



Faculté de médecine de Grenoble

LA CHIRURGIE DE LA MAIN SOUS WALANT ET SES CONSEQUENCES POUR LE REEDUCATEUR

Mémoire présenté par

Guillaume COLIN

Masseur-kinésithérapeute, Chambéry

Pour l'obtention du

**Diplôme Inter Universitaire Européen de Rééducation et d'Appareillage en
Chirurgie de la Main**

Jury

Pr François Moutet pour l'UGA,

Dr Alexandra Forli pour l'UGA,

Dr André Gay de Marseille,

Véronique Le Gac de Caen, MKDE et orthésiste,

Denis Gerlac d'Echirolles, MKDE et orthésiste.

2019-2021

Remerciements

Je tiens à remercier vivement :

Le professeur Moutet, Alexandra Forli et Denis Gerlac pour la conception, la qualité de l'enseignement de ce diplôme, et leur adaptation pour assurer par visioconférences la continuité des cours.

Les responsables de stage et leurs collègues pour leur accueil, leur disponibilité, leur volonté de partage et la valeur de leur échange.

Le Dr Xavier Gueffier pour m'avoir permis d'assister à ses interventions chirurgicales, pour sa disponibilité et ses précieux conseils.

Philippe Pernot, pour ses conseils, pour le partage de son expérience de rééducateur ... le tout dans la bonne humeur !

Alexandra Perret, passionnée généreuse aux grandes valeurs humaines... pour ses commentaires et conseils lors de sa relecture.

Mélanie pour sa relecture.

Marie pour sa patience.

Table des matières

INTRODUCTION Générale.....	5
CHAPITRE 1 : QU'EST CE QUE la WALANT EN CHIRURGIE DE LA MAIN ?.....	6
1. Les origines canadiennes de la WALANT pour la chirurgie de la Main	6
2. Description de la WALANT	8
2. 1 : La solution anesthésique	9
2. 1. 1 : La lidocaïne	9
2. 1. 2 : L'adrénaline	17
2. 1. 3 : Le bicarbonate de sodium	18
2. 1. 4 : La phentolamine.....	18
2. 2 : Précautions d'usage de la solution anesthésiante et contre-indications à la chirurgie sous WALANT.....	18
3. Considérations générales sur les différents types d'anesthésies et leur utilisation en chirurgie de la Main	22
3.1 : Les différents types d'anesthésies locorégionales (ALR).....	22
3.2 : Choix de l'anesthésie et chirurgie	25
4. Le tourniquet, ou garrot en chirurgie de la Main	26
4.1: Un peu d'histoire.....	26
4.2 : Définition du mot tourniquet.....	27
4.3 : Principe d'action du garrot.....	27
4.4 : Complications liées à l'usage du garrot en chirurgie orthopédique	28
4.4.1 : Complications locales	28
4.4.2 : Complications générales	30
4.4.3 : Risque infectieux.....	30
4.5 : Douleur et garrot en chirurgie de la Main	30
Conclusion du chapitre 1	31
CHAPITRE 2 : Rééducation après chirurgie de la Main sous WALANT	32
1. Les intérêts de la WALANT pour le patient	32
1.1 : Participation active.....	32
1.2 : Réorganisation corticale permise en peropératoire et impotence fonctionnelle évitée en postopératoire immédiat.....	33
1.3 : Éducation thérapeutique peropératoire	36
2. Les sutures tendineuses : un exemple typique des adaptations en chirurgie et en rééducation permises par la WALANT.....	37
2.1 : Incidences sur la Chirurgie des tendons fléchisseurs	37

2.1.1 : Ouvrir les poulies A2 et/ou A4	37
2.1.2 : Repérer et réparer les « gaps »	38
2.1.3 : Technique de suture	38
2.2 : Incidences sur la rééducation des tendons fléchisseurs.....	39
2.2.1 : Les avancées concernant la rééducation des tendons fléchisseurs suturés en zone 2	39
2.2.2 : limiter la mobilité active précoce à un demi poing fermé pendant 4 semaines	39
2.2.3 : Adaptation nécessaire du placé/tenu	40
2.2.4 : Adaptations des orthèses dans les protocoles de rééducation des sutures de fléchisseurs en zone 2	40
2.2.5 : Mobilité active précoce facilitée	41
2.3 : Incidences sur la prise en charge des tendons extenseurs	44
3. Discussion	47
3.1 : Indications de la WALANT en chirurgie de la main en France.....	47
3.2 : La première séance de rééducation	48
3.2.1 : Principes et objectifs	48
3.2.2 : Imagerie et observation motrice.....	49
3.2.3 : WALANT et prévention.....	50
4. Questionnaire auprès de chirurgiens de la main	51
CONCLUSION générale.....	53
ANNEXE 1: Graded MOTOR IMAGERY PROGRAM (gmip)	55
ANNEXE 2 : Questionnaire WALANT : Questions envoyées et Réponses.....	56
ANNEXE 3 : Un exemple d’auto-évaluation subjective: Le bilan du Dr Aram Gazarian	57
ANNEXE 4 : Intérêts de la WALANT pour le chirurgien, le patient et le rééducateur	58
ANNEXE 5: Liste des documents présentés dans le mémoire.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	60

INTRODUCTION GENERALE

La prise en charge d'un patient en rééducation et appareillage après chirurgie de la Main impose aux rééducateurs d'en connaître les différentes pathologies et leurs traitements.

Dans le cadre de l'urgence comme dans la chirurgie programmée, l'anesthésie du patient peut se faire de différentes manières.

Si dans l'anesthésie locorégionale (ALR), le bloc tronculaire est la technique de choix en chirurgie de la Main, certains chirurgiens tirent aussi profit d'un autre type d'anesthésie pratiqué localement et sans garrot pneumatique sur un patient en pleine conscience : la WALANT.

WALANT est l'acronyme de *Wide Awake Local Anesthesia No Tourniquet*.

« *Wide Awake* » : le patient est en *pleine conscience* pendant l'intervention chirurgicale.

« *Local Anesthesia* » : il s'agit d'une *anesthésie locale* par tumescence.

« *No Tourniquet* » : *sans garrot* pendant l'intervention.

J'ai eu la chance d'assister à des interventions chirurgicales de la Main sous WALANT. Ce travail est le fruit de mes réflexions, enrichies des échanges interprofessionnels initiés grâce à ce DIU.

Ce mémoire vise d'une part à présenter cette technique d'anesthésie parmi celles utilisées en chirurgie de la main, et d'autre part à réfléchir à ses implications sur nos pratiques en tant que thérapeutes de la Main.

Je terminerai en présentant un questionnaire auquel ont répondu des chirurgiens membres de la Société Française de Chirurgie de la Main (SFCM), accrédités Fédération Européenne des Services d'Urgence de la Main (FESUM).

Ce questionnaire permet de se faire une idée de l'intérêt qu'ils portent à cette technique.

CHAPITRE 1 : QU'EST CE QUE LA WALANT EN CHIRURGIE DE LA MAIN ?

Dans cette première partie nous évoquerons d'abord l'origine canadienne de la WALANT pour la chirurgie de la Main et présenterons la technique afin d'en faire ressortir les intérêts spécifiques par rapport aux autres types d'anesthésies en chirurgie de la Main. Le garrot en chirurgie sera abordé à la fin de cette première partie.

1. LES ORIGINES CANADIENNES DE LA WALANT POUR LA CHIRURGIE DE LA MAIN

La « *WALANT hand surgery* », ou chirurgie de la main sous WALANT, se développe dans le monde, et notamment en France depuis quelques années, sous l'impulsion d'un chirurgien canadien : le Dr Donald Lalonde, Professeur de chirurgie plastique et reconstructive de l'université Dalhousie à Saint John, au Nouveau-Brunswick, Canada. [1]

Au Canada, la « *WALANT surgery* » s'est développée dès les années 1960. [2]

Les chirurgiens plastiques pour les excisions des cancers de la peau pratiquaient déjà ce type d'anesthésie locale par tumescence.

Le Dr Johan Cornelis, formé par Dr McGill, a été le premier chirurgien plasticien du Nouveau-Brunswick à Saint John en 1968 à adapter la WALANT à la chirurgie de la main.

Les interventions de chirurgie de la main du Dr Donald Lalonde ont progressivement adopté les mêmes procédures que les interventions concernant la dermatologie à savoir :

- Anesthésie de type WALANT,
- « *minor procedure rooms* », c'est-à-dire que la chirurgie de la main est faite dans une salle hors du bloc opératoire, avec procédures simplifiées.

En 2011, une étude prospective multicentrique [3] portant sur plus de 1504 patients a montré la stérilité de ces « *minor procedure rooms* » pour la chirurgie du canal carpien avec un taux d'infection très faible, de 0,39 %. Des 6 cas d'infection de l'étude, aucun n'a nécessité d'antibiotiques par voie intraveineuse, de reprise chirurgicale, ni donc d'hospitalisation.

Depuis les années 2000, c'est donc au Dr Lalonde que l'on doit la diffusion de la WALANT Surgery à travers le monde.

Professeur de chirurgie plastique et reconstructive de l'Université Dalhousie à Saint John, au Nouveau-Brunswick, Canada, il a été président de l'American Association for Hand Surgery (AAHS), président de la Société Canadienne des Chirugiens Plasticiens (SCPP) et président du Comité de Spécialité en Chirurgie Plastique du Collège Royal des Médecins et Chirugiens du Canada (CRMCC) et du jury d'examen en Chirurgie Plastique.

Il a été invité plus de 35 fois au Canada et aux États-Unis, et a été invité à participer à plus de 200 congrès internationaux de la Main. Il a été un conférencier invité à la réunion annuelle de l' American Society of Hand Therapists (ASHT) de 2015 à Denver, au cours de laquelle il a également été nommé membre honoraire de l'ASHT. Il a publié plus de 100 articles dans des revues à comité de lecture (source ASHT).

Il a créé avec le Dr Alistair Phillips -chirurgien orthopédique de la main et de la traumatologie à Southampton, au Royaume-Uni - le site Walant Surgery, sur lequel sont répertoriés les vidéos et articles concernant cette technique, en accès libre et gratuit pour en promouvoir la technique.

Il a écrit un livre référence sur la WALANT : *Wide Awake Hand Surgery* [4].

La plupart de ses articles et vidéos sont en accès libre, chose rare dans le milieu médical.

À force de communications internationales, le Dr Lalonde a fait des émules partout dans le monde. Jusque récemment, il proposait de former directement les chirurgiens de la main intéressés. Les vidéos mises en ligne sur les réseaux sociaux par ses disciples contribuent à faire connaître cette technique aussi bien au monde médical qu'auprès du grand public.

2. DESCRIPTION DE LA WALANT

La WALANT est une technique d'anesthésie par tumescence adaptée pour la chirurgie de la Main.

La technique initialement décrite est réalisée à l'aveugle [4]: il suffit d'anesthésier la zone à opérer.

Cette anesthésie est réalisée localement par l'infiltration d'un volume d'une solution anesthésique composé de lidocaïne et d'adrénaline diluées dans une solution tampon.

La quantité de volume injectée va provoquer, comme son nom l'indique, un gonflement de la peau du patient sous les injections de la solution anesthésiante. Ce liquide va se propager par imbibition des différentes couches tissulaires.

L'anesthésie locale doit d'abord être administrée de manière proximale pour réaliser un blocage régional des nerfs sensoriels qui innervent toute la région opérée (Document 1).

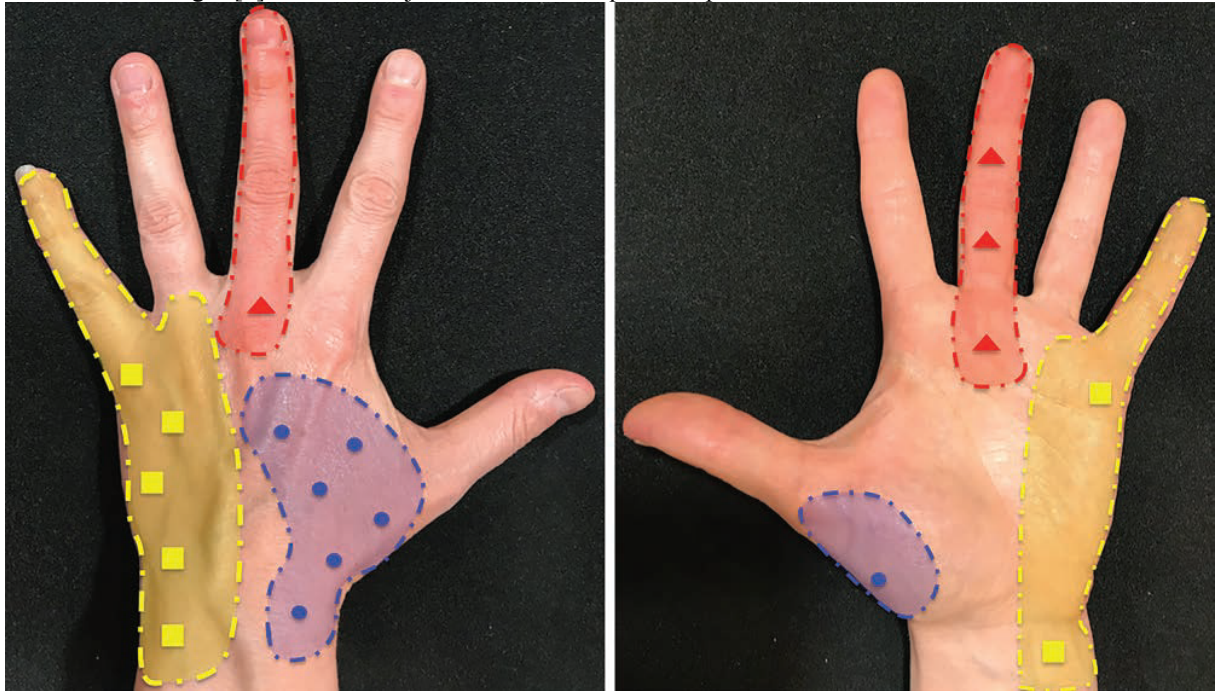
Les sites d'injection et la région d'anesthésie sont illustrés pour les fractures des phalanges (triangles rouges), les fractures de la base du premier métacarpien (cercles bleus) et les fractures du cinquième métacarpien (carrés jaunes)

Les points d'injection et les volumes à injecter sont décrits selon l'intervention à réaliser.

Il faut un délai entre l'injection de la solution anesthésiante et le début de l'acte chirurgical de 30 minutes, délai nécessaire pour que l'adrénaline assure la vasoconstriction durant l'intervention. Le garrot n'est donc pas nécessaire.

C'est une anesthésie thermo-algique. Le patient peut ressentir qu'on le touche lors de l'intervention, mais sans douleur. Nous verrons pourquoi plus loin.

Document 1: Images [4] des sites d'injection d'anesthésique local pour diverses fractures de la main



Une anesthésie au contact du périoste et/ou intra articulaire, circonférentielle est nécessaire pour la chirurgie osseuse fracturaire ou arthroscopique du poignet, alors que pour la chirurgie de surface (comme les doigts à ressort ou les syndrômes canaux), l'injection de la solution anesthésiante est faite en sous cutanée.

2. 1 : La solution anesthésique

Une solution de tumescence simple à préparer [5] consiste à diluer 10 ml d'une solution de lidocaïne 1 % (10 mg/ml) avec adrénaline (10 µg/ml) dans 100 ml d'une solution de NaCl 0,9 % et d'ajouter 1 ml d'une solution de bicarbonate de sodium à 8,4 % .

La quantité de solution à préparer dépend essentiellement de la surface à anesthésier. La concentration finale de lidocaïne est de 1 mg/ml (0,1 %) et celle de l'adrénaline de 1 µg/ml.

Idéalement, il faudrait préparer la solution juste avant l'intervention.

2. 1. 1 : La lidocaïne

Chef de file des amino-amides, son intérêt est double : anesthésique local et anti-arythmique (Vidal). Elle fait partie des anesthésiques locaux (AL) qui sont des agents qui bloquent la conduction nerveuse de façon réversible.

2.1.1.1: Principe d'action de la lidocaïne

On peut faire une corrélation entre :

- **la localisation** (de la superficie à la profondeur) des récepteurs sensoriels et de leurs fibres nerveuses associées,
- **la dose de lidocaïne injectée**

ET

le **type d'anesthésie** provoquée par la lidocaïne.

Le système somesthésique qui grâce aux nombreux mécanorécepteurs, permet une proprioception consciente, est masqué par la WALANT.

Par contre, le système neuromusculaire qui permet une proprioception inconsciente n'est pas touché [6].

Cette anesthésie est principalement thermo-algique et touche moins la proprioception. En effet, en superficie du derme se trouvent les terminaisons libres.

Ces terminaisons libres sont responsables :

- de la transmission de messages efférents de nociception ainsi que de la sensation thermique,
- de la transmission (par l'intermédiaire des mécanorécepteurs de type Disques de Merkel) de la sensation de la pression légère,
- et de la transmission de la sensation des mouvements des poils par les mécanorécepteurs situés à l'intérieur et autour des follicules pileux.

Outre les terminaisons libres, superficielles, il existe aussi les terminaisons encapsulées :

Certaines sont localisées EN SUPERFICIE :

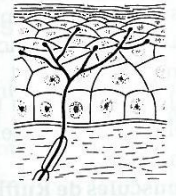
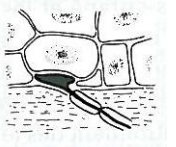
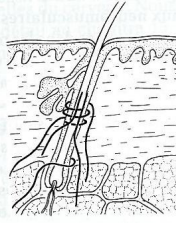
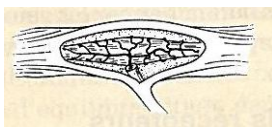
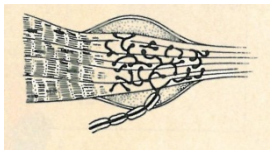
- 1/ Corpuscules de Meissner responsables de la sensation des pressions légères, toucher discriminant, vibration de basse fréquence,
- 2/ Corpuscules de Pacini, responsable de la sensation de pression intense, étirement, vibrations de haute fréquence .

D'autres sont localisées plus en PROFONDEUR :

- 1/ Corpuscules de Ruffini : pression intense et étirement,
- 2/ Fuseaux neuro-musculaires et neurotendineux, responsables de la proprioception.

Ainsi les récepteurs sensoriels peuvent être classés selon leur structure et leur fonction (Document 2).

Document 2: Classification des récepteurs sensoriels selon leur structure et leur fonction

Classe anatomique	Illustration	Classe fonctionnelle selon le type de stimulus	Situation
Terminaisons libres			
Terminaisons dendritiques de neurones sensitifs		Nocicepteur et thermorécepteurs	Dans les tissus conjonctifs très denses (ligaments, tendons, derme, capsules articulaires, périoste) et dans l'épithélium (épiderme, muqueuses, glandes)
Disques de Merkel (terminaisons dendritiques modifiés)		Mécanorécepteurs (pression légère) adaptation lente	À la base de l'épiderme
Plexus de la racine des poils		Mécanorécepteurs (mouvement des poils)	À l'intérieur et autour des follicules pileux
Terminaisons encapsulées			
Corpuscules de Meissner		Mécanorécepteurs (pressions légère, toucher discriminant, vibration de basse fréquence) adaptation rapide	Papilles du derme de la peau glabre (en particulier au bout des doigts)
Corpuscules de Pacini		Mécanorécepteurs (pression intense, étirement, vibrations de haute fréquence) ; adaptation rapide	Tissu sous-cutané (périoste, tendons, ligaments, capsules articulaires ; abondants dans les doigts, la plante des pieds,...)
Corpuscules de Ruffini		Mécanorécepteurs (pression intense et étirement) ; adaptation lente	Profondeur du derme, hypoderme et capsules articulaires
Fuseaux neuromusculaires		Mécanorécepteurs (étirement du muscle)	Muscles squelettiques, en particulier ceux des membres
Fuseaux neurotendineux		Mécanorécepteurs (étirement des tendons)	Tendons

Source : Marieb

Autour du site d'injection : l'anesthésie thermo-algique est complète mais la sensibilité est partielle.

En effet, pour une chirurgie de doigt à ressaut par exemple, où le site d'injection de la solution anesthésiante est palmaire, à la base de la métacarpo-phalangienne en regard de la poulie A1, si on teste la sensibilité tactile distalement au site d'injection, sur la pulpe par exemple, on aura une anesthésie tactile par diffusion de la solution, mais moins importante que sur le site d'injection lui même.

Les récepteurs sensitifs véhiculant des messages efférents sensitifs sont liés à un réseau de fibres nerveuses organisées en arborescence. La différence de seuil de perception des différents mécanorécepteurs est donc plus ou moins marquée en fonction du site d'injection de la solution anesthésiante et de la localisation de ces mécanorécepteurs.

La récupération de la sensibilité de la zone infiltrée se produit selon un ordre qui est en corrélation avec la morphologie et la profondeur des récepteurs ré-innervés :

- Douleur et température
- Toucher grossier
- Vibrations 30 Hz
- Toucher mobile
- Toucher constant
- Vibrations 256 Hz

La zone anesthésiée récupèrera, après l'intervention, la sensibilité suivant l'ordre inverse de la classification des déficits de la sensibilité (sensibilité et douleur) issue des recommandations de l' American Society for Surgery of the Hand (ASSH) et l' International Federation of Hand Surgeons IFSSH (Document 3)

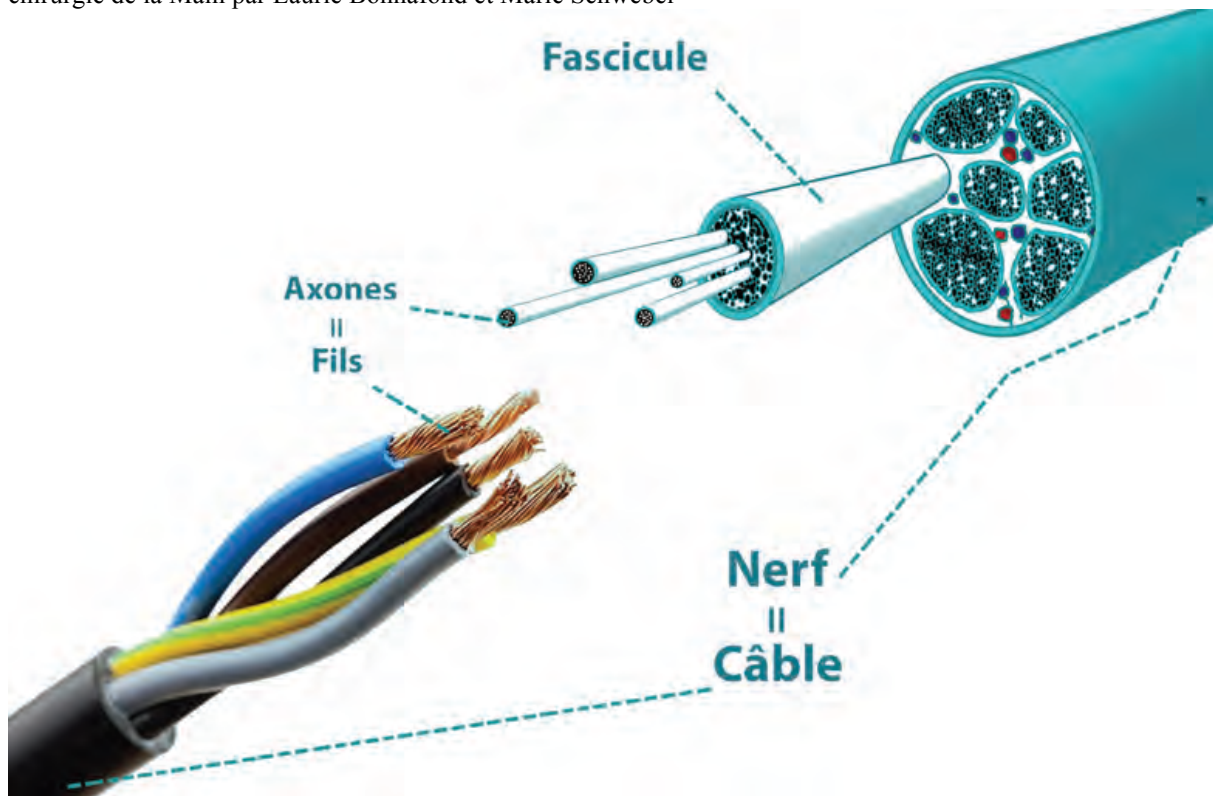
Document 3: Recommandations de L’American Society for Surgery of the Hand (ASSH) et la Federation of Hand Surgeons (IFSSH) pour la classification des déficits de la sensibilité (sensibilité et douleur)

CLASSIFICATION ET INTERPRETATION		
Degré	Niveau de sensibilité et/ou interférence de douleur associée	déficit sensibilité
5	Pas de perte de sensibilité, de sensation anormale ou d’interférence de douleur associée	0 %
4	Sensibilité tactile superficielle altérée (touché léger diminué et assez bonne discrimination des 2 points) avec ou sans sensations anormales minimales ou interférence de douleur associée qui sont oubliées pendant l’activité Sensibilité tactile superficielle altérée. Touché léger diminué et assez bonne discrimination des 2 points, entre 6mm et 10mm. Bonne localisation des stimuli sensoriels. Bonne sensibilité de protection. Avec ou sans sensations anormales minimales ou interférence de douleur associée qui sont oubliées pendant l’activité	5-25 %
3	Sensibilité tactile superficielle altérée (touché léger diminué et assez bonne discrimination des 2 points) avec sensibilité de protection normale et des quelques sensations anormales ou peu de douleur associées qui interfèrent dans quelques activités Sensibilité tactile superficielle altérée Touché léger et discrimination des 2 points diminués. Il peut y avoir des erreurs de localisation des stimuli et quelques sensations anormales et une ou une irritabilité accrue, et des douleurs faibles qui interfèrent dans les activités. Sensibilité de protection normale	30-50 %
2	Diminution de la douleur cutanée superficielle et de la sensibilité tactile (diminution de la sensibilité de protection) avec sensations anormales, ou associée avec des douleurs associées modérées qui peuvent empêcher certaines activités Diminution de la sensibilité de protection, qui est définie comme l’appréciation consciente de la douleur, de la température et de la pression avant qu’il y ait blessure par un stimulus. La fonction de la main est diminuée. Il peut y avoir des erreurs de localisation des stimuli et des réponses excessives (hyperesthésie ou paresthésies, hyperpathie ou allodynie). Ceci se traduit par une diminution de l’habileté de manipulation, de la fonction de préhension, et des plaintes de faiblesse de la main. Il est possible à ce stade d’avoir une appréciation grossière des 2 points, entre 11 et 15.	60-80 %
1	Absence de douleur superficielle et de sensibilité tactile (absence de sensibilité de protection) avec une certaine douleur cutanée profonde conservée et sensibilité à la pression profonde et sensations anormales or interférence sévère de douleur associées qui empêchent la plupart des activités Pas de sensibilité de protection. Les individus ont peu l’usage de leur main, ne peuvent pas manipuler des objets hors de la vue et ont tendances à se blesser facilement. Cependant, ils perçoivent la piqure et la pression profonde et sont complètement insensibles. La douleur ou la réponse à la douleur peuvent être sévère.	90-95 %
0	Absence des sensibilités, sensations anormales ou douleur interférente associée sévère qui empêchent toutes les activités	100 %

2.1.1.2 : Action des anesthésiques locaux sur la conduction nerveuse et physiologie de la conduction nerveuse

Un nerf regroupe un très grand nombre de fibres. Ainsi, le nerf pneumogastrique chez l'homme comporte environ 100 000 fibres.

Document 4 : Illustration tirée de la brochure réalisée dans le cadre du DIU Appareillage et rééducation en chirurgie de la Main par Laurie Bonnafond et Marie Schwebel



Les nerfs regroupent des fibres de diamètre variable et de fonctions diverses (fibres motrices, sensibles). Le nerf est entouré de gaines conjonctives protectrices. On distingue, de l'extérieur vers l'intérieur, l'épinèvre qui entoure le nerf (c'est le prolongement des méninges), le périnèvre qui délimite les différents fascicules à l'intérieur du nerf, et l'endonèvre qui est un tissu conjonctif situé entre les fibres. Ces différents tissus sont de bons isolants électriques qui permettent à l'information de circuler sans qu'un bruit parasite ne vienne perturber le signal.

Il se produit une extinction progressive du signal nerveux que l'on appelle la conduction décrémente et dont les particularités dépendent tout à la fois de la fibre et de sa myélinisation, de la localisation du bloc, de la concentration et de la nature de l'agent utilisé.

Deux types de neurofibres innervant les récepteurs cutanés conduisent les influx nociceptifs.

Les fibres A δ , myélinisées, qui ont comme trajet les afférences des nocicepteurs aux stimuli douloureux mécaniques (pression, étirement) et des thermorécepteurs de la peau, avec une vitesse moyenne de transport de 15m/sec.

L'influx véhiculé par les fibres A δ correspond à une douleur rapide, localisée et précise, dont la topographie et la qualité peuvent être discriminées. Elle rejoint le thalamus latéral par le faisceau néo-spino-thalamique puis le cortex sensitif avec le cortex somato-sensoriel primaire S1, auquel est attribué la discrimination des propriétés de la douleur ; et le cortex somato-sensoriel secondaire S2, auquel est attribué la reconnaissance de la douleur et la mémoire des douleurs passées.

Les fibres C, amyéliniques, qui ont comme trajet les afférences thermiques et nociceptives par des stimuli mécanique ou chimique (substances algogènes) ; avec une vitesse moyenne de transport de 1 m/sec.

L' influx véhiculé par les fibres C correspond à une douleur tardive et diffuse. Après un relais au niveau des structures du tronc cérébral, l'information nociceptive rejoint le thalamus médian, puis les structures limbiques et le cortex frontal (voie de l'émotion et du comportement).

L'effet des Analgésiques Locaux (AL) dépend du degré de myélinisation des fibres [7]: il est plus marqué pour les fibres peu ou non myélinisées. Le bloc différentiel est caractérisé par la dissociation entre bloc-moteur, bloc sensitif et bloc végétatif qui sont dus au blocage respectif des fibres A α , A β , A δ , et des fibres C (Document 5).

En général, les petites fibres nerveuses, en particulier les fibres non myélinisées, sont plus facilement bloquées par un anesthésique local parce que la longueur critique au-delà de laquelle un signal peut se transmettre est plus courte que dans les grandes fibres. Pour la même raison, la récupération est plus rapide dans les petites fibres. Sans adrénaline, la lidocaïne seule a une durée d'activité intermédiaire, de 60 à 120 minutes après infiltration locale et anesthésie par blocage nerveux.

Document 5: Classification des fibres nerveuses

Type de fibre	Myélinisation	Diamètre (µm)	Vitesse de conduction (m/s)	Fonction
Aα	+++	10-25	60-100	Fibres motrices et proprioceptives
Aβ, A δ	+++	4-12	20-100	Fibres sensibles et proprioceptives
A δ	+	1-6	5-25	Douleur, température, toucher
B	+	< 3	3-15	SNA préganglionnaire
C	0	0,3-2	0,2-2,5	SNA postganglionnaire, douleur, température, toucher SNA : système nerveux autonome.

Source : EMC Pharmacologie des anesthésiques locaux H. Beloeil, J.-X. Mazoit

Le mécanisme d'action est basé sur l'inhibition de l'influx nerveux par fixation de la molécule activée sur un récepteur spécifique du canal sodique dans la membrane qui entoure la fibre nerveuse (Vidal).

Sur le plan de la pharmacodynamie, la lidocaïne provoque une perte réversible des sensations en empêchant ou en diminuant la conduction des signaux nerveux sensoriels à proximité de leur site d'action, le premier site d'action étant la membrane cellulaire. La lidocaïne bloque la conduction en réduisant ou en empêchant l'augmentation importante et transitoire de la perméabilité au sodium des membranes excitables, perméabilité normalement produite par une légère dépolarisation des membranes.

En plus de leur activité anesthésique locale, la lidocaïne et les substances analogues peuvent agir sur le fonctionnement de certains organes dans lesquels il y a une conduction ou une transmission de signaux nerveux (tels que système nerveux central ou système cardiovasculaire). C'est pourquoi l'anesthésie se fait avec des petits volumes de solution anesthésique.

2. 1. 2 : L'adrénaline

L'adrénaline est une catécholamine naturellement sécrétée par la médullosurrénale en réponse à l'épuisement ou au stress (Vidal).

L'adrénaline prolonge le bloc et ralentit la résorption plasmatique.

L'adrénaline prolonge l'effet de la lidocaïne, diminue sa diffusion et sa toxicité systémique et agit comme hémostatique. Même des concentrations très faibles, comme celles utilisées en tumescence, sont efficaces.

Le dogme de ne pas infiltrer de solution adrénalinée dans les doigts viendrait de cas cliniques publiés dans les années 1950 qui rapportaient des risques de nécroses après infiltration de solution adrénalinée dans les extrémités.

Des données récentes [8] remettent en cause ce dogme.

L'analyse de ces cas cliniques a été de dire que la nécrose était due à la composition de la solution anesthésique utilisée. Il s'agissait d'un mélange entre de l'adrénaline et de procaine ou cocaïne, eux mêmes puissants vasoconstricteurs.

À partir de cette constatation et après lecture de publications plus anciennes [9][10][11], l'équipe du Dr Lalonde a proposé un mélange adrénaline/lidocaïne dont les effets de l'injection dans la main et les doigts ont été étudiés par une étude prospective multi-centrique (incluant 9 chirurgiens dans 6 villes différentes), ce qui a permis d'en déduire les bonnes pratiques de son utilisation pour la chirurgie de la main [12].

2. 1. 3 : Le bicarbonate de sodium

Le bicarbonate de sodium permet de tamponner la solution de lidocaïne dont le pH est compris entre 3 et 5. L'infiltration est ainsi moins douloureuse. En tamponnant la solution, on se rapproche aussi du pKa de la lidocaïne (pKa 7,7). À ce pH, 50 % de la lidocaïne sont sous forme ionisée et 50% sous forme non ionisée. C'est un pH de compromis qui assure une bonne diffusion de la lidocaïne (forme non ionisée) et une bonne action sur les canaux sodiques (forme ionisée).

2. 1. 4 : La phentolamine

La Phentolamine, vasodilatateur périphérique, est l'antidote de l'adrénaline.

Il s'agit d'un antagoniste α -adrenergic réversible non sélectif.

Son utilisation est indiquée en cas d'absence de recoloration d'un doigt après injection d'une solution adrénalinée. La technique consiste en une infiltration de phentolamine (1mL de solution à 1 mg/mL pour 1mL de solution adrénalinée) sur le site de l'infiltration de solution adrénalinée. La levée de vasoconstriction est observée en moyenne 85min après l'injection [13][14].

2. 2 : Précautions d'usage de la solution anesthésiante et contre-indications à la chirurgie sous WALANT

Tous les types d'anesthésie en chirurgie de la main nécessitent l'asepsie et la pose d'une voie veineuse pour pouvoir administrer les médicaments rapidement en cas d'intoxication aux anesthésiques locaux et donc palier à la survenue d'effet indésirables (Document 6).

Document 6: effets indésirables des Anesthésiques locaux

Diagnostiques	Pulsations cardiaques	Tension Artérielle	Symptômes	Traitements
Malaise vagal	↓	↓	Pâleur, sueurs froides, sensation de malaise, nausées, vertiges	• Rassurer le patient • Position de Trendelenburg • Compresses froides
Réaction à l'adrénaline	↑	↑	Palpitations, tachycardie	• Rassurer le patient • Ventilation O2
Anaphylaxie	↑	↓	Tachycardie, bronchospasme, urticaire	• Clémastine (Tavégyl) 2 mg IV • Méthylprednisolone (Solu-médrol) 125 mg IV • Adrénaline 0,5 mg SC • Perfusion solution NaCL 0,9% • Ventilation O2
Signes cardiovasculaires d'intoxication à la lidocaïne	↓	↓	Bradycardie, hypotension, troubles du rythme, arrêt cardiaque	• Ventilation O2 • Perfusion solution NaCL 0,9% • Adrénaline 1 mg IV • Réanimation
Signes neurologiques d'intoxication à la lidocaïne	↔	↔	Logorrhée, goût métallique dans la bouche, paresthésies péri-orale et des extrémités, état d'excitation, acouphènes, nausées, hallucinations, crise convulsive	• Ventilation O2 • Diazépam (Valium) 5-10 mg IV (si convulsions)

Source : EMC Pharmacologie des anesthésiques locaux H. Beloeil, J.-X. Mazoit

Le plus fréquent des effets indésirables est le malaise vagal. Les intoxications à la lidocaïne sont rares si les doses maximales ne sont pas dépassées. Les premiers signes d'intoxication à la lidocaïne sont neurologiques, à partir de 5 µg/ml de lidocaïne plasmatique, puis l'atteinte est cardiovasculaire à partir de 10 µg/ml. Ces taux plasmatiques ne sont en principe jamais obtenus si la dose de 35 mg/kg n'est pas dépassée [15].

Dans l'anesthésie locorégionale comme la WALANT, plus que la quantité de produits utilisée, c'est la vitesse d'injection qui est dangereuse. Elle doit être lente (5ml par minute) avec un test aspiratif pour s'assurer que l'on n'est pas en intravasculaire.

La surveillance par monitoring ainsi que le contact verbal avec le patient sont deux bons moyens de surveillance d'une éventuelle intoxication aux anesthésiques locaux.

La faible quantité de solution anesthésique injectée réduit considérablement les contre-indications et les effets secondaires indésirables.

Comme pour les anesthésies locorégionales, l'écho-guidage peut être pratiqué pour effectuer la WALANT [16].

L'échoguidage permet, outre une meilleure précision, de diminuer de moitié les volumes d'anesthésiques locaux.

Cet écho-guidage permet aussi:

- d'identifier des structures anatomiques à risques (artères, veines, etc.) et donc de les éviter,
- une diminution des doses injectées pour le confort du patient,
- de s'affranchir des variations anatomiques interindividuelles.

Pour l'anesthésie sous WALANT, les contre-indications d'usage [17][18] sont les suivantes :

- Terrain vasculaire précaire (artéritique sévère, gros fumeur, maladie de Raynaud, maladie de Buerger, diabétique avec neuropathie sévère),
- Dilution de la lidocaine adrénalinée avec le sérum physiologique d'au moins 50 %
- Pas d'injection dans les gaines des fléchisseurs et les pulpes,
- Limiter les volumes injectés pour éviter de comprimer les vaisseaux digitaux.

Outre les effets secondaires et contre-indications relatives à la nature de la solution anesthésiante, il faut ajouter bien entendu l'acceptation du patient au principe de bouger sa main pendant l'intervention.

Encore beaucoup de patients préfèrent bénéficier passivement de leur chirurgie, préférant même demander à l'anesthésiste dans certains cas une anesthésie Générale.

Distinguons les chirurgies d'urgence des chirurgies programmées.

Lors d'une urgence, le système sympathique du blessé est source de dérégulation émotionnelle du fait du stress provoqué par l'accident. Car ce sont bien les émotions positives qui rééquilibrent notre système nerveux parasympathique (celui de l'apaisement du corps) c'est lui qui freine l'action du système nerveux sympathique (celui du stress).

Il faut prendre en compte le vécu de la personne, notamment sur le plan de la douleur. Rationaliser la réparation chirurgicale vue du patient, en utilisant donc son intelligence et en minimisant ses émotions délétères!

Dans l'évolution des espèces, le cerveau reptilien, celui des pulsions et des émotions, apparaît avant le cerveau rationnel (le cortex). Les émotions précèdent donc les pensées.

L'émotion est une pensée intuitive, qui comprend les situations très rapidement et donne des réponses corporelles sans besoin que l'intelligence intervienne. Lorsque notre espèce a développé son cortex, ce dernier n'a pas effacé le cerveau reptilien mais s'est en quelque sorte branché sur lui...

À ce propos, une analogie peut être faite entre chirurgie sous WALANT et la rééducation : c'est aux chirurgiens et aux rééducateurs qu'incombe la tâche de convaincre le patient récalcitrant de participer activement à son intervention et sa rééducation. C'est tout l'enjeu de l'éducation thérapeutique du patient.

3. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES DIFFERENTS TYPES D'ANESTHESIES ET LEUR UTILISATION EN CHIRURGIE DE LA MAIN

L'anesthésie générale, qui ne revêt aucune spécificité dans la chirurgie de la main, ne sera pas évoquée ici.

La réalisation des différentes techniques d'anesthésie doit permettre d'associer les patients à leur chirurgie, mais se doit de respecter les obligations réglementaires anesthésiques que sont la consultation anesthésique, la visite pré-anesthésique et la surveillance péri-opératoire amendée par un nouveau décret réglementaire (Décret n° 2018-934 du 29 octobre 2018 relatif à la surveillance post-interventionnelle et à la visite pré-anesthésique).

3.1 : Les différents types d'anesthésies locorégionales (ALR)

L' ALR hors WALANT donne une anesthésie à tous les modes dans le territoire du ou des troncs nerveux concernés. L'anesthésie motrice, sensitive et l'effet sur le système parasympathique touchent alors tout le territoire innervé par le nerf concerné. Il est très courant d'anesthésier plusieurs tronc nerveux, et même de faire un bloc axillaire du nerf musculo-cutané pour éviter aux patients de ressentir les douleurs engendrées par le garrot. La sensation de positionnement du membre supérieur n'est alors pas exacte en postopératoire immédiat, la proprioception, le schéma corporel sont altérés. Cela est dû en grande partie aux types d'anesthésiques utilisés.

Dans l'ALR, les anesthésiques locaux peuvent être associés entre eux pour avoir un effet rapide et durable. En effet, les AL d'action rapide ont une durée courte et ceux d'action longue ont un délai d'action long (Document 7).

Document 7: Délai et durée d'action des Anesthésiques locaux utilisés au Membre Supérieur

Anesthésiques	Nom commercial	Délai d'action en minute	Durée du bloc en minute
Lidocaïne 5%	Xylocaïne	5-10	45-90
Mépipivacaïne 2%	Scandicaïne	15-20	60-120
Ropivacaïne 0,5%	Naropine	15-30	150-300
Lévobupivacaïne 0,5%	Chirocaïne	15-30	150-300

Source : Merle et Dautel

L'anesthésie de la main peut, dans la plupart des cas, être réalisée sous anesthésie locorégionale et avec écho-guidage couplé ou non à la neurostimulation.

Mais la neurostimulation est de moins en moins utilisée du fait de la précision du repérage échographique des nerfs et de l'image typique en cocarde qui apparaît quand le produit anesthésique diffuse autour de ce nerf.

Les blocs anesthésiques utilisés en chirurgie de la main en France sont les suivants :

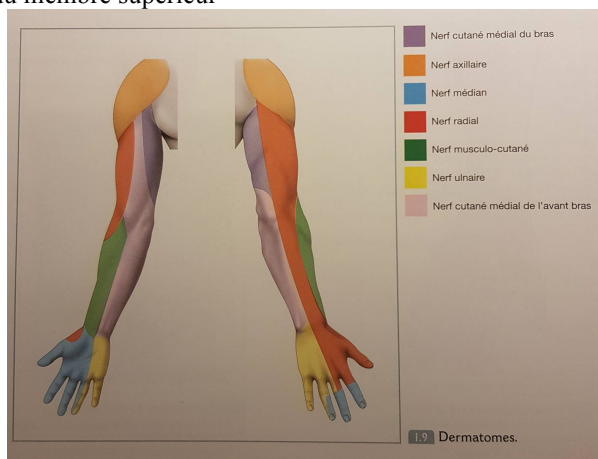
- les blocs plexiques (interscalénique indiqués pour les patients présentant un Syndrome Douloureux Régional Complexe : SDRC), supraclaviculaire, infraclaviculaire apprécié en traumatologie car il peut être réalisé sans mobiliser le membre lésé, et enfin le bloc axillaire : le plus utilisé en ambulatoire),
- les blocs tronculaires distaux (radial, médian, ulnaire),
- les blocs digitaux, intrathécaux, et commissuraux.

Lors d'une anesthésie locorégionale, l'anesthésie d'un seul nerf (bloc tronculaire) ne concernera que le territoire de ce nerf. Pour anesthésier tout le membre, il faudra répéter l'injection sur plusieurs nerfs, ou plutôt la pratiquer à la racine du membre : ce sont alors des blocs plexiques.

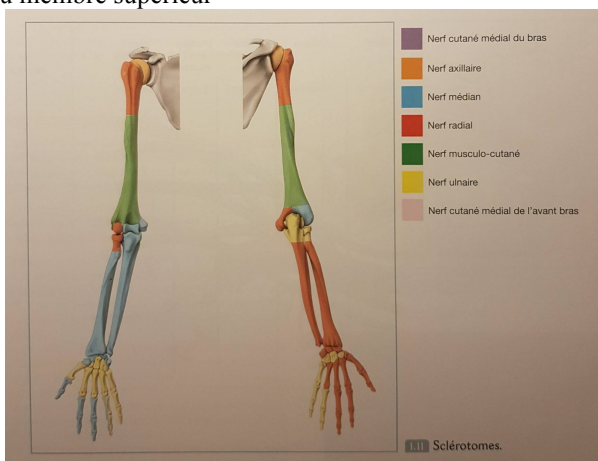
L'anesthésie tronculaire est la technique de choix pour la chirurgie de la Main et du poignet et est souvent réalisée en complément d'un bloc plexique insuffisant, ou en cas de contre indication d'un bloc plexique [19].

Pour réussir une ALR, l'anesthésiste doit connaître parfaitement l'anatomie descriptive et topographique du système nerveux car les dermatomes, sclérotomes et myotomes ne sont pas superposables (Documents 8,9,10))

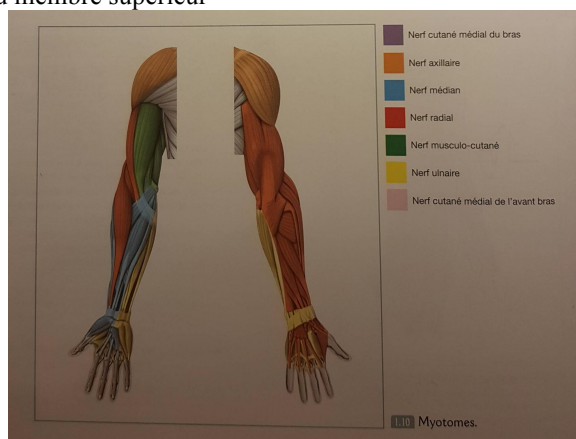
Document 8: Dermatomes du membre supérieur



Document 9: Sclérotomes du membre supérieur



Documents 10: Myotomes du membre supérieur



Source : Merle M., Dautel G, (2009) *La main traumatique 1. L'urgence*, (3^{ème} édition)

Masson.

3.2 : Choix de l'anesthésie et chirurgie

Le type d'intervention choisie par le chirurgien conditionnera l'utilisation ou non d'un garrot et sa position.

Le caractère ambulatoire ou non de l'intervention, sa durée, l'intensité douloureuse post-opératoire, et les contre-indications locales ou générales guideront l'anesthésiste dans ses choix techniques.

Le document 11 résume dans un tableau les différents types d'anesthésies en chirurgie de la Main et leurs conséquences.

Document 11: Les différents types d'anesthésies en chirurgie de la Main et leurs conséquences

	Garrot	Motricité PERopératoire	AL utilisés	Localisation de l'injection des AL	Impotence fonctionnelle post opératoire immédiat
Blocs plexiques (bloc interscalénique, bloc supraclaviculaire, bloc infraclaviculaire bloc axillaire)	OUI	NON	Tous	En amont du site opéré	OUI
Bloc tronculaire (radial, ulnaire, médian)	OUI	OUI	Tous	En amont du site opéré	NON
Bloc intrathécaux ou commissuraux	OUI	OUI	Tous	Sur site opéré	NON
WALANT	NON	OUI	Seulement lidocaïne	Sur site opéré	NON

Après l'intervention, pour les chirurgies lourdes (mains complexes par exemple), la douleur post-opératoire peut être atténuée par l'injection d'analgésiques à longue durée d'action grâce à un cathéter périmerveux.

La WALANT et blocs tronculaires distaux peuvent être éventuellement associés pour les chirurgies douloureuses.

4. LE TOURNIQUET, OU GARROT EN CHIRURGIE DE LA MAIN

C'est surtout la lecture de l'étude historique du mobilier de la trousse d'oculiste de la Favorite de Mélanie Lioux [20] chargée de projet d'exposition au musée gallo-romain de Lyon, qui m'a permis de comprendre la remarquable histoire du garrot.

4.1: Un peu d'histoire...

Dans son analyse, elle relate que les traités médicaux antiques attestent de l'emploi du garrot pour favoriser la vasodilatation des vaisseaux au moment d'une saignée pour évacuer les « humeurs » ou, au contraire, leur vasoconstriction dans la lutte contre l'hémorragie.

Les premiers garrots n'exerçaient pas de pression localisée sur l'artère : ils n'étaient pas spécialement conçus pour la chirurgie.

Le célèbre tourniquet de Jean Louis Petit, inventé en 1718, intégrera un coussinet collé sur une plaque métallique mue par une vis, et sera retrouvé dans les trousses à amputation des XVIII^e et XIX^e siècles.

Le mot tourniquet pour son application médicale a été utilisé pour la première fois par Jean Louis Petit.

Document 12 : Photo du tourniquet inventé par Jean Louis Petit



Sources : Desiron Q. History of instrumental haemostasis and the particular contribution of Jules E.

Pean. Acta Chir Belg. 2007;107(1):88-95

Le Dr Bunnel, l'un des pères de la chirurgie de la Main, a souligné l'importance d'un champ exempt de sang dans la chirurgie de la Main lorsqu'il a posé la question :

Un bijoutier pourrait-il réparer une montre immergée dans l'encre ?" dans son livre *Surgery of the Hand* de 1946 [21].

L'utilisation du garrot a donc été un progrès majeur en chirurgie : il a permis de mieux visualiser les structures anatomiques ; il est donc source de confort pour le chirurgien.

En chirurgie de la Main, son utilisation pour créer un champ chirurgical sans sang a été popularisée par le Dr Lister en 1864 [22].

4.2 : Définition du mot tourniquet

Tourniquet : *CHIR.* Garrot servant à arrêter une hémorragie (Larousse).

Le mot « garrot » permet de mieux comprendre la signification médicale de tourniquet.

Garrot est un dérivé de *guaroc* « bâton qu'on passe dans une corde pour la serrer en la tordant » (G. de Bibbesworth, *Traité*, éd. A. Owen, 342)

En effet, les mots utilisés pour désigner le garrot dans les différents anciens textes médicaux expriment davantage la fonction que la forme. Le verbe et le geste priment dans la formation du nom. On a donc des substantifs dérivés de verbes qui expriment l'action d'entourer et de lier comme ἐπι- ou δια-δέω et περι-βάλλω en grec.

La Main est une structure anatomique richement vascularisée qui nécessite de limiter le saignement lorsqu'un abord chirurgical est réalisé : c'est le garrot qui permet d'obtenir ce champ opératoire exsangue.

4.3 : Principe d'action du garrot

Le principe du garrot est d'interrompre la circulation sanguine en aval de son lieu d'application, pour arrêter un saignement. Pour cela, il doit exercer une pression suffisante sur la peau, ainsi qu'aux structures sous-jacentes, pour occlure la circulation artérielle. Cette pression est appelée Pression d'Occlusion artérielle (POA).

La POA est proportionnelle au diamètre du membre, à la pression systolique (Psys) et à la pression diastolique (Pdia).

La POA est inversement proportionnelle à la largeur du garrot. Plus le garrot est large, moins la pression à appliquer est importante.

La formule de Graham permet de calculer la POA, suivant la formule suivante [23]:

$$POA = \frac{(P_{sys} - P_{dia}) \text{ (mmHg)} \times \text{circonférence du membre (cm)}}{3 \times \text{largeur du brassard (cm)}} + P_{Dia} \text{ (mmHg)}$$

Le contrôle de l'hémostase peropératoire repose sur deux techniques : le recours à un garrot à action « mécanique » pneumatique ou un garrot à action « chimique » ayant recours à des vasoconstricteurs. La localisation du garrot sur le bras va mettre en jeu tous les territoires sensitifs des nerfs anesthésiés au niveau du bloc axillaire. Les anesthésies au niveau de l'avant-bras ou de la main ne permettront pas d'anesthésier le site du garrot.

L'heure de pose du garrot est toujours notée.

En anesthésie de la main, se passer d'anesthésie générale avec les ALR a permis de raccourcir la durée de prise en charge et donc de proposer des interventions en hôpital de jour.

L'ALR par bloc proximal du nerf musculo-cutané diminue la douleur liée à l'utilisation du garrot chirurgical.

4.4 : Complications liées à l'usage du garrot en chirurgie orthopédique

L'utilisation du garrot est associée à certaines complications, locales ou générales. Les complications locales concernent les systèmes nerveux et musculaire. Les complications générales sont cardiovasculaires et métaboliques.

4.4.1 : Complications locales

4.4.1.1 : Lésions tissulaires directes

Des lésions tissulaires peuvent apparaître par ischémie tissulaire ou cisaillement. Le garrot est à l'origine de douleurs après 30 à 60 minutes. Ces douleurs sont dues à l'ischémie nerveuse ainsi qu'à la compression directe du nerf.

Le garrot induit des lésions musculaires locales et d'aval avec nécrose cellulaire après de 90 à 120 minutes. Ces lésions musculaires peuvent persister plusieurs mois et perturber la rééducation. C'est pourquoi, en chirurgie réglée, le garrot ne devrait pas être laissé en place plus de 90 minutes sur le membre supérieur [24]

Des atteintes cutanées, comme les hématomes, sont également possibles.

4.4.1.2 : Syndrome d'ischémie-reperfusion

Sans anesthésie, la tolérance maximale moyenne est de 20 à 30 minutes. L'anesthésie locorégionale (ALR) l'augmente. Cependant, même avec un niveau d'anesthésie suffisant initialement, la plasticité neuronale (extension, au niveau spinal, du territoire correspondant à la région cutanée concernée par le garrot, phénomène cortical de bilatéralisation) peut rendre l'ALR insuffisante en fin d'intervention.

La durée maximale d'utilisation du garrot est d'une heure [25]. Au-delà de ce temps, les lésions musculaires sont, pour partie, irréversibles et la reperfusion sera alors responsable d'une aggravation de ces lésions (syndrome d'ischémie-reperfusion). Un intervalle de revascularisation de 15 à 20 minutes peut être proposé au bout de 40 à 50 minutes d'ischémie. Au-delà d'une heure, la poursuite de l'ischémie, si elle est vraiment nécessaire, est préférable. Afin de réduire la durée d'ischémie totale, la compression par le garrot peut être levée avant la fermeture et l'hémostase chirurgicale.

L'ischémie induite par la pose d'un garrot met en jeu de multiples mécanismes physiologiques, dont une vasodilatation associée à une hyperperméabilité capillaire. Ces mécanismes s'amplifient avec la durée de pose du garrot. Au lâchage du garrot, si celui-ci est resté en place longtemps, ces réactions provoquent une augmentation importante, progressive et prolongée du volume du membre par augmentation de taille des faisceaux musculaires. Le membre peut atteindre jusqu'à 150% de sa taille normale. Cette augmentation de volume dans les loges musculaires est très mal tolérée, en raison de l'inextensibilité de ces loges. Les conséquences sont graves, et cliniquement, la douleur est très intense, non soulagée par les thérapeutiques habituelles. Cette douleur résulte d'une diminution progressive du flux sanguin local par compression des vaisseaux par les faisceaux musculaires œdématisés. L'interruption complète cause une ischémie du membre. Des lésions nerveuses peuvent aussi apparaître, selon le même mode. Le traitement repose alors sur la réalisation d'aponévrotomies de décharge, consistant à inciser les loges musculaires afin de faire rapidement baisser leur pression [26].

4.4.2 : Complications générales

4.4.2.1 : Troubles métaboliques

A partir de 15 minutes d'ischémie, des métabolites toxiques vaso-actifs liés au métabolisme anaérobie sont libérés dans la circulation générale après lâchage du garrot. Ils entraînent une augmentation de la kaliémie et du lactate, pouvant provoquer une acidose métabolique importante, proportionnelle à la durée d'ischémie. Il existe aussi une augmentation de la consommation d'oxygène tissulaire, et donc de la production de dioxyde de carbone et du CO₂ expiré [27].

4.4.2.2 : Libération de substances médicamenteuses en grande quantité

Dans le cadre d'une chirurgie programmée sous ALR, lorsque le garrot est mis en place après l'induction anesthésique, les drogues d'anesthésie peuvent être stockées en aval du garrot. Lorsque celui-ci est dégonflé en fin d'intervention, toutes les drogues stockées se retrouvent libérées dans la circulation générale, pouvant avoir des effets délétères [28].

4.4.3 : Risque infectieux

L'utilisation d'un garrot pour une chirurgie programmée du membre inférieur semble être à l'origine de plus de complications infectieuses que lorsque ces interventions sont réalisées sans garrot [29].

Ceci serait dû à l'activation de molécules pro-inflammatoires, secondaire à l'ischémie du membre.

4.5 : Douleur et garrot en chirurgie de la Main

Dans la chirurgie sous WALANT la douleur liée au garrot pneumatique est absente puisque celui-ci est inexistant !

La mise en place d'un garrot est source d'inconfort chez les patients lorsqu'il est disposé sur un territoire sensitif non anesthésié. Cet inconfort a été rapporté dans une étude récente de Gunasaran et al. pour des temps de chirurgie extrêmement brefs. Gunasaran et al. rapportent une intensité d'inconfort évaluée à 4,72 / 10 +/- 3,05 pour des chirurgies de la Main d'une durée de 7.05 ± 3.44 min [30].

Une étude randomisée sur 100 patients s'intéressant à la douleur générée par le garrot selon sa position sur le bras ou sur l'avant-bras met en évidence une intensité douloureuse similaire,

sachant que les patients étaient opérés avec infiltration locale et donc un garrot en zone non anesthésiée [31].

La douleur du garrot est plus douloureuse que la douleur de l'injection sous anesthésie locale avec hémostase assurée par l'adrénaline [32].

La douleur du garrot était deux fois plus importante que celle de l'injection d'anesthésique local. L'utilisation d'une anesthésie locale contenant de l'adrénaline pour la libération du canal carpien d'après cet article évite donc la douleur liée au garrot et est préférée par les patients.

Conclusion du chapitre 1

La WALANT permet une chirurgie exsangue se passant de garrot, guidée par les mouvements actifs du patient en pleine conscience. L'anesthésie est faite directement sur la zone anatomique opérée. Elle est donc distale et thermo-algique. Il n'y a pas d'impotence fonctionnelle en postopératoire immédiat.

CHAPITRE 2 : REEDUCATION APRES CHIRURGIE DE LA MAIN SOUS WALANT

Après avoir expliqué en quoi consiste la chirurgie de la Main sous WALANT, voyons quelles en sont les conséquences sur la rééducation.

Il me semble important de mettre en avant les intérêts spécifiques que le patient peut en tirer.

Je prendrais ensuite l'exemple des sutures tendineuses pour décrire les adaptations particulières que le rééducateur peut mettre en place suite aux enseignements chirurgicaux de la WALANT.

Enfin, il s'agira de discuter de l'importance de la première séance et suggérer une approche particulière pour un patient douloureux chronique qui va être opéré de la Main sous WALANT dans le but de prévenir un Syndrome Douloureux Régional Complexe (SDRC) éventuel.

1. LES INTERETS DE LA WALANT POUR LE PATIENT

1.1 : Participation active

Il n'y a pas de prémédication pour avoir un patient en « pleine conscience ».

Pas de nausées, vomissements, rétention urinaire et autres effets secondaires indésirables des opiacés ou de la sédation.

Le temps opératoire permet au patient, en étant pleinement conscient et en gardant sa motricité volontaire pendant l'opération, d'être acteur de sa chirurgie, d'y participer.

Cette participation active du patient se fait en deux temps :

1/ Premier temps : aide à la chirurgie :

Au cours de l'opération chirurgicale le patient bouge d'abord sa main sans la voir : sur les consignes du chirurgien « fermez le poing... ouvrez », le patient fait un mouvement qui permettra au chirurgien de vérifier/ajuster sa réparation chirurgicale

2/ Dans un deuxième temps, la participation du patient a lieu en fin de chirurgie (après les points de suture) cette fois en regardant sa main.

Le champ opératoire est baissé, et toujours à la demande du chirurgien, le patient effectue des mouvements et prend conscience non seulement de la « réussite » de la chirurgie, mais aussi de ce qui sera possible et souhaitable de faire : c'est LE moment privilégié pour le chirurgien de donner ses consignes post-opératoire, d'expliquer au patient ce qu'il devra faire ou ne pas faire.

La motricité volontaire est donc toujours présente. La sensibilité thermo-algique récupère en quelques heures, suivant la quantité de solution anesthésiante utilisée.

1.2 : Réorganisation corticale permise en peropératoire et impotence fonctionnelle évitée en postopératoire immédiat

Au cours de la chirurgie, après la fermeture cutanée, sans pansement ni douleur, le patient voit le résultat de sa chirurgie en bougeant sa main volontairement.

Au bloc opératoire, ce mouvement volontaire sous le contrôle visuel permet au patient dès l'acte chirurgical terminé de stimuler une nouvelle réorganisation corticale.

En post opératoire immédiat l'impotence fonctionnelle est évitée. Il n'y a pas de rupture du schéma corporel après l'intervention ni d'arrêt des efférences motrices.

Les réticences aux mouvements de la main opérée, les peurs du patient concernant la fragilité de la réparation s'estompent. Cette visualisation permet de diminuer les appréhensions comme la peur d'avoir mal, de faire sauter les points de sutures...

La mobilisation active immédiate permet d'entretenir le schéma moteur ; ainsi nous retrouvons moins de sidérations et d'exclusions segmentaires.

Car d'une manière générale, l'immobilisation prolongée de la main conduit à « l'arrêt de l'émission de messages proprioceptifs, à un effacement du programme moteur, à une perte des mécanismes de défense proprioceptive à une inhibition réflexe de la commande volontaire » [33].

Les travaux de Lissek et ceux d'Avanzino [34] [35] ont montré une réorganisation du réseau cortical lors d'une immobilisation du poignet et de la main. Quelques jours suffisent pour voir apparaître une diminution du volume de la représentation corticale de l'index proportionnelle à la durée de l'immobilisation ainsi qu'une baisse de la sensibilité discriminative du côté immobilisé.

Le Syndrome Douloureux Régional Complexe, qui est une complication fréquente en chirurgie de la main, s'accompagne aussi d'une réorganisation corticale similaire. Nous voyons donc là l'intérêt d'intégrer la main le plus rapidement possible dans le schéma corporel.

Ajouté à cette notion de « *stay in touch with motion* » Philippe Pernot à Villefontaine conseille d'associer à la technique d'imagerie motrice par thérapie miroir, une sensation tactile. C'est ce qu'il appelle « *stay in touch with the sensibility* » dans sa communication sur la WALANT en mission humanitaire en Arménie des Hôpitaux Civils de Lyon en Janvier 2021 !

Cette notion est développée dans les travaux de Zoé Milner en 2017 (*Sensory-motor Retraining Program: Part of a Clinical Pathway for Management of CRPS*).

Au bloc opératoire, j'ai observé le regard du patient sur sa main opérée... Une chose m'a frappée : à la fin de l'intervention chirurgicale, il y a toujours un temps de latence entre la demande de mouvement formulée par le chirurgien et le geste effectué par le patient. Ce temps qui montre le délai entre le questionnement interne « je peux bouger la main, là tout de suite !? » et la réponse motrice, souvent imparfaite au premier mouvement mais mieux réalisée après quelques répétitions.

Grâce à son attention, sa vue et sa proprioception la réorganisation corticale des aires somato-sensorielles motrices et pré-motrices est donc facilitée.

Noppeney et ses collaborateurs [36] montrent dans un de leurs articles sur le thème de la plasticité cérébrale et l'attention spatiale que:

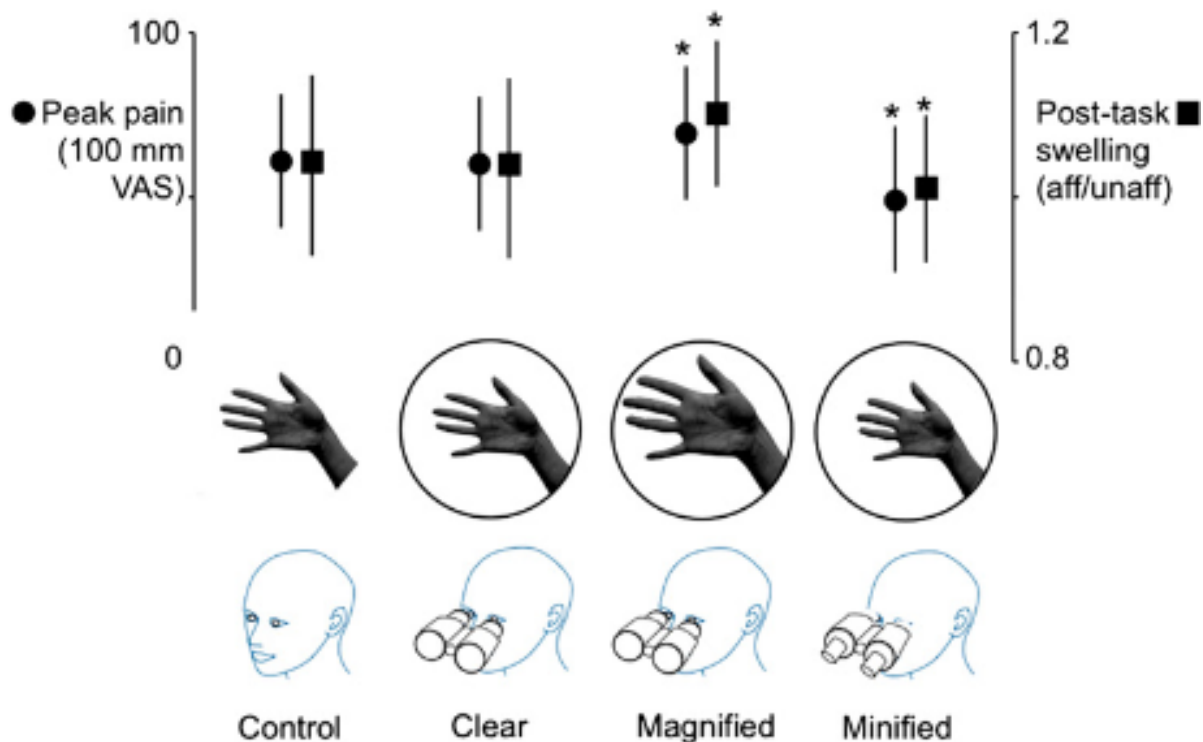
- Le volume de la représentation corticale est proportionnel à l'attention
- Il y a déplacement de la représentation corticale selon la zone focalisée
- Cette attention augmente l'activité neuronale.

De plus, le feedback visuel domine le feedback somato-sensoriel et proprioceptif [36] [37][38].

Le cerveau accorde plus d'importance au feedback visuel car sa présence est statistiquement plus importante.

L'effet de la vision sur la douleur et l'œdème chez des patients douloureux chroniques de la main a été étudié dans les travaux de Moseley et al. En 2008. Ils ont tiré comme conclusion que plus la main est perçue grandement plus l'œdème et la douleur sont ressentis fortement. Si la main est perçue de petite taille, l'œdème et la douleur sont moins importants (Document 13).

Document 13. Importance de la vision sur l'œdème et la douleur chez les patients douloureux chroniques de la main.



Source : GL Moseley, T. Parsons, C. (2008). Visual distortion of a limb modulates the pain and swelling evoked by movement. *Curr Biol*, 18(22), pp. 1047-1048

Pour toutes ces raisons, la chirurgie sous WALANT facilite donc une mobilisation précoce, source de réorganisation motrice permettant de prévenir les complications et de favoriser la cicatrisation dans certains cas. L'attention maximale du patient lors de son intervention est un atout supplémentaire pour sa rééducation.

1.3 : Éducation thérapeutique peropératoire

Le patient est éveillé (Wide Awake), permettant une éducation peropératoire par le chirurgien et/ou son équipe.

Les paroles du chirurgien utilisées pendant le dialogue avec son patient lors de l'intervention doivent être bien choisies.

Elles permettront au patient d'entendre les consignes postopératoires. Pour le chirurgien le dialogue avec son patient permettra de juger de sa bonne compréhension.

Le Dr Lalonde a par exemple l'habitude de dire au patient opéré d'une suture de tendons fléchisseurs : « vous pouvez bouger, mais pas l'utiliser » (*"you can move it but you can't use it"*).

La reformulation est importante pour s'assurer que le patient comprend et retient ses recommandations : il fera répéter trois fois cette consignes [39].

Le Pr Moutet dans ses enseignements au cours de ce DIU cite l'Evangile selon Jean pour nous faire comprendre l'importance du Verbe :

« Au commencement était le Verbe, et le Verbe était auprès de Dieu, et le Verbe était Dieu ; Il était au commencement en Dieu »

L'attention du patient est facile à obtenir, il faut focaliser l'attention du patient sur le geste effectué (par la main blessée et réparée) lui montrer les résultats de la chirurgie par son mouvement volontaire.

Place ensuite aux rééducateurs de la main d'adapter leur prise en charge en fonction des consignes post-opératoire du chirurgien. Les immobilisations peuvent ainsi être adaptées au cas par cas. Le choix des techniques de mobilisations immédiates doit bien sûr s'adapter aux contraintes physiologiques et humaines pour maintenir les résultats obtenus par la chirurgie. Le rééducateur doit aussi prévenir les complications dues à l'œdème, les douleurs et les raideurs...

« Les trois calamités qui sont à craindre pour une main qui vient d'être opérée ou simplement traumatisée, sont l'œdème, la raideur et la douleur, avec une pathologie particulière qui les regroupe à elle seule : l'algodystrophie » (Denis Gerlac, mémoire Histoire de la kinésithérapie de la main en France 2003 DIU européen de rééducation et d'appareillage après chirurgie de la Main)

2. LES SUTURES TENDINEUSES : UN EXEMPLE TYPIQUE DES ADAPTATIONS EN CHIRURGIE ET EN REEDUCATION PERMISES PAR LA WALANT

2.1 : Incidences sur la Chirurgie des tendons fléchisseurs

Les mouvements actifs pendant la chirurgie permettent de vérifier :

- Les amplitudes,
- La solidité de la réparation.

La contraction d'un muscle entraîne de façon réflexe le relâchement de l'antagoniste : c'est l'inhibition réciproque : pour faciliter les sutures de tendons fléchisseurs le chirurgien peut demander au patient une extension active, et pour les sutures d'extenseur une flexion active.

Les mouvements actifs de flexion des doigts et d'extension des doigts permettent de tester les sutures effectuées et de vérifier le bon glissement des tendons sous les poulies.

2.1.1 : Ouvrir les poulies A2 et/ou A4

Il est admis en Chirurgie de la Main de préserver les poulies A2 et A4 à 50 % de leur longueur lors des réparations chirurgicales de lésions des tendons fléchisseurs de la Main. Ces poulies éviteraient que le tendon ne prenne la tangente lors de sa contraction, entraînant cliniquement cet effet « de corde d'arc ».

Le Dr Tang, dans son article concernant 300 réparations tendineuses, évoque la possibilité d'ouvrir les poulies A2 totalement et A4 « jusqu'à 1,5 à 2 cm », lorsqu'au cours de la chirurgie sous WALANT, la suture du fléchisseur se bloque au passage des poulies quand le patient ferme et ouvre le poing [43].

D'autres auteurs préconisent aussi une large ouverture de ces poulies [44].

Un chirurgien japonais, Moriya et al. [40] conclue dès 2016 ne pas avoir de signe de corde d'arc cliniquement après avoir ouvert 7 cas de poulie A2 et 33 cas de poulie A2 partiellement.

La notion de WOF (*Work of flexion*) est importante [41]. Il s'agit des forces nécessaires pour vaincre toutes les résistances au glissement tendineux lors de la flexion active d'un segment digital.

Nous comprenons facilement que ce WOF est diminué en ouvrant les poulies [42], surtout avec la « bulky repair » décrite par Dr Lalonde.

2.1.2 : Repérer et réparer les « gaps »

Un « gap » (allongement) peut apparaître au niveau de la suture tendineuse pendant les contractions actives peropératoires du patient : il faut les réparer pour éviter les ruptures itératives [38].

2.1.3 : Technique de suture

Pour Lalonde [45], il faut une « bulky repair » (10 à 30%) c'est à dire une suture sous tension permettant de mettre en contact les extrémités tendineuses avec un certains empâtement, qui aura tendance à se réduire avec les contractions actives. Cet effet « bulky » préviendra alors l'allongement tendineux (« gap »).

Il préconise également une réparation avec au moins 4 brins et sans surjet périphérique.

Le risque potentiel pour le chirurgien est de trop raccourcir le tendon à réparer et donc d'avoir au final un doigt en crochet, qui limitera aussi l'extension active des doigts adjacents par effet quadrigé.

Cet effet est la conséquence de la biomécanique de flexion extension des doigts longs, décrit par Verdan en 1960 [46].

Il repose sur le fait qu'un seul muscle contrôle de multiples tendons.

Lorsque l'IPP est en flexion (active ou passive), alors que les autres doigts sont en extension, le FPD est inhibé par l'extension des doigts car les tendons du FPD sont tirés distalement (ce qui le rend inefficace sur le doigt fléchi)

Et l'ED est inhibé par la flexion de l'IPP car la languette médiale d'insertion sur P2 entraîne l'ED distalement, ce qui détend les languettes latérales allant sur P3.

A ce jour, la technique de suture tendineuse décrite par Dr Lalonde n'a pas prouvé de meilleurs résultats. Du moins, je n'ai pas trouvé de publication allant dans ce sens.

2.2 : Incidences sur la rééducation des tendons fléchisseurs

2.2.1 : Les avancées concernant la rééducation des tendons fléchisseurs suturés en zone 2

Après le « *no man's land* » décrit par Dr Bunnell, où la règle était de ne pas s'aventurer en chirurgie d'urgence dans la réparation des tendons fléchisseurs en zone 2, vient le temps des sutures à plusieurs brins associées à de la rééducation. L'objectif est une suture plus solide, qui ne se bloque pas dans le tunnel formé par les poulies constituant le canal digital, et qui n'adhère pas grâce à la rééducation.

La première grande avancée dans la rééducation des réparations des tendons fléchisseurs (zone 2) a lieu dans les années 1970, avec l'apparition des protocoles passifs type Duran [47] ou semi-actifs type Kleinert [48].

Ces protocoles ne devraient plus être réservés qu'à des patients ne bénéficiant pas d'une prise en charge par des rééducateurs de la main spécialisée. L'immobilisation est réservée aux patients non collaborant, aux enfants ou lors de lésions associées la justifiant.

Une deuxième grande avancée bouscule les idées dans les années 1990, avec l'apparition de la Mobilisation en Flexion Active Protégée (MFAP), nommé aussi « *Belfast regimen* » [49]

Puis en 2012, apparaît le protocole de Manchester [50] qui libère la mobilité du poignet avec une attelle permettant une mobilisation en synergie active d'extension du poignet limité à 45° associée à une flexion active des doigts.

À peu près au même moment, le Dr Lalonde, promoteur de la chirurgie WALANT, a décrit encore d'autres avancées pour la rééducation.

2.2.2 : limiter la mobilité active précoce à un demi poing fermé pendant 4 semaines

En chirurgie sous WALANT le glissement tendineux permis par le mouvement actif précoce protégé est entre 5 et 15 mm avec moitié de poing fermé (*half a fist*) : le Work Of Flexion est peu élevé et les adhérences minimisées. Les ruptures itératives seraient absentes en respectant ces consignes [51].

À partir du demi poing et surtout pendant le dernier tiers de flexion active du poing, le Dr Lalonde et Higgins observe un effet délétère sur la suture.

Leur protocole de rééducation après suture de fléchisseur en zone 2 (Saint John) préconise une mobilisation active en flexion du poing progressive : 1/3 de flexion du poing jusqu'à

j+21, puis $\frac{1}{2}$ entre 3 semaines et 4 semaines, puis flexion complète progressive du poing pour obtenir « *full fist* » à 6 semaines. [52]

2.2.3 : Adaptation nécessaire du placé/tenu

Tang [53] montre que, quand le patient commence à tenir activement la position après le placer en triple flexion, il se produit un brusque ressaut avec des contraintes qui peuvent mettre en danger la réparation tendineuse. C'est l'effet « *bukle and jerk* » décrit par Lalonde et Higgins [51].

Ces contraintes seront amplifiées en postopératoire par l'œdème et les autres facteurs qui augmente le WOF. Le placé/tenu est donc abandonné par cette équipe.

François Delaquaize et Martine Giroud, masseur kinésithérapeute et orthésiste à l'Hopital Universitaire de Genève préconisent plutôt quand à eux une adaptation du placé/tenu, dans des amplitudes évitant le dernier tiers de flexion complète du poing, en demandant une légère contraction active aidée lors du placé, de manière à éviter l'effet « *bukle and jerk* » produit par la tension active du tendon [54].

2.2.4 : Adaptations des orthèses dans les protocoles de rééducation des sutures de fléchisseurs en zone 2

Les protocoles de rééducation des tendons fléchisseurs opérés ont été adaptés également au niveau des orthèses post opératoire grâce aux observations peropératoires sous WALANT.

Dans le protocole Saint John [52], les trois premières semaines postopératoires, l'orthèse est réalisée :

- En extension du poignet (30 à 45°) pour favoriser le travail des fléchisseurs [55] et diminuer le WOF grâce à une meilleure détente des fléchisseurs [56],
- En flexion des métacarpo-phalangiennes (MP) de 30° à 60° selon les équipes
- et en extension de l' inter-phalangienne proximale (IPP) et distale (IPD).

La main se trouve ainsi dans une position plus fonctionnelle, ce qui suppose une suture solide, et pas de lésions associées. Le patient doit être informé des risques d'une sollicitation trop forte de sa main réparée.

L'équipe helvétique de François Delaquaize et Martine Giroud [54] préfère jouer la prudence en limitant l'extension du poignet la nuit, et les premiers jours post-op en continu, avec une

attelle longue qui place le poignet entre 0 et 15° d'extension, MP à 60-70° de flexion et IPP/IPD en extension. A J4 quand débutent les séances de rééducation, une orthèse courte type Manchester dite « sécurisée » permettra l'effet tenodèse lors des automobilisations. Une cale sera adaptée pour stopper l'extension du poignet à 0° en dehors des séances et des automobilisations. Cette attelle englobe le pouce, laisse libre le poignet en flexion et maintient les IPP et IPD en extension par une bande velcro élastique qui amorti les flexions intempestives des doigts la nuit (Documents 14,15).

Document 14 : Attelle courte sécurisée. La cale enlevée permet une synergie active de flexion du poignet et extension des doigts.



Document 15 : Attelle courte sécurisée par une cale interdisant l'extension du poignet durant la journée en dehors des exercices



2.2.5 : Mobilité active précoce facilitée

Nous connaissons depuis 1941 [57] la notion de « *lag time* » qui correspond à un ramollissement des extrémités tendineuses et à une baisse de la résistance à la traction les vingt premiers jours si une immobilisation du tendon est pratiquée en post-opératoire.

La WALANT, en évitant l'impotence fonctionnelle du membre supérieur, joue en faveur de la mobilisation précoce protégée et donc, comme nous l'avons évoqué dans le chapitre sur les intérêts pour le patient, permet de diminuer les risques d'exclusion segmentaire et de douleur d'origine centrale.

La mobilisation active précoce protégée est recommandée pour la rééducation des sutures des tendons même si des études montrent que les protocoles actifs ne sont utilisés qu'une fois sur deux [58][59].

La mobilisation active précoce protégée d'une suture solide conduit à une meilleure cicatrisation, une plus grande solidité et une diminution des adhérences [60].

Mais certaines prudenances sont de mise pour mobiliser un tendon suturé :

Selon les études sur le Work Of Flexion (WOF) [61][62][63], la période idéale pour débiter la mobilisation se situe entre 3 et 5 jours après la chirurgie. Ainsi une mobilisation active avant J3 sera nocive car elle augmente l'inflammation (l'œdème, le saignement) et augmente le WOF de façon délétère.

Le Protocole Saint John après suture fléchisseurs zone 2 [52] peut être résumé ainsi :

En post-opératoire immédiat :

Le chirurgien peut faire l'éducation peropératoire des patients, à ne pas bouger les doigts et à garder la main surélevée en tout temps au cours des premiers jours postopératoires pour éviter les saignements dans la plaie.

Les saignements internes provoquent la formation de caillots, qui deviennent des cicatrices.

Attendre 3 à 5 jours :

- Avant de bouger : permet de ne pas stimuler l'œdème,
- Avant de travailler la flexion : afin de minimiser le risque de rupture.

La formation de collagène ne commence pas avant le troisième jour, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer un mouvement immédiat qui pourrait être préjudiciable.

L'orthèse post opératoire :

- Dorsale
- Amplitudes : poignet 30° d'Extension, métacarpo-phalangienne à 45° et inter-phalangienne proximale et inter-phalangienne distale en extension complète

De J4 à J+ 14 :

Le rythme des mobilisations actives est de 10 répétitions à chaque heure en journée.

- La règle « *you can move it but you can't use it* » répétée au patient au moins 3 fois pendant la réparation des fléchisseurs et à chaque visite.
- Contrôle de l'œdème par l'élévation de la main et du doigt et contention souple non adhésive (type Coheban).
- Dans l'attelle de blocage dorsale impliquant le poignet, les patients apprennent la flexion passive de tous les doigts comme un « échauffement » avant la flexion active.

La flexion passive diminue le Work Of Flexion.

- Extension de l'articulation inter-phalangienne active avec blocage de l'articulation métacarpo-phalangienne en flexion pour prévenir les raideurs en flexum des articulations inter-phalangiennes
- Flexion active protégée jusqu'à un tiers du « *full fist* » (poing fermé), le patient doit essayer d'initier le mouvement de flexion des doigts au niveau de l'articulation IPD (« *hook fist* »). Ceci pour favoriser le glissement du Fléchisseur Profond des Doigts (FPD) dans le Fléchisseur Superficiel des Doigts (FSD) au niveau de la décussation.

Il faut faire preuve de vigilance au cours des mouvements actifs, ne pas déclencher de tension, aucun mouvement douloureux ou violent.

Les patients sont encouragés à ne pas prendre de médicaments contre la douleur et donc à suivre une thérapie de la main guidée par la douleur avant de commencer un mouvement actif.

De la 2^{ème} semaine à la 4^{ème} semaine :

- L'attelle est raccourcie: attelle Manchester
- Continuer la flexion passive totale du doigt et des autres, et ensuite, dans le même temps c'est à dire sur le retour, faire de l'extension active du doigt opéré pour revenir contre la Manchester.

- Les patients travaillent la flexion active des doigts, poignet à 45 degrés d'extension dans la Manchester au moins jusqu' au demi poing fermé (en tenant compte de la douleur) dos de la main et avant bras posé sur table
- Continuer l'extension complète de l'articulation IP avec la MP en flexion complète, Contre appui d'un doigt sain de la main opposée pour maintenir la F de MP
- Utiliser la Manchester pour travailler l'effet synergique du poignet en F avec extension active, et poignet en extension (max 45°) avec flexion active des doigts au moins jusqu'à demi poing fermé. Répéter le mouvement 10 fois toutes les heures
- Travailler pour atteindre l'objectif de la position « full fist » (poing fermé) à 6 semaines.

A partir de la 6^{ème} semaine :

- Arrêt de l'attelle courte de Manchester.
- Les patients peuvent commencer à utiliser la main pour des activités légères.
- Commencer à utiliser des attelles la nuit si nécessaire pour corriger les raideurs en flexum de l'IPP.

2.3 : Incidences sur la prise en charge des tendons extenseurs

Je ne parle ici que de la prise en charge des tendons extenseurs en zone 5 et 6.

Selon Evans [64], pour éviter les adhérences, notamment dans ces zones, il faut un glissement du tendon réparé de 5mm.

L'orthèse postopératoire doit éviter de trop fléchir le poignet et les doigts pour éviter une trop grande tension dans la suture qui risquerait d'aboutir à l'allongement ou la rupture du tendon suturé.

Comme pour les tendons fléchisseurs, la mobilité active précoce protégée est recherchée pour favoriser les glissements tendineux.

Un intérêt de la WALANT pour la chirurgie de réparations de tendon extenseur en zone 5 et 6 est d'utiliser la motricité volontaire peropératoire, pour juger si la protection du tendon réparé par l'orthèse postopératoire est satisfaisante.

Il est alors possible de tester en per opératoire la tension du tendon réparé avec un système simple d'abaisse langue glissé entre les premières phalanges des doigts.

Le principe est de protéger de la mise en tension trop importante le tendon réparé : mettre en légère extension l'articulation métacarpo-phalangienne du doigt opéré par rapport à la position des MP des doigts adjacents pour détendre le tendon opéré sans en limiter l'excursion lors des mouvements volontaires.

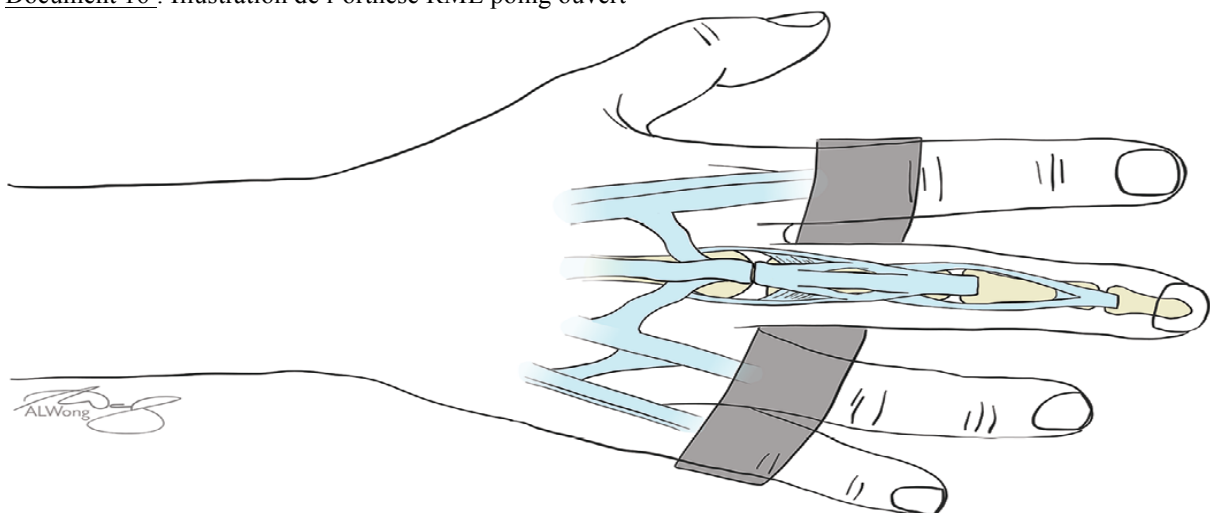
Une orthèse de fonction diurne de type « Yoke splint », « joug » « Relative Motion Extension (RME) »...est proposée en post opératoire par certaines équipes, comme celle du Dr Meritt [65] qui a montré que sous WALANT en zone 5 le tendon réparé n'était pas en tension si la MP du segment réparé était placée en extension de 15 à 20° (Documents 16 et 17). Les auteurs ont également mesuré le glissement tendineux à 6 mm avec RME et à 12mm sans attelle RME après réparation du majeur :

L'attelle RME ne diminue donc pas seulement la tension sur la réparation, elle diminue également l'excursion.

Le tendon peut bouger suffisamment pour éviter de se coincer, mais il ne bougera pas suffisamment pour se rompre.

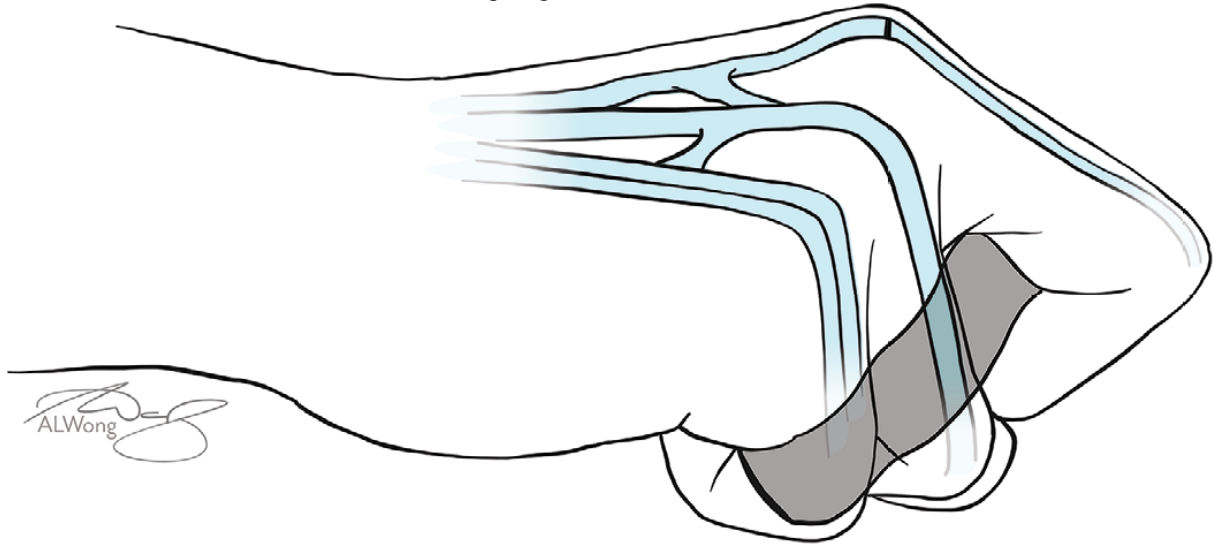
L'orthèse permet cette mobilisation du tendon réparé par le patient sans devoir penser à faire ses exercices d'auto-mobilisations : c'est en utilisant sa main pour les gestes du quotidien que le patient s'auto-mobilise.

Document 16 : Illustration de l'orthèse RME poing ouvert



Source Meritt [65]

Document 17 : Illustration de l'orthèse RME poing fermé



Source Meritt [65].

On peut remarquer que le docteur George Hoel dans son articles « trucs et astuces en chirurgie ortho et traumatologie » avait déjà pensé à ce type d'orthèse dans les années 2000 pour le traitement orthopédique des lésions d'extenseur en zone 6 .

Dans la WALANT le test peropératoire permet donc de décider si l'orthèse RME sera efficace pour protéger la suture et permettre un glissement tendineux avec ou sans attelle immobilisant le poignet.

3. DISCUSSION

La plupart des chirurgies de la Main peuvent être pratiquées sous WALANT. Comme nous l'avons déjà mentionné, les chirurgies des mains complexes qui nécessitent une anesthésie longue et une prise en charge de la douleur en postopératoire répondent mieux à une Anesthésie Locorégionale.

3.1 : Indications de la WALANT en chirurgie de la main en France

1/ Chirurgie programmée :

- Doigt à ressort
- Syndrômes canaux: canal carpien et tunnel cubital
- De Quervain
- Trapezectomie
- Transfert de tendons
- Maladie de Dupuytren
- Libération de lacertus fibrosus. Le grand avantage de cette procédure, est le fait que le chirurgien et le patient voient tous deux le retour de la puissance du flexor pollicis longus et l'index flexor digitorum profundus avant que la peau soit fermée [66]
- Ablation de matériel (plaques, vis...)
- Arthroscopie de poignet (réparation du Triangular Fibro Cartilage Complex (TFCC) [67]

2/ Chirurgie d'urgence :

- Sutures tendineuses
- Fractures de phalanges, de métacarpiens
- Fractures extrémités distales du radius (ostéosynthèse par plaque)

Cette liste d'indications est non exhaustive.

3.2 : La première séance de rééducation

En rééducation de la main, sauf contre indication du chirurgien, la mobilisation précoce protégée est souvent la règle en post opératoire immédiat.

«Tout mouvement qui n'est pas traumatisant du fait de son amplitude, favorise la cicatrisation », Lucas-Champonnière, 1908.

3.2.1 : Principes et objectifs

Dans l'idéal, la première séance entre le patient et son rééducateur permet un bilan diagnostic kinésithérapique (BDK) permettant de dégager les objectifs de la rééducation. Cette première séance permet aussi de poser les premiers jalons de l'éducation thérapeutique :

- initier un premier contact relationnel rééducateur/patient qui doit permettre au rééducateur de s'assurer de la bonne compréhension du patient, de son investissement et de ses motivations pour des prises en charges parfois longues et difficiles;
- réexpliquer sa pathologie au patient si nécessaire;
- revenir sur la technique chirurgicale et sur ses intérêts pour le patient;
- expliquer les premiers exercices post opératoire;
- être à l'écoute des questions du patient et le rassurer si besoin.

La première séance aura pour objectif l'éducation thérapeutique du patient.

« L'objectif principal est la mobilisation active précoce pour aider le patient blessé à retrouver sa gestualité, sa spontanéité et plus tard son habileté » écrit A. Bañada [68] .

La lecture du compte rendu opératoire (C.R.O.) au patient peut être intéressante pour lui faire comprendre les différents « temps » de sa rééducation, tenant compte du délai de cicatrisation osseuse, tendineuse, nerveuse... et donc lui faire comprendre et retenir les exercices qu'il devra réaliser en dehors des séances.

Cette première séance peut être utile pour lui expliquer le protocole GREC (Glace, Elévation, Repos, Compression).

Il faut éviter l'installation du cercle vicieux raideur-douleur-exclusion fonctionnelle de la main en encourageant le plus possible la mobilisation articulaire et une sollicitation sensorielle, tout cela en restant sous le seuil de la douleur.

3.2.2 : Imagerie et observation motrice

Nous avons vu que la chirurgie sous WALANT permet la mobilisation immédiate per opératoire : l'objectif principal, dès la première séance de rééducation, doit être de continuer à préserver l'image motrice de la main du patient. C'est le moyen d'agir sur la prévention des complications comme l'exclusion segmentaire et le SDRC grâce à la WALANT qui facilite la mobilisation active précoce protégée.

En pratique, nos techniques d'imagerie motrice et d'observation motrice vis-à-vis de la prise en charge de la douleur et de l'exclusion segmentaire sont intéressantes.

Dans le cadre de la première séance, l'utilisation de l'imagerie motrice et de l'observation motrice est un moyen de :

- Maintenir les représentations corticales
- Diminuer les douleurs neuropathiques
- Diminuer l'œdème
- Diminuer le temps de réponse à la reconnaissance de latéralité
- Accélérer la réorganisation corticale des aires sensori-motrices [69]

Le Graded Motor Imagery Program (GMIP) permet la mise en place et l'utilisation au cabinet de l'Imagerie motrice et de l'observation motrice [70].

Ce programme agit sur les patients avec SDRC. Plus il est appliqué tôt plus l'efficacité est importante [71] :

La thérapie miroir diminue :

- 1/ les douleurs chez les patients avec SDRC aigus (symptômes inférieurs à 8 semaines)
- 2/ les raideurs chez les patients présentant un SDRC dont la durée des symptômes est de 8 semaines à 1 an

Si la thérapie miroir est débutée à partir d'un an, chez des patients SDRC chroniques, l'effet n'est pas prouvé.

Ce programme est constitué de trois phases d'une durée de 2 semaines chacune.

Le programme d'imagerie motrice, décrit par Moseley, se divise en 3 phases successives [69] [72] (Annexe 1)

L'effet antalgique de la thérapie au miroir permet d'obtenir des mobilisations actives de plus grandes amplitudes.

La sensibilité peut être stimulée en même temps que la mobilité en effectuant une mobilisation passive, active aidée ou active de la main ou des doigts contre le miroir.

C'est ce que préconise Philippe Pernot dans son expression « *Stay in motion with the sensibility* » (communication dans le cadre d'une mission humanitaire en Arménie, janvier 2021)

La propriété de plasticité cérébrale est ainsi utilisée pour recorticaliser la main, c'est-à-dire garder la main opérée dans le schéma sensitif et moteur du patient.

3.2.3 : WALANT et prévention

On peut réfléchir à l'utilité de dépister les patients avec douleur chronique qui seraient opérés sous WALANT. Le questionnaire de sensibilisation centrale [73] pourrait avoir un intérêt pour cela. Ce pourrait peut-être être un moyen de prévenir les SDRC en accentuant notre prise en charge sur les techniques d'imagerie motrice.

La pré-étude du Dr McGee, propose d'utiliser l'imagerie motrice graduelle en association avec une thérapie de la main conventionnelle, chez les patients à risque de développer un SDRC.

Les conclusions d'une éventuelle prise en charge préventive (thérapie de la main et imagerie motrice graduelle) seront publiées par cette même équipe en 2021 [74].

4. QUESTIONNAIRE AUPRES DE CHIRURGIENS DE LA MAIN

Le questionnaire envoyé aux chirurgiens de la Main via la Société Française de Chirurgie de la Main (SFCM) ainsi que les résultats recueillis sont en annexe 2.

Destinataires

Chirurgiens de la Main, membres de la SFCM

Nombre de réponses

189 destinataires

49 réponses

soit 25,4 % de réponses

Date du questionnaire

Il a été diffusé entre le 21 mars 2021 et le 21 avril 2021

Matériel et procédures

Ce questionnaire comportant 14 questions a été élaboré avec Google drive, et ses résultats extraits de Google Forms.

Les adresses de messagerie électronique n'ont pas été collectées.

Une seule réponse par utilisateur a été acceptée.

Résultats

70 % des réponses proviennent de chirurgiens exerçants dans une clinique faisant partie de la FESUM.

Il ressort que la moitié des chirurgiens qui ont répondu ont déjà opéré sous WALANT.

La pandémie de Covid-19 a augmenté le nombre d'interventions sous WALANT pendant les 2 premiers confinements, puisque la technique a été utilisée par 1 chirurgien pendant le 1^{er} confinement, puis 12 chirurgiens pendant le 2^{ème} confinement.

La moitié des chirurgiens pensent que la WALANT a un intérêt pour le patient et pour l'établissement dans lequel ils opèrent.

La réorganisation des prises en charge et la maîtrise de leur chirurgie par d'autres types d'anesthésies locorégionales ne font pas choisir la WALANT pour 2/3 des chirurgiens.

L'intérêt principal de la technique est la motricité peropératoire pour plus de 40 % des chirurgiens.

Un chirurgien sur 5 (20 %) ne trouve aucun intérêt à la technique, que ce soit du point de vue du patient, de la structure dans laquelle il opère, de la technique chirurgicale, et de la rééducation.

En postopératoire 30 % des chirurgiens ne voient pas d'intérêts à adapter leur protocole de rééducation.

La WALANT profite à la rééducation des patients pour un tiers des chirurgiens consultés.

La réponse « peut-être » est majoritaire concernant les questions sur les intérêts de la WALANT pour le patient, la technique chirurgicale et la rééducation.

C'est toujours la réponse « peut-être » que la plupart des chirurgiens ont choisi pour les questions sur l'intérêt de la mise en place d'une séance pluridisciplinaire préopératoire et sur l'adaptation des protocoles de rééducation.

Commentaires

Les chirurgiens membres de la SFCM qui ont répondu au questionnaire semblent connaître cette technique puisqu'un sur deux l'a déjà utilisée.

Beaucoup de ces chirurgiens ont répondu « peut-être ».

Il est possible qu'ils aient répondu « peut-être » car le « non » est absent dans les choix de réponses.

Mais il est aussi possible que cette réponse « peut-être » révèle que les chirurgiens sont indécis, qu'ils ont besoin de s'informer plus précisément sur la WALANT.

Il semble alors intéressant de proposer les bénéfices spécifiques que le patient, le chirurgien et le rééducateur peuvent tirer de leur prise en charge avec la WALANT. (ANNEXE 4)

CONCLUSION GENERALE

La chirurgie de la Main sous WALANT est une technique importée du Canada.

Cette technique d'anesthésie par tumescence de la main (Local Anesthesia) avec xylocaïne – se passant de garrot (No Tourniquet) grâce à l'adrénaline – permet au patient, en pleine conscience (Wide Awake) pendant l'opération car sans prémédication, d'effectuer des mouvements volontaires avec sa main sur demande du chirurgien. Celui-ci peut alors adapter sa chirurgie, et commencer à donner ses consignes post-opératoires au patient. L'attention du patient est alors maximale, « le lien » n'est pas rompu entre patient et soignant durant l'intervention.

De plus, en post-opératoire immédiat, sans pansement ni douleur, le patient voit le résultat de la chirurgie en bougeant sa main volontairement.

Il n'y aura pas de rupture du schéma corporel, l'impotence fonctionnelle est évitée.

Le duo entre la main qui bouge et l'œil qui voit la main réparée bouger permet de débiter la réorganisation corticale dès la chirurgie. Les réticences, les peurs du patient s'estompent. Place ensuite aux rééducateurs d'adapter la prise en charge aux contraintes physiologiques et humaines pour maintenir ou même parfois optimiser les résultats obtenus par cette chirurgie.

En effet, le rééducateur peut utiliser ses techniques pour encore faciliter cette réorganisation centrale et prévenir les complications postopératoires amenant parfois à un SDRC.

La chirurgie pour des pathologies courantes (canal carpien, doigt à ressaut...) est particulièrement adaptée à la WALANT. Elle accélère la prise en charge et facilite la Récupération Accélérée Après Chirurgie (RAAC) du patient. Les chirurgies plus lourdes et plus douloureuses en postopératoire qui sont traitées au bloc opératoire (main complexe) peuvent nécessiter une analgésie postopératoire par blocs périnerveux.

Quelque soit l'anesthésie utilisée, n'oublions pas que la prise en charge par une équipe thérapeutique d'un patient opéré de la main a pour objectif *in fine* de lui permettre la meilleure préhension possible, avec le minimum de douleur. L'évaluation fonctionnelle de la Main par le thérapeute juge de la réussite de la prise en charge. En ce sens le bilan proposé par le Dr Gazarian (Annexe 3) est très intéressant. Chaque patient aura ses attentes

particulières et le thérapeute doit les connaître pour avoir la satisfaction d'une rééducation réussie.

Le développement de cette technique en chirurgie de la main pose de nombreuses interrogations : La WALANT Surgery va-t-elle sortir du bloc opératoire certaines indications à l'image des « *minor procedure rooms* » en Amérique du Nord ? La technique d'anesthésie restera-t-elle sous l'égide des anesthésistes ? En ces temps de pandémie mettant en tension notre système de santé, notamment au bloc opératoire, les économies humaines et financières réalisables grâce à la WALANT Surgery modifieront-elles l'organisation des soins pour la chirurgie de la Main ?

ANNEXE 1: GRADED MOTOR IMAGERY PROGRAM (GMIP)

- Reconnaissance de latéralité (sans mouvement des mains)

A partir de l'observation d'une série de photos de mains droites ou gauches que le patient va faire défiler sur son téléphone, (de notre propre fabrication ou sur des sites proposant cet exercice), il doit déterminer la latéralité de la main visualisée.

C'est un travail de rotation mentale qui réactive le mouvement dans la mémoire interne.

- Mouvements imaginés

A partir du même support (photos) et toujours sans production de mouvement, le patient va imaginer positionner sa main de la même façon que sur la photo. C'est l'interprétation mentale du geste. Il active les mêmes aires corticales que le mouvement réel. Cette imagerie motrice explicite permet un meilleur recrutement des circuits neuronaux, une augmentation de la fréquence d'activation des unités motrices.

- Thérapie au miroir

Il s'agit de leurrer le cerveau par le feed-back visuel dominant sensoriels.

Le patient est assis à une table, un miroir est placé dans le prolongement du membre opéré, de manière à cacher l'avant bras de la main opérée.

Le patient doit regarder le reflet de sa main saine dans le miroir

Il effectue d'abord des mouvements avec sa main saine sans bouger sa main opérée.

Puis les mouvements sont synchrones avec les deux mains (sa main douloureuse étant cachée à la vue) créant ainsi l'illusion d'avoir une main fonctionnelle.

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE WALANT : QUESTIONS ENVOYÉES ET RÉPONSES

ANNEXE 3 : UN EXEMPLE D'AUTO-EVALUATION SUBJECTIVE: LE BILAN DU DR GAZARIAN

Si 0=enfer et 10=paradis

«Combien vaut votre main entre 0 et 10 ?»

Le patient donne une note. Si c'est 4/10 il manque 6 points pour aller à 10

«Que faudrait-il pour que votre main soit à 10?»

Il propose au patient de noter 6 éléments manquants. Cela peut être une main plus belle, une main qui sert à bien appliquer sa crème de visage (pas évident en cas de flessum de l'IPP du 3èmedoigt), tenir la casserole, mettre la main dans sa poche ...

ANNEXE 4 : INTERETS DE LA WALANT POUR LE CHIRURGIEN, LE PATIENT ET LE REEDUCATEUR

INTERETS DE LA WALANT		
pour le chirurgien	pour le patient	Pour le rééducateur
- vérifier sa chirurgie par le mouvement volontaire peropératoire pour : 1/ la maladie de Dupuytren, en évaluant la mobilité passive par rapport à la mob active après aponévrectomie, 2/ les réparations des tendons fléchisseurs et extenseurs , 3/ doigts à ressaut, en s'assurant de l'absence du ressaut 4/ transfert tendineux avec un meilleur réglage de la tension du transfert 5/ fractures pour tester la stabilité du montage lors des mouvements actifs -Diminuer les coûts financier et écologique avec « l'office surgery » - faire de l'éducation thérapeutique peropératoire, s'assurer de la compréhension des consignes en lui faisant reformuler ce qu'il peut faire ou ne pas faire.	Avant la chirurgie : - pas de prémédication, donc pas besoin d'être à jeun et moins d'effets secondaires des opiacés - moins de contre indication liées à l'anesthésie : cette technique permet à des patients avec pathologies associées de se faire opérer sans risquer les mêmes complications (diabétiques, patients sous traitements anticoagulants...) Pendant la chirurgie : - pas de douleur liée au garrot : la chirurgie lui est plus confortable visualisation des résultats obtenus à la fin de l'intervention grâce aux mouvements volontaires : lever des inhibitions, des craintes de bouger Après la chirurgie : - retour chez lui rapide car le patient garde une sensation proprioceptive et une motricité postopératoire sub-normales (contrairement au bloc axillaire) en évitant l'impotence fonctionnelle, le patient peut bouger sa main immédiatement dans les limites fixées par le chirurgien.	- protocole postopératoire adapté pour les sutures tendineuses, - immobilisation par orthèse adaptés grâce aux mouvements actifs peropératoires - facilite la compliance du patient - intérêt de la 1ère séance de rééducation pour expliquer la mobilisation précoce, repérer les patients susceptibles de déclencher un SDRC ou exclusion segmentaire.

ANNEXE 5: LISTE DES DOCUMENTS PRESENTES DANS LE MEMOIRE

Document 1: Images [4] des sites d'injection d'anesthésique local pour diverses fractures de la main

Document 2: Classification des récepteurs sensoriels selon leur structure et leur fonction

Document 3: Recommandations de L'American Society for Surgery of the Hand (ASSH) et la Federation of Hand Surgeons (IFSSH) pour la classification des déficits de la sensibilité (sensibilité et douleur)

Document 4: Illustration tirée de la brochure réalisée dans le cadre du DIU Appareillage et rééducation en chirurgie de la Main par Laurie Bonnafond et Marie Schwebel

Document 5: Classification des fibres nerveuses

Document 6: effet indésirables des Anesthésiques locaux

Document 7: Délai et durée d'action des Anesthésiques locaux utilisés au Membre Supérieur

Document 8: Dermatomes du membre supérieur

Document 9: Sclérotomes du membre supérieur

Document 10: Myotomes du membre supérieur

Document 11: Les différents types d'anesthésies en chirurgie de la Main et leurs conséquences

Document 12 : Photo du tourniquet inventé par Jean Louis Petit

Document 13. Importance de la vision sur l'œdème et la douleur chez les patients douloureux chroniques de la main

Document 14 : Attelle courte sécurisée. La cale enlevée permet une synergie active de flexion du poignet et extension des doigts.

Document 15: Attelle courte sécurisée par une cale interdisant l'extension du poignet durant la journée en dehors des exercices

Document 16: Illustration de l'orthèse RME poing ouvert

Document 17: Illustration de l'orthèse RME poing fermé

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Lalonde, DH. (2017). Conceptual origins, current practice, and views of wide awake hand surgery. *J Hand Surg Eur*, 42(9), pp. 886-895. DOI: 10.1177/1753193417728427.
- [2] Wheelock, M., Petropolis, C., Lalonde, DH. (2019). The Canadian model for instituting Wide AWAKE HAND SURGERY in our hospitals. *Hand Clin.* , 35(1), pp. 21-27. DOI: 10.1016/j.hcl.2018.08.001.
- [3] Leblanc, MR., Lalonde, DH., Thoma, A., et al. (2011). Is main operating room sterility really necessary in carpal tunnel surgery? A multicenter prospective study of minor procedure room field sterility surgery. *Hand (N Y)*, 6, pp. 60–63. DOI: 10.1007/s11552-010-9301-9
- [4] Lalonde, DH. (2016) *Wide Awake hand Surgery*. CRC Press.
- [5] Franck, SG., Lalonde, DH. (2012). How acidic is the lidocaine we are injecting, and how much bicarbonate should we add? *Can J Plast Surg.*, 20(2), pp. 71–73. DOI: 10.1177/229255031202000207
- [6] Hagert, E., Lluch, A. (2016). Rein The role of proprioception and neuromuscular stability in carpal anstabilities. *J Hand Surg Eur.*, 41(1), pp. 94-101. DOI: 10.1177/1753193415590390
- [7] Beloeil, H., Mazoit, J.-X. (2010) Pharmacologie des anesthésiques locaux. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Anesthésie-Réanimation*, 36-320-A-10
- [8] Thomson, CJ., Lalonde, DH., Denkler, KA., Feicht, AJ. (2007). Critical look at evidence for and against elective epinephrine use in the finger. *Plast Reconstr Surg.*, 119(1), pp. 260-266. DOI: 10.1097/01.prs.0000237039.71227.11.

- [9] Denkler, K. (2001). A comprehensive review of epinephrine in the finger : to do or not to do. *Plast Reconstr Surg.*, 108(1), pp. 114-124. DOI: 10.1097/00006534-200107000-00017.
- [10] Kronic, AL., Wang, LC., Soltani, K., Weitzul, S., Taylor, RS. (2004). Digital anesthesia with epinephrine : an old myth revisited ; *J Am Acad Dermatol* , 51(5), pp. 755-759. DOI: 10.1016/j.jaad.2004.05.028.
- [11] Jonhson, HA. (1967) Infiltration with epinephrine and local anesthetic mixture in the hand. *JAMA* , 200(11), pp. 990-991
- [12] Lalonde, DH., Bell, M., Sparkes, G., Denkler, K., Chang P. (2005) A Multicenter Prospective Study of 3110 Consecutive Cases of Elective Epinephrine Use in the Fingers and Hand : The Dalhousie project Clinical Phase. *J Hand Surg Am*, 30(5), pp. 1061-1067. DOI: 10.1016/j.jhsa.2005.05.006.
- [13] Nodwell, T., Lalonde, DH. (2003) How long does it take phentolamine to reverse adrenaline-induced vasoconstriction in the finger and Hand ? A prospective randomized blinded study: the Dalhousie experimental phase. *Can J Plast Surg* 11(4), pp. 187-190. DOI: 10.1177/229255030301100408.
- [14] Zhu, AF., Hood, BR., Morris, MS., Ozer, K. (2017). Delayed-onset digital ischemia after local anesthetic with epinephrine injection requiring phentolamine reversal. *J Hand Surg Am.*, 42(6), pp. 479.e1-479.e4. DOI: 10.1016/j.jhsa.2017.01.006.
- [15] Bill, TJ., Clayman, MA., Morgan, RF., Gampper, TJ. (2004). Lidocaine metabolism pathophysiology, drug interactions, and surgical implications. *Aesthet Surg J*, 24(4), pp. 307-311. DOI: 10.1016/j.asj.2004.05.001.
- [16] Campard, S., et al., (2018). WALANT échoguiée pour chirurgie de la main : premiers résultats. Communication libre. R078 SFAR

- [17] Campard, S., Gazeau, T., Debec, G., De Keating-Hart, E., (2020). Wide Awake Local Anesthesia No Tourniquet (WALANT) échoguidé. *Le Praticien en Anesthésie-Réanimation*. 24, pp. 22-25. DOI:10.1016/j.pratan.2020.02.004
- [18] Mann, T., Hammert, WC., (2012). Epinephrine and hand surgery. *J Hand Surg Am.*, 37(6), pp. 1254-1256;quiz1257. DOI: 10.1016/j.jhsa.2011.11.022.
- [19] Merle, M., Dautel, G., (2009). *La main traumatique 1. L'urgence* (3^{ème} édition) Masson.
- [20] Lioux, M. (2016). « Un garrot dans l'*instrumentarium* du médecin antique ? », *Histoire, médecine et santé*, 8, pp. 69-87. URL : <http://journals.openedition.org/hms/874> ;DOI : <https://doi.org/10.4000/hms.874>
- [21] Bunnell, S. (1948). *Surgery of the Hand*. 2nd ed. London: J.B. Lippincott.
- [22] Fu Kuo-Tai, L. (2010). Great Names in the History of Orthopaedics XIV: Joseph Lister (1827-1912) Part 1. *Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation*, 14(2), pp. 30-38.
- [23] Graham, B., Breault, MJ., McEwen, JA., McGraw, RW. (1993). Occlusion of arterial flow in the extremities at subsystolic pressures through the use of wide tourniquet cuffs. *Clin Orthop Relat Res*, 286, pp. 257-261.
- [24] Estèbe, J-P. (2006). Recommandations pour le bon usage du garrot pneumatique en chirurgie. *Ann Fr Anesth Réanimation*, 25(3), pp. 330-332. DOI:10.1016/j.annfar.2005.08.012
- [25] Klenerman, L. (1962). The tourniquet in surgery. *J Bone Joint Surg Br*, 44-B, pp. 937-943. DOI: 10.1302/0301-620X.44B4.937.
- [26] Estebe, J-P., Davies, JM., Richebe, P. (2011) The pneumatic tourniquet: mechanical, ischaemia-reperfusion and systemic effects. *Eur J Anaesthesiol*, 28(6), pp. 404-411.

- [27] Girardis, M., Milesi, S., Donato, S., Raffaelli, M., Spasiano, A., Antonutto, G., et al. (2000). The Hemodynamic and Metabolic Effects of Tourniquet Application During Knee Surgery. *Anesth Analg*, 91(3) pp. 727-731. DOI: 10.1097/00000539-200009000-00043.
- [28] Laxenaire, MC., Mouton, C., Frédéric, A., Viry-Babel, F., Bouchon, Y. (1996). Chocs anaphylactiques après levée de garrot en chirurgie orthopédique. *Ann Fr Anesth Réanimation*, 15(2), pp. 179-184. DOI: 10.1016/0750-7658(96)85039-8.
- [29] Zhang, W., Li, N., Chen, S., Tan, Y., Al-Aidaros, M., Chen, L. (2014). The effects of a tourniquet used in total knee arthroplasty: a meta-analysis. *AORN J*, 100(2), pp. 224-228. DOI: 10.1016/j.aorn.2014.06.003.
- [30] Gunasagaran, J., Sean, ES., Shivdas, S., Amir, S., Ahmad, TS. (2017). Perceived comfort during minor hand surgeries with wide awake local anaesthesia no tourniquet (WALANT) versus local anaesthesia (LA)/tourniquet. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 25(3), DOI: 10.1177/2309499017739499.
- [31] Cousins, GR. (2015) Arm versus forearm tourniquet for carpal tunnel decompression -Which is better? A randomized controlled trial. *J Hand Surg Eur*, 40(9) pp. 961-965. DOI: 10.1177/1753193414565322.
- [32] Braithwaite, BD., Robinson, GJ., Burge, PD. (1993) Haemostasis during carpal tunnel release under local anaesthesia : a controlled comparison of a tourniquet and adrenaline infiltration. *J Hand Surg Br*, 18(2), pp. 184-186. DOI: 10.1016/0266-7681(93)90103-m.
- [33] Moutet, F., Thomas, D. (1999). Rééducation des lésions articulaires et fractures au niveau de la main. Réadaptation de la main. *Homographie du GEM* n°26 1999 p.117-119.
- [34] Lissek, M., et al. (2009) Immobilization impairs tactile perception and shrinks somatosensory cortical maps. *Curr Biol*, 19(10), pp. 837-842. DOI: 10.1016/j.cub.2009.03.065.

- [35] Avanzino, L., et al. (2014) Shaping Motor Cortex Plastic Through Proprioception. *Cereb Cortex*, 24(10), pp. 2807–2814. DOI: 10.1093/cercor/bht139.
- [36] Noppeney, U., Waberski, TD., Gobelé? R., Buchner, H. (1999) Spatial attention modulates the cortical somatosensory representation of the digits in humans. *NeuroReport* 10(15), pp. 3137-314. DOI: 10.1097/00001756-199910190-00003.
- [37] Ramachandran, VS., Altschuler, EL. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*, 132(Pt 7), pp. 1693-1710. DOI: 10.1093/brain/awp135.
- [38] Botvinick, M., Cohen, J. (1998) Rubber hands feel touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), pp. 756. DOI: 10.1038/35784.
- [39] Lalonde, DH. (2009). Wide-awake flexor tendon repair. *Plast Reconstr Surg*, 123(2), pp. 623-625. DOI: 10.1097/PRS.0b013e318195664c.
- [40] Moriya, et al. (2016). Clinical results of releasing the entire A2 pulley after flexor tendon repair in zone C2. *J Hand Surg Eur*, 41(8), pp. 822-828. DOI: 10.1177/1753193416646521.
- [41] Amadio, PC. (2005). Friction of the gliding surface. Implications for tendon surgery and rehabilitation. *J Hand Ther*, 18(2), pp.112–119. DOI: 10.1197/j.jht.2005.02.005.
- [42] Gibson, PD., Sobol, GL., Ahmed, IH. (2017). Zone II flexor tendon repairs in the United States: trends in current management. *J Hand Surg Am*, 42(2), pp. e99–e108. DOI: 10.1016/j.jhsa.2016.11.022.
- [43] Tang, JH. (2017). Strong digital Flexor tendon repair, Extension-flexion Test and Early Active Flexion: Experience in 300 tendons, *Hand Clin*, 33(3), pp. 455-463. DOI: 10.1016/j.hcl.2017.04.012.

- [44] Giesen, T., Calcagni, M., Elliot, D. (2017). Primary flexor tendon repair with early active motion: experience in Europe. *Hand Clin* 33(3), pp. 465–472. DOI :10.1016/j.hcl.2017.03.001.
- [45] Lalonde, DH. (2013). How the wide awake approach is changing hand surgery and hand therapy: inaugural AAHS sponsored lecture at the ASHT meeting, San Diego, *J Hand Therapy*, 26(2), pp. 175–178. DOI: 10.1016/j.jht.2012.12.002.
- [46] Verdan, C. (1960). Syndrome of the quadriga. *Surg Clin North Am*, 40, pp. 425-426.
- [47] Duran, R-J., Houser, R.G. (1975). Controlled passive motion following flexor tendon repair in zones two and three. *AAOS Symposium on tendon surgery in the hand*. The C.V. Mosby Co., St. Louis, 105, 1975
- [48] Kleinert, HE. (1986). Réparations primitives des tendons fléchisseurs. *Traité de chirurgie de la main*, 3, pp.198-205. Masson, Paris.
- [49] Small, JO., Brennen, MD., Colville, J. (1989). Early active mobilization following flexor tendon repair in zone II. *J Hand Surg Br*, 14(4), pp. 383-391. DOI: 10.1016/0266-7681(89)90152-6.
- [50] Peck, FH., Roe, AE., Ng, CY., Duff, C., McGrouther, DA., Lees, VC. (2014). The Manchester short splint: a change to splinting practice in the rehabilitation of zone II flexor tendon repairs. *J Hand Ther*, 19, pp. 47–53. DOI:10.1177/1758998314533306
- [51] Higgins, A., Lalonde, DH., Bell, M., et al. (2010). Avoiding flexor tendon repair rupture with intraoperative total active movement examination. *Plast Reconstr Surg*, 126(3), pp. 941-945. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3181e60489.
- [52] Higgins, A., Lalonde, DH. (2016). Flexor tendon repair postoperative rehabilitation: the Saint John protocol. *Plast Reconstr Surg Global Open*, 4(11), pp. e1134. DOI : 10.1097/GOX.0000000000001134 4: e113

- [53] Tang, JB. (2018). New developpements are improving flexor tendon repair. *Plast Reconstr Surg*, 14(6), pp. 1427-1437. DOI: 10.1097/PRS.00000000000004416.
- [54] Delaquaize, F., Giroud, M. (2020). Intérêt des protocoles en flexion active protégée lors d'une lésion des tendons fléchisseurs : vers toujours plus de liberté contrôlée *Kinesither Rev*, Vol 20, issue 222, pp.51-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2020.03.009>
- [55] Savage, R. (1988). The influence of wrist position on the minimum force required for active movement of the interphalangeal joints. *J Hand Surg Br*, 13(3), pp. 262–268. DOI: 10.1016/0266-7681(88)90082-4.
- [56] Athlani, L., Detammaecker, R., Touillet, A., Dautel, G., Foisneau, A. (2019). Effect of different positions of splinting on flexor tendon relaxation: a cadaver study. *J Hand Surg Eur*, 44(3), pp. 833-837. DOI: 10.1177/1753193419865123.
- [57] Mason, ML., Allen, HS. (1941). The rate of healing of tendons: an experimental study of tensile strength. *Ann Surg*, 113(3), pp. 424–459. DOI: 10.1097/00000658-194103000-00009.
- [58] Bigorre, N., Delaquaize, F., Degez, F., Celerier, S. (2018). Primary flexor tendons repair in zone 2: Current trends with GEMMSOR survey results. *Hand Surg Rehabil*, 37(5), pp. 281–288. DOI: 10.1016/j.hansur.2018.05.005.
- [59] Gibson, PD., Sobol, GL., Ahmed, IH. (2017). Zone II flexor tendon repairs in the United States: trends in current management. *J Hand Surg Am*, 42(2), pp. e99–e108. DOI: 10.1016/j.jhsa.2016.11.022
- [60] Hitchcock, TF., Light, TR., Bunch, WH., et al. (1987). The effect of immediate 773 constrained digital motion on the strength of flexor tendon repairs in 774 chickens. *J Hand Surg Am*, 12(4), pp. 590-595. DOI: 10.1016/s0363-5023(87)80213-7.
- [61] Zhao, C., Amadio, PC., Paillard, P., et al. (2004) Digital resistance and tendon strength during the first week after flexor digitorum profundus tendon repair in a canine

model in vivo. *J Bone Joint Surg*, 86(2), pp. 320-327. DOI: 10.2106/00004623-200402000-00015.

[62] Halikis, MN., Manske, PR., Kubota, H., Aoki, M. (1997). Effect of immobilization, immediate mobilization, and delayed mobilization on the using a tendon injury model. *J Hand Surg Am*, 22(3), pp. 464-472. DOI: 10.1016/S0363-5023(97)80014-7.

[63] Evans, RB., Thompson, DE. (1997). Immediate active short arc motion following tendon repair. In: Hunter JM, Schneider LH, Mackin EJ, (Eds.). *Tendon and nerve surgery in the hand. Third decade. St Louis CV. Mosby*, pp. 362-398

[64] Evans, RB., Burkhalter, WE. (1986). A study of the dynamic anatomy of extensor tendons and implications for treatment. *J Hand Surg Am*, 11(5), pp. 774-779. DOI: 10.1016/s0363-5023(86)80039-9.

[65] Merritt, H., Wong, A., Lalonde, DH. (2020). Recent Developments Are Changing Extensor Tendon Management. *Plastic and Reconstructive Surgery*, Volume 145 - Issue 3, pp. 617e-628e DOI: 10.1097/PRS.00000000000006556.

[66] Hamouya, A., Meyer, G., Roux, JL. (2019). Compression du nerf médian au coude par le lacertus fibrosus : à propos de 34 cas. *Hand Surg and Rehab*, 37(6), pp.454. DOI: 10.1016/j.hansur.2019.10.044

[67] Hagert, E., Lalonde, DH. (2012). Wide-Awake Wrist Arthroscopy and Open TFCC Repair. *J Wrist Surg*, 1(1), pp. 55-60. DOI: 10.1055/s-0032-1312045.

[68] Baïada, A. (2013). La première séance. p.100-110, In: Groupe d'étude de la main et du membre supérieur en orthèse et rééducation. (2013) *Rééducation de la main et du poignet Anatomie fonctionnelle et technique*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

[69] Moseley, GL. (2004). Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. *Pain*, 108(1-2), pp. 192-198. DOI: 10.1016/j.pain.2004.01.006.

[70] Moseley, G.L., Butler, D.S., Beames T.B., Giles T.J. (2012). *The Graded Imagery Motor Program*. Noigroup Publications.

[71] McCabe, CS., Haigh, RC., Ring, EFJ., Halligan, PW., Wall, PD., Blake, DR. (2003) A controlled pilot study of the utility of mirror visual feedback in the treatment of complex regional pain syndrome. *Rheumatology*, 42(1), pp. 97-101. DOI: 10.1093/rheumatology/keg041.

[72] Delaquaize, F. (2013). Réorganisation corticale post-traumatique et plasticité cérébrale: rééducation par les techniques d'imagerie motrice. p.188-200, In: Groupe d'étude de la main et du membre supérieur en orthèse et rééducation. *Rééducation de la main et du poignet Anatomie fonctionnelle et technique*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

[73] Mayer, TG., Neblett, R., Cohen, H., Howard, KJ., Choi, YE., Williams, MJ., Perez, Y., Gatchel, RJ. (2012). The development and psychometric validation of the Central sensitization inventory. *Pain Pract*, 12(4), pp. 276-285. DOI: 10.1111/j.1533-2500.2011.00493.x.

[74] McGee, C., Skye, J., Van Heest, A. (2018). Graded motor imagery for women at risk for developing type I CRPS following closed treatment of distal radius fractures: a randomized comparative effectiveness trial protocol, *BMC Musculoskeletal Disord*, 19(1), pp. 202. DOI: 10.1186/s12891-018-2115-6.