UNIVERSITÉ DE GENÈVE

Archive ouverte UNIGE
https://archive-ouverte.unige.ch

Thèse 2021

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Utilisation du signe du carre pronateur pour differencier les fractures de l'extremite distale du radius ou de l'ulna des contusion simples du poignet chez l'enfant

Starkenmann, Victor

How to cite

STARKENMANN, Victor. Utilisation du signe du carre pronateur pour differencier les fractures de l'extremite distale du radius ou de l'ulna des contusion simples du poignet chez l'enfant. Doctoral Thesis, 2021. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:152035

This publication URL: https://archive-ouverte.unige.ch/unige:152035
Publication DOI: 10.13097/archive-ouverte/unige:152035

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.

Section de médecine Clinique

Département de l'Enfant et de l'Adolescent

Service d'orthopédie pédiatrique

Thèse préparée sous la direction du Professeur Dimitri Ceroni

"UTILISATION DU SIGNE DU CARRE PRONATEUR POUR DIFFERENCIER LES FRACTURES DE L'EXTREMITE DISTALE DU RADIUS OU DE L'ULNA DES CONTUSION SIMPLES DU POIGNET CHEZ L'ENFANT. "

Thèse

Présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Genève

pour obtenir le grade de Docteur en médecine

par

Victor STARKENMANN

de Lancy (GE)

Thèse n° 15-119

Genève

2019

Table des matières

Thèse 1
Résumé : 3
Abréviations : 4
Introduction : 5
Matériel et méthode : 18
Résultats : 24
Discussion : 29
Conclusion : 32
Remerciements : 33
Références : 34

Résumé :

Les fractures de l'enfant en croissance diffèrent grandement de celles de l'adulte; certaines d'entre elles peuvent être difficilement visibles à la radiographie conventionnelle, avec une mention toute particulière pour les fractures physaires survenant au sein du cartilage de conjugaison. De tout temps, les cliniciens ont, de ce fait, pris l'habitude d'étudier non seulement le squelette osseux mais également les parties molles à la recherche de signes radiologiques indirects de fracture, se traduisant soit par une tuméfaction des parties molles adjacentes à l'os fracturé, soit par un épanchement intra-articulaire.

A ce propos, le signe du carré pronateur est un signe radiologique qui correspond à un refoulement de la ligne graisseuse recouvrant le muscle du carré pronateur. Le refoulement de cette ligne est inhérent à une tuméfaction post-traumatique voire à un saignement dans le muscle pronateur et il est généralement retrouvé lors des fractures du radius et du cubitus distal. Ce signe a principalement été étudié et décrit chez l'adulte mais on lui reconnaît également une valeur prédictive positive lors des fractures métaphysaires et physaires du poignet de l'adolescent.

Dans ce travail, nous avons effectué une étude rétrospective incluant les patients ayant consulté les urgences pédiatriques des Hôpitaux Universitaires de Genève à la suite d'un traumatisme du poignet, et chez qui un bilan radiographique du poignet a été réalisé. Cent dossiers de patients avec une fracture du poignet ont ainsi été colligés, et 100 dossiers radiographiques de contrôles ont été inclus afin de constituer un groupe témoin. L'analyse des clichés du poignet faits de profil nous a permis de mesurer deux paramètres représentatifs d'une atteinte des parties molles en avant du radius et cubitus, à savoir l'épaisseur du muscle du carré pronateur et l'épaisseur de la ligne graisseuse jouxtant le muscle carré pronateur.

Afin d'adapter ces mesures à la taille de l'enfant, nous les avons ajustées et normalisées à la taille du radius; la taille du radius étant tributaire à la fois de l'âge et du développement de l'enfant. Les résultats de l'étude ont montré que la taille du muscle du carré pronateur et l'épaississement de la ligne graisseuse étaient significativement plus grands dans le groupe des enfants avec une fracture que dans le groupe témoin. Nous avons également mis en évidence que lors de fractures sans effraction de la corticale, telles que les fracture en « motte de beurre », nous retrouvions une tuméfaction accrue du muscle du carré pronateur significativement plus grande que le groupe témoin, mais avec une épaisseur de la ligne graisseuse inchangée. Lors des fractures physaires, c'était essentiellement la ligne graisseuse qui était notablement plus épaisse ou effacée que lors d'autres types de fractures. Au final, nous avons constaté que la combinaison entre un épaississement de la ligne graisseuse et une

tuméfaction du muscle carré pronateur constituait les critères morphométriques les plus significatifs et discriminants pour confirmer la présence d'une fracture du poignet. Malgré l'utilisation de ces critères morphométriques ce test ne peut pas être utilisé comme test de dépistage en raison de sa faible sensibilité. Sa présence toutefois sur des clichés de poignet effectués dans un contexte traumatique devrait inciter le clinicien ou le radiologue à chercher de manière plus approfondie une possible fracture.

Abréviations :

SCP : Signe du carré pronateur

EMCP: Epaisseur maximale du carré pronateur

LGCP : Ligne graisseuse du carré pronateur (correspondant à la ligne graisseuse couvrant le muscle du carré pronateur.)

CAR : Corticale antérieure (palmaire) du radius

MDB : fracture en motte de beurre

Introduction :

Caractéristiques anatomiques et biomécaniques de l'os en croissance

En guise de préambule, il est important de signaler que le squelette de l'enfant en croissance diffère de celui des adultes en raison de ses caractéristiques anatomiques et de ses propriétés biomécaniques.

Anatomiquement, l'os en croissance comporte des zones de croissance, appelées plaques physaires ou cartilage de conjugaison[1,2]. Ce cartilage de croissance est situé entre l'épiphyse et la métaphyse à chaque extrémité des os longs et il assure la croissance longitudinale de l'os. Il comporte, sur son versant épiphysaire, une couche de cellules « souches » très fragiles. Une lésion de cette couche cellulaire peut induire un trouble de croissance qui peut être passager ou définitif. Mécaniquement, ce cartilage de croissance est peu résistant à la traction axiale et aux torsions. L'épaisseur importante du périoste est inhérente à l'os en croissance. Le périoste est une membrane fibreuse très vascularisée et riche en cellules, qui entoure l'os dans toute sa partie diaphysaire et métaphysaire. Le périoste chez l'enfant est particulièrement épais et très solide. En cas de torsion contenue, l'os se rompt, mais le périoste qui l'entoure reste continu. Il évite ainsi à la fracture de se déplacer de façon importante et maintient l'alignement des fragments, servant ainsi d'attelle interne à l'os. Lors de fracture, il joue un rôle primordial dans les phénomènes de consolidation primaire en produisant un cal périosté (cal externe) en deux à trois semaines. Enfin, la zone métaphysaire du jeune enfant comporte une faiblesse structurelle de la corticale et cela jusqu'à l'âge de 10 ans environ; en effet, la corticale est fine et elle résiste biomécaniquement peu aux contraintes axiales.

D'un point de vue biomécanique, l'os de l'enfant, qui est beaucoup plus chargé d'eau, est aussi mécaniquement moins résistant que celui de l'adulte. On peut de ce fait parler de véritable « fragilité osseuse ». En effet, l'os en croissance se caractérise par une moindre rigidité en flexion, par une plus faible résistance en tension, et par une flexibilité supérieure; de ce fait, il gravite dans un domaine de de déformation plastique plus marqué. Ces caractéristiques biomécaniques expliquent aisément les modalités de défaillance mécanique de l'os du petit enfant et de l'enfant pré-pubère. L'os de l'enfant comporte par ailleurs un cartilage conjugal qui constitue, d'un point de vue mécanique, une zone de faiblesse reconnue. Cette zone de croissance constitue donc le maillon faible structurel et mécanique de l'os; il est à ce propos reconnu depuis la fin des années 1800 que les ligaments et les capsules articulaires sont mécaniquement plus résistants que le cartilage de croissance. Le corollaire de cette caractéristique anatomique est que les traumatismes, qui aboutiraient à des lésions ligamentaires chez l'adulte, causeront des fractures physaires chez l'enfant en croissance.

Fractures spécifiques à l'os en croissance

Les considérations anatomiques et biomécaniques évoquées ci-dessus apportent les explications à la spécificité unique des fractures rencontrées chez le petit enfant, l'enfant pré-pubère et les fractures survenant au cours du pic pubertaire.

Les fractures en « motte de beurre » sont caractérisées par un simple tassement de l'os sans déplacement; elles constituent de simples pliures de la corticale métaphysaire et elles atteignent exceptionnellement les cartilages de conjugaison. L'os néoformé se situe au niveau métaphysaire. C'est un os spongieux, riche en cellules et en vaisseaux sanguins, mais dont la corticale demeure encore peu ou mal formée et donc peu résistante aux contraintes axiales. Cette fracture siège classiquement au niveau métaphysaire des os longs.

Les fractures diaphysaires peuvent être complètes ou incomplètes; les formes complètes sont analogues à celle de l'adulte (trait de fracture spiroïdal, transverse, oblique). Les formes incomplètes sont plus fréquentes et spécifiques à l'enfant; elles sont liées à la plasticité de la matrice osseuse et sont le plus souvent bénignes. Le membre supérieur est deux fois plus atteint que le membre inférieur, et les radius et cubitus sont les os les plus atteints.

Dans ce registre, les fractures en « bois vert » peuvent poser des problèmes de prise en charge et de réduction. Le trait de fracture intéresse un seul versant de la corticale. Lors d'un stress en flexion, la corticale soumise aux forces de tension est amenée à se rompre (à savoir au niveau de la convexité), alors que la corticale dans la concavité se déformera. Le périoste se déchirera et un bâillement du foyer de fracture se produira, avec pour charnière, l'autre corticale qui est incomplètement fracturée (comme une branche de bois vert). Le périoste restera intact du côté du traumatisme.

Dans les déformations « plastique », l'os qui est soumis à une stress progressif ne se rompt pas mais se déforme progressivement. Il n'y a pas de fracture mais une courbure plastique s'étendant sur toute la longueur de l'os.

15 à 30% des fractures intéressent le cartilage de croissance. La classification de Salter et Harris est unanimement reconnue et utilisée en traumatologie infantile; elle permet de classer ces fractures et d'appréhender le pronostic sur la croissance en fonction du stade. Cette classification dissocie les fractures physaires en 5 stades distincts.

Type I: Décollement épiphysaire pur. Le pronostic de croissance est bon.

Type II: Le trait de fracture emprunte le cartilage de croissance sauf à une extrémité où il remonte en zone métaphysaire. Le pronostic de croissance est habituellement bon.

Type III: Le trait de fracture emprunte le cartilage de croissance sauf à une extrémité où il devient épiphysaire. Le pronostic de croissance est compromis surtout s'il persiste un défaut de réduction, même mineur. Il s'agit d'une fracture à trait intra-articulaire.

Type IV: Le trait de fracture sépare un fragment épiphyso-métaphysaire. Le pronostic est souvent mauvais, même si la réduction paraît satisfaisante.

Type V: C'est un écrasement du cartilage de croissance par un mécanisme de compression. Il échappe à l'investigation radiologique conventionnelle et est en général identifiable que par sa complication: l'épiphysiodèse.

Signes indirects de fractures

Plus que chez l'adulte encore, certaines fractures peuvent être difficilement détectables sur les clichés initiaux en radiographie conventionnelle. De ce fait, les cliniciens ont pris l'habitude d'étudier non seulement le squelette osseux mais également les parties molles à la recherche de signes radiologiques indirects de fracture, se traduisant soit par une tuméfaction des parties molles adjacentes à l'os fracturé, soit par un épanchement intra-articulaire.

Les fractures intra articulaires se manifesteront par la survenue d'un épanchement intra-articulaire correspondant à une hémarthrose: radiographiquement, l'hémarthrose est facilement identifiable au niveau du coude et du genou. Au niveau du coude par exemple, cette hémarthrose refoulera antérieurement et postérieurement les lignes graisseuses (signe du voile ou fat pad sign). Il s'agit d'un signe indirect de fracture que l'on utilise largement en clinique pour diagnostiquer les fractures supra-condyliennes ou condyliennes de l'humérus distal chez l'enfant [Image 1].

Lorsque la fracture ne jouxte pas directement une articulation, c'est la modification de l'aspect et du volume des parties molles en regard de celle-ci qui orientera le clinicien et lui permettra de détecter avec une certaine efficience la présence d'une fracture occulte sous-jacente. Ces signes indirects de fractures ne sont pas d'une grande aide lorsque les fractures sont évidentes mais ils revêtissent une certaine importance lorsque la fracture est difficilement décelable, notamment lors de fractures physaires.

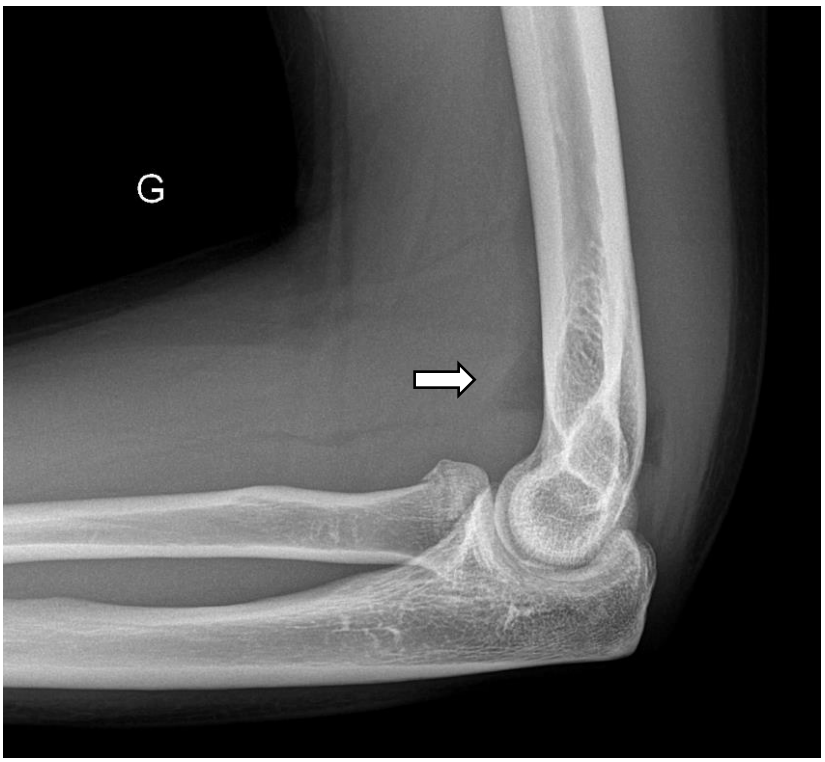

Image 1: Signe du voile (fat pad sign) au regard du coude.

Le signe du muscle carré pronateur

Le signe du carré pronateur (SCP)[9] est un signe radiologique qui correspond à un refoulement de la ligne graisseuse recouvrant le muscle carré pronateur. Le refoulement de cette ligne est inhérent à une tuméfaction post-traumatique voire à un saignement dans le muscle pronateur et il est généralement retrouvé lors des fractures du radius et du cubitus distal. Ce signe a principalement été étudié et décrit chez l'adulte mais on lui reconnaît également une valeur prédictive positive lors des fractures métaphysaires et physaires du poignet de l'adolescent.

Le muscle carré pronateur est un muscle du poignet qui s'insère sur la face palmaire des extrémités distales de l'ulna et du radius distal. Il est innervé par le nerf interosseux antérieur et comme son nom l'indique, il participe à la pronation et participe à la stabilisation de l'articulation radio-ulnaire distale. Son insertion distale au niveau du radius s'effectue au niveau de la « Whatershed line » (ligne du partage des eaux), ligne qui correspond à l'emplacement du cartilage conjugal.

Le muscle carré pronateur est en contact intime avec le périoste et se situe en profondeur des fléchisseurs longs des doigts; il est recouvert par une fine couche graisseuse. Cette couche graisseuse est visible sous la forme d'un fin liseré radio-transparent sur la radiographie de profil du poignet, sa position et sa forme sont susceptibles de se modifier lors de traumatismes ou de fractures du poignet

et de l'avant-bras[8]. En effet, cette ligne peut alors se déplacer, disparaître partiellement ou complètement. Cette variation d'aspect de cette ligne a été décrite comme le SCP par MacEwan[9] mais relativement peu d'études existent à ce sujet et ont validé cette hypothèse depuis la publication de l'article princeps.

Aucune étude ne s'est spécifiquement concentrée sur une population pédiatrique où le SCP prendrait tout son sens afin de mettre en évidence des fractures occultes du poignet, notamment en regard du cartilage de conjugaison.

Intérêt du SCP en traumatologie infantile

Comme dit précédemment, certaines fractures de l'enfant peuvent apparaître difficilement détectables sur les clichés initiaux en radiographie conventionnelle. Les fractures en motte de beurre par exemple, spécifiques à la population pédiatrie, sont différentes des fractures classiques car ne présentent pas de rupture complète mais uniquement une déformation de la corticale en raison des propriétés mécaniques de l'os de l'enfant. L'absence de rupture de corticale provoquera donc un saignement probablement moins important qu'un autre type de fracture. La localisation de la fracture en elle-même peut avoir un impact différent sur les tissus mous adjacents. Une fracture impliquant la zone métaphysaire est située sous le muscle du carré pronateur alors qu'une fracture du cartilage de conjugaison est située en regard de l'insertion du muscle du carré pronateur, donc relativement en contact direct avec la ligne graisseuse du carré pronateur décrite ci-dessus. Nous le verrons plus tard, mais ceci aura une répercussion différente sur le complexe du muscle du carré pronateur.

But de l'étude

Le but de cette étude était donc d'étudier si l'utilisation du SCP pouvait différencier de façon efficiente les fractures de l'extrémité distale du radius et/ou du cubitus des contusions simples du poignet. Pour ce faire, nous souhaitions démontrer qu'il existait une corrélation étroite entre la survenue du signe du carré pronateur et la présence d'une fracture locale, occulte fut-elle. Le deuxième but de l'étude était de définir des valeurs seuils pour le SCP chez l'enfant, au-delà desquelles la probabilité d'une fracture occulte serait suffisamment importante pour établir le diagnostic de fracture, ou pour lesquelles une imagerie complémentaire (IRM) pourrait être conseillée. Dans ce travail, nous avons effectué une étude rétrospective incluant les patients ayant consulté les urgences pédiatriques des Hôpitaux Universitaires de Genève à la suite d'un traumatisme du poignet, et chez qui un bilan radiographique du poignet a été réalisé. Cent dossiers de patients avec une fracture du poignet ont ainsi été colligés, et 100 dossiers radiographiques de contrôles ont été inclus afin de constituer un groupe témoin. L'analyse des clichés du poignet faits de profil nous a permis de mesurer deux paramètres représentatifs d'une atteinte des parties molles en avant du radius et cubitus, à savoir

l’épaisseur du muscle du carré pronateur et l’épaisseur de la ligne graisseuse jouxtant le muscle carré pronateur.

Revue de la littérature :

Ce travail de recherche a débuté par une revue exhaustive de la littérature en utilisant à la fois des moteurs de recherche d'information générale (Google) et des moteurs de recherche scientifique médicaux (Medline et Pubmed). C'est en 1997 que la base de données Medline produite par la National Library of Medicine (NLM) américaine a été mise en ligne par le gouvernement américain. Medline s'est alors rapidement imposé comme le standard de la recherche bibliographique médicale et elle figure souvent en lien direct dès la page d'accueil de nombreux sites Web médicaux ou scientifiques. Le portail Pubmed de la NCBI (National Center for Biotechnology Information) a, quant à lui, été mis en ligne gratuitement fin 1999 et il est devenu le moteur de recherche le plus souvent utilisé en médecine. Cette recherche bibliographique nous a permis d'individualiser 5 articles seulement traitant du signe du carré pronateur lors des fractures du poignet datant respectivement de 1964[9], 1988[10], 1989[11], 2013[12] et 2016[13]. La lecture de ces articles nous a permis de constater à quel point ce sujet était traité de façon lacunaire chez les enfants victimes d'une fracture du poignet.

C'est à McEwan et al que l'on doit la première description du SCP en 1964[9]; dans cet article princeps, les auteurs ont revu les radiographies de 600 patients victimes d'un traumatisme du poignet parmi lesquels, seule la moitié présentait une fracture au niveau de l'insertion du muscle suscité. Ces auteurs ont montré que presque toutes les fractures au niveau de l'insertion musculaire du carré pronateur induisaient une modification de la ligne graisseuse du carré pronateur tandis qu'une fracture en-dehors de la zone d'insertion de ce muscle n'était pas enclin à modifier cette ligne. Ils signalaient par ailleurs que les fractures les plus difficiles à diagnostiquer étaient principalement les fractures chez les enfants, car certaines fractures siégeaient au niveau du cartilage conjugal et donc peu visibles à la radiographie conventionnelle. Cinq patients seulement (1,7%) ne présentaient pas de changement de la ligne graisseuse du carré pronateur dans le collectif des patients avec une fracture avérée du poignet (300 cas). Chez 21 sujets (19 enfants et 2 adultes), les modifications de l'aspect radiographique des parties molles a permis de mettre en évidence une fracture préalablement méconnue. La sensibilité et la spécificité de ce signe radiographique ont été évaluées; la sensibilité se chiffrait à 98%, et sa spécificité atteignait 94% [Tableau 1].

	Fracture	Pas de fracture
Signe du pronateur positif	295	19
Signe du pronateur négatif	5	281
	Sn: 98%	Sp: 94%

Tableau 1: Sensibilité et spécificité du signe du carré pronateur dans l'étude de MacEwan de 1964.

En 1988, une étude traitant des signes radiologiques associés aux traumas du poignet a été publiée dans le Clinical Radiology sous l'égide de Zammit-Maempel[10]. Cette étude rétrospective a colligé et revu les radiographies de 1730 patients qui s'étaient présentés dans un service d'urgences en raison d'un traumatisme du poignet, et cela durant une période de 12 mois. 1453 personnes furent inclues dans l'étude, dont 565 sujets avec une fracture avérée du poignet et 888 attribués au groupe contrôle. Dans cette cohorte de patients, 307 patients entre 0 et 19 ans furent inclus. Six signes différents témoignant d'une atteinte des parties molles ont été définis et évalués au cours de cette étude. Les signes utilisés étaient:

- la ligne graisseuse du dos du poignet (ligne radio-transparente sur la face dorsale du poignet),

-la ligne graisseuse de l'os naviculaire (ligne radio-transparente parallèle au scaphoïde),

-la tuméfaction para-radiale ou para-ulnaire (traduites par une modification de la ligne graisseuse en regard des styloïdes),

-la tuméfaction dorsale du poignet (perte de concavité des tissus mous),

-le signe du carré pronateur, considéré comme anormal lors d'une irrégularité de sa ligne graisseuse, oblitération ou courbure antérieure.

Ces divers signes étaient observés dans 80% des cas lors de fracture avérée. Leur fréquence variait selon la localisation et le type de fracture. Par exemple, la fracture du triquetrum était plus souvent associée avec le signe du dos du poignet (92% des cas) qu'avec le signe du carré pronateur (17%). Tous ces signes pouvaient être utiles cliniquement mais, comme la plupart des auteurs, nous avons choisi de concentrer notre étude sur le SCP essentiellement.

Les mêmes auteurs ont par ailleurs mis en évidence que la distance du carré pronateur (distance entre la corticale osseuse et la ligne graisseuse du carré pronateur) était significativement plus basse chez les femmes que chez les hommes et que cette mesure augmentait sensiblement avec l'âge, en lien

avec les différences de musculature. Les mesures ont été effectuées chez 773 sujets contrôles (384 femmes et 389 hommes) et elles ont permis de déterminer le seuil de positivité du SCP: plus de 7mm pour les femmes et plus de 10mm pour les hommes. Lors de fractures du radius ou de l'ulna distal, ces valeurs étaient significativement plus grandes dans le groupe des patients avec une fracture que dans le groupe témoin. Le SCP était anormal dans seulement 51% des cas de fracture de l'avant-bras, témoignant de sa faible sensibilité. Lors de ce type de fracture, si nous prenons en compte tous les signes des tissus mous décrits dans cette étude, nous obtenons une meilleure spécificité [Tableau 2].

	Fracture	Pas de fracture
Tissus mous anormaux	451	60
Tissus mous normaux	54	888
	Sn: 89%	Sp: 94%

Tableau 2: Sensibilité et spécificité des signes des tissus mous dans l'étude de 1988

Les auteurs de cette étude concluaient qu'une distance du carré pronateur au-dessus de celle retrouvée chez les sujets sains, respectivement de 7mm pour les femmes et 10mm pour les hommes, devrait faire suspecter la présence d'une fracture sous-jacente mais, que des distances égales ou inférieures aux valeurs seuils ne pouvaient pas exclure définitivement la présence d'une fracture occulte.

Une autre étude traitant du SCP a été publiée en 1989 par Y. Sasaki[11]. Elle colligeait les valeurs du SCP de 181 patients; 34 avaient été victimes d'une fracture non déplacée du radius distal, 8 présentaient un trauma de l'articulation radio-ulnaire distale, 59 sujets souffraient d'arthrite rhumatoïde et les 80 sujets restants constituaient le groupe contrôle. L'intérêt majeur de cette étude résidait dans le fait que la ligne graisseuse du carré pronateur était classée en 4 groupes différents en fonction de sa forme et son épaisseur en se basant sur les clichés de radiographie standard du poignet de profil.

-La ligne de type 1 était définie comme une ligne dite normale; elle était droite ou légèrement convexe en contact avec l'os sur son extrémité distale et disparaissait dans les tissus mous au niveau proximal.

-La ligne de type 2 était une ligne qui disparaissait dans les tissus mous sans contact avec l'os à son pôle distal, mais elle apparaissait épaissie et en contact avec l'os au niveau proximal.

-La ligne de type 3 était décrite comme une ligne déplacée antérieurement qui apparaissait soit irrégulière soit même interrompue

-Enfin la ligne de type 4 était une absence de visualisation de cette ligne.

Dans le groupe contrôle, les auteurs décrivaient en grande majorité une ligne considérée comme normale, donc de type 1 [Tableau 3], et montraient que dans 92% des cas, la distance maximale du carré pronateur se chiffrait à moins de 7mm. Ces résultats confirmaient ceux de l'étude publiée par Zammit-Maempel[10] avec le seuil de positivité du SCP se chiffrant dans les deux travaux à 7 mm.

Lors de fractures avérées du radius, 85% des patients présentaient une ligne du carré pronateur déplacée et irrégulière de type 3 et les 15% restants avaient une ligne non visible de type 4. Les auteurs de ce travail ont montré [Tableau 3] que, lors d'un traumatisme ou d'une fracture avérée du radius, la ligne graisseuse à tendance à disparaître et à être refoulée loin de la corticale osseuse antérieure. Malheureusement, la distance du carré pronateur n'a pas été mesurée dans ces groupes.

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Total
Sujets Sains	72 (90%)	0	0	8 (10%)	80
Fracture non déplacée	0	0	29 (85%)	5 (15%)	34
Trauma de l'articulation radio-ulnaire distale	0	0	7 (88%)	1 (22%)	8

Tableau 3: Répartition des patients dans les différents types de signes du carré pronateur (Les patients avec de l'arthrite rhumatoïde ne sont pas représentés dans ce tableau).

Y. Sasaki concluait que, lorsque la distance du carré pronateur était supérieure à 7mm et que la partie distale de la ligne graisseuse n'était plus en contact avec l'os, une fracture ou un traumatisme de l'articulation radio-ulnaire distale était hautement suspectée. Dans cette étude, la sensibilité du signe du carré pronateur était de 100% si nous considérons uniquement le type 1 comme étant normal. Il n'est malheureusement pas précisé comment les patients du groupe fracture ont été sélectionnés et il ne semblait pas exister un biais de sélection comme, par exemple, sélectionner uniquement les fractures en regard de l'insertion du muscle carré pronateur qui aurait pu avoir une répercussion plus importante sur la ligne graisseuse.

Fallahi et al. ont investigué la sensibilité et la spécificité du SCP comme indicateur d'une fracture occulte du poignet dans une étude parue en 2012[12]. Dans cette étude, la positivité du SCP a été définie comme une oblitération, interruption ou élévation de la ligne graisseuse du carré pronateur. Dans ce travail, une étude préliminaire comportant 60 patients sains a été conduite et a mis en évidence que

la distance du carré pronateur dépassait rarement les 8mm chez les femmes et 9mm chez l'homme raison pour laquelle ce sont ces valeurs qui ont été retenues comme seuils pour un SCP positif.

Le volet principal de l'étude regroupait 68 patients âgés de 16 à 74 ans. Elle comportait 15 individus avec un SCP positif mais sans fracture détectée et 33 patients avec un signe négatif sans fracture à l'IRM de contrôle. Les résultats faisaient donc état que 46% des patients (13 personnes) avec un SCP positif présentait une fracture contre 18% (7 patients) lorsque le SCP était négatif [Tableau 4] ce qui équivaut à une sensibilité de 65% et une spécificité de 69%. Au vu de ces résultats, l'étude concluait que le SCP n'était pas assez spécifique pour prédire une fracture subtile du poignet, mais que la positivité de ce signe radiologique justifiait en soi plus d'investigations.

	Positif	Négatif	Total
Nombre	28	40	68
Fracture	13 (46%)	7 (18%)	20 (29%)

Tableau 4: Répartition du signe du carré pronateur dans l'étude de 2012

Une dernière étude publiée en 2016 par Bo Sun et al.[13] a étudié le SCP chez l'adulte en utilisant, non pas une valeur seuil définie selon le sexe, mais un ratio entre l'épaisseur du muscle du carré pronateur et l'épaisseur du radius afin de diminuer les biais liés aux différences constitutionnelles des patients. L'étude a colligé 210 patients volontaires sains n'ayant jamais eu de traumatisme du poignet, et les a comparés à un groupe de 106 patients ayant une fracture avérée de l'avant-bras.

Cette étude a donc démontré, dans un collectif de sujets sains, qu'il existait une corrélation entre l'épaisseur du muscle carré pronateur et le diamètre sagittal du radius; l'épaisseur du carré pronateur étant d'autant plus importante que le diamètre de l'os dans le plan sagittal était conséquent. L'interprétation de la distance du carré pronateur en fonction du diamètre sagittal du radius a de ce fait permis aux auteurs d'éliminer le biais inhérent à la taille des structures anatomiques. Les résultats de cette étude ont démontré que l'interprétation des résultats sous la forme d'un ratio muscle-os était plus discriminatif qu'une valeur seuil de positivité du SCP. Au-delà d'une valeur seuil de 0.4 pour le ratio entre l'épaisseur du muscle et la largeur du radius, les auteurs ont démontré que la probabilité de fracture se chiffrait à 91%. Un biais important de cette étude était celui du groupe témoin qui était composé de volontaires sains n'ayant pas eu de traumatisme. En pratique clinique, les radiographies

sont faites à la recherche d'une fracture après un traumatisme. Il existera donc sûrement une tuméfaction suite à ce stress qui n'existe pas dans ce groupe contrôle.

Récapitulatif des données de la littérature

Trois éléments prépondérants émergent de cette revue exhaustive de la littérature. En premier lieu, force est de constater qu'il existe une grande variabilité de la sensibilité et spécificité du SCP au sein des différentes études. L'utilité d'un test diagnostique est définie par sa validité intrinsèque, et donc par sa spécificité et sa sensibilité. Ces deux paramètres sont directement liés aux valeurs seuils que l'on choisit et varient beaucoup selon les études précitées. Dans le contexte d'un test médical diagnostique, le paramètre le plus important est la sensibilité. Dans notre contexte, la sensibilité correspond au nombre de personnes fracturées et positives au test (vrais positifs au SCP) parmi l'ensemble des personnes fracturées. En effet, pour ne pas méconnaître des cas de fracture, donc des faux négatifs, il est nécessaire d'avoir une sensibilité proche de 100%. Dans l'ensemble des études précitées le SCP semble sensible avec les valeurs de sensibilité suivantes : 98%[9], 89%[10], 100% [11], 65% [12] et 91%[13]. La variation de ces valeurs peut être vraisemblablement influencée de multiples manières : en premier lieu, une simple variation des critères d'inclusion des patients au sein de l'étude ou du seuil de positivité du SCP peut influer significativement les résultats. En en abaissant le seuil de positivité du SCP par exemple, le test sera plus sensible mais moins spécifique. Dans cette revue de la littérature, l'étude ayant la sensibilité la plus basse (65%) est celle de F. Fallahi[12] avec des valeurs seuils de 8mm pour les femmes et 9mm pour les hommes tandis que l'étude avec la sensibilité la plus haute (100%) est celle de Y. Sasaki[11] qui a retenu 7mm comme seuil de positivité. Dans ce même contexte, la spécificité correspond au nombre de personnes sans fracture et négatives au test (vrais négatifs au SCP) parmi l'ensemble des personnes sans fracture. Cette spécificité varie beaucoup en fonction des études: 94%[9], 94%[10], 82%[11], 69%[12] et 84%[13]. Les études ayant montré la meilleure spécificité (98%) sont celles de D.W. MacEwan en 1964[9] et Zammit-Maempel en 1988[10].

En deuxième lieu, la plupart des études qui ont étudié le SCP comportaient essentiellement des sujets adultes. Comme stipulé précédemment, certaines fractures du squelette immature de l'enfant peuvent être non visibles à la radiographie standard et donc être totalement méconnues initialement. Ce nonobstant, aucune des études précitées ne s'est concentrée spécifiquement sur le SCP chez l'enfant; l'étude de F. Fallahi[12] excluait les sujets de moins de 16 ans. L'étude de Bo Sun[13]était constituée d'une population uniquement adulte et dans l'étude de Y. Sasaki[11] il n'y avait pas d'information quant aux âges des patients. Dans le travail de Zammit-Maempel[10], 307 patients de 0 à

19 ans étaient inclus dans le groupe contrôle mais il n'y avait pas ou peu d'informations concernant le groupe avec fractures. De plus, les fractures du cartilage de conjugaison n'étaient pas mentionnées. Finalement, dans l'étude de 1964[9], il était simplement stipulé que le SCP avait été particulièrement utile dans 21 cas, dont 19 étaient des enfants, pour déceler une fracture peu visible lors de la première visualisation de la radiographie.

Les quatres premières études (1964[9], 1988[10], 1989[11], 2013[12]) ont séparé les patients en fonction du genre des patients afin de déterminer des valeurs positives du SCP. Ces études ont totalement occulté le fait que d'autres facteurs comme la taille osseuse pouvaient également influencer la taille musculaire. C'est l'étude de Bo Sun[13] qui a souligné la corrélation existante entre la taille osseuse et la taille musculaire dans une population saine. Ceci confirme qu'un ratio des mesures muscle-os peut être utile dans l'interprétation du SCP afin de limiter le biais lié aux différences constitutionnelles. Nous pouvons facilement imaginer que cela à une grande importance dans une population pédiatrique où la taille osseuse et la constitution musculaire varient grandement au cours de la croissance.

En conclusion, une étude de la valeur prédictive du SDP dans une population pédiatrique semble être indispensable pour la détection des fractures occultes dans ce groupe de patients. Elle se doit néanmoins d'être ajustée aux critères morphologiques en variation continuelle chez les enfants et doit donc être ciblée sur des valeurs seuils de positivité prenant en compte le ratio épaisseur musculaire du carré pronateur et diamètre sagittal du radius.

Matériel et méthode :

Après avoir obtenu l'approbation de la Commission Cantonale d'Ethique pour la recherche scientifique de Genève [CCER] datée du 9 juin 2015 (Projet N°15-119), nous avons effectué une étude rétrospective incluant les patients ayant consulté les urgences pédiatriques des Hôpitaux Universitaires de Genève à la suite d'un traumatisme du poignet, et chez qui un bilan radiographique du poignet a été réalisé. Grâce aux codes diagnostics (ICPC2), nous avons collecté les données de tous les patients s'étant présenté aux urgences entre le 01.01.2011 et le 31.12.2012 suite à un traumatisme du poignet avec comme code retenu S16 (Ecchymose/contusion), L72 (Fracture du radius/du cubitus), L74 (Fracture de la main). Grâce à ces codes diagnostiques, nous avons séparé les patients en deux groupes, le groupe des entorses (S16) constituant le groupe témoin, et le groupe fracture (L72, L74) représentant le groupe des cas.

Les dossiers radiologiques des deux groupes ont été visualisés à l'aide du programme informatique « Weasis viewer ». Les enfants n'ayant pas eu un cliché de profil du poignet au cours du bilan initial, de même que ceux ayant un cliché de profil non interprétable (chevauchement de moins de 50% du radius par l'ulna) ont été exclus de l'étude. Tous les patients avec une fracture du carpe, métacarpe, les fractures avec un déplacement par translation ou angulation de plus de 25° et les patients avec un cartilage de conjugaison fermé ont également été exclu de l'étude.

Cent dossiers de patients avec une fracture du poignet ont pu ainsi être colligés, et 100 dossiers radiographiques de contrôles avec un trauma mineur du poignet ont également été obtenus. Pour chaque enfant inclus dans l'étude, les informations suivantes ont été répertoriées et incluses dans un tableau Excel (EDS, genre, date de naissance, date de la consultation, âge, diagnostic final).

Lors de la lecture des radiographies, nous avons systématiquement ajusté le contraste et la fenêtre aux valeurs mettant le mieux en évidence la ligne graisseuse du carré pronateur et ensuite classé l'aspect de cette ligne selon 6 types de SCP. L'analyse des clichés du poignet faits de profil nous a permis de mesurer plusieurs paramètres représentatifs d'une atteinte des parties molles en avant du radius et cubitus, à savoir l'épaisseur du muscle du carré pronateur, la ligne graisseuse du carré pronateur (LGCP) et l'épaisseur de la ligne graisseuse jouxtant le muscle carré pronateur. Toutes les mesures ont été faites dans le plan perpendiculaire à l'axe du radius et ont été exprimées en millimètres.

Classification du SCP utilisée dans l'étude

-Type 1: la ligne graisseuse a un contact osseux avec l'extrémité distale du radius ou de l'ulna. [Image 2]

-Type 2: la ligne graisseuse a un contact osseux à son extrémité proximale avec le radius ou l'ulna. [Image 3]

-Type 3: la ligne graisseuse a l'aspect d'une courbe concave sans contact avec l'os. [Image 4]

-Type 4: la ligne graisseuse apparaît droite sans courbure et sans contact avec l'os. [Image 5]

-Type 5 : disparition de la ligne graisseuse. [Image 7]

-Type 6 : la ligne graisseuse est une courbe en contact avec, l'extrémité distale et proximale du radius ou de l'ulna. [Image 6]

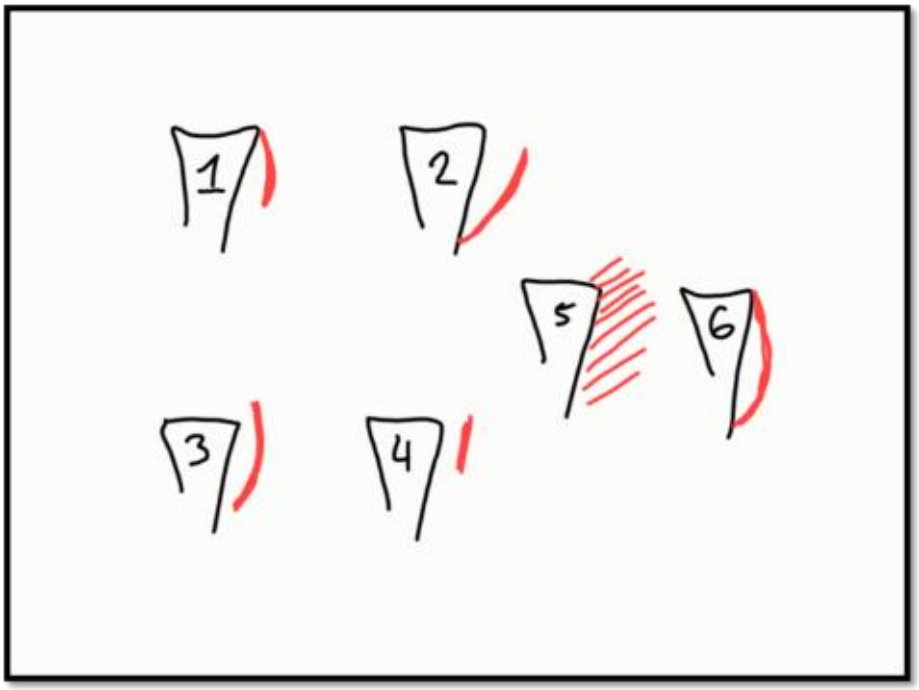

Figure 1: Illustration des 6 types de signes du carré pronateur (SCP)

Image 2: SCP type 1

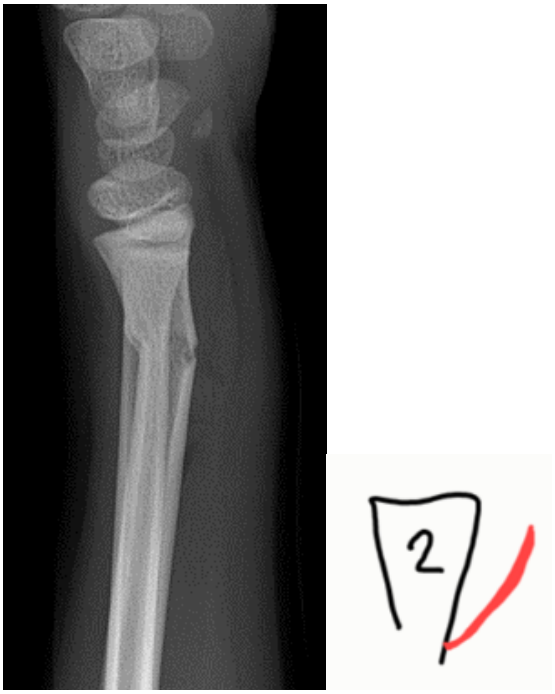

Image 3: SCP type 2

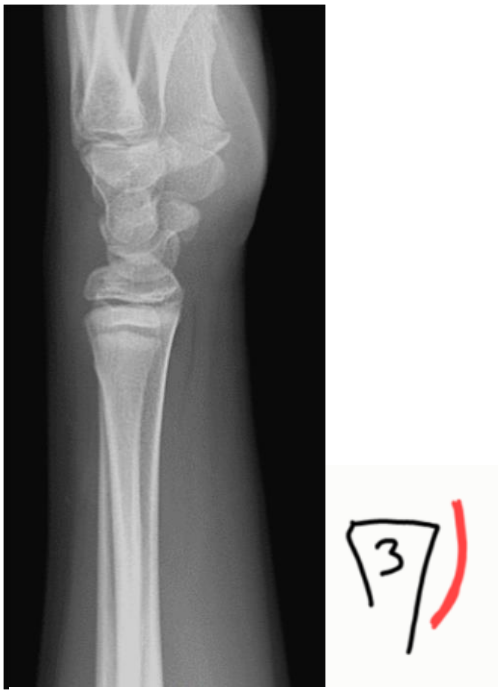

Image 4: SCP type 3

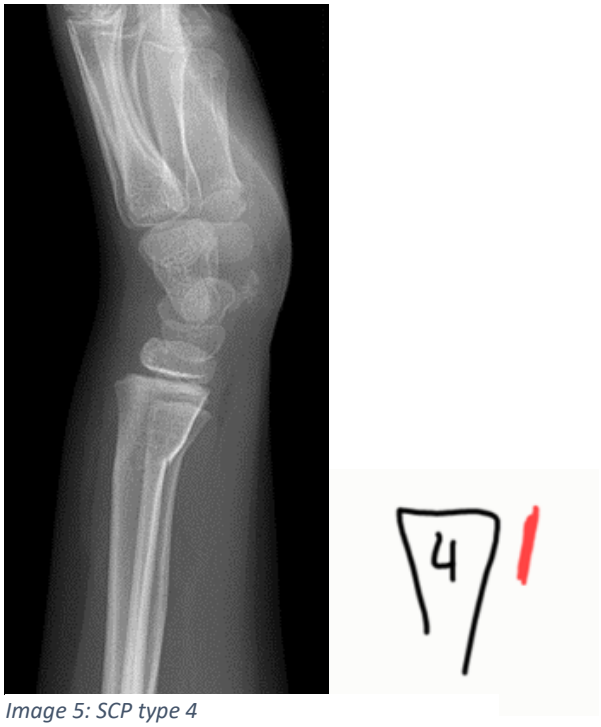

Image 5: SCP type 4

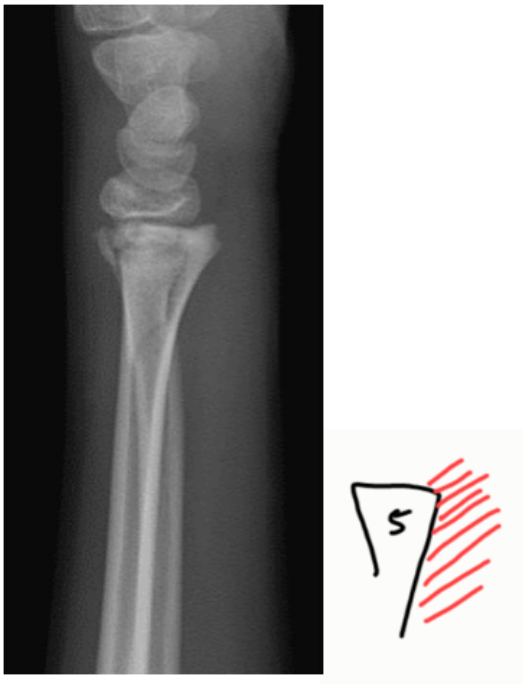

Image 7: SCP type 5

Image 6: SCP type 6

<u>Mesures du SCP</u>

La mesure de X correspond à l'épaisseur du muscle du carré pronateur; cette mesure a été effectuée à l'endroit de la distance maximale entre la face antérieure de la corticale (palmaire) du radius (CAR) et la limite profonde de la LGCP (partie de la LGCP en contact avec le muscle du carré pronateur). Le niveau et la mesure de la distance maximale CAR – LGCP ont été définis visuellement et confirmés avec plusieurs mesures, si deux endroits semblaient de distance similaire [Figure 2].

La mesure Y correspond à l'épaisseur du muscle plus celle de la LGCP et est mesurée de la CAR jusqu'à la partie superficielle de la LGCP (partie de la LGCP en contact avec les fléchisseurs profonds des doigts). Cette mesure se situe au même niveau que la mesure de X.

La mesure W correspond à l'épaisseur des tissus mous, qui est mesurée de la CAR à la peau. Cette mesure se situe également au même niveau que la mesure de X.

R correspond au diamètre sagittal du radius; cette mesure a aussi été effectuée au même niveau que la mesure de X.

U correspond au diamètre sagittal de l'ulna; cette mesure a aussi été effectuée au même niveau que la mesure de X.

Z correspond à la distance entre la CAR et celle de l'ulna qui nous a permis d'exclure les cas ayant eu une radiographie qui n'était pas de profil strict.

Nous avons également fait des mesures à l'endroit où la LGCP était la plus épaisse.

La mesure F est la distance entre la CAR et la limite profonde de la LGCP.

La mesure E est la distance entre la CAR et la partie superficielle de la LGCP.

Ces mesures correspondent respectivement aux mesures X et Y mais à un niveau différent, celui où l'épaisseur de la LGCP est maximale.

Grâce à ces valeurs, nous avons pu calculé l'épaisseur maximale de la LGCP, appelée EPm (calcul: E-F=EPm), et son épaisseur au niveau de X, appelée EPx (Calcul: Y-X=EPx).

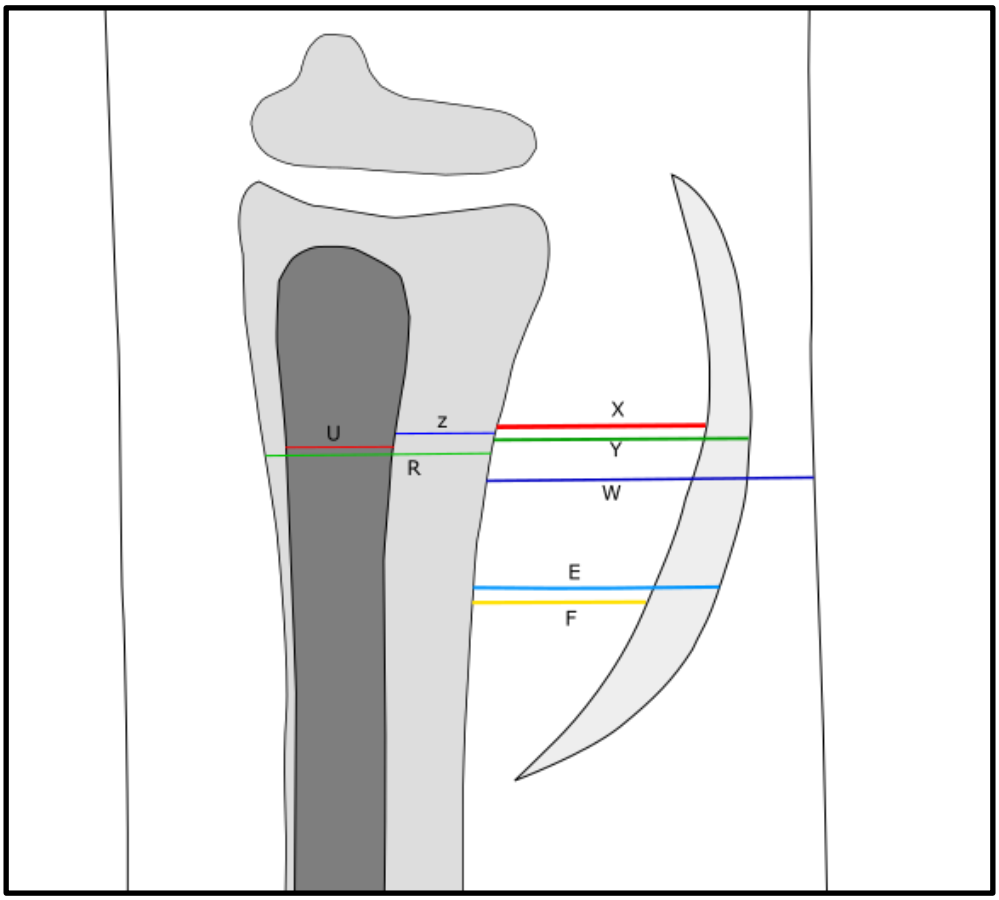

Figure 2 : Les mesures utilisées en mm:
X = Distance maximale entre la CAR et la limite profonde de la LGCP
Y = Distance au niveau de X entre la CAR et la limite superficielle de la LGCP
W = Epaisseur des tissus mous (de la CAR à la peau) au niveau de X
R = Taille du radius au niveau de X
U = Taille de l'ulna au niveau de X
Z = Distance entre la CAR et la corticale palmaire de l'ulna au niveau de X
E= Distance au niveau EPm entre la CAR et la limite superficielle de la LGCP
F= Distance au niveau EPm entre la CAR et la limite profonde de la LGCP

Ces mesures ont été effectuées lorsque la LGCP était visible donc pour tous les types de SCP à l'exception du type 5, raison pour laquelle le tableau de mesure ne comprend que 167 patients et non 200.

Analyse statistique :

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R v.3.1.3 et de l'interface RStudio (équipe Rstudio (2015), Rstudio : Integrated Development for R. Rstudio, Inc., Boston, MA URL http://www.rstudio.com/). La distribution de la normalité des données vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. La comparaison entre groupes pour les résultats continus a été évaluée à l'aide de t-tests de Student non appariés et des tests exacts de Fisher $\chi 2$ ont été réalisés pour les résultats dichotomiques. Le niveau de signification a été fixé à $p<0.05$. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne (déviation standard) pour les variables continues, et en nombre absolu pour les variables dichotomiques (%). Pour chaque test statistique, la valeur p a été rapportée, ainsi que 95% de l'intervalle de confiance de la différence (95% IC) et l'effect size calculée selon la méthode de Cohen. Pour la comparaison entre le groupe témoin, celui avec des fractures en MDB et les autres types de fractures la distribution de la normalité des données n'a pas été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Pour les variables continues rapportées sous forme de médiane (IQR), le test statistique utilisé était le Kruskal-Wallis. Lorsque la p-value de Kruskal-Wallis était <0.05, les comparaisons post-hoc étaient calculées en utilisant le test de Wilcoxon-Mann-Whitney non-pairé en ajustant le seuil de significativité en corrigeant par le nombre de tests (p*3). Pour les variables catégorielles rapportées sous forme de n (%), le test statistique utilisé était le Fisher exact (3 échantillons). Une p-value < 0.05 était considérée comme significative. Les différences post-hoc statistiquement significatives sont reportées par un a (différence entre groupe 1 et 2), b (entre groupe 1 et 3) et c (entre groupe 2 et 3) respectivement.

Enfin, la performance de notre test a été évaluée avec une courbe ROC Y/R. La valeur seuil idéale a été identifiée selon la méthode Youden. Les propriétés de test ont été rapportés tels que l'aire sous la courbe (AUC), la sensibilité et la spécificité.

Résultats :

Cent dossiers de patients avec une fracture du poignet et 100 dossiers radiographiques de contrôles avec un trauma mineur du poignet ont été inclus dans l'étude. Parmi les fractures notifiées, 8 étaient des fractures du quart distal de l'avant-bras, 84 étaient métaphysaires et 8 étaient physaires.

L'âge moyen des patients avec une fracture avérée était de 9.5 ans, alors que le groupe contrôle avait un âge moyen de 10.7 ans. La répartition selon le genre montrait qu'il y avait significativement moins de filles dans le groupe fracture (p=0.002) et que les patients du groupe fracture étaient significativement plus jeunes (p=0.011) et avec un poids plus léger (p=0.122).

Conformément à notre hypothèse de travail, nous avons pu démontrer qu'il existait une corrélation plus importante entre l'âge des patients et la taille du radius (coefficient de corrélation de Spearman r=0.38) qu'entre l'âge et les autres valeurs du complexe du carré pronateur [Tableau 5]. Afin d'ajuster la taille du SCP au développement de l'enfant, nous avons donc indexé nos mesures du carré pronateur au diamètre sagittal du radius.

r\P	**Age**	**R**	**MDB**	**X**	**Y**	**E**	**EPm**	**EPx**
Age		0.0000	0.0059	0.0047	0.0057	0.0960	0.163	0.5078
R	0.38		0.3369	0.3110	0.0344	0.1005	0.449	0.1677
MDB	-0.21	-0.07		0.1141	0.2943	0.6864	0.554	0.0965
X	0.22	-0.08	0.12		0.0000	0.0000	0.004	0.5494
Y	0.21	-0.016	0.08	0.83		0.0000	0.0000	0.0000
E	0.13	-0.13	0.03	0.36	0.59		0.0000	0.0000
EPm	0.11	-0.06	-0.05	0.22	0.48	0.31		0.0000
EPx	0.05	-0.11	-0.13	0.05	0.43	0.48	0.5	

Tableau 5 : Dans la partie inférieure gauche, la valeur r (corrélation de Spearman) mesure la dépendance de deux variables monotones. Plus la valeur s'approche de +/- 1, plus la corrélation tend vers la perfection et au contraire une valeur proche de 0 signifie une absence de corrélation entre ces deux variables. La partie supérieure droite correspond à la valeur p.

L'étude comparative des deux groupes (sujets contrôles vs groupe avec fractures) a révélé que les mesures de X, Y, et EPm indexées à la valeur R, apparaissaient statistiquement significativement plus grandes dans le groupe des patients avec une fracture du poignet que dans le groupe contrôle

[Tableau 6]. Cet accroissement des mesures de X, Y, et EPm témoignait d'un épaississement à la fois du muscle du carré pronateur mais également de la ligne graisseuse en elle-même.

	Groupe fracture (n=100)	Groupe contrôle (n=100)	Valeur P	95% IC	Effect size
Caractéristiques individuelles					
Femmes n (%)	36 (36%)	59 (59%)	**.002***	-37 to -8	.970
Age (années)	9.52 (3.58)	10.71 (2.94)	**.011***	-2.1 to -0.28	0.366
Poids (kg)	36.25 (16.7)	40.54 (18.81)	.122	-9.75 to 1.16	0.243
Taille (cm)	134.54 (22.81)	139.68 (23.9)	.241	-13.76 to 3.5	0.221
Type de fracture n (%)					
MDB	38 (38%)	0 (0%)	**<0.001***	27% to 48%	4.447
Paramètres radiologiques	**n=71**	**n=90**			
X/R (%R)	52.4 (26.0)	38.9 (19.6)	**<0.001***	6.1% to 20.8%	0.589
Y/R (%R)	60.8 (30.0)	46.1 (21.8)	**<0.001***	6.4% to 23.2%	0.563
E/R (%R)	43.4 (32.4)	35.8 (20.3)	0.086	-1.1% to 16.4%	0.283
EPm /R (%R)	21.9 (17.7)	16.4 (11.7)	**0.025***	0.7% to 10.4%	0.368
EPx/R (%R)	8.5 (8.5)	7.2 (7.9)	0.341	-1.3% to 3.8%	0.159

Tableau 6: Comparatif entre groupe contrôle et fracture tous sexes confondus. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne (déviation standard) pour les variables continues (Age, poids, taille), et en nombre absolu pour les variables dichotomiques (Femmes, fractures MDB). Les résultats de la section « paramètres radiologiques » sont exprimées sous forme de valeur moyenne du ratio en % (écart type). La valeur P correspond à un test-t de student non apparié pour les variables continues et un test de chi-carré de Pearson pour les variables dichotomiques. 95% IC (intervalle de confiance) correspond à l'ensemble des valeurs du paramètre de test (différence) caompatibles avec les données observées dans l'échantillon. L'effect size est calculée selon la méthode de Cohen.

Nous avons ensuite effectué une analyse de ces paramètres en considérant le genre des sujets. Chez les sujets du genre féminin [Tableau 7], les mesures de X, Y et EPm, indexées à R apparaissaient statistiquement significativement plus grandes dans le groupe fracture que dans le groupe contrôle,

Femmes	Groupe fracture (n=36)	Groupe contrôle (n=59)	Valeur P	95% IC	Effect size
Caractéristiques individuelles					
Age (années)	9.28 (2.94)	10.58 (2.91)	**0.040***	-2.53 to -0.06	.449
Poids (kg)	33.85 (10.53)	41.36 (20.49)	**0.037***	-14.53 to -0.48	.435
Taille (cm)	136.2 (16.83)	137.81 (26.73)	0.787	-13.52 to 10.29	.069
Paramètres radiologiques	(n=30)	(n=52)			
X /R (%R)	53.7 (27.9)	34.8 (15.6)	**0.002***	7.8% to 30.2%	0.906
Y /R (%R)	60.2 (30.8)	42.4 (16.0)	**0.006***	5.6% to 30.1%	0.791
E /R (%R)	41.7 (39.5)	32.7 (14.4)	0.241	-6.3% to 24.2%	0.340
EPm /R (%R)	26.2 (21.0)	16.7 (11.9)	**0.028***	1.1% to 18.0%	0.602
EPx /R (%R)	6.5 (4.6)	7.6 (8.8)	0.441	-4.1% to 1.8%	0.148

Tableau 7: Comparatif entre groupe contrôle et fracture chez les femmes. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne (déviation standard) pour les charactéristiques individuelles et, en valeur moyenne du ratio en % (écart type) pour les paramètres radiologiques. La valeur P correspond à un test-t de student non apparié. 95% IC (intervalle de confiance) correspond à l'ensemble des valeurs du paramètre de test (différence) caompatibles avec les données observées dans l'échantillon. L'effect size est calculée selon la méthode de Cohen.

alors que chez les sujets masculins [Tableau 8], nous ne retrouvions pas de différence significative entre les deux groupes suscités pour l'ensemble des paramètres étudiés.

Hommes	Groupe fracture (n=64)	Groupe contrôle (n=41)	Valeur P	95% IC	Effect size
Caractéristiques individuelles					
Age (années)	9.7 (3.9)	10.9 (3.0)	0.068	-2.6 to 0.1	0.351
Poids (kg)	37.58 (19.27)	39.39 (16.38)	0.638	-9.46 to 5.83	0.101
Taille (cm)	133.65 (25.64)	142.32 (19.42)	0.139	-20.26 to 2.91	0.374
Paramètres radiologiques	(n=41)	(n=38)			
X /R (%R)	51.4 (24.8)	44.5 (23.1)	0.206	-3.9% to 17.6%	0.289
Y /R (%R)	61.3 (29.8)	51.1 (27.4)	0.117	-2.6% to 23.0%	0.356
E /R (%R)	44.7 (26.6)	39.9 (26.0)	0.426	-7.0% to 16.5%	0.184
EPm /R (%R)	18.8 (14.3)	16.0 (11.5)	0.342	-3.0% to 8.6%	0.213
EPx /R (%R)	10.0 (10.4)	6.7 (6.5)	0.096	-0.6% to 7.1%	0.367

Tableau 8: Comparatif entre groupe contrôle et fracture chez les hommes. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne (déviation standard) pour les charactéristiques individuelles et, en valeur moyenne du ratio en % (écart type) pour les paramètres radiologiques. La valeur P correspond à un test-t de student non apparié. 95% IC (intervalle de confiance) correspond à l'ensemble des valeurs du paramètre de test (différence) caompatibles avec les données observées dans l'échantillon. L'effect size est calculée selon la méthode de

Lorsque nous classions le SCP par son aspect nous avons retrouvé que le type 5 correspondant à, un effacement de la LGCP, est significativement plus prépondérant dans le groupe fracture.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux variations des différentes mesures et cela en fonction du type de fractures [Tableau 9]. Lorsque nous dissocions le groupe fracture entre les patients avec une fracture en motte de beurre (MDB) de ceux avec une rupture de la corticale, nous avons en premier lieu constaté que:

1. L'âge moyen des patients avec une fracture en MDB était significativement plus petit que celui des patients avec d'autres types de fractures.

2. Le type 5 de SCP (à savoir l'effacement complet de la ligne graisseuse) n'était pas représenté dans les fractures en MDB, mais qu'il était retrouvé de façon quasi exclusive chez les enfants avec une fracture comportant une rupture de la corticale.

3. L'épaississement de la LGCP (EPm) n'était pas statistiquement significatif dans le groupe des enfants avec une fracture en MDB.

4. L'épaississement de la LGCP (EPm) chez les enfants avec une fracture de la corticale était significativement plus grand que dans le groupe témoin et dans le groupe des fractures en MDB.

	Groupe 1 (pas de fracture) (n=100)	Groupe 2 (MDB) (n=38)	Groupe 3 (autres fractures) (n=62)	Kruskal-Wallis test	
				Valeur P	Post-hoc
Caractéristiques individuelles					
Femme n (%)	59 (59%)	12 (32%)	24 (39%)	0.004	a, b
Age (années)	11 (9 :13)	9 (5 :11)	11 (8 :13)	**<0.001**	**a, c**
Poids (kg)	40.0 (27.3 :49.0)	30.0 (21.5 :44.7)	35.2 (25.5 :45.0)	0.171	-
Taille (cm)	145 (131 :155)	131 (114 :152)	138 (125 :148)	0.196	-
Type de SCP n (%)					
CP 1	20 (20%)	5 (13%)	13 (21%)	0.588	-
CP2	6 (6%)	2 (6%)	2 (3%)	0.731	-
CP 3	28 (28%)	12 (32%)	12 (19%)	0.325	-
CP 4	20 (20%)	7 (18%)	5 (8%)	0.119	-
CP 5	10 (10%)	8 (21%)	21 (34%)	**<0.001**	**b**
CP 6	16 (16%)	4 (10%)	9 (15%)	0.717	-
Paramètres radiologiques	**n=90**	**n=30**	**n=41**		
X /R (%R)	35.5 [27.0; 45.8]	48.0 [32.2; 62.5]	42.0 [33.0; 66.0]	**0.002**	**a, b**
Y /R (%R)	41.0 [33.2; 54.0]	52.5 [37.5; 68.8]	51.0 [38.0; 79.0]	**0.004**	**a, b**
E /R (%R)	31.0 [24.0 ; 42.8]	34.5 [27.5 ; 47.8]	35.0 [25.0 ; 57.0]	0.408	-
Epm /R (%R)	12.0 [8.0 ; 24.0]	13.0 [8.2; 25.5]	21.0 [13.0 ; 33.0]	**0.013**	**b**
Epx /R (%R)	4.0 [3.0; 8.8]	4.0 [3.0; 6.0]	7.0 [4.0; 11.0]	**0.006**	**b, c**

Tableau 9: *Comparatif entre groupe témoin, fractures en MDB et les autres types de fracture tous sexes confondus. Quand les résultats sont présentés sous forme de médiane (IQR), le test statistique utilisé était le Kruskal-Wallis. Lorsque la p-value de Kruskal-Wallis était <0.05, les comparaisons post-hoc étaient calculées en utilisant le test de Wilcoxon-Mann-Whitney non-pairé en ajustant le seuil de significativité en corrigeant par le nombre de tests (p*3). Quand les résultats étaient présentés sous forme de n (%), le test statistique utilisé était le Fisher exact (3 échantillons). Une p-value < .05 était considérée comme significative. Les différences post-hoc statistiquement significatives sont reportées dans la dernière colonne par un a (différence entre groupe 1 et 2), b (entre groupe 1 et 3) et c (entre groupe 2 et 3).*

Nous avons ensuite comparé nos mesures avec les valeurs seuils décrites dans la littérature. Malheureusement, aucune valeur n'a montré une sensibilité suffisamment forte pour considérer le SCP comme test diagnostique. Nous avons donc fait une courbe ROC [Figure 3] afin d'illustrer la performance de notre test avec la mesure Y/R (l'épaisseur du complexe du carré pronateur normalisé par l'épaisseur du radius) qui a montré qu'un tel test ne serait que partiellement fiable avec une aire sous la courbe de 0.65. Finalement, grâce à la méthode de Youden, nous avons calculé une valeur seuil idéale de 0.57. En d'autres termes, une valeur de Y/R égale à 0.57 correspond au point sur le courbe ROC le plus éloigné de la droite d'un hypothétique test aléatoire, donc le point ayant le meilleur compromis entre sensibilité et spécificité.

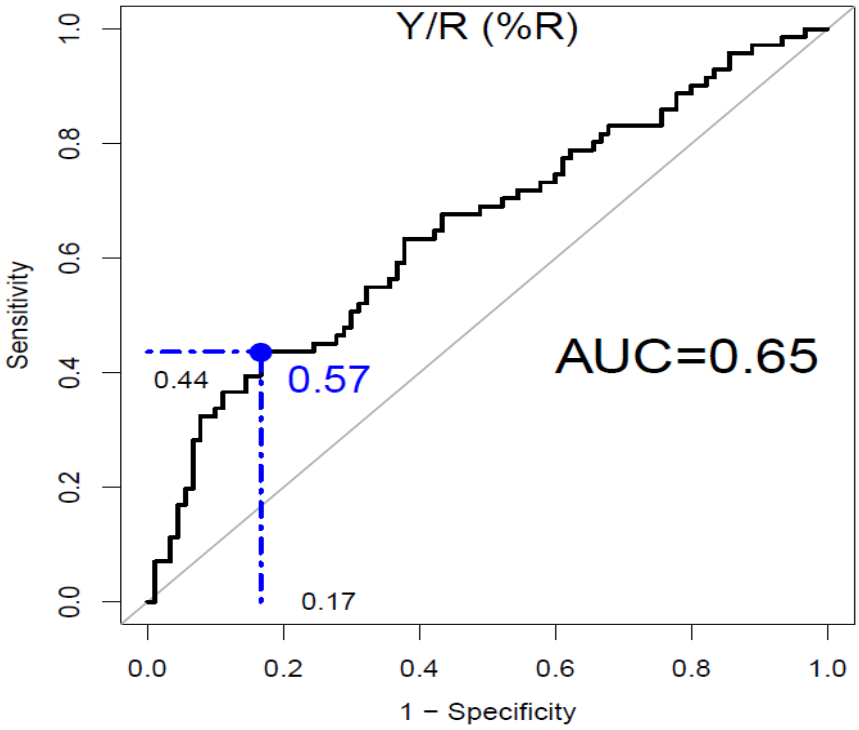

Figure 3: Courbe ROC Y/R afin de mesurer la performance de notre test. La valeur seuil idéale selon Youden est Y/R=0.57. Si nous utilisons cette valeur, nous aurions un test avec les propriétés suivantes : Sensibilité 0.44, Spécificité 0.83 (1-spécificité=0.17).

	Groupe fracture	Groupe contrôle
Signe du carré pronateur Positif	31	17
Signe du carré pronateur négatif	40	73
	Sn: 0.44%	Sp: 0.83%

Tableau 10: Sensibilité et spécificité de notre test lors de l'utilisation de la valeur seuil de 0.57 calculée selon la méthode de Youden pour le ratio Y/R.

Discussion :

Les résultats de notre étude confirment ceux des études préalablement effectuées et reconnaissent au SCP une valeur prédictive positive lors des fractures métaphysaires et physaires de l'enfant et de l'adolescent. Lors d'une fracture du poignet, nous avons pu montrer qu'il existait une augmentation de la distance entre la corticale antérieure du radius et la ligne graisseuse du carré pronateur, un élargissement de la LGCP ou au contraire une disparition de celle-ci. Les hypothèses qui ont été élaborées pour expliquer ces constats suggéraient l'apparition d'un hématome ou d'une suffusion hémorragique soit au sein du carré pronateur, soit dans la ligne graisseuse en elle-même. Nous avons donc défini que le SCP pouvait avoir deux composantes, à savoir une composante musculaire et une composante graisseuse et nous nous sommes efforcés à mesurer ces deux paramètres de façon dissociée afin de comprendre si une de ces mesures était plus discriminante que l'autre lors de fractures.

Notre étude a pu confirmer, en premier lieu, que l'épaisseur du carré pronateur était plus grande (en valeur absolue ou en valeur indexée au diamètre du radius dans le plan sagittal) dans le groupe des enfants avec une fracture du poignet que dans le groupe témoin. Ceci concorde avec les études existantes précédemment évoquées[9,10,11,12,13] et est aisément expliqué par la survenue, soit d'une tuméfaction musculaire, soit d'un saignement induit par la fracture se trouvant, au sein de muscle du carré pronateur. Ces deux éléments causent une augmentation de volume dans l'espace du muscle du carré pronateur et déplacent ainsi la LGCP plus loin de la corticale antérieure du radius.

Nos résultats ont mis en exergue de façon surprenante que la différence d'épaisseur du SCP lors d'une fracture du poignet n'était statistiquement pas significative chez les sujets mâles. Deux théories ont été suggérées afin d'expliquer cette absence d'augmentation du carré pronateur chez les sujets de sexe masculin. En premier lieu, il est bon de stipuler que le muscle carré pronateur est plus volumineux (une valeur de x en moyenne plus grande) chez les sujets masculins; de ce fait, cette épaisseur plus importante pousse la LGCP loin de l'os, et cette ligne pourra moins se déplacer lors d'une fracture. La différence entre les patients avec ou sans fracture est donc moins importante. Le deuxième facteur réside dans le fait qu'il existe une plus grande variance dans l'épaisseur musculaire du muscle carré pronateur entre les individus masculins, reflétant une plus grande variabilité de masse musculaire entre les individus masculins. Ces deux facteurs combinés rendent la différence de taille du carré pronateur entre les deux groupes (témoin vs fracture) moins importante chez les sujets masculins, raison pour laquelle cet épaississement n'apparaît pas significatif dans le groupe fracture.

Les résultats de notre étude suggèrent par ailleurs que l'épaisseur de la LGCP est très peu influencée par l'âge des sujets, leur genre et la taille musculaire du carré pronateur. En effet, l'épaisseur de la LGCP apparait très similaire au sein de nos trois populations avec une valeur de 16mm pour les hommes, de 16.7mm pour les femmes et de 16.4 mm tous sexes confondus. Il apparaît que la mesure de l'épaisseur de la LGC est d'autant plus importante qu'il existe une fracture avec une rupture de la corticale osseuse. La physiopathologie expliquant ce phénomène fait intervenir un saignement plus abondant lors des fractures avec rupture de la corticale; ce saignement du site fracturaire se collecte successivement dans l'espace libre au sein de la LGCP. Conformément à cette hypothèse physiopathologique, une augmentation de l'épaisseur de la LGCP ne se retrouvera pas dans les fractures en MDB, car celles-ci se caractérisent le plus souvent par un saignement contenu à l'espace sous-périosté. En effet, nos résultats montrent qu'il n'existe pas de différence significative dans l'épaisseur la LGCP entre les sujets avec une fracture en MDB et le groupe témoin. Enfin, il est important de souligner que l'épaisseur de la LGCP est supérieure chez les sujets de genre féminin avec une fracture que chez ceux de genre masculin. Ce constat est expliqué par la même raison qu'évoquée précédemment, à savoir celle d'un muscle du carré pronateur moins volumineux chez les femmes, qui laisserait de ce fait plus de place à la LGCP pour augmenter en volume.

Les résultats de la présente étude suggèrent également que le saignement induit par une fracture peut entraîner une disparition de la LGCP (SCP de type 5). Le sang, plus dense que la graisse, qui se collecte au sein de la LGCP, la rend plus radio-opaque et donc moins visible à la radiographie. Nous avons pu observer ce phénomène de manière prépondérante chez les sujets présentant une fracture avec rupture de la corticale. Ainsi, l'absence ou l'atténuation de la LGCP devraient motiver une seconde lecture des radiographies, et cela notamment lorsqu'aucune fracture n'a été préalablement décelée.

Comme discuté précédemment, l'enjeu principal de ce signe est de déceler des fractures peu ou pas visibles à la radiographie standard, comme peuvent l'être les fractures physaires. Nous avons donc recherché et analysé les données des patients ayant eu une fracture au sein de la physe; seuls 8 patients ont présenté une fracture au sein du cartilage de conjugaison dans notre série. Même si le nombre des fractures physaires apparaissait relativement faible, on a néanmoins constaté que celles-ci induisaient soit un élargissement de la LGCP, soit au contraire un effacement voire une disparition de celle-ci (type 5).

Les résultats de ce travail confirment donc que des modifications significatives surviennent au sein du complexe du carré pronateur, et cela notamment lors d'un traumatisme du poignet avec une fracture.

Il nous faut désormais nous pencher sur son utilité en pratique clinique. Lorsque nous appliquons les valeurs seuils décrites dans la littérature[10,11,12] pour diagnostiquer une fracture sur la base des modifications du complexe du carré pronateur, il apparaît que sa valeur prédictive positive est insuffisante et ne nous permet pas d'utiliser ce signe radiologique comme un test diagnostique.

Lorsque les mesures sont indexées au stade de développement de l'enfant (normalisation par R), la sensibilité de ces mesures s'améliorent mais n'atteignent pas une valeur prédictive positive suffisante pour être utilisée comme un test diagnostique.

Dans ce travail, nous avons évalué la performance de ce test en établissant une courbe ROC [Figure 3] nous confirmant que le test est partiellement mauvais avec une AUC (aire sous la courbe) de 0.65.

A noter que la valeur seuil idéale, calculée selon la méthode de Youden (pour la mesure Y/R), est de 0.57 avec une sensibilité de 0.44. Cette valeur nous permet d'avoir un aperçu quant à l'efficacité de notre test (le ratio idéal entre sensibilité et spécificité), valeur qui serait trop basse dans le cadre d'un test diagnostique.

Notre étude comporte certaines limites qui doivent être relevées; en premier lieu, nous avons pu constater que toutes les radiographies ne remplissaient pas les critères de profil strict et que de ce fait, les conditions étaient sub-optimales pour reconnaître ce signe. A ce propos, nous avons exclu les cas où l'incidence de profil n'était pas interprétable, notamment lorsque moins de la moitié de l'épaisseur du radius est couverte par l'ulna. Cela souligne l'importance de clichés initiaux bien réalisés, même si cela n'est pas toujours évident en pratique clinique. Comme dans toutes les études rétrospectives, nous avons également un biais lié à la récolte de données avec possiblement des patients perdus ayant eu un mauvais codage par exemple.

Conclusion :

Les résultats de cette étude confirment ceux déjà publiés dans la littérature; ils montrent qu'il existe des modifications du complexe du carré pronateur lors d'une fracture du poignet.

Nous avons pu observer une tuméfaction du muscle du carré pronateur plus importante lors des fractures du poignet que lors de contusions simples. Les fractures du poignet avec une rupture de la corticale se caractérisent par un saignement plus important qui se collecte soit dans le muscle du CP soit au sein de la LGCP. Cette ligne graisseuse aura tendance à devenir plus large et moins visible, jusqu'à disparaître lorsque la collection est abondante.

Ce test ne peut pas être utilisé comme test de dépistage en raison de sa faible sensibilité. Sa présence toutefois sur des clichés de poignet effectués dans un contexte traumatique devrait inciter le clinicien ou le radiologue à chercher de manière plus approfondie une possible fracture.

Contrairement à la littérature, il nous est impossible, au vu de nos résultats, de proposer une valeur seuil de l'épaisseur du muscle du carré pronateur qui puisse être discriminative entre contusion simple et fracture.

La fiabilité et la performance de ce signe sont toutefois améliorées lorsque l'épaisseur du muscle du carré pronateur est indexée au développement de l'enfant et à la taille de son radius. Nous proposons de considérer un SCP comme positif lorsque le ratio Y/R (épaisseur du muscle carré pronateur et la LGCP divisé par l'épaisseur du radius) est supérieur ou égal à 0.57 ou lorsque nous ne visualisons plus la LGCP (SCP de type 5).

Remerciements :

Un grand merci à mon directeur de thèse, le Professeur D. Ceroni, sans qui mon travail n'aurait pas pu aboutir. Il m'a énormément aidé pour mettre mes idées au clair, reformuler et corriger mon texte.

Je remercie également la Dre C. Steiger qui m'a suivi tout au long de ce travail.

Un grand merci à Mme A. Tabard qui s'est occupée de la partie statistique, qui m'a soutenu et apporté de nombreuses réponses à mes questions au fil des années.

Je remercie également mes collègues, le Dr S. Papis et surtout la Dre G. Calabrò, pour leur soutien et pour le temps passé à me relire et mettre en évidence, avec rigueur, de petites perles passées inaperçues.

Références :

1. Salter RB, Harris WR. Injuries Involving the Epiphyseal Plate. *J bone Jt Surg*. 1963;45-A(3):587-622. http://journals.lww.com/jbjsjournal.

2. Ho-Fung VM, Zapala MA, Lee EY. Musculoskeletal Traumatic Injuries in Children: Characteristic Imaging Findings and Mimickers. *Radiol Clin North Am*. 2017;55(4):785-802. doi:10.1016/j.rcl.2017.02.011.

3. George MP, Bixby S. Frequently Missed Fractures in Pediatric Trauma: A Pictorial Review of Plain Film Radiography. *Radiol Clin North Am*. 2019;57(4):843-855. doi:10.1016/j.rcl.2019.02.009.

4. Cepela DJ, Tartaglione JP, Dooley TP, Patel PN. Classifications In Brief: Salter-Harris Classification of Pediatric Physeal Fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(11):2531-2537. doi:10.1007/s11999-016-4891-3.

5. Ogden JA. Skeletal Radiology Injury to the Growth Mechanisms of the Immature Skeleton. *Skeletal Radiol*. 1981;6:237-253.

6. Swischuk LE, Hernandez JA. Frequently missed fractures in children (value of comparative views). *Emerg Radiol*. 2004;11(1):22-28. doi:10.1007/s10140-004-0362-3.

7. Crowe JE, Swischuk LE. Acute Bowing Fractures of the Forearm in Children: A Frequently Missed Injury. *Am J Roentgenol*. 1977;(128):981-984. www.ajronline.org.

8. O'dwyer H, O'sullivan P, Fitzgerald D, Lee MJ, Mcgrath F, Logan PM. The Fat Pad Sign Following Elbow Trauma in Adults Its Usefulness and Reliability in Suspecting Occult Fracture. *J Comput Assist Tomogr*. 2004;28(4):562-565.

9. MacEwan DW. Changes due to trauma in the fat plane overlying the supinator muscle: a radiologic sign. *Radiology*. 1964;82(5):879-886. doi:10.1148/92.5.954.

10. ZAMMIT-MAEMPEL I, BISSET RAL, MORRIS J, FORBES WSC. The value of soft tissue signs in wrist trauma.pdf. *Clin Radiol*. 1988;39(6):664-668.

11. SASAKI Y, SUGIOKA Y. THE PRONATOR QUADRATUS SIGN: ITS CLASSIFICATION AND DIAGNOSTIC USEFULNESS FOR INJURY AND INFLAMMATION OF THE WRIST. *J Hand Surg Br Eur Vol*. 1989;14(1):80-83.

12. Fallahi F, Jafari H, Jefferson G, Jennings P, Read R. Explorative study of the sensitivity and specificity of the pronator quadratus fat pad sign as a predictor of subtle wrist fractures.

Skeletal Radiol. 2013;42(2):249-253. doi:10.1007/s00256-012-1451-0.

13. Sun B, Zhang D, Gong W, et al. Diagnostic value of the radiographic muscle-to-bone thickness ratio between the pronator quadratus and the distal radius at the same level in undisplaced distal forearm fracture. *Eur J Radiol*. 2016;85(2):452-458. doi:10.1016/j.ejrad.2015.12.002.