

La main du grimpeur

Climber's Hand

François Moutet

Professeur émérite Université Grenoble Alpes.

Résumé

L'alpinisme consiste à gravir des montagnes, l'escalade à gravir une paroi rocheuse. La seconde a longtemps servi d'entraînement au premier. Aujourd'hui elle recherche la difficulté pour elle-même en une véritable chorégraphie verticale. Les pieds assurent l'adhérence et la propulsion, les mains l'équilibre et la traction. L'importance de la main est évidente. L'engouement pour cette activité va croissant et la Fédération Française de Montagne et d'Escalade revendiquait plus de 100.000 licenciés en 2019.

La pratique régulière génère des pathologies variées. Certaines sont quasi spécifiques : les ruptures de poulies, d'autres contingentes : lésions adaptatives, gelures, arthrites des articulations inter phalangiennes proximales, fractures de stress du jeune grimpeur. 60% des accidents surviennent lors de la pratique en salle (indoor).

Les difficultés augmentent : Le 6ème degré, longtemps considéré comme la "limite des possibilités humaines" est dépassé, nous en sommes aujourd'hui au 9ème.

Les prises demeurent : Elles sont 3 : 1/La prise en "crochet" qui s'apparente à la prise d'une poignée de valise. 2/La prise en "tendu" qui met le doigt en quasi extension. 3/La prise en "arqué", IPP en hyper flexion, délétère pour les poulies A4 et surtout A2.

Des modifications morphologiques, radiographiques, cutanées et vasculaires se font jour et sont contingentes.

La prévention demeure le meilleur des traitements. Le grimpeur doit prendre soin de son état général (rapport poids/puissance), suivre des règles hygiéno-diététiques élémentaires et se méfier du surentraînement.

Mots clés

- ◆ Grimpeur
- ◆ Main
- ◆ Ruptures de poulies
- ◆ Main du grimpeur

Abstract

Rock-climbing is developing. The increasing number of climbers in climbing facilities accounts for that phenomenon leading to an increasing number of hand injuries (60% occur in indoor practice!). The intensive repetition of specific tough movements may lead to progressive or sudden traumas or micro-traumas on the different structures of the hand. Some lesions are quite specific (pulley ruptures at the flexor tendon sheath level) mainly due to a particular type of grip "the crimp grip".

Other lesions are contingent (morphological, radiological, cutaneous and vascular) or unspecific (frostbites).

The training has to be personalized and measures of warm up may prevent this type of injury from reoccurring.

Keywords

- ◆ Climber
- ◆ Hand
- ◆ Pulley ruptures
- ◆ Climber's hand lesions

Correspondance

François Moutet, PU-PH, Professeur émérite

Service de chirurgie plastique et réparatrice des membres, chirurgie de la main - CHU Grenoble Alpes - Avenue Maquis du Grésivaudan 38700 La Tronche.

E-mail : francois.moutet@univ-grenoble-alpes.fr - Tel : 04 76 76 75 75

Introduction

L'alpinisme consiste à gravir des montagnes pour en atteindre la cime, l'escalade à gravir une paroi rocheuse pour en atteindre le sommet. Longtemps la seconde a servi d'entraînement au premier. Le froid, le vide et l'altitude associés à la difficulté intrinsèque de la voie définissent l'engagement.

L'escalade sportive aujourd'hui cherche la difficulté pour elle-même, les points d'assurance sont multiples et la chute fait partie intégrante de la progression. En dehors de la pratique en "solo" (escalade libre sans assurance) l'engagement est faible. Il s'agit dans l'escalade moderne et la compétition d'une véritable chorégraphie verticale. Dans cette progression quadrupédique les pieds assurent l'adhérence et la propulsion, les mains l'équilibre et la traction.

Quel que soit le mode de pratique, la main revêt donc, pour le grimpeur, une importance évidente. Ce sujet peut sembler étroit mais intéresse chirurgiens de la main et rééducateurs, médecins du sport et biomécaniciens, électromyographistes et physiologistes. Les articles sur le sujet publiés par l'auteur l'ont été dans 12 revues de spécialités différentes montrant, si besoin, la variété du public scientifique concerné. Dans le public tout venant, l'engouement pour l'escalade va croissant et la Fédération Française de Montagne et d'Escalade (FFME) affichait 103.454 licenciés sur la saison 2018-2019.

Étymologiquement le verbe "gripper" (saisir) apparaît au début 15ème siècle dans la langue française et laissera en anglais le terme "grip" (la prise). À la fin du 15ème siècle, la forme nasalisée de "gripper" donne "grimper" (se hisser péniblement).

L'usage de la main par le grimpeur génère des pathologies variées [1-4]. Certaines sont quasi spécifiques : ce sont les ruptures des poulies du canal digital. D'autres, relativement fréquentes, sont contingentes : lésions adaptatives chroniques, gelures, arthrites des articulations inter phalangiennes proximales (IPP), fractures de stress des IPP du jeune grimpeur. D'autres enfin sont peu spécifiques et n'ont de particulier que le contexte dans lequel elles surviennent, nous ne nous y attarderons donc pas (entorses, fractures, luxations, plaies diverses).

Les temps changent

En août 1938 Ricardo Cassin, Luigi Esposito et Ugo Tizzoni mettaient trois jours pour vaincre un des derniers problèmes des Alpes : la face nord de l'Eperon Walker aux Grandes Jorasses. Le 16 août 2018 Dani Arnold la parcourait en 2h04 en solitaire !

Aujourd'hui plus de 60% des accidents d'escalade surviennent lors de la pratique en salle (indoor) et entraînent le plus souvent des lésions spécifiques (ruptures de poulies). En effet, cherchant la plus grande difficulté, des mouvements identiques nécessaire aux passages clefs (crux) sont répétés un grand nombre de fois. Cet entraînement spécifique génère une pathologie de microtraumatismes et de surcharge (over use syndrome). Cette pratique indoor, en théorie très sécurisée, se pratique sur des structures artificielles d'escalade (SAE) dont le montage permet toutes les combinaisons imaginables (Fig.1). Enfin au sein même de l'escalade sportive moderne des spécialisations voient le jour : vitesse, difficulté, bloc etc. Aux Jeux Olympiques de 2020 à Tokyo ces trois pratiques combinées sont retenues comme sport de démonstration.

Les difficultés augmentent

En 1925 Willo Welzenbach invente la classification en 6 degrés de difficulté. En 1935 Lucien Devies, président du Club Alpin français (CAF), qualifie le 6ème degré de "limite des possibilités humaines". Des pondérations a, b et c sont venues affiner la description de la difficulté croissante au sein de chaque degré. Nous en sommes aujourd'hui au 9ème degré pondéré "c". En septembre 2017 dans la grotte d'Hanshallaren à Flatanger (Norvège), Adam Ondra ouvre "Silence" cotée 9c. C'est la voie la plus difficile à ce jour. Elle a nécessité 7 séjours et plusieurs centaines d'essais, répétant les passages les plus difficiles sur des SAE construites spécifiquement pour l'occasion. A un moindre niveau, les pratiquants s'entraînent régulièrement sur des murs d'escalade en salle, sur ces mêmes SAE (Pan Gulich, Campus Board etc.) dont ils font varier les difficultés. L'entraînement représente un temps important de la pratique et on le définit comme intensif s'il est réalisé plus de 3 heures par jours, 4 jours par semaine [5].

Les prises demeurent

Quelle que soit la pratique, trois prises "fondamentales" sont utilisées dans la progression. Suivant la position du doigt, canal digital et poulies sont sollicités de façon différente [6-7] (Fig. 2) :

- La prise en crochet : elle s'apparente à la prise d'une poignée de valise. Elle est sûre, fiable et forte, mais de moins en moins réalisable au fur et à mesure que la difficulté s'accroît et que la taille des prises diminue ;
- La prise en tendu : elle se pratique, comme son nom l'indique, le doigt en quasi extension, répartissant au mieux les contraintes le long du canal digital. Elle est sûre, forte et fait intervenir l'adhérence pulpaire en bout de doigt de façon primordiale ;
- La prise en arquée : elle met l'IPP (articulation interphalangienne proximale) en hyperflexion et l'IPD (articulation interphalangienne distale) en hyper-extension. Elle est forte et rassurante pour le grimpeur mais délétère pour les poulies A2 et A4 sur lesquelles se reportent toutes les contraintes. Cette position arquée est la grande pourvoyeuse de rupture de poulies chez le grimpeur.

La modélisation biomécanique des contraintes exercées sur le canal digital requiert une étude complexe faisant intervenir cinétique, cinématique, anthropométrie et électromyographie afin d'évaluer l'optimisation dynamique du mouvement et l'évaluation des forces musculaires agonistes et antagonistes [8, 9]. La contrainte exercée sur A4 en tendu est de 60 Newtons et de 178 N en arqué, soit 3 fois plus. Celle exercée sur A2 en tendu est de 8 Newtons et aux environs de 210 N en arqué soit 26,3 fois plus. Il faut noter que la résistance à la rupture d'une poulie "normale" chez le sujet sain est estimée à +/- 200 N. En arqué, le grimpeur est donc en permanence proche du point de rupture de ses poulies (Fig.3).

Les lésions spécifiques

Les lésions des poulies

Pour les raisons biomécaniques évoquées ci-dessus les ruptures de poulies surviennent essentiellement en position arquée. Elles sont fréquentes et l'on admet que près de 2/3 des grimpeurs, a eu ou aura, une rupture de poulie dans sa période d'activité.

La symptomatologie en est assez stéréotypée

Elle associe une douleur brutale à la face antérieure de la phalange proximale (P1) en regard de A2 dans 70% des cas ou en regard de A4 au niveau de la phalange intermédiaire (P2). La douleur irradie latéralement mais permet parfois au grimpeur de finir la voie entreprise. Elle s'associe à un claquement net, franc et audible dans 75% des cas par le grimpeur lui-même mais aussi, régulièrement, par son assureur quelques mètres en contre-bas. Dans 70% des cas la rupture intéresse A2 du 4ème doigt. La douleur, souvent tolérable et atténuée par une cryothérapie précoce, la négligence, l'attentisme et l'ignorance, font souvent consulter assez tardivement, au-delà de 15 jours à trois semaines. Il faut noter qu'une meilleure information des grimpeurs, en clubs ou associations, rend ces diagnostics de plus en plus précoces.

L'examen recherche le maître signe

L'existence d'une corde d'arc des fléchisseurs en position arquée. Les fléchisseurs sont alors projetés en avant, aisément palpable en sous cutané par le doigt de l'examineur [10, 11].

L'imagerie viendra confirmer si besoin un examen clinique incertain

Elle peut recourir au Scanner, à l'IRM ou à l'échographie à la recherche de la corde d'arc. Scanner ou IRM objectivent, en blanc et noir (scanner) ou en noir et blanc (IRM), la projection antérieure de l'appareil fléchisseur non contenu par le canal digital en position arquée (Fig. 4). L'examen doit être bilatéral et comparatif et permet la localisation précise de la poulie rompue. Le scanner, certes irradiant, reste plus accessible et moins onéreux que l'IRM [12, 13]. L'échographie, accessible, non invasive et peu onéreuse, a pour elle l'objectivation dynamique de la rupture. Réalisée en phase aqueuse elle permet d'être précise et un décollement supérieur de 2mm du squelette phalangien signe la rupture de la poulie A2 ou A4. Le décollement de A3, poulie mobile avec l'IPP, n'est pas pris compte sa rupture isolée s'avérant de plus théoriquement impossible [14, 15].

La décision thérapeutique

Elle se prend sur l'existence ou non de la corde d'arc traduction de la rupture de la ou des poulies (Tab. I). La rupture complète indique théoriquement une réparation chirurgicale. L'indication dépend en fait du niveau du grimpeur et le seuil à retenir nous paraît être un minimum de 7b/c à vue, c'est-à-dire sans travail préalable de la voie. Il faut aussi tenir compte de sa pratique, de ses désirs et de sa compliance potentielle au traitement imposé. Une rupture partielle pousse à un traitement conservateur avec la mise en place d'une bague externe rigide de protection pour 45 jours. Cette période doit exclure tout mouvement contre résistance au niveau du doigt appareillé et donc bien sûr s'accompagner d'un arrêt total de l'escalade pendant cette période. Le geste chirurgical lui, oblige à un appareillage de protection de la réparation poignet fléchi à 30° et MP à 60° pendant 45 jours suivi pendant 45 jours encore d'une protection de la poulie reconstruite par une bague rigide externe de protection identique au traitement conservateur. Ceci implique donc 90 jours d'arrêt complet de l'escalade, chose qu'il faut bien faire entendre au grimpeur pas toujours enclin à la patience. Enfin le délai par rapport à la rupture influe sur le choix thérapeutique. Souvent vue plusieurs semaines après sa rupture, comme dit plus haut, la poulie est alors totalement incompetente et ne peut être suturée directement : la reconstruction par greffe s'impose. Dans les cas vus précocement la suture directe de la poulie rompue peut être réalisée avec de bons résultats [16].

Les techniques chirurgicales de reconstruction

La réparation secondaire des poulies du canal digital, lors des lésions de l'appareil fléchisseur, peuvent faire appel à des techniques qui toutes utilisent comme matériel d'apport une greffe tendineuse libre : *palmaris longus*, plantaire grêle, FCS etc... (Bunnell- Boyes, Welby-Klienert, Schneider, Karev, Leviet-Ebelin etc.) [17, 18]. Une poulie lésée à moins de 50% de sa longueur conserve ses vertus mécaniques fonctionnelles pour un sujet "ordinaire". Les performances qu'impliquent l'escalade de haut niveau ne peuvent s'en satisfaire [19].

Chez le grimpeur, la technique la plus adaptée nous semble être celle de Lister [20]. Elle utilise une greffe libre de LADC (ligament annulaire dorsal du carpe) prélevé aux dépens du 4ème compartiment des extenseurs au dos du poignet par une courte incision transversale. Les séquelles sur la zone donneuses sont minimales (cutanées) et non mécaniques. De structure fibreuse annulaire synovialisée, ce greffon se rapproche au mieux du tissu que l'on prétend reconstruire. Par contre la quantité "prélevable" est limitée (environ 2 x 2 cm) permettant de reconstruire la poulie A2 ou A4 mais difficilement plus. En cas de rupture multiple (A2 +/- A3 + A4), il convient de recourir aux techniques conventionnelles citées plus haut, pour compléter la reconstruction. Le greffon est mis en place face synovialisée contre l'appareil fléchisseur (Fig 5). La fixation se fait aux moignons latéraux de la poulie rompue au ras du périoste phalangien et pratiquement toujours utilisable [21]. La fixation latérale, à points séparés de fils résorbables, type PDS® 4x0, est simple techniquement. Par contre la fixation médiale (versant opératoire) est plus délicate car elle doit être réalisée doigt fléchi amenant l'appareil tendineux au plus près du squelette. L'espace est étroit et les points doivent être passés avant d'être noués, l'aide opératoire maintenant le doigt fermement en flexion (Fig.5 d) [17].

L'appareillage post opératoire est fondamental comme déjà évoqué. La reconstruction doit être protégée par la mise en détente des fléchisseurs par une attelle en flexion du poignet à 30° environ, les MP fléchies à 60/80°. La poulie reconstruite est protégée directement par une bague rigide externe en regard (Fig. 6). La mobilisation passive et active, douce et aidée, du doigt reconstruit est alors entreprise. En cas de rupture multiple la bague de protection peut être double (A2 et A4). Ce protocole est mis en place pour les 45 premiers jours. Pendant les 45 jours suivants seules sont conservées les bagues de protection externes mais sans autorisation de reprise de l'activité. Celle-ci n'est envisagée que de façon douce et progressive au-delà du 3ème mois [22].

Les précautions hygiéno-diététiques

Lors de la reprise et qui devraient être celles de la pratique régulière, sont simples mais souvent négligées. Le grimpeur doit s'étirer et s'échauffer avant de débiter son escalade quelle qu'elle soit. Il doit aussi s'hydrater régulièrement pendant l'effort. Il doit avoir conscience que le strapping (bagues de strappal®) au tour des phalanges n'est que "l'anxiolytique du grimpeur". Il ne peut, ni prévenir une rupture de poulie, ni remplacer une poulie rompue, ni protéger une poulie reconstruite [23]. Il faut aussi éviter l'arqué, ce qui est beaucoup plus facile à dire qu'à faire en pratique ! Il faut éviter le "spécifique", répétition forcenée du même mouvement sur la même prise dans la même position. La pratique indoor dans les villes où les salles d'escalade se multiplient, conduit souvent les grimpeurs à négliger ces conseils. Ils vont directement du coffre de leur voiture, stationnée devant la salle et où ils prennent leur corde et leurs chaussons d'escalade, au pied de la voie qu'ils ambitionnent. Sans aucune préparation ni échauffement, les conditions de rupture de poulies sont remplies...La chose est à dire et redire [5].

Les résultats

Les résultats de la prise en charge, tant chirurgicale que conservatrice de ces lésions, sont bons. 80% des grimpeurs retrouvent au moins leur niveau et plus de 40% progressent. Il s'agit toujours là de ceux qui avaient le niveau le plus élevé avant l'accident et qui restent les plus motivés. Ce résultat n'est acquis qu'en 3 à 6 mois en moyenne. Pour les professionnels ou les compétiteurs, cela compromet la saison en cours ou certains rendez-vous importants et n'est donc pas toujours facilement accepté. La persistance de douleurs en position arquée est fréquente (25%), mais celles-ci restent tolérables et peu ou pas gênantes dans la pratique. Globalement 80% des patients se disent satisfaits ou très satisfaits [24].

Au total

Toutes les ruptures de poulies ne sont pas complètes et toutes les ruptures complètes d'une seule poulie ne sont pas forcément à opérer. Il faut agir au cas par cas en fonction des désirs du grimpeur et du contexte personnel.

Les lésions contingentes

La main chronique du grimpeur

La pratique régulière et ou intensive de l'escalade induit des modifications progressives de la main du grimpeur [5, 25, 26]. En dehors de tout accident, on retrouve des modifications diverses :

Morphologiques

Les IPP du grimpeur ont volontiers un aspect globuleux associé à un déficit de quelques degrés en extension. La raison peut en être la sommation de micro ruptures capsulo-ligamentaires à ce niveau, induites par les contraintes itératives et violentes appliquées sur ces articulations, notamment lors des mouvements de "jetés" qui soumettent l'articulation à une violente contrainte instantanée à la réception de ce qui est en fait un saut vertical. Ces micro-ruptures induisent des micro-cicatrices cumulées, facteurs de rétraction rendant compte de l'augmentation de volume de l'article et de sa perte de quelques degrés d'extension. Quasiment indolore, le phénomène est très souvent observé chez le grimpeur de bon et très bon niveau [5].

Radiographiques

En dehors même de ruptures de poulies, un épaississement cortical phalangien est souvent retrouvé au niveau de P1 et de P2. Ceci est dû aux forces de traction appliquées sur les insertions phalangiennes des poulies, entraînant parfois de véritables diverticules de traction aux insertions latérales de A2 et de A4. Les conséquences en sont minimes voire nulles et le plus souvent la découverte fortuite (Fig. 7).

Cutanées

Afin d'augmenter l'adhérence de ses mains, le grimpeur use et abuse de magnésie (carbonate de magnésium). À grand pouvoir de dessiccation, elle rend la peau particulièrement sèche et peu en favoriser la dermabrasion. De plus dès 2008 a été soulevé le problème de l'inhalation prolongée de ces microparticules dans des salles insuffisamment aérées. Lors de l'effort le grimpeur inhalant fortement l'air ambiant, il laisse ces microparticules pénétrer loin dans ses alvéoles pulmonaires avec des conséquences potentielles égales à celle de l'industrie en même situation [27]. Souvent cette magnésie est désignée à tort par le terme de "Pof". Celui-ci devrait en fait être réservé à la résine de colophane (végétale) aux mêmes vertus d'adhérence mais sans dessiccation de la peau et beaucoup moins délétère. En ces temps de Covid-18 la rançon du déconfinement progressif impactera sans doute la réouverture des salles d'escalade avec d'importantes précautions d'hygiène pour éviter un rebond de l'épidémie : limitation des entrées, port de masques, magnésie liquide (le solvant du carbonate de magnésium étant identique à celui du GHA : Gel hydroalcoolique).

Vasculaires

A la pression, on note de façon régulière un blanchiment plus marqué des pulpes sans qu'il y ait particulièrement de troubles vasculaires identifiés, ni de sensibilité au froid plus marquée en dehors des séquelles d'ancienne gelures.

Les gelures

Trop souvent le parallèle entre brûlures et gelures laisse à penser qu'il s'agit de lésions comparables. Il n'en est rien. La congélation de l'eau intracellulaire détruit toutes les cellules des tissus de l'article touché. Il ne s'agit donc pas d'une lésion superficielle mais bien d'une destruction tissulaire complète. E. Cauchy a montré l'intérêt de la scintigraphie au technétium marqué entre le 5 et 7ème jour suivant l'accident [28]. Elle permet de faire la part des tissus irrémédiablement détruits et de ceux qui seront revascularisés. Ceci autorise les amputations distales nécessaires sans attendre les 45 jours fatidiques qu'imposait l'ancienne attitude beaucoup plus attentiste. Douleur, risque de diffusion de l'infection et odeur des tissus nécrosés en voie d'élimination en sont réduits d'autant. Les 4 stades proposés à Chamonix par Cauchy permettent de plus, au niveau de la main, d'avoir une idée pronostique fiable si les traitements actuellement disponibles (de l'aspirine à la thrombolyse en passant par l'Iloprost), sont mis en route à temps. (Fig. 8). Les gelures itératives sont absolument à éviter. Il faut insister sur cette nécessité d'éviction des basses températures pendant au moins six mois à un an, même pour les stades 1 et 2, au risque de voir un autre épisode aggraver de façon considérable les lésions initiales.

Les arthrites d'IPP des doigts longs

Elles s'observent essentiellement dans l'escalade des cascades de glace. La progression sur la surface glacée très raide se fait grâce à 4 points d'appuis : Une paire de crampons aux pieds, une paire de piolets ancre en mains. Les mouvements répétés de martèlement, pour perforer la glace, piolet tenu poing fermé, peut user le gant au niveau de la face dorsale des IPP et perforer la peau que le froid rend insensible (Fig. 9). La contamination de la plaie est fréquente pouvant entraîner une arthrite sous-jacente et qu'il faut traiter comme telle (mise à plat, lavage articulaire, antibiothérapie si besoin). Pour éviter ce type d'incidents les fabricants mettent sur le marché des piolets ergonomiques dont le manche, équipé d'une poignée, protège le dos des IPP.

Les fractures décollement du jeune grimpeur

L'accessibilité et le caractère ludique de l'escalade indoor explique son succès dans les sports scolaires. Des compétitions existent avec de jeunes, voire très jeunes pratiquants de haut niveau (8c à 12 ans !). On peut observer chez eux des

fractures épiphysaires de stress, le plus souvent de stade II et III de Salter et Harris (Fig. 10). L'évolution en est favorable après traitement conservateur le plus souvent et si l'activité est interrompue entre 3 à 12 mois jusqu'à récupération de l'indolence. C'est souligner ici l'importance de l'encadrement pour être à l'affût de ces diagnostics et éviter les complications de ce type de lésions dont le nombre croît régulièrement [29, 30].

Conclusion

La prévention demeure le meilleur des traitements. Le grimpeur doit prendre soin de son état général (rapport poids/puissance), suivre des règles hygiéno-diététiques élémentaires et se méfier du surentraînement.

Conflits d'intérêts

L'auteur ne déclare aucun conflit en rapport avec cet article.

Références

1. Mugnier C, Moutet F. La Main du Grimpeur. Ann Kinésither. 1992, 19, 19-23.
2. Kubiak EN, Klugman JA, Bosco JA. Hand injuries in rock climbers. Bull NYU Hosp Jt Dis. 2006, 64: 172-177.
3. Woollings KY, McKay CD, Emery CA. Risk factors for injury in sport climbing and bouldering: a systematic review of literature. Br J Sports Med. 2015; 49: 1094-1099.
4. Neuhofer A, Henning FF, Schöffl I, Schöffl V. Injury risk evaluation in sport climbing. Int J Sports Med 2011; 32: 794-800.
5. Gneccchi S, Moutet F (ed.) in Hand and Fingers Injuries in Rock Climbers. Springer-Verlag France Ed. 2015 (236 pages).
6. Doyle JR. Anatomy of the flexor tendon sheath and pulley system: a current review. J Hand Surg Am. 1989, 14: 349-351.
7. Moutet F. Les poulies de l'appareil fléchisseur. Anatomie Pathologies Traitement. Chirurgie de la main, 2003, 22, 1-12.
8. Lin GT, Cooney WP, Amadio PC, An KN. Mechanical properties of human pulleys. J Hand Surg Br. 1990, 15: 429-434.
9. Vigouroux L, Quaine F, Labare-Vila A, Moutet F. Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. Journal of Biomechanics, 2006, 2583-2592.
10. Moutet F, Guinard D, Gérard P, Mugnier C. Les ruptures sous-cutanées des poulies des fléchisseurs chez les grimpeurs de haut niveau. A propos de douze cas. Ann Chir Main. 1993, 12: 182-188.
11. Schöffl VR, Schöffl I. Injuries to the flexor pulley system in rock climbers: current concepts. J Hand Surg Am. 2006, 31: 647-654.
12. Le Viet D, Rousselin, Roulot E, Lantieri L, Godefroy D. Diagnosis of digital pulley rupture by computed tomography. J Hand Surg Am. 1996, 21: 245-248.
13. Galb M, Lener M, Pechlaner S. Rupture or stress injury of the flexor tendon pulley? Early diagnosis with MRI. Handchir Microchir Plast Chir, 1996, 28: 317-321.
14. Klauser A, Bodner G, Fraucher F. Finger injuries in extreme rock climbers. Assessments of High resolution ultrasonography. Am J Sports Med. 1999, 27: 733-737
15. Bouyer M. Mémoire pour le DIU d'échographie pour le chirurgien du membre supérieur Brest, Tours et Nancy (Dir. T. Apard) 2014
16. Gay A. Les lésions de poulies : Suture directe. Communication 55ème Congrès de la SFCM Paris le 20 décembre 2019
17. Moutet F, Forli A, Vouillaume D. Pulley rupture and reconstruction in rock climbers. Techniques in Hand Upper Extremity Surgery. 2004, 8: 149-155.
18. Arora R, Fritz D, Zimmermann R et al. Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. J Hand Surg Eur. 2007, 32: 60-66.
19. Mitsionis G, Fischer KJ, Bastidas JA, Grewal R, Pfaeffle HJ, Tomaino MM. Feasibility of partial A2 and A4 pulley excision: Residual pulley strength. J Hand Surg. 2000, 25: 90-94.
20. Lister GD. Reconstruction of pulleys employing extensor retinaculum. J Hand Surg. 1979, 4: 461-464.
21. Kleinert HE, Bennett JB. Digital pulley reconstruction employing the always present rim of the previous pulley. J Hand Surg Am. 1978, 3: 297-298.
22. Thomas, Moutet F, Gérard P. Rééducation des lésions des poulies digitales chez le grimpeur. Kiné Scientifique. 2010, 511: 15-21.
23. Warme WJ, Brooks D. The effect of circumferential taping on flexor tendon pulley failure in rock climbers. Am J Sports Med. 2000, 28: 674-678.
24. Bouyer M, Forli A, Semere A, Chedal-Bornu J, Corcella D, Moutet F. Recovery of rock climbing performance after surgical reconstruction of finger pulleys. J Hand Sur Eu. 2016, 41E: 406-412.
25. Rohrbough JT, Mudge MK, Schilling RC. Overuse injuries in the elite rock climber. Med Sports Exerc. 2000, 32: 1369-1372.
26. Lion A, van der Zwaard BC, Remillieux S, Perrin PP, Buatois S. Risk factors of hand climbing-related injuries: Hand injuries in climbing. Scand J Med Sci Sports. 2016, 26:739-744
27. Meier C. Club Alpin Suisse <https://www.sac-cas.ch/fr/les-alpes/air-pollue-dans-les-salles-descalade-etude-sur-les-particules-fines-18525/> consulté le XXX
28. Cauchy E, Moutet F. Gelures. EMC - Appareil locomoteur 2016, 11: 1-11
29. Schöffl I, Schöffl V. Epiphyseal stress fractures in the fingers of adolescents: Biomechanics, pathomechanism, and risk factors. Eur J Sport Med. 2015, 3: 27-38.
30. Bojoly K, Moutet F. Prévention des lésions des cartilages de croissance des doigts des jeunes grimpeurs. J Traumatologie du Sport. 2018, 35: 4-14.



Figure 1 : Les SAE (Structures Artificielles d'Escalade). a) Les types de prises de tout niveau, réalisées en résine, on un grain plus ou moins marqué (adhérence) et sont fixées sur un support rigide (le mur) bois, béton etc... b) Elles permettent la réalisation de toutes les variations imaginables (verticalité, surplombs ...).

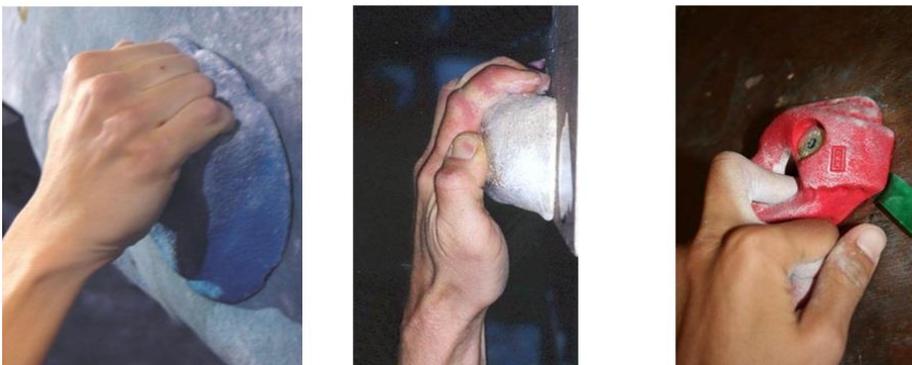
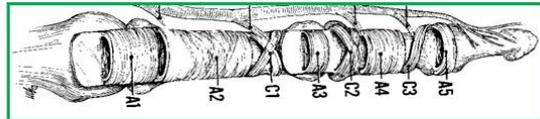


Figure 2 : Les trois types de prises. Elles sollicitent toutes à des degrés divers le canal digital et particulièrement les poulies arciformes A2 et A4. a) La prise en crochet. b) La prise en tendu. c) La prise en arqué.

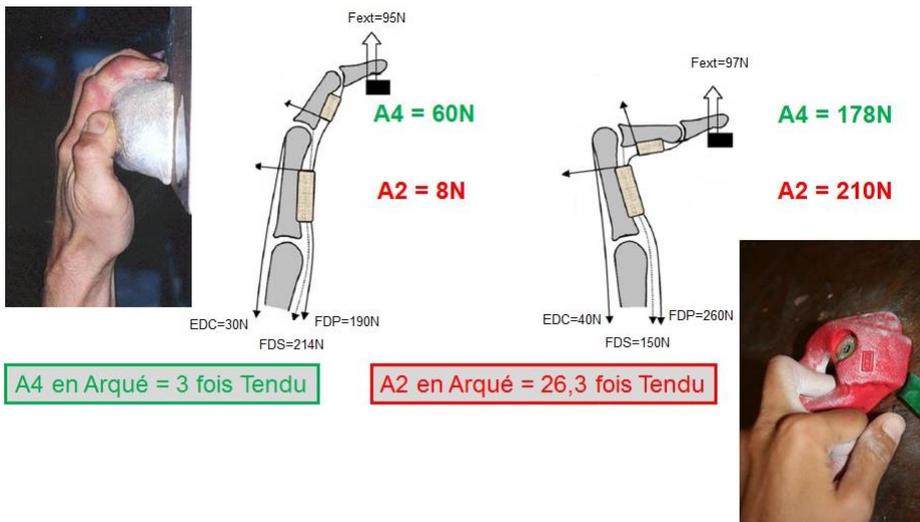


Figure 3 : Les reports de contraintes sur les poulies A2 et A4. En tendu les contraintes sur A2 sont de 8 Newtons et sur A4 de 60 Newtons. En arquée elles sont de 210 N sur A2 et de 178 N sur A4. Soit respectivement 26 fois plus sur A2 et 3 fois plus sur A4. FDS = Flexor Digitorum Superficialis. FDP = Flexor Digitorum Profundus. EDC =Extensor Digitorum Communis. Fext = Force d'extension résultante sur la pulpe.

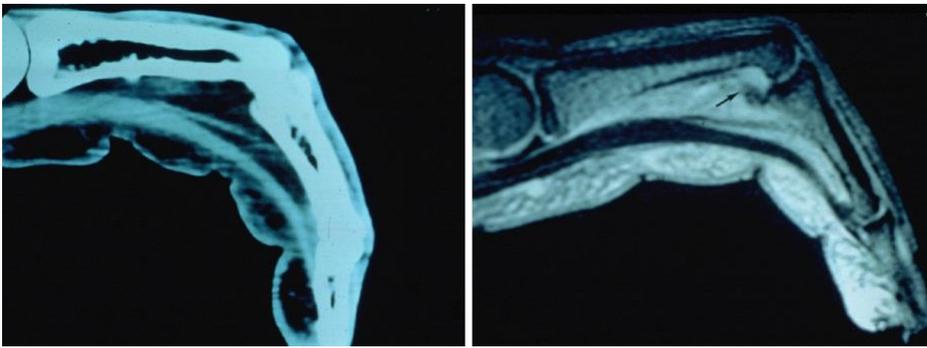


Figure 4 : Imagerie des ruptures de poulie. a). Scanner de profil en arqué. b). IRM de profil en arqué. Les deux images objectivent le décollement de l'appareil fléchisseurs du squelette démontrant la rupture de poulie (ici A2) par l'effet corde d'arc induit.

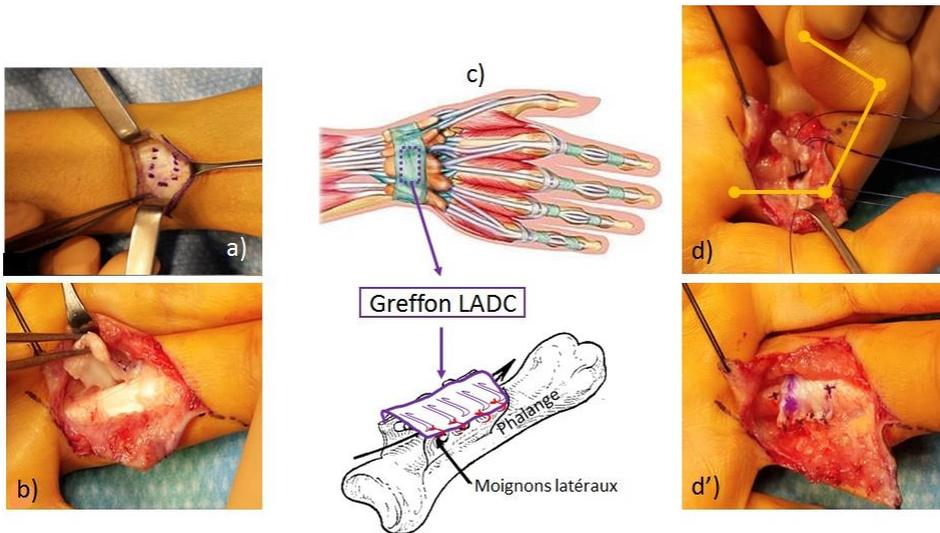


Figure 5 : La reconstruction (A2) Technique de Lister. a) Prélèvement d'un greffon de rétinaculum des extenseurs au niveau du 4ème compartiment au dos du poignet. b et c) Le greffon est fixé aux moignons latéraux de la poulie rompue face synovialisée contre l'appareil fléchisseur. d et d') Le montage est terminé en position fléchi du doigt pour permettre le placage de l'appareil fléchisseur au plus près du squelette digital par la néo-poulie.

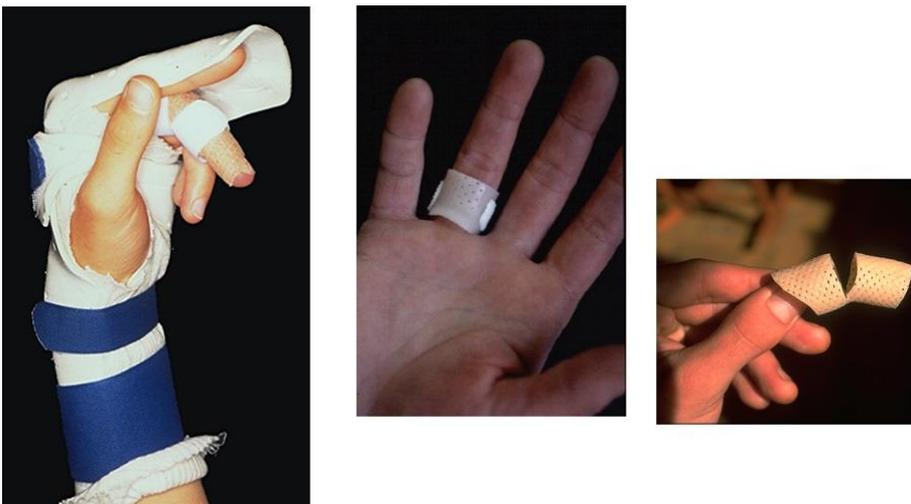


Figure 6 : L'appareillage post-opératoire. a) De J0 à J+45 une orthèse longue, poignet fléchi (30 à 45°) et associée à une protection directe de la poulie reconstruite par une bague rigide externe (thermoplastique). b) De J + 45 à J+90 seule la bague rigide externe est conservée. C'est aussi le mode de traitement conservateur des poulies non reconstruites chirurgicalement. c) En cas de rupture simultanée de A2 et de A4, la bague de protection rigide peut être double. NB : Ces bagues rigides n'autorisent en aucun cas la reprise de l'escalade.

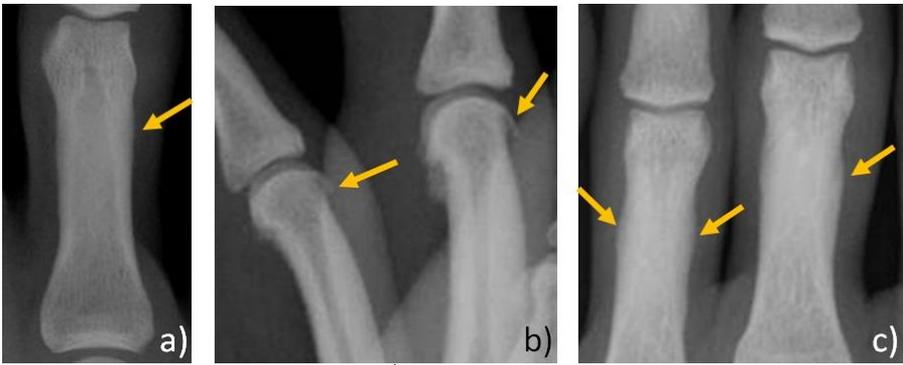


Figure 7 : Les modifications radiologiques. a) Épaississement cortical. b) Spicules péri articulaires. c) Diverticules de traction sur les insertions latérales des poulies.

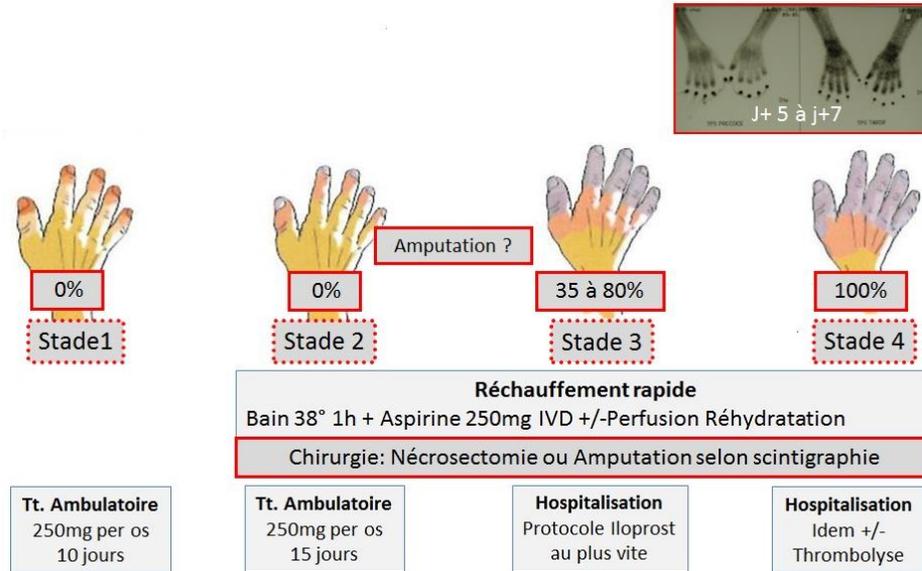


Figure 8 : Prise en charge des gelures de la main Protocole DNTM (Chamonix). Les 4 stades des gelures de la main. Seul le stade 3 et le stade 4 conduisent à des amputations de nécessité. La scintigraphie entre J+5 et J+7 permet de confirmer la décision. Le réchauffement progressif et l'aspirine restent le traitement de base. Un protocole Iloprost (stade 3) ou de thrombolyse (stade 4) nécessitent une hospitalisation et sont à mettre en action le plus rapidement possible.

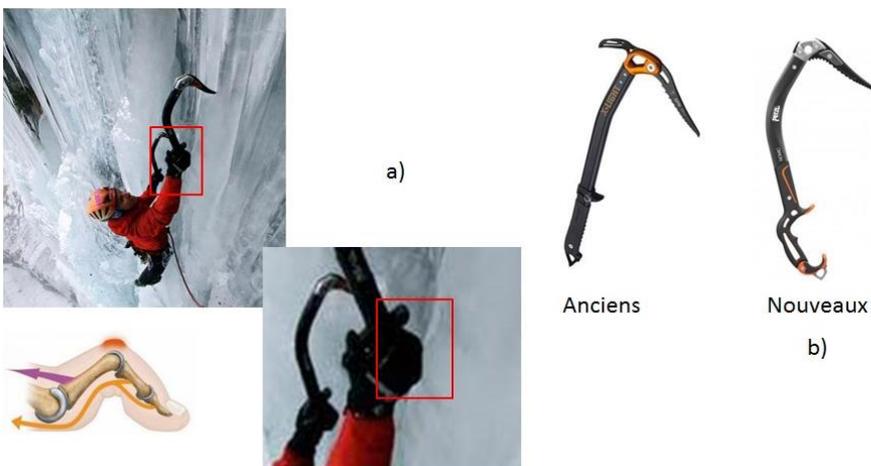


Figure 9 : Les IPP et les cascades de glace. a) La position de tenue des anciens piolets "ancres" exposaient les faces dorsales des IPP lors des percussions. b) Les nouveaux piolets ergonomiques évitent ce phénomène.

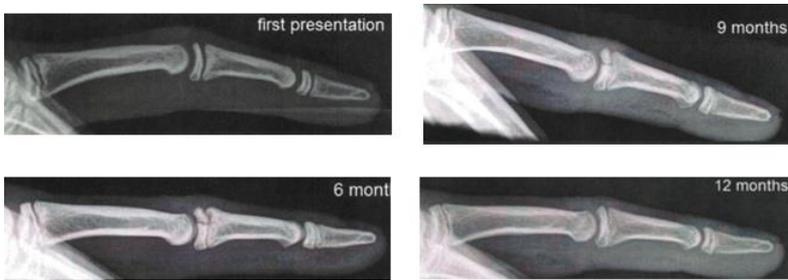


Figure 10 : Fractures de stress chez les jeunes grimpeurs [29-30]. Fracture arrachement de la base de P2 suite à position arquée violente. Restitution ad integrum en 12 mois.