



Facteurs prédictifs de l'évolution des tendons fléchisseurs opérés

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME INTER-UNIVERSITAIRE
EUROPÉEN EN RÉÉDUCATION ET APPAREILLAGE EN CHIRURGIE DE LA MAIN**

Jury :

Docteur Nicolas BIGORRE

Monsieur Claude LE LARDIC

Docteur Alexandra FORLI

Monsieur Denis GERLAC

Professeur François MOUTET

Hassem SLAMA

Kinésithérapeute

2021-2023

Remerciements :

À ma famille de m'avoir soutenu tout au long de ce travail.

Au Docteur Alexandra Forli et à Monsieur Denis Gerlac pour l'organisation du D.I.U.

À l'ensemble des intervenants pédagogiques pour la qualité de l'enseignement.

À l'ensemble des rééducateurs et médecins qui nous ont accueillis pendant les stages.

Aux membres du jury pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire.

Liste des abréviations :

EN : Echelle numérique

FDP : Flexor digitorum profundus (Fléchisseur profond des doigts)

FDS : Flexor digitorum superficialis (Fléchisseur superficiel des doigts)

GCS : Glasgow Coma Scale

HISS : Hand Injury Severity Score

IMM : Institut Montpellierain de la Main et du membre supérieur

IPD : Interphalangienne distale

IPP : Interphalangienne proximale

LFP : Long fléchisseur du pouce

MCP : Métacarpo-phalangienne

MFISS : Maxillofacial Injury Severity Score

PVN : Pédicule vasculo-nerveux

SDRC : Syndrome douloureux régional complexe

Table des matières

1.	Introduction :	1
2.	Contexte :	2
2.1.	Epidémiologie :	2
2.2.	Impact économique :	3
2.3.	Taux de rupture et de ténolyse :	4
3.	Les méthodes d'évaluation des résultats :	5
3.1.	Classification de la société américaine de chirurgie de la main :	5
3.2.	Classification de Strickland :	6
3.3.	Classification de Buck-Gramcko :	7
3.4.	Classification de Tang :	8
4.	Les facteurs prédictifs dans les réparations des tendons fléchisseurs :	9
4.1.	Facteurs non contrôlables :	10
4.1.1.	L'âge :	10
4.1.2.	Lésions associées :	13
4.1.3.	Mécanisme lésionnel :	16
4.1.4.	Doigts lésés et nombre de doigts :	16
4.2.	Facteurs contrôlables :	18
4.2.1.	Les sutures :	18
4.2.2.	Zone lésionnelle et attitude concernant les poulies et la gaine synoviale :	23
4.2.3.	La rééducation :	26
4.3.	Autres facteurs :	30
4.3.1.	Délai de prise en charge :	30
4.3.2.	Expérience du chirurgien :	32
4.3.3.	Le tabac :	32
4.3.4.	Le patient :	34
4.3.5.	L'œdème :	35
5.	Les scores de sévérité et les scores prédictifs :	37
5.1.	Le HISS (Hand Injury Severity Score) et le score de Strickland :	37
5.2.	Intérêt d'un score prédictif ou de sévérité post-opératoire :	39
5.3.	Exemple d'un score prédictif post-opératoire pour les tendons fléchisseurs :	39
6.	Discussion :	42
7.	Conclusion :	46
8.	Bibliographie :	47

1. Introduction :

De l'antiquité à nos jours, les prédictions au sujet du devenir des lésions tendineuses ont fortement évolué. D'Hippocrate (460-377 avant J.-C.) et Galien (131-201) qui assimilent le tendon à une structure nerveuse (le neurone) et en déconseillent la réparation sous peine d'engendrer douleurs et convulsions, aux travaux actuels sur les nouvelles techniques de réparation et de rééducation, on ne cesse de vouloir approcher le résultat parfait [1,2].

La récolte de certaines données prédictives semble aujourd'hui indispensable afin d'aborder la chirurgie dans les meilleures conditions et obtenir les meilleurs résultats possibles [3,4].

D'un point de vue rééducatif, ces informations permettraient également d'adapter au mieux la phase de rééducation et le suivi post opératoire des patients en proposant une prise en charge plus spécifique, afin de maximiser les chances de bonne récupération [5].

La possibilité de prédire l'évolution de la récupération chez nos patients pourrait nous permettre un meilleur accompagnement de ces derniers tant sur le plan fonctionnel que sur celui des projections socio-professionnelles.

Dans ce travail, j'ai tout d'abord cherché à identifier les différents facteurs qui pourraient influencer les résultats de la récupération fonctionnelle à la suite d'une lésion des tendons fléchisseurs de la main. On retrouve dans la littérature quelques études prospectives et rétrospectives qui ont tenté d'identifier ces facteurs afin de prédire l'évolution de ces réparations et leur pronostic fonctionnel [6-9].

Dans un second temps, j'ai étudié l'intérêt d'avoir un score prédictif post-opératoire qui prendrait en considération l'ensemble de ces facteurs.

Enfin, j'ai essayé d'analyser et de discuter des différents résultats et de l'intérêt d'une prise en considération globale de ces facteurs dans notre pratique quotidienne.

2. Contexte :

2.1. Epidémiologie :

Selon le dernier livre blanc de la fédération des services d'urgence de la main, il y aurait en France, 2 142 393 blessés de la main toutes pathologies confondues. La plus grande proportion (93%) serait la conséquence d'accidents de la vie courante [10].

Concernant les lésions aux tendons fléchisseurs, les différentes études à travers le monde rapportent un taux d'incidence compris entre 4,8 et 14 pour 100 000 habitants par année [11-13].

L'analyse des données épidémiologiques nous apprend également que les sujets masculins sont plus touchés. Au Royaume-Uni, Clayton et Court-Brown [12] observent un ratio de quatre hommes pour une femme. Aux Etats-Unis, de Jong et al. [13] montrent une prédominance masculine dans 84% des cas. Ces résultats corroborent ceux retrouvés par Manninen et al. [11] en Finlande, Svingen et al. [14] en Suède et Chang et al. [15] à Singapour, avec respectivement 80%, 70% et 79% d'atteintes dans cette population.

Il se dégage clairement une tendance selon laquelle le risque de présenter ce genre de blessure décroît avec l'avancée en âge. De manière générale et selon les différentes études consultées, l'âge moyen de survenue serait entre 20 et 38 ans [12-15] avec un pic d'incidence entre 15 et 19 ans [11].

Le mécanisme lésionnel serait souvent simple. Les blessures par couteaux, verres et objets tranchants représenteraient 78% des cas [11].

Concernant la localisation, la plupart des études s'accordent à dire que les lésions sont majoritairement situées du côté non-dominant [15,16]. Le deuxième et le cinquième rayon semblent être les plus concernés [11,16,17] et la zone lésionnelle la plus retrouvée est la zone II [11,13,15]. Il y aurait une atteinte nerveuse concomitante dans 37% des cas [11].

Pour résumer, nous pouvons constater que cette affection est relativement rare, qu'elle est à prédominance masculine, touchant des sujets jeunes, dans les suites d'un mécanisme

lésionnel souvent simple du côté non-dominant, que les 2^{ème} et 5^{ème} doigts sont les plus souvent atteints et cela en zone II.

2.2. Impact économique :

Les différentes études réalisées dans le but d'évaluer les coûts de ce type de lésion sont nombreuses et leurs conclusions varient beaucoup en fonction du pays et du modèle du système de soins de ce dernier. Une donnée reste pourtant universelle, c'est l'augmentation considérable des coûts en cas de chirurgie secondaire pour cause de déficit fonctionnel ou rupture itérative des tendons fléchisseurs.

Dans ce contexte, Lalchandani et al. [18] estiment les remboursements des assurances aux États-Unis sur une année, dans le cadre d'une intervention primaire et secondaire, à 14 533 \$ et 27 870 \$ respectivement pour les lésions et réparation des tendons fléchisseurs.

Toujours aux États-Unis, Mehrzad et al. [19] élaborent un modèle afin d'estimer les coûts que représentent les lésions tendineuses aux fléchisseurs sur le système de soins de santé. Ceux-ci seraient compris entre 240,8 et 409,1 millions de dollars annuellement. Le coût direct d'une telle lésion est estimé à 13 725 \$, alors que son coût indirect (d'absence de jours travaillés, compensations, ...) est compris entre 60 786 \$ et 112 888 \$. Ce dernier dépasserait de façon très significative celui d'autres traumatismes, comme la fracture de l'extrémité inférieure du radius.

Dans la même optique, en Australie, Robinson et al. [20] rapportent quant à eux des coûts estimés entre 4 673 \$ et 6 541 \$ pour la prise en charge d'une lésion tendineuse à la main.

Dans une étude visant à déterminer les facteurs qui pourraient influencer le coût de la réparation et de la rééducation des tendons fléchisseurs en zone II, Rosberg et al. [16] retrouvent des coûts moyens de 5 200 € pour le système de soin et 10 000 € dans les autres secteurs. Ils observent également que l'immobilisation *versus* la rééducation des tendons réparés, pourrait être responsable d'une augmentation de 57% des coûts avec un niveau de complications plus élevé.

Concernant ce dernier point, Trumble et al. [5] comparent deux protocoles de rééducation, le premier passif et le second actif. Ils enregistrent des coûts de l'ordre de 14 720 \$ pour le premier et de 12 360 \$ pour le second.

Selon la société française de médecine d'urgence (SFMU), le coût moyen d'un accident avec lésion de la main atteindrait 1 650 € en 2011 [21]. Toujours selon la SFMU, en cas d'intervention secondaire le coût atteindrait les 15 000 €.

2.3. Taux de rupture et de ténolyse :

Evaluer le taux de rupture et de ténolyse pour permettre de comparer les effets de différentes techniques opératoires et rééducatives est un moyen systématiquement retrouvé dans la littérature.

Dans un article de 2013, Elliot et Giesen [3] rapportent un taux de rupture de 5% et un taux de ténolyse du même ordre, ce qui selon eux mène les patients à recourir à une intervention secondaire dans 10% des cas. Dans leur revue systématique Dy et al. [22] retrouvent un taux de chirurgie secondaire de 6%, un taux de rupture de 4% et la formation d'adhérences nécessitant une ténolyse dans 4% des cas. Ces auteurs ne remarquent pas d'amélioration importante en comparant les études avant et après les années 2000. Une autre revue de la littérature réalisée par Tang [23] estime que le taux de rupture se situe entre 0% et 9%, et que la formation d'adhérences restrictives au mouvement est de 10%.

La grande hétérogénéité des populations, des techniques opératoires et des protocoles de rééducation entre les différentes études, ne permet pas de tirer des conclusions définitives quant aux taux de rupture et de ténolyse. Cela nous permet simplement d'avoir une tendance et nous pousse à rechercher et essayer de contrôler les facteurs qui influencent ces derniers.

3. Les méthodes d'évaluation des résultats :

Avant d'aborder les différents facteurs prédictifs, il me semble important de présenter les caractéristiques des méthodes d'évaluation et de classification les plus utilisées et décrites dans la littérature.

On retrouve classiquement 4 méthodes d'évaluation de la mobilité articulaire après chirurgie des tendons fléchisseurs. La première est la classification faite par la société américaine de chirurgie de la main. On retrouve ensuite les deux classifications de Strickland, qui jugeant la première trop restrictive, en fait une modification. Un autre moyen d'évaluation est la classification de Buck-Gramcko. Plus récemment, Tang [24] apporte des modifications à la classification de Strickland en y incorporant des notions de qualité de mouvement et de force de serrage.

3.1. Classification de la société américaine de chirurgie de la main :

Elle a été créée en 1967 et est basée sur la mobilité active totale (TAM) (Tableau 1). Ce score est calculé en mesurant la somme des mobilités en flexion active des articulations métacarpo-phalangiennes, interphalangiennes proximales et interphalangiennes distales, diminuée des déficits d'extensions actives de ces articulations. La TAM est ensuite exprimée en pourcentage de mobilité par rapport au côté sain. Si le côté sain ne peut être utilisé en référence il conviendra d'utiliser une mobilité de référence de 260°. Les résultats seront ensuite classés en excellents, bons, moyens et mauvais, en fonction du score obtenu.

Score	Pourcentage de la TAM // au côté opposé
<i>Excellent</i>	100%
<i>Bon</i>	>75%
<i>Moyen</i>	>50%
<i>Faible</i>	<50%

Tableau 1 : Classification de la société américaine de chirurgie de la main

3.2. Classification de Strickland :

Strickland et Glogovac [25] proposent une classification qui ne tient pas compte de la mobilité de l'articulation métacarpo-phalangienne (Tableau 2). Ils argumentent ce choix en faisant le constat que la mobilité au niveau de la métacarpo-phalangienne est souvent normale en cas de lésion tendineuse et plus précisément en zone I et II. La prise en compte de cette dernière pourrait biaiser les résultats de l'évaluation.

Ils obtiennent leur score en mesurant la mobilité active totale en flexion au niveau des seules articulations interphalangiennes, diminuée des déficits d'extension. Ils obtiennent ensuite un pourcentage de mobilité en divisant le résultat par une mobilité active théorique idéale de 175°.

Dans la version initiale, Strickland juge la classification trop sévère et propose une rectification de cette dernière.

Score	Pourcentage de mobilité
<i>Version originale</i>	
<i>Excellent</i>	85% - 100% (>150°)
<i>Bon</i>	70% - 84% (125°-149°)
<i>Moyen</i>	50% - 69% (90°-124°)
<i>Mauvais</i>	0% - 49% (<90°)
<i>Version modifiée</i>	
<i>Excellent</i>	75% - 100% (>132°)
<i>Bon</i>	50% - 74% (88°-131°)
<i>Moyen</i>	25% - 49% (44°-87°)
<i>Mauvais</i>	0% - 24% (<44°)

Tableau 2 : Classification originale et modifiée selon Strickland [25]

3.3. Classification de Buck-Gramcko :

Elle propose un système de score basé, sur la distance pulpe pli palmaire composé, la TAM, la somme des flexions actives et le déficit d'extension des trois articulations du doigt concerné (Tableau 3).

Son utilisation est plus complexe car prenant en compte plusieurs paramètres. Elle reste cependant souvent décrite dans l'interprétation des résultats d'études.

Critères	Scores
<i>Distance Pulpe paume / mobilité MCP+IPP+IPD</i>	
0 - 0.5 cm / > 200°	6
1.5 – 4 cm / > 180°	4
4 – 6 cm / > 150°	2
> 6 cm / < 150°	0
<i>Déficit d'extension</i>	
0° – 30°	3
31° - 50°	2
51° - 70°	1
> 70°	0
<i>TAM</i>	
> 160°	6
> 140°	4
> 120°	2
< 120°	0
<i>Score</i>	
<i>Excellent</i>	14 - 15
<i>Bon</i>	11 - 13
<i>Moyen</i>	7 - 10
<i>Mauvais</i>	0 - 6

Tableau 3 : Classification selon Buck-Gramcko

3.4. Classification de Tang :

Tang propose d'utiliser une adaptation de la classification de Strickland jugeant cette dernière pas assez stricte (Tableau 4). Il souhaite par ce moyen différencier les excellents résultats des très bons résultats et également les mauvais résultats des très mauvais résultats, qu'il qualifie d'échecs. Il combine également dans sa classification trois items : L'amplitude active de mobilité, la force de serrage et la qualité du mouvement. A l'évaluation de l'amplitude active de mobilité, il restreint l'obtention du grade « excellent » aux résultats ayant obtenu plus de 90% de la mobilité active, comparée au côté controlatéral. Les résultats avec une mobilité de 30% et moins obtiennent le grade d' « échec ». Concernant la force de serrage, si celle-ci est inférieure à 70% de celle du côté opposé quand la lésion se situe du côté non-dominant, ou inférieure à la force du côté opposé quand la lésion se situe du côté dominant, il attribue un « - ». Dans le cas contraire il attribue un « + ». La qualité du mouvement quant à elle, regroupe la qualité de l'arc de flexion, la vitesse d'exécution du mouvement et la coordination. Il enregistre une qualité de mouvement comme « excellente » si les trois paramètres sont jugés normaux, « bonne » si deux le sont, et « mauvaise » si moins de deux paramètres ne sont pas satisfaits.

Amplitude de mouvement (%)	Force de serrage	Qualité du mouvement	Grade de fonction
90 - 100	+	Excellent ou bon	Excellent +
	-	Mauvais	Excellent -
70 - 89	+	Excellent ou bon	Bon +
	-	Mauvais	Bon -
50 - 69			Moyen
30 - 49			Mauvais
0 - 30			Echec

Tableau 4 : Classification selon Tang [24]

4. Les facteurs prédictifs dans les réparations des tendons fléchisseurs :

Les principaux facteurs qui nous permettraient d'anticiper le degré de récupération ou la survenue de complications après suture des tendons fléchisseurs, ont tantôt été qualifiés de facteurs défavorables et tantôt de facteurs prédictifs selon les études [4,6]. On retrouve un nombre important de facteurs, que l'on pourrait diviser en deux catégories : les facteurs contrôlables et non-contrôlables [17].

Les facteurs contrôlables correspondent aux stratégies mises en place dans les suites immédiates ou différées de la blessure. Du point de vue chirurgical, on pourrait par exemple parler du type de sutures, de la préservation ou non des poulies, de la réparation de la gaine, ou encore du timing chirurgical. Du point de vue rééducatif, ces facteurs comprendraient le type de mobilisation choisie, la fréquence des séances et le port d'une attelle spécifique.

D'un autre côté, les facteurs non-contrôlables peuvent également être divisés en facteurs intrinsèques et facteurs extrinsèques. On parle de facteurs intrinsèques quand ils sont intrinsèquement liés à la nature des patients, tel que l'âge, le genre, le contexte social et la cicatrisation. Les facteurs extrinsèques correspondent par exemple à la zone et au mécanisme lésionnel, aux lésions associées et dans une certaine mesure aussi au délai lésion-chirurgie qui est parfois patient dépendant.

Analyser les facteurs non-contrôlables et y adapter au mieux les facteurs contrôlables nous permettrait d'une certaine manière de mieux appréhender l'évolution des réparations des tendons fléchisseurs.

Pour parvenir à identifier les facteurs pronostiques de la récupération, les études se sont souvent concentrées sur les facteurs responsables de la survenue d'événements indésirables suite aux réparations tendineuses. L'étude par exemple du taux de réopération [8,14] et les facteurs y conduisant, ainsi que l'analyse de la mobilité active totale et les éléments l'affectant [8,9], sont des données classiquement décrites.

4.1. Facteurs non contrôlables :

4.1.1. L'âge :

En consultant la littérature et les études réalisées dans le domaine des réparations et de la rééducation des lésions tendineuses, on observe que la majorité d'entre elles relève les âges de la population étudiée. Nous pouvons donc nous appuyer sur cette donnée afin de connaître son éventuel impact sur la récupération de la mobilité digitale.

En réalisant un suivi de 273 patients atteints de lésions tendineuses en zone I et II sur 24 mois, Edsfieldt et al. [9] mettent en évidence une **association significative entre le déficit de mobilité et l'âge des patients**. En effet, à 12 mois, 72% des patients de plus de 50 ans présentent des résultats moyens à mauvais selon la classification de Strickland contre 17% des patients âgés de moins de 25 ans. Toutefois ils remarquent que cet écart tend à se réduire à 24 mois. Ces constatations nous montrent que le facteur âge aurait plutôt comme conséquence des mécanismes de cicatrisation, de maturation et de remodelage tendineux plus lents et que la mobilité des tendons réparés continue d'augmenter après 1 an et jusqu'à 2 ans.

De la même manière Moriya et al. [26] rapportent une **corrélation négative significative entre la mobilité active totale ainsi que la flexion active totale et l'âge**. De ce fait, ils constatent également une corrélation positive entre le déficit d'extension et l'avancée dans l'âge. Ces constatations ont été faites sur une période moyenne d'évaluation de 24 semaines. Contrairement à l'étude précédente, aucune amélioration n'a été observée sur l'évaluation à long terme. Ces résultats à distance doivent être pris avec précaution car l'échantillon analysé est relativement faible et ne permettrait pas de conclure en une absence d'amélioration à plus long terme comme remarqué précédemment.

En 2015, Rigo et al. [6] analysent l'impact de ce facteur dans une population de 291 patients et remarquent que la récupération de **l'amplitude de mouvement** actif au niveau des articulations interphalangiennes proximales et distales **diminuait** de 0,7° pour chaque année additionnelle.

Plus tôt, Silfverskiöld et al. [7], avaient mis en évidence une diminution de l'amplitude articulaire au niveau de l'IPD de 0,4% en moyenne par année supplémentaire. Cela représente une perte de flexion au niveau de cette articulation de 0,3° par année de plus. Les auteurs ne retrouvent

cependant pas de corrélation significative entre la mobilité de l'IPP et le facteur âge. De manière intéressante ils supposent que ce résultat pourrait s'expliquer aussi par la présence de changements dégénératifs préexistants.

Contrairement aux études précédentes, Kasashima et al. [27] ne remarquent **pas de lien entre l'âge et les résultats défavorables**. Il faut noter que contrairement aux études précédentes celle-ci porte sur les réparations du **long fléchisseur du pouce** et que l'échantillon analysé ne comporte que 29 patients

La plupart des études fixent comme critère d'inclusion, un âge supérieur à 10 ans. Afin de savoir si l'âge est un facteur prédictif chez les enfants, nous pouvons nous appuyer sur l'étude de Elhassan et al. [28] dans laquelle ils séparent en deux groupes les patients. Un groupe de 0 à 7 ans et un groupe de 8 à 15 ans. Ils ne relèvent pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes en ce qui concerne la mobilité active totale.

De leur côté, Dy et al. [29] récoltent des données de 5 229 tendons opérés sur une période de 8 ans. Ils identifient l'âge comme étant un facteur déterminant de chirurgie secondaire (réparation secondaire, ténolyse...).

En 2021, Keane et al. [30], notent que le facteur âge joue un rôle sur les résultats de la récupération de l'amplitude de mobilité active. En effet selon leurs résultats, le facteur âge est significativement **associé à une diminution du score de Strickland**.

Dans leur étude sur 102 patients visant à identifier l'impact des lésions associées aux tendons fléchisseurs et le choix du traitement, Fujihara et al. [31] établissent que l'avancée en **âge est un facteur prédictif significatif de moins bonne récupération** de l'amplitude de mobilité active au niveau de l'IPP et de l'IPD.

Concernant les risques de complications, Svingen et al. [14], déterminent l'âge comme **facteur prédictif lié à une augmentation du risque de rupture et de ténolyse**. Cette enquête révèle que les groupes 25-50 ans et plus de 50 ans ont un risque de rupture plus élevé, correspondant à 6,4% et 7,1% respectivement.

Zhou et al. [32] décrivent une meilleure récupération de la mobilité chez les patients plus jeunes. Selon les critères de Strickland, les taux d'excellents et bons résultats en ce qui concerne l'amplitude articulaire active, sont significativement supérieurs pour les patients âgés de moins de 37 ans.

Toutes ces constatations suggèrent des mécanismes de réparation plus lents et moins performants pour les sujets plus âgés après réparation tendineuse. C'est ce qu'ont tenté de démontrer Ackerman et al. [33] dans une étude utilisant un modèle animal afin d'observer l'impact du vieillissement sur les tendons. Ils concluent en une diminution des propriétés mécaniques lors de la cicatrisation des tendons lésés chez les sujets plus âgés, imputable à une **perte du pontage du collagène de la matrice extracellulaire et une désorganisation structurelle de cette dernière**. Ces changements liés à l'âge dans l'expression cellulaire des gènes et la production de la matrice extracellulaire des tendons, ont également été décrits par Thampatty et al. [34].

Etude	Nombre de doigts	Zone(s)	Influence du facteur âge
<i>Silfverskiöld et al. 1992</i>	178	Zone II	Oui
<i>Kasashima et al. 2002</i>	29	Zone I, II et III	Non
<i>Elhassan et al. 2006</i>	41	Zone I et II	Non
<i>Moriya et al. 2014</i>	112	Zone I, II et III	Oui
<i>Rigo et al. 2016</i>	356	Zone I,II et III	Oui
<i>Zhou et al. 2017</i>	54	Zone II	Oui
<i>Edsfeldt et al. 2017</i>	311	Zone I et II	Oui
<i>Fujihara et al. 2018</i>	118	Zone I,II et III	Oui
<i>Keane et al. 2021</i>	54	Zone II	Oui
<i>Svingen et al. 2021</i>	1585	Zone I et II	Oui

Tableau 5 : Récapitulatif des études exploitant l'âge comme facteur prédictif

Points importants :

- *L'âge a un impact sur la récupération fonctionnelle et la survenue de complications*
- *Les phénomènes de cicatrisation et de remodelage sont plus lents avec l'avancée en âge*
- *Les changements dégénératifs préexistants peuvent être responsables d'une moins bonne récupération*

4.1.2. Lésions associées :

Dans cette partie nous nous intéresserons aux lésions plus complexes, qui associent en plus des tendons, des lésions des pédicules vasculonerveux, des ligaments, des deux fléchisseurs (FDS et FDP), ou encore des lésions osseuses.

Afin de mieux comprendre l'effet des blessures associées sur les résultats après réparation des tendons fléchisseurs, Edsfeldt et al. [9] ont analysé l'amplitude articulaire chez 273 patients avec 311 doigts opérés sur une période d'une année. Leurs résultats montrent que la présence d'une **lésion nerveuse associée** ou d'une **section concomitante des fléchisseurs superficiels et profonds** des doigts, **n'affecte pas la mobilité et la récupération**. Ces résultats concernant les lésions nerveuses sont en accord avec les constatations de l'étude menée par Rosberg et al. [16] dans une population de 135 patients et l'étude de Osada et al. [35].

Contrairement à cela, Trumble et al. [5] en comparant deux types de protocoles de rééducations, constatent que dans les deux groupes de patients, l'association d'une rupture tendineuse et d'une **section nerveuse, est corrélée à une moins bonne récupération** fonctionnelle. En effet, ils observent qu'à un an, les patients avec lésion nerveuse ont une moins bonne amplitude active combinée de l'IPP et de l'IPD, un flessum de l'IPP plus important et un score de satisfaction plus bas, cela peu importe le protocole de rééducation suivi. Ces résultats corroborent ceux retrouvés par Beckmann-Fries et al. [36].

Sur les 5 229 patients recensés avec lésions tendineuses dans l'enquête de Dy et al. [29], 1305 présentaient une lésion concomitante d'un nerf. Ils remarquent une plus faible probabilité du recours à une chirurgie secondaire pour cause de rupture, quand une suture simultanée du tendon et du nerf avait lieu. Cette diminution était de l'ordre de 26%. De manière générale, pour ces auteurs ces résultats confèrent à ce type de lésion un rôle protecteur de la réparation primaire des tendons et cela probablement grâce à une différence quant aux protocoles de rééducations préconisés. Il n'y avait pas de différence concernant la fréquence d'un recours à une ténolyse.

Très récemment, Keane et al. [30] ont mené une étude rétrospective en analysant les résultats obtenus après réparation des tendons fléchisseurs en zone II. Au total, ils identifient 33 lésions nerveuses concomitantes et ne retrouvent **pas d'association** significative entre ce type

d'atteinte et une diminution de l'arc de mobilité. En revanche, ils rapportent un résultat inverse concernant la lésion conjointe du FDP et du FDS.

L'évaluation de 29 réparations du LFP, dont 13 associaient une lésion vasculonerveuse [27], montre que cette dernière condition ne représente **pas un facteur prédictif négatif** de la récupération fonctionnelle. Il est important de noter que dans cette étude il n'y avait aucune lésion bilatérale des pédicules vasculonerveux, ce qui le cas échéant aurait pu compromettre la cicatrisation et le statut fonctionnel final.

Elhassan et al. [28], dans leur étude réalisée sur une population d'enfants âgés entre 2 et 14 ans, montrent de meilleurs résultats pour les lésions isolées des tendons comparativement aux lésions associant une lésion nerveuse. En effet, ils détectent une diminution de l'ordre de 13% de l'amplitude de mobilité active dans le deuxième groupe.

En observant l'impact des lésions associées, Fujihara et al. [31] révèlent que la somme moyenne de l'amplitude de mouvement active de l'IPP et de l'IPD est **significativement réduite pour les patients présentant une fracture** diaphysaire de phalange ostéosynthésée, ou une section du fléchisseur superficiel des doigts associée.

De façon similaire, Rigo et al. [6], rapportent que la présence d'une fracture associée réduit l'amplitude de mouvement active de 34°. De plus, ils remarquent que la concomitance d'une section du fléchisseur superficiel des doigts réparée et non réparée, réduit la mobilité de 9° et 18° respectivement.

En analysant séparément les mobilités articulaires des IPP et des IPD, Silfverskiöld et al. [7] retrouvent que **la lésion concomitante du FDS et du FDP diminue la mobilité** active au niveau de l'IPP de 6% comparativement à une lésion isolée du FDP. Dans cette étude, les sections du FDS bénéficient d'une réparation.

De la même manière, Svingen et al. [14] rapportent que la sévérité de ces lésions impliquant les deux tendons (FDS et FDP), augmentait le taux de rupture de 6,6%, comparé à la section isolée du FDP. De plus, ils notent une augmentation du risque de ténolyse en cas de sections des deux tendons avec un pourcentage de 7,2% comparativement à la section isolée du FDP ou ce risque est ramené à 3,1%.

Moriya et al. [26] remarquent que la mobilité active totale était significativement réduite pour le groupe de patients avec excision du FDS comparativement aux groupes de patients avec

réparation et sans réparation. Selon leurs résultats, c'est le déficit d'extension qui expliquerait cette diminution dans la mesure de la mobilité active totale.

Concernant la réparation des FDS, une autre étude récente [37] montre que les résultats fonctionnels entre deux groupes de patients, l'un avec réparation des FDS et l'autre sans réparation, étaient significativement moins bons pour le premier lors de l'évaluation à 3 mois, mais que cet écart tendait à disparaître lors de l'évaluation à 6 mois.

De son côté, Sadek [38] enregistre une **diminution significative de la force** pour un groupe de patients sans réparation du FDS ainsi que la présence d'un déficit d'extension plus marqué.

À contrario, une étude récente réalisée au CHU de Lille par Lebot et al. [39] ne montre aucune différence significative entre réparation des deux bandelettes du FDS, réparation d'une bandelette et résection.

Pour résumer, nous pouvons dire qu'il y a principalement trois lésions associées rapportées dans les études. La première est la lésion des pédicules vasculonerveux, qui dans la majorité des études n'est pas retrouvée comme étant un facteur prédictif négatif significatif de la récupération fonctionnelle. La deuxième complication est la fracture associée de phalanges, qui est pour sa part corrélée à une diminution de l'amplitude articulaire. Enfin, la section concomitante du fléchisseur superficiel des doigts montre une certaine tendance à péjorer les résultats. Il semble que le traitement réservé à ce tendon (réparation complète, partielle ou excision) fasse encore débat et qu'il n'y ait pas de réel consensus. On notera, que de nombreux auteurs recommandent de ne réparer qu'un faisceau du FDS, et cela surtout si la réparation intervient au niveau de la poulie A2 [40,41,42].

Tirer des conclusions définitives au sujet des lésions associées s'avère compliqué au vu de l'hétérogénéité des populations, des critères d'inclusions, des techniques de réparations et des protocoles de rééducations employés dans les différentes études.

Points importants :

- *Pas de preuves fortes quant à l'impact négatif d'une lésion nerveuse concomitante*
- *La section concomitante du FDS et du FDP est associée à une moins bonne récupération fonctionnelle*
- *La présence d'une fracture de phalange est un facteur prédictif négatif*

4.1.3. Mécanisme lésionnel :

Le mécanisme lésionnel pourrait représenter un facteur prédictif important dans la récupération après réparation tendineuse. L'état de la plaie et des berges du tendon rompu auront une influence sur le geste chirurgical, la cicatrisation, la rééducation et *in fine* sur le pronostic fonctionnel.

Reito et al. [17] classent les mécanismes lésionnels en deux groupes. Le premier comprend les sections « simples » par couteaux, verres, ... et le second les sections dites à « haute énergie » comme l'écrasement, les outils motorisés et les fractures ouvertes. Leurs résultats révèlent que **ce facteur a une incidence directe sur la survenue de complications majeures**, définies comme, une rupture, la nécessité de recourir à une ténolyse, l'observation d'un effet corde d'arc, une infection ou un SDRC.

De la même façon, Rigo et Rokkum [6] établissent une relation entre la sévérité du mécanisme lésionnel et le retentissement fonctionnel.

Uçkun et al. [8] établissent un **lien entre un HISS élevé, la péjoration des résultats** de récupération et une augmentation du risque de recourir à une chirurgie secondaire.

Bien que la majorité des lésions tendineuses fait suite à un mécanisme lésionnel simple [6,15,17], il est important de prendre en compte ce facteur dans les stratégies de prises en charge.

Point important :

- *Le mécanisme lésionnel a une incidence sur l'observation de complications majeures*

4.1.4. Doigts lésés et nombre de doigts :

Le doigt lésé ou l'extension lésionnelle à plusieurs doigts pourraient jouer un rôle important en tant que facteur de prédiction. La variation en taille des structures anatomiques (tendon, gaine, poulie, vascularisation, ...) de chaque doigt peut entraîner des répercussions différentes sur la cicatrisation et l'apparition de certaines résistances au coulissement tendineux, et de ce fait impacter la récupération.

Pour Silfverskiöld et al. [7] les lésions **pluridigitales** et leurs réparations, sont **associées à une diminution de l'amplitude** de mouvement et de la force de serrage à 1 an. Ils retrouvent également que la lésion du **5^{ème} doigt** est un facteur de **moins bon pronostic** en matière de mobilité et que la lésion au 3^{ème} doigt est plus impactant dans la récupération de la force.

Pour Moriya et al. [26] ils observent une fréquence plus élevée des ruptures secondaires au niveau du 3^{ème} doigt. Le 5^{ème} doigt montre également une moins bonne récupération de l'amplitude de mobilité active.

Orkar et al. [43] quant à eux, rapportent un **taux de rupture et de ténolyse supérieur au niveau du 5^{ème} doigt** dans une étude comparative, entre les résultats obtenus entre ce dernier et l'index. Ils constatent également la présence d'un flossum de l'IPP plus souvent et plus important au niveau du 5^{ème} doigt. La rupture secondaire après réparation primitive, ainsi que la rupture après réparation secondaire semblent également plus importantes au niveau du 5^{ème} doigt [44].

Svingen et al. [14] remarquent que le nombre de doigts lésés a une incidence sur le risque de recourir à une ténolyse.

Rigo et Rokkum [6] associent à la lésion au 5^{ème} doigt, une diminution de l'amplitude active de mouvement de 20° et confirment qu'une lésion en zone I ou II de ce dernier est un facteur prédictif d'une diminution de l'amplitude de mouvement.

Bien que très limités, ces résultats nous imposent une certaine réflexion quant à la meilleure stratégie de rééducation et de suivi des patients atteints de lésions pluridigitales et de lésions au 5^{ème} doigt.

Points importants :

- *La lésion au 5^{ème} doigt est corrélée à une moins bonne récupération des capacités fonctionnelles et à un taux de rupture plus élevé*
- *Les lésions pluridigitales sont de moins bon pronostic*

4.2. Facteurs contrôlables :

4.2.1. Les sutures :

Dans le domaine de la réparation des tendons fléchisseurs, on observe une variété importante de différentes techniques de sutures [45]. Le diamètre et la nature du fil varient également beaucoup. Le nombre de brins a quant à lui évolué au fil des années pour se retrouver dans certains cas aujourd'hui avec des sutures à 4 brins doubles. La plupart du temps les sutures sont associées à un surjet épitendineux. Les caractéristiques des sutures vont conférer aux réparations plus ou moins de résistance lors de la mobilisation et de la même manière conditionner la rééducation, et dans une certaine mesure, prédire la récupération. Il semble que ce facteur soit essentiel dans le domaine du pronostic fonctionnel et de la récupération étant donné que la fonction principale des tendons est la transmission des forces et que celle-ci ne peut s'effectuer qu'au travers d'une réparation solide.

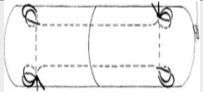
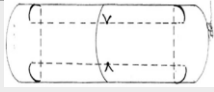
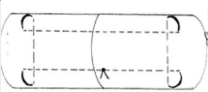
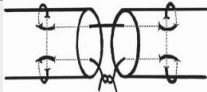

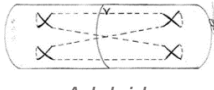
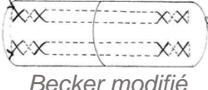
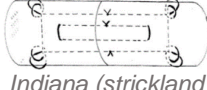
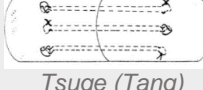


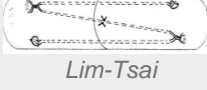
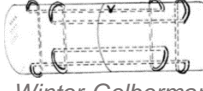
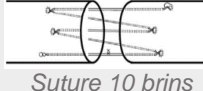
Types de sutures				
2 Brins	 Kessler	 Tajima	 Pennington	 Yotsumoto
4 Brins	 En croix (McLarney)	 Adelaide	 Becker modifié	 Indiana (strickland)
6 Brins	 Tsuge (Tang)	 Savage	 Sandow	 Lim-Tsai
8 Brins	 Winter-Gelberman			
10 Brins	 Suture 10 brins			

Tableau 6 : Différents types de sutures [46,47,48]

Nous n'allons pas décrire avec précision l'ensemble des types de sutures qu'on pourrait retrouver dans la littérature. Le tableau ci-dessus donne un aperçu de celles que nous rencontrerons dans ce qui suit. Nous allons plutôt relever les études qui lient le type de sutures aux résultats observés. De nos jours, la plupart d'entre elles sont multibrins et associent un surjet épitendineux, ce qui leur confère plus de résistance, régularise les berges et offre un meilleur coulissement [49].

En 2014, Hardwicke et al. [50] dans une revue systématique, comparent les différences entre les sutures à 2 brins et les sutures multibrins en analysant le taux de rupture et les résultats fonctionnels de la récupération. L'enquête réunit des données dans une population de 1 878 patients pour un total de 3 749 tendons opérés. Ils rapportent un taux de rupture de 3,9% et ils remarquent une **légère supériorité des sutures multibrins par rapport aux sutures à 2 brins**, bien que statistiquement non significative. Concernant les résultats fonctionnels, ils retrouvent entre 80% et 83% d'excellents et bons résultats en fonction de la méthode d'évaluation choisie. La grande diversité des protocoles de rééducation et du traitement des autres aspects chirurgicaux (poulies, gaines, ...) représentent des limitations non négligeables à l'interprétation de leurs résultats.

Ce taux de rupture est similaire à celui retrouvé par Francis et al. [51] qui utilisent une suture à 4 brins avec surjet épitendineux et récoltent les données chez 167 patients présentant une ou plusieurs lésions tendineuses en zone II. Ils rapportent également l'obtention d'excellents et bons résultats dans 74% des cas.

Dans l'étude rétrospective de Rigo et al [6], les patients reçoivent aléatoirement trois types de sutures : deux types de sutures à deux brins (Kessler modifié et Yotsumoto-dona) et un type de suture à 4 brins (Double Kessler). Selon leurs résultats, seule l'utilisation d'une suture simple de type **Kessler modifié (2 brins) est un prédicteur significatif d'une moins bonne récupération fonctionnelle**. Il est intéressant de noter que dans une autre de leurs études, la suture à 2 brins du type Yotsumoto-Dona, avait déjà démontré des capacités de résistance à la rupture supérieures à la suture selon la méthode de Kessler [46].

Dans une revue systématique Dy et al. [22] tentent d'extraire les données concernant le type de sutures et de surjets utilisés dans une série de 39 études. L'objectif étant de voir si le type de suture joue un rôle dans les complications secondaires observées. Ils mettent en évidence qu'au-delà de la suture corporeale, **le surjet épitendineux est corrélé à une diminution du risque d'opération secondaire de 84%**. Ils remarquent également que l'utilisation d'une suture du type Kessler modifiée est associée à une diminution de l'ordre de 57% du risque de

développer des adhérences. Le taux de rupture dans cette revue est de 4 % et le risque de développer des adhérences restrictives est également de 4%. Il semblerait que les sutures de type Kessler, bien que moins résistantes aux contraintes mécaniques, soient moins sources d'adhérences.

Reito et al. [17] cherchent à identifier les facteurs de risque de complications dans les sutures primitives des tendons fléchisseurs. Ils ne trouvent pas de différences significatives, en termes de rupture secondaire, entre l'utilisation de sutures à 2 brins et à 4 brins. Dans leur série de 187 patients, l'analyse univariée de chaque facteur, montre que c'est **l'épaisseur de la suture tendineuse qui est un facteur de risque de complication**. On notera que le protocole de rééducation utilisé dans cette étude est un protocole en flexion passive, ce qui pourrait expliquer le fait qu'il n'y ait pas de supériorité entre les deux types de sutures (2 et 4 brins).

Dans une étude de registre réalisée en 2022, Svingen et al. [14] recueillent les données concernant les potentiels facteurs de risque chez 1 372 patients opérés d'une lésion tendineuse en zone I ou II. Là encore l'un des facteurs de risque étudié est la technique chirurgicale ou le type de suture. Ils constatent **une association entre les sutures de type Kessler modifié (2 ou 4 brins) et le taux de rupture observé, comparativement à des sutures en boucle de type Tsuge**. Pour expliquer ce résultat, ils se basent sur une étude de 2021 qui a montré l'effet délétère des composantes transversales de ce premier type de suture sur la création d'un diastasis entre les deux berges du tendon [52].

Giesen et al. [40] réalisent une étude dans laquelle ils utilisent une **suture à 6 brins (M-Tang) sans surjet épitendineux** [53]. Les patients réalisent ensuite une rééducation active. Ils retrouvent de très bons résultats dans une série de 32 doigts opérés par cette technique. Ils ne rapportent aucune rupture mais 4 patients ont eu recours à une ténolyse. De leurs résultats, nous pouvons dire qu'une suture solide à 6 brins même sans surjet semble être efficace pour éviter les ruptures et permettre aux patients de débiter une rééducation active précoce. Cependant, nous pouvons nous étonner du **taux de ténolyse qui est ici de 12%**. L'absence de surjet épitendineux pourrait expliquer cela.

Concernant les sutures à 6 brins sans surjets épitendineux, certains auteurs préconisent la réalisation d'une certaine tension afin de réaliser un léger **empatement** au niveau du site de réparation. Cela permettrait d'**éviter la formation d'un diastasis** entre les berges tendineuses lors de mobilisations actives [54].

Dans les techniques à **6 brins avec surjet épitendineux**, on retrouve également une étude de Osada et al. [35], dans laquelle ils évaluent les résultats cliniques de ce type de suture chez 21 patients avec 27 lésions digitales. Les patients réalisent une rééducation activo-passive dans une attelle de type Kleinert. Les auteurs rapportent d'excellents à bons résultats dans 96% des cas avec **aucune rupture et aucune ténolyse**.

De la même manière, dans les cas de sutures primitive retardées, Munz et al. [55] montrent qu'une suture solide à 6 brins avec surjet épitendineux, représente une stratégie efficace sur le plan de la récupération fonctionnelle.

Lee et al. [48], dans une étude de 2015, comparent les différentes techniques de sutures tendineuses. Ils étudient les capacités biomécaniques de 6 types de sutures tendineuses allant de la suture à **2 brins jusqu'à la suture à 10 brins** dans un modèle animal. Ils mesurent la tension maximale de rupture et la traction maximale qui génère un écart de 2 mm entre les deux berges du tendon réparé. Ils remarquent que les propriétés de résistance à la traction ainsi que la formation d'un écart entre les berges tendineuses sont fortement affectées par le type de suture. Ainsi, par ordre décroissant en termes de résistance, ils retrouvent la suture à 10 brins, suivie de celle à 8 brins, 6 brins et pour finir 4 brins. Ils réalisent également **25 sutures à 10 brins chez 25 patients** et obtiennent d'excellents et bons résultats dans 92% des cas selon les critères de Strickland et Glogovac. Ils recommandent par ailleurs l'adaptation de cette technique et du nombre de brins en fonction du doigt et du diamètre du tendon opéré.

Nous pouvons tout de même nous interroger sur l'impact d'une telle suture sur la vascularisation et la préservation des capacités intrinsèques de cicatrisation du tendon. À ce sujet, Wong et al. [56], avaient mis en évidence que les contraintes mécaniques générées par la tension d'une suture laissaient apparaître des zones acellulaires à ce niveau.

Dans une étude rétrospective de 2020 et portant sur une période de 7 ans, Pan et al. [57] confirment que l'évolution des techniques chirurgicales et le passage aux sutures multibrins (6 brins) sont associés à l'obtention de résultats fonctionnels supérieurs avec un taux de rupture nettement diminué. Ce changement dans les pratiques chirurgicales a également permis de passer à des protocoles de rééducations plus actifs, majorant ainsi les scores de récupération.

Il existe une grande variété de sutures tendineuses comme nous avons pu le voir. Selon Chauhan et al. [47] il n'y a **à l'heure actuelle aucun Gold Standard** et aucun réel consensus concernant le choix de la suture, même si les recommandations actuelles sont en faveur d'une suture solide, multibrins et d'un surjet périphérique. Toujours selon ces auteurs, le choix de la

méthode de réparation est une combinaison des habitudes des chirurgiens, de la popularité et de la difficulté technique.

En 2014, Tang et al. [58] réalisent une revue concernant les pratiques courantes dans plusieurs centres de référence dans le monde. Ils décrivent des techniques opératoires et des prises en charge rééducatives différentes appliquées dans ces unités mais insistent également sur le fait que les grands principes évoqués précédemment restent communs.

Rappelons que Strickland [59] stipulait que la suture idéale devrait être facilement placée dans le tendon, avoir des nœuds sécurisés, une bonne apposition des extrémités tendineuses, un diastasis nul au site de réparation, conserver la vascularisation et être assez solide pour permettre une mobilisation active précoce.

Nous pouvons conclure que la suture tendineuse dans sa réalisation est certainement un facteur prédictif de la récupération fonctionnelle et qu'il est nécessaire de mener des études prospectives randomisées et bien standardisées afin d'affiner les indications de leur réalisation.

Points importants :

- *Les sutures à 2 brins de type Kessler seraient associées à une augmentation du risque de complications.*
- *Les sutures multibrins (4 ou plus) semblent accroître la résistance à la rupture*
- *Le surjet épitendineux améliore les capacités biomécaniques de la réparation*
- *Pas de réel Gold Standard*

4.2.2. Zone lésionnelle et attitude concernant les poulies et la gaine synoviale :

Les variations présentes au niveau du canal digital peuvent influencer la récupération et le pronostic fonctionnel après réparation des tendons fléchisseurs. D'après Tang et al. [60] les lésions en zone II et plus particulièrement en **zone 2C présentent les plus mauvais résultats fonctionnels**.

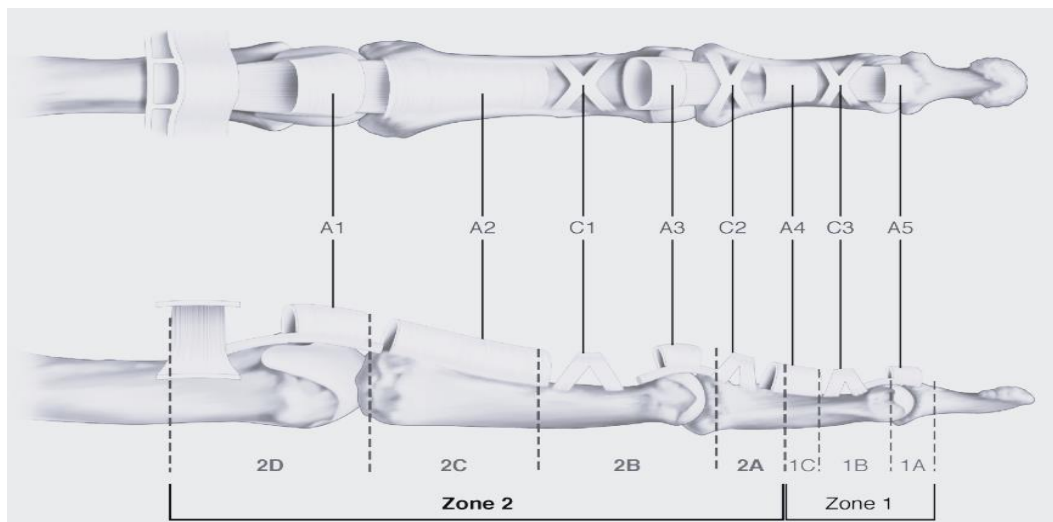


Figure 1 : Subdivision de la zone II selon Tang [61]

En effet Rigo et al. [6] décrivent une diminution de l'amplitude de mobilité active en cas de lésions entre les zones 1C et 2C pouvant atteindre 29°. Pour ces auteurs, ce résultat est en relation avec le fait que la zone 2C est la plus étroite du canal digital. On distingue également entre les zones 1C et 2C les poulies A4 et A2, qui sont les plus importantes et qui seraient source de résistances au glissement après réparation. De plus, la présence à ce niveau du chiasma du fléchisseur superficiel des doigts ainsi que la plaque palmaire de l'IPP peuvent aggraver le pronostic fonctionnel.

Moriya et al. [62] réalisent une étude dont le but est de déterminer s'il y a des différences de résultats en matière de récupération entre les différentes divisions de la zone II. Pour cela ils comparent les résultats obtenus sur 102 doigts. Toutes les sutures sont à 6 brins et une mobilisation active précoce est entreprise après chaque réparation. Ils enregistrent **4 ruptures tendineuses, toutes en zone 2B** et expliquent ce résultat par le conflit mécanique entre la zone de réparation tendineuse et le bord distal de la poulie A2. Concernant **les résultats de**

récupération fonctionnelle, ils sont moins bons pour la zone 2C que pour ceux de la zone 2B et de la zone 2D.

De la même manière, Dowd et al. [44] mènent une étude et observent les résultats sur les réparations secondaires des tendons fléchisseurs rompus. Dans un premier temps, il est intéressant de voir que la zone la plus représentée en termes de rupture, après réparation primitive, est la **zone 2B**, avec 65% des cas. Ils remarquent également que sur les 5 nouvelles ruptures après réparation secondaire, 3 sont en zone 2B, mais ce résultat pourrait simplement être la conséquence du nombre plus important de ruptures initiales dans cette zone.

Nous pouvons voir que les résultats corrélés à chaque sous zone de la zone 2 dépendent beaucoup des structures rencontrées lors de l'excursion tendineuse. Les attitudes qui seront réservées aux poulies ainsi qu'à la gaine synoviale peuvent donc également représenter des facteurs prédictifs.

Giesen et al. [40] rapportent leurs résultats sur 32 doigts avec lésions tendineuses en zone I et II. Ils réalisent des sutures solides à 6 brins et une **incision partielle ou complète** au niveau de chaque poulie si celle-ci limite l'excursion complète du tendon et n'observent aucune rupture secondaire. Il est également mis en évidence que pour les 5 patients ayant bénéficié d'une incision concomitante de la poulie A3 et A4, ces derniers **conservaient une force de serrage** égale à 91% de la force du côté controlatéral.

Rigo et al. [6] analysent l'effet des différents traitements de la gaine et des poulies sur la récupération fonctionnelle des tendons réparés. Ils observent que la réparation ou la préservation des poulies ou de la gaine est un prédicteur négatif de l'amplitude de mobilité active à 8 semaines. Elle engendrerait une réduction de 15° de cette amplitude.

Deux études sur l'effet de la **résection partielle ou complète** de la poulie A4 en zone lésionnelle 2A et la poulie A2 en zone lésionnelle 2C sont réalisées par Moriya et al. [63,64]. Dans la première, les auteurs étudient les résultats de la résection complète de la poulie A4 dans les lésions tendineuses en zone 2A. Dans certains cas, ils réalisent également une libération des poulies C2 et A3. Ils ne remarquent **pas d'effet « corde d'arc »** et stipulent que cette stratégie garantit un excellent et bon résultat dans 91% des cas. Cette intervention facilite également le geste chirurgical. Dans la seconde étude, ils procèdent à l'ouverture tantôt complète et tantôt partielle de la poulie A2 dans deux groupes de patients afin de permettre une bonne excursion tendineuse. Ils ne constatent pas de différences significatives entre les résultats des deux groupes et suggèrent que la libération, même complète, de la poulie A2 ne

représente pas une contre-indication à recouvrer une bonne mobilité articulaire des doigts sans apparition clinique d'un effet « corde d'arc ».

Elliot et Giesen [65] mettent l'accent sur l'importance de la bonne gestion de la gaine synoviale et des poulies dans les réparations primitives des tendons fléchisseurs et les changements d'attitudes au cours des 30 dernières années vis-à-vis de ces structures. Dans un article très récent, Tang [53] précise que la libération complète de la poulie A4 et partielle (2/3) de la poulie A2 n'augmente pas l'effet « corde d'arc » d'un point de vue clinique. Ils rapportent également qu'une ouverture longitudinale de 1,5 à 2 cm des poulies et de la gaine synoviale est suffisante pour garantir une course tendineuse complète sans phénomène de résistance au mouvement lors de la mobilisation active. D'un autre côté certains auteurs ont proposé des plasties d'agrandissement. C'est le cas de Kapandji [66], qui proposent une section en diagonale de la poulie, suivit d'un glissement des deux berges et d'une suture. Plus récemment à Paris, Dubert et Khalifa [67] présentent une technique d'agrandissement sans suture. Cette dernière est réalisée par excision distale et proximale de deux triangles symétriques donnant à cette nouvelle poulie une forme oblique.

Il semble important lors de nos prises en charge rééducatives, de bien prendre en compte la localisation exacte de la lésion et les gestes chirurgicaux réservés à la gaine et surtout aux poulies. Savoir que les lésions en zone 2B présenteraient le plus de risque de rupture secondaire et celles en zone 2C les moins bons résultats fonctionnels nous permettraient de mieux anticiper et adapter nos stratégies de prise en charge postopératoires en les considérant comme facteurs prédictifs de récupération.

Points importants :

- *Les plus mauvais résultats sont observés en cas de lésions en zone II et plus particulièrement en zone 2B et 2C*
- *L'ouverture partielle ou dans certains cas totale des poulie A2 et A4 améliorerait l'excursion tendineuse et les résultats de récupération fonctionnelle*

4.2.3. La rééducation :

La place des stratégies et des méthodes de rééducation est un facteur prédictif de la récupération finale après chirurgie des lésions tendineuses. Nous avons essayé de parcourir la littérature scientifique récente afin de savoir quel régime de mobilisation pourrait nous permettre de pronostiquer au mieux les résultats attendus. Dans cette section, je ne vais pas décrire en détail les différents protocoles de mobilisation ni reprendre les études une à une mais je vais plutôt décrire les résultats de certaines revues systématiques et méta-analyses ainsi que quelques études récentes qui ont comparé les résultats obtenus après chaque type de rééducation. Il est important de noter que l'aspect prédictif du type de rééducation dans ce travail n'a d'intérêt que si ce facteur est pris en compte dans les suites immédiates de la réparation.

Dans la première revue systématique réalisée en 2010, Chesney et al. [68] essayent de déterminer quelle méthode de rééducation présenterait les meilleurs résultats après chirurgie pour réparation des tendons fléchisseurs. Les études identifiées entre 1970 et 2009 comprennent « des regroupements » de régimes de mobilisation identifiés comme suit : Passifs, flexion passive et extension active, une combinaison des deux précédents et pour finir les régimes actifs. Ils analysent le taux de rupture et la récupération de mobilité. D'après leurs résultats, il n'y a pas de différence statistiquement significative quant au taux de rupture entre les différents protocoles de rééducation. Concernant la récupération fonctionnelle, il semble que **les régimes actifs suivis des régimes semi-actifs montrent de meilleurs résultats comparativement aux mobilisations passives**. Cette étude nous montre que les régimes actifs ne présentent pas plus de risque de rupture et qu'ils améliorent le résultat fonctionnel.

En 2013, Starr et al. [69] comparent l'effet des protocoles de mobilisations passives aux protocoles de mobilisations actives entre 1980 et 2011. Ils analysent le taux de rupture ainsi que l'amplitude de mouvement actif total et tentent de déterminer la variation chronologique de ces résultats avec les avancées en matière de technique opératoire. Sur la période d'étude et pour les 34 articles inclus dans la revue, 53% utilisent un protocole passif, 32% un protocole actif et 15% comparent la mobilisation passive et la mobilisation active. Les autres comprennent immobilisation et mobilisation passive continue. Comme dans l'étude précédente, la diminution de l'amplitude de mouvement est significativement différente entre les protocoles passifs et actifs, en faveur du dernier. Cependant, **le taux de rupture est quant à lui moins important dans les protocoles passifs**. Ces résultats sont le reflet d'une enquête réalisée sur une longue période et l'analyse à 5 ou 10 ans montrent que la tendance

est à la supériorité des résultats dans le temps, pour les protocoles actifs avec un **équilibre des taux de ruptures entre les deux méthodes de rééducation.**

Neiduski et Powel [70] en 2018, réalisent une revue systématique regroupant des études qui comparent deux protocoles de rééducation. Seules les études publiées entre 2000 et 2017 et utilisant une mobilisation passive, une mobilisation active ou du placé-tenu sont incluses. Ils identifient 9 études interventionnelles remplissant les critères de validité. Ils déterminent l'existence d'une certaine supériorité des régimes de rééducation utilisant le placé-tenu comparativement à la mobilisation passive et n'observent pas d'argument significatif en faveur des mobilisations actives.

Johnson et al. [71] utilisent les bases de données d'une assurance pour savoir si la rééducation précoce est associée à une augmentation du risque de rupture ou si une rééducation tardive est corrélée à une ténolyse. Après analyse, ils peuvent affirmer que la **rééducation précoce n'est pas associée à une augmentation du taux de ruptures tendineuses** et que celle-ci doit être entreprise systématiquement car **elle améliore le résultat fonctionnel**. Dans le même ordre d'idée, on distingue l'étude de Tottenham et al. [72] qui comparent l'effet d'une rééducation immédiate avec celui d'une rééducation retardée et observent une diminution des bons résultats fonctionnels dans le second cas.

Dans les études déjà citées précédemment et qui s'intéressent aux facteurs prédictifs, on retrouve celle de Rigo et al. [6] qui constatent une association négative entre l'utilisation d'un protocole de rééducation passive et la mobilité active totale comparativement à une mobilisation active. Trumble et al. [5] observent une différence significative au niveau de la mobilité entre deux groupes de patients, l'un traité avec un protocole « actif » (placé-tenu) et l'autre avec un protocole passif. Fujihara et al. [31] constatent que le protocole de rééducation est un facteur prédictif en comparant immobilisation, mobilisation semi-active et mobilisation active. Les plus mauvais résultats étant attribués à l'immobilisation. Pan et al. [57], en comparant les changements de pratique sur 7 années, concluent que **le passage à une suture multibrins et une mobilisation active précoce, sont associés à l'obtention de meilleurs résultats fonctionnels sans augmenter le risque de rupture.**

Depuis ces dernière années, l'accent est mis sur de plus en plus de liberté de mouvement après réparation tendineuse. Cette évolution a été possible grâce à l'amélioration des techniques opératoires, du matériel chirurgical, mais aussi par une meilleure compréhension des mécanismes cicatriciels.

Dans cette optique, en 2018 Henry et Lundy [73] expérimentent un protocole de mobilisation active précoce « ambitieux », au cours duquel les patients sont invités à réaliser des mouvements de flexion et extension complets **sans port d'attelle** dans toutes les amplitudes. Ils n'observent aucune rupture tout au long de la période d'évaluation avec d'excellents résultats fonctionnels. Nous pouvons nous poser la question de la pertinence de cette méthode pour des patients moins compliants.

De leur côté, Peck et al. [74] avaient déjà démontré l'intérêt de libérer le poignet lors de la réalisation de la rééducation active en comparant deux groupes de patients. Le premier ayant eu recours à une immobilisation relative comprenant le poignet et le deuxième une immobilisation par attelle courte libérant ce dernier. Les résultats qu'ils observent étaient en faveur de l'attelle courte d'un point de vue récupération fonctionnelle. Plus tard, Fournier et al. [75] estiment que les résultats obtenus avec ce type de protocole sont similaires à ceux rapportés dans la littérature avec attelles immobilisant le poignet. En 2020, Delaquaize et Giroud [76] démontrent l'intérêt des protocoles actifs et proposent une adaptation de l'attelle courte de Manchester, en y ajoutant une cale limitant l'extension du poignet en dehors des séances de rééducation et d'auto-rééducation, ainsi qu'une bande Velcro® pour prévenir les risques d'enraidissement en flexion des IPP et l'utilisation des doigts dans les activités de la vie quotidienne. Au dernier congrès de la Société Française de Rééducation de la Main (2022), Jean-Claude Rouzaud présente une étude préliminaire avec 18 patients atteints de 22 sections tendineuses. Tous bénéficient d'une protection par attelle courte libérant entièrement le poignet et protégeant les doigts ainsi que d'une mobilisation active selon le protocole de Saint John [77]. Aucune rupture secondaire n'est à déplorer et une bonne récupération fonctionnelle est observée.

Il y a plusieurs difficultés à comparer les protocoles de rééducation. Comparer les résultats des différents protocoles doit aussi tenir compte d'autres facteurs tels que les sutures tendineuses, l'expérience des chirurgiens et la compliance des patients. Le principal objectif de chaque type de mobilisation est d'obtenir le maximum de mobilité avec le moins de rupture possible.

Il semble que le timing du début de rééducation est un facteur important également. Les protocoles actifs peuvent être débutés rapidement sans accroître le risque de rupture secondaire et en améliorant les résultats de récupération tout en respectant un délai de quelques jours afin de minimiser l'installation d'une inflammation et d'un œdème.

Afin de savoir si l'intervention rééducative pourrait jouer un rôle en tant que facteur prédictif, il est important que les nouvelles recherches se concentrent sur l'obtention de groupes comparatifs homogènes et sur des méthodes et critères d'évaluations uniformisés [78].

Points importants :

- *Il ne semble pas y avoir d'augmentation du taux de rupture avec l'utilisation de protocoles actifs, comparativement aux protocoles passifs*
- *La récupération fonctionnelle est plus importante quand un protocole actif est initié*

4.3. Autres facteurs :

4.3.1. Délai de prise en charge :

La prise en charge initiale des lésions aux tendons fléchisseurs se fait souvent au sein d'un système de soins d'urgence.

Le délai entre la blessure et la prise en charge opératoire est souvent inférieur à 72 heures [3]. Nous pouvons nous demander si cette modalité est susceptible d'améliorer les résultats. Pourrait-il y avoir un délai idéal pour opérer ? Et les lésions tendineuses sont-elles considérées comme une urgence ?

Il est admis que nous pouvons parler de réparation primaire quand la chirurgie a lieu pendant les 24 premières heures. Au-delà nous parlerons de réparation primaire retardée et cela jusqu'à 3 ou 4 semaines [53].

Selon Lalonde [79], le **timing idéal** pour la réparation des tendons fléchisseurs n'est **pas encore établi avec un haut niveau d'évidence**. Et les recherches de Strickland [59] vont avec l'idée qu'il n'y aurait pas de moins bons résultats si la réparation tendineuse est retardée.

Rigo et al. [6] remarquent que le délai opératoire seul n'avait pas de conséquence sur la mobilité totale du doigt. Cependant, une fois intégré à un modèle regroupant d'autres facteurs tels que les fractures associées, la zone, le type de suture, le tabagisme et l'âge, ce paramètre **pouvait être considéré comme un facteur prédictif** car il diminuait la mobilité active de 0,3° par jour supplémentaire de retard opératoire.

Silfverskiöld et al. [7] comparent les résultats fonctionnels obtenus entre une chirurgie primaire (<24h) et une chirurgie primaire retardée (>24h). Ils rapportent uniquement un **impact de ce facteur sur le déficit d'extension**, observé au niveau de l'IPD quand l'opération est retardée. Ce résultat semble plus important au niveau du 5^{ème} doigt.

Dans une étude récente, Munz et al. [55] analysent les résultats obtenus sur 31 lésions des tendons fléchisseurs en zone II pendant la pandémie de COVID-19. Le délai moyen entre la lésion et l'intervention était de 15 jours. Ils rapportent de bons résultats, similaires à certaines études pour lesquelles le délai lésion-opération était bien plus court. Ils concluent en supposant que le délai opératoire n'est **pas un facteur de risque important** pour les résultats.

Uçkun et al. [9] observent que le facteur délai opératoire n'est **pas un facteur prédictif** d'une éventuelle chirurgie secondaire. Aysal et al. [80] enregistrent un délai moyen entre la lésion et l'opération de 7 jours. Ils ne retrouvent pas de corrélation entre les **ruptures** tendineuses et l'intervalle de temps entre la lésion et la réparation.

Dans une étude Finlandaise récente, Reito et al. [17] étudient l'effet du délai opératoire sur les complications majeures, après suture des tendons fléchisseurs. De manière intéressante, ils remarquent que ces complications pourraient être réduites en respectant un **timing opératoire adéquat**. De ce fait, ils notent une augmentation du risque de ces complications si la réparation tendineuse est effectuée entre le 3ème et le 7ème jour après la lésion. Selon ces auteurs, le délai idéal pour une prise en charge chirurgicale serait **dans les 48h** post traumatisme, ou après la première semaine. Les constatations de cette étude sont en étroite relation avec celles faites par Gorriz et al. [81] sur un modèle animal, dans lequel ils obtiennent les moins bons résultats fonctionnels pour des réparations réalisées entre 4 et 7 jours post lésion.

Il est à noter qu'une chirurgie retardée pour une lésion ouverte de la main n'est pas corrélée à une augmentation du risque infectieux et qu'une prophylaxie préopératoire par antibiotique n'est pas toujours nécessaire [82]. Dans une étude prospective, portant spécifiquement sur les tendons fléchisseurs de la main, Stone et al. [83] font les mêmes conclusions.

La tendance actuelle qui se dégage des dernières études va dans le sens d'une absence de preuves quant à l'importance du timing opératoire ou dans une certaine mesure dans le sens de **l'absence du caractère d'urgence de ce type de blessure**. Cependant, on remarque une importante hétérogénéité entre les études (différentes zones, différents doigts, différentes techniques opératoires, différents délais de prise en charge). Une analyse plus minutieuse des délais chirurgicaux nous permettrait peut-être de définir avec plus de précision le meilleur moment pour opérer et par conséquent la meilleure stratégie rééducative.

Il est fréquent de remarquer que bon nombre d'auteurs privilégient une réparation primaire légèrement retardée, faite par une équipe expérimentée ou dans des services dédiés à ce type de pathologies, plutôt qu'une réparation en urgence par un opérateur non spécialisé [84]. Pour ces premiers, une réparation solide même à distance du traumatisme initial permettrait une récupération satisfaisante. Il est cependant évident que d'autres facteurs tels que la sévérité de la lésion ou les lésions associées et notamment les lésions vasculaires, auront une influence sur ce paramètre.

Points importants :

- *Malgré l'absence de preuves fortes, une réparation < 48h semble souhaitable*
- *Les réparations primaires retardées n'augmentent pas le risque de complications majeures*

4.3.2. Expérience du chirurgien :

L'expérience du chirurgien ou de l'équipe chirurgicale est sans doute un point essentiel dans le devenir de la réparation tendineuse. En effet, sa réalisation demande un certain entraînement et une certaine vision à long terme de l'évolution de la récupération. Comme nous l'avons vu précédemment, les décisions concernant la gestion des poulies et de la gaine, la conservation ou non du FDS et le choix du type de sutures sont des éléments qui impactent le résultat fonctionnel.

Pour Tang et Giddings [85], il est important lors d'études comparatives de prendre en considération l'expérience du chirurgien pour être sûr que ce soient bien les résultats de la technique utilisée qui seront évalués et non son exécution si les niveaux d'expertise dans le domaine sont variables. Dans ce contexte, ils proposent un classement par niveau d'expertise.

Comme décrit précédemment, le délai opératoire pouvant être repoussé de quelques heures, voire quelques jours sans impacter le résultat fonctionnel, certains auteurs recommandent de retarder la réparation si le geste ne peut être pratiqué par un chirurgien spécialisé [53].

Point important :

- *L'expérience du chirurgien aura un impact sur la gestion de certains facteurs et par conséquent sur les résultats de récupération.*

4.3.3. Le tabac :

Le statut tabagique des patients présentant des sections de tendons fléchisseurs est une donnée assez souvent collectée mais moins souvent analysée et intégrée comme facteur de prédiction.

L'effet des substances contenues dans les cigarettes et autres contenants nicotiques, sont pourtant réputés pour leur **caractère délétère sur la vascularisation** et plus précisément la micro-vascularisation [86].

On retrouve quelques études prospectives qui prouvent l'effet néfaste du tabac sur la cicatrisation tendineuse et la guérison cicatricielle dans le domaine de la chirurgie orthopédique au sens large [87].

En 2019, dans une cohorte de 48 370 patients aux Etats-Unis, Cho et al. [88] examinent pendant les 30 premiers jours l'impact du tabagisme sur les complications observées chez des patients qui subissent une intervention chirurgicale au niveau de la main. Cette étude dans laquelle 22% des patients sont fumeurs actifs, révèle que **le statut tabagique est associé à une plus grande occurrence des complications postopératoires** telles que les infections et les problèmes de cicatrisation.

Uçkun et al. [8] soulignent que le tabac est un prédicteur négatif de subir une intervention secondaire à la suite d'une lésion des tendons fléchisseurs de la main. Dans leur étude sur 194 patients, 97 (soit 50 %) sont considérés comme fumeurs réguliers. Il est intéressant de voir que **70% des patients réopérés sont fumeurs**. Les auteurs associent également ce pourcentage important de ruptures dans cette population, à des facteurs socioéconomiques et environnementaux souvent défavorables affectant globalement leur hygiène de vie et diminuant les chances d'une bonne récupération.

En termes de mobilité, Rigo et al. [6] décrivent le statut tabagique comme étant un facteur prédictif corrélé à une diminution de la mobilité active à 8 semaines. Cette étude porte sur des lésions au niveau des zones I, II et III.

De leur côté, Trumble et al. [5] comparent deux types de protocole de rééducation (passif et actif) et déterminent que la consommation de tabac a un effet négatif sur les résultats finaux et cela en dépit du protocole initié. En effet dans les deux groupes la mobilité en flexion de l'IPP et de l'IPD est réduite, et le flessum de l'IPP est augmenté chez les patients fumeurs.

Une étude récente [89] mais réalisée sur un petit nombre de patients montre l'**impact négatif** de la consommation tabagique sur la récupération fonctionnelle de la main, après réparation tendineuse.

A contrario, une étude réalisée en 2016 par Samona et al. [90] sur un nombre relativement restreint de patients (56), ne montre aucune différence significative de la mobilité active totale entre fumeurs et non-fumeurs.

De manière générale, on remarque que la plupart de ces recherches attribuent à la consommation tabagique des problèmes de retard de cicatrisation, d'infection et de moins bonne récupération fonctionnelle. Prendre en considération ce facteur lors de nos prises en charge paraîtrait judicieux.

Points importants :

- *Le tabagisme augmente le risque de complications au niveau cicatriciel*
- *La consommation tabagique peut impacter négativement la récupération fonctionnelle*

4.3.4. Le patient :

La prédiction des résultats ne peut se faire sans prendre en compte un paramètre des plus important, à savoir la compliance du patient. Sa capacité à observer scrupuleusement les consignes post-opératoires est déterminante dans l'évolution de la réparation.

Dans ce contexte, Harris et al. [91] analysent les causes de 23 ruptures survenues sur un total de 840 lésions tendineuses. Ils rapportent qu'approximativement **la moitié de ces ruptures sont le résultat d'actes « stupides »**, comme l'utilisation de la main sans attelle dans diverses activités. Cette étude est intéressante sur bien des aspects. En prenant par exemple la zone II, on remarque que 11 ruptures sur 17 sont en zone 2B. Il est tentant d'émettre le postulat que la zone 2B est un facteur de risque de rupture, comme vu précédemment. Cependant, l'examen des circonstances de ruptures dans cet exemple, montre que la cause est une utilisation inappropriée de la main pendant la phase de cicatrisation par le patient.

Le statut socio-économique est un autre paramètre à prendre en compte. Stonner [92] démontre qu'un **contexte social défavorable est corrélé à une moins bonne adhérence des patients aux soins** après chirurgie pour réparation des tendons fléchisseurs de la main. Simultanément, ils constatent une association entre ce dernier point et la diminution significative des résultats de récupération fonctionnelle. De la même manière, Toker et al. [93]

rappellent que les patients ne bénéficiant pas d'une bonne couverture sociale sont moins compliants et obtiennent de moins bons résultats. Une autre donnée intéressante est qu'une des raisons évoquées par les patients est l'impossibilité de suspendre temporairement leur activité professionnelle pour suivre une rééducation. Bien que notre système de soins de santé soit plus avantageux que dans d'autres pays, il n'est pas rare de faire face à ce genre de problématique dans notre pratique quotidienne. Cela nous oblige à observer une certaine vigilance et à adapter le suivi de ces patients.

Il nous faut garder à l'esprit que les contraintes post-opératoires de ce type de lésion sont lourdes et que le retentissement sur les activités de la vie quotidienne est parfois important. Cela pouvant amener le patient à une moins bonne observance thérapeutique. Deux enquêtes [94,95] révèlent que **59% à 67% des patients retirent leur attelle** pour effectuer certaines activités et que la plupart des rééducateurs donnent des instructions sur la façon de gérer la douleur, porter l'attelle et les activités à éviter, mais peu sur la façon d'effectuer des activités significatives (soins personnels, travail, loisir). L'éducation thérapeutique trouve ici tout son sens.

Point important :

- *La prise en compte du profil des patients avec réparation des tendons fléchisseurs est un paramètre prédictif important et parfois difficile à évaluer.*

4.3.5. L'œdème :

L'apparition d'un œdème dans les suites d'une chirurgie pour réparation tendineuse est inévitable et dépend directement de facteurs liés au mécanisme lésionnel, à la technique de réparation ou encore à la variation intrinsèque des phénomènes de cicatrisation entre les individus [96].

L'œdème augmente de façon considérable le WOF (work of flexion), qui se traduit comme étant la somme des résistances à la flexion digitale. Cao et Tang [97] démontrent dans une étude in vitro sur un modèle animal, que le niveau de sévérité de l'œdème, plus que son extension, est directement proportionnel à l'augmentation de cette résistance au glissement tendineux. Les résultats d'une étude réalisée par ces mêmes auteurs mais cette fois in vivo, suggèrent que le développement de l'œdème et l'importance des résistances générées par ce

dernier, augmentent parallèlement **au cours des 4 premiers jours postopératoires** pour se stabiliser ensuite et faire place progressivement au durcissement du tissu sous-cutané et à l'apparition de phénomènes adhérentiels [98]. Ces résultats, bien qu'utilisant un modèle animal, sont importants car ils permettent aux rééducateurs d'adapter le timing et le contenu de leurs prises en charge.

Un autre problème lié à l'œdème et décrit par Giesen et al. [99] est la migration de l'œdème chargé de fibrine sur la face dorsale du doigt, génératrice d'adhérences au niveau du système extenseur et responsable d'une restriction de mobilité.

L'importance de l'œdème et du gonflement du doigt pourrait donc être un facteur de risque dans l'apparition de complications. Dans ce contexte, Silfverskiöld et al. [7] rapportent que le facteur « gonflement » a une influence significative sur l'amplitude de mouvement de l'IPP et de l'IPD. En comparant le périmètre du doigt lésé à celui du même doigt controlatéral, ils l'associent à une diminution de 0,8% et 1% respectivement, de la mobilité pour chaque pourcent d'augmentation de la circonférence du doigt. Aussi, ils remarquent que ce paramètre est associé à un déficit d'extension au niveau de l'IPP.

Je n'ai pas retrouvé d'autres études qui lient directement ce facteur à la survenue de complications après réparation des tendons fléchisseurs. Il serait intéressant d'investiguer le rapport entre l'importance de l'œdème et la survenue de complications.

Point important :

- *L'importance de l'œdème est directement liée à l'accroissement des forces de résistance à l'excursion tendineuse, péjorant les résultats fonctionnels.*

5. Les scores de sévérité et les scores prédictifs :

Dans différents domaines relatifs à la santé, des scores de sévérité ont été introduits. Ces scores ont pour principaux objectifs de caractériser l'importance des lésions et d'en évaluer le pronostic.

On retrouve par exemple le score de gravité des blessures ISS (Injury Severity Score) développé par Becker et al. [100] et qui se veut être une méthode qui décrit l'importance des blessures et évalue la notion d'urgence, de morbidité et de mortalité. Le GCS (Glasgow Coma Scale) de Teasdale et Jennett [101] est un score qui évalue l'état de conscience des patients comateux. On retrouve également le MFISS (Maxillofacial Injury Severity Score) qui est utilisé pour définir la sévérité des lésions maxillo-faciales [102].

5.1. Le HISS (Hand Injury Severity Score) et le score de Strickland :

Dans le domaine des lésions de la main, ce sont Campbell et Kay [103] qui développent un score descriptif afin d'évaluer la sévérité des blessures, le HISS (Hand Injury Severity Score). Développé en 1996, celui-ci a pour objectif de classer toutes les lésions de la main et d'y attribuer un score de sévérité. Dans ce modèle, chaque rayon est évalué séparément en attribuant une valeur à l'état de la peau, aux complications osseuses et ligamentaires, aux lésions tendineuses et aux lésions nerveuses. Le score de chaque doigt est ensuite multiplié par un facteur de pondération en fonction de son importance fonctionnelle et la somme de tous ces scores permet d'obtenir le score de sévérité qui qualifiera la lésion de mineure (0-20), modérée (21-50), sévère (51-100) ou majeure (>100). (Tableau 7)

Uçkun et al. [8] ont intégré le HISS dans les facteurs prédictifs concernant le risque de subir une chirurgie secondaire en cas de lésion des tendons fléchisseurs. Ils remarquent que ce risque était significativement plus important pour les patients qui présentaient un HISS plus élevé. Ces auteurs n'ont cependant pas évalué la possible corrélation entre ce score et le niveau de récupération avec les classifications fonctionnelles.

D'autres études se sont intéressées à la corrélation entre les résultats de ce score et ceux de scores de qualité de vie ou de scores fonctionnels. Chang et al. [104] montrent que le HISS est utile pour prédire l'impact d'une blessure à la main sur la qualité de vie associée à la santé. Un HISS élevé est associé à une diminution de cette dernière. Saxena et al. [105] rapportent une association significative entre les scores du HISS et des scores fonctionnels. Lin et al.

[106] constatent que le HISS est un facteur prédictif de la récupération de la force. Alexander [107] met en évidence l'objectivité du HISS dans l'orientation des patients vers les rééducateurs spécialisés quand ce score est élevé.

Strickland propose un score de sévérité plus simple qui représente une méthode objective afin d'évaluer la gravité de la blessure et guider les décisions chirurgicales, notamment devant un tableau clinique complexe laissant envisager une possible amputation. Un score supérieur à 10 est un mauvais indicateur (Tableau 8).

Dans une étude réalisée en 2020, Bath et al. [108] trouvent une corrélation significative entre le HISS et le score de Strickland. Bien que le score de Strickland soit plus simple et plus rapide, ces auteurs rapportent tout de même qu'un certain nombre de patients présentant des scores élevés ont pu bénéficier d'un sauvetage quand des paramètres tels que l'âge, le statut tabagique ou la motivation étaient pris en compte.

	T	IF	MF	RF	LF
Integument					
Skin loss					
Absolute values (hand)					
Dorsum <1 cm	5				
Dorsum >1 cm	10				
Dorsum >5 cm	20				
Palm dorsum X2					
Weighed values (digit)					
Dorsum <1 cm	2				
Dorsum >1 cm	3				
Pulp <25%	3				
Pulp >25%	5				
Skin laceration					
<1 cm	1				
>1 cm	2				
Nail damage					
If extends across more than one ray, include in both ray scores	1				
Subtotal (dirty X2)					
Skeletal					
Fracture					
Simple shaft	1				
Comminuted shaft	2				
Intra-articular DIPJ	3				
Intra-articular PIP/IPJ of thumb	5				
Intra-articular MCPJ	4				
Open fracture X2					
Dislocation					
Open	4				
Closed	2				
Ligament injury					
Sprain	2				
Rupture	3				
Subtotal					
Motor					
Extensor tendon					
Proximal to PIPJ	1				
Distal to PIPJ	3				
Flexor profundus					
Zone 1	6				
Zone 2	6				
Zone 3	5				
Flexor superficialis	5				
Intrinsics	2				
Subtotal					
NEURAL					
Absolute values					
Recurrent branch of the median nerve	30				
Deep branch of the ulnar nerve	30				
Weighted values					
Digital nerve X1 (simple)	3				
Digital nerve X2 (multiple)	4				
Subtotal					
Grade					
Total					
Weighting factor	6	2	3	3	2
HISS score					

Tableau 7 : HISS [103]

Skin, Subcutaneous tissue	
No involvement	0
Simple laceration	1
Compound laceration or crush	2
Extensive	3
Bone (Stability)	
No involvement	0
Simple fracture, undisplaced	1
Displaced fracture, no comminution	2
Displaced with comminution	3
Joint (Motion)	
No involvement	0
Mild crush or adjacent undisplaced fracture	1
Severe crush or articular fracture	2
Both arteries irreparable	3
Tendon (Motion)	
No involvement	0
One tendon, repairable	1
Two tendons, either one repairable	2
Two tendons, both irreparable	3
Nerve (Sensation)	
No involvement	0
One nerve, repairable	1
Both nerves, repairable	2
One or both nerves irreparable	3
Vessels (Circulation)	
No involvement	0
Single artery injury	1
Both arteries, one or both repairable	2
Both arteries irreparable	3
Total Score	

Tableau 8 : Score de Strickland [108]

Ces deux scores semblent intéressants tant sur le plan de l'évaluation de la sévérité lésionnelle et les orientations thérapeutiques qui en découlent, que sur le plan du pronostic fonctionnel, et cela pour l'ensemble des blessures de la main. Cependant, ils sont utilisés pour qualifier la lésion initiale. Dans le domaine de la réparation des tendons fléchisseurs, les avancées en matière de technicité chirurgicale et l'évolution des pratiques rééducatives ont certainement modifié les prédictions. Je pense qu'il serait utile de pouvoir pronostiquer l'évolution de ces lésions également juste après le temps opératoire.

5.2. Intérêt d'un score prédictif ou de sévérité post-opératoire :

Le constat est que nous avons de nombreuses classifications pour évaluer les résultats et cela souvent à distance de la lésion ou de la chirurgie mais nous manquons de moyens d'évaluations de la gravité lésionnelle ou d'un score prédictif après réparation.

Un tel score aurait à mon sens un grand intérêt. Cela nous permettrait de mieux adapter nos suivis et de mieux fixer les objectifs de nos interventions. Il améliorerait notre capacité à déterminer le nombre de séances de rééducation et leurs contenus, la fréquence et l'intensité de l'auto-rééducation, à préconiser la bonne attelle ou encore à orienter le patient vers une rééducation spécialisée stricte si nécessaire.

De plus, l'apparition des mobilisations actives précoces avec des attelles autorisant de plus en plus de liberté nous oblige d'une certaine manière à « trier » nos patients [76].

5.3. Exemple d'un score prédictif post-opératoire pour les tendons fléchisseurs :

En m'appuyant sur ce que j'ai pu observer lors de l'analyse des facteurs prédictifs dans les différentes études, j'ai réalisé un tableau préliminaire afin de calculer un score prédictif pour les lésions tendineuses en zone II. Celui-ci n'a que pour seul objectif de servir de base de réflexion. Il est voué à être modifié et amélioré. (Tableau 9)

Pour réaliser ce travail, j'ai regroupé les différents facteurs en 4 catégories. Les facteurs liés aux patients, les facteurs liés aux caractéristiques de la lésion, les facteurs liés aux applications chirurgicales et les autres facteurs, ceux-ci ne pouvant objectivement pas faire partie des trois premières.

Localisation				D2	D3	D4	D5		D1
Facteurs liés au patient									
Age ¹	0	1	2						
Tabac ²	0	1	/						
Compliance ³	0	1	2						
Sous-total				/5	/5	/5	/5		/5
Facteurs liés à la lésion									
Mécanisme ⁴	0	2	4						
Nombre de doigts ⁵	0	2	4						
5 ^{ème} doigt ⁶	0	1	/						/
Sous-division 2B/2C ⁷	0	1	/						/
Fracture ⁸	0	2	4						
PVN ⁹	0	1	2						
FDP+FDS ¹⁰	0	1	/						/
Sous-total				/17	/17	/17	/17		/15
Facteurs liés à la chirurgie									
Délai de prise en charge ¹¹	0	1	/						
Expérience de l'équipe chirurgicale ¹²	0	2	/						
Gestion des poulies ¹³	0	1	/						
Type de suture ¹⁴	0	1	/						
Surjet ¹⁵	0	1	/						
Sous-total				/6	/6	/6	/6		/6
Autres Facteurs									
Œdème ¹⁶	0	1	2						
Douleur ¹⁷	0	1	/						
Sous-total				/3	/3	/3	/3		/3
Score total				/28	/28	/28	/28		/26

Tableau 9 : Création personnelle d'un tableau de scores prédictifs

- ¹ Age : 0/ <25, 1/ 25-50, 2/ >50
- ² Tabac : 0/ non-fumeur, 1/ fumeur
- ³ Compliance : 0/ patient jugé compliant, 1/ patient jugé moyennement compliant, 2/ patient jugé non-compliant
- ⁴ Mécanisme : 0/ simple, 2/ complexe, 4/ très complexe
- ⁵ N° de doigts : 0/ un rayon, 2/ deux rayons, 4/ > à deux rayons
- ⁶ 5^{ème} doigt : 0/ non atteint, 1/ atteint
- ⁷ Sous-division 2B/2C : 0/ pas d'atteinte, 1/ atteinte
- ⁸ Fracture : 0/ pas de fracture, 2/ fracture simple, 4/ fracture comminutive
- ⁹ PVN : 0/ pas d'atteinte, 1/ atteinte d'un PVN, 2/ atteinte des deux PVN
- ¹⁰ FDP+FDS : 0/ un seul tendon, 1/ atteinte des deux tendons
- ¹¹ Délai de prise en charge : 0/ <48h, 1/ >48h
- ¹² Expérience de l'équipe chirurgicale : 0/ centre spécialisé, 2/ centre non spécialisé.
- ¹³ Gestion des poulies : 0/ vérification de l'absence de conflit, 1/ pas de vérification
- ¹⁴ Type de suture : 0/ quatre brins et plus, 1/ deux brins
- ¹⁵ Surjet : 0/ réalisé, 1/ non réalisé
- ¹⁶ Œdème : 0/ Léger et plis de peau visibles, 1/ moyen et plis de peau atténués, 2/ important et plis de peaux effacés
- ¹⁷ Douleur : 0/ EN < 4, 1/ EN ≥ 4

La cotation de chaque facteur est en rapport avec l'importance qui lui a été donnée dans les articles que j'ai pu consulter. Cette cotation reste toutefois complètement subjective car issue d'une certaine interprétation personnelle.

Un score est calculé pour chaque catégorie afin de mettre en évidence les catégories qui pourrait le plus impacter la récupération et mieux anticiper nos actions. Enfin, un score total est calculé nous donnant ainsi une information sur la sévérité.

À l'image de la méthodologie employée par Campbell et Kay [103] dans le développement du HISS, la construction de ce score pourrait se faire par la consultation de chirurgiens et de rééducateurs expérimentés. Cette dernière serait établie par l'intermédiaire d'un questionnaire dans lequel ils évalueraient l'ordre d'importance de chaque facteur prédictif en se basant sur leur expérience et leurs connaissances scientifiques. Certains facteurs pourraient être pondérés s'ils sont considérés comme ayant un impact majeur sur les résultats. Dans un second temps, nous pourrions confronter les résultats d'un tel score aux résultats obtenus à distance avec les classifications de Strickland, de Buck-Gramcko ou de la TAM. Cette démarche permettrait l'élaboration d'un classement du niveau de sévérité.

L'évaluation de ce score serait réalisée dans les premiers jours post-opératoire, avant la première séance de rééducation ou la mise en place de l'attelle.

6. Discussion :

Bien qu'elles ne représentent que 1% des lésions de la main [109], les sections des tendons fléchisseurs sont responsables d'un coût économique important dans notre société avec des répercussions sur la qualité de vie non négligeables pour nos patients.

Dans ce travail, j'ai essayé de retrouver et d'analyser les différents facteurs qui pourraient prédire l'évolution de ces lésions. Le but étant de pouvoir agir au plus tôt et de manière adéquate devant chaque situation qui se présente à nous.

La récolte de données concernant ces facteurs, n'est pas toujours évidente du fait de la grande hétérogénéité des populations, des techniques chirurgicales, des protocoles de rééducation, ou des mécanismes lésionnels, et cela souvent au sein d'une même étude.

Isoler un facteur et juger de son impact sur le taux de rupture ou le degré de récupération fonctionnelle s'avère être une tâche délicate. En effet, l'interaction entre une multitude d'éléments pouvant affecter les résultats est factuelle.

Je pense cependant, qu'une vision détaillée du problème pourrait nous aider à améliorer notre pratique. Savoir à qui et comment délivrer un soin sans tomber dans une voie protocolaire de prise en charge est certainement le meilleur moyen d'éviter bon nombre d'échecs.

Il n'y a pas de vérité absolue concernant les facteurs de prédictions, cependant on peut parler de tendances plus ou moins fortes qui devraient nous guider dans nos stratégies.

Au vu de ce qui a été rapporté précédemment, prendre en compte des données tels que l'âge, le statut tabagique, le milieu social et la compliance du patient, me semble être une étape préliminaire importante.

Il y a un autre point sur lequel il est primordial de s'arrêter. C'est la communication entre les chirurgiens et les rééducateurs. Je pense **qu'en dehors des centres spécialisés**, certains rééducateurs manquent trop souvent d'informations précises sur **les détails** de la lésion et des stratégies chirurgicales. Or nous avons pu constater que ces données sont souvent d'une importance et d'une pertinence non négligeable dans la conduite de nos traitements et dans la prédiction de nos résultats. Connaître avec exactitude le mécanisme lésionnel, l'étendue des lésions, la zone lésionnelle, le sort réservé aux poulies et à la gaine synoviale et le type de suture utilisé n'est pas un « détail ». Une enquête récente réalisée par Bigorre et al. [110] révèle que dans 7% des cas le rééducateur ne dispose pas des informations concernant le tendon suturé. On apprend également que le type de suture et le nombre de brins sont communiqués dans 61,5% et 44% des cas respectivement.

Les protocoles de rééducation active ont démontré leur intérêt dans l'obtention de résultats fonctionnels supérieurs sans pour autant augmenter le risque de ruptures. Cette dernière condition nécessite la réalisation de sutures solides multibrins [111]. Selon plusieurs enquêtes, l'évolution se fait dans ce sens. Bigorre et al [110] rapportent que 76% des chirurgiens questionnés utilisent des sutures à au moins 4 brins et 91,6% réalisent un surjet épitendineux. Gibson et al. [49] observent des taux supérieurs dans les pratiques aux États-Unis avec 94% des sutures à au moins 4 brins et 96,7% de surjets épitendineux. Les résultats de ces deux enquêtes révèlent que ce changement de pratique est en lien avec le niveau d'expérience des chirurgiens. En effet, les chirurgiens avec moins d'années d'expérience ont tendance à réaliser plus de sutures à 4 brins. De la même manière, ces premiers prescrivent plus souvent des protocoles de rééducation active [49,110].

Il est utile de rappeler ici que la crainte de voir la suture tendineuse se fragiliser avec l'utilisation de protocoles actifs a disparu [112] et que l'application d'une certaine contrainte sur les tendons a démontré son intérêt sur l'amélioration des capacités biomécaniques de ces derniers [113,114].

Les gestes associés à la réparation tendineuse, comme l'ouverture des poulies et de la gaine, auront également une importance dans notre prise en charge rééducative par leurs contributions à l'augmentation des forces de résistance au coulissement tendineux. Là encore 87,3% et 89% des répondants aux questionnaires, réalisent des incisions partielles ou complètes des poulies au niveau des sites de réparation et 79,4% ne réparent pas la gaine synoviale [49,110].

Les récentes avancées en matière de contrôle des forces de friction lors de la mobilisation active ont permis de réduire le risque de rupture. Parmi elles nous pouvons citer les opérations en WALANT (Wide Awake, Local Anesthesia, No Tourniquet) qui utilisent une anesthésie locale sans garrot et pendant laquelle le patient peut effectuer une mobilisation active du ou des doigt(s) lésé(s). Cette approche permet au chirurgien d'effectuer les ajustements nécessaires à l'obtention d'une excursion tendineuse complète et sans conflit, de vérifier l'intégrité de la suture lors de manœuvres dynamiques et d'une certaine manière d'adapter le régime de mobilisation préconisé [115]. Bien que cette méthode ait démontré des résultats très intéressants comme dans l'étude de Higgins et al. [116] qui rapportent un taux de rupture de 3,3%, toutes attribuables à mécanisme accidentel, elle reste encore peu utilisée avec environ 80% des répondants n'ayant jamais réalisé de réparation avec ce type d'anesthésie selon l'enquête de Gibson et al. [49]. Notons que d'après Weissman et al. [117], il y a tout de même une évolution des pratiques vers ce type de processus.

L'évolution vers une protection de la réparation avec des attelles autorisant de plus en plus de liberté et respectant mieux la physiologie du poignet et de la main, nous oblige à considérer de plus en plus le facteur compliance chez nos patients étant donné que celles-ci sont préconisées dans l'optique de promouvoir en plus de la rééducation guidée, l'auto-rééducation [54,74,76]. Or différents facteurs internes et externes peuvent affecter la motivation et l'implication des patients. Groth et Wulf M.B. [118] proposent une adaptation du HBM (Health Belief Model) ou du modèle des croyances relatives à la santé, au domaine de la rééducation de la main. Dans cet article, ils nous indiquent que la probabilité que les patients montrent un certain engagement dans leur prise en charge dépend de leur **perception d'une susceptible perte fonctionnelle** de la main, de la **gravité de la blessure**, de l'**efficacité de la rééducation** et de son rapport **bénéfice/coût**, de sa croyance en **sa propre efficacité** et de la **relation patient-thérapeute**. Autant d'éléments dans ce modèle que Svingen et al. [119] jugent bénéfique de mieux cerner afin de déterminer le niveau de compliance des patients et guider nos pratiques.

Au même titre que l'importance de l'expérience des chirurgiens dans la prédiction des résultats de récupération après réparation des tendons fléchisseurs, nous pouvons nous demander si l'expérience du rééducateur aura également un impact. De mon point de vue, il semble évident que la gestion de ce type de pathologie, par la complexité des facteurs qui influencent son évolution, nécessite une certaine prise en charge ou tout du moins suivi spécialisé. Degez et al. [120], dans une série de 39 patients ayant bénéficié d'une suture 4 brins et enrôlés dans un protocole de rééducation de Manchester, dont 35 étaient traités par des rééducateurs non spécialisés, rapportent de bons résultats fonctionnels. Tous les patients avaient reçu des instructions détaillées du chirurgien et du rééducateur sur l'auto-rééducation et ce dernier restant disponible pour le patient et son rééducateur de proximité.

Certains auteurs ont proposé des algorithmes pour guider le rééducateur tout au long de la rééducation en se basant sur des observations cliniques qui reflèteraient la capacité de coulissement des tendons [121,122]. Cette construction algorithmique de la prise en charge, bien que nécessitant une certaine adaptation aux pratiques rééducatives actuelles, paraît intéressante pour accompagner les rééducateurs moins expérimentés.

J'ai eu la chance d'assister récemment à une présentation du Dr. Grégory Thomas de l'hôpital Avicenne à Paris, au sujet de l'intelligence artificielle en chirurgie de la main et du membre supérieur. Cette technologie prometteuse, bien que quelque peu effrayante pour certains, trouverait toute sa place dans le sujet traité ici. Les travaux de Johnson et al. [123] dans le domaine des tendons fléchisseurs, montrent que celle-ci est capable d'orienter les décisions

chirurgicales en proposant les meilleures stratégies techniques pour un ensemble de données et de circonstances. Il semble qu'au niveau rééducatif cet outil pourrait nous permettre une meilleure « personnalisation » des pratiques [124].

Pour terminer, les prédictions concernant l'évolution des tendons fléchisseurs opérés seront certainement encore plus optimistes avec les recherches faites dans le domaine des thérapies moléculaires et appliquées dans ce domaine [96,125].

7. Conclusion :

La prise en charge des tendons fléchisseurs opérés nécessite une certaine rigueur de la part du patient, du chirurgien et du rééducateur. La prise en compte des facteurs prédictifs de l'évolution de la réparation me semble capitale. Connaître avec exactitude l'impact potentiel de chaque facteur sur le déroulement de la récupération nécessite une analyse préliminaire à tout acte interventionnel.

Bien qu'il soit difficile d'isoler l'effet de chaque facteur, nous avons pu constater que l'âge, le statut tabagique, le délai opératoire, les lésions associées, la zone lésionnelle et ses sous-zones, le mécanisme lésionnel, le doigt lésé, la configuration de la suture, l'expérience du chirurgien, la gestion de l'œdème, la compliance du patient et la prise en charge rééducative, influent sur le risque de rupture, d'adhérences et le pronostic fonctionnel.

Je terminerai par une citation de Léonard de Vinci : « Les détails font la perfection, et la perfection n'est pas un détail ».

8. Bibliographie :

- [1] Moutet F, Corcella D, Forli A, et al. Une histoire de la réparation des tendons fléchisseurs. *Chirurgie de la Main* 2014 ; 33: S2–S12.
- [2] Manske PR. History of flexor tendon repair. *Hand Clin* 2005 ; 21: 123–127.
- [3] Elliot D, Giesen T. Avoidance of unfavourable results following primary flexor tendon surgery. *Indian J Plast Surg* 2013 ; 46: 312–324.
- [4] Hurley CM, Reilly F, Callaghan S, et al. Negative Predictors of Outcomes of Flexor Tendon Repairs. *Cureus* ; 11: e4303.
- [5] Trumble TE, Vedder NB, Seiler JG, et al. Zone-II flexor tendon repair : à randomized prospective trial of active place-and-hold therapy compared with passive motion therapy. *J Bone Joint Surg Am* 2010 ; 92: 1381–1389.
- [6] Rigo IZ, Røkkum M. Predictors of outcome after primary flexor tendon repair in zone 1, 2 and 3. *J Hand Surg Eur Vol* 2016 ; 41: 793–801.
- [7] Silfverskiöld KL, May EJ, Oden A. Factors affecting results after flexor tendon repair in zone II : à multivariate prospective analysis. *J Hand Surg Am* 1993 ; 18: 654–662.
- [8] Çalışkan Uçkun A, Yurdakul FG, Ergani HM, et al. Factors predicting reoperation after hand flexor tendon repair. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2020 ; 26: 115–122.
- [9] Edsfieldt S, Eklund M, Wiig M. Prognostic factors for digital range of motion after intrasynovial flexor tendon injury and repair : Long-term follow-up on 273 patients treated with active extension-passive flexion with rubber bands. *J Hand Ther* 2019 ; 32: 328–333.
- [10] FESUM : Le Livre Blanc ; état des lieux des urgences de la main en France. 2018. <https://www.sfcm.fr/wp-content/uploads/2019/07/livreblanc-sfcm.pdf>.
- [11] Manninen M, Karjalainen T, Määttä J, et al. Epidemiology of Flexor Tendon Injuries of the Hand in a Northern Finnish Population. *Scand J Surg* 2017 ; 106: 278–282.
- [12] Clayton RAE, Court-Brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury* 2008; 39: 1338–1344.
- [13] de Jong JP, Nguyen JT, Sonnema AJM, et al. The Incidence of Acute Traumatic Tendon Injuries in the Hand and Wrist: A 10-Year Population-based Study. *Clin Orthop Surg* 2014; 6: 196–202.
- [14] Svingen J, Wiig M, Turesson C, et al. Risk factors for reoperation after flexor tendon repair: à registry study. *J Hand Surg Eur Vol* 2022; 47: 1071–1076.
- [15] Chang MK, Tay SC. Flexor Tendon Injuries and Repairs: A Single Centre Experience. *J Hand Surg Asian Pac Vol* 2018; 23: 487–495.
- [16] Rosberg HE, Carlsson KS, Höjgård S, et al. What determines the costs of repair and rehabilitation of flexor tendon injuries in zone II? A multiple regression analysis of data from southern Sweden. *J Hand Surg Br* 2003; 28: 106–112.

- [17] Reito A, Manninen M, Karjalainen T. The Effect of Delay to Surgery on Major Complications after Primary Flexor Tendon Repair. *J Hand Surg Asian Pac Vol* 2019; 24: 161–168.
- [18] Lalchandani GR, Halvorson RT, Zhang AL, et al. Patient outcomes and costs after isolated flexor tendon repairs of the hand. *J Hand Ther* 2022; 35: 590–596.
- [19] Mehrzad R, Mookerjee V, Schmidt S, et al. The Economic Impact of Flexor Tendon Lacerations of the Hand in the United States. *Ann Plast Surg* 2019 ; 83: 419–423.
- [20] Robinson LS, Brown T, O'Brien L. Cost, profile, and postoperative resource use for surgically managed acute hand and wrist injuries with emergency department presentation. *J Hand Ther* 2021 ; 34: 29–36.
- [21] Obert L. Plaies et traumatismes de la main. 2017. https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/Plaies_et_traumatismes_de_la_main.pdf
- [22] Dy CJ, Hernandez-Soria A, Ma Y, et al. Complications after flexor tendon repair : à systematic review and meta-analysis. *J Hand Surg Am* 2012 ; 37 : 543-551.e1.
- [23] Tang JB. Clinical outcomes associated with flexor tendon repair. *Hand Clin* 2005 ; 21 : 199–210.
- [24] Tang JB. Indications, methods, postoperative motion and outcome evaluation of primary flexor tendon repairs in Zone 2. *J Hand Surg Eur Vol* 2007 ; 32 : 118–129.
- [25] Strickland JW, Glogovac SV. Digital function following flexor tendon repair in Zone II : A comparison of immobilization and controlled passive motion techniques. *J Hand Surg Am* 1980 ; 5: 537–543.
- [26] Moriya K, Yoshizu T, Maki Y, et al. Clinical outcomes of early active mobilization following flexor tendon repair using the six-strand technique : short- and long-term evaluations. *J Hand Surg Eur Vol* 2015 ; 40: 250–258.
- [27] Kasashima T, Kato H, Minami A. Factors influencing prognosis after direct repair of the flexor pollicis longus tendon : multivariate regression model analysis. *Hand Surg* 2002 ; 7: 171–176.
- [28] Elhassan B, Moran SL, Bravo C, et al. Factors that influence the outcome of zone I and zone II flexor tendon repairs in children. *J Hand Surg Am* 2006 ; 31: 1661–1666.
- [29] Dy CJ, Daluiski A, Do HT, et al. The epidemiology of reoperation after flexor tendon repair. *J Hand Surg Am* 2012 ; 37: 919–924.
- [30] Keane G, Stonner M, Pet MA. Does Digital Nerve Injury Affect Range of Motion Recovery After Zone 2 Flexor Tendon Repair ? *Hand (N Y)* 2023 ; 18: 230–235.
- [31] Fujihara Y, Ota H, et al. Utility of early active motion for flexor tendon repair with concomitant injuries: A multivariate analysis. *Injury journal* 2018 ; 49 ; 2248-2251
- [32] Zhou X, Li XR, Qing J, et al. Outcomes of the six-strand M-Tang repair for zone 2 primary flexor tendon repair en 54 fingers. *J Hand Surg Eur Vol* 2017 ; 42: 462–468.
- [33] Ackerman JE, Bah I, Jonason JH, et al. Aging does not alter tendon mechanical properties during homeostasis, but does impair flexor tendon healing. *J Orthop Res* 2017 ; 35: 2716–2724.

- [34] Thampatty BP, Wang JH-C. Mechanobiology of young and aging tendons : In vivo studies with treadmill running. *J Orthop Res* 2018 ; 36: 557–565.
- [35] Osada D, Fujita S, Tamai K, et al. Flexor tendon repair in zone II with 6-strand techniques and early active mobilization. *J Hand Surg Am* 2006 ; 31: 987–992.
- [36] Beckmann-Fries V, Calcagni M, Schrepfer L, et al. Relationship between pain, nerve injury and clinical outcomes after flexor tendon injuries in zones 1-2 : à retrospective cohort study. *Hand Therapy* 2023 ; 17589983231159188.
- [37] Natal-Albelo EJ, Olivella G, Paralicci-Márquez GU, et al. Functional and Disability Assessment Among Hispanics With Zone 2 Flexor Tendon Injuries Comparative Study Between Flexor Digitorum Superficialis Repair and Flexor Digitorum Superficialis Excision. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 2020 ; 4: e20.00081.
- [38] Sadek AF. Flexor digitorum profundus with or without flexor digitorum superficialis tendon repair in acute Zone 2B injuries. *J Hand Surg Eur Vol* 2020; 45: 1034–1044.
- [39] Lebot G, Halbaut M, Chantelot C, et al. Medium-term clinical outcomes of Zone 2B/2C finger flexor tendon repairs : influence of management of flexor digitorum superficialis. *J Hand Surg Eur Vol* 2022 ; 47: 1056–1063.
- [40] Giesen T, Reissner L, Besmens I, et al. Flexor tendon repair in the hand with the M-Tang technique (without peripheral sutures), pulley division, and early active motion. *J Hand Surg Eur Vol* 2018 ; 43: 474–479.
- [41] Lutsky KF, Giang EL, Matzon JL. Flexor tendon injury, repair and rehabilitation. *Orthop Clin North Am* 2015 ; 46: 67–76.
- [42] Dy CJ, Daluiski A. Update on Zone II Flexor Tendon Injuries. *J Am Acad Orthop Surg* 2014 ; 22: 791–799.
- [43] Orkar KS, Watts C, Iwuagwu FC. A comparative analysis of the outcome of flexor tendon repair in the index and little fingers : does the little finger fare worse? *J Hand Surg Eur Vol* 2012; 37: 20–26.
- [44] Dowd MB, Figus A, Harris SB, et al. The results of immediate re-repair of zone 1 and 2 primary flexor tendon repairs which rupture. *J Hand Surg Br* 2006; 31: 507–513.
- [45] Rawson S, Cartmell S, Wong J. Suture techniques for tendon repair; a comparative review. *Muscles Ligaments Tendons J* 2013; 3: 220–228.
- [46] Rigó IZ, Haugstvedt J-R, Ludvigsen P, et al. Comparison of modified Kessler and Yotsumoto-Dona suture: à biomechanical study on porcine tendons. *J Plast Surg Hand Surg* 2012; 46: 313–317.
- [47] Chauhan A, Palmer BA, Merrell GA. Flexor tendon repairs: techniques, eponyms, and evidence. *J Hand Surg Am* 2014; 39: 1846–1853.
- [48] Lee HI, Lee JS, Kim TH, et al. Comparison of Flexor Tendon Suture Techniques Including 1 Using 10 Strands. *J Hand Surg Am* 2015; 40: 1369–1376.
- [49] Gibson PD, Sobol GL, Ahmed IH. Zone II Flexor Tendon Repairs in the United States: Trends in Current Management. *J Hand Surg Am* 2017; 42: e99–e108.

- [50] Hardwicke JT, Tan JJ, Foster MA, et al. A systematic review of 2-strand versus multistrand core suture techniques and functional outcome after digital flexor tendon repair. *J Hand Surg Am* 2014; 39: 686-695.e2.
- [51] Francis EC, Bossut C, O'Donnell M, et al. Outcomes and rupture rate of the "Adelaide" four-strand repair for zone 2 flexor tendon injuries over a 10-year period. *Eur J Plast Surg* 2021; 44: 231–236.
- [52] Wu YF, Mao WF, Tang JB. The impact of transverse components on 4-strand tendon repairs. *J Hand Surg Eur Vol* 2021; 46: 830–835.
- [53] Tang JB. Flexor Tendon Injuries. *Clinics in Plastic Surgery* 2019; 46: 295–306.
- [54] Tang JB. Recent evolutions in flexor tendon repairs and rehabilitation. *J Hand Surg Eur Vol* 2018; 43: 469–473.
- [55] Munz G, Poggetti A, Cenci L, et al. Up to five-week delay in primary repair of Zone 2 flexor tendon injuries: outcomes and complications. *J Hand Surg Eur Vol* 2021; 46: 818–824.
- [56] Wong JKF, Cerovac S, Ferguson MWJ, et al. The cellular effect of a single interrupted suture on tendon. *J Hand Surg Br* 2006; 31: 358–367.
- [57] Pan ZJ, Pan L, Xu YF, et al. Outcomes of 200 digital flexor tendon repairs using updated protocols and 30 repairs using an old protocol: experience over 7 years. *J Hand Surg Eur Vol* 2020; 45: 56–63.
- [58] Tang JB, Amadio PC, Boyer MI, et al. Current practice of primary flexor tendon repair: à global view. *Hand Clin* 2013; 29: 179–189.
- [59] Strickland JW. Development of flexor tendon surgery: twenty-five years of progress. *J Hand Surg Am* 2000; 25: 214–235.
- [60] Tang JB, Shi D. Subdivision of flexor tendon 'no man's land' and different treatment methods in each sub-zone. A preliminary report. *Chin Med J (Engl)* 1992; 105: 60–68.
- [61] Bellemère P, Ardouin L. Réparation primitive des tendons fléchisseurs en zone 2. *Chirurgie de la Main* 2014; 33: S28–S43.
- [62] Moriya K, Yoshizu T, Tsubokawa N, et al. Outcomes of flexor tendon repairs in zone 2 subzones with early active mobilization. *J Hand Surg Eur Vol* 2017; 42: 896–902.
- [63] Moriya K, Yoshizu T, Tsubokawa N, et al. Outcomes of release of the entire A4 pulley after flexor tendon repairs in zone 2A followed by early active mobilization. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 400–405.
- [64] Moriya K, Yoshizu T, Tsubokawa N, et al. Clinical results of releasing the entire A2 pulley after flexor tendon repair in zone 2C. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 822–828.
- [65] Elliot D, Giesen T. Primary flexor tendon surgery: the search for a perfect result. *Hand Clin* 2013; 29: 191–206.
- [66] Kapandji IA. Plastie d'agrandissement des poulies métacarpiennes. *Annales de Chirurgie de la Main* 1983; 2: 281–282.
- [67] Dubert T, Khalifa H. Digital pulley enlargement allowing early active motion following primary repair of flexor tendons. *Tech Hand Up Extrem Surg* 2009; 13: 197–198.

- [68] Chesney A, Chauhan A, Kattan A, et al. Systematic review of flexor tendon rehabilitation protocols in zone II of the hand. *Plast Reconstr Surg* 2011; 127: 1583–1592.
- [69] Starr HM, Snoddy M, Hammond KE, et al. Flexor tendon repair rehabilitation protocols: à systematic review. *J Hand Surg Am* 2013; 38: 1712-1717.e1–14.
- [70] Neiduski RL, Powell RK. Flexor tendon rehabilitation in the 21st century: A systematic review. *J Hand Ther* 2019; 32: 165–174.
- [71] Johnson SP, Kelley BP, Waljee JF, et al. Effect of Time to Hand Therapy following Zone II Flexor Tendon Repair. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2020; 8: e3278.
- [72] Tottenham VM, Wilton-Bennett K, Jeffrey J. Effects of delayed therapeutic intervention following zone II flexor tendon repair. *J Hand Ther* 1995; 8: 23–26.
- [73] Henry M, Lundy FH. Flexor Subzone II A-D Range of Motion Progression during Healing on a No-Splint, No-Tenodesis Protection, Immediate Full Composite Extension Regimen. *J Hand Surg Asian Pac Vol* 2019; 24: 405–411.
- [74] Peck F, Roe A, Ng C, et al. The Manchester short splint: A change to splinting practice in the rehabilitation of zone II flexor tendon repairs. *Hand Therapy* 2014; 19: 47–53.
- [75] Fournier A., Le-Lardic C. et al. Résultats fonctionnels d'une immobilisation courte en position neutre dans la réparation des tendons fléchisseurs des doigts longs. *Hand surgery and rehabilitation* 2016; 35 : 445
- [76] Delaquaize F, Giroud M. Intérêt des protocoles en flexion active protégée lors d'une lésion des tendons fléchisseurs : vers toujours plus de liberté contrôlée. *Kinésithérapie, la Revue* 2020; 20: 51–60.
- [77] Higgins A, Lalonde DH. Flexor Tendon Repair Postoperative Rehabilitation: The Saint John Protocol. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2016; 4: e1134.
- [78] Peters SE, Jha B, Ross M. Rehabilitation following surgery for flexor tendon injuries of the hand. *Cochrane Database Syst Rev* 2021; 1: CD012479.
- [79] Lalonde DH. An evidence-based approach to flexor tendon laceration repair. *Plast Reconstr Surg* 2011; 127: 885–890.
- [80] Aysal BK, Colak O, Uscetin I, et al. Effects of Different Variables on Postoperative Ruptures After Flexor Tendon Repairs in Delayed Primary Period. *Hand and Microsurgery* 2022; 11: 89–89.
- [81] Gorriz GJ, Cooke J. Assessment of the influence of the timing of repair on flexor tendon injuries in chickens. *Br J Plast Surg* 1976; 29: 82–84.
- [82] Davies J, Roberts T, Limb R, et al. Time to surgery for open hand injuries and the risk of surgical site infection: a prospective multicentre cohort study. *J Hand Surg Eur Vol* 2020; 45: 622–628.
- [83] Stone JF, Davidson JS. The role of antibiotics and timing of repair in flexor tendon injuries of the hand. *Ann Plast Surg* 1998; 40: 7–13.
- [84] Tang JB. New Developments Are Improving Flexor Tendon Repair. *Plast Reconstr Surg* 2018; 141: 1427–1437.
- [85] Tang JB, Giddins G. Why and how to report surgeons' levels of expertise. *J Hand Surg Eur Vol* 2016; 41: 365–366.

- [86] Monfrecola G, Riccio G, Savarese C, et al. The acute effect of smoking on cutaneous microcirculation blood flow in habitual smokers and nonsmokers. *Dermatology* 1998; 197: 115–118.
- [87] Hansrani V. Is there a relationship between smoking and the outcomes of tendon or ligament repair and wound healing? *Current Orthopaedic Practice* 2010; 21: 396.
- [88] Cho BH, Aziz KT, Giladi AM. The Impact of Smoking on Early Postoperative Complications in Hand Surgery. *J Hand Surg Am* 2021; 46: 336.e1-336.e11.
- [89] Nikoufard M, Ghahari M, Norouzi A, et al. Relationship Between Smoking Cigarettes and Hand Function After Tendon Repair in Men. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine* 2022 ; 11: 782–793.
- [90] Samona J, S S, Gilin M. Effects of Smoking on Hand Tendon Repair : Scientific Study & Literature Review. *International Journal of Surgery and Research* 2017 ; 70–74.
- [91] Harris SB, Harris D, Foster AJ, et al. The aetiology of acute rupture of flexor tendon repairs in zones 1 and 2 of the fingers during early mobilization. *J Hand Surg Br* 1999 ; 24: 275–280.
- [92] Stonner MM, Keane G, Berlet L, et al. The Impact of Social Deprivation and Hand Therapy Attendance on Range of Motion After Flexor Tendon Repair. *J Hand Surg Am* 2022 ; 47: 655–661.
- [93] Toker S, Oak N, Williams A, et al. Adherence to therapy after flexor tendon surgery at a level 1 trauma center. *Hand (N Y)* 2014 ; 9: 175–178.
- [94] Kaskutas V, Powell R. The impact of flexor tendon rehabilitation restrictions on individuals' independence with daily activities: implications for hand therapists. *J Hand Ther* 2013; 26: 22–28; quiz 29.
- [95] Sandford F, Barlow N, Lewis J. A study to examine patient adherence to wearing 24-hour forearm thermoplastic splints after tendon repairs. *J Hand Ther* 2008; 21: 44–52; quiz 53.
- [96] Wu YF, Tang JB. Tendon healing, edema, and resistance to flexor tendon gliding: clinical implications. *Hand Clin* 2013; 29: 167–178.
- [97] Cao Y, Tang JB. Investigation of resistance of digital subcutaneous edema to gliding of the flexor tendon: an in vitro study. *J Hand Surg Am* 2005; 30: 1248–1254.
- [98] Cao Y, Tang JB. Resistance to motion of flexor tendons and digital edema: An in vivo study in a chicken model. *J Hand Surg Am* 2006; 31: 1645–1651.
- [99] Giesen T, Calcagni M, Elliot D. Primary Flexor Tendon Repair with Early Active Motion: Experience in Europe. *Hand Clin* 2017; 33: 465–472.
- [100] Baker SP, O'neill B, Haddon WJ, et al. The injury severity score : A method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 1974; 14: 187.
- [101] Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness: A Practical Scale. *The Lancet* 1974; 304: 81–84.
- [102] Zhang J, Zhang Y, El-Maaytah M, et al. Maxillofacial Injury Severity Score: proposal of a new scoring system. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006; 35: 109–114.
- [103] Campbell DA, Kay SPJ. The hand injury severity scoring system. *The Journal of Hand Surgery: British & European Volume* 1996; 21: 295–298.

- [104] Chang J-H, Shieh S-J, Kuo L-C, et al. The initial anatomical severity in patients with hand injuries predicts future health-related quality of life. *J Trauma* 2011; 71: 1352–1358.
- [105] Saxena P, Cutler L, Feldberg L. Assessment of the severity of hand injuries using ‘hand injury severity score’, and its correlation with the functional outcome. *Injury* 2004; 35: 511–516.
- [106] Lin DCY, Chang J-H, Shieh S-J, et al. Prediction of hand strength by hand injury severity scoring system in hand injured patients. *Disabil Rehabil* 2012; 34: 423–428.
- [107] Alexander A. Using the modified Hand Injury Severity Score (mHISS) as an objective measure to evaluate a mechanism of triage in a hand therapy department. *Hand Therapy* 2016; 21: 54–57.
- [108] Bhat AK, Acharya AM, Mishra D. Correlation of HISS and Strickland Score with the Michigan Hand Outcome Questionnaire in hand injuries. *J Clin Orthop Trauma* 2020; 11: 620–625.
- [109] Hill C, Riaz M, Mozzam A, et al. A regional audit of hand and wrist injuries. A study of 4873 injuries. *J Hand Surg Br* 1998; 23: 196–200.
- [110] Bigorre N, Delaquaize F, Degez F, et al. Primary flexor tendons repair in zone 2: Current trends with GEMMSOR survey results. *Hand Surg Rehabil* 2018; 37: 281–288.
- [111] Xu H, Huang X, Guo Z, et al. Outcome of Surgical Repair and Rehabilitation of Flexor Tendon Injuries in Zone II of the Hand: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Hand Surg Am* 2023; 48: 407.e1-407.e11.
- [112] Hitchcock TF, Light TR, Bunch WH, et al. The effect of immediate constrained digital motion on the strength of flexor tendon repairs in chickens. *J Hand Surg Am* 1987; 12: 590–595.
- [113] Li F, Li B, Wang Q-M, et al. Cell shape regulates collagen type I expression in human tendon fibroblasts. *Cell Motil Cytoskeleton* 2008; 65: 332–341.
- [114] Buckwalter JA. Effects of early motion on healing of musculoskeletal tissues. *Hand Clin* 1996; 12: 13–24.
- [115] Khor WS, Langer MF, Wong R, et al. Improving Outcomes in Tendon Repair: A Critical Look at the Evidence for Flexor Tendon Repair and Rehabilitation. *Plast Reconstr Surg* 2016; 138: 1045e–1058e.
- [116] Higgins A, Lalonde DH, Bell M, et al. Avoiding flexor tendon repair rupture with intraoperative total active movement examination. *Plast Reconstr Surg* 2010; 126: 941–945.
- [117] Weissman JP, Sasson DC, Chappell AG, et al. Practice Patterns in Operative Flexor Tendon Laceration Repair: A 15-Year Analysis of Continuous Certification Data from the American Board of Plastic Surgery. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2022; 10: e4558.
- [118] Groth GN, Wulf MB. Compliance with Hand Rehabilitation: Health Beliefs and Strategies. *Journal of Hand Therapy* 1995; 8: 18–22.
- [119] Svingen J, Arner M, Turesson C. Patients’ experiences of flexor tendon rehabilitation in relation to adherence: a qualitative study. *Disabil Rehabil* 2023; 45: 1115–1123.
- [120] Degez F, Ferchaud F, Chauchard S, et al. La rééducation des plaies des tendons fléchisseurs en zone 2 selon le protocole de Manchester est-elle une affaire de spécialiste ? *Hand Surgery and Rehabilitation* 2019; 38: 454.

- [121] Steelman PJ, Groth G, Taras JS. Individualized Rehabilitation Program for Flexor Tendon Repair: From Pyramid to Algorithm. *Operative Techniques in Orthopaedics* 2007; 17: 148–154.
- [122] Sueoka SS, Lastayo PC. Zone II flexor tendon rehabilitation: à proposed algorithm. *J Hand Ther* 2008; 21: 410–413.
- [123] Johnson M, Firoozbakhsh K, Moniem M, et al. Determining flexor-tendon repair techniques via soft computing. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2001; 20: 176–183.
- [124] Junankar P, Mital D, Haque S, et al. A Clinical Decision Support System For Managing Flexor Tendon Injuries. 2006, pp. 525–528.
- [125] Myer C, Fowler JR. Flexor Tendon Repair: Healing, Biomechanics, and Suture Configurations. *Orthop Clin North Am* 2016; 47: 219–226.