

# Rupture de poulie digitale chez le grimpeur : Et le membre supérieur dans tout ça ?

Sophie Guirao

Travail de fin d'études présenté pour l'obtention du  
diplôme de licencié en kinésithérapie  
Haute Ecole Robert Schuman  
B-6800 Libramont

Juin 2008

## **Résumé :**

La rupture de poulie digitale reste à ce jour une pathologie peu explorée par les thérapeutes. L'essentiel de la littérature et des travaux parus se limite à l'exploration de la main et du poignet. L'étiologie locale est évidente (position arquée des doigts,...), cependant, parmi les grimpeurs consultés beaucoup se plaignent après le traitement de douleurs ou d'impotences lors de la pratique sportive.

Ainsi, l'objet de cet article est de fournir de nouvelles pistes pour une meilleure compréhension et un traitement plus efficace de cette pathologie à long terme. C'est pourquoi, il m'a paru intéressant d'approfondir l'étude des mécanismes du membre supérieur mis en œuvre dans cette pratique pour mieux comprendre les contraintes liées à ce sport.

**Mots clés :** escalade, poulie, chaîne musculaire, fascia, réintégration

## **Abstract :**

Up to now the rupture of the digital pulley has been a pathology that few therapists have explored. Published works on the subject have essentially been limited to the hand and wrist exploration. The local etiology is obvious (arched position of the fingers). However, many of the consulted climbers still complain of pain or discomfort when rock climbing, after the treatment has been completed.

So the aim of this article is to suggest new tracks for a better understanding of the pathology and a treatment that would be more efficient in the long term. It seemed interesting to go deeper into the knowledge of the upper limb mechanisms that are at work in the practice of rock climbing, in order to understand the constraints that are linked to this particular sport.

**Keys words :** rock climbing, pulley, muscular chain, fascia, reinstatement

## **Introduction :**

L'escalade est un sport en plein essor. Cette discipline est éprouvante pour l'organisme : la progression sur la roche nécessite une adaptation permanente des grimpeurs pour maintenir leur équilibre, engendrant d'importantes contraintes sur des mécanismes qui ne sont pas spécifiquement conçus pour de tels efforts.

Cette étude est basée sur un questionnaire diffusé auprès de nombreux clubs belges et français. Son contenu s'intéresse aux antécédents du grimpeur, à sa préparation physique, à son hydratation et aux soins reçus après la lésion.

Elle a notamment pu mettre en évidence un point important : la fréquence élevée de grimpeurs dont le traitement n'a pas abouti à un recouvrement total des fonctions du doigt et de la main c'est-à-dire sans impotence ni douleur à

la pratique de ce sport. Dès lors, il m'est apparu intéressant d'explorer cette pathologie en allant au-delà de la main avec comme idée directrice que chaque interférence au niveau de la chaîne du membre supérieur perturbe le retour à une mécanique saine de la main. Ainsi, l'introduction dans la rééducation d'une prise en charge de tout le membre supérieur jusqu'à sa racine, avec un travail de réintégration de l'ensemble des éléments du membre permettrait d'optimiser le traitement des ruptures de poulie.

L'objet de cet article est donc de proposer de nouvelles pistes d'exploration et de traitement afin de suggérer une prise en charge plus efficace à long terme après une rupture de poulie digitale.

## Méthodologie :

Je me suis orientée vers une enquête menée auprès de clubs d'escalade et de grimpeurs. Cette forme de recherche m'a permis de consulter un large échantillon dans la population des grimpeurs : le questionnaire a été distribué dans 44 clubs belges et français, de différentes régions, et 19 cas de ruptures ont été recensés. De plus, deux kinésithérapeutes passionnés et spécialisés dans ce domaine ont contribué à l'enrichissement de cet article en proposant à des grimpeurs blessés de remplir ce questionnaire. L'étude d'un cas clinique aurait dû enrichir cette enquête mais je n'ai pu trouver de grimpeurs à prendre en charge dans mon secteur géographique.

L'élaboration de ce travail a permis de recueillir des informations concernant :

➤ l'histoire du grimpeur : sexe, niveau d'escalade, années de pratique et antécédents de blessure ;

➤ sa pratique : type d'escalade, échauffements, étirements et hydratation ;

➤ le contexte de la blessure : la structure, la position, la poulie et le doigt lésé ;

➤ le traitement, la rééducation et les conditions de reprise de l'activité.

Je me suis également appuyée sur une bibliographie ciblée sur des domaines précis pour compléter le travail. Ainsi, la littérature d'auteurs reconnus dans le domaine des ruptures de poulie digitale (Professeur Moutet et Mr Schwizer notamment) éclaire sur les causes et les traitements existant à ce jour. Cependant, les moyens de guérison évoqués sont principalement la chirurgie et à moindre mesure, la kinésithérapie. Par ailleurs, les rééducations publiées ne concernent que la main et l'élargissement au membre supérieur n'est pas proposé. Dès lors, je me suis orientée vers des ouvrages qui m'ont permis de mieux comprendre les mécanismes du membre supérieur dans sa globalité.

## Résultats :

L'enquête a récolté 32 questionnaires (5 femmes et 27 hommes), dont voici les résultats:

		(ans)	- 20	[20 à 25[	[25 à 30[	[30 à 35[	[35 à 40[	40 et +
<b>Histoire</b>  <b>du</b>  <b>grimpeur</b>	<b>Age (%)</b>		3,4	30	30	13,3	10	13,3
	(ans)		<b>]0 à 5[</b>	<b>]5 à 10[</b>	<b>]10 à 15[</b>	<b>]15 à 20[</b>	<b>]20 et +</b>	
	<b>Années de pratique (%)</b>		16,1	38,7	19,4	9,7	16,1	
	(heure)		<b>]0 à 5[</b>	<b>]5 à 10[</b>	<b>]10 à 15 [</b>	<b>]15 et +</b>		
	<b>Temps par semaine (%)</b>		10	50	20	20		
			<b>6a</b>	<b>6b</b>	<b>6c</b>	<b>7a</b>	<b>7b</b>	<b>7c et +</b>
	<b>Niveau (%)</b>		3,2	12,5	25	28,1	21,8	9,4
			<b>Oui</b>	<b>Non</b>	<b>Départemental</b>	<b>Régional</b>	<b>National</b>	<b>Mondial</b>
	<b>Compétition (%)</b>		40,6	59,4	28,6	33,3	23,8	14,3
		<b>Oui</b>	<b>Non</b>	<b>Poulie</b>	<b>Poignet</b>	<b>Epaule</b>	<b>Membre inférieur</b>	
<b>Blessure(s) antérieure(s) (%)</b>		<b>81,8</b>	18,2	50	8,3	24	17,7	
<b>La pratique</b>			<b>Salle</b>	<b>Falaise</b>	<b>Bloc</b>	<b>Grande voie</b>		
	<b>Le terrain (%)</b>		28,6	<b>31,9</b>	20,9	18,6		
			<b>Oui</b>	<b>Non</b>				
	<b>Echauffement (%)</b>		74,2	25,8				
			<b>Oui</b>	<b>-5min</b>	<b>Entre 5 et 10min</b>	<b>+10min</b>	<b>Non</b>	
	<b>Etirements (%)</b>		62,5	<b>58,3</b>	25	16,7	37,5	
			<b>Pendant et après</b>	<b>Après</b>	<b>Moins de 0,5L</b>	<b>De 0,5 à 1L</b>	<b>De 1L à 2L</b>	<b>Plus de 2L</b>
<b>Hydratation (%)</b>		86,7	13,3	31	55,2	3,4	10,4	
		<b>Arquée</b>	<b>Bidigitale</b>	<b>Monodigitale</b>	<b>Autres</b>			
<b>Position (%)</b>		<b>70</b>	16,7	10	3,3			
		<b>Soudainement</b>	<b>Gêne durant séance</b>	<b>Gêne avant</b>				

<b>La lésion</b>	<b>Contexte (%)</b>	75	7,1	17,9		
		<b>Glace</b>	<b>Immobilisation</b>	<b>Strapping</b>	<b>Rien</b>	
	<b>Soin(s) immédiat(s) (%)</b>	23,7	21,1	28,9	26,3	
		<b>Partielle</b>	<b>Totale</b>			
	<b>Rupture (%)</b>	61,9	38,1			
		<b>Auriculaire</b>	<b>Annulaire</b>	<b>Majeur</b>	<b>Index</b>	
	<b>Doigt lésé (%)</b>	12,5	45,8	37,5	4,2	
		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>
	<b>Poulie (%)</b>	9,1	45,5	24,2	15,1	6,1
<b>Traitement et rééducation</b>		<b>Chirurgical</b>	<b>Conservateur</b>	<b>Aucun</b>		
	<b>Traitement (%)</b>	21,9	31,2	46,9		
		<b>Oui</b>	<b>Non</b>			
	<b>Rééducation (%)</b>	39,3	60,7			
		<b>Électrothérapie</b>	<b>Étirement</b>	<b>Mobilisation</b>	<b>Correction du geste</b>	
	<b>Technique (s) (%)</b>	34,8	17,4	43,4	4,3	
		<b>Oui</b>	<b>Non</b>			
	<b>Localisée à la main (%)</b>	92,9	7,1			
		<b>Aucune gêne</b>	<b>Légère douleur / gêne</b>	<b>Déficit en flexion</b>		
	<b>Complication(s) (%)</b>	30	45	25		
	<b>-1mois</b>	<b>Après 2 à 3mois</b>	<b>Au delà de 4mois</b>			
<b>Reprise du sport (%)</b>	25	40	35			

Ces résultats ont permis une meilleure compréhension de la situation actuelle du traitement des ruptures de poulie, avant et après celles-ci. En tenant compte de ces données, une réflexion, concernant la mécanique du membre supérieur et ses « rouages » dans la pratique, a abouti à la proposition d'une prise en charge complémentaire à celle proposée dans la littérature.

## **Discussion :**

### Physiopathologie locale:

⇒ Les.....poules.....digitales : Structures conjonctives, fibreuses et inextensibles, elles englobent la gaine synoviale et les tendons fléchisseurs. Leur but principal est d'empêcher le phénomène de corde d'arc lors de la flexion, en maintenant les tendons contre l'os. Par ailleurs, les doigts longs sont constitués de 5 poulies annulaires (A1, A2, A3, A4, A5) et de 3 poulies cruciformes (C1, C2, C3), une sixième poulie A0 correspond au ligament annulaire du carpe (figure1 [3]).

A l'unanimité, les auteurs (comme Moutet ou Schwizer) et les professionnels décrivent une lésion plus fréquente de la poulie A2. Cette étude confirme leurs dires, avec 45,5% des cas.

Cette poulie, longue et épaisse, tient un rôle essentiel : sa lésion perturbe la flexion complète du doigt. De plus, sa localisation dans la zone du « *no man's land* » (lieu où le tendon fléchisseur profond perforé le superficiel et où la vascularisation est faible) complique la guérison.

⇒ La...rupture...de...poulie : Cette pathologie, essentiellement rencontrée en escalade, est relativement peu fréquente contenue de la « rudesse » de ce sport. Sa rupture se manifeste par une douleur violente et l'apparition d'un phénomène de corde d'arc plus ou moins prononcé (en fonction des poulies touchées). En outre, les professionnels de santé s'accordent sur une atteinte plus récurrente du majeur et de l'annulaire. Cette étude confirme également cette assertion avec 45,8% de lésion pour l'annulaire et 37,5% pour le majeur.

⇒ Les phénomènes locaux de lésion : Il n'existe pas qu'une seule cause, c'est davantage une cascade d'éléments engendrant une surcharge de contraintes qui aboutit à la lésion.

➤ La position du doigt sur la roche, principalement lors de prise arquée (70% des cas d'après l'enquête) mais également en prise bi-doigt et mono-doigt (figure2 [10]) est un facteur de risque lésionnel. La prise en arquée,

souvent utilisée, donne au sportif une sensation de force et de stabilité grâce à sa forme en crochet. Elle se caractérise par une flexion importante de l'interphalangienne proximale et une hyperextension passive de l'interphalangienne distale. Cette préhension soumet la poulie à d'importantes contraintes par la mise en tension des fléchisseurs digitaux (surtout le fléchisseur profond). Les conséquences de cette prise sur la poulie ont été mises en évidence par Schweizer [11][12][13]. Il a démontré une augmentation de la distance ostéon lors de tractions répétitives et un accroissement de la force externe.

➤ La compression de la gaine synoviale augmente la pression qui devient néfaste à long terme pour les poulies en les fragilisant. Elle se rencontre en position arquée (pincement de la gaine entre la poulie et le tendon), lors de phénomènes inflammatoires ou d'une augmentation du volume tendineux (par exemple un nodule). En outre, lors d'une inflammation, la compression ralentit la circulation et retarde l'élimination des déchets, freinant alors la cicatrisation.

➤ La sur-utilisation du doigt lors d'une pratique intensive est synonyme de tensions prolongées sur les poulies ce qui provoque des micro-lésions répétées.

➤ Le poids du corps associé à un mouvement rapide ou une réception lors d'un jeté contraint la poulie à une réaction rapide et violente, pouvant engendrer des lésions.

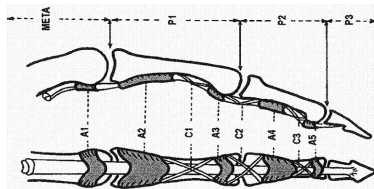


Figure 1: poulies digitales



Figure 2: prise arquée et mono-digitale

### Mécanisme physiopathologique

#### Positionnement du membre supérieur et ses effets :

Lors de l'ascension, le membre supérieur adopte une position optimale pour assurer une stabilité articulaire et un maintien de l'équilibre tout en permettant la réalisation d'un mouvement puissant et le plus économique possible.

⇒ Principe de torsion [23] : Pour bien comprendre le mécanisme du membre supérieur, il faut avoir en tête le principe de torsion. Prenons l'exemple d'une serviette maintenue aux deux extrémités (figure3 [23]) et imposons-lui un mouvement de torsion (c'est-à-dire une rotation opposée des extrémités). La torsion progressive de la serviette crée un bras de levier puissant qui produit une flexion au niveau d'un point intermédiaire (le coude).

L'intérêt de ce mécanisme est de mettre à profit l'ensemble des muscles et fascias du membre supérieur (et pas seulement les fléchisseurs pour la flexion) afin de stabiliser l'articulation dans les trois plans de l'espace et d'assurer une puissance dans toutes les amplitudes. Le but est alors d'obtenir une exploitation plus efficace lors d'une difficulté ou pour une recherche de facilitation. Ainsi, la torsion facilite la mise en tension des éléments tissulaires du membre supérieur afin d'optimiser le stockage d'énergie qui sera libérée lors du mouvement. Dans le cas de l'escalade, la mise en œuvre de ce principe développe force et stabilité ce qui confère au grimpeur confiance et sécurité ; il a besoin de moins forcer ou de moins compenser.

Donc à tous mouvements de flexion-extension s'associe une pro-supination ou une rotation.

Cependant, une perte de mobilité tissulaire, localisée ou non, oblige le reste du membre à utiliser davantage d'énergie et de compensation pour le même résultat : le principe perd alors de son efficacité et le geste devient moins économique.

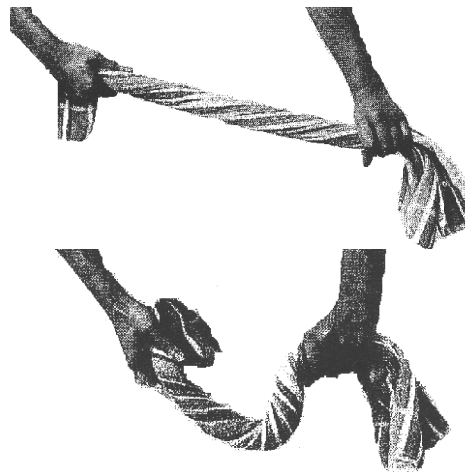


Figure 3: principe de torsion

Le travail synergique des différents types de muscles rend le mouvement plus harmonieux, ainsi :

➤ Les muscles moteurs ont pour vocation de réaliser le geste d'élévation pur, on retrouve notamment le biceps, le triceps, grand dorsal, pectoraux...;

➤ Les muscles orienteurs, comme les rotateurs ou les pro-supinateurs placent les articulations dans une congruence correcte, et assure une mise en tension tissulaire constante pour un mouvement harmonieux (il permet un passage de la flexion-extension et inversement - en 3D- sans rupture cinétique ni « flottement » articulaire comme un ressort qui enchaîne compression et décompression - en 2D -) ;

➤ Les muscles modérateurs, dont les antagonistes modulent la force, la vitesse ou encore l'amplitude et offrent un point d'appui.

⇒ Adaptation du membre supérieur lors de la préhension [23][24][25][26][27][28][29][30]: Dès les premiers contacts de la main avec la prise, le grimpeur va inconsciemment adapter la position de son épaule afin d'optimiser au mieux la préhension de la prise, le blocage du membre supérieur puis le mouvement qui va suivre (traction).

➤ La ceinture scapulaire et l'humérus : La scapula, élément principal de la ceinture scapulaire, est un amortisseur, c'est-à-dire une zone de crédit qui absorbe les chocs grâce à sa grande liberté de mouvement.

Dès la mise en charge du membre supérieur, la scapula s'oriente en antépulsion (+) et adduction (++) sous l'action des muscles petit pectoral, sub-clavier, trapèze (les trois faisceaux) et rhomboïdes,.... L'humérus lui s'oriente vers la rotation externe (++) et l'extension (+) sous l'action des muscles sous épineux, petit rond, deltoïde postérieur et triceps,.... Cette opposition entre, d'une part, l'emboîtement (en haut et dedans) de la scapula sur le grill thoracique et la rotation externe et l'extension de l'humérus crée un couple, un « essorage » de la capsule articulaire (figure4 [25]) et des tissus adjacents.

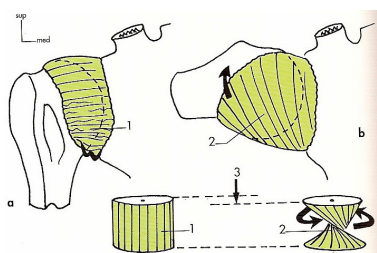


Figure4: tension de la capsule

Le grimpeur modulera l'abduction-adduction de l'épaule pour s'adapter à la distance verticale entre l'épaule et la main.

Ainsi, nous pouvons décomposer deux mécanismes : l'un s'effectuant plus ou moins dans un plan sagittal avec un couple rotatoire qui permet la mise en tension d'éléments tissulaires plus ou moins courts (→stabilité

articulaire et puissance disponible) et l'autre dans un plan frontal permet un ajustement de la distance épaule-main. (figure5)

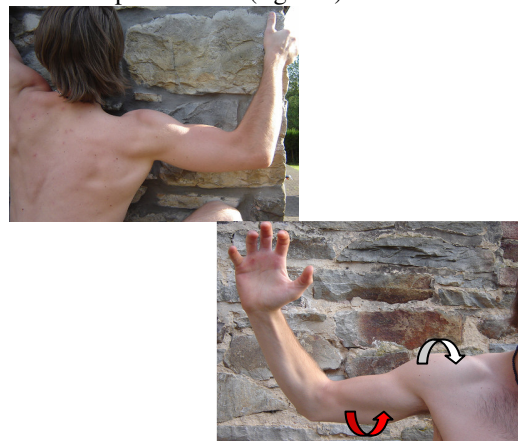


Figure 5: position du membre supérieur lors du "grimper"

Concernant, l'ouverture scapulo-humérale dans le plan frontal, le grimpeur cherchera dans la mesure du possible à se rapprocher de la position de coordination, afin d'obtenir un équilibre dans le rapport force-longueur des abducteurs-adducteurs. Cet état de tension tissulaire équilibré entre ces deux groupes antagonistes lui permet à tout moment d'ajuster son ouverture scapulo-humérale vers l'abduction ou l'adduction de manière optimale. En outre, cette attitude de fermeture en torsion du carrefour scapulo-huméral postérieur permet la mise en tension de muscles comme les trois grands (grand dorsal, grand pectoral, grand rond), le sous scapulaire, le biceps, le coraco-brachial, .... A noter qu'une fixation dans le temps de cette attitude (verrouillage du carrefour) peut entraîner les éléments ostéo-articulaires vers l'antériorité (même principe que pour une hernie discale) expliquant l'orientation vers l'avant et l'enroulement de l'épaule lors de l'observation de la statique du grimpeur.

Par ailleurs, le grimpeur aura tendance dans des phases de « grimper » difficile à essayer de « dépasser » cette mise en tension par torsion, par une antépulsion de tout le moignon de l'épaule, afin de mettre davantage encore en tension les muscles qui seront mis en œuvre par la suite dans le mouvement de traction. Vient s'ajouter à tout cela le fait que, la puissance mise au service de la traction à venir s'effectue la plupart du temps au détriment des corrections proprioceptives et donc du recentrage actif de l'épaule.

Nous voyons donc que toutes dysmobilités dans le couple scapula-humérus peuvent entraîner une perte d'efficacité du membre supérieur et engendrer à distance des compensations.

➤ Avant-bras et bras : La rotation externe de l'humérus engendre une « supination » de l'extrémité proximale de l'avant-bras qui, s'oppose distalement à la « pronation » du radius et la fixation de la main sur la paroi. Cette torsion est rendue possible par une « charnière souple » [24] et puissante : la membrane interosseuse et par la forme courbe du radius qui facilite sa rotation autour du cubitus (figure6 [28]). Par ailleurs, l'orientation des fibres de la membrane interosseuse (en obliques à direction croisées) empêche les glissements disharmonieux entre les deux os, et permet la liaison mécanique lors de la pro-supination. Celle-ci est soutenue par des muscles comme le carré pronateur et le rond pronateur qui renforcent la coaptation radio-cubitale.

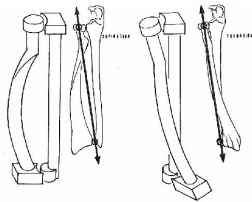


Figure 6: forme courbe du radius

Ainsi, l'attitude obtenue entre la torsion de l'avant-bras et la rotation externe de l'humérus amène les épicondyliens et les épitrochléens dans une position de tension équivalente et idéale pour assurer une fixation puissante de la main (point d'ancrage sur la paroi).

L'extension légère du poignet aide également à la flexion des doigts selon le phénomène de ténodèse. Cette extension associée à la projection en avant du radius (sous l'action des muscles longs du pouce figure7 [23]) augmentent aussi la tension des fléchisseurs.

De plus, le travail synergique des fléchisseurs et des extenseurs permet également de garantir l'intégrité articulaire du poignet.

En outre, le coude, articulation transitoire, est le siège de la flexion de l'avant-bras sur le bras qui est le résultat de la torsion, selon Piret [23] : « deux articulation sphériques opposent leur rotation au niveau d'une troisième articulation dont le caractère dominant est la flexion-extension ».

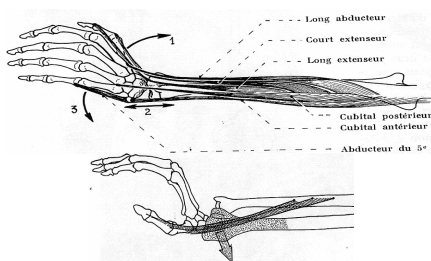


Figure 7: projection vers l'avant du radius sous l'action des muscles longs du pouce

Enfin, la main, en bout de chaîne, se trouve en position optimale pour la préhension grâce aux points fixateurs apportés par le travail de l'épaule et l'avant-bras.

Ses rôles majeurs de préhension et de maintien des prises sont possibles grâce à sa structure en voûte. Pour se former, cette dernière doit trouver un système propre à la main qui prolonge l'action des muscles longs du pouce et des cubitiaux. Elle fait alors appel respectivement aux éminences thénar et hypothénar, qui équilibrent ces muscles. Elles sont soutenues par l'action des muscles lombricaux et interosseux.

Par ailleurs, pour aider au maintien de la prise, le pouce se porte en opposition, en abduction.

Cette particularité mécanique du membre supérieur est exploitée en escalade et permet la mise en tension progressive des muscles afin d'optimiser les blocages et les mouvements de grimper. Néanmoins, la moindre perturbation au niveau du membre supérieur peut altérer cette mécanique engendrant alors des compensations qui peuvent s'avérer vicieuses à long terme.

⇒ Le rôle des fascias [31][32][33][35]: Le fascia est le « garde du corps » de l'intégrité de l'organisme en protégeant les structures des agressions externes (plaie...) et internes (tension, stress,...). Dès lors, en présence de contraintes, ce tissu se densifie (mais ne se rigidifie pas) au niveau des zones de tensions et d'hyper-sollicitation afin d'amortir le choc. Cependant, en escalade, le tissu conjonctif est en sollicitation intensive, répétée (et toujours dans le même sens de mouvement) et permanente, ce qui provoque à long terme une densification du tissu (par modification de la substance fondamentale) au niveau des zones de fortes contraintes. La conséquence est une perte de mobilité et l'apparition de barrières mécaniques le long du membre supérieur. Au début, ce changement physiologique n'est pas ressenti par le grimpeur qui, en continuant son activité, entretient l'état de tension. Cet état de stress répété se répand à toutes les structures englobées par le fascia (muscles, articulations et systèmes vasculo-nerveux, lymphatiques). Par ailleurs, la nutrition, l'élimination des déchets et la cicatrisation se trouvent alors diminuées, favorisant les stases.

Cette continuité des fascias (figure8 [32]) oriente alors davantage vers une prise en charge globale, ainsi, Bienfait affirme dans son ouvrage : « il n'y a pas de déformation unique, isolée ou localisée ; il ne peut y avoir de correction unique, isolée ou localisée » [31].

## ARTICULATIONS DES APONEVROSES DU MEMBRE SUPERIEUR

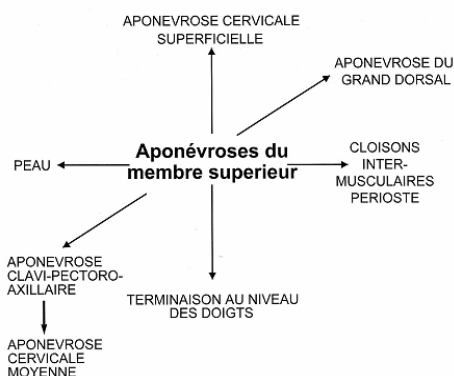


Figure 8: articulation de l'aponévrose du membre supérieur

Intérêt d'une prise en charge globale [23][32][36][37].

Le corps est un volume composé d'un seul élément qui se différencie par sa forme et son action. Ainsi le muscle influence le positionnement articulaire et, à l'inverse la fixation de l'articulation agit sur le muscle, l'ensemble étant englobé par du tissu conjonctif. Lors de l'escalade, le grimpeur sollicite intensément ces muscles dans des mouvements non habituels et parfois extrêmes. Il en résulte l'apparition de déséquilibres des forces internes qui provoquent des troubles de la coordination motrice, limitent le mouvement et produisent à terme un terrain favorable aux lésions (figure9 [37]). Or, nous avons montré précédemment l'importance du jeu des engrenages articulaires sur le geste final. La survenue de dysmobilités le long du membre supérieur modifie sa mécanique et par conséquent le geste final de flexion du doigt. C'est pourquoi, une prise en charge au-delà de la main semble une rééducation complémentaire intéressante.

Par ailleurs, l'enquête montre que 92,9% des traitements se focalisent sur la main, et les séquelles, telles que douleur, impotence ou déficit en flexion, représentent 70%.

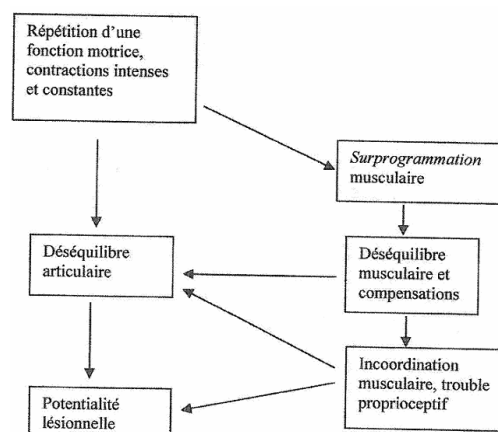


Figure 9: sur-sollicitation du système musculaire

## L'examen clinique

Lors de cet examen, le thérapeute évalue les dysmorphies, les dystonies et les dysmobilités afin d'obtenir une « cartographie » des zones en souffrance qui induisent le trouble. Dans une rupture de poulie, il va rechercher les éléments qui perturbent la mécanique du membre supérieur (musculaires, tissulaires et articulaires) et empêchent le mouvement physiologique.

La partie pratique, qui va suivre, s'appuie sur l'analyse biomécanique, l'observation et le travail sur plusieurs grimpeurs.

⇒ Bilan visuel : L'examen du grimpeur en station debout (figure10) donne un aperçu de la statique du membre supérieur et met en évidence les dysmorphies.

Le thérapeute analysera la position de l'omoplate, de la gléno-humérale, du coude et de la main.

Ainsi, chez les grimpeurs, on constate souvent un enroulement des épaules avec la tête humérale saillante et orientée en dedans. La scapula se place en antépulsion et abduction. Ceci peut s'expliquer par une surprogrammation musculaire du carrefour postérieur (muscles mono-articulaires principalement), des enrouleurs (rotation interne du moignon de l'épaule) et des antépulseurs. Toutefois, au quotidien, le bras étant en chaîne ouverte, les rotateurs internes associés à la pesanteur prennent le dessus par rapport aux rotateurs externes et aux adducteurs ce qui peut conduire à l'abduction de la scapula.

Distalement, le coude se porte souvent en flexum qui peut être engendré par l'action des épitrochléens, du biceps et du long supinateur. Enfin, la main est fréquemment orientée en pronation avec une légère flexion des doigts (les métacarpiens sont saillants) et le pouce est en

fermeture. En outre, la colonne cervicale s'oriente souvent en antépulsion.



Figure 10: observation des dysmorphies

⇒ Bilan des mobilités : Le bilan se poursuit en décubitus dorsal par un examen palpatoire, articulaire et de mobilité des fascias.

➤ L'examen des dystonies par la palpation des tissus mous se déroule de la colonne cervicale jusqu'à la main avec l'utilisation du test de rénitence (résistance du muscle à la pression). On observe chez les grimpeurs les tensions présentes au niveau de la colonne cervicale, de l'épaule, du bras, de l'avant-bras et de la main.

Ainsi, concernant les cervicales, on évalue la tension de muscles comme les scalènes, le sterno-cléido mastoïdien, les épi-épineux... Pour la ceinture scapulaire, on s'intéresse tant à la partie antérieure que postérieure avec des muscles tels que les rhomboïdes (++) , les rotateurs externes et internes (++) , le deltoïde postérieur (++) , le trapèze (les trois faisceaux), le petit pectoral, le coraco-brachial, le sous scapulaire, le sous-clavier (++) ....

Concernant le membre supérieur, on prêtera attention au biceps (++) , au brachial antérieur, aux épicondyliens (++) et épitrochléens, ainsi qu'aux éminences palmaires (thénar++) , aux lombricaux et aux interosseux... .

Ainsi, il nous appartient de passer en revue la totalité des éléments actifs et passifs du membre supérieur intervenant dans le geste sportif.

➤ L'examen des dysmobilités corrobore souvent les observations faites lors de la palpation. Il est très important de tester tous les plans de l'espace.

Ainsi, la scapula est évaluée en abduction-adduction, en sonnettes interne et externe, et en abaissement-élévation. Durant ces mouvements, le thérapeute veille aux éventuelles compensations mises en œuvre par le grimpeur.

Par exemple, il est possible lors de l'antépulsion du bras que la scapula soit de suite emmenée en abduction.

Par la suite, on prêtera attention à la gléno-humérale lors des mouvements de rotations et d'abduction-adductions principalement mais d'antépulsion-rétropulsion. La limitation d'amplitude est souvent compensée par l'articulation adjacente, par exemple lors de la rotation externe de l'humérus, une élévation de l'épaule peut apparaître. Un autre exemple, lors de la rotation interne de l'humérus, un enroulement de l'épaule peut survenir.

Plus distalement, le coude est testé en flexion-extension ainsi qu'en valgus-varus et la mobilisation du radius par rapport au cubitus renseigne entre autre sur la tension de la membrane interosseuse.

Enfin, concernant le poignet et la main, on vérifiera la mobilité et l'amplitude de chaque articulation : les deux rangées du carpe, les métacarpiens, les inter-phalangiennes et la métacarpo-phalangienne. Des tests en torsion et en décoaptation renseignent également sur la liberté de mouvement.

➤ La mobilité des fascias (superficiel, moyen et profond) est testée via des techniques de traction axiale et rotatoire, ainsi que des tests d'écoute et de mobilisation cutanée. Elles mettent en évidence des barrières mécaniques superficielles et profondes aux différents étages du membre supérieur.

### Le traitement

La rééducation découle en partie de la compréhension de la mécanique vue précédemment. Elle comprend une libération des tissus, un travail proprioceptif et une tonification : le LIBERER – le SENTIR – le MAINTENIR.

L'objectif du traitement est de retrouver un mouvement harmonieux de l'extrémité du segment jusqu'à la ceinture scapulaire en libérant et en réintégrant tous les éléments de ce membre supérieur.

Pour parvenir à cette exploitation physiologique, un travail de LIBERER des différents éléments aura pour objectif de rétablir une amplitude de mouvement correcte ainsi qu'une trophicité et de réduire les contraintes sur les articulations. Dès lors, les étapes de SENTIR et de MAINTENIR complètent la rééducation en permettant au grimpeur de conserver ces corrections à long terme et ainsi de pérenniser les nouveaux équilibres obtenus. Notons qu'un travail sur le ressenti et



l'automatisation des gestes chez le grimpeur est essentiel pour mener à terme cette rééducation. Par ailleurs, une progression en charge et en vitesse est à envisager pour se rapprocher de la pratique sportive.

Enfin, quelques conseils concernant la reprise du sport clôtureront cette rééducation, l'idéal étant d'accompagner le grimpeur sur le terrain durant les premières séances.

#### Le LIBERER :

Cette phase de la rééducation est une étape importante du traitement. Elle permet la libération des zones de dysfonctionnement et ainsi empêche une pérennisation à long terme. En effet, les tensions tissulaires mises en évidence précédemment favorisent la formation de dysmobilités et entretiennent les contraintes. Dès lors, un cercle vicieux d'auto-entretien apparaît avec un risque de fibrose musculaire et aponévrotique en cas de non-traitement. L'objectif du LIBERER est donc de rétablir des amplitudes physiologiques afin de retrouver une aisance articulaire et d'améliorer la circulation vasculo-nerveuse. A la fin de cette phase, le thérapeute doit pouvoir mobiliser passivement tout le membre supérieur sans rencontrer de barrière mécanique.

Le traitement débute en analytique en focalisant les techniques sur des éléments majeurs du membre supérieur. Par la suite, une libération plus globale peut conclure la séance avec l'utilisation de techniques comme le pompage, ou les tractions du membre supérieur.

A noter que dans ce type de lésion, un travail majeur doit être réalisé sur l'épaule (avec la scapula et la gléno-humérale) et sur l'avant-bras (avec la membrane interosseuse).

Enfin, le LIBERER au-delà du membre supérieur est tout à fait envisageable, si le bilan a mis en évidence des dysmobilités.

De nombreuses techniques peuvent être utilisées et combinées :

⇒ La technique de levée de tensions de G. Péninou [39][40] : elle a pour objectif de diminuer l'hypertonie du muscle, tout en permettant un renforcement de celui-ci en piste externe. Par ailleurs, elle assure la libération articulaire et la récupération de son amplitude. Cette technique s'intéresse aux muscles dystoniques décrits dans l'examen clinique précédent. Toutefois, certains muscles comme le deltoïde, le carré pronateur, ... sont difficiles à mettre en tension, il est alors préférable de faire appel à d'autres techniques comme Jones ou les ponçages.

En début de chaque séance, une palpation permet un contrôle des tensions et la technique

sera réalisée jusqu'à l'obtention d'un tableau équilibré.

⇒ Les techniques sur les fascias sont en fonction de la zone traitée. Le but de cette libération est de retrouver un glissement aponévrotique, d'améliorer le relâchement musculaire et de faciliter le retour à une meilleure trophicité.

➤ Les traits de Dicke autour de la scapula et au niveau du grand pectoral permettent un relâchement du fascia thoracique superficiel et de l'aponévrose de l'épaule. Ces traits peuvent être ressentis comme des brûlures par le patient et des réactions neuro-végétatives (comme des rougeurs) sont à prévoir.

➤ Des manœuvres plus ciblées comme le ponçage ou la technique « Strain and Counterstrain » (mis au point par Lawrence H. JONES) trouvent leur efficacité au niveau du V deltoïdien, du sus et du sous épineux, de l'épicondyle, de l'épitrachée et des doigts (avec un ponçage des poulies quand elles sont cicatrisées)... L'objectif de ces manœuvres est d'obtenir un relâchement spontané de la zone traitée et d'améliorer la trophicité, pour cela il est impératif de relâcher la pression très progressivement. [32][33][41]

➤ Les pressions glissements et les étirements (de bandes fasciales) sont davantage préconisés pour traiter les zones profondes et étendues comme la membrane interosseuse, l'aponévrose palmaire ou les plans de clivage du bras et de l'avant-bras.

Par ailleurs, les étirements sont préférés aux ponçages au niveau de la coulisse bicipitale qui est une zone très sensible.

Enfin, pour être efficace, ces techniques nécessitent une force importante pour traiter en profondeur et peuvent s'avérer douloureuses pour le grimpeur. Un avertissement préalable est donc suggéré. [32]

➤ Le pompage des différentes articulations (épaule, coude, poignet et doigts) offre une libération plus globale et une détente musculo-aponévrotique. Il trouve alors son intérêt après les manœuvres analytiques. [31][33]

⇒ Les mobilisations passives permettent le gain d'amplitude articulaire et une détente musculaire. Elles contribuent également à maintenir un jeu articulaire et entame le travail du SENTIR en réinformant le centre nerveux des amplitudes et du positionnement articulaire. En outre, ces mobilisations pratiquées sur l'ensemble des articulations du membre

supérieur seront lentes et dans tous les plans de l'espace avec une insistance sur les torsions. Les manœuvres de décollement de la scapula et de recentrage articulaire intéressent principalement la ceinture scapulaire. Le coude sera soumis à de simples mobilisations en flexion-extension, varus-valgus et pro-supination. Enfin, pour le poignet et les différentes articulations du doigt, des mobilisations en décoaptation, en flexion-extension, en abduction-adduction et en torsion sont préconisées. [33]

⇒ Le crocheta permet de redonner des libertés au niveau des plans de glissement. Il s'avère très utile au niveau des plans postérieurs de l'épaule (entre le deltoïde, le petit rond, le triceps et le grand dorsal par exemple), des épicondyliens, entre le biceps et le coraco-brachial,...

⇒ Les étirements passifs et les postures permettent un assouplissement des zones musculo-aponévrotiques dystoniques et par conséquent un gain d'amplitude.

Ainsi, on peut réaliser des étirements tels que la torsion du doigt, l'extension du doigt, ou un travail sur les épicondyliens, les rotateurs externes et internes d'épaule...

Concernant les postures, elles peuvent être locales ou globales, on peut ainsi réaliser une abduction-rotation interne d'épaule en gardant les doigts tendus...

En présence d'un obstacle, la position est maintenue jusqu'à la disparition de cette barrière, la progression peut ensuite continuer jusqu'à obtenir l'amplitude totale du mouvement. Toutefois, lors de la persistance de l'obstacle, d'autres techniques doivent être envisagées pour rendre possible la suite du geste.

Ces exercices de posture notamment permettent une transition avec le SENTIR et le MAINTENIR car le patient doit intégrer la position (rôle proprioceptif) et la conserver (tonification).

⇒ Le massage et les tractions axiales et rotatoires offrent une détente musculaire et aponévrotique de l'ensemble du membre supérieur.

Par ailleurs, les techniques sont orientées vers un travail d'étirement tissulaire pour lutter contre les rétractions.

Pour le massage, des manœuvres douces et appuyées sont préconisées comme le pétrissage. En outre, les tractions se doivent d'être lentes et progressives avec un maintien des positions présentant un obstacle à la poursuite du mouvement. [32][33]

SENTIR et MAINTENIR [44][46][47][48][49][50][52] :

L'objectif de ces deux étapes est de conserver à long terme une attitude corrigée lors du « grimper ». Dès lors, pour parvenir à ce maintien, un travail proprioceptif dans tous les plans de l'espace permet une réintégration au niveau central. Par la suite, des exercices de tonification et des étirements sont proposés au sportif. Il est préférable qu'ils soient courts et simples afin d'être facilement reproductibles par le grimpeur lors de sa pratique.

Enfin, une progression en charge et en vitesse est à envisager pour se rapprocher de l'activité sportive.

⇒ Éducation proprioceptive (figure 11) : Pour optimiser le travail proprioceptif, une libération totale de tous les éléments tissulaires du membre supérieur est nécessaire pour parvenir à l'objectif fixé qu'est la réintégration du membre supérieur dans tous les plans de l'espace. Ainsi, à la fin de cette étape, le sportif doit être capable de s'auto-corriger en plaçant correctement chaque articulation de son membre lors d'un mouvement. Au début, ce travail lent de posture en position corrigée laisse le temps au système nerveux central d'intégrer l'information et entame progressivement le MAINTENIR.

➤ Travail en décubitus dorsal au sol :

L'exercice au sol permet au grimpeur d'avoir un repère pour se corriger, néanmoins ce support devra rapidement céder la place à une station assise.

Cette éducation doit considérer les trois plans de l'espace avec une attention particulière pour les rotations qui, comme nous l'avons vu, sont fortement sollicitées en escalade. Le travail débutera de préférence localement avec une correction de l'épaule, du coude et de la main séparément avant d'envisager une combinaison de deux et des trois éléments. L'intérêt est d'intégrer la correction de chaque articulation individuellement avant de les associer et de se rapprocher davantage du geste sportif.

Par ailleurs, il est également important de veiller à ce que le grimpeur ne compense pas avec son tronc, avec un autre segment du membre supérieur ou en bloquant sa respiration en inspiration, c'est pourquoi on lui demande de laisser le dos contre le sol et d'avoir une respiration abdomino-diaphragmatique.

La progression suivante est une possibilité d'éducation proprioceptive. Dans cette position allongée, on demande au sportif de corriger son épaule dans toutes les positions de l'espace (adduction-abduction, flexion-extension et rotations). Ainsi, lors d'une rotation interne, l'épaule ne doit pas s'enrouler en dedans ;

l'adduction horizontale ne provoque pas de départ précoce de la scapula ; la rotation externe de l'humérus se réalise sans antépulsion du moignon de l'épaule... Une fois, cette correction de l'épaule dans l'espace intégrée par le sportif, on peut entreprendre le travail au niveau du coude avec une attention particulière lors des mouvements de pro-supination. Enfin, l'éducation du doigt comporte un travail sur l'extension de P1 seul puis associé à une flexion de P2 pour parvenir à l'enroulement du doigt (P1 étant toujours en extension), le tout en conservant le poignet contre le support.

➤ Travail en assis : Dans cette position, le repère sol n'existe plus et le grimpeur doit alors faire appel à ses sensations obtenues précédemment pour se corriger. Par ailleurs, l'apparition de la pesanteur constitue une résistance au mouvement qui permet le travail de MAINTENIR. La progression envisagée peut être la même que précédemment.



Figure 11: travail local du doigt et global du membre supérieur

⇒ Exercices de tonification: Pour les différents exercices proposés ci-dessous l'ajout d'une composante rotatoire, la variation d'amplitude, de résistances et de vitesse constitue une évolution pour le grimpeur.

➤ Tonification musculaire localisée (figure 12): Elle concerne tous les groupes musculaires intervenant dans les gestes d'escalade. Ainsi, les muscles tels que les interscapulaires, les rotateurs internes et externes, le grand dentelé, les fléchisseurs et extenseurs du coude, les épitrochléens, les épicondyliens, les muscles intrinsèques de la main,... sont tonifiés. La réalisation de ces

exercices en excentrique assure un gain de longueur (par augmentation des sarcomères en série [54]) et rend le muscle plus résistant aux contraintes mécaniques. Par ailleurs, un travail proprioceptif est associé car le patient doit à tout moment contrôler son geste et réajuster sa position. Par exemple, pour une tonification des rotateurs externes, ces muscles (en position raccourcis) freinent le mouvement vers la rotation interne avec un maintien proprioceptif de l'épaule.

La résistance du thérapeute, l'utilisation d'élastiques, de médicines balls et de bâton peuvent être utilisés pour cette tonification.



Figure 12: tonification interscapulaires

➤ Travail en chaîne : Malgré une tendance vers la flexion et la fermeture, l'ensemble des quatre chaînes doit être tonifié car nous avons montré précédemment l'action importante de muscles comme les épicondyliens ou les rotateurs externes... dans le « grimper ». Ainsi, les chaînes peuvent être travaillées seules ou associées, en tonifiant alors ensemble les chaînes d'ouverture et d'extension ou bien de fermeture avec celle de flexion.

Par exemple, pour travailler la chaîne de flexion avec un élastique, le patient place son membre en flexion de coude et d'épaule (l'élastique est tendu), il doit alors ralentir l'extension totale du membre (rétropulsion d'épaule et extension du coude) provoquée par le rappel de l'élastique.

Concernant l'ouverture et l'extension, le grimpeur se positionne en extension du membre associée à une rotation externe et une rétropulsion de l'épaule. On lui demande alors de freiner le mouvement qui l'emmène en flexion et fermeture (dans ce cas l'élastique passe sous le pied).

➤ Tonification en position de « grimper » : Cette forme de tonification assure au grimpeur une sollicitation musculaire proche de sa pratique sportive, il pourra alors plus facilement reproduire cet exercice lors de ses ascensions. L'objectif de ce renforcement est d'amener l'automatisation du geste, le grimpeur ne doit plus penser à corriger son membre, il doit le faire inconsciemment lors d'un changement de position. L'utilisation de tout

l'espace ainsi que les variations de vitesse et de résistances complètent cette tonification.

On peut alors réaliser des exercices comme le tracter (figure 13) : le patient place son membre en abduction d'épaule, flexion du coude, pronation de l'avant-bras et flexion du doigt. On lui demande alors de réaliser le mouvement de traction (flèche blanche) tout en corrigeant les différentes articulations du membre supérieur. La difficulté est apportée par des résistances qui peuvent provenir du thérapeute ou du patient lui-même. La réalisation sur une cage de rocher (ou une porte) constitue également une charge supplémentaire.

Cet exercice se réalise aussi dans des amplitudes d'épaule et de coude différentes. Les maintiens de la position sont envisageables.

Dans la même position pour augmenter la difficulté, on demande d'amener l'épaule en sonnette interne et adduction (flèche bleue de la figure 13).

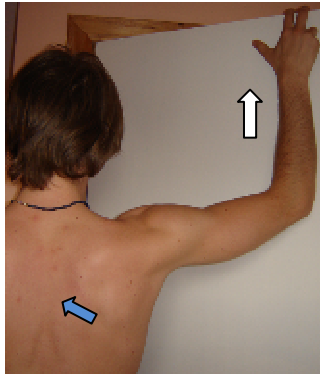


Figure 13: tonification en position de "grimper"

Des manœuvres déséquilibrantes permettent également ce travail. Ainsi, le grimpeur place son membre supérieur en position « tracter » en veillant à son placement articulaire, il doit alors le maintenir malgré les manœuvres déséquilibrantes apportées par le thérapeute.

Dans le même ordre d'idée, on place un ballon entre le soignant et le sportif qui le soutient grâce à un jeu de pression en suivant les mouvements imposés par le thérapeute (figure 14). L'objectif de cet exercice est l'automatisation du geste de l'épaule car le grimpeur occupé à contenir le ballon, « oublie » de penser à se corriger, il le fait de lui-même.



Figure 14: tonification avec ballon

Des exercices sur ballon de Klein-Vogelbach sont également possible. Par exemple, le grimpeur s'assoit sur le ballon et maintient une prise d'escalade ou un bâton. Le thérapeute entraîne alors le sportif dans différents plans de l'espace. Ce dernier doit conserver son équilibre corporel tout en corrigeant son membre supérieur.

Enfin, on peut demander au grimpeur de maintenir avec son doigt lésé une baguette en conservant un enroulement correct du doigt. Il doit alors corriger l'ensemble de son membre en maintenant la baguette.

#### Une éducation aux étirements [49]

Elle permet de lutter contre l'installation des tensions et des rétractions. Pour cela, ces exercices doivent être faits régulièrement (plusieurs fois dans la semaine). Toutefois, il est préférable de ne pas en faire juste après la séance car le muscle a besoin d'une trophicité importante.

Le sportif doit veiller à étirer l'ensemble des muscles de son membre supérieur, en insistant sur les muscles de l'épaule, de l'avant-bras et de la main. En effet, à ces niveaux, l'action musculaire est plus fine car elle place l'articulation dans la position optimale. (figure 15).





Figure 15: étirements muscles postérieurs de l'épaule, épitrochléens, interosseux...

#### La reprise du sport : [50] [10]

La reprise doit être douce et progressive, elle peut être envisagée avec l'accord du thérapeute. Toutefois, il est fortement déconseillé au grimpeur de reprendre à son niveau d'avant blessure.

Le grimpeur doit de lui-même prendre des temps de repos, veiller à respecter les échauffements, les étirements et avoir une hydratation correcte.

Par ailleurs, certaines règles sont à respecter lors de la reprise : la non-douleur est de vigueur, la position arquée comme la recherche de performance sont interdites et un strapping (figure16 [36]) est obligatoire.

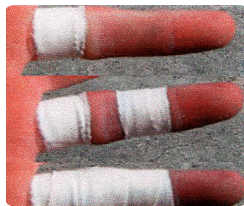


Figure 16: strapping d'une poulie

### **Conclusion**

La littérature actuelle sur les ruptures de poulies se limite à une approche locale de la lésion et n'inclue pas les perturbations présentes sur l'ensemble du membre supérieur, provoquées par la pratique intensive de l'escalade. A travers cet article, j'insiste sur la mécanique de l'ensemble du membre supérieur et des conséquences sur l'exploitation de la main pour sensibiliser les intéressés sur la réintégration du membre supérieur.

Cette approche thérapeutique me semble nécessaire pour obtenir des résultats sur le long terme et permettre au grimpeur de recouvrir la plénitude de ses sensations et le plaisir de l'escalade. Par ailleurs, il me paraît important de sensibiliser les grimpeurs sur les mesures prophylactiques comprenant principalement les étirements hebdomadaires, le travail proprioceptif pour limiter les risques de réapparition de lésion.

Enfin, il serait intéressant d'appliquer ce traitement sur un cas concret pour en valider les effets bénéfiques.

### **Bibliographie**

- 1) MOUTET F. Les poulies de l'appareil fléchisseur : anatomie, pathologies, traitement. Chirurgie de la main, 2003 ; 22:1-12.
- 2) MUGNIER C., MOUTET F. La main du grimpeur. Annales de kinésithérapie, Paris : Masson, 1992; 1:19-23.
- 3) CHANUSSOT J-C., DANOWSKI R-G. Traumatologie du sport. Paris : Masson, collection médecine du sport, 6ème édition, 2001. 361pages.
- 4) MOUTET F., CORCELLA D., PRADEL P., FORLI A. (SOS main, CHU Grenoble). Prise en charge chirurgicale des lésions des poulies digitales chez le grimpeur. Sport Med', janvier 2007 ; 188:11-13.
- 5) VOULLIAUME D., FORLI A., PARZY O., MOUTET F. Réparation des ruptures de poulie chez le grimpeur. Chirurgie de la main, 2004 ; 23 : 243-248.
- 6) LECLERCQ C., GILBERT A. Lésion de la main chez le sportif. Paris : Frison-roche, 1996. 248pages.
- 7) MEEUSEN R. Lésion du poignet et de la main. Série revalidation sportive. édition Kuwer, 1999.
- 8) ROLOFF I., RAINER SCHOFFL V., VIGOUROUX L., QUAINÉ F. Biomechanical model for determination of the forces acting on the finger pulley system. Journal of biomechanics, 2006; 39: 915-923.
- 9) ARORA R., FRITZ R., ZIMMERMANN R., LUTZ M., KAMELGER F., KLAUSER A.S., GABL M. Reconstruction of the digital flexor pulley, system : a retrospective comparison of two methods of treatment. Journal of hand surgery (European volume), 2007; 32E:1: 60-66.
- 10) LELARDOUX S., LOUBRIAT J-W. L'escalade sportive. Kinésithérapie la revue, octobre 2006 ; 58:10-13.
- 11) SCHWEIZER A., FRANK O., OCHSNER P.E., JACOB H.A.C. Friction between human finger flexor tendons and pulleys at high loads. Journal of biomechanics, 2003; 36: 63-71.
- 12) SCHWEIZER A.: Biomechanical effectiveness of taping the A2 pulley in rock climbers. Journal of hand surgery (British and European volume), 2000; 25B:1: 102-107.
- 13) SCHWEIZER A. Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. Journal of biomechanics, 2001; 34: 217-223.
- 14) VIGNOUROUX L., QUAINÉ F., LABARRE-VILA A., MOUTET F. Estimation

of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. *Journal of biomechanics*, 2006 ; 39: 2583-2592.

15) DELAQUAIZE F. Tendons fléchisseurs en zone II : réparation et rééducation méthodes actuelles et évolutions des idées. Diplôme inter-universitaire de rééducation et appareillage en chirurgie de la main. Grenoble : université Joseph Fourier, année 2001-2003.

16) CHERY B. La main du Grimpeur - Etude articulaire et musculaire entre des grimpeurs de haut niveau et une population référence. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur Kinésithérapeute. Région Lorraine : Institut de Formation en masso-kinésithérapie, année 2004. 45pages.

17) LE JONCOUR A. Pathologies des doigts liées à la pratique de l'escalade chez des grimpeurs de haut niveau. Mémoire réalisé en vue d'obtenir le titre de licencié en kinésithérapie. Louvain : université catholique, année académique 2005-2006. 82pages.

18) PARZY O. Rupture de Poulies Digitales Opérées chez les Grimpeurs de Haut Niveau. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur Kinésithérapeute. Université Grenoble1, année 2003. 53pages.

19) BELLEUDY P. Championnats et coupe du monde d'escalade « des murs des cités jusqu'au toit du monde ». *Médecins du sport*, septembre-octobre 2005 ; 73: 5-10.

20) DE CONNINCK O., FONTAINE E. Les fondamentaux de l'escalade : initiation et perfectionnement. Paris :Amphora sports, septembre 2005. 192pages.

21) VERDIER J-P., avec la participation de ANGONIN D. Escalade : s'initier et progresser. Paris :amphora sports, février 2004. 352pages.

22) LEPAGE D. Dossier technique et didactique de l'escalade. Dossier de Maîtrise S.T.A.P.S, "Education et Motricité. Université Paris-sud (ORSAY), année 1998-1999. 33pages.

23) PIRET S., BEZIERS M. La coordination motrice, aspect mécanique de l'organisation psycho-motrice de l'homme. Paris : Masson et Cie, 1971. 185pages.

24) KAPENDJI A.I. Physiologie articulaire, tome1 épaule coude pronosupination poignet main. Paris :Maloine, 6ème édition, 2005. 351pages

25) DUFOUR M. Anatomie de l'appareil locomoteur, Tome II, membre supérieur, ostéologie, arthrologie, myologie, neurologie, angiologie, morpho-topographie. Paris : Masson, 2002. 448pages

26) BUSQUET L. Les chaînes musculaires, Tome 1, tronc, colonne cervicale et membres

supérieurs. Paris : Frison roche, 5ème éd.rev.et act, 2000. 159pages.

27) CASTAING J. Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur, tome1, le complexe de l'épaule. Paris : Vigot, 1960. 45pages.

28) CASTAING J. Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur, tome2, la pro-supination. Paris :Vigot, 1960. 32pages.

29) CASTAING J. Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur, tome3, les doigts. Paris : Vigot, 1960. 44pages.

30) VANDERVAEL F. Analyse des mouvements du corps humain. Liège : Desoer, 1979. 168pages.

31) BIENFAIT M. : Fascias et pompages. Cahiers de formation continue du kinésithérapeute thérapie manuelle. Paris : Spek, 1995. 143pages.

32) PAOLETTI S. Les fascias rôle des tissus dans la mécanique humaine. Vannes : Sully, 2ème édition, 2005. 301pages.

33) FRIED P. Membre supérieur et thérapie manuelle, Tome2 coude poignet syndrome, cahier de formation continu du kinésithérapeute thérapie manuelle. Paris : Spek, 1990. 100pages.

34) COURRAUD C. Fasciathérapie et sport le match de la santé, méthode Denis Bois. Paris : Point d'appui, 1999. 213pages.

35) DEBROUX J-J. Les fascias du concept au traitement. Paris : Olivier éditeur, 2002. 269pages.

36) LOUBRIAT J-W., BEYLER C. Prise en charge du grimpeur blessé. *Kinésithérapie la revue*, octobre 2006 ; 58:19-22.

37) BEYLER C. Pratique intensive de l'escalade et dysmorphies : interprétations kinésithérapiques et projection vers la prévention. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de licencié en Kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, juin 2005. 66pages.

38) PETERSON-KENDALL F., Mc CREARY-KENDALL E., GEISE-PROVANCE P. Les muscles, Bilan et étude fonctionnels, Anomalies et douleurs posturales. Paris : Pradel, 1995. 440pages.

39) PENINO G. Manuel de kinésithérapie pratique, technique de levée de tension, II-2-13065. Paris :Lamarre, 1999.

40) JACOB C. Initiation aux levées de tensions. Formation pour les 4èmes années en kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, année 2007-2008.

41) DEBROUX J-J. Relâchement myofascial spontané et tender points. Paris : Frison-roche, 1999. 197pages.

42) FRIED P. Travail du fascia et thérapie manuelle. *Kinésithérapie scientifique*, juin 1995 ; 346: 7-15.

- 43) COURRAUD C. Les fascias et leur clinique en pratique sportive. Kinésithérapie scientifique, juillet 2003 ; 435: 37-39.
- 44) REIS D. Initiation à la rééducation posturale globale (RPG). Formation pour 4<sup>ème</sup> année en kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, année 2007-2008.
- 45) SOUCHARD P. RPG : principes et originalité de la rééducation posturale globale. St Mont : Le Pousoë, 2003.
- 46) MICHAUT A., POUSSON M. Adaptations mécaniques et neurophysiologiques induites par la sollicitation musculaire excentrique : l'effet protecteur. Science et sport, juin 2004 ; 286-295.
- 47) JACOB C. Examen clinique sur ballons de Kleinvogelbach. Formation pour les 4<sup>èmes</sup> années en kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, année 2007-2008.
- 48) KLEIN-VOGELBACH S. Gymnastique sur ballon. Paris : Masson, 1994. 201pages.
- 49) GEOFFROY C. Guide des étirements du sportif. Paris : Collection Sport+, 4<sup>ème</sup> édition, 2004. 293pages.
- 50) HELIAS F. Conseils spécifiques de préparation à l'escalade – prévention et réentraînement après blessures. Kinésithérapie la revue, octobre 2006 ; 58: 23-28.
- 51) DOLTO B.J. Le corps entre les mains. Paris : Hermann, 2007. 359pages.
- 52) MICHAUT A., POUSSON M. Adaptations mécaniques et neurophysiologiques induites par la sollicitation musculaire excentrique : l'effet protecteur. Science et sport, 2004 ; 286-295.
- 53) COMETTI G. Les limites du stretching : intérêt des étirements avant et après la performance. EPS, novembre-décembre 2003 ; 304 : 29-33.
- 54) COMETTI G. Les limites du stretching pour la performance sportive : les effets physiologiques des étirements (2<sup>ème</sup> partie). Sport med', octobre 2003 ; 155 : 5-15.
- 55) BEUGNET H. Cours de biomécanique. Cours de 3<sup>ème</sup> année de kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, année 2006-2007.
- 56) COOS H. Examen et bilan du membre supérieur et du rachis. Cours de 3<sup>ème</sup> année de kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, année 2006-2007.
- 57) PODLECKI C. Massage. Cours de 3<sup>ème</sup> année de kinésithérapie. Libramont : Haute Ecole Robert Schuman, année 2006-2007.