

Université de Montréal

Fracture partielle de la tête radiale
Développement et validation d'un outil radiologique et impact sur la fonction
du coude

par
Anne Couture

Sciences Biomédicales
Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de maîtrise
en Sciences biomédicales
option musculosquelettique

Avril 2018

© Anne Couture, 2018

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :
Fracture partielle de la tête radiale, développement et validation d'un outil radiologique et impact
sur la fonction du coude

Présenté par :
Anne Couture

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dr Pascal-André Vendittoli, président-rapporteur
Dre Dominique M Rouleau, directrice de recherche
Dr Jean-Marc Mac-Thiong, membre du jury

Mémoire accepté le : 23 avril 2018

Résumé

Les fractures de la tête radiale représentent environ le tiers de toutes les fractures du coude. Une fracture de la tête radiale déplacée, bloquant les mouvements du coude, est une indication pour procéder au traitement chirurgical. À ce jour, il est impossible de prédire si une fracture de la tête radiale impliquera l'articulation radio-ulnaire proximale (PRUJ) lors de mouvements de pro-supination de l'avant-bras à l'aide de radiographies simples ou même de l'examen par tomographie axiale calculée par ordinateur (TACO). Cette étude décrit, en deux étapes, la conception d'un nouvel outil qui, combiné à la TACO, permettra d'identifier de façon reproductible les fractures impliquant l'articulation radio-ulnaire ainsi que l'impact de la fracture de la tête radiale sur la fonction au niveau du coude.

D'abord, l'étude cadavérique et radiologique de cas cliniques a permis la conception d'un acétate superposable sur une vue axiale d'une TACO de la tête radiale afin d'évaluer la position de la fracture par rapport à l'articulation radio-ulnaire proximale. Cet outil a été validé par 4 observateurs en classant 55 fractures comme impliquant la zone sécuritaire uniquement, la zone articulaire uniquement ou les zones sécuritaire et articulaire. Ensuite, afin de vérifier l'applicabilité de la méthode dans la pratique clinique, une étude clinique rétrospective de 43 volontaires, comprenant la classification des fractures à l'aide de la TACO et de l'outil, a révélé que seulement 5% des fractures étaient restreinte à la zone sécuritaire. Cette faible prévalence n'a pas permis de démontrer de différence statistiquement significative entre une fracture partielle de la tête radiale impliquant ou non la PRUJ en ce qui a trait à l'amplitude de mouvement, la fonction et la douleur, à un an post-fracture. Au sein de cette cohorte de fractures de la tête radiale, une analyse de différents facteurs pronostiques des fractures de la tête radiale a montré que les patients ayant une lésion associée (fracture coronoïde, fracture de l'olécrâne, etc.) avaient significativement moins d'extension du coude ($-11,2^\circ$, $p = 0,004$) et d'amplitude de mouvement total ($-13,9^\circ$, $p = 0,002$).

Ces données ont permis de conclure que l'utilisation de l'acétate constitue un outil complémentaire qui a peu d'impact dans le choix du traitement des fractures de la tête radiale mais les lésions associées comme la fracture coronoïde et la fracture de l'olécrâne peuvent influencer le résultat clinique.

Mots-Clés : Coude, Tête radiale, Fracture, Tomodensitométrie, Amplitude de mouvement

Abstract

Radial head fractures represent about one-third of all fractures of the elbow. A displaced radial head fracture, blocking the movements of the elbow, is an indication for surgical treatment. To date it is impossible to predict whether a radial head fracture will involve the proximal radio ulnar joint during pro-supination movements of the forearm, using X-rays or even computed tomography. This study describes, in two parts, the design of an innovative tool for the identification of fractures involving the radio ulnar joint using computed tomography and the impact of the radial head fracture on elbow function.

First, the cadaver and radiological study of clinical cases allowed the design of an acetate superimposed on the axial view of computed tomography of the radial head in order to evaluate the position of the fracture according to the proximal radio-ulnar joint. This tool was validated by 4 observers by classifying 55 fractures as involving the safe zone only, the proximal radio-ulnar joint only or both. Then, in order to verify the applicability of this method in clinical practice, a clinical retrospective study of 43 volunteers, including the classification of fractures using the computed tomography and the tool, revealed that only 5% of fractures were restricted to the safe zone. With such a small prevalence, we did not find a statistically significant difference between a partial radial head fracture that implicates or not the PRUJ, with respect to range of motion, function, and pain at one year after the trauma. Finally, an analysis of different prognostic factors of radial head fractures showed that patients with an associated lesion (coronoid fracture, olecranon fracture, etc.) had significantly less elbow extension (-11.2° , $p = 0.004$) and total range of motion (-13.9° , $p = 0.002$).

This data allowed us to conclude that the acetate is a complementary tool which has little impact in the choice of treatment but associated elbow injuries such as coronoid fracture and olecranon fracture may influence the clinical outcome.

Keywords : Elbow, Radial head, Fracture, CT-scan, Range of motion

Table des matières

Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures	x
Liste des sigles et abréviations.....	xi
Remerciements.....	xii
Introduction.....	1
Anatomie.....	3
Anatomie détaillée de la tête radiale.....	4
Chapitre 1 - Recension des écrits.....	3
1.1 Fracture de la tête radiale	3
1.1.1 Épidémiologie	3
1.1.2 Présentation clinique.....	3
1.1.3 Mécanismes de blessure	3
1.1.4 Classification	4
1.1.5 Cartographie de la fracture	9
1.1.6 Lésions associées.....	10
1.1.7 Imagerie diagnostique.....	11
1.1.8 Test à la xylocaïne	11
1.1.9 Traitement.....	12
1.1.10 Complications	15
1.2 Articulation radio-ulnaire proximale.....	16
1.2.1 Zone sécuritaire	16
1.2.2 Zone articulaire.....	17
Chapitre 2 – Hypothèses et objectifs	18
2.1 Problématique.....	18
2.2 Objectifs et hypothèses principaux.....	18
2.3 Objectifs et hypothèses spécifiques.....	19
Chapitre 3 - Méthodologie de recherche.....	20
3.1. Étude cadavérique et radiologique	20
3.1.1 Critères d'inclusion et d'exclusion des cadavres.....	20
3.1.2 Préparation et dissection cadavérique.....	20
3.1.3 Imagerie cadavérique.....	22
3.1.4 Reconstruction des images	22
3.1.5 Évaluation radiologique.....	23
3.1.6 Conception du modèle géométrique angulaire	26
3.1.7 Application du modèle géométrique angulaire.....	27
3.1.8 Validation du modèle géométrique angulaire dans un groupe de sujets ayant subi une fracture de la tête radiale	28
3.1.9 Statistiques utilisées.....	29
3.2. Étude clinique rétrospective	29
3.2.1 Examen physique.....	30
3.2.2 Questionnaires utilisés.....	30
3.2.3 Examen radiologique.....	31
3.2.4 Mesures radiographiques.....	34
3.2.5 Statistiques utilisées.....	35

Chapitre 4 – Résultats et présentation des articles	36
4.1 Article 1 : Involvement of the Proximal Radial Ulnar Joint in partial radial head fractures: A novel 3D CT-scan evaluation method	37
4.2 Résultats pour l’objectif 2	55
4.3 Article 2 : Outcome of partial radial head fractures : A retrospective cohort study	56
Chapitre 5 - Discussion	83
Chapitre 6 - Conclusion et perspectives.....	92
Références	93
Annexes.....	i
Annexe 1 : Autorisation des comités d’éthique	i
Annexe 2 : Acétate applicable sur la vue axiale d’une TACO de la tête radiale.....	iii
Annexe 3 : Questionnaire Quick DASH.....	iv
Annexe 4 : Questionnaire Patient Related Elbow Evaluation	vi
Annexe 5 : Questionnaire Mayo Elbow Performance Score	vii

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification de Mason et les options de traitements des fractures de la tête radiale.	13
Tableau 2 : Comparaison entre les fractures partielles de la tête radiale impliquant ou non l'articulation radio-ulnaire proximale.	55

Liste des figures

Figure 1: Anatomie du coude démontrant les articulations entre l'humérus, le radius et l'ulna.	4
Figure 2: Schématisation de la classification de Mason.	5
Figure 3: Schématisation de la classification de Mason-Johnston.....	6
Figure 4: Schématisation de la classification de Hotchkiss.....	7
Figure 5: Chiffres et nombres associés aux os longs du corps humain selon la classification de Müller AO.	8
Figure 6: Schématisation de la classification de Müller AO pour une fracture de la tête radiale....	9
Figure 7: Schéma axial de la tête radiale divisant la cupule en quatre cadrans, soit le cadran antéro-médial, postéro-médial, antéro-latéral et postéro-latéral.	9
Figure 8 : Résumé des différents traitements suggérés pour une fracture de la tête radiale	14
Figure 9 : Visualisation de la zone sécuritaire de la tête radiale.....	17
Figure 10: Tracé de l'incision de Kaplan avec l'avant-bras en pronation maximale.....	21
Figure 11: Encoche effectuée avec l'ostéotome sur la périphérie de la tête radiale.....	22
Figure 12: Reconstruction et mesure des angle d'intérêts avec le logiciel CATIA©.	23
Figure 13: Coupe axiale de l'aspect proximal de la tête radiale.....	24
Figure 14: Plan fixe de l'aspect proximal de la tête radiale.	24
Figure 15: Coupe axiale de la tubérosité radiale à son apex.....	24
Figure 16: Plan fixe de la tubérosité radiale à son apex.	25
Figure 17: Superposition du plan fixe de la tête radiale et de la tubérosité radiale.	25
Figure 18: Modèle géométrique montrant la zone sécuritaire (Safe zone) et la zone articulaire (PRUJ zone).	27
Figure 19: Radiographie en vue latérale du coude. (A) Vue latérale acceptable (superposition de la trochlée et du capitulum. (B) Vue latérale rejetée (le sillon trochléaire est facilement discernable (2)	33
Figure 20: Technique de mesure du RCR. (1) Dessiner une perpendiculaire à la surface articulaire et au milieu de la tête radiale. (2) Dessiner un cercle délimitant le capitellum et mesurer son diamètre. (3) Identifier le centre du capitellum. (4) Mesurer la distance minimale entre la perpendiculaire et le centre du capitellum.....	34

Liste des sigles et abréviations

AO:	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
CD-R:	Compact Disc-Recordable
CNESST:	Commission de la santé et de la sécurité du travail
CT:	Computed tomography
LIO:	Laboratoire de recherche en imagerie et orthopédie
MEPS:	Mayo Elbow Performance Score
ORIF:	Open reduction and internal fixation
PREE:	Patient-Rated Elbow Evaluation
PRHF:	Partial radial head fractures
PRUJ:	Proximal radio-ulnar joint
PUDA:	Proximal ulna dorsal angulation
Quick DASH :	Quick disability of the arm, shoulder and hand
RCR:	Radio-capitellar ratio
RH:	Radial head
ROFI:	Réduction ouverte avec fixation interne
RT:	Radial tuberosity
RT-SZ:	Radial tuberosity-safe zone
SZ:	Safe zone
TACO :	Tomodensitométrie axiale calculée par ordinateur
ZS:	Zone sécuritaire

Remerciements

Avant tout, j'aimerais remercier ma directrice de maîtrise Dre Dominique M Rouleau. Tout au long de ce beau projet, elle a su me guider, m'encourager et être présente, en plus de m'appuyer à travers les différents congrès. Je demeure extrêmement reconnaissante envers cette clinicienne-chercheuse qui a à cœur la réussite de ses étudiants. Je suis très heureuse d'avoir fait partie de son équipe.

La réussite de ce projet n'aurait pas eu lieu sans le support et l'implication du Dr Jonah Hebert-Davies, Dr Julien Chapleau, Dr Yves Laflamme et Dre Emilie Sandman. Je tiens également à remercier Julie et Karine pour leur aide précieuse et leur accueil chaleureux. Une pensée toute particulière va à Jacinthe pour le temps accordé à la reconstruction des images du Pacs.

Mes remerciements s'adressent évidemment à tous les patients qui ont accepté de faire partie de ce projet.

Enfin, j'aimerais remercier chaleureusement ma famille, mes amis et mon conjoint, qui du début à la fin de cette belle aventure, m'ont épaulée et encouragée.

Introduction

Le coude est composé de trois articulations : l'articulation radio-capitellaire, radio-ulnaire et ulno-trochléaire. Ces trois articulations comportent des ligaments, des groupes musculaires ainsi qu'une de capsule, le tout favorisant la stabilité du coude. Un des os du coude est le radius dont la portion proximale est nommée la tête radiale. Celle-ci s'apparente à un tee de golf dans sa vue axiale. Elle s'articule avec l'humérus et l'ulna. L'articulation radio-ulnaire proximale, formée de la tête radiale et de l'incisure radiale de l'ulna, permet des mouvements de pronation et supination (rotation externe et interne de la main). Ces mouvements sont fréquemment sollicités dans le quotidien. La prosupination de l'avant-bras permet, par exemple, d'ouvrir et de fermer une poignée de porte.

Les fractures de la tête radiale sont les plus fréquentes du coude[1, 2]. Une fracture de la tête radiale peut être partielle ou complète, dépendamment si la fracture implique une portion ou l'entièreté de la tête radiale. Un fragment peut rendre le mouvement de prosupination difficile voire même impossible en bloquant l'articulation radio-ulnaire proximale. À ce jour, il est complexe de prédire si une fracture partielle de la tête radiale est responsable de la diminution du mouvement de prosupination ou c'est la douleur par exemple qui empêche la mobilité. Le test à la xylocaïne peut être utilisé pour vérifier la mobilité de l'articulation en masquant temporairement la douleur[3]. Si la mobilité est restreinte, le chirurgien orthopédiste pourra préciser la cause de la diminution de la prosupination de façon chirurgicale en ouvrant la capsule articulaire, ce qui permet de visualiser l'articulation radio-ulnaire proximale et la raison du blocage. L'imagerie actuelle ne permet pas de visualiser, de façon dynamique, la position du fragment par rapport à l'articulation radio-ulnaire proximale. Pour des raisons de radioprotection (dose de radiations), il n'est pas possible d'effectuer des clichés radiographiques sériés du coude.

L'idée qu'une fracture partielle de la tête radiale impliquant l'articulation radio-ulnaire proximale provoque une perte de la fonction du coude apparaît logique. Par contre, à ce jour, le concept théorique du blocage de l'articulation radio-ulnaire proximale par la fracture de la tête radiale n'a jamais été démontré in vivo. De plus, la présence de lésions associées (fracture de la coronoïde,

luxation du coude, fracture de l'olécrâne) avec une fracture de la tête radiale n'a jamais été corrélée avec la fonction clinique du coude.

Ce mémoire a trois objectifs. Le premier objectif est de définir et valider une nouvelle méthode radiologique pour évaluer les fractures de la tête radiale. Le deuxième objectif, conditionnellement à la réussite du premier, est de vérifier l'applicabilité de la méthode dans la pratique clinique. Finalement, le troisième objectif a pour but d'identifier différents facteurs pronostiques des fractures partielles de la tête radiale sur la fonction du coude, évalués par des questionnaires de qualité de vie ainsi que des mesures radiologiques, à un an post-fracture.

Ce mémoire de maîtrise compte 6 chapitres. En guise d'entrée en la matière, une courte description de l'anatomie du coude est présentée dans la section qui suit. Le premier chapitre résume l'état des connaissances actuelles sur les fractures de la tête radiale et de l'articulation radio-ulnaire proximale. Le deuxième chapitre énonce les objectifs et les hypothèses qui soutiennent ce projet. Le chapitre suivant présente la méthodologie des différentes études réalisées pour répondre aux questions de recherche, soit l'étude cadavérique et radiologique ainsi que l'étude clinique prospective. Les résultats sont exposés sous forme d'articles au quatrième chapitre. Le cinquième chapitre fait place à une discussion des résultats. Les questions de recherche ainsi que les différentes hypothèses énoncées sont vérifiées et les résultats présentés avant de conclure ce mémoire.

Anatomie

Le coude est la réunion de trois os : l'humérus, le radius et l'ulna. Constitué de deux épicondyles et deux condyles, l'humérus distal est formé de deux surfaces articulaires, soit la trochlée et le capitellum. Postérieurement à la trochlée se trouve la fosse olécrânienne. C'est dans celle-ci que s'imbrique l'olécrâne ce qui permet une grande stabilité osseuse et favorise l'extension maximale[4]. Antérieurement se trouve la fosse coronoïdienne. Celle-ci maximise la flexion. En effet, si celle-ci était absente, le coude aurait un arc de mouvement total de 90°[4].

Le radius proximal est constitué de la tête radiale, suivie du col du radius. La tête radiale, de forme circulaire[5, 6], s'articule avec le capitellum. Distalement au col du radius se trouve la tubérosité radiale, aussi appelée la tubérosité bicipitale. Cette proéminence osseuse est le point d'attachement du tendon du chef long du biceps. Elle se présente sous la forme d'une crête unique[5, 7].

L'ulna proximal est constitué de deux surfaces articulaires, soit la grande fossette sigmoïde s'articulant avec la trochlée de l'humérus et la fossette radiale qui s'articule avec la tête radiale. À la portion antérieure de la grande fossette ulnaire se situe le processus coronoïde ainsi que la facette antéro-médiale du coronoïde. Ces structures, surtout la facette antéro-médiale du coronoïde, font parties des plus importants stabilisateurs du coude et permettent d'éviter sa luxation postérieure [8].

Trois articulations composent le coude (Figure 1). De type trochléenne, l'articulation huméro-ulnaire permet le mouvement de l'olécrane autour de la trochlée. L'articulation huméro-radiale est une articulation de type sphéroïde. Unissant la tête radiale au condyle latéral huméral, cette articulation permet le mouvement rotationnel nécessaire pour effectuer la pronation et la supination de l'avant-bras. La troisième articulation joint la périphérie de la tête radiale à la fossette radiale. L'articulation radio-ulnaire proximale permet le mouvement de pronation et de supination de l'avant-bras[4]. La tête radiale est maintenue en position par la fossette radiale de l'ulna et le ligament annulaire. Ce ligament, qui entoure la tête radiale et qui est fixé à l'ulna, lutte contre la translation radiale lors de la pronation de l'avant-bras. L'articulation radio-ulnaire proximale sera abordée en détail dans les sections suivantes.



Figure 1: Anatomie du coude démontrant les articulations entre l'humérus, le radius et l'ulna.

Humerus = humérus

Medial epicondyle = épicondyle médial

Capitulum = capitulum

Trochlea = trochlée

Head = tête

Neck = col

Tuberosity = tubérosité

Coronoid process = processus coronoïde

Trochlear notch = incisure trochléaire

Olecranon = olécrane

Réutilisé de Gray's Anatomy, Lea and Febinger 1918, Philadelphie, É-U., avec permission.

Le coude est entouré d'une capsule articulaire s'attachant à l'humérus, antérieurement au-dessus de la fosse olécraniennne et distalement au bord antérieur de la fosse coronoïdienne et au ligament annulaire. Les ligaments du coude recouvrent la capsule articulaire, permettant une stabilité accrue du coude[4]. Les ligaments collatéraux interne et externe constituent des épaisissements de la capsule articulaire. En plus d'assurer la stabilité du coude, ceux-ci assurent la coaptation articulaire entre l'humérus et l'ulna, empêchant également l'instabilité en varus-valgus[4, 9].

Anatomie détaillée de la tête radiale

L'anatomie de la tête radiale est importante à comprendre puisqu'elle est intimement liée à l'humérus et l'ulna. En effet, la surface concave de la tête radiale s'articule avec la surface sphérique du capitellum et le rebord de la tête radiale s'articule avec l'incisure radiale de l'ulna. Le cartilage articulaire entourant la périphérie de la tête radiale couvre environ 280 degrés[10].

La tête radiale n'est pas parfaitement circulaire et elle est, de façon variable, désalignée de l'axe du col du radius[11]. En effet, le diamètre moyen de la tête radiale est 19,99 mm et est à son maximum à 30 degrés de supination (20,71 mm) par rapport à la position neutre calculé avec une empreinte de la tête radiale[12]. King et al. a démontré que bien que la tête radiale ne soit pas circulaire, elle ne forme pas une toujours la même ellipse[13]. Pour sa part, Captier et al. ont étudié 96 têtes radiales cadavériques et 57% de celles-ci avaient une forme elliptique versus 43% étaient de forme circulaire[14].

Chapitre 1 - Recension des écrits

1.1 Fracture de la tête radiale

1.1.1 Épidémiologie

Les fractures de la tête radiale représentent les fractures les plus fréquentes du coude[1, 6, 15, 16]. En effet, elles constituent le tiers des fractures du coude et 3% des fractures sur l'ensemble du corps[6, 15, 17]. L'incidence estimée des fractures de la tête radiale est de 28-39 par 100 000 habitants par année aux États-Unis[16]. L'âge moyen des personnes subissant une fracture de la tête radiale varie légèrement, selon différentes sources. Une étude regroupant 440 patients a rapporté un âge moyen de 47 ans[16] et une autre de Duckworth et al. sur 285 patients donne un âge moyen de 43 ans[18]. Une augmentation de la fréquence des blessures associées a aussi été observée, par Kodde et al. chez la population féminine âgée[19]. Ces observations concordent avec l'hypothèse selon laquelle les fractures de la tête radiale sont potentiellement des fractures ostéoporotiques[18, 20]. Le ratio hommes-femmes est 2 :3[20].

1.1.2 Présentation clinique

Suite à l'accident ou la chute, le patient ressentira une douleur le long de la face latérale du coude. Celle-ci est aggravée avec le mouvement actif de pro-supination de l'avant-bras. À l'examen physique, le patient se plaindra d'une douleur locale à la palpation de la tête radiale (côté latéral du coude). Des ecchymoses peuvent être présentes. Un gonflement apparaît généralement après le traumatisme, rendant l'articulation du coude raide, et ainsi, les différents mouvements du coude (flexion, extension, pro-supination) difficiles à effectuer. L'amplitude de mouvement peut aussi être réduite par un blocage mécanique selon la localisation de la fracture et son degré de déplacement[21].

1.1.3 Mécanismes de blessure

Les fractures se produisent généralement lorsqu'une charge axiale est appliquée à l'avant-bras (par exemple, chute sur la main avec le bras en extension), provoquant la compression de la tête radiale sur le capitellum de l'humérus. Les fractures de la tête radiale résultent, le plus souvent,

d'un traumatisme indirect. Un coup direct au coude provoque rarement une fracture de la tête radiale[17].

1.1.4 Classification

1.1.4.1 Cutler

Les méthodes de classification des fractures de la tête radiale sont nombreuses[22]. En 1926, Cutler décrit ce qui serait la première classification des fractures de la tête radiale, comprenant trois classes :

Classe I : Fractures avec une simple fissure de la tête radiale, sans déplacement

Classe II : Fractures de la tête radiale avec séparation d'un fragment

Classe III : Fractures avec deux ou plusieurs fragments

Classe IV : Fractures du col du radius

1.1.4.2 Mason

La seconde classification décrite en 1954 est celle de Mason. Elle définit les fractures de la tête radiale selon l'emplacement de la fracture, le déplacement du ou des fragments et la présence de comminution. La classification de Mason (Figure 2) comporte trois types [1, 22]:

Type 1 : Fissure ou fracture de la marge non-déplacée

Type 2 : Fracture de la marge déplacée

Type 3 : Fracture comminutive impliquant la totalité de la tête radiale

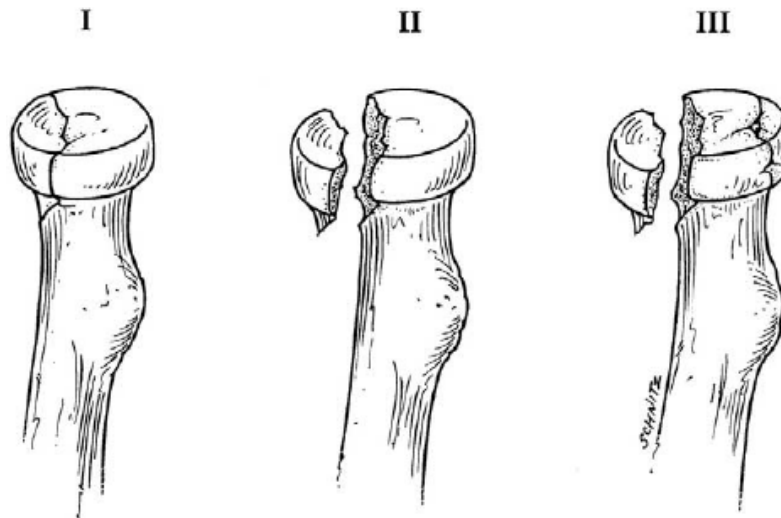


Figure 2: Schématisation de la classification de Mason.

Réutilisé de Calfee R et al. Radial head arthroplasty. J Hand Surg Am. 2006 Feb;31(2) :314-21.

1.1.4.3 Mason-Johnston

En 1962, Johnston ajoute un quatrième type à la classification Mason, le type 4, qui comprend les 3 autres types avec l'ajout d'une luxation de l'articulation huméro-ulnaire. La classification Mason-Johnston (Figure 3) est la plus fréquemment utilisée de nos jours en orthopédie et traumatologie[1].

Type 1 : Fissure ou fracture de la marge non-déplacée

Type 2 : Fracture de la marge déplacée

Type 3 : Fracture comminutive impliquant la totalité de la tête radiale

Type 4 : Fracture de la tête radiale avec luxation de l'articulation huméro-ulnaire

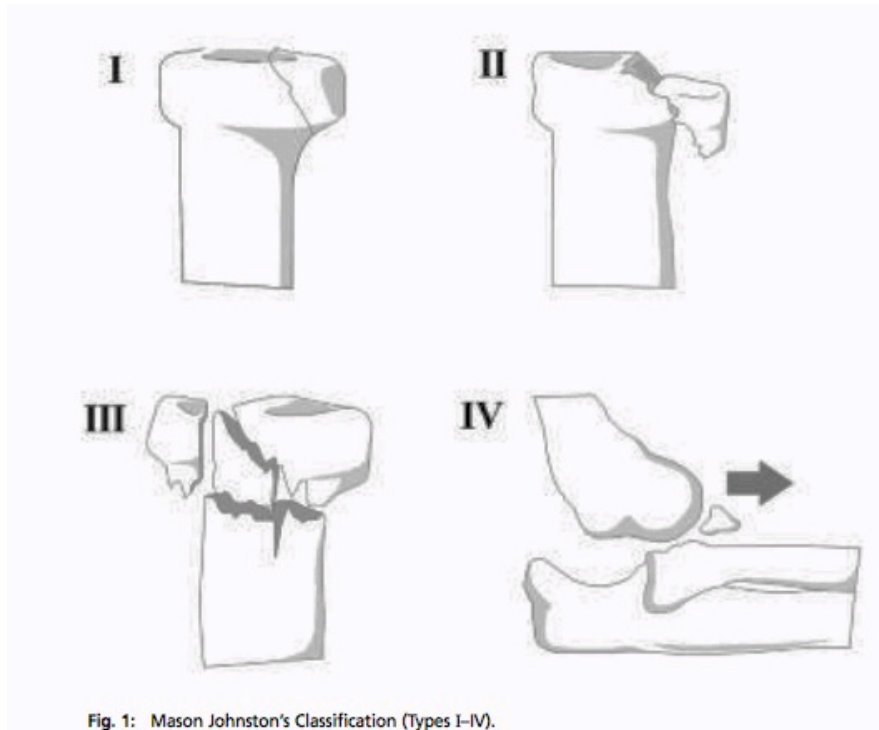


Figure 3: Schématisation de la classification de Mason-Johnston.

Reproduit de Mason, M.L., Some observations on fractures of the head of the radius with a review of one hundred cases. Br J Surg, 1954. 42(172): p. 123-32. Müller AO

1.1.4.4 Hotchkiss

Cette classification a été élaborée par Hotchkiss en 1997, à partir de la classification de Mason, [1] et comporte toujours 3 types dont il précise la définition (Figure 4) :

Type 1 : Fracture de la tête ou du col du radius non ou minimalement déplacée

Type 2 : Fracture de la tête ou du col du radius déplacée > 2mm, angulée

Type 3 : Fracture de la tête ou du col du radius sévèrement comminutive

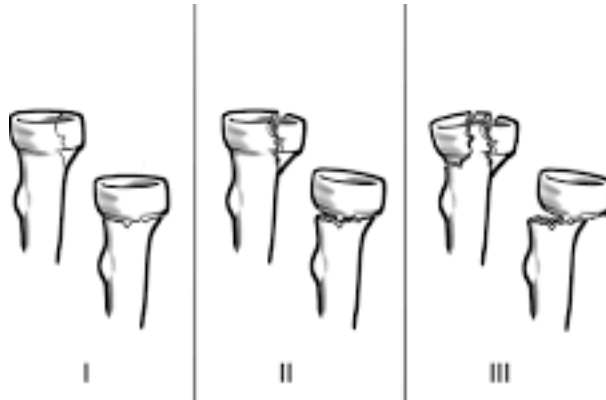


Figure 4: Schématisation de la classification de Hotchkiss.

Reproduit de Mason, M.L., Some observations on fractures of the head of the radius with a review of one hundred cases. Br J Surg, 1954. 42(172): p. 123-32. Müller AO

De nombreux systèmes de classification des fractures ont été proposés en orthopédie mais seul un petit nombre d'entre eux sont devenus largement acceptés dans la pratique. C'est le cas de la classification de Müller AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) qui respecte le critère rigoureux de validation[23]. La classification de Müller AO s'applique aux fractures des os longs. Chaque fracture est classée selon sa localisation, son type, son groupe et son sous-groupe (Figure 5). Chaque segment de la classification est décrit ci-dessous.

Localisation :

- 21 : Radius et/ou ulna proximal
- 22 : Diaphyse du radius et/ou ulna
- 23 : Radius et/ou ulna distal

Type :

- A : Fracture extra-articulaire
- B : Fracture partiellement articulaire
- C : Fracture articulaire

Groupe :

- 1 : Ulna uniquement
- 2 : Radius uniquement

3 : Ulna et radius

Sous-groupe :

- .1 : Peu sévère
- .2 : Sévère
- .3 : Très sévère

Cette classification offre une description fiable et précise de la fracture du radius et/ou de l'ulna (Figure 6)[23-25]. Elle sera utilisée lors de la validation du modèle géométrique angulaire.

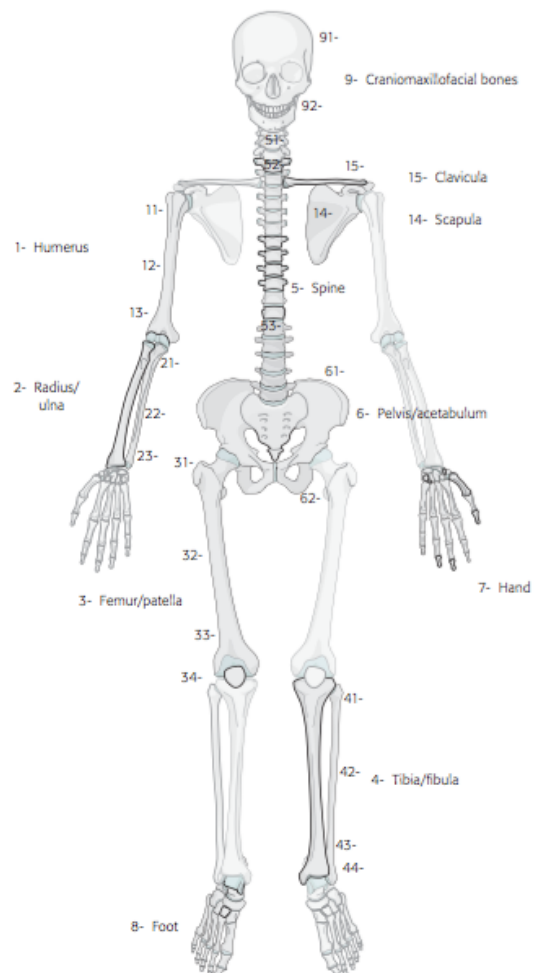


Figure 5: Chiffres et nombres associés aux os longs du corps humain selon la classification de Müller AO.

Réutilisé de Classification AO des fractures. Muller. Tome I, 1987

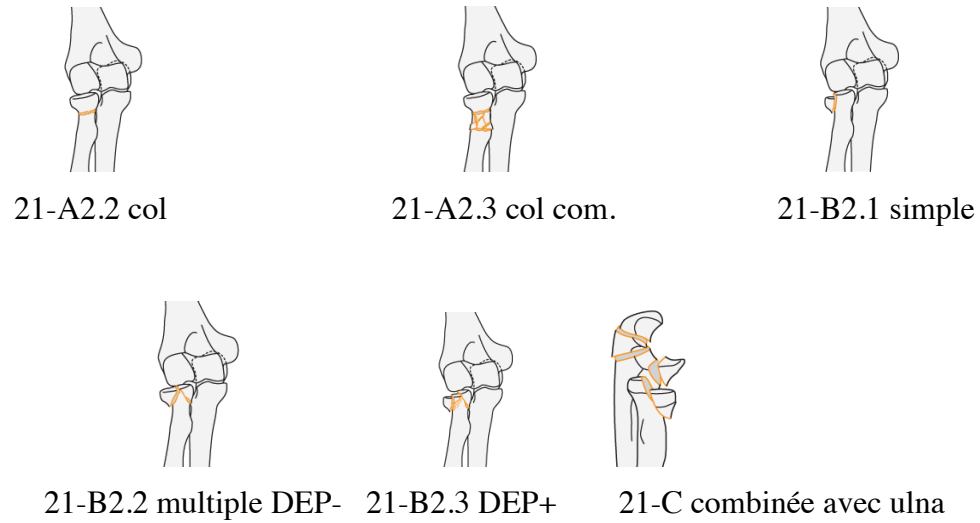


Figure 6: Schématisation de la classification de Müller AO pour une fracture de la tête radiale.

Réutilisé de Classification AO des fractures. Muller. Tome I, 1987

1.1.5 Cartographie de la fracture

Afin de localiser le site des fractures de la tête radiale plusieurs études se basent sur un plan axial, plus précisément la surface articulaire de la cupule de la tête radiale. En effet, cette cupule est divisée en quatre cadrans mesurant chacun 90 degrés, soit le cadran antéro-médial, postéro-médial, antéro-latéral et postéro-latéral (Figure 7)[15].

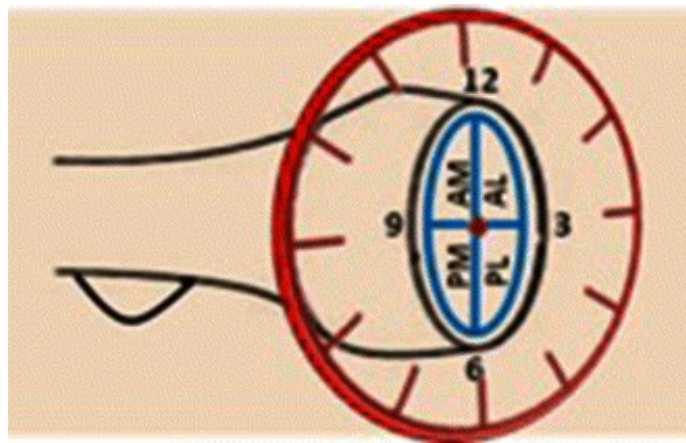


Figure 7: Schéma axial de la tête radiale divisant la cupule en quatre cadrans, soit le cadran antéro-médial, postéro-médial, antéro-latéral et postéro-latéral.

Réutilisé de Capo, J.T., et al., Fracture pattern characteristics and associated injuries of high-energy, large fragment, partial articular radial head fractures: a preliminary imaging analysis. J Orthop Traumatol, 2015. 16(2): p. 125-31. Avec permission

Cette cartographie a été créée à partir de reconstructions 3D de radius cadavériques avec l'avant-bras en position neutre. Plusieurs auteurs étudiant la distribution de la localisation des fractures de la tête radiale[15, 26-29] utilisent cette méthode et concluent que le cadran antéro-latéral est la zone anatomique la plus souvent impliquée dans les fractures de la tête radiale. Ce cadran correspond à un angle de 180° à 270°, à partir de la tubérosité radiale (voir la section 1.2.2. *Zone articulaire*). Le volume et la densité du cadran antéro-latéral de la tête radiale moindre le prédisposerait aux fractures[28]. Une autre hypothèse serait que la portion osseuse de ce cadran est plus mince et plus jaune, c'est-à-dire qu'il présente une résistance moindre comparé aux autres cadrans[29].

1.1.6 Lésions associées

Une atteinte secondaire est associée à la fracture de la tête radiale dans 10 à 30% des cas[6]. La gravité des blessures associées aux fractures de la tête radiale est très variable. Ces blessures peuvent être des fractures peu ou pas déplacées nécessitant un simple traitement conservateur mais aussi des fractures déplacées ou comminutives, nécessitant un traitement chirurgical (fixation, excision et remplacement)[17]. Les blessures associées les plus communes sont : la lésion de l'articulation radio-ulnaire distale, la rupture de la membrane interosseuse, la fractures de la coronoïde, l'atteinte des ligaments collatéraux, la fracture de la tête radiale avec luxation concomitante de l'articulation radio-ulnaire distale et lésion de la membrane interosseuse (lésion d'Essex-Lopresti), la luxation du coude, la triade terrible (luxation du coude, fracture de la tête radiale, fracture de la coronoïde) et les fractures carpiennes[6, 16, 30, 31]. La fracture de la coronoïde constitue la lésion associée la plus fréquente. Kodde et al. ont observé 30,4% de fractures de la coronoïde associée à la fracture de la tête radiale sur les 440 patients étudiés[16].

1.1.7 Imagerie diagnostique

1.1.7.1 Radiographie simple

Pour visualiser une fracture de la tête radiale en radiographie simple, les vues antéro-postérieure, latérale et oblique du coude sont privilégiées.

1.1.7.2 Tomodensitométrie axiale calculée par ordinateur

Une visualisation plus précise et détaillée de la fracture de la tête radiale peut être obtenue avec la TACO. Cette technique est favorisée pour les fractures impliquant l'articulation radio-ulnaire ou radio-humérale. Elle permet une meilleure visualisation du contour articulaire et la présence de fragments intra-articulaires. Il est à noter que la TACO ne facilite pas la classification des fractures, mais aide la détection de fractures concomitantes de la coronoïde et du capitellum[6, 21].

1.1.7.3 Échographie

Pavic et al. concluent que l'échographie est une méthode efficace pour diagnostiquer les fractures occultes de la tête radiale lorsque les radiographies simples ne démontrent qu'un épanchement intra-articulaire. Cette méthode d'imagerie est recommandée pour la détection précoce de fractures occultes à l'urgence[32].

1.1.8 Test à la xylocaïne

Le test à la xylocaïne peut être utilisé lorsque le patient présente une réduction de l'amplitude de mouvement. Un analgésique (la xylocaïne) est injecté dans l'articulation afin de masquer temporairement la douleur et de vérifier la présence de pathologies articulaires[33]. Pour les fractures de la tête radiale, un blocage osseux sera recherché lors des mouvements rotationnels de l'avant-bras. Un gain complet de l'amplitude articulaire signifie qu'il n'y a pas de blocage au niveau de l'articulation. La réduction du mouvement est donc secondaire à la douleur. Les risques et effets secondaires de cette procédure incluent l'infection, la réaction d'hypersensibilité à la xylocaïne, la bradycardie, l'hypotension, etc[34]. Cette procédure doit être effectuée de façon stérile.

1.1.9 Traitement

Le traitement des fractures, comme avec toutes les blessures orthopédiques, a pour but de rétablir une fonction adéquate de la région atteinte.

La prise en charge des fractures de la tête radiale comprend le traitement conservateur (non chirurgical) ou chirurgical. Selon le type de fracture et les lésions associées, plusieurs options chirurgicales sont utilisées: excision du ou des fragments parcellaires, excision de la tête radiale, arthroplastie de la tête radiale (prothèse de la tête radiale) et réduction ouverte des fragments et leur fixation par implant. Le choix du traitement pour une fracture de la tête radiale fait l'objet de nombreux débats puisque les critères d'indication ne sont pas clairement définis. Le jugement et l'expérience du chirurgien prennent une grande importance dans la décision thérapeutique[6].

1.1.9.1 Traitement conservateur

Le traitement conservateur des fractures de la tête radiale est indiqué pour les fractures non déplacées ou déplacées légèrement ne bloquant pas les mouvements du coude et de l'avant-bras. Ces fractures correspondent généralement à une fracture de type I selon la classification de Mason[6, 35, 36]. L'ampleur du déplacement et la taille le fragment parcellaire associés à un résultat clinique favorable reste controversés. Certains recommandent comme seuil décisionnel une taille du fragment parcellaire correspondante à moins de 25% de la tête radiale, une dépression de celui-ci de moins de 2 mm et l'absence de blocage du mouvement[1, 35-40].

La pose d'une attelle ou d'un plâtre, pour une période de 5 à 7 jours, est utile si le patient ressent de la douleur. Toutefois, une reprise précoce du mouvement du coude est essentielle pour éviter la contracture ou la rigidité de l'articulation. En effet, dans de nombreuses études, les participants ayant rapporté les meilleurs résultats lors du suivi avaient subi la plus courte période d'immobilisation [19, 41, 42]. En six semaines, le patient devrait avoir récupéré une amplitude de mouvement semblable à celle d'avant le traumatisme. Le patient devrait continuer ou débiter des traitements de physiothérapie ou de réadaptation physique si une raideur persiste après six semaines[6, 17].

1.1.9.2 Traitement chirurgical

Les fondements du traitement chirurgical pour toute fracture reposent sur plusieurs principes : une réduction anatomique la plus précise possible, une fixation stable, la conservation des tissus mous et la capacité précoce de mouvements articulaires afin de minimiser les comorbidités[43]. Le traitement recommandé pour les fractures de la tête radiale repose sur le déplacement, le degré de fragmentation et la localisation de la fracture. Pour faciliter le choix du traitement, chaque type de fracture de la classification de Mason correspond à un ou plusieurs traitements suggérés (Tableau I) [6, 17, 19, 30].

Type de Mason	Indication	Options de traitement
I	Toutes	Conservateur avec mobilisation précoce
II	Stable	Conservateur avec mobilisation précoce ou ROFI
	Instable	Conservateur avec mobilisation précoce ou ROFI
III	blacage avec rotation	ROFI
	2-3 fragments simples	ROFI
IV	> 3 fragments instables	Arthroplastie
	voir ci-haut	voir ci-haut

Tableau 1: Classification de Mason et les options de traitements des fractures de la tête radiale.

Réutilisé et traduit de Kodde, I.F., et al., *Current concepts in the management of radial head fractures*. World J Orthop, 2015. 6(11): p. 954-60.

Actuellement, pour une fracture de type II de Mason, il n'y a pas de consensus sur le traitement à administrer. D'une part, le traitement chirurgical de ces fractures stables, isolées et déplacées, est devenu populaire auprès des chirurgiens orthopédistes avec l'arrivée de nouvelles techniques opératoires qui permettent de fixer de petits fragments articulaires[39, 44, 45]. La réduction ouverte et fixation interne (ROFI) et le traitement conservateur ont produit des résultats favorables pour ce type de fracture [46, 47].

Un essai contrôlé randomisé multicentrique comparant le traitement conservateur et le traitement chirurgical pour les fractures de la tête radiale stables, isolées et déplacées est présentement en cours[48].

Une fracture instable de type II de Mason peut s'interposer au niveau de l'articulation radio-ulnaire proximal et bloquer le mouvement de pro-supination de l'avant-bras. Cette situation exige que le fragment soit retiré afin de libérer l'articulation et retrouver le libre mouvement[6, 47]. Miller et al. ont démontré la présence d'un déficit cinématique à la suite d'une fracture de type II de Mason[49]. Un déplacement de 3mm et plus exige la réparation de la fracture[49]. Par contre, en l'absence de blocage articulaire, le traitement conservateur peut être privilégié.

La ROFI est habituellement requises pour une fracture de type III de Mason. Si cette procédure ne peut être effectuée, à cause d'un trop grand degré de fragmentation, le remplacement de la tête radiale par une prothèse ou la résection de la tête radiale est alors suggérée[50].

À ce jour, aucun auteur a mentionné ou étudié le déplacement dans le plan axial de la tête radiale en lien avec l'articulation radio-ulnaire proximale.

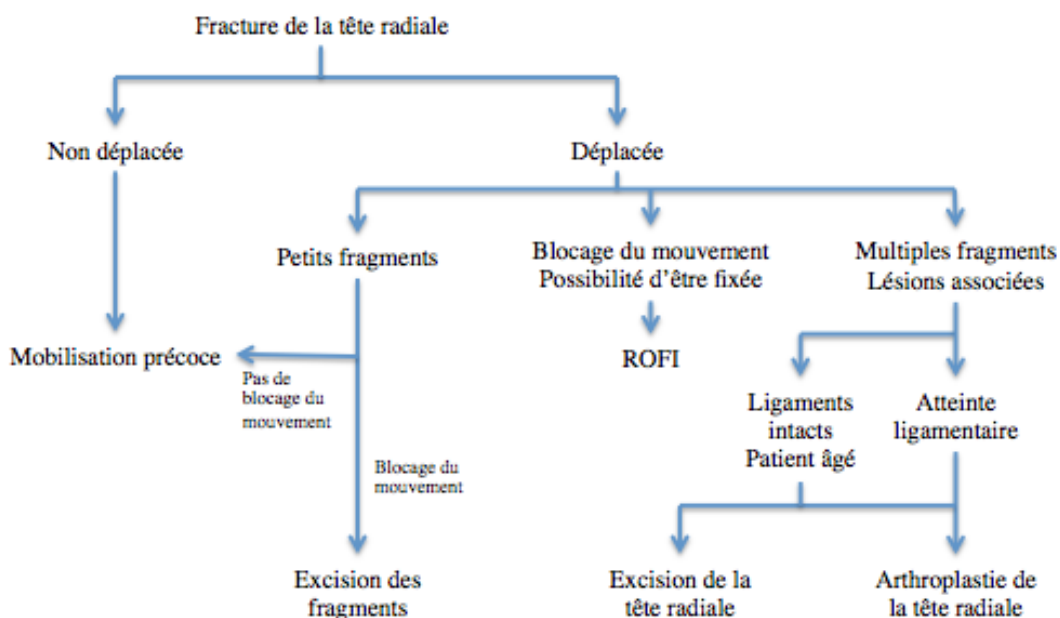


Figure 8 : Résumé des différents traitements suggérés pour une fracture de la tête radiale

Réutilisé et traduit de Lapner, M. and G.J. King, Radial head fractures. J Bone Joint Surg Am, 2013. 95(12): p. 1136-43.

1.1.10 Complications

La complication la plus fréquente lors d'une fracture de la tête radiale est la raideur et les adhésions de la capsule articulaire du coude. En présence de celles-ci, l'amplitude de mouvement sera réduite. Si les exercices d'étirement passif n'améliorent pas la condition, une intervention chirurgicale consistant à relâcher la contracture capsulaire pourrait être effectuée.

L'ossification hétérotopique est également une complication fréquente, avec une incidence de 7% parmi toutes les fractures du coude[51]. Des chirurgies répétées, une chirurgie retardée et une immobilisation prolongée constituent des facteurs de risque pour l'ossification hétérotopique autour du site de la fracture de la tête radiale. À l'examen physique, un arrêt dur sera noté à l'amplitude de mouvement maximale[6].

Les lésions nerveuses sont fréquentes mais transitoires. Le nerf interosseux postérieur et le nerf ulnaire sont les nerfs les plus souvent atteints à la suite du traumatisme ou du traitement chirurgical. La décompression et/ou la transposition nerveuse sont indiquées lors d'une telle complication[6, 36, 52-54].

Lorsque le patient présente de la douleur, une raideur au coude en postopératoire ou une clarté autour d'un implant de remplacement de la tête radiale à la radiographie, une infection doit être suspectée. La temporalité de l'histoire clinique, l'examen physique, l'examen de l'imagerie ainsi que les paramètres inflammatoires sanguins (protéine C réactive et vitesse de sédimentation) orientent le diagnostic. Bien que cette méthode soit plus invasive, l'aspiration de l'articulation pour le prélèvement de liquide synovial potentiellement infecté peut être effectuée. L'irrigation, le débridement des tissus infectés ainsi que l'administration d'antibiotiques sont les points

cardinaux du traitement d'une infection. Dans l'éventualité où l'infection n'est pas résolue, la résection de la prothèse, ou de tout autre matériel, peut être nécessaire[6, 54, 55].

Une instabilité récurrente du coude est le plus souvent secondaire à une atteinte du ligament collatéral latéral ou à une résection de la tête radiale. Un fixateur externe peut être utilisé si une instabilité persiste même après la réparation du ligament collatéral latéral[6].

1.2 Articulation radio-ulnaire proximale

1.2.1 Zone sécuritaire

La tête radiale est recouverte de cartilage hyalin sur sa surface articulaire. Ce qui lui donne un caractère distinctif est une petite zone ne fait jamais contact avec l'ulna lors des mouvements de prosupination. Connue sous le nom de «safe zone» ou zone sécuritaire, celle-ci se trouve au niveau latéral de la tête radiale lorsque l'avant-bras est en position neutre (Figure 9)[31]. Quelques études ont étudié la dimension de la zone sécuritaire. Selon Van Leeuwen et al., la zone sécuritaire a une taille approximative entre 110 et 113 degrés[27], Caputo et al., lui donne une dimension moyenne de 113 degrés[29], alors que Smith et Hochtkiss ont déterminé qu'elle mesurait 110 degrés[56].

En salle d'opération, lorsque l'articulation du coude est exposée, on retrouve la zone sécuritaire au niveau de l'aspect latéral de la tête radiale, lorsque l'avant-bras est en position neutre, ou à l'aspect postérieur, lorsque l'avant-bras est en supination maximale[29, 56, 57].

Cette zone est d'une très grande utilité lors de la ROFI de fractures de la tête radiale. Les implants de fixation comme une plaque peuvent être positionnée dans la zone sécuritaire afin de prévenir tout contact de l'implant avec l'ulna lors des mouvements de pro-supination. le positionnement d'un implant à l'extérieur de la zone sécuritaire peut occasionner des douleurs et une diminution de l'amplitude de mouvement nécessitant une deuxième chirurgie et le retrait de l'implant[56-59].

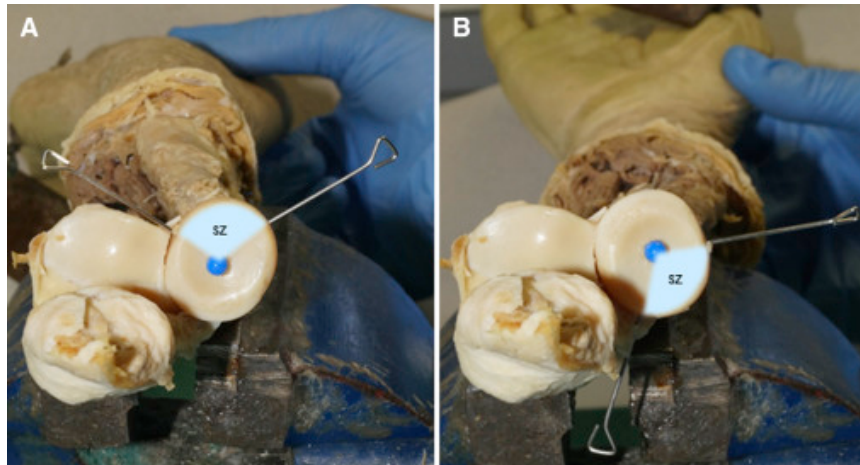


Figure 9 : Visualisation de la zone sécuritaire de la tête radiale.

Réutilisé de Ries et al., Is an extension of the safe zone possible without jeopardizing the proximal radioulnar joint when performing a radial head plate osteosynthesis? J Shoulder Elbow Surg, 2015. 24(10): p. 1627-34.

1.2.2 Zone articulaire

La zone articulaire fait référence à la portion restante de l'articulation radio-ulnaire proximale qui exclue la zone sécuritaire. Cette zone entre en contact avec l'ulna lors des mouvements de pronation.

Chapitre 2 – Hypothèses et objectifs

2.1 Problématique

Tel que mentionnée plus haut, le choix thérapeutique pour les fractures de la tête radiale reste mal défini. Une fracture de la tête radiale déplacée, bloquant les mouvements du coude, est reconnue par plusieurs comme une indication de procéder à un traitement chirurgical[39, 44-47]. Or, très souvent, la douleur seule peut être responsable de la limitation de mouvement évaluée à l'examen clinique. La radiographie simple permet seulement une localisation statique de la fracture, selon la position de l'avant-bras. Puisqu'on ne peut prendre des radiographies successives, et ce, pour des raisons de radioprotection, on ne peut objectiver dynamiquement la position du fragment osseux. Dans une situation où la douleur est suspectée comme cause de perte de mobilité, il est recommandé d'évaluer le déplacement de la fracture dans le plan coronal avec une TACO[22]. L'articulation radio-ulnaire, dans le plan axial, n'est pas évaluée, même si son intégrité est nécessaire au mouvement de rotation de l'avant-bras (pro-supination). Avec les pratiques et recommandations actuelles, il est difficile de prédire si la fracture de la tête radiale impliquera l'articulation radio-ulnaire proximale lors de mouvements de prosupination de l'avant-bras. Puisque, seulement deux tiers de la tête radiale entre en contact avec l'ulna dans la pro-supination (*Zone articulaire*, section 1.2.2), il serait pertinent de déterminer si la fracture transgresse cette zone ou non.

2.2 Objectifs et hypothèses principaux

L'objectif principal de ce mémoire est d'évaluer la capacité d'identifier la transgression de la zone articulaire par une fracture de la tête radiale à l'aide d'un examen par TACO.

Pour l'atteinte de notre objectif principal, un repère anatomique clé servant de point de repère au modèle géométrique doit être identifié. Se présentant principalement sous la forme d'une crête unique, la tubérosité radiale semble être un repère anatomique de choix[5, 7]. De plus, le modèle géométrique, qui inclut le repère anatomique clé, doit être reproductible.

Notre hypothèse est que l'élaboration d'un modèle géométrique adapté à la TACO qui inclu la tubérosité radiale comme point de repère permettrait de façon reproductible de prédire l'atteinte l'articulation radio-ulnaire proximale par une fracture de la tête radiale.

2.3 Objectifs et hypothèses spécifiques

Conditionnel au succès de l'objectif principal, **l'objectif secondaire** est de vérifier l'applicabilité de la méthode dans la pratique clinique.

Notre hypothèse est que l'outil développé (acétate) est applicable chez les patients présentant une fracture partielle de la tête radiale.

L'objectif tertiaire est d'identifier différents facteurs pronostiques des fractures partielles de la tête radiale sur la fonction du coude par des questionnaires de qualité de vie ainsi que des mesures radiologiques, à un an post-fracture.

Notre hypothèse est que la présence de lésions associées aux fractures partielles de la tête radiale engendre une perte de la fonction du coude.

Chapitre 3 - Méthodologie de recherche

3.1. Étude cadavérique et radiologique

Les fractures partielles de la tête radiale peuvent impliquer l'articulation radio-ulnaire proximale (PRUJ) ou être limitées à la zone de sécurité lors de la rotation de l'avant-bras. L'objectif de la présente étude est de développer une méthode d'évaluation par TACO des fractures partielles de la tête radiale qui permet de déterminer si la fracture implique la zone articulaire liée avec la PRUJ. Pour ce faire, la zone de la tête radiale entrant en contact avec la PRUJ a été identifiée sur 18 coudes cadavériques et définis avec la TACO. Un point de repère anatomique sera sélectionné permettant de créer un modèle angulaire démontrant la relation entre la PRUJ et la tubérosité radiale. Ensuite, quatre évaluateurs évalueront l'applicabilité cet outil en l'appliquant à 55 fractures de la tête radiale.

3.1.1 Critères d'inclusion et d'exclusion des cadavres

Les critères d'inclusion pour l'étude cadavérique étaient les suivants : coudes cadavériques pairés avec absence de déformation. Les critères d'exclusion comprenaient la présence d'une pathologie articulaire visible ou traumatisme du coude lors de la dissection.

3.1.2 Préparation et dissection cadavérique

Pour la préparation et la dissection cadavérique, un protocole expérimental a été rédigé et imprimé pour chaque coude cadavérique afin de répertorier les étapes accomplies dans le protocole. Toutes les manipulations se sont déroulées au Laboratoire de recherche en imagerie et orthopédie (LIO) de l'HSCM. Dix-huit coudes (appariés) cadavériques congelés à l'état frais ont été utilisés pour la première partie du projet de recherche. Pour chaque coude, le numéro de série, le côté correspondant, la date de début et de fin des manipulations, l'heure de début et de fin des manipulations ainsi que le nom des techniciens ayant effectués les manipulations ont été notés.

La préparation a débuté par la décongélation des 18 coudes cadavériques. L'avant-bras a ensuite été placé en pronation maximale. Une incision de Kaplan (approche latérale au coude) a été effectuée (Figure 10)[60], puis la peau et le tissu adipeux sous-cutané ont été incisés. Les muscles

extenseurs ont été coupés longitudinalement afin de pouvoir visualiser la région de la tête radiale. Le ligament collatéral externe et le ligament annulaire ont été gardés intact afin de conserver les propriétés biomécaniques naturelles du coude[4, 9]. La capsule articulaire a été incisée antérieurement au ligament collatéral latéral et l'articulation radio-ulnaire proximale fut mise en évidence.

Afin de délimiter la surface articulaire de la tête radiale, une encoche a été faite à l'aide d'un ostéotome en s'assurant que l'avant-bras était en pronation maximale (Figure 11). Afin de bien visualiser le point de repère, à la TACO, un trait de scie de 2mm d'épaisseur a été effectué au niveau de l'encoche initiale.

Pour obtenir la limite articulaire de la tête radiale lorsque l'avant-bras est en supination maximale, une incision de Kocher (approche postérolatérale du coude), suivie de la dissection du muscle brachioradial ont été réalisées. La suite de la dissection comprend les mêmes étapes qu'avec l'avant-bras en pronation. Deux encoches ont donc été effectuées sur la circonférence articulaire de chacune des 18 têtes radiales cadavériques.



Figure 10: Tracé de l'incision de Kaplan avec l'avant-bras en pronation maximale.

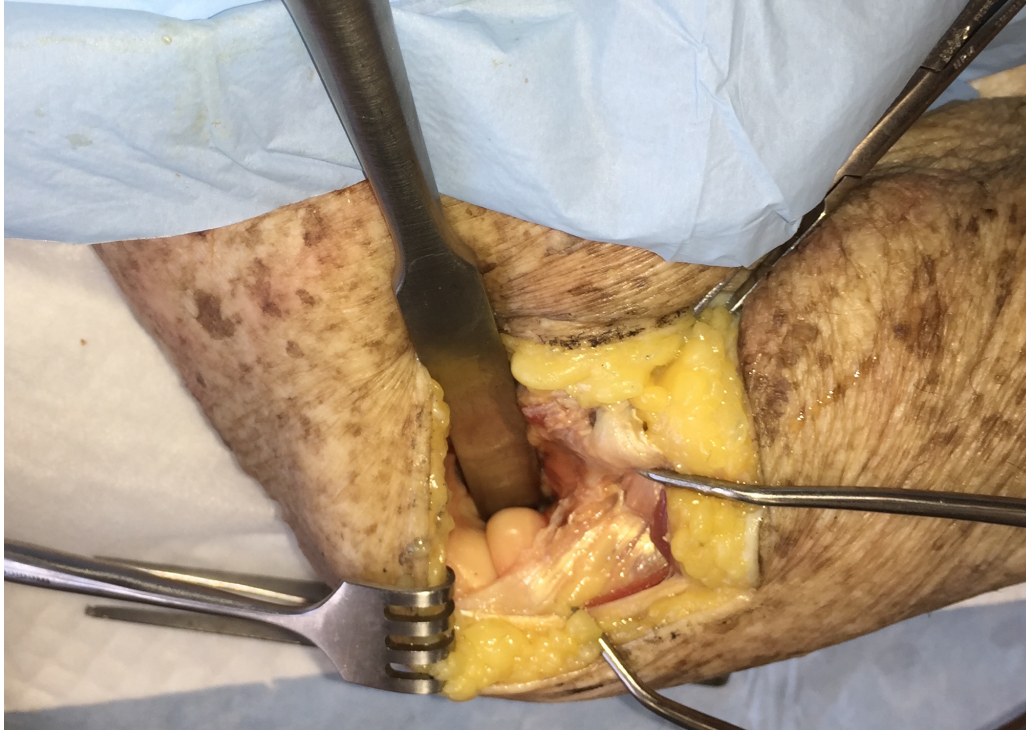


Figure 11: Encoche effectuée avec l'ostéotome sur la périphérie de la tête radiale.

3.1.3 Imagerie cadavérique

Les 18 coudes cadavériques ont été imagés à l'aide de la TACO Lightspeed VCT (GE Medical System, Milwaukee, WI, USA) avec une épaisseur de coupe de 0,625mm et une résolution de 0,781mm pixel. La collimation était limitée, du côté proximal à l'humérus distal, et du côté distal au poignet. Afin de minimiser les coûts, plusieurs coudes ont pu être scannés en même temps. Les images de chaque coude ont été gravées sur un CD-R.

3.1.4 Reconstruction des images

Le logiciel dédié à la reconstruction d'images en 3D SliceOmatic© (TomoVision, Magog, Québec, Canada) a été utilisé pour reconstruire chaque radius à partir des images obtenues à la TACO. Les limites de la reconstruction du radius étaient, proximale, la tête radiale, et distale, la fin de la tubérosité radiale. Une attention particulière a été portée à la reconstruction de l'aspect le plus proximal de la tête radiale. Les deux encoches précédemment effectuées devaient être bien identifiées à l'imagerie afin d'assurer la précision lors de la mesure des angles.

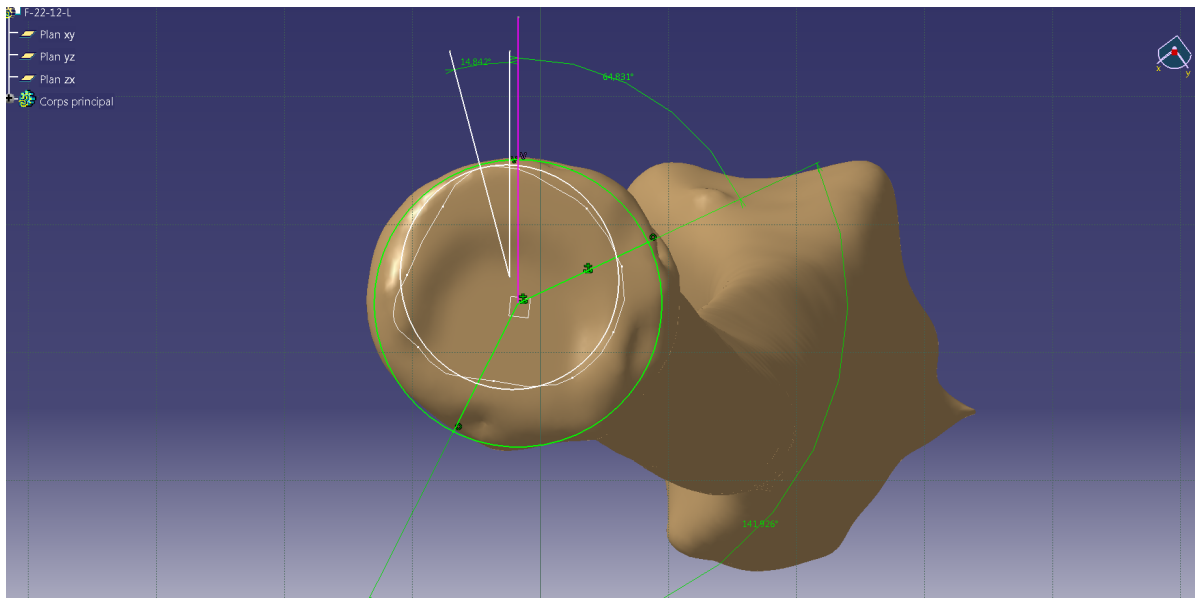


Figure 12: Reconstruction et mesure des angle d'intérêts avec le logiciel CATIA©.

Pour compléter la reconstruction des images, le logiciel de conception assistée par ordinateur CATIA© (V5R21 : système Dassault, Vélizy- Villacoublay, France) a été utilisé pour déterminer les différents angles d'intérêts pour ce projet (Figure 12).

3.1.5 Évaluation radiologique

L'évaluation radiologique à l'aide du logiciel CATIA© a débuté par la capture de deux plans fixes représentant une coupe axiale de la tubérosité radiale à son apex et de l'aspect proximal de la tête radiale (Figure 13-17).

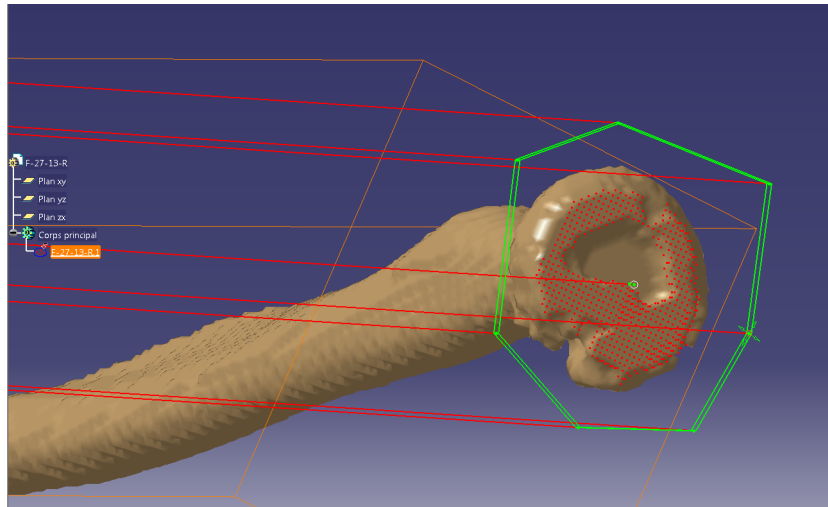


Figure 13: Coupe axiale de l'aspect proximal de la tête radiale.

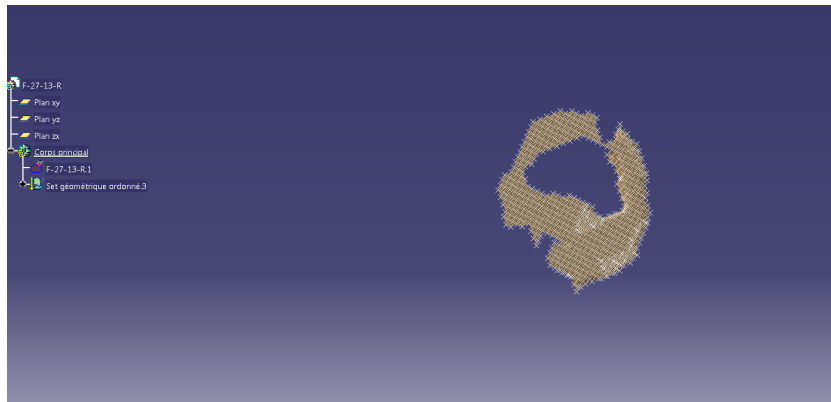


Figure 14: Plan fixe de l'aspect proximal de la tête radiale.

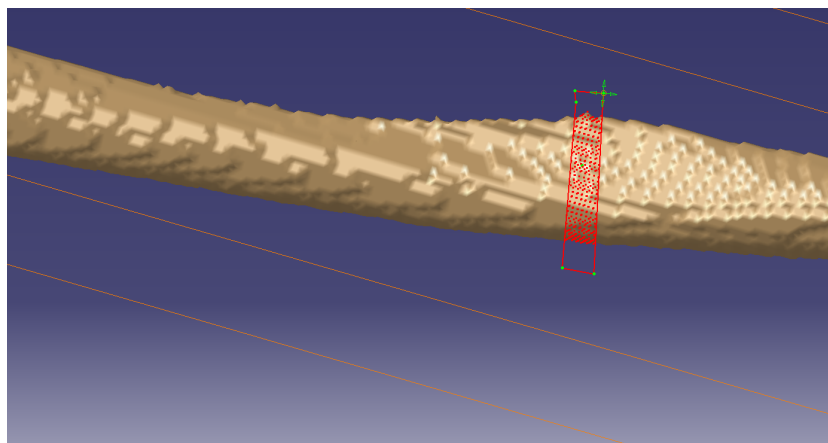


Figure 15: Coupe axiale de la tubérosité radiale à son apex.



Figure 16: Plan fixe de la tubérosité radiale à son apex.

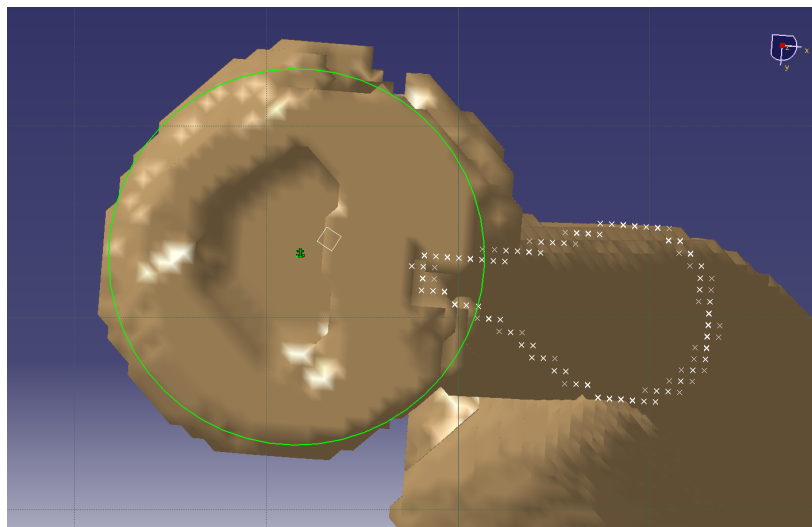


Figure 17: Superposition du plan fixe de la tête radiale et de la tubérosité radiale.

Ces plans étaient illustrés par un ovale et un cercle, respectivement. Par la suite, une bissection est tracée dans l'ovale. Les deux plans étaient parallèles et superposés. Les deux encoches représentant les limites de la zone sécuritaire ont été mises en évidence avec des lignes droites. Afin d'être le plus conservateur possible, la limite intérieure des deux encoches a été prise en compte pour la mesure de l'angle de la zone sécuritaire.

Trois mesures ont été prises pour chaque coude. La première est l'angle correspondant à la *zone sécuritaire*. Celui-ci a été mesuré, de façon identique pour tous les coudes, entre les deux lignes droites représentant les limites de l'angle représentant la *zone sécuritaire*. La deuxième mesure

début à partir d'une verticale tracée arbitrairement jusqu'à la bissection de la tubérosité radiale. La troisième mesure a comme point de départ une verticale, et comme fin, le début de la zone sécuritaire. L'addition de la deuxième à la troisième mesure a permis de créer l'angle RT-SZ, soit l'angle *radial tuberosity-safe zone*. Pour un coude droit, l'angle doit être mesuré dans le sens horaire et inversement pour un coude gauche. Il a comme début la bissection de la tubérosité radiale, et comme fin le début de la zone sécuritaire (Figure 18).

L'angle RT-SZ et l'angle correspondant à la zone sécuritaire servent de base à la conception du modèle angulaire.

3.1.6 Conception du modèle géométrique angulaire

Le modèle géométrique, tel que présenté dans la figure 18, illustre la coupe axiale de l'aspect proximal de la tête radiale et de la tubérosité radiale à son apex. La ligne pointillée noire représente la bissection de la tubérosité radiale. L'angle RT-SZ est également défini sur la figure. La zone comprise à l'intérieure des encoches illustre la zone sécuritaire. La portion de la circonférence non comprise dans la zone sécuritaire représente la zone articulaire, soit la zone où il y aura contact de l'ulna avec le radius lors des mouvements de prosupination de l'avant-bras.

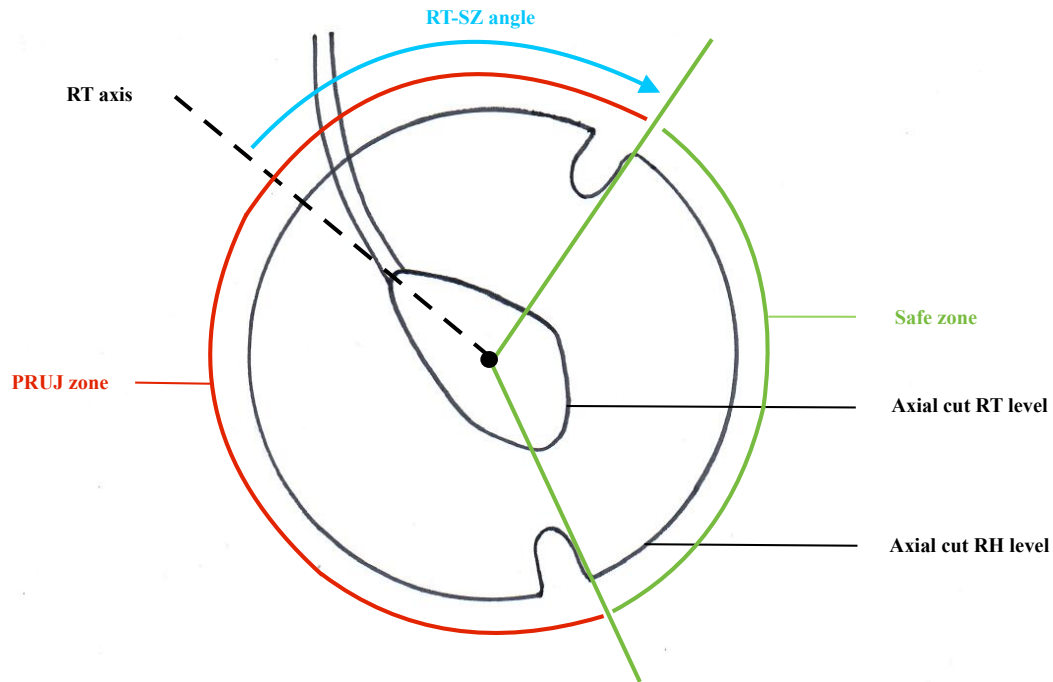


Figure 18: Modèle géométrique montrant la zone sécuritaire (Safe zone) et la zone articulaire (PRUJ zone).

PRUJ: Proximal radio-ulnar joint = articulation radio-ulnaire proximale
 RT-SZ: Radial Tuberosity-Safe Zone = tubérosité radiale – zone sécuritaire
 RH: Radial head = tête radiale
 RT: Radial tuberosity = tubérosité radiale
 SZ: Safe Zone = zone sécuritaire

La tubérosité radiale, étant une structure anatomique commune à tous les radius, est le point de départ du modèle géométrique.

3.1.7 Application du modèle géométrique angulaire

Dans le but de faciliter l'évaluation d'une fracture partielle de la tête radiale avec le modèle géométrique précédemment conçu, un acétate représentant ce modèle a été créé (Annexe 2).

Divisé en deux parties, soit pour un coude droit soit un coude gauche, cet outil doit être superposé sur la vue axiale de la TACO de la tête radiale. Afin de minimiser les erreurs dans le choix du

canevas approprié pour le coude à évaluer, gauche ou droit, l'articulation radio-ulnaire proximale complète a été schématisée, bien que l'ulna ne soit pas nécessaire pour l'évaluation. Quatre étapes sont nécessaires pour évaluer la fracture. Premièrement, le zoom de la TACO doit être ajusté pour correspondre au format du cercle englobant la tête radiale. Deuxièmement, l'axe représentant la bissection de la tubérosité radiale de l'acétate doit être superposé à la bissection réelle de la tubérosité radiale sur la TACO. Troisièmement, en gardant l'acétate immobilisé à l'écran, la TACO doit être défilée jusqu'à l'aspect proximal de la tête radiale. La quatrième étape consiste à mettre en relation la position de la fracture avec la zone sécuritaire. Ainsi, une fracture se situant entièrement dans la zone sécuritaire ne sera pas en contact avec l'ulna lors des mouvements de pro-supination de l'avant-bras. Par contre, si la fracture se situe partiellement dans la zone sécuritaire, il y aura contact entre l'ulna et la fracture, ce qui pourrait bloquer le mouvement de prosupination.

L'acétate permet de visualiser rapidement si une fracture partielle de la tête radiale affecte l'ulna. La validation de cet outil est décrite dans la prochaine section.

3.1.8 Validation du modèle géométrique angulaire dans un groupe de sujets ayant subi une fracture de la tête radiale

Une base de données a été construite à l'aide des codes CIM-9 pour identifier tous les patients ayant présenté une fracture de la tête radiale entre 2007 et 2014. Les radiographies et les TACO ont ensuite été évalués pour identifier les participants potentiels.

Les critères d'inclusion étaient:

- Fracture partielle de la tête radiale (classification OA type B)
- Radiographie et TACO disponibles
- Bonne qualité d'images pour visualiser le tendon du biceps à la TACO

Les critères d'exclusion comprenaient :

- Une fracture impliquant la totalité de la tête ou du col du radius
- Incapacité de visualiser le tendon du biceps sur la TACO axiale

- Ouverture de la physse proximale du radius
- Antécédents de pathologie du coude

55 participants ayant subi une fracture de la tête radiale ont été inclus dans la validation du modèle géométrique angulaire. La méthode d'évaluation décrite au point 3.1.7 a été appliquée à la TACO en utilisant l'acétate. Les fractures ont été classées par 4 observateurs selon qu'elles impliquaient la zone sécuritaire uniquement, la zone articulaire uniquement ou les zones sécuritaire et articulaire. Un observateur a classifié à deux reprises, à deux semaines d'intervalle, les 55 fractures afin de calculer la fiabilité intra-observateur.

3.1.9 Statistiques utilisées

Toutes les statistiques de cette étude ont été effectuées avec le logiciel SPSS (IBM) version 23.

Pour la conception du modèle géométrique angulaire, toutes les données continues ont été exprimées avec une moyenne et la déviation standard. Afin de comparer les valeurs moyennes des différents angles entre un coude droit et un coude gauche, le test de Mann-Whitney a été utilisé. Le seuil de signification a été établi à 0,05. La reproductibilité du modèle géométrique angulaire a été validée à l'aide du test statistique Kappa.

3.2. Étude clinique rétrospective

Le but de cette étude est de déterminer s'il y a une association entre certains facteurs cliniques ou radiologiques avec l'amplitude du mouvement et la fonction du coude à plus d'un an après à une fracture partielle de la tête radiale. Ceci sera évalué dans une cohorte rétrospective de 43 adultes volontaires. Les facteurs de risque pris en compte étaient les suivants: avoir subi un traitement chirurgical ou conservateur, la présence de lésions associées, d'ossification hétérotopique, d'indemnisation de la CNESST et l'implication de la fracture dans la PRUJ. Les facteurs pronostiques incluaient les mesures radiographiques de l'amplitude de mouvement, les données démographiques et les questionnaires sur la qualité de vie (PREE, Q-DASH, MEPS).

3.2.1 Examen physique

L'examen physique débutait par la mesure des amplitudes de mouvement du coude, plus précisément la flexion, l'extension, la pronation et la supination. Celles-ci ont été mesurées avec un goniomètre que l'on retrouve en clinique externe d'orthopédie. Le patient était assis sur une chaise. Le coude était en position d'extension maximale, suivi de la flexion maximale. Le centre du goniomètre, gradué à chaque degré sur 360°, était placé au centre du coude avec les bras en plastique suivant l'humérus et l'avant-bras. Ensuite, avec le coude en extension, le poignet était maintenu en position neutre avant d'effectuer la pronation et la supination. En s'assurant que le coude restait immobile, le centre du goniomètre était placé en axial de manière à orienter un bras vers le haut et l'autre bras suivant le poignet. Toutes les amplitudes de mouvement ont été mesurées lorsque le patient bougeait activement son bras. L'évaluateur n'a pas assisté les mouvements en appliquant une force externe. Les seules interventions de l'évaluateur étaient verbales, afin d'aider le patient à bien se positionner pour effectuer la mesure de la façon la plus adéquate possible. Le patient était également encouragé à atteindre l'amplitude de mouvement maximale possible. Chaque amplitude de mouvement a été mesurée une fois pour chaque coude.

La force de préhension de chaque main a également été mesurée à l'aide d'un dynamomètre de main hydraulique (Jamar Plus+; Sammons Preston, Rolyon, Bolingbrook, IL) Trois mesures de préhension ont été relevées pour chaque main, et ce, en alternance entre les mains droites et gauches, selon la méthodologie recommandée [61]. Finalement, la moyenne des trois mesures a été calculée.

3.2.2 Questionnaires utilisés

Quatre questionnaires de qualité de vie validés ont été utilisés dans le cadre de ce projet.

Le premier, le Quick DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) (Annexe 3), a été conçu pour évaluer des troubles simples ou multiples du membre supérieur, et peut être utilisé pour mesurer l'incapacité de l'ensemble du membre supérieur. Le Quick DASH s'est aussi révélé valable par rapport à des mesures spécifiques à certaines articulations du membre supérieur[62, 63]. Ce questionnaire contient onze questions sur une échelle de 1 à 5 points. Un score inférieur

indique une meilleure fonction (score minimal X, maximal Y). La différence minimale cliniquement importante pour le Quick DASH a été estimée à 19, et le changement détectable minimal a été estimé à 11 points[64].

Le Patient-Rated Elbow Evaluation (PREE) a été conçu spécifiquement pour les pathologies du coude (Annexe 4)[65] et est divisé en deux parties. L'une traitant de la douleur et l'autre des limitations fonctionnelles dans la vie quotidienne (se vêtir, hygiène personnelle, se nourrir, mobilité fonctionnelle, etc.) et dans les activités instrumentales de la vie quotidienne (gestion des finances, entretien du domicile, préparation des repas, prendre soins des autres, etc.). Celui-ci est composé de 20 questions évaluant l'intensité des symptômes et l'étendue de l'impact fonctionnel en utilisant une échelle de zéro à dix, un score inférieur indique une meilleure fonction (score min X, max Y).

Le troisième questionnaire est le Mayo Elbow Performance Score (Annexe 5). Celui-ci consiste à la fois en une évaluation par le médecin de trois variables (douleur, mouvement du coude et stabilité de l'articulation) et en une évaluation par le patient de la fonction de son coude au quotidien[66]. La variable de la douleur est celle qui occupe le plus grand pourcentage (45%) du questionnaire et qui a la plus forte influence sur la variabilité du score[67]. L'échelle varie de 0 à 100, avec un score plus élevé indiquant un meilleur résultat. La stratification des résultats se décrit comme suit : faible fonction (0 à 59), fonction équitable (60 à 74), bonne fonction (75 à 89) et excellente fonction (90 à 100). Ce score a été validé pour des troubles généraux du coude[68].

Le dernier questionnaire est l'échelle de douleur. Celui-ci contient six questions faisant référence à l'intensité maximale, minimale et actuelle de la douleur sur une échelle de 0 à 10 ainsi qu'à l'aspect qualitatif de la douleur (type, fréquence et période dans la journée) sous forme de choix de réponses [69].

3.2.3 Examen radiologique

La prise de différentes incidences radiographiques constituait la dernière étape de l'évaluation. La méthode validée de Chapleau et al. a été utilisée[70]. Le technicien en radiologie a d'abord

calibré l'appareil radiographique (GE Healthcare, Little Chalfont, Buckinghamshire, UK). Le technicien en radiologie a positionné le coude selon les vues prévues au protocole. L'évaluateur, qui avait préalablement fait l'examen physique du patient, a collaboré avec le technicien dans le but d'obtenir la plus grande précision possible au niveau des radiographies. La hauteur de la table radiographique a également été ajustée afin que l'humérus et l'avant-bras demeurent dans le même plan horizontal. Le champ de rayonnement était le plus grand possible afin de bien visualiser l'humérus distal et l'avant-bras.

Pour chaque coude gauche et droit, quatre images ont été effectuées :

1. Vue latérale, coude en flexion maximale, avant-bras en rotation neutre
2. Vue latérale, coude en extension maximale, avant-bras en rotation neutre
3. Vue latérale, coude en flexion 90°, avant-bras en rotation neutre
4. Vue antéropostérieure, coude en extension maximale, avant-bras en supination maximale

Immédiatement après la prise d'un cliché, l'évaluateur regardait l'image et déterminait si celle-ci était adéquate. Si la position n'était pas optimale ou la radiographie n'était pas centrée sur le coude, le cliché était repris. Seul le cliché accepté par l'évaluateur était enregistré par le technicien.

Une attention particulière a été portée à la qualité des radiographies prises en vue latérale étant donné les défis occasionnés par l'anatomie particulière du coude pour cette vue. C'est pourquoi il est plutôt rare d'obtenir une vue latérale franche, dont les rayons sont dirigés perpendiculairement à la trochlée (Figure 19). Toutefois, afin de procéder aux différentes mesures radiographiques, il est essentiel que le cliché soit optimal. Pour ce faire, les huit critères permettant d'évaluer la qualité d'un cliché en vue latérale de *Merrill's Atlas of Radiographic Positioning and Procedures*[71] ont été utilisés:

1. Coude fléchi à 90 degrés
2. Coude centré sur l'image
3. Superposition des épicondyles de l'humérus

4. Espace articulaire ulno-huméral visible
5. Tubérosité radiale orientée antérieurement
6. Superposition partielle de la tête radiale avec le processus coronoïde
7. Olécrâne de profil
8. Visibilité des trabécules osseuse

Une fois les huit clichés du participant enregistrés (quatre clichés par coude), les images ont été exportées avec le logiciel DICOM par le technicien en radiologie. De l'examen physique à l'examen radiologique, la rencontre durait environ une heure.

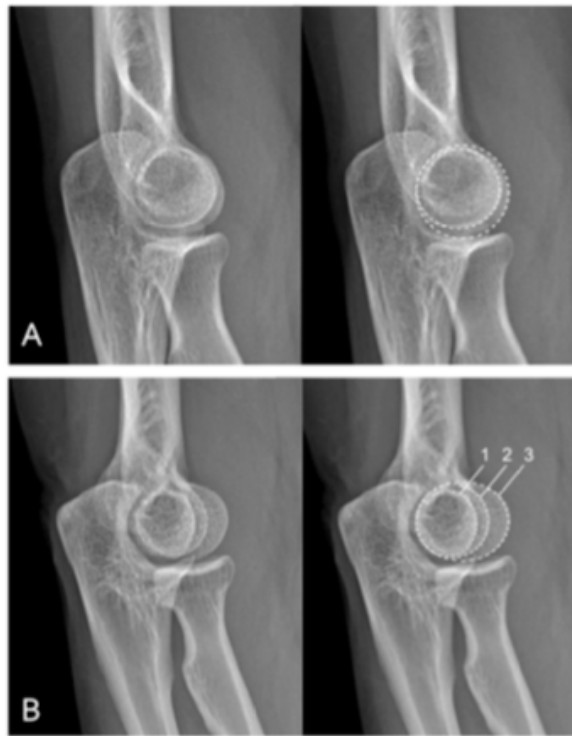


Figure 19: Radiographie en vue latérale du coude. (A) Vue latérale acceptable (superposition de la trochlée et du capitulum. (B) Vue latérale rejetée (le sillon trochléaire est facilement discernable (2))

Réutilisé de Amplitude de mouvement du coude, développement d'une méthode de mesure radiographique et identification des facteurs influents. Julien Chapleau. Thèse. Université de Montréal. 2012, avec permission.

3.2.4 Mesures radiographiques

Après avoir rencontré les 44 participants volontaires, un seul et même auteur (Anne Couture, étudiante à la maîtrise), a procédé aux mesures radiographiques suivantes avec le logiciel Horizon medical imaging 12.0 (McKesson, Richmond, Canada) :

- L'angle de flexion et d'extension maximal à partir des radiographies en vue latérale du coude. Ceux-ci ont été mesurés à l'aide de l'outil d'annotation «angle de Cobb» en traçant un axe sur le bord postérieur du tiers moyen de la diaphyse de l'humérus et de l'ulna.
- Le PUDA (proximal ulna dorsal angulation) à partir des radiographies en vue latérale avec le coude fléchi à 90 degrés. Avec l'outil d'annotation «angle de Cobb», un axe a été dessiné sur l'aspect dorsal de l'olécrâne et la surface dorsale de la diaphyse cubitale[72, 73].
- Le RCR (radio-capitellar ratio) à partir des radiographies en vue latérale avec le coude fléchi à 90 degrés. Cette mesure représente la distance minimale entre la bissectrice de la tête radiale et le centre du capitellum divisée par le diamètre du capitellum (Figure 20)[74, 75].
- L'angle de la fracture à partir de la vue axiale de la TACO du coude.
- Le déplacement du fragment par rapport à la surface articulaire de la tête radiale à partir de la vue sagittale ou coronale du coude.

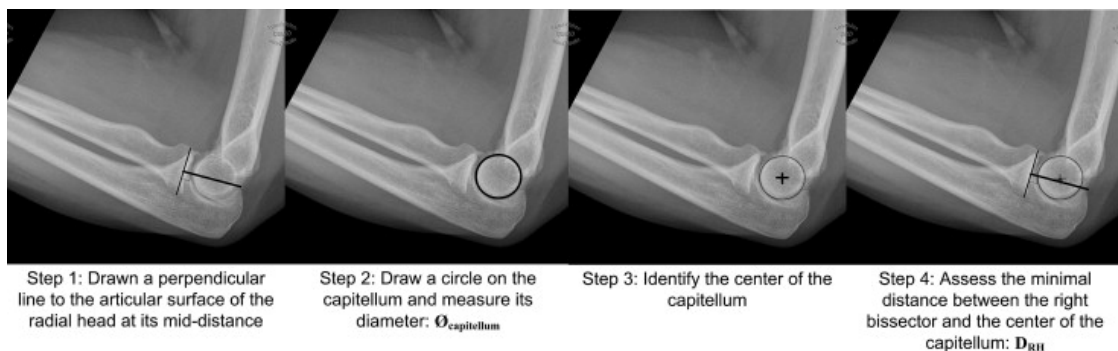


Figure 20: Technique de mesure du RCR. (1) Dessiner une perpendiculaire à la surface articulaire et au milieu de la tête radiale. (2) Dessiner un cercle délimitant le capitellum et

mesurer son diamètre. (3) Identifier le centre du capitellum. (4) Mesurer la distance minimale entre la perpendiculaire et le centre du capitellum.

Réutilisé de © 2013 American Academy of Orthopaedic Surgeons. Reprinted from the Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, Volume 21 (3), pp. 149-160 avec permission.

3.2.5 Statistiques utilisées

Les statistiques ont été réalisées avec le logiciel StatPlus (version 6, AnalystSoft, CA). Les 43 participants inclus dans l'étude ont été séparés en deux groupes, soit le groupe ayant eu un traitement conservateur, soit celui ayant eu un traitement chirurgical. L'analyse statistique s'est effectuée en deux parties. La première partie consistait à comparer les caractéristiques démographiques des deux groupes. Pour ce faire, le Student *t*-test non-pairé pour les valeurs continues et le test exact de Fisher pour les valeurs dichotomiques ont été utilisés. Le Student *t*-test a également comparé les groupes selon les résultats de l'amplitude de mouvement et les scores de qualité de vie amassés à l'aide des quatre questionnaires. La deuxième partie de l'analyse avait pour fonction de corrélérer les caractéristiques des patients et les blessures associées (luxation, fracture de l'ulna et/ou fracture de l'humérus) avec le résultat des quatre questionnaires de qualité de vie. Tous les patients ont été inclus dans une analyse de corrélation de Pearson. Enfin, toute la cohorte de patients était séparée en fonction de la présence ou non de blessures associées. Le Student *t*-test a également comparé l'impact des blessures associées sur la fonction du coude (variable continue).

Chapitre 4 – Résultats et présentation des articles

Les résultats de l'objectif 1, qui a trait à l'évaluation de la capacité d'identifier la transgression de la zone articulaire par une fracture de la tête radiale à l'aide d'un examen par TACO, sont présentés dans l'article : s'intitulant *Involvement of the Proximal Radial Ulnar Joint in partial radial head fractures: A novel 3D CT-scan evaluation method*, a été accepté par le Journal of the British Elbow and Shoulder Society le 3 août 2017.

Les résultats de l'objectif 2, qui était de vérifier l'applicabilité de la méthode dans la pratique clinique, sont présentés dans ce mémoire au point 4.2.

Les résultats de l'objectif 3, qui avait pour but d'identifier différents facteurs pronostiques des fractures partielles de la tête radiale sur la fonction du coude par des questionnaires de qualité de vie ainsi que des mesures radiologiques, à un an post-fracture, sont présentés dans une second s'intitulant *Outcome of partial radial head fractures: A retrospective cohort study*, est en révision par les pairs et sera soumis sous peu.

La version intégrale des manuscrits soumis est présentée dans les prochaines pages avec l'accord des co-auteurs.

4.1 Article 1 : Involvement of the Proximal Radial Ulnar Joint in partial radial head fractures: A novel 3D CT-scan evaluation method

Title: Involvement of the Proximal Radial Ulnar Joint in partial radial head fractures: A novel 3D CT-scan evaluation method

Keywords: Radial head fracture; 3D CT-scan; PRUJ

ABSTRACT

Background: Partial radial head fractures (PRHF) can involve the proximal radio-ulnar joint (PRUJ) or be restricted to the "safe zone" (SZ) during forearm rotation. Our objective was to develop an assessment method for PRUJ involvement in radial head fractures using axial CT scans.

Methods: The area of the radial head in contact with the PRUJ zone was identified, and defined on 18 cadaveric elbows CT scans; the quantitative relationship between PRUJ zone and radial tuberosity was established. Then, 4 evaluators validated it on PRHF CT-scan axial views, classifying the fractures as involving the PRUJ or not.

Results: Using the radial tuberosity as the 0° degree of a 360° circle, the SZ was within 108° to 212° clockwise for a right elbow, and counter clockwise for the left elbow. Fifty-five consecutive (30 men, 25 women, mean age of 49 y/o) partial radial head fracture CT scans were classified: 4 SZ only, 3 PRUJ zone, and 48 in both PRUJ and SZ. The kappa for the inter- and intra-observer agreement was, 0.517 and 0.881, respectively.

Conclusion: Ninety-three percent of partial radial head fractures will involve the PRUJ and the geometric model developed allows their classification, potentially helping surgeons decide on optimal treatment.

Level of evidence: Retrospective basic science study. Level III, Anatomic Study, Imaging

INTRODUCTION

Radial head fractures are relatively common, representing approximately one-third of all elbow fractures¹⁻³. Treatment is generally guided by the modified Mason classification⁴ which divides fractures into four types based on location, associated dislocation, comminution and the presence of a mechanical block⁵.

Displacement in this classification has always been in reference to the radio capitellar joint. However, displacement in the PRUJ zone (proximal radio ulnar joint) is likely equally as important. The safe zone (SZ) is described as an arc of approximately 110° around the radial head that never articulates with the PRUJ. This concept can also be useful to evaluate whether a radial head fragment involves the PRUJ. Fractures contained entirely within this safe zone should not have an impact on pro-supination⁸. To our knowledge, there are no tools available to determine preoperatively whether the fragments of a partial radial head fracture involve the PRUJ or not. The potential impact of such a tool would be to give surgeons more confidence in treating these fractures non-operatively.

The purpose of this study was to develop an assessment method to determine whether the partial radial head fracture involves the PRUJ zone, using CT scan imaging.

MATERIALS AND METHODS

This was a two-part study combining a cadaveric model study, followed by a clinical radiological review.

PART 1 – Cadaveric study – Development of a measurement method

Specimens

In the present cadaveric study, 18 fresh frozen cadaveric elbows (9 pairs; 6 male and 3 female cadavers) were used. The average age at death was 69 years (range, 43 to 87 years). None of the specimens had undergone a previous operation and we only included cases with no elbow, forearm or wrist pathology.

Preparation and identification of safe zone

Dissection was divided in two parts: with the forearm in maximal pronation and in maximal supination. The positions were achieved with the elbow in 90° of flexion with passive positioning by an evaluator. With the forearm in maximal pronation, a lateral skin incision was created and the Kaplan interval was used to split and elevate the extensor muscles. The lateral collateral and annular ligaments were kept intact. An anterior arthrotomy to the lateral collateral ligament was performed to visualize the radial head and the ulna. Using a curved osteotome perpendicular to the joint surface, a notch was made on the radial head's articular surface in the maximal pronation position, at the boundary with the ulna (Figure 1). The notch was then deepened using a 1mm oscillating saw, taking care to include the kerf in the safe zone, to provide better visualization. For the dissection with the forearm in maximal supination, the Kocher approach was used with deep dissection and lifting of the anconeus muscle. A similar procedure was performed to identify the limit on the radial head's articular surface in maximal supination, while keeping the ligaments intact. The smaller arc joining these notches was defined as the safe zone (SZ), and the complementary angle was named the PRUJ zone (Figure 2).

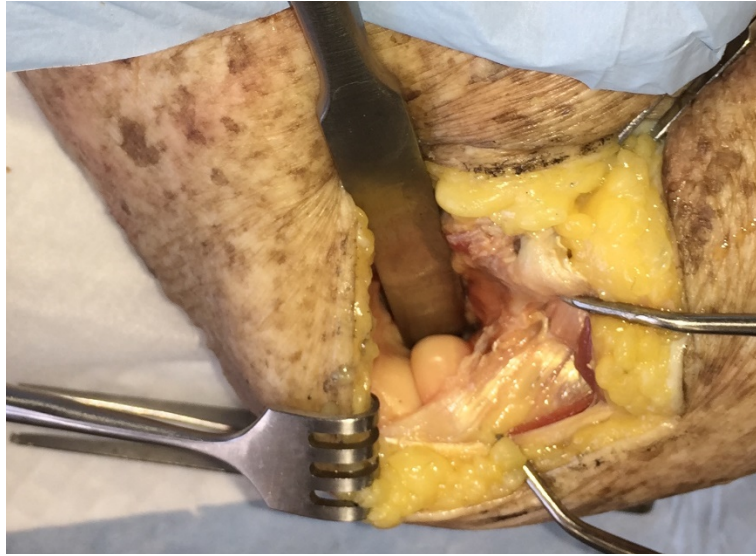


Figure 1. Notch made perpendicular to the radial head articular surface with the forearm in maximal pronation position. The annular ligament was released in this example for visualization purposes (for a clearer view, the osteotomy here is oblique).

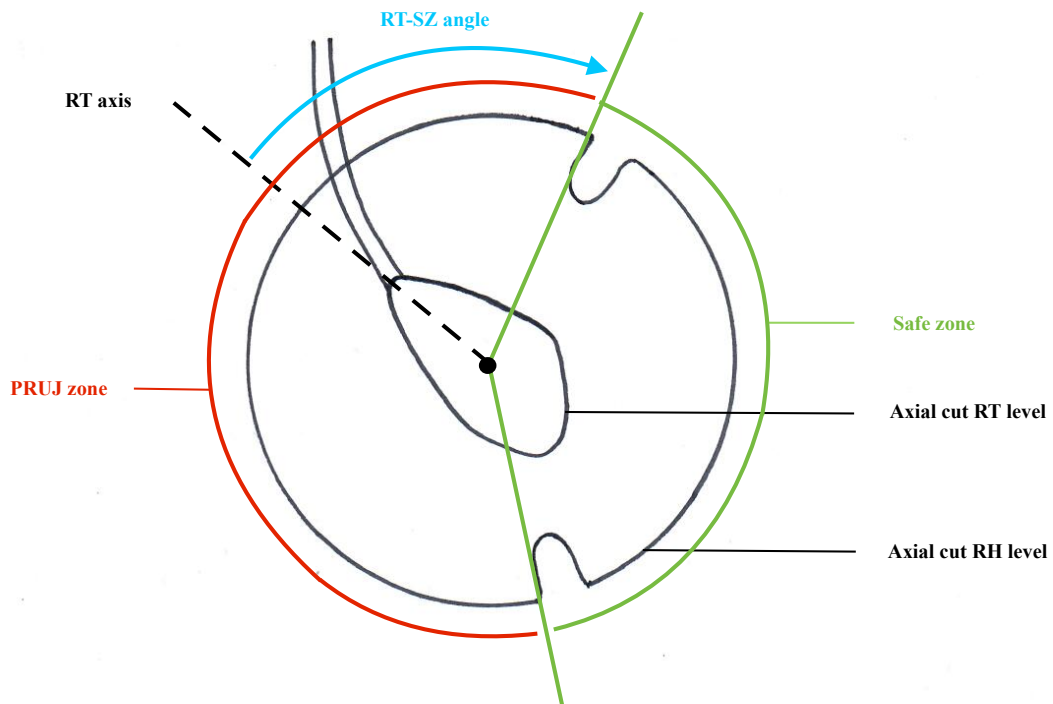


Figure 2. Superposition of axial section of the radial head and the radial tuberosity for a right elbow. RH radial head; RT, radial tuberosity; SZ, safe zone; PRUJ, proximal radioulnar joint.

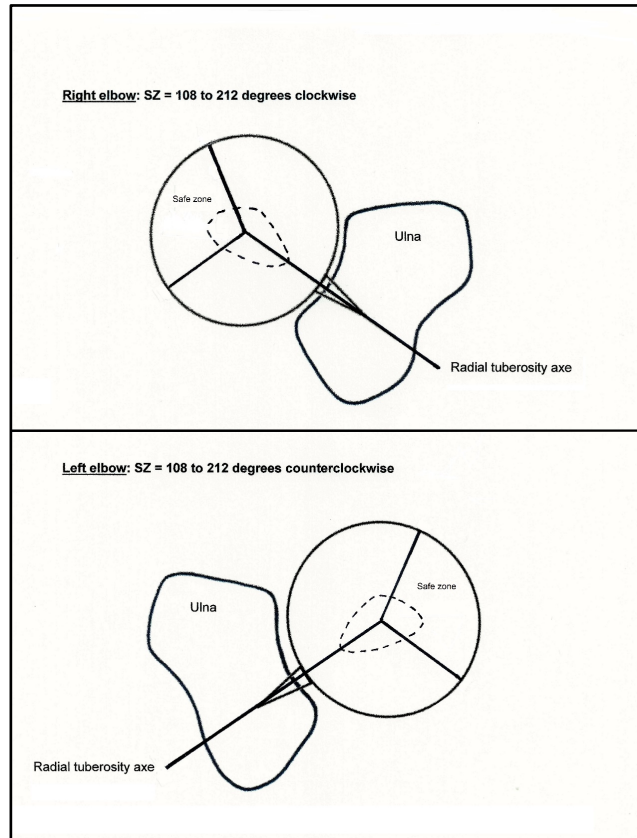


Figure 3. Stencil applicable on the axial view of the scan of the radial head. SZ, safe zone.

Imaging and reconstruction

Axial CT-scans were taken for each cadaveric elbow. The boundaries of the scanned area were the distal humerus, proximally, and the wrist, distally. CT-scans were taken with a Lightspeed VCT (GE Medical System, Milwaukee, WI, USA) CT scanner (0.625mm slice thickness and 0.781mm pixel resolution).

Dedicated software (SliceOmatic; TomoVision, Magog, Québec, Canada) was used to reconstruct each radius from the CT-scans. Computer aided design software (CAD) (CATIA V5R21: Dassault system, Vélizy-Villacoublay, France) were used for measurements. An axial cut was chosen at radial head level, where the identified safe zone appeared the largest. A second axial cut was chosen at radial tuberosity (RT) level, where the tendon insertion could be seen more clearly. The center of each cut was used as reference to superimpose one over the other, by adding two plans with CATIA software. The RT-SZ angle was located between the radial

tuberosity and the beginning of the SZ (Figure 2). This angle, calculated from a fixed landmark, provided the number of degrees required to reach the SZ, no matter the position of the forearm during the scan. The SZ angle was obtained by calculating the angle between the two notches of the radial head, including the kerf (Figure 2). For a right elbow, the angle was measured clockwise, whereas for a left elbow, the angle was measured counter-clockwise. The result was the RT-SZ angle.

Classification of a partial head fracture based on PRUJ involvement

As an example, in a right elbow CT-scan the 0° would be applied on the radial tuberosity tip. Moving clockwise, the safe zone would begin at the mean RT-SZ angle, and would end at an angle corresponding to the mean SZ angle. To decrease the odds of missing a fracture involving the PRUJ, we decided to remove the applicable standard deviation (SD) to each limit of the safe zone. This will increase the PRUJ zone to make it more inclusive.

Stencil to determine if the fracture is within the PRUJ on CT-scan

In order to effectively implement the measurement method we created a simple stencil, easily applicable in orthopaedics. As previously described the angle corresponding to the mean degree for the SZ was drawn on acetate allowing a quick visualization of the position of the radial head fracture in relation to the PRUJ zone. The validation of the stencil is described in the second part of our study (Figure 3).

PART 2 – Clinical validation

A database was constructed using ICD-9 codes to identify all patients with radial head fractures at our institution from 2007 to 2014. X-rays and CT-scans were then evaluated to identify potential patients. Inclusion criteria were: partial radial head fracture (OTA/OA type B classification), X-ray and CT-scan available with good image quality to visualize the biceps tendon⁹. Exclusion criteria included a fracture involving the entire head or neck of the radius, inability to visualize the biceps tendon on axial Ct-scan, open physis and previous elbow disease. Radial head fractures were classified according to the Mason classification. Associated elbow injuries were recorded and the fragment size of the partial radial head fracture measured in degrees. In cases of comminution, the global arc was measured.

For the CT-scan, the cuts used were the center of the thickness of the radial head on the axial plane. For the radial tuberosity, we used an axial cut of the summit of the radial tuberosity where the bicipital tendon can easily be seen.

The assessment method described above was applied to the CT using the stencil. Fractures were classified according to whether they involved the SZ only, the PRUJ zone only, or both. Classification was done by four observers to ensure inter-observer validation. One observer also repeated the measurements four weeks later to test for intra-observer reliability with the cases in random order.

Statistical analysis

Part 1 All continuous data were expressed in mean range and standard deviation. The Mann-Whitney test was used to compare mean angles between right and left. The level of significance was established at 0.05.

Part 2 Kappa statistic (k) was used to calculate the intra and inter-observer agreement with respect to fracture classification (SZ only, PRUJ only or SZ and PRUJ) with the stencil.

RESULTS

PART 1 – Cadaveric study – Development of evaluation measurement method

We applied a 360 dial on the radial head, aligning the “zero” degree with the radial tuberosity. The mean SZ angle was 122° (range: 95 to 157°, SD: 18°) for all specimen, left and right. The SZ angle for left elbows was 117° (range: 99 to 142°, SD: 17°) and 126 ° for right elbows (range: 95 to 157°, SD: 19°), with a $p=0.283$. The mean RT-SZ angle, representing the angle between the radial tuberosity and the beginning of the safe zone, was 84° (range: 50 to 127°, SD: 24°). The RT-SZ angle for left elbows was 89° (range: 50 to 127°, SD: 28°) and 79° for right elbows (range: 53 to 110°, SD: 20°), with a $p=0.725$. Results are shown in Table 1. We then used the combined mean values of the right and left specimens to achieve final measurements, as the results were similar and it was more practical in a clinical setting.

The mean RT-SZ (84°) determined the starting value while the SZ (122°) was added to the RT-SZ for the ending value. However, as our goal was to determine the safest angle possible, considering that anatomy can vary, we added the SD (24°) to the limit measures of the RT-SZ to identify the greatest number of fractures that could potentially involve the PRUJ. Therefore, the starting value of the RT-SZ was 108° (84° + 24° (SD)) as minimal SZ angle boundary. Then, we added the SZ (122°) for a total of 230°. Again, to ensure maximum safety we subtracted the SZ SD (18°), resulting in an angle of 212° as maximal SZ angle boundary. Thus, we found that the angle attesting that the radial head fracture was in the SZ only, starting from the radial tuberosity, was between 108° and 212°, clockwise for a right elbow and counter-clockwise for a left elbow.

PART 2 – Clinical validation – Development of an evaluation method

A total of 344 patients with a radial head fracture were identified. Of these, 281 had no available CT scan. Of the 63 cases with CT-scan, 1 had rheumatoid arthritis involving the elbow; this patient was excluded. No CT-scans were excluded for incapacity to see the distal biceps and tuberosity.

This group included 62 patients with a mean age of 49 ± 17 years (range, 18-91 years) and a male-to-female ratio of almost 1:1. Using the Mason classification, there were 13 type I fractures

(20%), 27 (43%) type II, 7 (13%) type III, and 15 (24%) type IV^{4,5}. The seven type III fractures were excluded.. This left a total of 55 fractures to be included in the study of which close to half the fractures (27/55) had significant comminution. Coronoid fractures were the most commonly associated injury, involving 27 cases (47%). There was an associated elbow dislocation in 25% (n=13) of the fractures. The average measured fracture angle of the 55 radial head partial articular fractures was 141 degrees (range: 40° to 250°, SD: 49°). The fractures were classified as follows: 4 (7%) in the SZ only, 3 (6%) in the PRUJ zone only, and 48 (87%) involving both SZ and PRUJ. More than half the patients received non-operative treatment (Table 2). Characteristics of the 4 patients with SZ only fractures are shown in table 3.

The 55 selected CT-scans were then evaluated with the stencil by four observers. They classified the radial head fracture according to their involvement in the SZ only, the PRUJ zone only, or both the SZ and the PRUJ zone (Figure 3). The majority of cases involved both zones 87% (48/55).

According to the classification based on the involvement of radial head fractures in the SZ, the PRUJ or both the SZ and PRUJ zone (Table 4), the average kappa for inter-observer reliability was 0.579 (range, 0.496-0.663). The kappa for intra-observer reliability was 0.902 (range, 0.691-1.000).

Table 1. Safe Zone and Radial Tuberosity-Safe Zone angles

	Mean (°)	SD (°)	Maximum (°)	Minimum (°)
Right and left elbow safe zone angle (SZ)	122	18	157	95
Right elbow safe zone angle (SZ)	126	19	157	95
Left elbow safe zone angle (SZ)	117	17	142	99
Right and left elbow radial tuberosity-Safe zone angle (RT-SZ)	84	24	127	50
Right elbow radial tuberosity-Safe zone angle (RT-SZ)	79	20	110	53
Left elbow radial tuberosity-Safe zone angle (RT-SZ)	89	28	127	50

Table 2. Patient characteristics	
	All patients (N = 55)
Age, mean (SD), years	49 (17)
Sex, n (%)	
Men	30 (55)
Women	25 (45)
Side of injury, n (%)	
Right	21 (38)
Left	34 (62)
Mason classification, n (%)	
Type I	13 (20)
Type II	27 (43)
Type III*	7 (13)
Type IV	15 (24)
Associated injuries, n (%)	
Olecranon fracture	10 (18)
Coronoid fracture	27 (49)
Distal humeral fracture	12 (22)
Medial epicondyle fracture	3 (5)
Lateral epicondyle fracture	9 (16)
Dislocation	14 (25)
Supinator crest fracture	8 (15)
Comminutive fracture, n (%)	
Yes	27 (49)
No	28 (51)
Angle of fracture, mean (SD), degrees	141 (49)
Zone classification, n (%)	
SZ only**	4 (7)
PRUJ only	3 (6)
SZ & PRUJ	48 (87)
Treatment, n (%)	
Operative	24 (44)
Nonoperative	31 (56)
Type of operative treatment***, n (%)	
Plate and screws	9 (16)
Screws	10 (18)
Prothesis	9 (16)
External fixation	2 (4)

Table 3. Patient characteristics with Safe Zone only for classification

Age, mean (SD), years
Sex, n (%)
Men
Women
Side of injury, n (%)
Right
Left
Mason classification, n (%)
Type I
Associated injuries, n
Olecranon fracture
Coronoid fracture
Distal humeral fracture
Medial epicondyle fracture
Lateral epicondyle fracture
Luxation
Supinator crest fracture
Comminutive fracture, n (%)
Yes
No
Angle of fracture, mean (SD), degrees

Table 4. Incidence of the localisation of the fracture (number) using different observers

Classification	SZ only	PRUJ only	SZ & PRUJ
Observer 1	4	1	50
Observer 2	4	3	48
Observer 3	4	6	40
Observer 4	5	3	47

DISCUSSION

Surgical treatment for displaced partial radial head fractures is usually indicated for fractures that restrict elbow range of motion; however, this can sometimes be difficult to assess in the acute setting due to pain and swelling. To date, there are no studies that describe the effect of PRUJ involvement on pro-supination. On the other hand, it is intuitive to think that a fracture is unlikely to affect pro-supination if it is located in the radial head safe-zone. For example, in practice, the orthopaedic surgeon who operates a fracture requiring a plate ensures that it remains within the SZ to avoid interference with the PRUJ. The current study has successfully developed the first preoperative tool to determine the location of a fracture with regard to the safe zone. In cases with an element of uncertainty, the developed method can help in treatment decision. We believe this has important ramifications on treatment with the potential to avoid surgery in patients where initial lack of motion is mostly due to pain.

Knowing the SZ and RT-SZ angles, it is now possible to predict whether a radial head fracture involves the PRUJ or not. Our mean SZ (degrees) is smaller than that of Ries¹⁰ (mean, 133°; range, 119°-147°), who defined their SZ with a similar method but used pins instead of lines made with a bone saw. On the other hand, our SZ is larger than that of Smith and Hotchkiss (mean, 110°; range, 105°-120°) and Caputo et al (mean, 113°; range, 106°-120°)^{6,7,11}.

The radial tuberosity is a useful landmark to help predict if a partial radial head fracture will affect the PRUJ. According to Mazzocca et al., in most patients, the radial tuberosity is a single ridge (88% of the 178 cadaveric elbows used in the study)¹². The stencil, created from the RT-SZ angle between 108-212° from the radial tuberosity, is a quick and easy tool for detection of radial head fractures involving the PRUJ and does not require image processing software. According to the benchmark scale of Landis and Koch, the intra-observer agreement was almost perfect¹³. The inter-observer agreement was much lower, although still fair. There were two significant factors affecting this outcome. First, several measurements were made on reconstructed axial CT-scans in order to be in the appropriate plane. These reconstructions had lower quality images and subsequently decreased measurement precision. Our radiology protocol has since been modified to eliminate these imperfections. Second, several fracture lines exited very close to the safe zone. Combining these two issues can help explain the lower inter-observer reliability.

The 55 radial head fractures analyzed with the stencil were classified according to their position in relation to the SZ. Four were in the SZ only, 3 in the PRUJ only and 48 in both the SZ and PRUJ. In our cohort of 55 CT-scans, only 7% of the radial head fractures were in the SZ only. We agree with the existing literature that surgical treatment is only necessary for displaced radial head fractures that block forearm rotation. Although the SZ-only group was quite small, we are not advocating that the other 93% of fractures in our study merit surgical treatment. Rather, we think that identifying these fractures, although rare, would allow surgeons to confidently recommend non-operative management, without using invasive procedures such as lidocaine injection. However, a larger sample is needed to confirm this conclusion. The large amount of fractures involving both SZ and PRUJ is consistent with reports from several authors that have shown that the majority of radial head fractures involve the anterolateral quadrant¹⁴⁻¹⁸. This quadrant corresponds to 132-222° from the radial tuberosity. According to a radiological study from Van Leeuwen et al., the average angle for a radial head fracture, for a 24 elbows sample, is 170°¹⁶. When compared to 141° in the current study, we can presume that the majority of fractures involve more than the anterolateral quadrant, and more than the safe zone angle.

There are several limitations to this study. First, in the cadaveric study 9 pairs of elbows were used, for a total of 18 elbows. It would have been preferable to have non-paired elbows to benefit from a greater diversity. Second, fresh frozen cadaveric elbows do not reflect the anatomical structure properties of a functional elbow, except for the muscles that have been shown to be unaffected by freezing, but still sensitive to even a few cycles of mechanical loading¹⁹. Third, radial tuberosity shape and position of the tuberosity relative to the radial head is variable. The radial tuberosity appears as a single ridge in 60% to 88% according to, respectively, Gupta et al. and Mazzocca et al^{12,20}. In our cohort, all 55 elbows had an easily identifiable radial tuberosity. Fourth, the technical protocol and the stencil are tools that imperatively require an axial CT-scan. We recognize that obtaining CT scans for every radial head fracture would be cumbersome and represent a large financial burden on the healthcare system. We believe that it should be reserved for cases lacking clear operative indications in patients with limited motion. We feel that this patient population may benefit the most from this tool. Another potential limitation is that using a tool with a generic, standardized range may lead to error in assessing the true PRUJ involvement.

Finally, some SZ-only fractures, even if they do not impact pro-supination, are sometimes fixed for stability purposes. These aspects were not evaluated in this study.

Future studies should evaluate this method in conjunction with an evaluation of chronic disability after radial head fracture. It could help to identify the position of plates or radial head malunion in the evaluation of pro-supination block. This measurement method could also be included in a smartphone application.

The vast majority of partial radial head fractures involve the PRUJ. Displaced radial head fractures in the axial plane, visible on CT-Scan, are at risk of forearm rotation blockage. The tool developed in this study is a reliable method to preoperatively assess whether a radial head fracture involves the PRUJ or not. A stencil can easily be applied on the axial view of the scan to classify the fracture as PRUJ positive or negative. Further studies will focus on the clinical applicability of this tool and its impact on surgical decision making.

REFERENCES

- 1- Pappas N, Bernstein J. Fractures in brief: radial head fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(3):914-6. doi: 10.1007/s11999-009-1183-1
- 2- Kaas L, van Riet RP, Vroemen JP, Eygendaal D. The epidemiology of radial head fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 2010 Jun;19(4):520-3. doi: 10.1016/j.jse.2009.10.015
- 3- Duckworth AD, McQueen MM, Ring D. Fractures of the radial head. *Bone Joint J* 2013 Feb;95-B(2):151-9. doi: 10.1302/0301-620X.95B2.29877
- 4- Iannuzzi NP, Leopold SS. In brief: the Mason classification of radial head fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2012 Jun; 470(6): 1799–1802. doi: 10.1007/s11999-012-2319-2
5. Guitton TG, Ring D. Interobserver reliability of radial head fracture classification: two-dimensional compared with three-dimensional CT. *J Bone Joint Surg Am* 2011 Nov 2;93(21):2015-21. doi: 10.2106/JBJS.J.00711
- 6- Smith GR, Hotchkiss RN. Radial head and neck fractures: anatomic guidelines for proper placement of internal fixation. *J Shoulder Elbow Surg.* 1996 Mar-Apr;5(2 Pt 1):113-7
- 7- Caputo AE, Mazzocca AD, Santoro VM. The nonarticulating portion of the radial head: anatomic and clinical correlations for internal fixation. *J Hand Surg Am* 1998;23(6):1082-90.
- 8- Herbertsson P, Josefsson PO, Hasserijs R, Besjakov J, Nyqvist F, Karlsson MK. Fractures of the radial head and neck treated with radial head excision. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86-A(9):1925-30
- 9- Garbuz DS, Masri BA, Esdaile J, et al. Classification systems in orthopaedics. *J Am Acad Orthop Surg* 2002; 10(4):290–297.

- 10- Ries C, Muller M, Wegmann K, Pfau DB, Muller LP, Burkhart KJ. Is an extension of the safe zone possible without jeopardizing the proximal radioulnar joint when performing a radial head plate osteosynthesis? *J Shoulder Elbow Surg* 2015 Oct;24(10):1627-34. doi: 10.1016/j.jse.2015.03.010
- 11- Hotchkiss RN. Displaced fractures of the radial head: internal fixation or excision? *J Am Acad Orthop Surg* 1997;5:1-10.
- 12- Mazzocca AD, Cohen M, Berkson E, Nicholson G, Carofino BC, Arciero R, et al. The anatomy of the bicipital tuberosity and distal biceps tendon. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007 Jan-Feb;16(1):122-7.
- 13- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33(1):159-74.
- 14- Capo JT, Shamian B, Francisco R, Tan V, Preston JS, Uko L, et al. Fracture pattern characteristics and associated injuries of high-energy, large fragment, partial articular radial head fractures: a preliminary imaging analysis. *J Orthop Traumatol.* 2015 Jun;16(2):125-31. doi: 10.1007/s10195-014-0331-x
- 15- Gebauer M, Barvencik F, Mumme M, Beil FT, Vettorazzi E, Rueger JM, et al. Microarchitecture of the radial head and its changes in aging. *Calcif Tissue Int.* 2010 Jan;86(1):14-22. doi: 10.1007/s00223-009-9304-0
- 16- van Leeuwen DH, Guitton TG, Lambers K, Ring D. Quantitative measurement of radial head fracture location. *Journal of shoulder and elbow surgery J Shoulder Elbow Surg* 2012;21(8):1013-7. doi: 10.1016/j.jse.2011.08.056
- 17- Mellema JJ, Eygendaal D, van Dijk CN, Ring D, Doornberg JN. Fracture mapping of displaced partial articular fractures of the radial head. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016 Sep;25(9):1509-16. doi: 10.1016/j.jse.2016.01.030

18-Smits AJ, Giannakopoulos GF, Zuidema WP. Long-term results and treatment modalities of conservatively treated Broberg-Morrey type 1 radial head fractures. *Injury* 2014;45(10):1564-8. doi: 10.1016/j.injury.2014.05.034

19- Haverstock JP, Katchky RN, Lalone EA, Faber KJ, King GJ, Athwal GS. Regional variations in radial head bone volume and density: implications for fracture patterns and fixation. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012 Dec;21(12):1669-73. doi: 10.1016/j.jse.2012.07.002

20- Gupta C, Kurian P, Seva KN, Kalthur SG, D'Souza AS. A morphological and morphometric study of jugular foramen in dry skulls with its clinical implications. *J Craniovertebr Junction Spine.* 2014 Jul-Sep; 5(3): 118–121. doi: 10.4103/0974-8237.142305

4.2 Résultats pour l'objectif 2

Comparaison entre les fractures avec et sans implication de l'articulation radio-ulnaire proximale

	Avec implication de l'articulation radio-ulnaire proximale	Sans implication de l'articulation radio-ulnaire proximale
Nombre (%)	41 (95)	2 (5)
Angle de la fracture (°)	139.9	67.5
Déplacement axial de la fracture (mm)	2.5	2.4
Perte de flexion (°)	2.7	3.0
Perte d'extension (°)	8.7	0
Perte totale d'amplitude de mouvement (°)	11.4	3.0
Variation du PUDA (°)	1.8	0.8
Variation du RCR (%)	7.1	7.3
Quick DASH	18.9	11.0
PREE	28.1	1.0
MEPS	87.0	100
Échelle de douleur	3.6	0

Tableau 2 : Comparaison entre les fractures partielles de la tête radiale impliquant ou non l'articulation radio-ulnaire proximale.

Il est important de noter que seulement deux fractures partielles de la tête radiale sur un total de 43 impliquaient seulement la zone sécuritaire. Notre méthode d'évaluation a identifié une très petite proportion (4,7%) de fractures de la tête radiale impliquant seulement la zone sécuritaire. Cette taille d'échantillon limite la comparaison statistique des différents caractéristiques ci-haut.

4.3 Article 2 : Outcome of partial radial head fractures : A retrospective cohort study

Title: Outcome of partial radial head fractures: A retrospective cohort study

Keywords: Radial head fracture; 3D CT-scan; PRUJ; ROM

Outcome of partial radial head fractures: A retrospective cohort study

Running title: Outcome of radial head fractures

Authors:

Anne Couture^a, B.Sc, MSc(c)

Jonah Hébert-Davies^{a,c}, MD, FRCSC

Julien Chapleau^a, MD, MSc

G. Yves Laflamme^{a,c}, MD, FRCSC

Emilie Sandman^{a,b}, MD, MSc, FRCSC

Dominique M. Rouleau^{a,c}, MD, MSc, FRCSC

Affiliations:

^aUniversité de Montréal, Montréal, Québec, Canada

^bLaboratoire d'imagerie et d'orthopédie, Hôpital du Sacré-Cœur, Research Center, Montreal, Quebec, Canada

^cHôpital du Sacré-Cœur, Montréal, Québec, Canada (**where the work was performed**)

Ethical Review Committee Statement: Research Ethics committee approval granted by the HSCM #2015-1168

Corresponding author:
Dominique M Rouleau

Conflicts of Interest and Source of Funding: No source of outside funding was used for this study.

Anne Couture received a COPSE scholarship from the University of Montreal, and a JA De Seve Scholarship from the Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal.

Dominique M Rouleau is a consultant for Bioventus and Wright Medical. The institution (HSCM) of one or more of the authors (JHD, GYL, DMR) has received funding from: Arthrex, Conmed, Depuy, Linvatec, Smith & Nephew, Stryker, Synthes, Tornier, Wright, Zimmer.

For all remaining authors, none declared.

Title: Outcome of partial radial head fractures: A retrospective cohort study

Running title: Outcome of radial head fractures

ABSTRACT

Purpose: Partial radial head fractures are often recommended for surgical management if there is more than 2mm of displacement and there is a block to range of motion(ROM). As of yet, the superiority of operative management has not been demonstrated.

Methods: A retrospective comparative cohort study took place in a level one trauma center. Forty-three adult volunteers who had a partial radial head fracture were included. Outcomes included radiographic ROM measurement, demographic data and quality of life questionnaires.

Results: The mean follow up was 3.5 years (1-7 years). There was no difference in terms of function and outcome between patients treated non-operatively or surgically. Thirty patients

(70%) had associated injuries. Those patients had decreased elbow extension (-11.2° , $p=0.004$) and total ROM (-13.9° , $p=0.002$) as opposed to the group without associated injuries. Both the non operative and surgical group had comparable outcome scores. The presence of heterotopic ossification was associated with decreased elbow flexion (-9.0° , $p=0.001$) and total ROM (-9.6° , $p=0.016$). Workman's compensation was the only independent risk factor associated with worse scores ($p = 0.03$).

Conclusion: There was no difference in terms of range of motion, function and pain following a partial radial head fracture between patients treated either non-operatively or surgically. Patients with associated injuries had significantly less elbow extension and total ROM. Workman's compensation and the presence of heterotopic ossification were correlated with a worse prognosis in our cohort of patients. Given these results, the authors reiterate the importance of being alert to the associated injuries.

Level of evidence: III Therapeutic study

Keywords: Radial head fracture; 3D CT-scan; PRUJ; ROM

INTRODUCTION

Radial head fractures are relatively common and represent approximately one-third of all elbow fractures[17, 76, 77]. Treatment algorithm may be guided by the modified Mason classification, and ranges from non-operative treatment to radial head excision with or without arthroplasty. Kodde et al. reported a 70% incidence of Mason type 1 fractures, implying most patients are treated without surgery. [16]. It is also important to consider the position of the radial head fracture relative to the ulna. A partial radial head fracture completely contained within the safe zone (SZ) should not impact prosupination, as opposed to a fracture involving the proximal radio ulnar joint (PRUJ). The vast majority of partial radial head fractures involve the PRUJ[15].

Radial head fractures with associated bony injuries may require treatment and are more common than previously reported. Indeed, associated injuries occur in up to 92 % of cases[78]. The most frequent fractures involve the proximal ulna (coronoid and olecranon), carpus and the distal radius [16, 52, 79].

Outcomes are generally inversely proportional to the energy of the mechanism of injury, with simple fractures doing better than more comminuted ones. [17]. The prognosis of these fractures is also influenced by other injuries and patient-related factors (age, body index mass, gender, tobacco habit, etc.).

The purpose of this study was to define whether position and size of the radial head fracture, type of treatment, associated injuries and patient related factors influence both ROM and clinical outcomes. The primary goal of this study was to evaluate the impact of treatment on these

fractures, with the hypothesis that nonoperative treatment would yield better outcomes in terms of range of motion (ROM), function and pain.

MATERIALS AND METHOD

Patients from a level-1 trauma center were selected through the surgical and radiological databases between over a 7-year period. All elbow X-rays were revised to find radial head fractures. All patients 18 years and above with a radial head fracture were eligible. Exclusion criteria were: fractures involving the entire head or neck of the radius, no available CT-scan, inability to visualize the biceps tendon on axial CT-scan, open physis and pre-existing pathology of the elbow (osteoarthritis, heterotopic ossification or prior fracture). A power study, based on a difference of 10° loss of total ROM between the 2 groups, a standard deviation of 8°[73], an alpha of 0.05 and a power of 80 %, revealed that 12 patients per group were needed[80]. The local ethics committee approved this retrospective cohort study design.

Selected patients were contacted and invited to participate in this study. The following data was collected: age, smoking status, hand dominance, height, weight, frequency and type of physical exercise prior to the fracture.

Volunteers were invited to complete validated function and Quality of Life (QoL) questionnaires: Quick-DASH (Disability of the Arm, Shoulder and Hand)[63], PREE (Patient-Related Elbow Evaluation)[81], MEPS (Mayo Elbow Performance Score)[66] and Pain scale[69]. In addition, patients had new radiographs of both elbows including standard AP and lateral views, lateral views of the elbow in maximal flexion and maximal extension with the forearm in neutral

position[70]. Elbow range of motion measurement was previously demonstrated to be more reliable using a strict radiological method[70]. The Horizon medical imaging 12.0 (McKesson, Richmond, Canada) software was used for radiographic measurements. A radiologist reviewed the standard AP and lateral images for diagnostic purposes. The 90° lateral X-ray was used to measure the Proximal Ulna Dorsal Angulation (PUDA) (Figure 2) [72], the radiocapitellar ratio (RCR) (Figure 3) [75] and the displacement of the radial head fracture fragment (Figure 4). The maximal flexion and extension lateral X-rays were used to measure de range of motion (Figure 5 & 6)[70]. The same radiological series were done on the contralateral side. The uninjured elbow was selected to represent the pre-operative reference, since it has been shown that the PUDA and the ROM are similar on both sides[70, 72]. The CT-scan was used to determine the radial head fracture angle in the axial view and the position of the fracture according to the PRUJ.



Figure 2. Proximal ulnar dorsal angulation (PUDA) = 14°

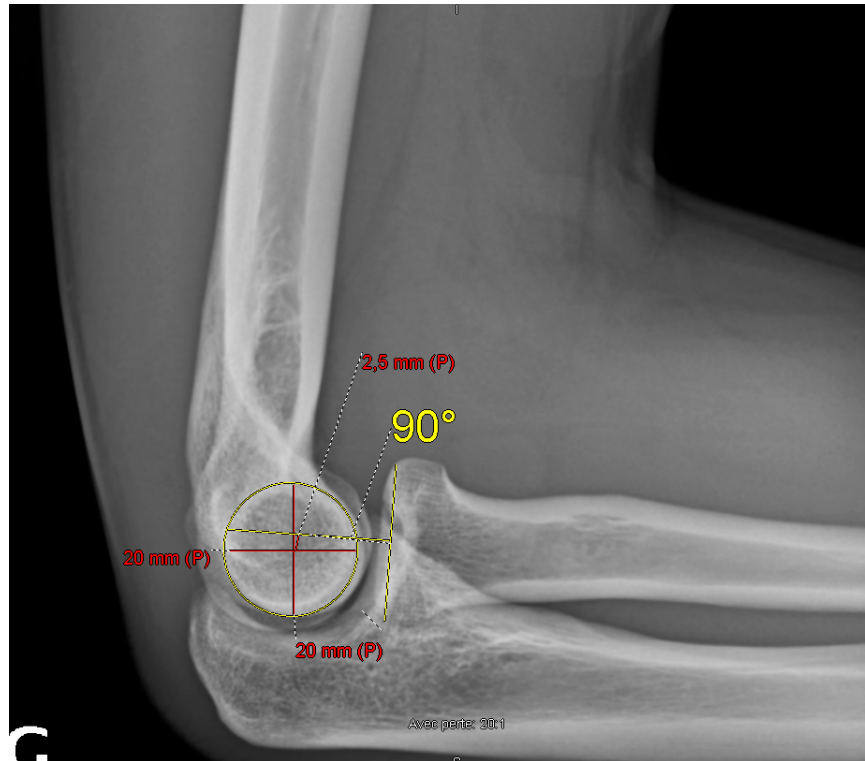


Figure 3. Radiocapitellar ration (RCR) = $(2.5\text{mm}/20\text{mm}) \times 100 = 12.5\%$



Figure 4. Axial displacement of the radial head fracture = 4.0mm

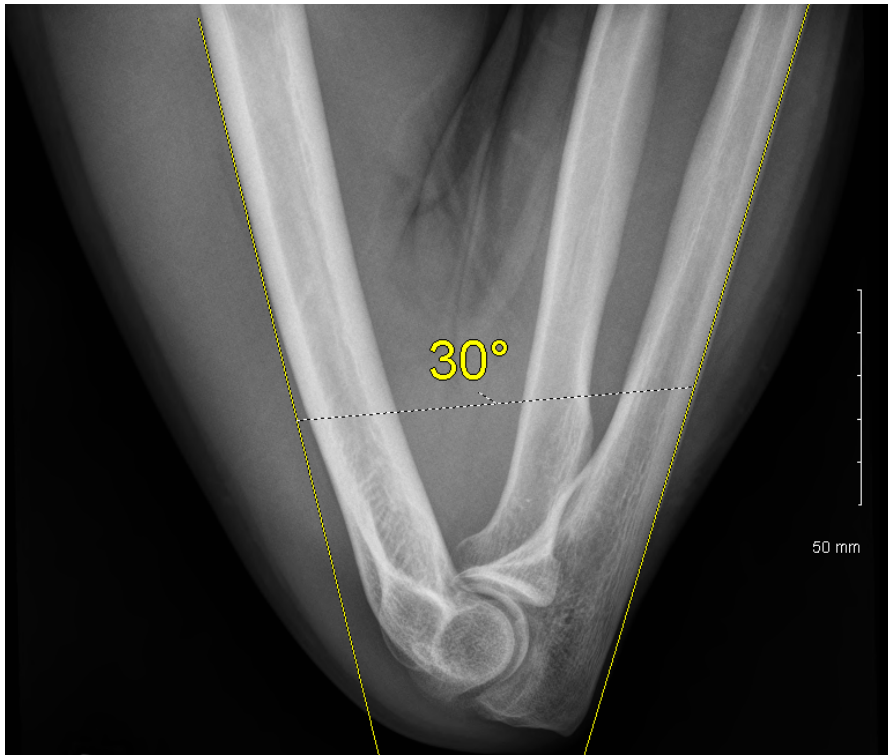


Figure 5. Maximal flexion = $180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$

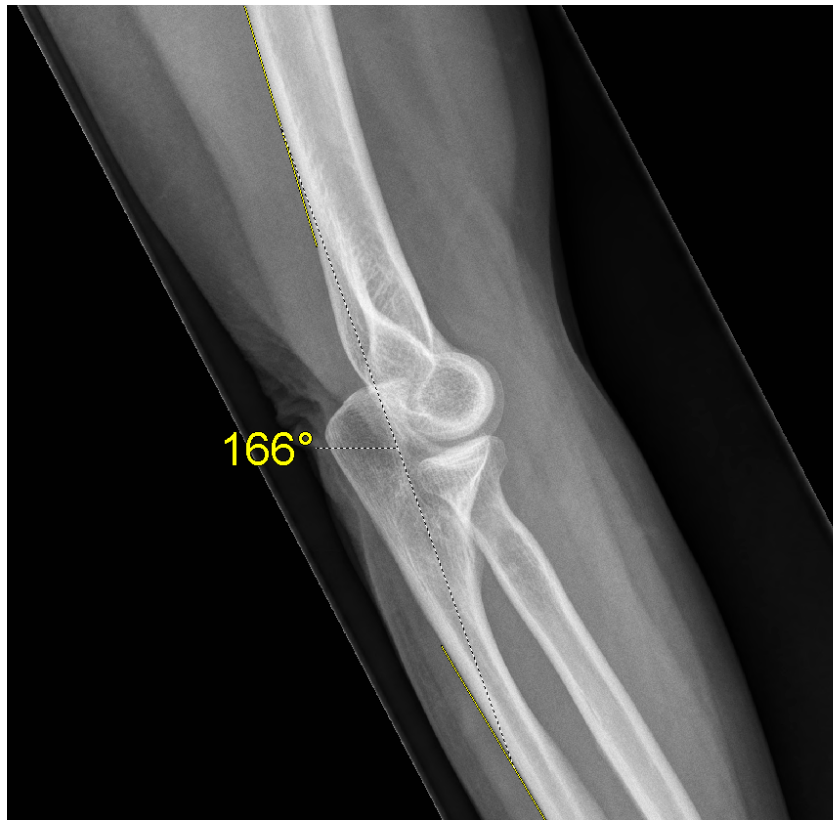


Figure 6. Maximal extension = $166^\circ - 180^\circ = -14^\circ$

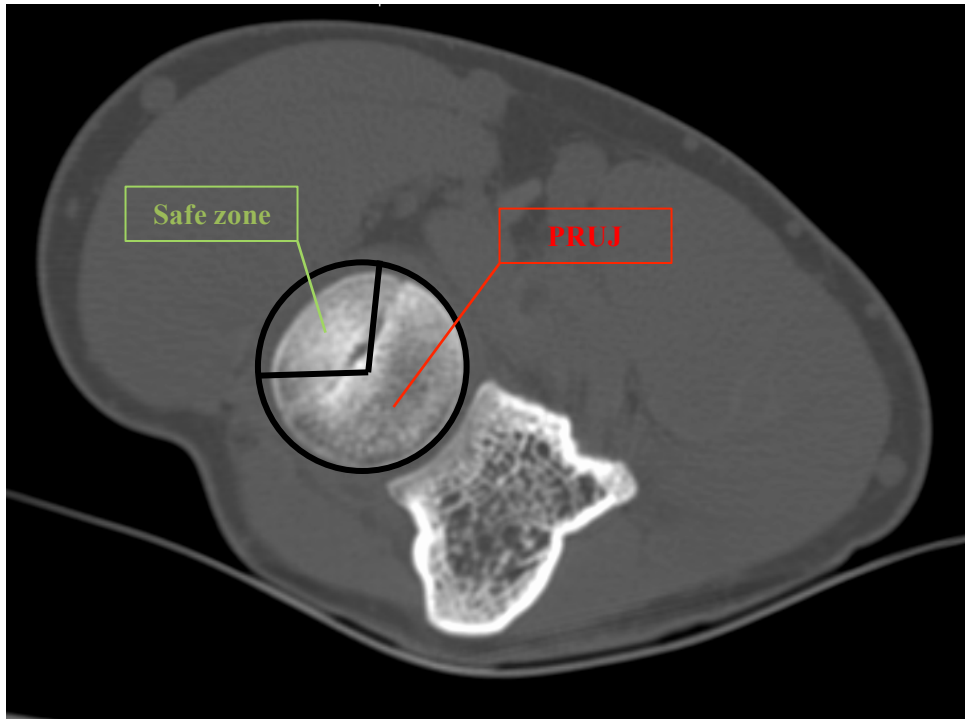


Figure 7. Fracture located in the SZ and PRUJ

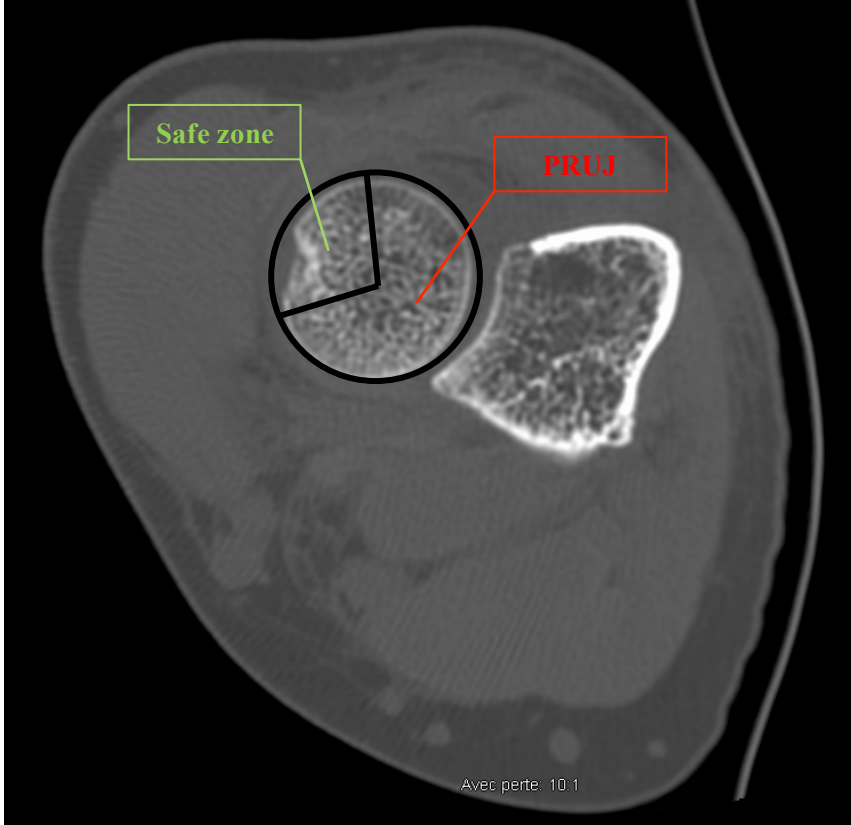


Figure 8. Fracture located in the SZ only

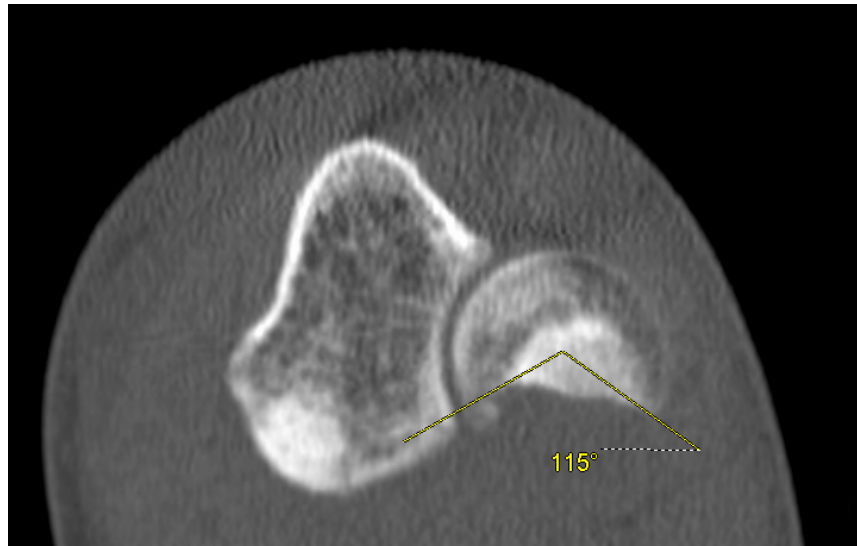


Figure 9. Radial head fracture angle = 115° (SZ and PRUJ)

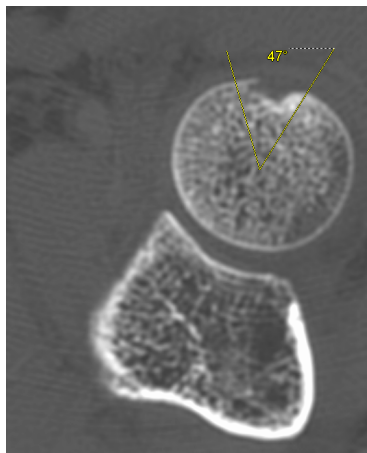


Figure 10. Radial head fracture angle = 47° (SZ only)

Patients were separated into two groups based on treatment type (operative and nonoperative management). AS this was a retrospective study, treatment was decided by the treating surgeon at time of presentation. Patients who underwent surgical treatment for associated injuries were still considered nonoperative if there had been no surgical treatment of the radial head fracture. Statistics were performed with StatPlus software (version 6, AnalystSoft, CA). The demographic characteristics of both groups were first compared using unpaired Student *t*-test and Fisher's exact test. The Student *t*-test compared groups according to ROM outcomes and QoL scores.

Patient characteristics and associated injuries were tested for correlation with four QoL questionnaires. All patients were included into a Pearson correlation analysis. Student's t-test analysis compared the impact of associated injuries on outcome parameters.

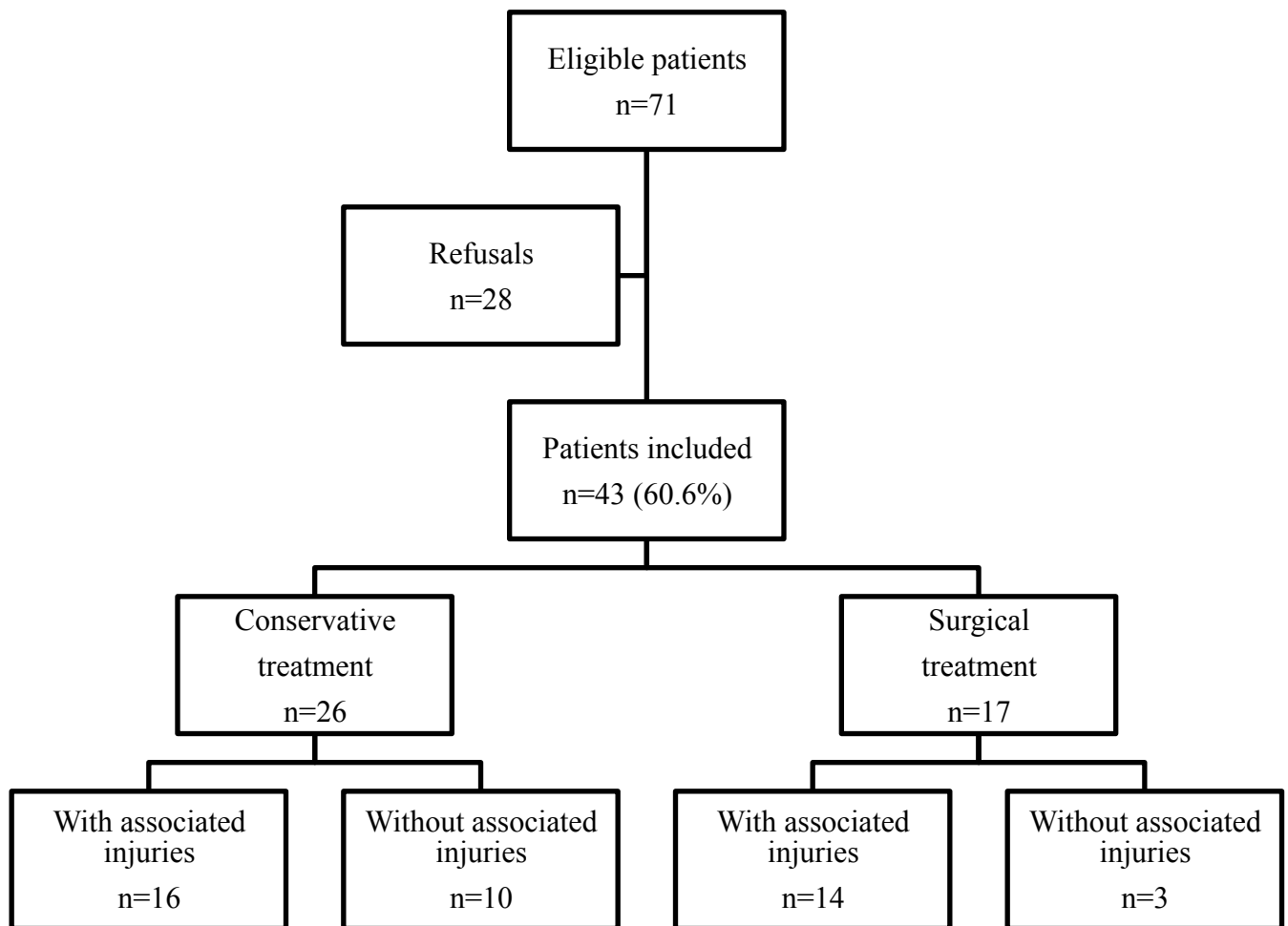


Figure 1. Retrospective cohort study flowchart

RESULTS

Forty-three patients were included in the study (Figure 1). There were 27 males and 16 females. The mean age was 49.6 years old. The mean delay between injury and the study was 3.5 years (1-7 years). All patients included in the study presented with a partial radial head fracture (OTA/OA type B classification), X-ray and CT scan available with good image quality to visualize the biceps tendon[24]. The dominant side was injured in 42% of cases. The vast majority of radial head fractures (88%, n=38) involved both the SZ and the PRUJ (Figure 7 & 8). Seventy percent (n=30) of patients had at least one associated injury. Twenty-six patients underwent conservative treatment and seventeen had surgery. Neurological lesions include traumatic brain injury, median, ulnar or radial nerve injury and were present in four patients. Heterotopic ossification was found in 16% of elbows (n=7) (Table 1).

The comparison between the normal and injured side revealed that maximal extension (mean +11.5° vs +20.1°, $p < 0.001$) and total ROM (mean 133.4° vs 122.1°, $p < 0.001$) were significantly decreased.

Comparison of demographic characteristics (Table 1) showed patients treated with surgery demonstrated a statistically higher number of ulna fractures (9 vs 12, $p = 0.031$). The surgical group demonstrated a greater fracture angle ($p = 0.010$) (Figure 9 & 10). The Quick DASH, PREE, MEPS and Pain scale were comparable between both groups.

Workmans compensation was the only patient risk factor associated with decreased Quick DASH score ($r = -0.3$, $p = 0.037$). Loss of maximal extension was also correlated with the Quick DASH

($r = -0.4, p = 0.011$) and Pain scale scores ($r = -0.3, p = 0.030$). Loss of total range of motion was also correlated with Quick DASH ($r = -0.5, p = 0.003$), PREE ($r = -0.4, p = 0.012$) and Pain scale ($r = -0.4, p = 0.020$) results. Regarding associated injuries, elbow dislocation negatively influenced the Quick DASH ($r = -0.3, p = 0.040$) score, meanwhile ulna fractures correlated with worse MEPS ($r = -0.3, p = 0.035$).

The presence of associated injury was associated with the loss of extension ($p = 0.004$) and the loss of total ROM ($p = 0.002$). However, there was no difference of functional outcome in terms of QoL questionnaires (Table 3).

Radiological outcomes

The comparison between SZ only fractures ($n=2$) and PRUJ only fractures ($n=3$) revealed no difference in regard to function and outcome (Table 4). The loss of flexion ($p=0.01$) and total ROM ($p=0.016$) was significantly higher in patients with heterotopic ossification (Table 5).

Table 1				
Demographics.	Total cohort (n=43)	Nonoperative treatment group (n=26)	Surgical treatment group (n=17)	P value
Age (range)	49.6 (20-87)	48.7 (20-87)	50.9 (25-73)	0.672 ^a
BMI (range)	27.8 (18-38)	27.0 (18-35)	29.0 (22-38)	0.218 ^a
Gender				
Male (%)	27 (63)	18 (69)	9 (53)	0.343 ^b
Female (%)	16 (37)	8 (31)	8 (47)	
Smoking (%)	7 (16)	5 (19)	2 (12)	0.685 ^b
Physical activity				
Yes (%)	32 (74)	20 (77)	12 (71)	0.728 ^b
1-2 times/week	14			
3-4 times/week	13			
5-7 times/week	5			
Work accident (%)				
Work accident (%)	8 (19)	6 (23)	2 (12)	0.446 ^b
Traffic accident (%)	4 (9)	3 (12)	1 (6)	1.000 ^b
Monotrauma (%)	26 (60)	17 (65)	9 (53)	0.528 ^b
Dominance				
Right handed (%)	41 (95)	26 (100)	15 (88)	0.151 ^b
Fracture of the dominant elbow (%)	18 (42)	10 (38)	8 (47)	0.753 ^b
Localisation of the fracture				
SZ only	2 (5)	2 (8)	0	0.510 ^b
PRUJ only	3 (7)	3 (12)	0	0.266 ^b
SZ and PRUJ	38 (88)	21 (80)	17 (100)	0.067 ^b
Patients with associated injuries (%)				
Patients with associated injuries (%)	30 (70)	16 (62)	14 (82)	0.187 ^b
Number of associated injuries	45	22	23	
Dislocation (%)	10 (23)	4 (15)	6 (35)	0.158 ^b
Humerus fracture (%)	14 (33)	9 (35)	5 (29)	0.753 ^b
Distal humerus	8 (19)	6 (23)	2 (12)	-
Medial epicondyle	1 (2)	1 (4)	0	-
Lateral epicondyle	5 (12)	2 (8)	3 (18)	-
Ulna fracture (%)	21 (49)	9 (35)	12 (71)	0.031^b
Coronoid	15 (35)	7 (27)	8 (47)	-
Olecranon	8 (19)	3 (12)	5 (29)	-

Proximal ulna	7 (16)	3 (12)	4 (24)	-
ORIF of the humerus (%)	4 (9)	3 (12)	1 (6)	1.000 ^b
ORIF of the ulna (%)	12 (28)	4 (12)	8 (47)	0.037^b
Type of treatment				
Resection of the fragment (%)	1 (2)	-	1 (6)	-
Screw(s) (%)	6 (14)	-	6 (35)	-
Plate and screws (%)	1 (2)	-	1 (6)	-
Prothesis (%)	9 (21)	-	9 (53)	-
Extraction of material (%)	2 (5)	-	2 (12)	0.151 ^b
Heterotopic ossification (%)	7 (16)	2 (8)	5 (29)	1.000 ^b
Neurologic lesions (%)	4 (9)	2 (8)	2 (12)	0.528 ^b

^a Student *t*-test.

^b Fisher's exact test.

BMI: body mass index

ORIF: open reduction and internal fixation

PRUJ: proximal radio ulnar joint

SZ: safe zone

Table 2			
Results.	Conservative treatment group (n=26)	Surgical treatment group (n=17)	<i>p</i> value (Student <i>t</i> -test)
Fracture angle (°)	119.0	163.3	0.010
Step of the fracture (mm)	1.8	3.4	0.071
Loss of flexion (°)	1.7	4.1	0.229
Loss of extension (°)	7.4	10.6	0.301
Loss of total ROM (°)	9.1	14.7	0.136
Variation of PUDA (°)	1.3	2.0	0.185
Variation of RCR (%)	6.0	9.0	0.101
Quick DASH	18.8	18.1	0.809
PREE	25.3	29.2	0.705
MEPS	88.5	86.2	0.642
Pain scale	3.3	3.6	0.723

The flexion, extension, total ROM, PUDA and RCR factors are the difference between the uninjured side and the fracture side.

Quick DASH: Quick Disability of the arm, shoulder and hand.

PREE: Patient-rated elbow evaluation.

MEPS: Mayo elbow performance score.

Table 3			
Impact of associated injuries.	No associated injuries (n=13)	With associated injuries (n=30)	<i>p</i> value (Student <i>t</i> -test)
Angle of fracture (°)	137.7	136.0	0.465
Step of the fracture (mm)	2.6	2.4	0.381
Loss of flexion (°)	2.3	2.8	0.414
Loss of extension (°)	2.9	11.2	0.004
Loss of total ROM (°)	5.2	13.9	0.002
Variation of PUDA (°)	0.7	1.9	0.239
Variation of RCR (%)	6.4	7.5	0.220
Quick DASH	21.0	17.4	0.105
PREE	34.0	23.7	0.171
MEPS	83.1	89.5	0.108
Pain scale	4.2	3.0	0.104

The flexion, extension, total ROM, PUDA and RCR factors are the difference between the uninjured side and the fractures side.

Quick DASH: Quick Disability of the arm, shoulder and hand.

PREE: Patient-rated elbow evaluation.

MEPS: Mayo elbow performance score.

Table 4			
Impact of the localisation of the fracture.	SZ only (n=2)	PRUJ only (n=3)	<i>p</i> value (Student <i>t</i> -test)
Angle of fracture (°)	67.5	95.3	0.162
Step of the fracture (mm)	2.4	0.7	0.086
Loss of flexion (°)	3.0	3.7	0.442
Loss of extension (°)	0	9.3	0.186
Loss of total ROM (°)	3.0	13.0	0.208
Variation of PUDA (°)	0.8	0.7	0.435
Variation of RCR (%)	7.3	5.4	0.299
Quick DASH	11.0	16.3	0.207
PREE	1.0	30.3	0.234
MEPS	100.0	85	0.136
Pain scale	0	3	0.212

The flexion, extension, total ROM, PUDA and RCR factors are the difference between the uninjured side and the fractures side.

Quick DASH: Quick Disability of the arm, shoulder and hand.

PREE: Patient-rated elbow evaluation.

PRUJ: Proximal radio ulnar joint.

SZ: Safe zone.

Table 5			
Impact of heterotopic ossification.	With HO (n=7)	Without HO (n=36)	<i>p</i> value (Student <i>t</i> -test)
Angle of fracture (°)	130.1	137.8	0.374
Step of the fracture (mm)	1.1	2.7	0.076
Loss of flexion (°)	9.0	1.4	0.001
Loss of extension (°)	11.0	8.2	0.247
Loss of total ROM (°)	20.0	9.6	0.016
Variation of PUDA (°)	2.0	1.4	0.303
Variation of RCR (%)	8.0	7.1	0.363
Quick DASH	17.4	18.7	0.358
PREE	35.6	25.1	0.220
MEPS	90.0	87.1	0.327
Pain scale	3.0	3.5	0.346

The flexion, extension, total ROM, PUDA and RCR factors are the difference between the uninjured side and the fractures side.

Quick DASH: Quick Disability of the arm, shoulder and hand.

PREE: Patient-rated elbow evaluation.

PRUJ: Proximal radio ulnar joint.

HO: Heterotopic ossification

DISCUSSION

The choice of treatment for partial radial head fractures is guided in part by the Mason classification. However, associated injuries and the presence of decreased ROM must also be taken into account. The purpose of this study was to evaluate the impact of a surgical and conservative treatment on elbow ROM and function at least one year after a radial head fracture. It was thought that conservative treatment would yield better outcomes. Nonoperative treatment was traditionally used for simple and undisplaced radial head fractures, while surgical treatment was reserved for complex and displaced fractures [16, 47, 77, 82]. Struijs et al. did a systematic review of 24 studies between 1966 and 2004 and including 825 patients with radial head fractures[83]. They concluded that there was insufficient evidence to be able to draw definitive conclusions on optimal treatment for type II-IV radial head fractures[83]. Our results seem to reinforce this conclusion as we could not demonstrate a statistical difference in outcome scores based on treatment modality. However, due to the retrospective type of the study, it was not possible to establish the reason that guided the choice of treatment (conservative or surgical). A prospective study using only Mason's classification and displacement of the fragment to determine the treatment could be performed.

In this study, the presence of associated injuries was accompanied with a significant loss of elbow extension and the total ROM. Kodde et al. reported concomitant injuries in 11% of radial head fracture patients[16]. Itamura et al. reported associated injuries in 92% of cases with MRI evaluation[78]. Lapner et al. demonstrated that associated injuries were found in 10 to 30% of the radial head fractures[2]. Coronoid fracture is reported to be the most common associated injury according to Capo et al. (17/25 = 68%)[15]. Riet et al. demonstrated that 20 patients out of 46

with a Mason II radial head fracture had a coronoid fracture, olecranon fracture, medial and/or lateral collateral ligaments tears[52]. Our results showed that 70% of patients had associated injuries and coronoid fractures was the most frequent followed by olecranon fractures.

Overall, the mean outcomes of the entire cohort (43 patients) were worse when compared to established historical data for the DASH score, PREE score and pain scale but better for the MEPS score. The average Quick DASH, MEPS and PREE were 18.5, 87.6 and 26.8 respectively. The previously reported Quick DASH scores following radial head fracture range from 6.0 to 14.1.[84]. Fowler et al. reported a systematic review of 11 articles of patients over 50 years that had a radial head arthroplasty with a mean MEPS score of 88.6/100 and a deficit of extension of 15.9°[85]. They also reported an overall median pain score of 0 (range 0 to 8)[86]. This result is far from ours of 3.4/10. As previously mentioned, the more complex nature of the associated injuries could explain the higher level of pain than is stated in the literature.

The link between workman's compensation status and worse outcome in fracture studies is well known. In this cohort it was associated with worse Quick DASH scores. The correlation was low but significant.

Radiological outcomes

There is no significant difference in the axial displacement of the fragment between nonoperative and surgical groups, but the *p*-value remains low ($p = 0.071$). The average articular step-off for the conservative and surgical groups was respectively 1.8 mm and 3.4 mm. These results correlate with the traditional 2mm cut-off for surgical treatment.[87].

The mean radio-capitellar ratio (RCR), at least one year after the trauma, was -0.77% for the conservative group and -1.14% for the surgical group. The difference was not statistically significant ($p = 0.181$). Our RCR values are included in the range established by Sandman et al. The mean RCR of 51 healthy volunteers was found to be $-2\% \pm 5\%$ [75]. In this study, the RCR was not correlated with outcome and function.

The mean PUDA was 4.2° for the conservative group and 4.8° for the surgical group. The difference was not statistically significant ($p = 0.280$). Our PUDA values are included in the range established by Rouleau et al. The mean PUDA of 50 healthy volunteers was found to be $5.2^\circ \pm 2.8^\circ$ [73]. The increasing magnitude of the PUDA is associated with decreased maximal elbow extension and global elbow ROM[73]. According to our results, the PUDA was not associated with outcome and function.

According to Hong et al. the presence of heterotopic ossification is associated with decreased ROM[88]. Foruria et al. reported 48 cases of HO among 142 fractured proximal radius or ulna treated surgically and 20% of these had a decreased ROM[89]. In our study, sixteen percent ($n = 7$) of patients had HO. Two of the 17 surgically treated patients developed HO, which is less than the literature. The formation of HO is gradual and increases with time, severity of the trauma and residual instability of the joint[89].

There is no data on the effect of associated injuries with a radial head fractures on ROM and function through QoL questionnaires. Our results confirmed that the presence of associated injuries significantly influences the extension and the total range of motion of the elbow. Indeed,

stiffness is the most common adverse outcome of a radial head fracture, secondary to capsular contracture[77].

This study has several limitations. First, this is a retrospective, voluntary-based study with its inherent selection bias. Moreover, patients with a CT-scan do not represent the majority of patients with a radial head fracture. It is likely that only the more complex fractures had a CT scan, therefore excluding the simple, non-displaced fractures from the cohort. The severity of elbow trauma of these patients is increased compared to those with simple radiographic images. This could also explain why the Quick DASH, PREE and pain scale results were worse than the literature.

CONCLUSION

The findings of this study should encourage surgeons to be mindful of the presence of associated injuries when deciding treatment for partial radial head fractures. Although we did not find a difference with regards to treatment modality, patients with associated injuries had a significant loss of extension and total elbow ROM, which were both correlated to worse functional outcome scores. The final choice of treatment should take into account all injuries and specifically address them to allow for early motion to prevent worse outcomes.

REFERENCES

1. Kaas L, van Riet RP, Vroemen JP, Eygendaal D. The epidemiology of radial head fractures. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons* [et al]. 2010;19(4):520-3.
2. Pappas N, Bernstein J. Fractures in brief: radial head fractures. *Clinical orthopaedics and related research*. 2010;468(3):914-6.
3. Duckworth AD, McQueen MM, Ring D. Fractures of the radial head. *The bone & joint journal*. 2013;95-B(2):151-9.
4. Kodde IF, Kaas L, van Es N, Mulder PG, van Dijk CN, Eygendaal D. The effect of trauma and patient related factors on radial head fractures and associated injuries in 440 patients. *BMC musculoskeletal disorders*. 2015;16:135.
5. Capo JT, Shamian B, Francisco R, Tan V, Preston JS, Uko L, et al. Fracture pattern characteristics and associated injuries of high-energy, large fragment, partial articular radial head fractures: a preliminary imaging analysis. *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology*. 2015;16(2):125-31.
6. Itamura J, Roidis N, Mirzayan R, Vaishnav S, Learch T, Shean C. Radial head fractures: MRI evaluation of associated injuries. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons* [et al]. 2005;14(4):421-4.
7. van Riet RP, Morrey BF. Documentation of associated injuries occurring with radial head fracture. *Clinical orthopaedics and related research*. 2008;466(1):130-4.
8. Vavken P, Vavken J, Demarmels S, Rikli D. [Associated Injuries in Radial Head Fractures]. *Zeitschrift fur Orthopadie und Unfallchirurgie*. 2017;155(2):220-5.

9. Rouleau DM, Canet F, Chapleau J, Petit Y, Sandman E, Faber KJ, et al. The influence of proximal ulnar morphology on elbow range of motion. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons* [et al]. 2012;21(3):384-8.
10. Chapleau J, Canet F, Petit Y, Sandman E, Laflamme GY, Rouleau DM. Demographic and anthropometric factors affecting elbow range of motion in healthy adults. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons* [et al]. 2013;22(1):88-93.
11. Gummesson C, Ward MM, Atroshi I. The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (QuickDASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH. *BMC musculoskeletal disorders*. 2006;7:44.
12. Vincent JJ, MacDermid JC, King GJ, Grewal R. Rasch analysis of the Patient Rated Elbow Evaluation questionnaire. *Health and quality of life outcomes*. 2015;13:84.
13. Cusick MC, Bonnaig NS, Azar FM, Mauck BM, Smith RA, Throckmorton TW. Accuracy and reliability of the Mayo Elbow Performance Score. *The Journal of hand surgery*. 2014;39(6):1146-50.
14. Ferreira-Valente MA, Pais-Ribeiro JL, Jensen MP. Validity of four pain intensity rating scales. *Pain*. 2011;152(10):2399-404.
15. Chapleau J, Canet F, Petit Y, Laflamme GY, Rouleau DM. Validity of goniometric elbow measurements: comparative study with a radiographic method. *Clinical orthopaedics and related research*. 2011;469(11):3134-40.
16. Rouleau DM, Faber KJ, Athwal GS. The proximal ulna dorsal angulation: a radiographic study. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons* [et al]. 2010;19(1):26-30.

17. Sandman E, Canet F, Petit Y, Laflamme GY, Athwal GS, Rouleau DM. Effect of elbow position on radiographic measurements of radio-capitellar alignment. *World journal of orthopedics*. 2016;7(2):117-22.
18. Garbuz DS, Masri BA, Esdaile J, Duncan CP. Classification systems in orthopaedics. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2002;10(4):290-7.
19. Herbertsson P, Josefsson PO, Hasselius R, Besjakov J, Nyqvist F, Karlsson MK. Fractures of the radial head and neck treated with radial head excision. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2004;86-A(9):1925-30.
20. Weseley MS, Barenfeld PA, Eisenstein AL. Closed treatment of isolated radial head fractures. *The Journal of trauma*. 1983;23(1):36-9.
21. Duckworth AD, Watson BS, Will EM, Petrisor BA, Walmsley PJ, Court-Brown CM, et al. Radial head and neck fractures: functional results and predictors of outcome. *The Journal of trauma*. 2011;71(3):643-8.
22. Struijs PA, Smit G, Steller EP. Radial head fractures: effectiveness of conservative treatment versus surgical intervention. A systematic review. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2007;127(2):125-30.
23. Lapner M, King GJ. Radial head fractures. *Instructional course lectures*. 2014;63:3-13.
24. Al-Burdeni S, Abuodeh Y, Ibrahim T, Ahmed G. Open reduction and internal fixation versus radial head arthroplasty in the treatment of adult closed comminuted radial head fractures (modified Mason type III and IV). *International orthopaedics*. 2015;39(8):1659-64.
25. Fowler JR, Henry SE, Xu P, Goitz RJ. Outcomes Following Radial Head Arthroplasty. *Orthopedics*. 2016;39(3):153-60.

26. Duckworth AD, Wickramasinghe NR, Clement ND, Court-Brown CM, McQueen MM. Long-term outcomes of isolated stable radial head fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2014;96(20):1716-23.
27. Patino JM, Saenz VP. Fracture, Radius (Radial), Head. *StatPearls*. Treasure Island (FL)2017.
28. Hong CC, Nashi N, Hey HW, Chee YH, Murphy D. Clinically relevant heterotopic ossification after elbow fracture surgery: a risk factors study. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*. 2015;101(2):209-13.
29. Foruria AM, Augustin S, Morrey BF, Sanchez-Sotelo J. Heterotopic ossification after surgery for fractures and fracture-dislocations involving the proximal aspect of the radius or ulna. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2013;95(10):e66.

Chapitre 5 - Discussion

Le choix du traitement pour les fractures partielles de la tête radiale est d'abord guidé par la classification de Mason, mais les blessures associées et la diminution de l'amplitude de mouvement doivent également être considérées. En effet, le traitement chirurgical d'une fracture partielle de la tête radiale est généralement indiqué pour les fractures qui restreignent l'amplitude de mouvement du coude. Par contre, cette évaluation peut parfois être difficile dans le contexte aigu de traumatisme, étant donné le gonflement des tissus mous et la douleur. À ce jour, il n'y a pas d'études décrivant l'effet de l'implication d'une fracture partielle de la tête radiale avec la PRUJ sur la prosupination, bien qu'il soit intuitif de penser qu'elle ne sera pas affectée si la fracture est située dans la zone sécuritaire. Le présent projet a permis de développer le premier outil d'investigation préopératoire utilisant la TACO pour déterminer l'emplacement d'une fracture par rapport à la zone sécuritaire et d'évaluer l'impact d'une fracture partielle de la tête radiale sur la fonction du coude.

Objectif principal - Définir et valider une nouvelle méthode radiologique pour évaluer les fractures de tête radiale

L'utilisation de coudes cadavériques s'est avérée essentielle pour cette partie du projet puisqu'il fallait scier la périphérie de la tête radiale pour identifier la zone sécuritaire. Les coudes cadavériques frais congelés ne reflètent malheureusement pas exactement les propriétés des structures anatomiques d'un coude fonctionnel. Cependant, les muscles ne se trouvent pas affectés de la même façon et demeurent sensibles à quelques cycles de chargement mécanique, comme l'ont démontré Haverstock et al. [28]. Dix-huit coudes cadavériques pairés ont été utilisés pour ce projet. Pour obtenir un échantillon plus diversifié il aurait été préférable de travailler avec des coudes non pairés.

Mesure et position de la zone sécuritaire

Pour définir la zone sécuritaire il fallait d'abord un point de repère anatomique. La tubérosité radiale était un choix évident puisque, comme l'ont démontré Mazzocca et al., la majorité des patients présentent une tubérosité radiale avec une seule crête (88% des 178 coudes cadavériques

utilisés dans leur étude)[7]. De plus, la tubérosité radiale est facilement visible sur la TACO en vue axiale grâce au tendon bicipital qui s'y attache. Cette spécificité faisait d'ailleurs partie des conditions d'inclusion pour les deux volets du projet (radiologique et clinique). Les 55 TACO des patients respectant les autres critères d'inclusion avaient toute une tubérosité radiale avec l'insertion du tendon bicipital bien visible en vue axiale. Le bord antérieur du radius n'a pas été sélectionné comme point de repère car celui-ci était moins visible que la tubérosité radiale à la TACO. Il n'y a donc pas eu de mesures radiologiques faites avec cette structure anatomique. La plupart des études évaluant la position de la zone sécuritaire ont utilisé la tubérosité radiale comme point de repère anatomique[15, 26, 27].

L'identification de la zone sécuritaire à l'aide de l'ostéotome et de la scie osseuse constituait le premier angle clé nécessaire à l'analyse. Les SZ moyenne pour les 18 coudes cadavériques étudiés était de 122° avec une étendue de 95° à 157°, qui aurait sans doute été restreinte en ayant un plus grand échantillon. Cette mesure est inférieure à celle de Ries (133°) mais supérieure à celles de Smith et Caputo (110° et 113° respectivement)[29, 56]. En ce qui a trait à la méthode, Ries et al ont utilisé une technique similaire à celle utilisée dans le présent projet mais avec des tiges comme limites de la ZS[59]. Pour leur part, Smith et al. ont fait des marques sur la périphérie de la tête radiale avec le coude en position de pronation et de supination maximale[56]. Alors que, Caputo et al. ont utilisé des tiges placées aux limites de la surface articulaire de la tête radiale[29].

Acétate = un outil d'évaluation rapide et validé

À partir de la tubérosité radiale comme repère anatomique fixe pour délimiter la zone sécuritaire à la TACO, l'angle RT-SZ fut créé et mesuré pour les dix-huit coudes cadavériques. Celui-ci était de 108° à 212° à partir de la tubérosité radiale. Un acétate délimitant cet angle à partir de la tubérosité radiale fut élaboré. Suite à sa validation, cet acétate s'est avéré un outil rapide et facile à utiliser pour la détection des fractures partielles de la tête radiale impliquant la PRUJ. En effet, cet outil ne nécessite pas de traitement ou de manipulation supplémentaire des TACO. L'accord intra-observateur pour la classification des fractures selon leur emplacement (SZ seulement, PRUJ seulement ou ZS et PRUJ) était presque parfait (0.902) selon l'échelle de référence de

Landis et Koch[90]. Par contre l'accord inter-observateur (0.579) était beaucoup plus faible, bien qu'acceptable selon l'échelle, ce qui pourrait s'expliquer par deux facteurs. D'abord, plusieurs mesures ont été prises sur des TACO reconstruites afin d'obtenir une vue axiale. Ces reconstructions produisent des images de qualité inférieure qui ont pour effet de réduire la précision de la mesure. Ensuite, plusieurs fractures se situaient très près de la zone sécuritaire. Celles-ci pouvaient donc être facilement classées différemment d'un évaluateur à un autre.

Objectif secondaire - Vérifier l'applicabilité de la méthode dans la pratique clinique

Les 55 fractures de la tête radiale analysées à l'aide de l'acétate ont été classées en fonction de leur position par rapport à la ZS. Quatre étaient dans la ZS seulement, trois dans la PRUJ seulement et 48 dans la ZS et la PRUJ. Dans notre cohorte de 55 fractures, seulement 7% étaient dans la ZS seulement. Les résultats rapportés ici, où la plupart des fractures impliquent à la fois la ZS et la PRUJ, sont cohérents avec plusieurs études qui situent la majorité des fractures partielles de la tête radiale dans le cadran antéro-latéral[15, 27, 41, 91], entre 132° et 222° à partir de la tubérosité radiale. Selon une étude radiologique de Van Leeuwen et al., l'angle moyen pour une fracture de la tête radiale (pour un échantillon de 24 coudes) est de 170° par rapport à 141° dans la présente étude. Vu la grande taille des fractures (141°) et la localisation privilégiée de celles-ci (entre 132° et 222°), on peut présumer que la majorité des fractures implique plus d'un cadran, et déborde au-delà de la zone sécuritaire[27]. Tel que décrit au point 1.1.5., la prédisposition des fractures pour le cadran antéro-latéral pourrait être expliquée par le fait que son volume et sa densité sont moindres que les autres cadrans[28]. Une autre hypothèse serait que la portion osseuse de ce cadran est plus mince et plus jaune, c'est-à-dire qu'il présente une résistance moindre comparé aux autres cadrans[29].

Explications et modifications de l'outil

Différents facteurs peuvent expliquer le fait que notre outil a identifié seulement 7% des fractures partielles de la tête radiale impliquant seulement la ZS.. L'outil (acétate) créé à partir de 18 coudes cadavériques se veut sécuritaire et respecte toutes les variations anatomiques de l'étude cadavérique. En effet, la mesure de l'angle TR-ZS a été déterminée en ajoutant la déviation standard à la valeur minimale de l'angle ZS et en soustrayant la déviation standard de la valeur maximale de l'angle ZS. Cette étape dans la détermination de l'angle TR-ZS a rendu la ZS la plus petite possible, et du même coup, la plus sécuritaire. Par contre, cet ajout et soustraction de la déviation standard à la ZS ($\text{Min ZS} + \text{DS}$, $\text{Max ZS} - \text{DS}$) a eu pour effet de sous-estimer le nombre de fracture impliquant seulement la ZS. Si l'acétate avait été conçu sans l'ajout et la soustraction de la déviation standard, la ZS aurait été plus grande. Il y aurait donc probablement eu plus de fractures localisées seulement dans la ZS. Ce changement aurait été bénéfique pour

son application clinique. L'augmentation du nombre de fracture impliquant seulement la ZS aurait peut-être permis de déceler une différence statistiquement significative entre les deux groupes de fractures (ZS seulement versus PRUJ). Par contre, une proportion de cas identifiés comme étant dans la zone sécuritaire auraient en fait été dans la PRUJ. Dans la pratique clinique, la sécurité prime. De ce fait, l'ajout de la déviation standard à la ZS offre un outil sécuritaire pour le chirurgien orthopédiste mais, en contrepartie, celui-ci fournit peu d'information pouvant orienter le choix du traitement des fractures partielles de la tête radiale.

Application clinique

Cet outil (acétate) a été créé dans le but d'aider les orthopédistes dans le choix du traitement (conservateur versus chirurgical) des fractures partielles de la tête radiale. La douleur à elle seule peut engendrer une diminution des mouvements rotationnels de l'avant-bras, simulant un blocage au niveau de la PRUJ. L'orthopédiste pourrait demander une TACO axiale du coude et utiliser l'acétate pour déterminer si la fracture partielle de la tête radiale est réellement en conflit avec la PRUJ. Si la fracture est localisée seulement dans la zone sécuritaire, l'arthrotomie ne serait probablement pas nécessaire. Les résultats de ce projet n'ont pas été aussi concluants que souhaité. Vu le faible nombre de fractures partielles de la tête radiale impliquant seulement la zone sécuritaire (7%), le clinicien serait mieux de considérer toutes les fractures comme si elles impliquaient la PRUJ et utiliser la classification de Mason pour le choix du traitement. La TACO de la tête radiale devrait être demandée seulement pour les cas douteux, c'est-à-dire lorsque le patient présente une réduction majeure de l'amplitude de mouvement du coude. Dans ces cas, l'acétate pourrait fournir de l'information supplémentaire au chirurgien et aider celui-ci dans le choix du traitement. Les patients dont l'amplitude de mouvement est conservée de devrait pas avoir de TACO.

Objectif tertiaire - Facteurs pronostiques des fractures de la tête radiale

Lésions associées = corrélation avec une perte de fonction du coude

Dans cette étude, la présence de lésions associées était accompagnée d'une perte significative de l'extension du coude et de l'amplitude de mouvement totale. De nombreux auteurs ont rapporté des lésions concomitantes chez des patients ayant subi une fracture de la tête radiale, 11% chez Kodde et al. [19], 92 % à l'aide de l'IRM chez Itamura et al. [78], et de 10 à 30% pour Lapner et al. [6]. La fracture coronoïde serait la blessure associée la plus fréquente selon Capo et al. (17/25 = 68%)[15], alors que Riet et al. ont démontré que 20 patients sur 46 ayant une fracture de la tête radiale Mason II présentaient une fracture coronoïde, une fracture de l'olécrane, des déchirures des ligaments collatéraux médiaux et / ou latéraux[52]. Nos résultats sont similaires ; 70% des patients avaient des lésions associées et les fractures coronoïdes étaient les plus fréquentes, suivies des fractures de l'olécrane.

Les scores moyens du Quick DASH, du PREE et de l'échelle de couleur de la cohorte (43 sujets) reflétaient une moins bonne qualité de vie comparés aux scores dans la littérature, sauf pour le score moyen du MEPS. Le score moyen du Quick DASH, du PREE et du MEPS était respectivement de 18,5, 26,8 et 87,6. Le score moyen du Quick DASH rapporté par Al-Burdeni et al., après avoir subi une fracture de la tête radiale, se situaient entre 6,0 et 14,1[84]. Fowler et al. ont effectué une revue systématique de 11 articles qui incluaient des patients de plus de 50 ans ayant eu une arthroplastie de la tête radiale. Le score moyen du MEPS était de 88,6/100 avec un déficit d'extension de 15,9 ° et un score médian global de douleur de 0 (intervalle de 0 à 8)[85], loin du 3.4/10 obtenu ici. Ces résultats peuvent être expliqués par la forte présence de lésions associées (70%) et, par conséquent, du niveau de douleur plus élevé qu'elles engendrent.

Fractures simples versus complexes = absence de différences statistiquement significatives au niveau de la fonction du coude

Struijs et al. lors d'une revue systématique de 24 études entre 1966 et 2004 incluant 825 patients avec des fractures de la tête radiale[83], ont conclu qu'il n'y avait pas suffisamment de preuves pour pouvoir tirer des conclusions définitives sur le traitement optimal des fractures de la tête

radiale de type II-IV[83]. Nos résultats vont aussi dans ce sens car nous n'avons pu démontrer une différence statistiquement significative dans les résultats sur la fonction du coude selon la complexité de la fracture (fracture simple versus complexe). Cependant, étant donné la nature rétrospective de l'étude (série clinique de patients), il n'a pas été possible d'établir la raison qui a guidé le choix du traitement pour chaque patient. Il aurait été intéressant et davantage utile cliniquement de vérifier la fonction du coude à un an post-op. Pour ce faire, une étude de cohorte prospective utilisant uniquement la classification de Mason et le déplacement du fragment pour déterminer le traitement aurait pu être effectué. Par contre, une étude de cohorte prospective requérait un long suivi pour inclure suffisamment de patients. Dans le cadre d'un projet de maîtrise où la durée des études est restreinte, l'étude de cohorte rétrospective était un bon choix.

Indemnisation de la CNESST = corrélation avec un moins bon score Quick DASH

Les patients recevant ou ayant reçu une indemnisation de la CNESST démontraient un moins bon score Quick DASH que les patients n'en n'ayant pas reçue. La corrélation était faible mais significative. D'autres études axées sur ce lien devraient être effectuées afin d'expliquer cette corrélation.

Déplacement axial, RCR et PUDA = absence de différences statistiquement significatives entre traitement conservateur et chirurgical

Il n'y a pas de différences significatives dans le déplacement axial du fragment entre les groupes au traitement conservateur ou chirurgical, mais la valeur p reste faible ($p = 0,071$). Le déplacement moyen était de 1,8 mm pour le traitement conservateur et 3,4 mm pour le traitement chirurgical. Ces résultats corrélaient avec le seuil «chirurgical» de 2 mm, c'est-à-dire que les fractures de la tête radiale avec un déplacement axial de plus de 2mm devraient recourir au traitement chirurgical[87].

Le ratio radio-capital (RCR), au moins un an après le traumatisme, était de -0,78% pour le groupe conservateur et de -1,1% pour le groupe chirurgical. La différence n'était pas statistiquement significative ($p = 0,181$). Nos valeurs de RCR sont comprises dans celles établies par Sandman et al., c'est-à-dire $-2\% \pm 5\%$ [75].

Le PUDA moyen était de 4,2 ° pour le groupe conservateur et de 4,8 ° pour le groupe chirurgical. La différence n'était pas statistiquement significative ($p = 0,280$). Nos valeurs de PUDA sont comprises dans celles établies par Rouleau et al., c'est-à-dire $5,2 \text{ °} \pm 2,8 \text{ °}$ [73]. Également selon Rouleau et al., l'augmentation de l'amplitude du PUDA est associée à une diminution de l'extension maximale du coude et de l'amplitude de mouvement totale du coude[73] que nos résultats n'ont pas reflétés.

Ossification hétérotopique = perte significative de la fonction du coude

Selon Hong et al., la présence d'ossification hétérotopique est associée à une diminution de l'amplitude de mouvement[88]. Foruria et al. ont rapporté 48 cas d'ossification hétérotopique parmi 142 fractures du radius proximal ou de l'ulna traités chirurgicalement et 20% d'entre eux avaient une amplitude de mouvement réduite[89]. Dans notre projet, 16% ($n = 7$) des patients avaient de l'ossification hétérotopique qui était corrélé avec une perte significative de la flexion et de l'amplitude de mouvement totale du coude. Deux des 17 patients traités chirurgicalement ont développé de l'ossification hétérotopique, ce qui est inférieur à la proportion décrite dans la littérature. La formation d'ossification hétérotopique est progressive et augmente avec le temps, la gravité du traumatisme et l'instabilité résiduelle de l'articulation[89].

Évaluation d'une fracture partielle de la tête radiale

L'évaluation d'une douleur au coude doit débuter par l'histoire racontée par le patient. Le clinicien doit, par la suite, poser des questions spécifiques en lien avec l'avènement de la douleur (type, intensité, localisation, irradiation, temps, facteurs déclenchant, etc.). Lorsque l'histoire de la maladie actuelle et la revue des systèmes sont complétées, le clinicien doit effectuer un examen physique du coude, ainsi que l'épaule et le poignet. Le clinicien sera à la recherche d'une diminution de l'amplitude articulaire de l'avant-bras et sera attentif à la douleur du patient. Si le patient présente une diminution du mouvement rotationnel de l'avant-bras, un test à la xylocaïne pourra être effectué[33]. Une radiographie du coude pourra être également demandée si le clinicien soupçonne une fracture. L'attention sera portée sur la présence d'un trait ou

déplacement osseux de la tête radiale ainsi qu'aux lésions associées (dislocation, fracture coronoïde, fracture de l'olécrâne, etc.)[19]. Le clinicien devra prendre en compte l'histoire, l'examen physique, le résultat du test à la xylocaïne (s'il y a lieu) et la radiographie pour déterminer le traitement. Si le test à la xylocaïne ne permet pas au patient d'obtenir un gain complet de l'amplitude de mouvement, une TACO pourra être effectuée et évaluée avec l'acétate. Si aucun test à la xylocaïne n'est effectué et que le patient présente une réduction de l'amplitude de mouvement en plus d'une radiographie équivoque, une TACO et l'évaluation avec l'acétate pourraient être bénéfiques. Vu l'absence de différence significative entre les fractures simples et les fractures complexes au niveau de la fonction du coude, l'orthopédiste choisira le traitement en fonction de la classification de Mason, mais devra tenir compte des lésions associées et de son impact négatif sur la fonction du coude[22, 45, 50].

Chapitre 6 - Conclusion et perspectives

L'outil développé dans le cadre de ce projet, l'acétate, est une méthode fiable d'évaluation préopératoire pour déterminer si une fracture de la tête radiale implique la PRUJ ou non. En effet, comme la grande majorité des fractures partielles de la tête radiale impliquent la PRUJ, cet outil a un usage plutôt limité. Celui-ci peut éclairer le choix du traitement des patients complexes, c'est-à-dire ceux présentant une diminution de l'amplitude de mouvement du coude (avec le test à la xylocaïne, s'il a lieu) et une radiographie dont le déplacement et la taille du fragment est équivoque. La majorité des fractures de la tête radiale ne nécessitera pas de TACO. L'étude clinique comparant la fonction du coude chez les patients ayant une fracture partielle de la tête radiale simple versus complexe, n'a pas révélé d'écart, au moins un an post-fracture. Par contre, les patients avec des lésions associées présentaient une perte significative d'extension et d'amplitude de mouvement totale du coude, corrélés avec des résultats fonctionnels moins bons. Ainsi, les résultats de ce projet devraient encourager les chirurgiens à considérer la présence de lésions associées au moment de décider du traitement des fractures partielles de la tête radiale et les traiter spécifiquement pour permettre un mouvement précoce.

Références

1. Mason, M.L., *Some observations on fractures of the head of the radius with a review of one hundred cases.* Br J Surg, 1954. **42**(172): p. 123-32.
2. Lapner, M. and G.J. King, *Radial head fractures.* Instr Course Lect, 2014. **63**: p. 3-13.
3. Cardone, D.A. and A.F. Tallia, *Diagnostic and therapeutic injection of the elbow region.* Am Fam Physician, 2002. **66**(11): p. 2097-100.
4. Dunning, C.E., et al., *Ligamentous stabilizers against posterolateral rotatory instability of the elbow.* J Bone Joint Surg Am, 2001. **83-A**(12): p. 1823-8.
5. Gupta, C., et al., *A morphological and morphometric study of jugular foramen in dry skulls with its clinical implications.* J Craniovertebr Junction Spine, 2014. **5**(3): p. 118-21.
6. Lapner, M. and G.J. King, *Radial head fractures.* J Bone Joint Surg Am, 2013. **95**(12): p. 1136-43.
7. Mazzocca, A.D., et al., *The anatomy of the bicipital tuberosity and distal biceps tendon.* J Shoulder Elbow Surg, 2007. **16**(1): p. 122-7.
8. Wang, X., S.M. Chang, and G.R. Yu, *Anteromedial coronoid facet fractures.* Eur J Orthop Surg Traumatol, 2013. **23**(3): p. 251-5.
9. Fraser, G.S., et al., *Lateral collateral ligament repair restores the initial varus stability of the elbow: an in vitro biomechanical study.* J Orthop Trauma, 2008. **22**(9): p. 615-23.
10. Ruchelsman, D.E., D. Christoforou, and J.B. Jupiter, *Fractures of the radial head and neck.* J Bone Joint Surg Am, 2013. **95**(5): p. 469-78.
11. van Riet, R.P., et al., *The noncircular shape of the radial head.* J Hand Surg Am, 2003. **28**(6): p. 972-8.
12. Koslowsky, T.C., et al., *Morphometric parameters of the radial neck: an anatomical study.* Surg Radiol Anat, 2007. **29**(4): p. 279-84.
13. King, G.J., et al., *An anthropometric study of the radial head: implications in the design of a prosthesis.* J Arthroplasty, 2001. **16**(1): p. 112-6.
14. Captier, G., et al., *Biometry of the radial head: biomechanical implications in pronation and supination.* Surg Radiol Anat, 2002. **24**(5): p. 295-301.
15. Capo, J.T., et al., *Fracture pattern characteristics and associated injuries of high-energy, large fragment, partial articular radial head fractures: a preliminary imaging analysis.* J Orthop Traumatol, 2015. **16**(2): p. 125-31.
16. Kodde, I.F., et al., *The effect of trauma and patient related factors on radial head fractures and associated injuries in 440 patients.* BMC Musculoskelet Disord, 2015. **16**: p. 135.
17. Pappas, N. and J. Bernstein, *Fractures in brief: radial head fractures.* Clin Orthop Relat Res, 2010. **468**(3): p. 914-6.
18. Duckworth, A.D., et al., *The epidemiology of radial head and neck fractures.* J Hand Surg Am, 2012. **37**(1): p. 112-9.
19. Kodde, I.F., et al., *Current concepts in the management of radial head fractures.* World J Orthop, 2015. **6**(11): p. 954-60.
20. Kaas, L., et al., *Osteoporosis and radial head fractures in female patients: a case-control study.* J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(11): p. 1555-8.
21. Guitton, T.G. and D. Ring, *Interobserver reliability of radial head fracture classification: two-dimensional compared with three-dimensional CT.* J Bone Joint Surg Am, 2011. **93**(21): p. 2015-21.
22. Iannuzzi, N.P. and S.S. Leopold, *In brief: the Mason classification of radial head fractures.* Clin Orthop Relat Res, 2012. **470**(6): p. 1799-802.
23. Garnavos, C., et al., *New classification system for long-bone fractures supplementing the AO/OTA classification.* Orthopedics, 2012. **35**(5): p. e709-19.
24. Garbuz, D.S., et al., *Classification systems in orthopaedics.* J Am Acad Orthop Surg, 2002. **10**(4): p. 290-7.
25. Audige, L., et al., *A concept for the validation of fracture classifications.* J Orthop Trauma, 2005. **19**(6): p. 401-6.
26. Mellema, J.J., et al., *Fracture mapping of displaced partial articular fractures of the radial head.* J Shoulder Elbow Surg, 2016. **25**(9): p. 1509-16.
27. van Leeuwen, D.H., et al., *Quantitative measurement of radial head fracture location.* J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(8): p. 1013-7.

28. Haverstock, J.P., et al., *Regional variations in radial head bone volume and density: implications for fracture patterns and fixation*. J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(12): p. 1669-73.
29. Caputo, A.E., A.D. Mazzocca, and V.M. Santoro, *The nonarticulating portion of the radial head: anatomic and clinical correlations for internal fixation*. J Hand Surg Am, 1998. **23**(6): p. 1082-90.
30. Pike, J.M., et al., *Radial head fractures--an update*. J Hand Surg Am, 2009. **34**(3): p. 557-65.
31. Athwal, G.S., et al., *Fractures and dislocations of the elbow: a return to the basics*. Instr Course Lect, 2011. **60**: p. 199-214.
32. Pavic, R., P. Margetic, and D. Hnatesen, *Diagnosis of occult radial head and neck fracture in adults*. Injury, 2015. **46 Suppl 6**: p. S119-24.
33. Tallia, A.F. and D.A. Cardone, *Diagnostic and therapeutic injection of the shoulder region*. Am Fam Physician, 2003. **67**(6): p. 1271-8.
34. Jayanthi, R., K. Nasser, and K. Monica, *Local Anesthetics Systemic Toxicity*. J Assoc Physicians India, 2016. **64**(3): p. 92-93.
35. Broberg, M.A. and B.F. Morrey, *Results of treatment of fracture-dislocations of the elbow*. Clin Orthop Relat Res, 1987(216): p. 109-19.
36. Herbertsson, P., et al., *Displaced Mason type I fractures of the radial head and neck in adults: a fifteen- to thirty-three-year follow-up study*. J Shoulder Elbow Surg, 2005. **14**(1): p. 73-7.
37. Davidson, P.A., J.B. Moseley, Jr., and H.S. Tullos, *Radial head fracture. A potentially complex injury*. Clin Orthop Relat Res, 1993(297): p. 224-30.
38. Carstam, N., *Operative treatment of fractures of the head and neck of the radius*. Acta Orthop Scand, 1950. **19**(4): p. 502-26.
39. Esser, R.D., S. Davis, and T. Taavao, *Fractures of the radial head treated by internal fixation: late results in 26 cases*. J Orthop Trauma, 1995. **9**(4): p. 318-23.
40. Iacobellis, C., A. Visentin, and R. Aldegheri, *Open reduction and internal fixation of radial head fractures*. Musculoskelet Surg, 2012. **96 Suppl 1**: p. S81-6.
41. Smits, A.J., G.F. Giannakopoulos, and W.P. Zuidema, *Long-term results and treatment modalities of conservatively treated Broberg-Morrey type I radial head fractures*. Injury, 2014. **45**(10): p. 1564-8.
42. Paschos, N.K., et al., *Comparison of early mobilization protocols in radial head fractures*. J Orthop Trauma, 2013. **27**(3): p. 134-9.
43. Atkins, R.M., *Principles of management of septic non-union of fracture*. Injury, 2007. **38 Suppl 2**: p. S23-32.
44. Geel, C.W., et al., *Internal fixation of proximal radial head fractures*. J Orthop Trauma, 1990. **4**(3): p. 270-4.
45. Khalfayan, E.E., R.W. Culp, and A.H. Alexander, *Mason type II radial head fractures: operative versus nonoperative treatment*. J Orthop Trauma, 1992. **6**(3): p. 283-9.
46. Akesson, T., et al., *Primary nonoperative treatment of moderately displaced two-part fractures of the radial head*. J Bone Joint Surg Am, 2006. **88**(9): p. 1909-14.
47. Duckworth, A.D., et al., *Radial head and neck fractures: functional results and predictors of outcome*. J Trauma, 2011. **71**(3): p. 643-8.
48. Bruinsma, W., et al., *A randomized controlled trial of nonoperative treatment versus open reduction and internal fixation for stable, displaced, partial articular fractures of the radial head: the RAMBO trial*. BMC Musculoskelet Disord, 2014. **15**: p. 147.
49. Miller, M.C., et al., *Unique model evokes the supination/pronation deficits found after Mason II fractures*. J Orthop Res, 2015. **33**(3): p. 343-8.
50. Miller, G., et al., *Surgical management of Mason type III radial head fractures*. Indian J Orthop, 2013. **47**(4): p. 323-32.
51. Bauer, A.S., et al., *Risk factors for posttraumatic heterotopic ossification of the elbow: case-control study*. J Hand Surg Am, 2012. **37**(7): p. 1422-9 e1-6.
52. van Riet, R.P. and B.F. Morrey, *Documentation of associated injuries occurring with radial head fracture*. Clin Orthop Relat Res, 2008. **466**(1): p. 130-4.
53. Yoon, A., G.J. King, and R. Grewal, *Is ORIF superior to nonoperative treatment in isolated displaced partial articular fractures of the radial head?* Clin Orthop Relat Res, 2014. **472**(7): p. 2105-12.
54. Herbertsson, P., et al., *Mason type IV fractures of the elbow: a 14- to 46-year follow-up study*. J Bone Joint Surg Br, 2009. **91**(11): p. 1499-504.
55. Lindenhovius, A.L., et al., *The long-term outcome of open reduction and internal fixation of stable displaced isolated partial articular fractures of the radial head*. J Trauma, 2009. **67**(1): p. 143-6.

56. Smith, G.R. and R.N. Hotchkiss, *Radial head and neck fractures: anatomic guidelines for proper placement of internal fixation*. J Shoulder Elbow Surg, 1996. **5**(2 Pt 1): p. 113-7.
57. Soyer, A.D., et al., *Optimal position for plate fixation of complex fractures of the proximal radius: a cadaver study*. J Orthop Trauma, 1998. **12**(4): p. 291-3.
58. Hotchkiss, R.N., *Displaced Fractures of the Radial Head: Internal Fixation or Excision?* J Am Acad Orthop Surg, 1997. **5**(1): p. 1-10.
59. Ries, C., et al., *Is an extension of the safe zone possible without jeopardizing the proximal radioulnar joint when performing a radial head plate osteosynthesis?* J Shoulder Elbow Surg, 2015. **24**(10): p. 1627-34.
60. Bartonicek, J., O. Nanka, and M. Tucek, *[Kocher approach to the elbow and its options]*. Rozhl Chir, 2015. **94**(10): p. 405-14.
61. Hamilton, G.F., C. McDonald, and T.C. Chenier, *Measurement of grip strength: validity and reliability of the sphygmomanometer and jamar grip dynamometer*. J Orthop Sports Phys Ther, 1992. **16**(5): p. 215-9.
62. Beaton, D.E., et al., *Measuring the whole or the parts? Validity, reliability, and responsiveness of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand outcome measure in different regions of the upper extremity*. J Hand Ther, 2001. **14**(2): p. 128-46.
63. Gummesson, C., M.M. Ward, and I. Atroshi, *The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (QuickDASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH*. BMC Musculoskelet Disord, 2006. **7**: p. 44.
64. Polson, K., et al., *Responsiveness, minimal importance difference and minimal detectable change scores of the shortened disability arm shoulder hand (QuickDASH) questionnaire*. Man Ther, 2010. **15**(4): p. 404-7.
65. Beauchemin, G., et al., *Translation and validation of the PREE (Patient Rated Elbow Evaluation) to a French version*. Orthop Traumatol Surg Res, 2015. **101**(4): p. 405-9.
66. Cusick, M.C., et al., *Accuracy and reliability of the Mayo Elbow Performance Score*. J Hand Surg Am, 2014. **39**(6): p. 1146-50.
67. Doornberg, J.N., et al., *Pain dominates measurements of elbow function and health status*. J Bone Joint Surg Am, 2005. **87**(8): p. 1725-31.
68. Turchin, D.C., D.E. Beaton, and R.R. Richards, *Validity of observer-based aggregate scoring systems as descriptors of elbow pain, function, and disability*. J Bone Joint Surg Am, 1998. **80**(2): p. 154-62.
69. Ferreira-Valente, M.A., J.L. Pais-Ribeiro, and M.P. Jensen, *Validity of four pain intensity rating scales*. Pain, 2011. **152**(10): p. 2399-404.
70. Chapleau, J., et al., *Validity of goniometric elbow measurements: comparative study with a radiographic method*. Clin Orthop Relat Res, 2011. **469**(11): p. 3134-40.
71. Frank, E.D., et al., *Merrill's atlas of radiographic positioning & procedures*. 11th ed. 2007, St. Louis, Mo.: Mosby/Elsevier.
72. Rouleau, D.M., K.J. Faber, and G.S. Athwal, *The proximal ulna dorsal angulation: a radiographic study*. J Shoulder Elbow Surg, 2010. **19**(1): p. 26-30.
73. Rouleau, D.M., et al., *The influence of proximal ulnar morphology on elbow range of motion*. J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(3): p. 384-8.
74. Rouleau, D.M., et al., *Radial head translation measurement in healthy individuals: the radiocapitellar ratio*. J Shoulder Elbow Surg, 2012. **21**(5): p. 574-9.
75. Sandman, E., et al., *Effect of elbow position on radiographic measurements of radio-capitellar alignment*. World J Orthop, 2016. **7**(2): p. 117-22.
76. Kaas, L., et al., *The epidemiology of radial head fractures*. J Shoulder Elbow Surg, 2010. **19**(4): p. 520-3.
77. Duckworth, A.D., M.M. McQueen, and D. Ring, *Fractures of the radial head*. Bone Joint J, 2013. **95-B**(2): p. 151-9.
78. Itamura, J., et al., *Radial head fractures: MRI evaluation of associated injuries*. J Shoulder Elbow Surg, 2005. **14**(4): p. 421-4.
79. Vavken, P., et al., *[Associated Injuries in Radial Head Fractures]*. Z Orthop Unfall, 2017. **155**(2): p. 220-225.
80. Chapleau, J., et al., *Demographic and anthropometric factors affecting elbow range of motion in healthy adults*. J Shoulder Elbow Surg, 2013. **22**(1): p. 88-93.
81. Vincent, J.I., et al., *Rasch analysis of the Patient Rated Elbow Evaluation questionnaire*. Health Qual Life Outcomes, 2015. **13**: p. 84.
82. Weseley, M.S., P.A. Barenfeld, and A.L. Eisenstein, *Closed treatment of isolated radial head fractures*. J Trauma, 1983. **23**(1): p. 36-9.

83. Struijs, P.A., G. Smit, and E.P. Steller, *Radial head fractures: effectiveness of conservative treatment versus surgical intervention. A systematic review*. Arch Orthop Trauma Surg, 2007. **127**(2): p. 125-30.
84. Al-Burdeni, S., et al., *Open reduction and internal fixation versus radial head arthroplasty in the treatment of adult closed comminuted radial head fractures (modified Mason type III and IV)*. Int Orthop, 2015. **39**(8): p. 1659-64.
85. Fowler, J.R., et al., *Outcomes Following Radial Head Arthroplasty*. Orthopedics, 2016. **39**(3): p. 153-60.
86. Duckworth, A.D., et al., *Long-term outcomes of isolated stable radial head fractures*. J Bone Joint Surg Am, 2014. **96**(20): p. 1716-23.
87. Patino, J.M. and V.P. Saenz, *Fracture, Radius (Radial), Head*, in *StatPearls*. 2017: Treasure Island (FL).
88. Hong, C.C., et al., *Clinically relevant heterotopic ossification after elbow fracture surgery: a risk factors study*. Orthop Traumatol Surg Res, 2015. **101**(2): p. 209-13.
89. Foruria, A.M., et al., *Heterotopic ossification after surgery for fractures and fracture-dislocations involving the proximal aspect of the radius or ulna*. J Bone Joint Surg Am, 2013. **95**(10): p. e66.
90. Landis, J.R. and G.G. Koch, *The measurement of observer agreement for categorical data*. Biometrics, 1977. **33**(1): p. 159-74.
91. Gebauer, M., et al., *Microarchitecture of the radial head and its changes in aging*. Calcif Tissue Int, 2010. **86**(1): p. 14-22.

Annexes

Annexe 1 : Autorisation des comités d'éthique

Centre intégré
universitaire de santé
et de services sociaux
du Nord-de-
l'Île-de-Montréal

Québec

APPROBATION D'UN PROJET DE RECHERCHE

NO DE DOSSIER DU CÉR 2015-1168

TITRE: Une fracture de la tête radiale dans la zone critique de l'articulation radio-ulnaire proximale lors de la pronation et la supination de l'avant-bras affecte-t-elle le résultat fonctionnel du coude ?

- Demande d'évaluation d'un projet de recherche, en date du 1^{er} juin 2015
- Protocole, non daté.
- Formulaire d'information et de consentement, versions française et anglaise, en date du 26 mai 2015
- Résumé, en date du 1^{er} juin 2015
- Budget
- Demande de consultation de dossiers d'usagers à des fins de recherche, en date du 1^{er} juin 2015
- Lettre d'autorisation de consultation de dossiers d'usagers, en date du 2 juin 2015
- Questionnaire : Évaluation du coude par le patient PREE préliminaire, version française, en date de juillet 2011 et version anglaise, en date du 27 septembre 2010
- Questionnaire Quick DASH, versions française et anglaise, en date de mai 2011
- Document source avec information du patient, versions française et anglaise, en date du 26 mai 2015
- Mayo Elbow performance score

LIEU : Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Nord-de-l'Île-de-Montréal -Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal (HSCM), 5400 boul. Gouin Ouest, Montréal (Québec) H4J 1C5

CHERCHEUR(S) : Dominique Rouleau, M.D., Jérémie Ménard, Ing., M.Eng, Julien Chapleau, Université de Montréal, Résident Chirurgie orthopédique, Anne Couture, étudiante en médecine, Université de Montréal

PROVENANCE DES FONDS : FRÉOM et Fond de recherche du Dre Dominique Rouleau

PROBLÉMATIQUE et OBJECTIF DE L'ÉTUDE : Démontrer qu'il est possible de déterminer si une fracture implique l'articulation radio-ulnaire proximale. Ceci aurait une implication directe sur la décision d'entreprendre un traitement chirurgical ou non dans les fractures partielles de la tête radiale. Ce projet d'envergure se décline en trois phases (cadavérique, radiologique et recrutement de patients)

TYPE DE RECHERCHE : Étude Biomécanique / radiologique et Dossier

NOMBRE DE SUJETS RECRUTÉS À L'HSCM : 20

CONSÉQUENCES ÉTHIQUES : Liberté de participer : Oui Consentement éclairé : Oui
Confidentialité : Oui Liberté d'en sortir sans contrainte : Oui

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT :

Requis: Oui Versions française et anglaise datées du 29 juin 2015 -
approuvées

DATE DE L'APPROBATION DU PROJET : 2 juillet 2015

DATE DE L'ÉTUDE PAR LE COMITÉ : Le 24 août 2015 (séance plénière)

TITRE: Une fracture de la tête radiale dans la zone critique de l'articulation radio-ulnaire proximale lors de la pronation et la supination de l'avant-bras affecte-t-elle le résultat fonctionnel du coude ?

MEMBRES DU COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE ET DE L'ÉVALUATION DES TECHNOLOGIES DE LA SANTÉ

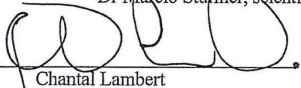
AVIS APPROUVÉ SELON LE PROCESSUS D'ÉVALUATION ACCÉLÉRÉE PAR:

FAVORABLE :

M. Guy Beauregard, personne spécialisée en éthique suppléante
Dre Chantal Lambert, scientifique non médecin, présidente
Mme Marie-France Thibaut, scientifique non médecin, vice-présidente

Membres du comité :

Me Marie Boivin, juriste
Mme Henriette Bourassa, membre non affilié représentant la collectivité
Mme Christine Grou, personne spécialisée en éthique
Mme Isabelle Larouche, scientifique non-médecin
Mme Andrée Leboeuf, membre non affilié représentant la collectivité
Mme Jachanska Spahija, scientifique non-médecin
Dr Yvan Pelletier, scientifique médecin
Dr Marcio Stülmer, scientifique médecin



Chantal Lambert

2 juillet 2015

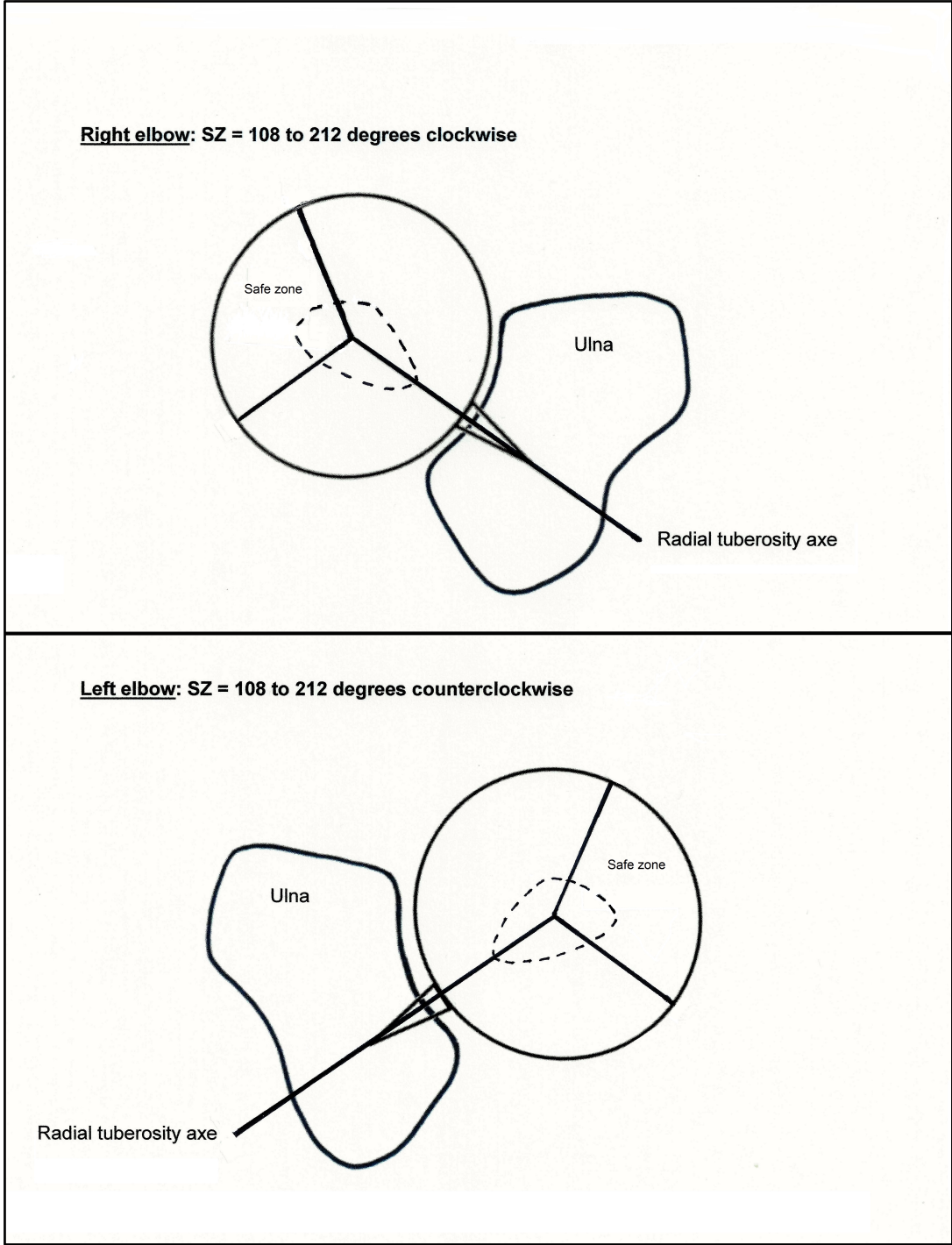
Date

N.B. : Le Comité d'éthique de la recherche de l'HSCM poursuit ses activités en accord avec *Les bonnes pratiques cliniques (Santé Canada)* et tous les règlements applicables

- La composition de ce comité d'éthique pour la recherche satisfait aux exigences pertinentes prévues dans le titre 5 de la partie C du *Règlement sur les aliments et drogues*;
- Le comité d'éthique pour la recherche exerce ses activités d'une manière conforme aux Bonnes pratiques cliniques;
- Le comité d'éthique de la recherche a examiné et approuvé le formulaire de consentement éclairé et le protocole pour l'essai qui sera mené par le chercheur qualifié susmentionné au lieu d'essai indiqué. L'approbation et les opinions du présent comité ont été consignées par écrit.

Cette approbation est valable pour une période d'un an seulement. Une demande de renouvellement doit être faite après cette période.

Annexe 2 : Acétate applicable sur la vue axiale d'une TACO de la tête radiale.



Annexe 3 : Questionnaire Quick DASH

1

Quick DASH					
Veuillez évaluer vos possibilités d'effectuer les activités suivantes au cours des 7 derniers jours en entourant le chiffre placé sous la réponse appropriée					
	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1.	Dévisser un couvercle serré ou neuf				
	1	2	3	4	5
2.	Effectuer des tâches ménagères lourdes (nettoyage des sols ou des murs)				
	1	2	3	4	5
3.	Porter des sacs de provisions ou une mallette				
	1	2	3	4	5
4.	Se laver le dos				
	1	2	3	4	5
5.	Couper la nourriture avec un couteau				
	1	2	3	4	5
6.	Activités de loisir nécessitant une certaine force ou avec des chocs au niveau de l'épaule du bras ou de la main. (bricolage, tennis, golf, etc..)				
	1	2	3	4	5
	Pas du tout	Légèrement	Moyennement	Beaucoup	Extrêmement
7.	Pendant les 7 derniers jours, à quel point votre épaule, votre bras ou votre main vous a-t-elle gêné dans vos relations avec votre famille, vos amis ou vos voisins ? (entourez une seule réponse)				
	1	2	3	4	5
	Pas du tout limité	Légèrement limité	Moyennement limité	Très limité	Incapable
8.	Avez-vous été limité dans votre travail ou une de vos activités quotidiennes habituelles en raison de problèmes à votre épaule, votre bras ou votre main?				
	1	2	3	4	5
	Aucune	Légère	Moyenne	Importante	Extrême
Veuillez évaluer la sévérité des symptômes suivants durant les 7 derniers jours. (entourez une réponse sur chacune des lignes)					
9.	Douleur de l'épaule, du bras ou de la main				
	1	2	3	4	5
10.	Picotements ou fourmillements douloureux de l'épaule, du bras ou de la main				
	1	2	3	4	5
	Pas du tout perturbé	Un peu perturbé	Moyennement perturbé	Très perturbé	Tellement perturbé que je ne peux pas dormir
11.	Pendant les 7 derniers jours, votre sommeil a-t-il été perturbé par une douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ? (entourez une seule réponse)				
	1	2	3	4	5

Le score QuickDASH n'est pas valable s'il y a plus d'une réponse manquante.

Calcul du score du QuickDASH = ([somme des n réponses] - 1) X 25, où n est égal au nombre de réponses.

MODULE PROFESSIONNEL (OPTIONNEL)

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **au cours de votre travail (y compris les travaux ménagers s'il s'agit de votre activité principale)**.

Précisez la nature de votre travail/métier : _____

Je ne travaille pas (Vous pouvez sauter cette partie du questionnaire)

Entourez la réponse qui décrit le plus précisément vos possibilités durant les 7 derniers jours.

Avez-vous eu des difficultés :	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1. Pour travailler en utilisant votre technique habituelle ?	1	2	3	4	5
2. Pour travailler comme d'habitude à cause de la douleur de votre épaule, de votre bras ou de votre main ?	1	2	3	4	5
3. Pour travailler aussi bien que vous le souhaitez ?	1	2	3	4	5
4. Pour passer le temps habituellement consacré à votre travail ?	1	2	3	4	5

MODULE SPORTS/ACTIVITES ARTISTIQUES (OPTIONNEL)

Les questions suivantes concernent la gêne occasionnée par votre épaule, votre bras ou votre main **lorsque vous jouez d'un instrument ou que vous pratiquez un sport ou les deux**. Si vous pratiquez plusieurs sports ou plusieurs instruments (ou les deux), vous êtes priés de répondre en fonction de l'activité qui est la plus importante pour vous.

Indiquez le sport ou l'instrument qui est le plus important pour vous : _____

Je ne pratique aucun sport ni aucun instrument. (Vous pouvez sauter cette partie du questionnaire)

Entourez 1 seule réponse par ligne, considérant vos possibilités durant les 7 derniers jours.

Avez-vous eu des difficultés :	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté importante	Impossible
1. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument avec votre technique habituelle ?	1	2	3	4	5
2. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument à cause des douleurs de votre épaule, de votre bras ou de votre main ?	1	2	3	4	5
3. Pour pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument aussi bien que vous le souhaitez ?	1	2	3	4	5
4. Pour passer le temps habituel à pratiquer votre sport ou jouer de votre instrument ?	1	2	3	4	5

Calcul du score pour les modules optionnels : Additionner les valeurs obtenues pour chaque réponse ; diviser par 4 (nombre de réponses) ; soustraire 1 ; multiplier par 25

Le score n'est valable pour les modules optionnels qu'en l'absence de réponse manquante.

Annexe 4 : Questionnaire Patient Related Elbow Evaluation

Patient Related Elbow Evaluation version française

Les questions ci-dessous permettront de mesurer les difficultés causées par votre coude au cours de la dernière semaine. Vous devez évaluer les symptômes ressentis au coude en moyenne au cours de la dernière semaine sur une échelle de 0 (aucune douleur) à 10 (douleur maximale). Si vous n'avez pas pratiqué l'activité en question au cours de la dernière semaine, veuillez faire une estimation de la difficulté qu'elle pourrait présenter.

1. DOULEUR

Évaluez le niveau de douleur moyen de votre coude durant la semaine dernière en encadrant le chiffre qui décrit le mieux votre douleur sur une échelle de 1 à 10. Un zéro (0) veut dire que vous n'avez ressenti aucune douleur et un dix (10) représente la pire douleur que vous n'avez jamais éprouvée.

ÉVALUEZ VOTRE DOULEUR

	Aucune										Pire douleur
1. Quand elle est maximale	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Au repos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. En soulevant un objet lourd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4. En effectuant une tâche avec mouvements répétitifs du coude	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

	Jamais										Toujours
5. À quelle fréquence avez-vous de la douleur	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1

Patient Related Elbow Evaluation version française

2. FONCTION

A. ACTIVITÉS SPÉCIFIQUES

Évaluez le degré de difficulté que vous avez éprouvé pour effectuer chacune des tâches énumérées ci-dessous, au cours de la dernière semaine, en encadrant le chiffre qui décrit le mieux vos difficultés sur une échelle de 0 à 10. Un zéro (0) veut dire que vous n'avez éprouvé aucune difficulté et un dix (10) veut dire qu'il était tellement difficile que vous étiez incapable de le faire.

ÉVALUEZ VOTRE DIFFICULTÉ À

	Aucune										Incapable
6. Coiffer mes cheveux	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7. Manger avec une fourchette ou une cuillère	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. Tirer un objet lourd	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9. Utiliser mon bras pour me lever d'une chaise	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10. Lancer un petit objet, comme une balle de tennis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11. Utiliser un téléphone	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12. Boutonner le devant de ma chemise	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13. Laver mon assiette opposée	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14. Attacher mes souliers	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15. Tourner la poignée et ouvrir la porte	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16. Transporter un objet de 10 lb (5 kg) avec mon bras le long du corps	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

B. ACTIVITÉS HABITUELLES

Évaluez le degré de difficulté éprouvé en effectuant vos activités habituelles dans chaque catégorie énumérées ci-dessous, au cours de la dernière semaine, en encadrant le chiffre qui décrit le mieux vos difficultés sur une échelle de 0 à 10. Par activités habituelles, nous entendons les activités que vous pratiquez avant d'avoir des problèmes avec votre coude. Un zéro (0) veut dire que vous n'avez eu aucune difficulté et un dix (10) veut dire que c'était tellement difficile que vous n'avez réussi à faire aucune de vos activités habituelles.


ÉVALUEZ VOTRE DIFFICULTÉ À

	Aucune										Incapable
Soins personnels (s'habiller, se laver)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tâches ménagères (nettoyer, ranger)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Emploi (journée typique de travail/ d'activité)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Activités de loisirs	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

COMMENTAIRES :

2

Annexe 5 : Questionnaire Mayo Elbow Performance Score

 HÔPITAL DU SACRÉ-CŒUR DE MONTRÉAL HSCM <i>Doués pour la vie</i>	HSCM #	Initiales du sujet	Visite date
	____/____/____	____ - ____ - ____	____ / ____ / ____ dd mm aa

MAYO ELBOW PERFORMANCE SCORE (MEPS)

FRANÇAIS/ ANGLAIS

DOULEUR	TOTAL _____/45	PAIN
AUCUNE	45	NONE
LÉGÈRE	30	MILD
MODÉRÉE	15	MODERATE
SÉVÈRE	0	SEVERE
ARC DE MOBILITÉ	TOTAL _____/20	RANGE OF MOTION
>100°	20	ARC>100°
DE 50° à 100°	15	ARC 50° à 100°
ARC <50°	5	ARC <50°
STABILITÉ	TOTAL _____/10	STABILITY
STABLE	10	STABLE
MODÉRÉMENT INSTABLE	5	MODERATELY UNSTABLE
INSTABLE (LAXITÉ >10°)	0	GROSSLY UNSTABLE
FONCTION	TOTAL _____/25	FUNCTION
MAIN TÊTE= SE COIFFER	5	ABLE TO COMB HAIR
MAIN BOUCHE=SE NOURRIR	5	ABLE TO FEED ONESELF
HABILLAGE	5	ABLE TO PERFORM PERSONAL HYGIENE TASKS
HYGIÈNE	5	ABLE TO ON SHIRT
CHAUSSAGE	5	ABLE TO PUT ON SHOES
TOTAL	_____/100	

