

**DIPLÔME INTER-UNIVERSITAIRE EUROPEEN  
DE REEDUCATION ET D'APPAREILLAGE  
EN CHIRURGIE DE LA MAIN**

Promotion 2015-2017



**LE POIGNET ET LA MAIN DU JEUNE GYMNASTE**

**Pratique sportive intensive et Croissance.**

JURY :

Pr. François MOUTET

Dr. Didier FONTES

M. Davide ZANIN

Christelle PODGORSKI

Masseur-kinésithérapeute.



## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier M. le Professeur François Moutet pour son investissement et le partage de ses connaissances.

Merci à tous les intervenants pédagogiques pour la qualité de leurs enseignements et le temps qu'ils nous consacrent. Cette formation a d'ores et déjà totalement influencé et guidé ma pratique professionnelle.

Merci à tous ceux et celles qui m'ont accueillie au fil de mes stages et qui ont généreusement partagé leurs expériences pratiques et leur temps précieux.

Merci à mes collègues rééducatrices, kinésithérapeutes et ergothérapeute, du service Soins de Suite et Rééducation du Médipôle de Savoie à Challes-les-Eaux (oui, finalement, à toi aussi, Anne So ... ) pour avoir assuré mon remplacement lors de mes absences, supporté ma folie au quotidien et surtout pour s'être investies avec moi dans la mise en pratique de mes connaissances toutes neuves.

Merci à Perrine et Juliette, dont la pratique de la gymnastique aérobic a inspiré le sujet de ce travail.

Merci à Thomas, pour avoir patiemment pallié à mes multiples incompétences informatiques.



<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>I</b>
<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2 LES DIFFERENTES DISCIPLINES EN GYMNASTIQUE.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 LA GYMNASTIQUE ARTISTIQUE FEMININE.....</b>	<b>2</b>
2.1.1 LE SAUT.....	2
2.1.2 LES BARRES ASYMETRIQUES .....	3
2.1.3 LA POUTRE .....	3
2.1.4 LE SOL .....	4
<b>2.2 LA GYMNASTIQUE ARTISTIQUE MASCULINE.....</b>	<b>4</b>
2.2.1 LE SOL .....	4
2.2.2 LE CHEVAL D'ARÇON.....	5
2.2.3 LES ANNEAUX .....	5
2.2.4 LE SAUT.....	5
2.2.5 LES BARRES PARALLELES .....	6
2.2.6 LA BARRE FIXE.....	6
<b>2.3 LA GYMNASTIQUE RYTHMIQUE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 LA GYMNASTIQUE ACROBATIQUE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.5 LA GYMNASTIQUE AEROBIC .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6 LE TUMBLING.....</b>	<b>8</b>
<b>2.7 LE TRAMPOLINE .....</b>	<b>9</b>
<b>2.8 LE TEAMGYM .....</b>	<b>9</b>
<b>3 RAPPELS ANATOMIQUES ET BIOMECANIQUES DU POIGNET ET DE LA MAIN .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 OSTEOLOGIE .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 ARTHROLOGIE.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 LES CARTILAGES DE CROISSANCE .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 AMPLITUDES PHYSIOLOGIQUES DU POIGNET .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 BIOMECANIQUE CLASSIQUE .....</b>	<b>20</b>
<b>3.6 PARTICULARITE BIOMECANIQUE DE L'ENFANT EN CROISSANCE – VARIANCE ULNAIRE NEGATIVE....</b>	<b>20</b>
<b>4 EPIDEMIOLOGIE.....</b>	<b>22</b>
<b>5 PATHOLOGIES .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 LE SYNDROME DOULOUREUX DU POIGNET DU GYMNASTE OU « GYMNAST WRIST » .....</b>	<b>24</b>
5.1.1 DEFINITION.....	24
5.1.2 MECANISME LESIONNEL .....	24
5.1.3 PHYSIOPATHOLOGIE.....	26
5.1.4 EXAMENS COMPLEMENTAIRES ET IMAGERIE.....	27
5.1.5 COMPLICATIONS ASSOCIEES.....	28
5.1.5.1 Syndrome d'impaction ulnaire (ulnar impaction syndrom) .....	28
5.1.5.2 Lésion du disque articulaire (triangular fibro cartilage complex tear).....	29
5.1.5.3 Entorse scapho-lunaire.....	29
5.1.5.4 Lésion focale ostéochondrale du lunatum (focal lunate osteochondral defect).....	30
5.1.5.5 Conflit radio carpien dorsal (dorsal carpal impingement) .....	31
5.1.5.6 Compression du nerf interosseux postérieur au poignet.....	31
5.1.5.7 Conflit Extenseur Commun des Doigts/4 <sup>ème</sup> espace du rétinaculum des extenseurs .....	31
5.1.5.8 Kystes synoviaux.....	31
5.1.5.9 Instabilité médio-carpienne .....	32
<b>5.2 AUTRES ATTEINTES OSSEUSES.....</b>	<b>32</b>
5.2.1 SYNDROME D'IMPACTION SCAPHOÏDIENNE (SCAPHOÏDE IMPACTION SYNDROM) .....	32
5.2.2 FRACTURE DE STRESS DU SCAPHOÏDE.....	33

5.2.3	NECROSE AVASCULAIRE DU CAPITATUM .....	33
5.2.4	LYSE DES TETES METACARPIENNES.....	33
<b>5.3</b>	<b>BLESSURE PAR « GRIP LOCK », UNE LESION MIXTE (GRIP LOCK INJURY) .....</b>	<b>34</b>
<b>5.4</b>	<b>LESIONS CUTANEEES OU « STEAK ».....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>REEDUCATION.....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>PREVENTION ET CONDUITES A TENIR - MATERIEL.....</b>	<b>38</b>
<b>7.1</b>	<b>ENTRAINEMENT ET STRATEGIES DE PREVENTION.....</b>	<b>38</b>
<b>7.2</b>	<b>STRAPPING, POIGNETS DE RENFORT ANTI-EXTENSION, MANIQUES .....</b>	<b>39</b>
7.2.1	INTERET DU STRAPPING CIRCULAIRE .....	39
7.2.2	POIGNETS ANTI HYPER-EXTENSION .....	40
7.2.3	MANIQUES.....	40
<b>8</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>43</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>44</b>

# 1 INTRODUCTION

Une des particularités de la gymnastique est l'utilisation fréquente des membres supérieurs pour supporter et propulser l'ensemble du poids du reste du corps. L'apprentissage de nouvelles compétences gymniques nécessitant de nombreuses répétitions, la survenue de pathologies de sur-sollicitation semble prévisible.

Partant de ces constatations, il semble logique que les douleurs chroniques du poignet soient très fréquentes au sein de cette population.

Les disciplines telles que le saut de cheval, le sol ou la poutre comportent de nombreuses figures ou difficultés soumettant le poignet en dorsi-flexion, à d'importantes contraintes répétitives en compression, induites par des forces statiques et dynamiques.

Nombre d'athlètes décrivent des douleurs chroniques sans notion de traumatisme aigu.

Ces sportifs débutent généralement très jeunes la pratique gymnique et s'entraînent couramment plusieurs heures par semaine et pendant de nombreuses années avant d'atteindre la maturité osseuse.

Ils sont, durant cette période, une population à risque en ce qui concerne les pathologies de la croissance osseuse en lien direct avec une sur-sollicitation en contrainte en compression.

Après une revue des différentes disciplines gymniques, des rappels anatomiques et biomécaniques ciblés et quelques notions épidémiologiques, nous analyserons les causes lésionnelles et détaillerons la pathologie spécifique à un poignet en phase de croissance osseuse nommée « gymnast wrist » ou poignet douloureux du gymnaste. Nous nous intéresserons également aux affections secondaires potentiellement associées à ce syndrome douloureux et aux autres pathologies osseuses et ligamentaires de la main, spécifiques de la pratique gymnique, et à leur traitement. Notre travail se terminera par une réflexion sur les moyens de sensibilisation et de prévention qui pourraient être mis en place au sein des clubs sportifs afin de limiter la survenue de ces pathologies chez de jeunes athlètes.

**Mots clés :** gymnaste, croissance, cartilages de croissance, contraintes en charge, douleurs chroniques, lésions de sur-utilisation, prévention.

## 2 Les différentes disciplines en gymnastique

### 2.1 La gymnastique artistique féminine

C'est une discipline olympique qui se pratique sur 4 agrès : saut de cheval, barres asymétriques, poutre et sol dans l'ordre olympique.

#### 2.1.1 Le saut

Cet exercice consiste à sauter à l'aide d'un tremplin par dessus une table de saut (depuis 2001, le "saut de cheval" a été remplacé par une table, plus large), en effectuant un mouvement acrobatique. D'une hauteur de 1,25 m, d'une largeur de 95 cm et d'une longueur de 1,20 m, la table de saut est située au bout d'une piste d'élan de 25 mètres. Le saut de cheval est un exercice commun avec la gymnastique artistique masculine.

Le saut est l'agrès où le passage est le plus rapide. L'épreuve se déroule en quelques secondes : après une course d'élan rapide, la gymnaste prend une impulsion sur un tremplin (premier envol), puis lors d'un second envol, prend appui avec les mains sur la table de saut. Ces impulsions doivent donner à l'athlète une hauteur suffisante pour réaliser la figure. Les points accordés tiennent compte de la réception au sol qui doit être stabilisée.

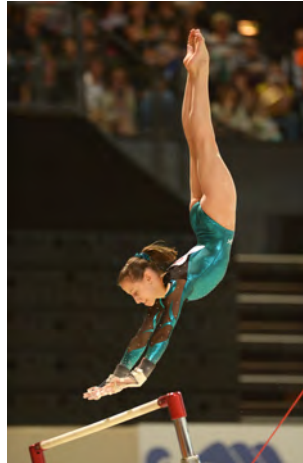


Les figures classiques sont le saut par renversement (ou "lune") assorti de vrille ou de salto.



### 2.1.2 Les barres asymétriques

Cet exercice consiste à réaliser des figures de voltige entre deux barres rondes en fibre de verre et bois d'une longueur de 2,40 m pour un diamètre de 4 cm, placées parallèlement à des hauteurs différentes (2,50 et 1,70 m), et écartées de 1,30 à 1,80 m. Les mouvements aux barres asymétriques sont très spectaculaires : « soleils » (grands tours en montant dos vers le sol et en descendant ventre vers le sol) et "lunes" (grands tours en montant ventre vers le sol et en descendant dos vers le sol) autour de la barre supérieure, lâchers et sorties acrobatiques. Les barres sont le seul agrès de bras de la gymnastique artistique féminine.



©www.ueg.org

### 2.1.3 La poutre

Cet exercice consiste à effectuer différentes figures sur une poutre de 5 m de long, et 10 cm de large, placée à 1,25 m du sol. La durée de l'exercice varie entre 1mn 15 et 1mn 30. Ce n'est pas l'agrès le plus difficile en matière de force mais le plus technique. En effet, les éléments sont presque les mêmes qu'au sol. Lors de son passage en poutre, la gymnaste doit effectuer une très courte chorégraphie (tout comme au sol). Tout est dans la qualité du geste. La gymnaste doit savoir piler ses acrobaties afin de ne pas être déséquilibrée.



©www.gymolivet.fr

#### 2.1.4 Le sol

Cet exercice consiste à réaliser, sur un accompagnement musical, un programme d'une durée de 1mn30, alternant des passages rythmés et acrobatiques et des passages plus chorégraphiques, sur un praticable de 12 m sur 12 m, entouré d'une bande de couleur rouge le plus souvent sur laquelle les gymnastes ne doivent pas marcher, sous peine de pénalité.

C'est au sol que les gymnastes peuvent le mieux exprimer leur talent artistique. Il leur faut également faire preuve de qualités athlétiques et d'endurance pour enchaîner les éléments acrobatiques très variés.



Comme le saut de cheval, le sol est un agrès commun avec la gymnastique artistique masculine, mais les gymnastes masculins présentent leur mouvement sans accompagnement musical.

## 2.2 La gymnastique artistique masculine

C'est une discipline olympique qui se pratique sur 6 agrès qui sont, dans l'ordre olympique : le sol, le cheval d'arçon, les anneaux, la table de saut, les barres parallèles, la barre fixe.

### 2.2.1 Le sol

L'exercice diffère de celui des filles puisqu'il n'y a pas de chorégraphie et qu'il dure 1 mn 10 maximum. L'enchaînement d'acrobaties en avant en arrière et transversal est toutefois rythmé par des éléments d'équilibre, de force et de souplesse.



### 2.2.2 Le cheval d'arçon

Le cheval d'arçon est l'agrès d'équilibre par excellence. Cet appareil mesure 1,15m de haut pour 1,60m de long. La distance entre les arçons varie entre 40 et 45 cm. Il s'agit pour le gymnaste d'enchaîner des séries de ciseaux et de cercles en appui sur les mains, sans perdre l'équilibre ni chuter sur le cheval. Les balancés doivent arriver au niveau du menton. S'il n'est pas très périlleux, cet agrès est sûrement l'un des plus difficiles en raison du peu de latitude que le gymnaste a pour rattraper ses erreurs, et il est considéré comme la bête noire des gymnastes.



©agcaengym.e-monsite.com

### 2.2.3 Les anneaux

Les anneaux sont l'agrès nécessitant le plus de force. Ils sont situés à 2,80m du sol et ont un diamètre de 18 cm. L'enchaînement consiste à alterner des éléments en force (souvent en début de mouvement : croix de fer, planches, hirondelles) avec des phases d'élan (soleils, lunes, sorties saltos). Le gymnaste doit s'efforcer de faire en sorte que les anneaux ne balancent pas pendant son mouvement, ce qui, compte tenu de leur liberté, nécessite une grande puissance.



©agcaengym.e-monsite.com

### 2.2.4 Le saut

Précédemment décrit.

### 2.2.5 Les barres parallèles

Aux barres parallèles, le gymnaste doit alterner phases d'élan ou de vol avec des phases d'arrêt et d'équilibre. La routine se compose d'équilibres en force, d'équerres, mais aussi de soleils, de bascules, de lâchés de barre ou encore de sorties salto. Les barres sont situées à 2m du sol et la largeur est réglable.



©hirondellestroyesgymnique.com

### 2.2.6 La barre fixe

La barre est constituée de métal. Elle est tenue entre deux poteaux rendus eux-mêmes fixes par l'emploi de câbles tendus. Située à 2,80m du sol, la barre offre une certaine souplesse mécanique. Pour illustrer les nombreuses possibilités de l'engin, un exercice moderne à la barre fixe est une présentation dynamique enchaînant des éléments d'élan, des rotations et des parties volantes sans arrêt exécutés près et loin de la barre en prises diverses. La barre fixe nécessite l'emploi de maniques.



©agcaengym.e-monsite.com

### 2.3 La gymnastique rythmique

La gymnastique rythmique, anciennement appelée gymnastique rythmique et sportive jusqu'en 2000, est une discipline sportive à composante artistique proche de la danse classique et de la gymnastique, principalement féminine, utilisant plusieurs engins d'adresse. Cette discipline se pratique en individuel ou en ensemble de 5 gymnastes.

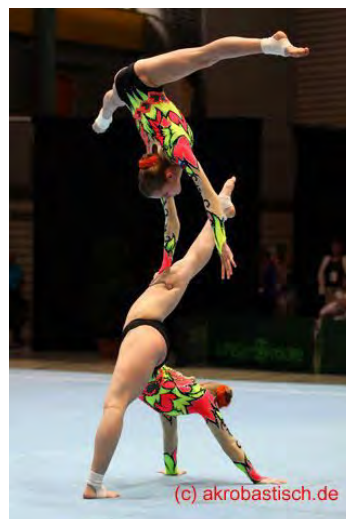
Cinq engins sont utilisés par les gymnastes dans leur enchaînement : la corde (uniquement en ensemble), le cerceau, le ballon, les massues et le ruban qui doivent continuellement être maniés par la gymnaste.



©www.lagr-forum.com

### 2.4 La gymnastique acrobatique

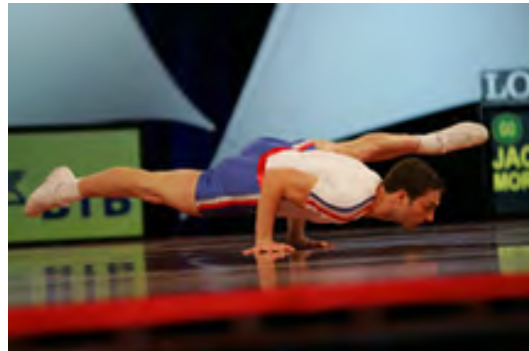
La gymnastique acrobatique est une activité gymnique artistique, mélangeant chorégraphie, gymnastique au sol et pyramide humaine. Il consiste en la pratique de main à main acrobatique, enchaînements de portés, de chorégraphies et d'acrobaties sur un thème musical. La gymnastique acrobatique se pratique en équipe (de 2 à 4 personnes par formation), composée de voltigeurs et de porteurs. La réalisation de pyramides fait la spécificité de cette discipline. Il en existe 2 types : les pyramides statiques, pendant lesquelles les partenaires sont en contact permanent et maintiennent des positions variées et les pyramides dynamiques, pendant lesquelles la création d'un envol permet des rotations aériennes du voltigeur.



(c) akrobastisch.de

## 2.5 La gymnastique aérobic

La gymnastique aérobic se caractérise par un enchaînement de mouvements complexes et de grande intensité, effectués en musique, sur un praticable dynamique de 10m sur 10m maximum. Un exercice, d'une durée de 1mn30, doit démontrer créativité, souplesse, équilibre, force, explosivité et dynamisme tant par les sauts que par les éléments en appui facial. Cette discipline se pratique en solo, duo mixte, trio ou en groupe de 5 gymnastes.



© FFGym

## 2.6 Le tumbling

Le tumbling (de l'anglais to tumble signifiant « culbuter ») est un sport de gymnastique acrobatique qui se pratique sur une piste élastique soutenue par des racks en fibre de verre. Celle-ci mesure 25 m de long et 2 m de large. Elle est précédée d'une piste d'élan de 11 m et suivie d'un tapis de réception de 30 cm d'épaisseur.

Le tumbleur effectue une série de 8 mouvements de rebondissement pieds-mains ou pieds-pieds à grande vitesse (plus de 20 km/h de moyenne de vitesse de déplacement) et à très grande hauteur (plus de 4 m).



© <https://farm1.static.flickr.com>

## 2.7 Le trampoline

Les exercices sont composés de 10 touches de trampoline entre lesquelles les gymnastes vont pouvoir effectuer de nombreuses acrobaties (saut, salto, vrilles). Ces acrobaties doivent être enchainées. Nous ne détaillerons pas plus, cette discipline ne comportant pas d'éléments responsables des mécanismes lésionnels qui nous intéressent.

## 2.8 Le TeamGym

Le TeamGym permet aux gymnastes de développer esprit d'équipe, polyvalence, sens de l'acrobatie et synchronisation. Il se pratique en équipe masculine, féminine ou mixte de 6 à 12 gymnastes sur 3 agrès : le sol, le tumbling et le mini-trampoline combiné à la table de saut. Le sol se pratique sur praticable non dynamique de 12m sur 12m. Le mini trampoline et saut, ainsi que le tumbling, montrent le passage de 6 gymnastes en cascade.

La combinaison de ces trois agrès, qui sollicitent des qualités différentes, fait du TeamGym une discipline très complète.

## 3 Rappels anatomiques et biomécaniques du poignet et de la main

### 3.1 Ostéologie

Nous décrirons rapidement ici les éléments ostéologiques et arthrologiques en rapport avec notre sujet. (Dufour, Anatomie de l'appareil locomoteur, Tome 2, Masson)

- **Epiphyse inférieure du radius**

Quadrangulaire à la coupe, les faces de la diaphyse se prolongent en bas avec une face médiale résultant de la bifurcation du bord interosseux.

- **Face antérieure** : déjetée en avant, répond au glissement des tendons fléchisseurs.
- **Face postérieure** : nettement séparée de la face latérale par un bord prolongeant le bord postérieur de la diaphyse, formant le tubercule dorsal. Elle descend plus bas que la face antérieure et est divisée en deux sillons : un sillon latéral où passe le long extenseur du pouce, un sillon médial où passent l'extenseur commun des doigts et l'extenseur de l'index.
- **Face latérale** : large et divisée en 3 parties.
  - Une partie moyenne, prolongée en bas par la styloïde radiale, insertion du ligament collatéral du poignet.
  - Une partie antérieure où passent en arrière le court extenseur du pouce et en avant le long abducteur du pouce.
  - Une partie postérieure où passent les court et long extenseurs radiaux du carpe.
- **Face médiale** : triangulaire à face inférieure et dont la partie inférieure est occupée par une surface articulaire (incisure ulnaire) qui répond au pourtour de la tête ulnaire.
- **Face inférieure** : surface articulaire (glène radiale) qui répond au condyle carpien. Elle est divisée en 2 champs : un latéral qui répond au scaphoïde et un médial qui répond à la partie latérale du lunatum.

- **Epiphyse inférieure de l'ulna**

Composée du col, de la tête et du processus styloïde.

La tête comporte :

- une partie périphérique composée d'une surface articulaire antéro latérale qui répond à l'incisure ulnaire du radius et d'une partie postéro médiale, saillante sous la peau, nettement visible, séparée en 2 sillons antérieur (où passe le fléchisseur ulnaire du carpe) et postérieur (où passe l'extenseur ulnaire du carpe).
- une face inférieure, occupée par une surface articulaire qui répond au disque articulaire du poignet (ligament triangulaire).

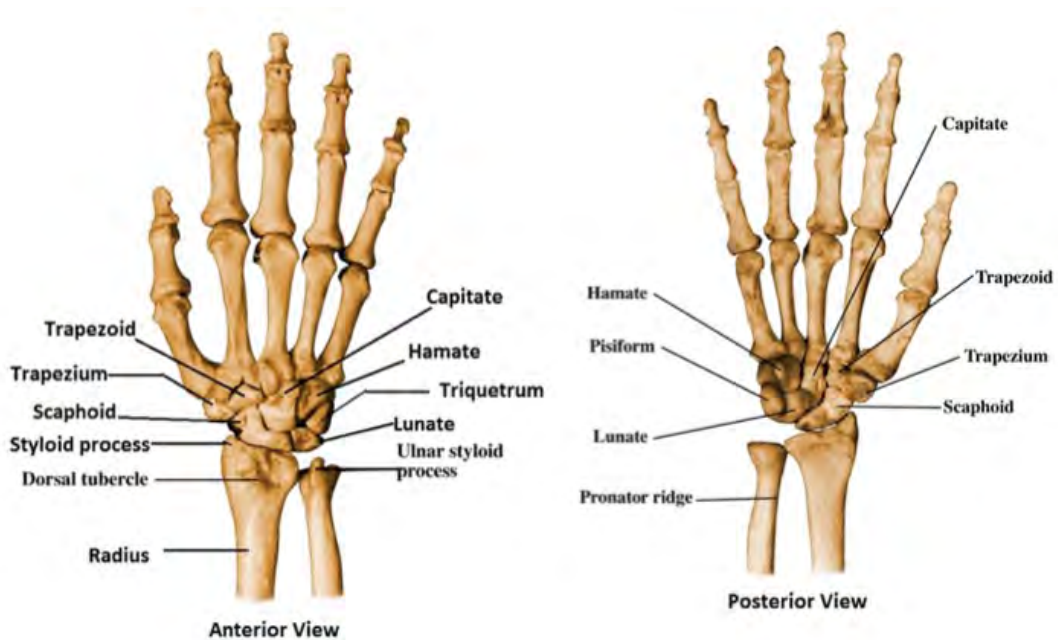
Le processus styloïde ulnaire descend moins bas que le styloïde radial. La partie latérale de sa base donne insertion au disque articulaire (ou ligament triangulaire) et son apex au ligament collatéral du poignet.



- **Le carpe**

C'est une zone formant une « rotule » autour de laquelle la main peut s'orienter dans les 3 plans de l'espace (la prono-supination y étant liée).

Il est formé de 2 rangées de 4 os chacune, semblable à un ensemble compact, comparable à un assemblage de briques. Peu mobile, les os effectuent des mouvements de bâillement/glissement de faible amplitude.



© slideplayer.com/slide/4241756/

Nous décrirons succinctement les caractéristiques des **os du carpe**, en rapport avec le sujet de notre travail.

- ❖ Rangée proximale :

- Le *scaphoïde* :

Os le plus latéral de la première rangée. Il pénètre la deuxième rangée du carpe grâce à sa forme allongée et incurvée. Cette forme en fait l'os le plus fracturé du carpe. Articulé avec le radius par sa face supérieure, il contribue à former le condyle carpien. La partie inférieure de sa face latérale reçoit le faisceau postérieur du ligament collatéral radial du poignet. Sa face médiale s'articule avec le lunatum pour sa partie supérieure, avec le capitatum pour sa partie inférieure.

- Le *lunatum* :

Os médian de la première rangée. Très mobile dans l'axe de flexion/extension du poignet du fait d'un moindre arrimage ligamentaire, son risque de luxation est élevé.

Sa face supérieure, de type ellipsoïde, contribue à former le condyle carpien et répond au radius pour sa moitié latérale et au disque articulaire du poignet pour sa moitié médiale. Sa face latérale s'articule avec le scaphoïde.

- Le *triquetrum* :

Os médial de la première rangée. Sa face supérieure est une surface articulaire pour l'avant bras, elle contribue à former le condyle carpien et répond au disque articulaire du poignet. Elle n'entre en contact avec celui-ci que lors des mouvements d'adduction du poignet. Il s'articule avec le lunatum par sa face latérale.

- Le *pisiforme* :

Os le plus médial et le plus antérieur de la rangée proximale du carpe. Sa face postérieure s'articule avec une partie de la face antérieure du triquetrum.

- ❖ Rangée distale :

- Le *trapèze* :

Os le plus latéral de la 2<sup>ème</sup> rangée. Sa caractéristique est d'offrir au pouce une surface articulaire d'un type différent des autres doigts. Sa face inférieure constitue une surface articulaire répondant à la base du 1<sup>er</sup> métacarpien, de type en selle.

- Le *trapézoïde* :

Os de petite taille, placé en coin entre le trapèze et le capitatum.

- Le *capitatum* :

Os médian de la 2<sup>ème</sup> rangée du carpe. Il occupe une position centrale au sein de cet ensemble osseux.

- L'*hamatum* :

Os médial de la 2<sup>ème</sup> rangée du carpe. Il comporte sur sa face antérieure un processus unciforme (uncus) qui forme la partie inféro médiale du canal carpien.

### 3.2 Arthrologie

- **Le poignet**

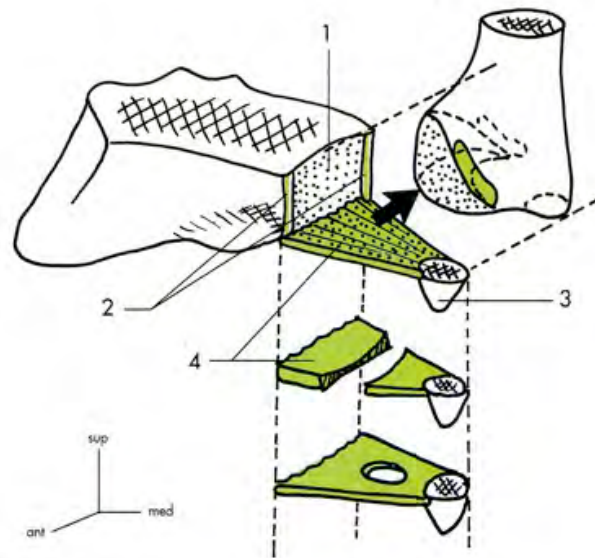
La jonction du poignet associe les articulations radio-ulnaire inférieure (RUI) et radio-carpienne (RC).

La RUI met en présence les surfaces articulaires du radius, de l'ulna et le disque artulaire (ancien ligament triangulaire).

La RC met en présence le radius et le disque artulaire d'un côté, le condyle carpien de l'autre côté.

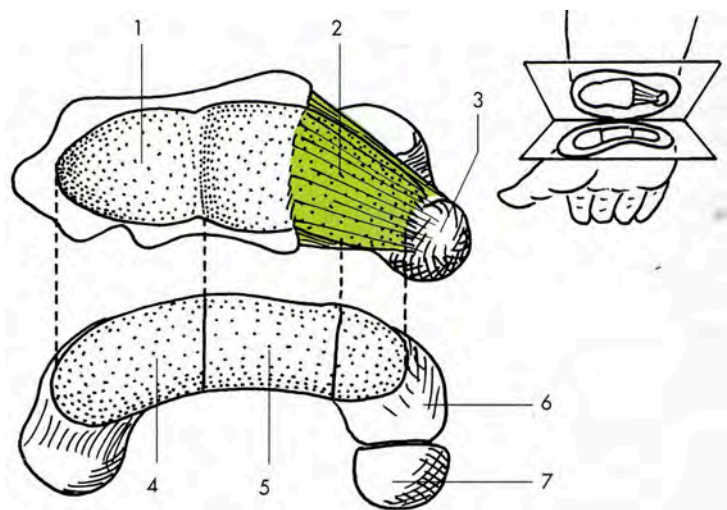
#### Radio-ulnaire inférieur (RUI).

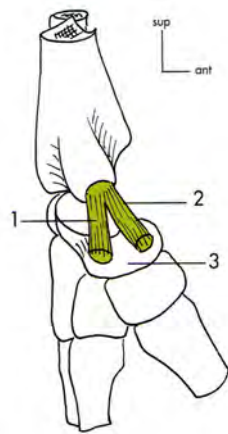
1. incisure ulnaire
2. ligaments RUI ant. et post.
3. styloïde ulnaire
4. disque artulaire



#### Radio-carpienne.

1. radius
2. disque artulaire
3. styloïde ulnaire
4. scaphoïde
5. lunatum
6. triquetrum
7. pisiforme





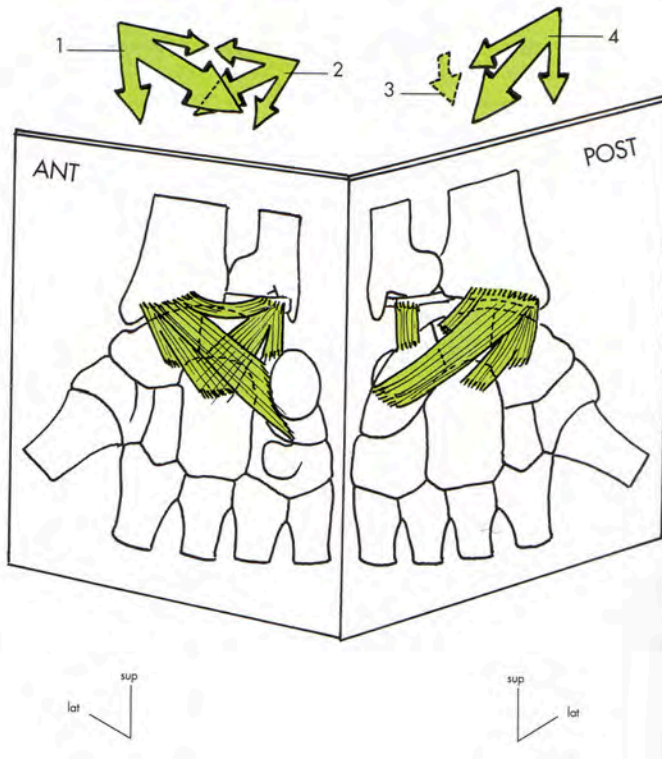
**Ligament collatéral radial du poignet.**

- 1. faisceau post.
- 2. faisceau ant.
- 3. tubercule du scaphoïde



**Ligament collatéral ulnaire du poignet.**

- 1. faisceau ant.
- 2. faisceau post.
- 3. pisiforme
- 4. triquetrum



**Ligaments radio-carpiens antérieur et postérieur**

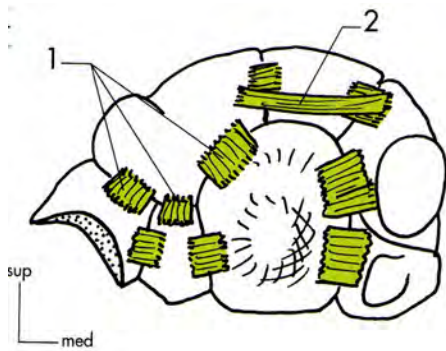
- 1. ligament radio-carpien ant.
- 2. ligament ulno-carpien ant.
- 3. ligament ulno-carpien post.
- 4. ligament radio-carpien post.

- **Le carpe**

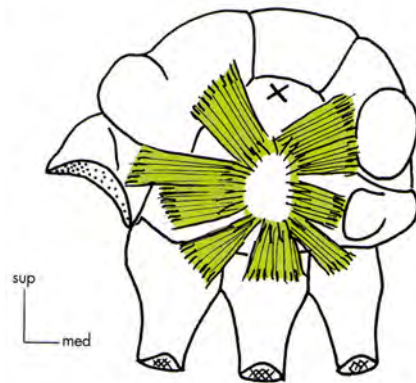
Le carpe est un ensemble polyarticulé. Chacun des 8 os s'articule avec ses voisins et, sauf pour le pisiforme, soit avec la glène antébrachiale (radio-carpienne), soit avec les bases métacarpiennes (carpo-métacarpiennes).

Du fait de la disposition des 2 rangées, l'interligne carpien le plus important est le médio-carpien, qui sépare le carpe transversalement. Il est fonctionnellement rattaché au poignet. Les 2 rangées sont interpénétrées et animées de minimes mouvements tridimensionnels au cours des mobilités du poignet.

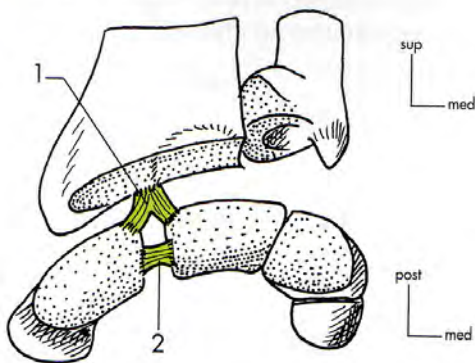
Ligaments d'os à os (1)  
et ligament scapho-  
triquetral antérieur (2).



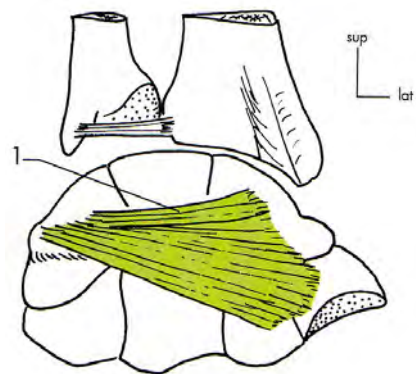
Ligament radié du carpe (croix :  
absence de ligament pour le lunatum).



Ligaments interosseux.  
1. radio-scapho-lunatum  
2. scapho-lunatum

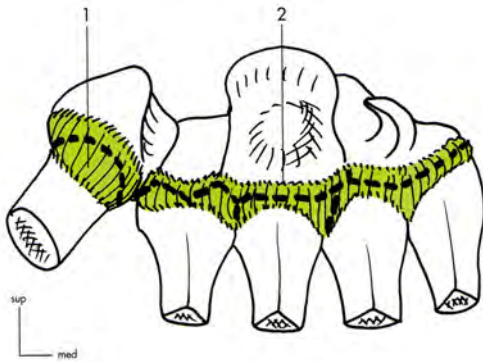


Ligament médio-carpien postérieur.  
1. fibres sup. (ligament scapho-triquetral post.)

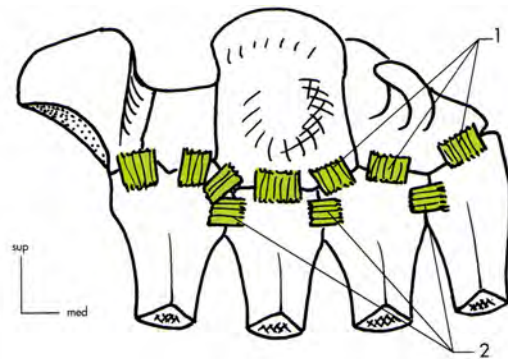


- **Les articulations carpo-métacarpiennes**

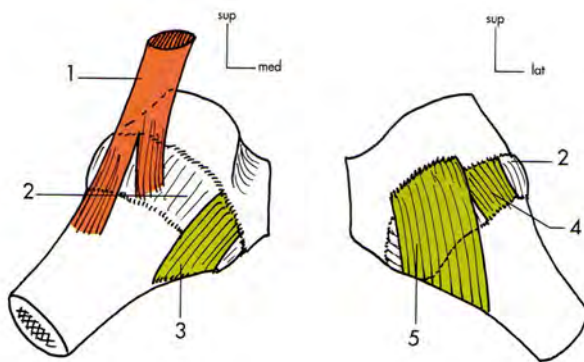
Elles sont constituées par les surfaces articulaires des 4 os de la 2<sup>ème</sup> rangée du carpe et celles des 5 bases métacarpiennes. Leur interligne a une forme irrégulière, réalisant un emboîtement réciproque, le pouce ayant une situation particulière, ce qui justifie une cavité articulaire propre. Le reste de l'interligne est commun.



**Capsules carpo-métacarpiennes.**  
 1. capsule latérale  
 2. capsule médiale



**Ligaments de la capsule médiale.**  
 1. carpo-métacarpiens  
 2. intermétacarpiens



**Articulation trapèzo-métacarpienne en vues antérieure (a) et postérieure (b).**

1. long abducteur du I et son expansion
2. capsule
3. ligament oblique ant
4. ligament oblique postéro-latéral
5. ligament oblique postéro-médial

### 3.3 Les cartilages de croissance

L'os de l'enfant est une structure en croissance. La formation du squelette se fait progressivement depuis la vie embryonnaire pour aboutir à une maquette cartilagineuse complète dont l'ossification a déjà débuté à la naissance, c'est le stade d'ossification primaire. Pendant toute la durée de la croissance, l'os grandit par des phénomènes d'ossification secondaire qui peut être endochondrale ou périostée.

L'ossification endochondrale est un phénomène d'ostéo-formation qui se produit par différenciation des chondroblastes en chondrocytes puis en ostéoblastes et en ostéocytes au sein d'une structure appelée cartilage de croissance ou cartilage de conjugaison ou physe. Ce phénomène est progressif et a lieu de manière régulière pendant toute la durée de la croissance, jusqu'à ce que toute la matrice cartilagineuse soit ossifiée et calcifiée. Il participe à la croissance en longueur de l'os.

Au niveau des os longs, ce cartilage de croissance est situé dans la zone épiphysométaphysaire. (Bourgeois et Griffet)



© Gilsanz et Ratib

Représentation des cartilages de croissances (ou de conjugaison ou épiphyses)

Lors de la période située en début et en milieu de puberté (entre 7 et 13 ans pour les filles, entre 9 et 14 ans pour les garçons), l'évaluation de la maturité osseuse est basée sur la taille des épiphyses des phalanges distales (P3) et des phalanges intermédiaires (P2). A ce stade, les épiphyses continuent à se développer et leur largeur dépasse celle des métaphyses. Secondairement, le contour des épiphyses commence à recouvrir les métaphyses. Cet effet de « chapeautage » est décrit dans les radiographies standard comme de petites excroissances osseuses, semblables de petites cornes, des deux côtés de la métaphyse.

Lors de la période tardive de la puberté (entre 13 et 15 ans pour les filles, entre 14 et 16 ans pour les garçons), l'évaluation de la maturité osseuse est principalement basée sur le degré de calcification des épiphyses des phalanges distales. Le schéma chronologique de la fusion des épiphyses et des métaphyses des os longs de la main est le suivant :

- Ossification des phalanges distales
- Ossification des métacarpiens
- Ossification des phalanges proximales
- Ossification des phalanges intermédiaires.

En raison de leur morphologie, l'ossification des épiphyses métacarpiennes est peu observable sur les radiographies standard et une attention plus importante est portée sur l'observation du degré d'ossification des phalanges. Tous les os de carpe ont, à ce stade, atteint leur forme osseuse du jeune adulte. Ils sont donc moins déterminants pour l'évaluation de l'âge osseux. (Gilsanz et Ratib 2005)



Représentation, de gauche à droite, des degrés progressifs de fusion des épiphyses au métaphyses des phalanges distales. © Gilsanz et Ratib



En période post puberté (entre 15 et 17 ans pour les filles, entre 17 et 19 ans pour les garçons), les os du carpe, les métacarpiens et les phalanges sont complètement développés et leurs cartilages de croissance sont totalement ossifiés. L'évaluation de la maturité osseuse se base donc sur le degré de fusion des épiphyses ulnaire et radiale. (Gilsanz et Ratib 2005)



Représentation, de gauche à droite, des degrés progressifs de fusion des épiphyses ulnaire et radiale.  
© Gilsanz et Ratib

### 3.4 Amplitudes physiologiques du poignet

Les amplitudes articulaires physiologiques du poignet sont les suivantes :

- flexion palmaire 80° à 90°
- flexion dorsale 75° à 85°
- inclinaison radiale 20°
- inclinaison ulnaire 35°
- supination 90°
- pronation 90°

### 3.5 Biomécanique classique

Le poignet associe les articulations radio-ulnaire inférieure, radio-carpienne et le complexe fibro-cartilagineux (ou disque articulaire ou ligament triangulaire) qui est l'interface entre la tête ulnaire et le carpe.

La capsule de la radio-ulnaire inférieure est lâche. La capsule de la radio-carpienne est épaisse et résistante en avant. Plus faible et clairsemée en arrière, elle peut laisser passer des replis synoviaux, qui peuvent former des kystes à la face postérieure du poignet.

Indépendamment des mouvements de flexion-extension-inclinaison ulnaire-inclinaison radiale, le poignet est le siège de glissements-bâillements du fait de la non-congruence de ses surfaces et de la laxité de sa capsule.

Sur le plan mécanique, le carpe est au contact du radius et non de l'ulna. C'est au radius que les contraintes sont essentiellement transmises par la main. Le contact médial est le fait du disque articulaire et seulement en position d'inclinaison ulnaire du poignet. La liberté osseuse de la partie médiale du carpe est compensée par un maintien ligamentaire représenté par la fronde formée par les fibres radio-triquétrales antérieures et postérieures.

Sur le plan pathologique, le poignet est soumis à la forte composante coaptatrice des tendons péri-articulaires. Il peut en découler un surmenage générateur d'usure et de déstabilisation, déclenchant le cercle vicieux de l'aggravation. Sur le plan traumatique, le poignet est souvent victime de chute sur la main, ayant pour conséquences des entorses ligamentaires et des fractures, qui modifient les rapports osseux du poignet (Dufour).

Pour le sujet qui nous intéresse, le poignet devient une articulation en charge, dans une position d'hyper-extension, subissant des impacts de manière répétitive, ce qui ne correspond pas à sa fonction physiologique d'orientation et de stabilisation de la main lors des préhensions.

### 3.6 Particularité biomécanique de l'enfant en croissance – Variance ulnaire négative

Chez l'enfant, la présence des zones de cartilage de croissance modifie la biomécanique.

Les gymnastes débutant à un très jeune âge leur pratique sportive, les cartilages de croissance du poignet sont des zones potentiellement à risque lésionnel.

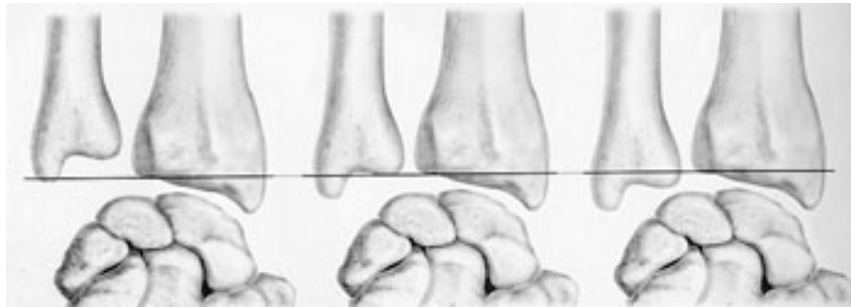
Le cartilage de croissance distal du radius est particulièrement visé parce que celui-ci supporte la quasi totalité de la charge sur un poignet en hyper-extension.

Chez l'adulte pour qui la variance ulnaire est neutre, environ 80% de la charge en contrainte appliquée sur un poignet en extension est supportée par le radius (Palmer 1984).

La présence des cartilages de conjugaison non fermés chez l'enfant engendre une variance ulnaire négative (environ - 2mm en moyenne) (Hafner et al. 1989)

Il a été montré expérimentalement, que le raccourcissement de l'ulna de -2,5 mm, dans le but de réduire la variance ulnaire, augmente la contrainte exercée sur le radius à 96% (Palmer 1984).

On peut donc que chez l'enfant, la totalité des contraintes de compression passe par le radius. Il semble alors que le cartilage de croissance radial distal soit le plus exposé aux lésions en compression, comme lors des appuis répétés en pratique gymnique.



*Schéma montrant les différents index radio-ulnaire inférieur en fonction de la position de l'ulna par rapport au radius. (c) [www.maitrise-orthopedique.com](http://www.maitrise-orthopedique.com)*

## 4 Epidémiologie

De nombreuses études épidémiologiques ont été réalisées sur les blessures en gymnastique.

Zeier (2006) note une grande hétérogénéité dans la localisation des lésions, la gymnastique étant le regroupement d'une multitude de disciplines très différentes les unes des autres et occasionnant des blessures tout aussi diverses. Cependant, on peut voir que les lésions du membre supérieur représentent 30% des lésions totales, le poignet et la main regroupant 16% des lésions.

Dans une vaste étude de littérature de 2005, visant à passer en revue la répartition et les facteurs déterminants du nombre de blessures en gymnastique, Caine et Nassar constatent que, considérant la configuration anatomo-physiologique du membre supérieur comme mal adaptée à la mise en charge, il n'est pas surprenant de voir que celui-ci est en 2<sup>ème</sup> position pour la fréquence des blessures (Caine Nassar 2005).

Le poignet est plus fréquemment touché chez les gymnastes féminines et les douleurs de poignet sont courantes chez les gymnastes des 2 sexes (46 à 87,5% suivant les études (Caine et al., 1992) (Di Fiori 2002).

Le tableau ci après, tiré de l'étude de Caine et Nassar, résume brièvement les données provenant d'études croisées, sur les blessures intéressant le poignet de gymnastes masculins et féminins de niveaux divers. Il met en correspondance douleurs de poignet et objectivation des lésions de cartilage de croissance.

Plusieurs études montrent une prévalence importante des blessures dites de « sur-utilisation » du poignet chez les filles comme chez les garçons (Howe 1997).

Dans une étude chinoise menée sur 9 ans, assurant le suivi radiologique de 18 gymnastes féminines élite nationale, environ 33,3% des sujets (6/18) ont développé progressivement une pathologie menant à « une croissance empêchée du radius » et à un « ulna relativement plus long ». (Lichen 1983).

Dans une étude récente, menée sur un groupe de 19 gymnastes masculins, Guerra et coll., (2016) trouvent que 65% des gymnastes ont une atteinte radiologiquement visible des cartilages de conjugaison distaux du radius.

Dans une revue systématique, Kox et al. (2014) constatent que prévalence et incidence des blessures de sur-utilisation du poignet sont élevées dans de multiples études réalisées sur les gymnastes. Ils déterminent 3 facteurs de risques clés chez les athlètes présentant des « poignets douloureux des gymnastes » : un âge compris entre 10 et 14 ans, le début de la gymnastique à un jeune âge, et l'intensité élevée de l'entraînement.

Les autres types d'atteintes osseuses et ligamentaires moins spécifiques ou moins fréquemment observées dans la pratique gymnique mais néanmoins décrites apparaissent dans la littérature sous forme de cas cliniques.

Study	n	Age	Level	Diagnosis/Condition
Auberge et al. [56]	57 F 41 M	14–17 17–33	junior national junior national	Chronic osteoarticular lesions involving the distal radial growth plate (85%) Chronic osteoarticular lesions involving the distal radial growth plate (80%)
Szot et al. [45]	41 M	15–31	national	Distal radial epiphyseal irregularities (58.5%)
Roy et al. [57]	26 F	9–14	class II	Minimal widening and irregularity of the distal radial growth plate (30.8%)
Caine et al. [52]	39 F 21 M	12.6 12.6	III, II, I IV, III, II, I	Minimal widening and irregularities of the distal radial physis (10%) Definite changes of subchondral sclerosis, physal widening, marginal new bone formation, and distortion of the distal end of the radius (4.8%)
DeSmet et al. [58]	156 F (not fused)	15.9	national	Enlargement of the distal radial growth plate with irregular borders in 10% of the cases; at baseline, 23 of 50 gymnasts had wrist pain
Chang et al. [59]	176 M/F (77 F, 99 M)	11–16	Chinese Opera students	Unfused group: 10 girls (14.3%) and 32 boys (32.3%) showed stress-related changes of the distal radial growth plate; 23 cases show early partial closure of the distal radial growth plate
De Fiori and Mandelbaum [53]	52 M/F (32 F, 20 M)	11.8	club level	38 (73%) reported wrist pain within the past 6 months; gymnasts with wrist pain were older, trained at a higher skill level, trained more hours per week, and began training at an older age
De Fiori et al. [54]	44 M/F (27 F, 17 M)	11.6	nonelite	11 gymnasts (25%; MF) showed radiographical evidence of stress injury to the distal radial physis
De Fiori et al. [60]	47 M/F (21 F, 26 M)	5–16 yrs	club level	Wrist pain was reported by 57% (27 of 47) of the gymnasts; 81% (24 of 27) reported wrist pain both at study onset and one year later; 42% of subjects with wrist pain reported that symptoms interfered with training
Di Fiori et al. [ 55]	59 MF (28 F, 31 M)	9.3	club level	Wrist pain was reported by 56% (33 of 59) of the gymnasts, with 45% (15 of 33) describing pain of at least 6 months; 51% of the gymnasts (30 of 59) had a finding of stress injury to the distal radial physis of at least a grade 2

Etudes croisées concernant les lésions et atteintes du poignet affectant les jeunes gymnastes masculins et féminins © Caine, Nassar 2005

## 5 Pathologies

### 5.1 Le syndrome douloureux du poignet du gymnaste ou « gymnast wrist »

#### 5.1.1 Définition

Le « gymnast wrist » ou poignet douloureux du gymnaste (Di Fiori et al., 2006) peut être défini comme une douleur chronique de la zone dorso-radiale de l'articulation du poignet, caractérisée par une lésion objectivée des cartilages de croissance distaux du radius (Poletto 2012).

C'est une pathologie de sur-utilisation et de stress en compression à répétition de l'articulation radio carpienne.

On peut parler dans un premier temps de fracture de stress de l'extrémité inférieure du radius, qu'on peut comparer à un stade SALTER I.

De ces lésions résulte une dysfonction de la capacité de croissance de la partie distale du radius. Mis en parallèle avec une capacité de croissance conservée de l'ulna, ces épiphysodèses peuvent mener à une « déformation pseudo-Madelung » (Vender 1988).

L'appellation « déformation pseudo Madelung » fait référence à la déformation congénitale du poignet avec radius court et incurvé et sublucation postérieure de la tête ulnaire, caractéristique de la maladie de Madelung.

#### 5.1.2 Mécanisme lésionnel

L'atteinte résulte de la combinaison répétitive de mise en charge axiale du poignet en appui, dans une position d'hyper-extension (fig. 1), plus ou moins en supination.



Si on compare le membre supérieur au membre inférieur concernant la capacité à atténuer les forces de réaction du sol, on observe que le membre supérieur est constitué d'os plus petits et de muscles plus grêles. Les forces sont peu atténuées à travers un talon de main peu rembourré et directement par l'intermédiaire des os du carpe avant d'être transmises au radius et à l'ulna (fig. 2).

Une étude de Markoff et al. (1990) a montré que l'articulation du poignet, chez les gymnastes pratiquant le cheval d'arçon, peut subir jusqu'à 16 fois le poids du corps en contrainte en compression lors de la prise de mesure à l'impact de la main sur l'appareil.

Dans une étude menée par Seeley et Bressel (2005), il est montré que l'intensité des forces subies par le poignet lors de l'exécution d'un Yurchenko (fig 3) au moment de l'impact de la main sur la table de saut peut atteindre 1200 N.

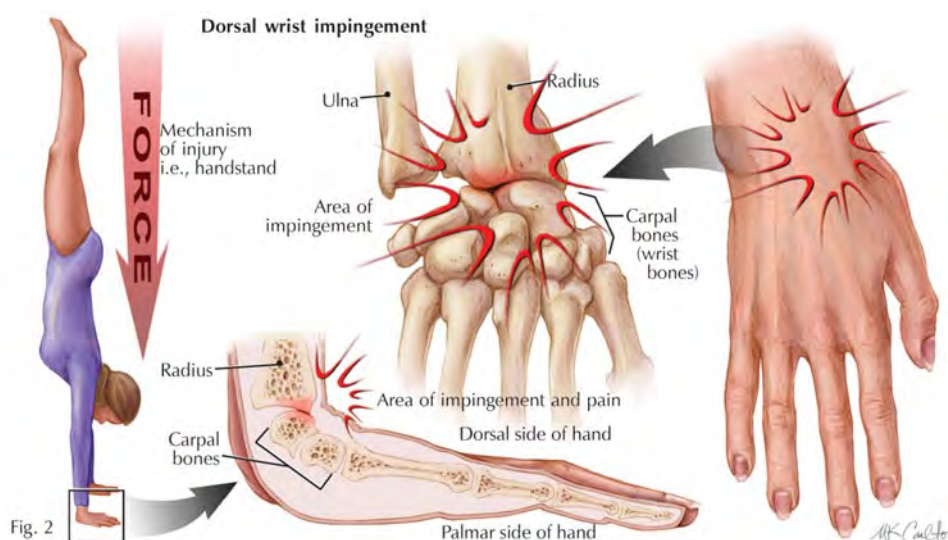


Fig. 2

©www.hughston.com

Lors d'un appui de main, le bord postérieur de l'extrémité inférieure du radius entre en conflit avec les os du carpe. Ce type d'appui est répété de très nombreuses fois lors des routines de sol, de table de saut ou de poutre.

Néanmoins, si cette intensité n'est pas suffisante pour provoquer une fracture franche de l'extrémité inférieure du radius, il apparaît que la pratique répétitive de ce type d'activités peut être un facteur favorisant la survenue de pathologies de sur-utilisation de l'articulation du poignet.

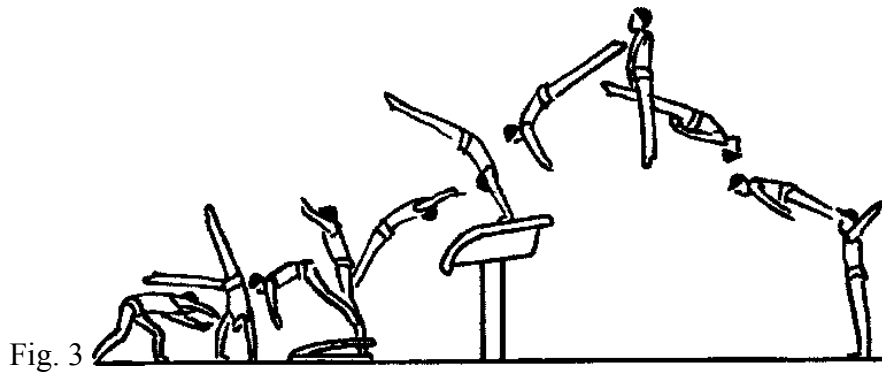


Fig. 3

©<http://fr.jaime-la-gymnastique.wikia.co>

### 5.1.3 Physiopathologie

Les douleurs de poignet sont très courantes chez les jeunes athlètes, aussi bien dans les catégories élite que chez les compétiteurs amateurs.

Les athlètes les décrivent lors des entraînements (pompes, musculation) et lors des éléments gymniques (difficultés) qui mettent en jeu le poignet.

La douleur débute dès la mise en charge du poignet et augmente avec la charge d'entraînement.

La douleur est souvent déclenchée à l'examen palpatoire de la partie dorsale du poignet (interligne radio carpien).

Les structures ligamentaires et la capsule articulaire du poignet sont 2 à 5 fois mécaniquement plus résistants que les cartilages de croissance, ce qui rend ces derniers plus enclins à subir des lésions chez le jeune gymnaste (Liebling et al. 1995).

Les contraintes en charge répétées sont la cause de micro lésions cumulatives de la physe inférieure radiale, menant potentiellement au dysfonctionnement des cartilages de croissance (croissance dys-harmonieuse, ralentissement ou arrêt de la croissance de la partie inférieure du radius).

Le radius d'un adulte subit 80% des contraintes lors d'une mise en charge (Webb & Rettig 2008). Chez l'adolescent, la variance ulnaire négative « physiologique », due aux phénomènes de croissance et de maturation osseuse, induit des contraintes supportées par l'extrémité distale du radius dont la mesure approche les 96 % (Dwek 2009).

On peut donc considérer que, tout au long de la période de croissance et de maturation osseuse, le radius supporte près de 100% des contraintes lors des activités de mise en charge.

La structure osseuse radiale subit donc un stress mécanique important qui engendre un risque élevé de lésion des zones de cartilage de croissance au sein de ces groupes d'âge.

Ces lésions peuvent provoquer l'arrêt prématuré de la croissance osseuse de l'extrémité inférieure du radius par épiphysiodèse.



Dans le même temps, l'ulna (ne supportant qu'environ 4% des contraintes) continue sa croissance physiologique et peut même dépasser en longueur le radius.

Les mises en charge répétitives d'un poignet en hyper-extension semblent être un facteur déclenchant de lésions chroniques du cartilage de croissance distal du radius (DiFiori et al 2006).

La survenue de douleurs chroniques du poignet chez un gymnaste compétiteur, augmentées par la pratique et ne disparaissant pas avec le repos, doit être investiguée par l'imagerie.

#### 5.1.4 Examens complémentaires et imagerie

Les critères radiologiques diagnostiques pour une lésion de stress du cartilage de croissance distal du radius sont définis comme un ou plus des signes suivants :

- élargissement du cartilage de croissance
- modification cystique de l'aspect métaphysique du cartilage de croissance
- aspect ostéophytique de l'épiphyse
- effet brouillard dans la zone du cartilage de croissance, normalement radio-transparent (Roy et al., 1985) (DiFiori et al., 2006).

Certains cas évolués peuvent montrer une calcification prématurée du cartilage de croissance distal du radius (pont osseux visibles sur IRM) et une variance ulnaire positive (Liebling et al., 1995).



© Cornwall 2010

L'élargissement ou l'irrégularité des cartilages de croissance à la radiographie indique une dysfonction de la croissance osseuse (lésions avérées ou ralentissement) et devra engendrer une discussion sur la cessation temporaire ou définitive de la pratique gymnique (Rettig 2004).

Sur les clichés ci dessus, on voit un élargissement des cartilages de croissance du radius (cliché A) chez une gymnaste souffrant de douleurs chroniques de poignet.

L'arrêt de la discipline a été préconisé mais non respecté. A J+9mois de la consultation initiale (cliché B), le même poignet montre un arrêt de la croissance du radius et un ulna long (Cornwall 2010).

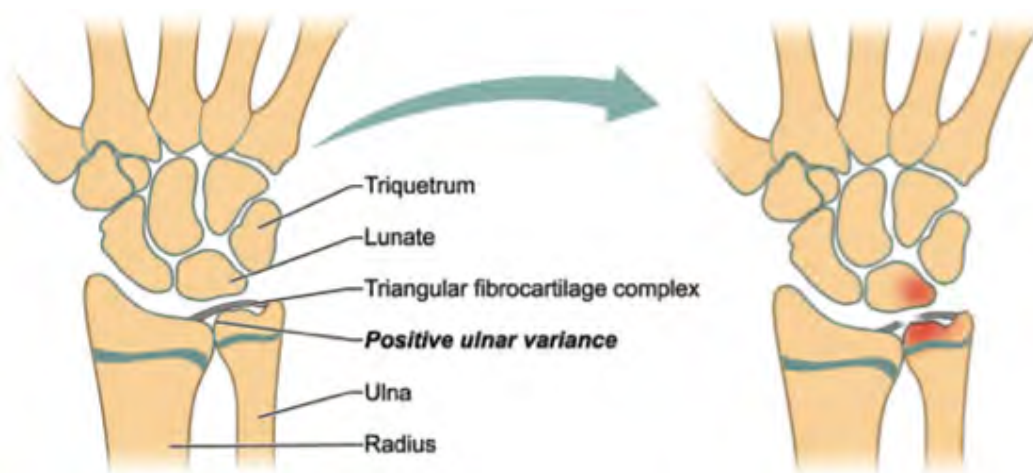
## 5.1.5 Complications associées

### 5.1.5.1 Syndrome d'impaction ulnaire (ulnar impaction syndrom)

Le syndrome d'impaction ulnaire est la conséquence d'une variance ulnaire positive, ce qui signifie que l'ulna est trop long par rapport au radius.

Dans le cas du « gymnast wrist » c'est la diminution de croissance du radius parallèlement à une croissance conservée de l'ulna qui provoque ce phénomène.

L'inversion de l'index radio-ulnaire distal avec une variance ulnaire positive par raccourcissement relatif du radius entraîne à terme un conflit entre la tête de l'ulna et la face articulaire proximale du semi-lunaire. Ce contact très arthrogène entraîne l'altération des surfaces cartilagineuses de la tête ulnaire et carpiennes.



© Little 2014

Le traitement est chirurgical.

Plusieurs techniques sont envisageables, plus ou moins conservatrices :

- l'ostéotomie de raccourcissement de la diaphyse ulnaire à ciel ouvert avec mise en place d'une plaque vissée.
- la technique du Wafer, sous arthroscopie, qui consiste en la résection du dôme distal de l'ulna.
- l'intervention de Darrach qui consiste à supprimer 12 mm de la partie distale de l'ulna. Cette résection doit s'accompagner d'une arthroplastie et d'une stabilisation de la diaphyse ulnaire restante. L'interposition fibreuse, la fermeture de la capsule, le re-sanglage du tendon de l'extenseur ulnaire du carpe doivent faire partie de l'intervention qui n'est pas une simple excision osseuse.
- l'intervention de Sauvé-Kapandji qui consiste en une arthrodèse radio ulnaire distale accompagnée d'une résection d'un cylindre osseux en proximal par rapport à l'articulation. La prono-supination se fera dans cette espace créé en amont de l'arthrodèse.

### 5.1.5.2 Lésion du disque articulaire (triangular fibro cartilage complex tear)

Selon la même logique mécanique que pour le syndrome d'impaction ulnaire, un ulna long associé à la diminution relative de longueur du radius peut engendrer une lésion du disque articulaire (ancien ligament triangulaire).

Lors des mises en charge axiales à répétition, l'ulna trop long va venir buter de manière répétitive sur la nappe fibro-cartilagineuse que constitue le disque articulaire, induisant des contraintes répétées en cisaillements sur le carpe jusqu'à perforer la nappe ligamentaire comme illustré sur le schéma précédent.



*Schéma montrant les lésions induites par le conflit ulno-lunaire : D'abord une perforation centrale du disque articulaire, puis une chondropathie en miroir de la partie distale de l'ulna et de la face interne du semi-lunaire et enfin une déchirure du ligament luno-triquétral.*

©www.maitrise-orthopedique.com

Sur le plan clinique, des douleurs du plan ulnaire sont décrites, mal systématisées.

Les douleurs sont majorées à l'effort et à la prono-supination, parfois associées à une sensation de claquement.

Le traitement est chirurgical.

La prise en charge se fait sous arthroscopie. Le diagnostic lésionnel précis est apporté par le bilan endoscopique et toutes les formes de pathologies trouvées seront traitées lors du même temps opératoire. (Fontès 2006)

### 5.1.5.3 Entorse scapho-lunaire

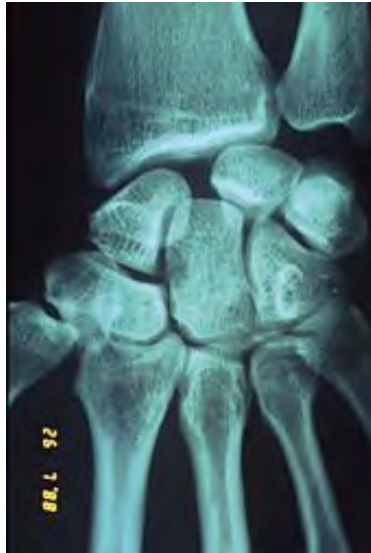
L'entorse scapho-lunaire est consécutive à une chute sur la main accompagnée d'un mouvement en hyper-extension et déviation ulnaire du poignet.

Dans le cadre de la pratique gymnique, il ne s'agira pas nécessairement d'une chute mais d'un mouvement répétitif reproduisant le mécanisme lésionnel.

L'appui sur la table de saut ou les appuis de main lors des routines, au sol ou sur la poutre, reproduisent l'hyper extension du poignet en inclinaison ulnaire, le tout en charge axiale.

Le mouvement d'hyper-extension provoque un allongement des ligaments radio-carpiaux externes ce qui permet au scaphoïde de continuer sa course en rotation vers l'arrière jusqu'à rupture du ligament qui l'unit au semi-lunaire. Il peut s'agir d'une simple élongation ou d'une rupture. De plus, s'il y a rupture, en fonction des éléments stabilisateurs restant, celle-ci peut entraîner une instabilité du carpe.

Sur le plan clinique, la douleur se manifeste à l'effort, en déviation radiale et en flexion. Elle se localise sur le versant dorso-radial du poignet.



Espace scapho lunaire et signe de l'anneau du scaphoïde (©www.maitrise-orthopedique.com)

Le traitement proposé est fonction de l'évaluation de la stabilité articulaire.

Si l'instabilité est radiologiquement observée, le traitement chirurgical sera proposé d'emblée.

Plusieurs possibilités sont envisageables et concourent à retrouver une stabilité articulaire. Le bilan lésionnel sera effectué sous arthroscopie et le chirurgien choisira la procédure appropriée (suture directe +/- stabilisation par broches, capsulodèse ...).

Si l'instabilité n'est pas franche, dans un premier temps l'immobilisation pendant 2 à 3 semaines sera proposée, puis on procédera à une réévaluation des douleurs et de la stabilité de l'articulation.

#### ***5.1.5.4 Lésion focale ostéochondrale du lunatum (focal lunate osteochondral defect)***

Cette atteinte focale du lunatum est rapportée par Dwek chez deux jeunes gymnastes présentant des douleurs de poignet.

L'imagerie montre, dans les deux cas, un ligament scapho-lunaire intact mais « anormal ». L'exploration chirurgicale d'un des sujets montre des tissus lésionnels évoquant une chondromalacie.

Cette observation se rapproche de celle décrite par Earp et coll., associée, à chaque fois, à une lésion du ligament scapho-lunaire, au sein d'une population non spécifiée (Dwek 2009, Earp 2006).

Le traitement est chirurgical et s'effectue sous arthroscopie. Le bilan lésionnel endoscopique orientera les techniques à mettre en œuvre.

#### **5.1.5.5 Conflit radio carpien dorsal (dorsal carpal impingement)**

La mise en charge axiale sur un poignet en hyper-extension peut provoquer un pincement de la synoviale.

On peut alors observer une inflammation de la capsule et/ou de la synovie avec un épaissement capsulaire.

La diminution ou l'arrêt des activités en hyper-extension diminuent généralement les symptômes.

Le traitement est le repos de l'articulation en première intention.

Si les symptômes persistent à la reprise sportive, un débridement sous arthroscopie de la synoviale postérieure est parfois nécessaire.

On peut observer également un tableau clinique identique au conflit radio carpien dorsal précédemment décrit pour des causes différentes.

#### **5.1.5.6 Compression du nerf interosseux postérieur au poignet**

Si, après un examen radiographique éliminant toute atteinte osseuse, les symptômes persistent, une neurolyse du nerf interosseux postérieur (branche terminale sensitive de la branche profonde du nerf radial) et une régularisation d'éventuels ostéophytes de la berge radiale postérieure peuvent être nécessaires (Rettig 2004).

Le traitement est chirurgical et consiste en une neurolyse du nerf interosseux postérieur.

#### **5.1.5.7 Conflit Extenseur Commun des Doigts/4<sup>ème</sup> espace du rétinaculum des extenseurs**

Dans la littérature, on trouve la description par Wilson et al , d'un cas clinique montrant un conflit des tendons de l'extenseur commun des doigts au niveau du 4eme compartiment du retinaculum des extenseurs.

Après une chirurgie libératrice, le sujet a pu retourner à sa pratique sportive au niveau international (Wilson et al., 2006).

#### **5.1.5.8 Kystes synoviaux**

Des kystes synoviaux peuvent apparaître à la face dorsale du poignet, résultant de la relative fragilité de la partie dorsale de la capsule et des mouvements répétés en hyper-extension et en charge. Les radiographies classiques ne montrent aucune atteinte et l'IRM met parfois en évidence l'excroissance synoviale.

Si la mise au repos du poignet ne permet pas la disparition des symptômes, une exploration chirurgicale par arthroscopie et un débridement-exérèse peuvent être nécessaires.

### 5.1.5.9 Instabilité médio-carpienne

L'instabilité du médio-carpe est définie comme une lésion anatomique des éléments ligamentaires, entraînant une hyper mobilité de la première rangée du carpe.

Une instabilité du médio carpe sans lésion ligamentaire objectivée est due à une laxité ligamentaire.

L'instabilité palmaire est la forme la plus courante et survient typiquement chez les patients hyper-laxes.

La distension des faisceaux moyens des ligaments antérieurs et postérieurs radio-carpiens et des ligaments scaphoïdiens mènent à un affaissement palmaire de la première rangée. Un ressaut peut être entendu en inclinaison ulnaire maximale.

Un autre type d'instabilité médio-carpienne peut être due à une instabilité chronique de l'articulation entre lunatum et capitatum. La stabilité de cette articulation est assurée en partie par le ligament scapho-triquetral antérieur (et un autre postérieur) qui passe en pont sur le lunatum, lui servant de barrière (Dufour) et par le faisceau inférieur du ligament radio-carpien antérieur (et postérieur). Une distension de ces structures entraîne des douleurs chroniques, une sensation de faiblesse et des ressauts (Niacaris 2015)

Des mises en charge répétées du poignet peuvent aggraver une laxité sous jacente, menant à une instabilité, des douleurs et potentiellement une incapacité à pratiquer la discipline.

Le traitement est chirurgical.

Les procédés chirurgicaux sont nombreux et seront choisis en fonction du degré d'instabilité.

## 5.2 Autres atteintes osseuses

### 5.2.1 Syndrome d'impaction scaphoïdienne (scaphoïde impaction syndrom)

Cette pathologie est décrite par Linscheid et Dobyns comme une impaction de la berge dorsale du scaphoïde en regard de la lèvre dorsale du radius, causée par une hyper-extension forcée du poignet.

A l'examen, on retrouve des douleurs à la palpation de la zone dorso radiale du poignet, augmentées en extension, et à la palpation de la face dorsale du scaphoïde, particulièrement lors du positionnement du poignet en flexion et déviation ulnaire (Linscheid et Dobyns 1985).

### 5.2.2 Fracture de stress du scaphoïde

Les fractures de fatigue du scaphoïde chez le gymnaste ne sont pas fréquentes, et sont décrites dans la littérature sous forme de cas cliniques.

Les sujets de ces rapports ont en commun une pratique intensive, plusieurs fois par semaine, et sont compétiteurs à un niveau élite (Engel 1991, Yamagiwa 2009, Nakamoto 2011).

Le mécanisme lésionnel est encore la mise en charge répétitive du poignet dans différents degrés d'extension. Le traumatisme répété est insuffisant pour provoquer une lésion aigüe mais peut induire à long terme des modifications osseuses visibles radiologiquement sur le corps du scaphoïde. On peut observer par la suite un trait de fracture franc.

A l'examen, on aura un poignet douloureux chronique sans accident spécifique et une sensibilité augmentée à la palpation et lors de la position en hyper-extension et déviation radiale.

### 5.2.3 Nécrose avasculaire du capitatum

Très peu documentée dans la littérature récente, cette pathologie est néanmoins décrite chez 2 sujets par Mukarami et Nakajima (1984).

La cause semble être l'arrêt d'une vascularisation suffisante au niveau de la tête du capitatum en raison des traumatismes répétés. La vascularisation de la tête du capitatum étant rétrograde, tout traumatisme au niveau du col peut mener à une nécrose de la tête.

Le traitement est chirurgical et consiste en une résection partielle et un vissage.

### 5.2.4 Lyse des têtes métacarpiennes

Dwek (2009) décrit, pour la première fois, deux cas de lyse des têtes métacarpiennes chez deux gymnastes. Les appuis répétitifs en hyper-extension et hyper-flexion des métacarpo-phalangiennes effectués en gymnastique, combinés à une particularité de la vascularisation des têtes métacarpiennes (Wright 1991) pourraient être les causes de cette atteinte.

Selon l'auteur, on peut aussi envisager une ostéonécrose secondaire suite à une fracture passée inaperçue.

### 5.3 Blessure par « grip lock », une lésion mixte (grip lock injury)

Les gymnastes de niveau élite utilisent des maniques spécifiques à la pratique de la barre fixe ou des barres parallèles, pour améliorer la prise de barre quand ils doivent exécuter des éléments nécessitant une prise en force et diminuer les forces de cisaillement entre la paume et la barre.



Le « grip lock » ou verrouillage de la manique survient quand la partie distale (doigts) de l'accessoire et la partie proximale (poignet) se trouvent en contact l'un avec l'autre lors du serrage de la barre.

Quand la manique enserre totalement la barre, les frictions peuvent faire adhérer la manique sur elle-même, ce qui verrouille les articulations métacarpo-phalangiennes en flexion, en fermeture globale de la main (Tabila 2008, Sathyendra 2013).

Entraîné par la force de rotation, le gymnaste continue à tourner autour de la barre sur une main verrouillée, ce qui soumet le poignet et les os de l'avant bras à de fortes contraintes, pouvant entraîner des entorses, des fractures associées ou non à des lésions graves des tendons extenseurs, des lésions des extenseurs isolées.

Bezek, Vanheest et Hutchinson (2009) font état de 2 cas cliniques présentant pour l'un, fracture de la styloïde ulnaire et atteinte de type élongation des tendons de l'extenseur commun des doigts au niveau de l'index et pour l'autre, une fracture ouverte du radius et de l'ulna et un arrachement à la jonction myo-tendineuse de l'extenseur commun des doigts intéressant l'index.

Sathyendra (2013) rapporte le cas d'une élongation majeure de plusieurs tendons de l'appareil extenseur (pseudo rupture) ayant nécessité une tenolyse secondaire et une remise en tension par plicature en Z des tendons concernés.

Le traitement est chirurgical et les techniques seront choisies en fonction du bilan lésionnel osseux, tendineux et nerveux.



#### 5.4 Lésions cutanées ou « steak »

Les mains du gymnaste sont en général sèches et calleuses, parfois fissurées, mais il est maintenant rare de voir, comme par le passé, des lésions dermiques profondes et sanglantes par arrachement sur l'agrès (barre fixe, barres parallèles, barres asymétriques), compte tenu de nouvelles protections manuelles.



[www.christian-moreau.com](http://www.christian-moreau.com)

On peut encore cependant observer des lésions de type phlyctène, localisées en regard des têtes métacarpiennes ou du pli palmaire intermédiaire.



[www.imgrum.org](http://www.imgrum.org)

Le port de maniques, largement généralisé dans la pratique de haut niveau comme dans la pratique en club, permet d'éviter les lésions cutanées graves des faces palmaires des mains.

L'utilisation de la magnésie permet d'éviter l'humidité des paumes de mains et participe à une réduction des forces de cisaillement sur la peau lors des rotations autour des barres.

Lors de lésions avérées, il convient de respecter le délai de cicatrisation.

On observe parfois l'utilisation de pansement colloïde « seconde peau » type Comfeel®, maintenu en place par de la bande en tissu adhésif, afin de reprendre l'entraînement dans un délai plus court.

## 6 REEDUCATION

Que ce soit après un traitement orthopédique ou chirurgical, la prise en charge rééducative adaptée débute dès que le diagnostic lésionnel est posé et que le corps médical donne son aval.

Si l'articulation a été immobilisée strictement, la prise en charge débutera à l'ablation de l'orthèse d'immobilisation.

Si l'orthèse d'immobilisation est amovible, elle sera retirée pour les séances de kinésithérapie en accord avec les consignes médicales et chirurgicales.

Les objectifs seront les suivants :

- l'antalgie, en utilisant tous les outils de physiothérapie à disposition (cryothérapie, électrothérapie, massages...)
- la diminution de l'œdème, par du drainage manuel, de la pressothérapie mécanique, la pose d'une contention adaptée et bien tolérée
- l'entretien des amplitudes articulaires autorisées par des mobilisations douces
- l'entretien articulaire et musculaire des zones sus et sous jacentes à la zone lésée.
- Les techniques d'imagerie mentale seront utilisées pour entretenir les schémas moteurs spécifiques du geste sportif.

Après contrôle médical, et suivant le type de lésion, le sevrage de l'immobilisation sera envisagé et on intensifiera la prise en charge rééducative :

- récupération progressive des amplitudes articulaires
- redynamisation et renforcement des groupes musculaires concernés d'abord en actif libre en privilégiant le mode statique pour progressivement aller vers la mise en place de résistances et le mode dynamique, concentrique.
- rééducation fonctionnelle avec réintégration progressive du geste sportif. La technique de séquençage du geste sportif sera utilisée pour permettre à l'athlète une meilleure prise de conscience et donc une correction efficace du geste.
- Toutes les techniques de physiothérapie et d'imagerie mentale seront encore intégrées au programme.

Comme pour toute rééducation, les consignes médicales et chirurgicales seront scrupuleusement respectées et il conviendra de mettre en place une prise en charge pluri disciplinaire cohérente, formée par les différents intervenants évoluant auprès de l'athlète (médecin, kinésithérapeute, préparateur physique, entraîneur).

Il faudra parfois faire comprendre à ces jeunes athlètes (et parfois à leur famille) que le statut de sportif ne permet pas de s'affranchir du respect des délais de consolidation et de cicatrisation des tissus...

En dehors des séances de kinésithérapie, un programme de retour progressif à la pratique du geste sportif sera mis en place par le préparateur physique en collaboration avec l'équipe soignante.

Une analyse ergonomique de la séquence du geste sportif responsable de la lésion sera envisagée afin de permettre à l'athlète de mieux comprendre le mécanisme lésionnel et de corriger son schéma moteur.

Une fois les délais de cicatrisation atteints et la consolidation osseuse acquise, l'athlète réintègrera progressivement des séances d'entraînement de plus en plus complètes.

Il conviendra toutefois d'être attentif à l'éventuelle réapparition de douleurs afin de réévaluer rapidement toute surcharge de travail de l'articulation lésée.

Même si c'est LA préoccupation principale de l'athlète de haut niveau et de son entourage, il semble toujours difficile de donner des délais précis de reprise de compétition.

Les objectifs devront être posés progressivement, au fur et à mesure du suivi médical et de l'évolution de la récupération de l'athlète.

## 7 Prévention et conduites à tenir - Matériel

En se référant aux nombreuses études s'intéressant aux pathologies liées à la pratique gymnique, à l'épidémiologie et à leurs conséquences sur un organisme en croissance, il apparaît que les syndromes douloureux du poignet affectent un grand nombre de gymnastes à tous les niveaux de pratique.

L'atteinte caractéristique des cartilages de croissance de l'extrémité distale du radius, mettant en péril une croissance osseuse harmonieuse du membre supérieur, est diagnostiquée chez un nombre significatif de gymnastes et liée au syndrome douloureux du poignet.

Le jeune âge des athlètes et la charge d'entraînement nécessaire à la bonne réalisation de performances gymniques compliquées impliquent que leur entourage ( entraîneurs, préparateurs physiques, médecins, parents ) soit formé et sensibilisé à ce risque et aux stratégies de prévention.

Il s'agit donc de poser quelques points importants pour une pratique sportive raisonnée chez ces jeunes athlètes en phase de croissance.

### 7.1 Entraînement et stratégies de prévention

- L'entraînement et l'acquisition progressive de la maîtrise des différentes compétences gymniques doivent faire l'objet d'un programme d'apprentissage individualisé pour chaque athlète (Sands 2000) (Caine Nassar 2005).
  
- L'augmentation de la charge d'entraînement et l'acquisition des difficultés gymniques devraient être graduelles et même diminuées lors des périodes de croissance intensive. La prise de mesure régulière de la taille fournit au médecin et à l'entraîneur le rythme de croissance (Di Fiori et al. 1996).
  
- Le contenu d'une séance de travail doit être varié, avec alternativement des exercices mettant en contrainte le poignet puis des exercices en chaîne ouverte, afin de réduire la somme totale des contraintes en compression sur le poignet au cours d'un entraînement (Sands 2000).
  
- Lors de l'apprentissage de nouveaux éléments gymniques comportant des phases de réception ou d'appui de main, il conviendra d'utiliser des matelas de réception plus mous, permettant ainsi l'absorption partielle des contraintes (Hallyday 2013).

- Le mode qualitatif sera privilégié au mode quantitatif, surtout lors de la maîtrise récente d'une nouvelle compétence gymnique. Il conviendra de porter toute l'attention à la correction du geste sportif plutôt qu'à la répétition du geste. L'utilisation de la vidéo pourra être utile et permettra de focaliser sur les éléments à corriger, sans nécessairement devoir effectuer de nombreuses répétitions.
- L'entraîneur doit pouvoir élaborer et proposer un programme d'entraînement séquencé qui permettra à l'athlète de s'adapter progressivement et de récupérer entre deux séances lors des phases d'apprentissage de nouveaux éléments. Il convient de diminuer les répétitions et la charge totale d'impacts en compression sur une séance pour réduire le risque de blessure (Burt 2010).
- Le membre supérieur n'étant pas physiologiquement adapté à un travail en charge, un programme de renforcement spécifique des muscles du haut du corps (tronc et ceinture scapulaire) sera envisagé, afin d'acquérir une force musculaire permettant une maîtrise plus efficace des amortis de réception (Hallyday 2013).
- Enfin, les athlètes présentant des douleurs de poignet persistantes ou récurrentes doivent être dirigés sans délais vers un praticien spécialisé et familier des pathologies rencontrées en gymnastique. La détection et le traitement précoce des douleurs de poignet chez les jeunes gymnastes peuvent limiter l'aggravation des lésions, permettre un rétablissement plus rapide et réduire la prévalence des douleurs chroniques et des lésions du poignet chez les athlètes plus âgés (Di Fiori et al. 2006).

## **7.2 Strapping, poignets de renfort anti-extension, maniques**

L'utilisation préventive des poignets de protection n'est pas validée dans la littérature en ce qui concerne la survenue de douleurs et les lésions de sur-utilisation chez les jeunes gymnastes. Des études biomécaniques et cliniques indiquent que ces accessoires sont cependant susceptibles d'éviter certaines lésions aiguës (Grant-Ford et al. 2003, Ronning et al. 2001, Staebler et al. 1999).

### **7.2.1 Intérêt du strapping circulaire**

Il est courant de voir les gymnastes se strapper circulairement les poignets dans un but de maintien et de renfort anti extension.

Cependant, le strapping circulaire couramment utilisé, finissant au niveau de la radio carpienne et ne croisant pas dans la paume de la main, a pour seul but de verrouiller et maintenir la congruence du radius et de l'ulna lors la mise en charge sur le poignet.

On peut légitimement affirmer qu'il n'a aucun effet de limitation de l'hyper extension du poignet.

### 7.2.2 Poignets anti hyper-extension

Il y a peu d'études spécifiques à l'évaluation objective de l'efficacité des poignets de force commercialisés dans leur rôle de diminution des contraintes sur le radius (Hallyday 2013).

Ils sont utilisés préférentiellement à l'entraînement, pendant lequel les gymnastes effectuent un plus grand nombre de répétitions que durant les temps de pré-compétition et de compétition.

On observe en pratique que les poignets de renfort sont peu utilisés en compétition, contrairement aux maniques de barre fixe ou barres asymétrique.

En effet, quand un athlète présente une difficulté en appui de mains, il est jugé sur sa capacité à maintenir une extension complète de coude et d'épaule et un alignement maximum. En utilisant des poignets de force limitant l'extension du poignet, il induira un degré de flexion supplémentaire dans les articulations sus-jacentes, compromettant ainsi la composante d'alignement.

Deux études menées sur différents type de renforts de poignet, par Grant-Ford et al. (2003) et par Kim et al (2006) établissent le fait que, pour être biomécaniquement efficace, tout dispositif de protection doit être un absorbeur de choc pendant une première période puis une source de stockage et d'absorption de l'énergie temporaire produite pour optimiser la force d'impulsion. Il ressort que les dispositifs dotés d'un coussinet composé de cellules remplies d'air en regard de la paume de la main, type Gibson Brace®, soient les plus efficaces pour absorber et restituer l'énergie et donc, mieux protéger les structures osseuses et tissulaires de l'athlète.

### 7.2.3 Maniques

Les maniques utilisées pour la pratique des barres asymétriques en gymnastique artistique féminine et de la barre fixe en gymnastique artistique masculine ont pour but d'assurer un meilleur glissement autour de la barre et de diminuer les forces en cisaillement au niveau des tissus de la paume des mains. L'intérêt principal est la protection cutanée.

Pour être d'une efficacité maximum, elles doivent être adaptées à la taille de la main et dans un état d'usure minimum. La partie en cuir recouvrant la paume et maintenue sur les phalanges distales ne doit pas présenter de signes d'allongement et de distension. L'augmentation en longueur, liée à l'usure de la manique, peut provoquer un verrouillage cuir sur cuir, main en fermeture autour de la barre, à l'origine du mécanisme lésionnel.

Quelques exemples de matériel de protection :

POIGNETS ANTI HYPER-EXTENSION



© www.christianmoreau.com



© www.gym-way.com



Gibson brace © www.gibsonathletic.com

## MANIQUES

Maniques pour barre fixe



Maniques pour barres asymétriques



© [www.christianmoreau.com](http://www.christianmoreau.com)



## 8 CONCLUSION

La pratique de la gymnastique ou de toute autre activité incluant une mise en charge sur les membres supérieurs inflige d'importantes contraintes en compression aux poignets des jeunes gymnastes. C'est pourquoi les douleurs et blessures de cette articulation doivent être l'objet de préoccupation constante pour ces sportifs, désireux de rester compétitifs.

Les lésions des cartilages de croissance distaux du radius peuvent mener à une épiphysiodèse précoce. Une croissance osseuse dys-harmonieuse des deux os de l'avant bras modifiera la biomécanique du poignet et entraînera l'apparition de lésions secondaires. Les phénomènes douloureux compromettent la pratique sportive et, à terme, les activités de vie quotidienne.

Le caractère quasi inévitable de l'apparition de ces douleurs de poignet en gymnastique et l'absence d'événement aigu inaugural compliquent doublement un dépistage précoce.

L'évaluation objective et la mise en place d'un traitement sont soumises à plusieurs variables. Déterminer les causes de ces douleurs requiert l'analyse des interactions entre les mécanismes spécifiques à la discipline pratiquée et les caractéristiques individuelles de l'athlète.

Que ce soit dans un objectif de soin ou de prévention, il convient, dans tous les cas, de privilégier la collaboration entre les acteurs de soin (médecin, kinésithérapeute), le staff d'entraînement (coach, préparateur physique certifié) et l'entourage familial.

Si les sportifs évoluant au sein des équipes nationales bénéficient d'un suivi médical coordonné et régulier, c'est rarement le cas des pratiquants en club. C'est donc sur cette population que les efforts de prévention doivent se concentrer.

Une formation technique régulière et une sensibilisation aux pathologies spécifiques destinées aux entraîneurs-moniteurs semblent être indispensables.

Une meilleure connaissance des mécanismes lésionnels, des pathologies et la mise en place précoce de stratégies de prévention permettront à ces jeunes gymnastes de pratiquer longtemps leur activité au meilleur niveau.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bezek, E. M., A. E. Vanheest and D. T. Hutchinson (2009). "Grip lock injury in male gymnasts." Sports Health **1**(6): 518-521.
- Bourgeois E., Griffet J. "Fractures chez l'enfant: particularités épidémiologiques, diagnostiques et thérapeuthiques." Question ENC n°237.
- Burt, L.A., D.G. Higham, R.Landeo and G.A.Naughton (2010). "Training load in pre-pubertal female artistic gymnastics." Science of Gymnastics Journal **2**(3) : 5-14.
- Caine, D. J. and L. Nassar (2005). "Gymnastics injuries." Med Sport Sci **48**: 18-58.
- Cornwall, R. (2010). "The painful wrist in the pediatric athlete." Journ Ped Orthopaedics **30**(2): 13-16.
- DiFiori, J. P., D. J. Caine and R. M. Malina (2006). "Wrist pain, distal radial physeal injury, and ulnar variance in the young gymnast." Am J Sports Med **34**(5): 840-849.
- DiFiori JP, Puffer JC, Mandelbaum BR, Mar S (1996). "Factors associated with wrist pain in the young gymnast." Am J Sports Med **24**:9-14.
- DiFiori, J. P., J. C. Puffer, B. Aish and F. Dorey (2002). "Wrist pain in young gymnasts: frequency and effects upon training over 1 year." Clin J Sport Med **12**(6): 348-353.
- DiFiori, J. P., J. C. Puffer, B. Aish and F. Dorey (2002). "Wrist pain, distal radial physeal injury, and ulnar variance in young gymnasts: does a relationship exist?" Am J Sports Med **30**(6): 879-885.
- Dufour, M., (2016). "Anatomie de l'appareil locomoteur- Tome 2. Membre supérieur. " 3<sup>ème</sup> édition, Elsevier-Masson Editeur.
- Dwek, J. R., F. Cardoso, C. B. Chung (2009). "MR imaging of overuse injuries in the skeletally immature gymnast : spectrum of soft tissue and osseous lesions in the hand and wrist." Pediatr Radiol **39**(12) :1310-6.
- Earp, B. E., P. M. Waters and R. J. Wyzykowski (2006). "Arthroscopic treatment of partial scapholunate ligament tears in children with chronic wrist pain." J Bone Joint Surg Am **88**(11): 2448-2455.
- Engel, A. and H. Feldner-Busztin (1991). "Bilateral stress fracture of the scaphoid. A case report." Arch Orthop Trauma Surg **110**(6): 314-315.
- Fontès, D., (2006) "Arthroscopic management of recent or chronic lesions of triangular fibrocartilage complex of the wrist." Chir Main **25**(S1) :178-186.
- Gilsanz, V., Ratib O. (2005). "Hand Bone Age. A Digital Atlas Of Skeletal Maturity. " ISBN 3-540-20951-4 .SPRINGER Editeur.

Grant-Ford, M., M. R. Sitler, S. H. Kozin, M. F. Barbe and A. E. Barr (2003). "Effect of a prophylactic brace on wrist and ulnocarpal joint biomechanics in a cadaveric model." Am J Sports Med **31**(5): 736-743.

Guerra, M. R., J. R. Estelles, Y. A. Abdouni, D. F. Falcochio, J. R. Rosa and L. H. Catani (2016). "Frequency of wrist growth plate injury in young gymnasts at a training center." Acta Ortop Bras **24**(4): 204-207.

Hafner, R., A. K. Poznanski and J. M. Donovan (1989). "Ulnar variance in children--standard measurements for evaluation of ulnar shortening in juvenile rheumatoid arthritis, hereditary multiple exostosis and other bone or joint disorders in childhood." Skeletal Radiol **18**(7): 513-516.

Hallyday, S. (2013). "Upper extremity vertical ground reaction forces during the back handspring skill in gymnastics: a comparison of braced vs. Unbraced techniques." Master's Theses and Doctoral Dissertations. Paper 495.

Kim, K. J., A. M. Alian, W. S. Morris and Y. H. Lee (2006). "Shock attenuation of various protective devices for prevention of fall-related injuries of the forearm/hand complex." Am J Sports Med **34**(4): 637-643.

Kox, L. S., P. P. Kuijer, G. M. Kerkhoffs, M. Maas and M. H. Frings-Dresen (2015). "Prevalence, incidence and risk factors for overuse injuries of the wrist in young athletes: a systematic review." Br J Sports Med **49**(18): 1189-1196.

Liechen, Q., O. Jianhua (1983). "Epiphyseal injury in gymnasts." Chinese Journal of Sports Medicine (2): 7-12.

Liebling, M. S., W. E. Berdon, C. Ruzal-Shapiro, T. L. Levin, D. Roye and R. Wilkinson (1995). "Gymnast's wrist (pseudorickets growth plate abnormality) in adolescent athletes: findings on plain films and MR imaging." AJR Am J Roentgenol **164**(1): 157-159.

Linscheid, R. L. and J. H. Dobyns (1985). "Athletic injuries of the wrist." Clin Orthop Relat Res(198): 141-151.

Little, J. T., N. B. Klionsky, A. Chaturvedi and A. Soral (2014). "Pediatric distal forearm and wrist injury: an imaging review." Radiographics **34**(2): 472-490.

Markolf, K. L., M. S. Shapiro, B. R. Mandelbaum and L. Teurlings (1990). "Wrist loading patterns during pommel horse exercises." J Biomech **23**(10): 1001-1011.

Murakami, S. and H. Nakajima (1984). "Aseptic necrosis of the capitate bone in two gymnasts." Am J Sports Med **12**(2): 170-173.

Nakamoto, J. C., M. Saito, G. Medina and B. Schor (2011). "Scaphoid stress fracture in high-level gymnast: a case report." Case Rep Orthop **2011**: 492407.

Niacaris, T., B. W. Ming and D. M. Lichtman (2015). "Midcarpal Instability: A Comprehensive Review and Update." Hand Clin **31**(3): 487-493.

- Palmer, A. K. and F. W. Werner (1984). "Biomechanics of the distal radioulnar joint." Clin Orthop Relat Res(187): 26-35.
- Poletto, E. D. and A. N. Pollock (2012). "Radial epiphysitis (aka gymnast wrist)." Pediatr Emerg Care **28**(5): 484-485.
- Rettig, A. C. (2004). "Athletic injuries of the wrist and hand: part II: overuse injuries of the wrist and traumatic injuries to the hand." Am J Sports Med **32**(1): 262-273.
- Roy, S., D. Caine and K. M. Singer (1985). "Stress changes of the distal radial epiphysis in young gymnasts. A report of twenty-one cases and a review of the literature." Am J Sports Med **13**(5): 301-308.
- Rønning, R., I. Rønning, T. Gerner and L. Engebretsen (2001). "The efficacy of wrist protectors in preventing snowboarding injuries." Am J Sports Med **29**(5): 581-585.
- Sands, W. A. (2000). "Injury prevention in women's gymnastics." Sports Med **30**(5): 359-373.
- Sathyendra, V. and A. Payatakes (2013). "Grip Lock Injury Resulting in Extensor Tendon Pseudorupture: Case Report." J Hand Surg Am **38**(12):2335-2338.
- Seeley, M. K. and E. Bressel (2005). "A Comparison of Upper-Extremity Reaction Forces between the Yurchenko Vault and Floor Exercise." J Sports Sci Med **4**(2): 85-94.
- Staebler, M. P., D. C. Moore, E. Akelman, A. P. Weiss, P. D. Fadale and J. J. Crisco (1999). "The effect of wrist guards on bone strain in the distal forearm." Am J Sports Med **27**(4): 500-506.
- Tabila, E.V., L. Kahanov (2008) "Grip Lock: A Unique Mechanism of Injury in Gymnastics." Human kinetics **13**(1): 7-10.
- Vender, M. I. and H. K. Watson (1988). "Acquired Madelung-like deformity in a gymnast." J Hand Surg Am **13**(1): 19-21.
- Webb, B. G. and L. A. Rettig (2008). "Gymnastic wrist injuries." Curr Sports Med Rep **7**(5): 289-295.
- Wilson, S. M., T. Dubert and M. Rozenblat (2006). "Extensor tendon impingement in a gymnast." J Hand Surg Br **31**(1): 66-67.
- Wright, T. C. and P. C. Dell (1991). "Avascular necrosis and vascular anatomy of the metacarpals." J Hand Surg Am **16**(3): 540-544.
- Yamagiwa, T., H. Fujioka, H. Okuno, M. Tomatsuri, J. Tanaka and S. Yoshiya (2009). "Surgical treatment of stress fracture of the scaphoid of an adolescent gymnast." J Sports Sci Med **8**(4): 702-704.
- Zeier, G. (2006). "Epidémiologie des traumatismes sportifs de l'enfant et de l'adolescent." Thèse de Médecine, Lausanne.