers jours.

Avez-vous eu des difficultés :	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1. Pour travailler en utilisant votre technique habituelle ?	1	2	3	4	5
2. Pour travailler comme d'habitude à cause de la douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ?	1	2	3	4	5
3. Pour travailler aussi bien que vous le souhaitez ?	1	2	3	4	5
4. Pour passer le temps habituellement consacré à votre travail ?	1	2	3	4	5

MODULE SPORTS/ACTIVITES ARTISTIQUES (OPTIONNEL)

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **lorsque vous jouez d'un instrument ou que vous pratiquez un sport ou les deux**. Si vous pratiquez plusieurs sports ou plusieurs instruments (ou les deux), vous êtes priés de répondre en fonction de l'activité qui est la plus importante pour vous.

Indiquez le sport ou l'instrument qui est le plus important pour vous : _____

Je ne pratique aucun sport ni aucun instrument. (Vous pouvez sauter cette partie du questionnaire)

Entourez 1 seule réponse par ligne, considérant vos possibilités durant les 7 derniers jours.

Avez-vous eu des difficultés :	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument avec votre technique habituelle ?	1	2	3	4	5
2. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument à cause des douleurs de votre épaule, de votre bras ou de votre main ?	1	2	3	4	5
3. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument aussi bien que vous le souhaitez ?	1	2	3	4	5
4. Pour passer le temps habituel à pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument ?	1	2	3	4	5

Calcul du score pour les modules optionnels : Additionner les valeurs obtenues pour chaque réponse ; diviser par 4 (nombre de réponses) ; soustraire 1 ; multiplier par 25

Le score n'est valable pour les modules optionnels qu'en l'absence de réponse manquante.

Annexe 5 : Score BMRC (British Medical Research Council) modifié par Mackinnon et Dellon

Grade	Récupération sensitive	Weber statique (mm)	Weber dynamique (mm)
S0	Aucune sensibilité		
S1	Récupération de la sensibilité cutanée douloureuse profonde		
S1+	Récupération de la sensibilité cutanée douloureuse superficielle		
S2	Récupération de la sensibilité cutanée douloureuse superficielle et d'une certaine sensibilité au toucher (différentiation du pique/touche, pas de discrimination des deux points).		
S2+	S2 avec hyperesthésie		
S3	Récupération de la sensibilité douloureuse et tactile, disparition de l'hyperesthésie, début de discrimination.	>15	>7
S3+	S3 avec retour d'une discrimination utile	7–15	4–7
S4	Sensibilité normale	2–6	2–3

Annexe 6 : Classification de Möberg [77]

	Test de Weber statique
Bon	< 10 mm
Assez bon	12–15 mm
Médiocre	15–20 mm
Mauvais	> 20 mm

Annexe 7 : Score de Al-Ghazal [17]

<i>Tests</i>	<i>Poor</i>	<i>Fair</i>	<i>Good</i>	<i>Excellent</i>
2PD (5 points)	> 15 mm (0.5 points)	11–15 mm (2 points)	6–10 mm (3.5 points)	< 6 mm (5 points)
Light touch (3 points)	S0 (0 points) S1 (1 point)	S2 (1.5 points)	S3 (2 points)	S3+ (2.5 points) S4 (3 points)
Stereognosis (1 point)	negative (0 points)		positive (1 point)	
Sweating Activity (1 point)	negative (0 points)		positive (1 point)	

AUTEUR : Nom : Abdallah

Prénom : Ziad

Date de soutenance : 28 Avril 2022

Titre de la thèse : Évaluation de la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle dans les sections des pédicules digitaux palmaires.

Thèse - Médecine - Lille 2022

Cadre de classement : Chirurgie de la main

DES + spécialité : Chirurgie générale – Orthopédie - Traumatologie

Mots-clés : Artère digitale - Nerf digital - Réparation primaire - Perméabilité - Sensibilité

Résumé

Introduction : Les sections des nerfs digitaux palmaires propres de la main constituent les lésions les plus fréquentes des nerfs périphériques. Il existe peu d'études évaluant l'intérêt de la réparation concomitante de l'artère digitale palmaire propre sur le pronostic de la récupération nerveuse. L'objectif principal était de comparer la récupération sensitive en fonction de la perméabilité artérielle dans les sections unipédiculaires des pédicules vasculonerveux digitaux palmaires propres.

Matériel et Méthode : Dans cette étude comparative rétrospective, des patients ayant bénéficiés d'une réparation du nerf digital palmaire propre associée ou non à une réparation de l'artère ont été réévalués à minimum 1 an de la chirurgie. La perméabilité artérielle était évaluée par une échographie en mode Doppler pulsé, couleur et Superb Microvascular Imaging (SMI) permettant de définir deux groupes : perméable vs non perméable. Le critère de jugement principal était la valeur quantitative du test de Weber statique (s2PD). Les critères de jugement secondaires étaient : la douleur neuropathique, l'intolérance au froid, la présence d'un « Hot Point », le score QuickDASH, la réduction du calibre artériel, le Systolic Velocity Ratio (SVR) et la richesse de la collatéralité artérielle péri-lésionnelle.

Résultats : Cinquante-et-un patients ont été revus à un recul moyen de 1,9 ans. On retrouvait 36 artères perméables (P) contre 15 artères non perméables (NP). Aucune différence statistiquement significative n'était retrouvée entre les groupes perméable (10,31 mm +/- 4,03) et non perméable (9,53 mm +/- 4,19) sur la récupération sensitive ($p=0,453$). La collatéralité artérielle péri-lésionnelle était significativement plus riche chez les patients du groupe non perméable (86,67%) que chez ceux du groupe perméable (47,22%) ($p = 0,021$). La douleur neuropathique (P:16,6% vs NP:6,6%), l'intolérance au froid (P:50% vs NP:60%), la présence d'un « Hot Point » (P:19,4% vs NP:13,3%) et le QuickDASH (P:1,15 vs NP:1,15) semblaient être comparables entre les deux groupes. Il n'existait aucune corrélation entre, d'une part, la récupération sensitive, et d'autre part, la réduction du calibre artériel (12,4% +/-12,3) et le Systolic Velocity ratio (1,3 +/- 0,4) (respectivement $p=0,466$; $p=0,419$).

Discussion : Notre étude ne retrouvait aucune influence de la perméabilité artérielle sur le pronostic sensitif dans les sections unipédiculaires des pédicules vasculonerveux digitaux palmaires propres.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur CHANTELOT

Assesseurs : Monsieur le Professeur MAYNOU
Monsieur le Professeur DEMONDION

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur SAAB