

ISSUE 114 /
FEBRUARY 2026
www.smacot.ma



ISSN: 3119-6152

الجمعية المغربية لجراحة العظام و المفاصل

Moroccan Journal Of Orthopedic Surgery and Traumatology

OFFICIAL ORGAN OF THE MOROCCAN SOCIETY OF ORTHOPEDIC AND
TRAUMATOLOGY SURGERY.



Speciale Congress SMCM

ARTICLES ORIGINAUX

- Fractures of the base of the first metacarpal : Epidemiology, treatment strategies and functional outcomes in a 10-year retrospective study
- Traitement chirurgical d'un premier épisode de luxation de l'épaule chez le sportif : Quoi de neuf ?
- L'intelligence artificielle au service de la chirurgie du membre supérieur
- Perilunate fracture-dislocations mayfield III/IV : Is systematic carpal tunnel release necessary ?
- Prise en charge des pseudarthroses aseptiques de l'humérus par décortication ostéopériostée et greffe osseuse au Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte de Dakar

CASE REPORT :

- Combination of an anterior shoulder fracture dislocation with ipsilateral humeral shaft fracture : A case report
- Traitement en un temps d'un traumatisme ouvert de l'index par plastie tendineuse et cross finger désépidermisé retourné
- Prise en charge chirurgicale d'un schwannome isolé du nerf ulnaire au niveau du coude à propos d'un cas
- Tendon transfer and distal ulnar debridement for spontaneous 4th and 5th finger extensor rupture in rheumatoid arthritis : A case report
- Lambeau du carré pronateur dans les nevromes douloureux du nerf median : A propos d'un cas

Revue SMCM 2026

Directeur de la Revue

A. Achkoun

Comité de Rédaction

H. El Haoury (Marrakech), A. Rafaoui (Casablanca), H. Ait Benali (Tanger)

Comité Scientifique et de Lecture

A. Daoudi (Oujda)

K. Rafiqi (Agadir)

A. Rafaoui (Beni-Mellal)

O. EL Adaoui (Casablanca)

O. Hamdi (Fès)

H. Ait Benali (Tanger)

A. Rajallah (Casablanca)

A. Achkoun (Marrakech)

A. Cherqaoui (Casablanca)

A. Lachkar (Beni-Mellal)

A. Belmahi (Rabat)

Directeurs Honoraires

M. Trafah

A. Messoudi

M. Rahmi

S. Bouabid

Bureau de la SMCM 2025-2027

Président

A. Daoudi (Oujda)

Vice Président

K. Rafiqi (Agadir)

Past Président

A. Rafaoui (Beni-Mellal)

Secrétaire Général

O. EL Adaoui (Casablanca)

Secrétaire Général Adjoint

O. Hamdi (Fès)

Trésorier

H. Ait Benali (Tanger)

Trésorier Adjoint

A. Rajallah (Casablanca)

Directeur de la Revue

A. Achkoun (Marrakech)

Assesseurs

A. Cherqaoui (Casablanca)

A. Lachkar (Beni-Mellal)

Adresse de la Revue

- Adresse Bureau SMACOT : 23, Avenue Bin El Ouidane Imm Errajaa Apprt N°17, Agdal – Rabat
Tél/Fax : 0537-77-98-04
GSM : +212 6 61 44 09 65 - +212 6 00 65 95 92
Email : secretariat.smcm@gmail.com



La main n'est pas un protocole

La chirurgie de la main vit un moment étrange. Nous n'avons jamais eu autant d'outils : une imagerie de plus en plus fine, des implants sophistiqués, des techniques mini-invasives, des solutions présentées comme innovantes. Et pourtant, jamais la tentation n'a été aussi forte de vouloir enfermer la main dans des protocoles, des algorithmes décisionnels ou des schémas opératoires standardisés. Mais la main ne se laisse pas faire. Elle échappe à la simplification. Elle résiste à l'idée qu'un geste parfaitement codifié suffirait, à lui seul, à garantir un bon résultat. La main n'est ni une articulation isolée ni un assemblage de structures anatomiques. Elle est le prolongement du cerveau dans le monde. Elle est intention, adaptation, finesse. Elle est nuance. C'est ce qui rend notre discipline exigeante.

En chirurgie de la main, la décision n'est jamais uniquement technique. Elle est toujours personnelle, contextuelle, parfois même profondément humaine. Restaurer une pince, une pronosupination ou une sensibilité fine, ce n'est pas seulement réparer un tendon ou stabiliser un os : c'est redonner à un patient une manière d'entrer en relation avec son environnement.

Dans cette complexité, l'anatomie fonctionnelle reste notre point d'ancrage. Toute innovation qui s'en éloigne devient fragile. La biomécanique n'est pas un luxe théorique, elle est le langage même de la main. Oublier ses subtilités, ses variations individuelles, ses compromis évolutifs, c'est s'exposer à des échecs que ni la meilleure technologie ni l'implant le plus perfectionné ne pourront rattraper.

La réflexion scientifique doit accepter cette complexité, même lorsqu'elle dérange. Publier ne suffit pas. Il faut questionner. Comparer ne suffit pas. Il faut comprendre. La chirurgie de la main n'avance pas par accumulation de techniques, mais par discernement. Les certitudes d'hier doivent pouvoir être discutées avec respect pour l'expérience, mais sans soumission aveugle à la tradition. Enfin, la transmission est sans doute notre enjeu majeur. Former un chirurgien de la main, ce n'est pas former un simple technicien, aussi habile soit-il. C'est former un clinicien capable de douter, d'analyser et d'adapter. À l'heure de la simulation, du virtuel et de l'intelligence artificielle, la vraie question n'est pas de savoir si ces outils ont leur place — ils l'ont — mais s'ils enrichissent la compréhension ou s'ils la remplacent.

Car la main ne s'apprend pas uniquement sur un écran

Dr Abdessalam ACHKOUN
Professeur d'Anatomie et de Chirurgie Orthopédique
Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech
CHU Mohammed VI

SUMMARY

EDITORIAL

ARTICLES

ORIGINAUX

- 1- Fractures of the base of the first metacarpal : Epidemiology, treatment strategies and functional outcomes in a 10-year retrospective study1-6
- 2- Traitement chirurgical d'un premier épisode de luxation de l'épaule chez le sportif : Quoi de neuf ?.....7-15
- 3- l'intelligence artificielle au service de la chirurgie du membre supérieur.....16-41
- 4- Perilunate fracture-dislocations mayfield III/IV : Is systematic carpal tunnel release necessary ?.....42-46
- 5- Prise en charge des pseudarthroses aseptiques de l'humérus par décortication ostéopériostée et greffe osseuse au Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte de Dakar.....47-53

CAS CLINIQUES

- 6- Combination of an anterior shoulder fracture dislocation with ipsilateral humeral shaft fracture : A case report..... 54-57
- 7- Traitement en un temps d'un traumatisme ouvert de l'index par plastie tendineuse et cross finger désépidermisé retourné.....58-62
- 8- Prise en charge chirurgicale d'un schwannome isolé du nerf ulnaire au niveau du coude à propos d'un cas63-67
- 9- Tendon Transfer and Distal Ulnar Debridement for Spontaneous 4th and 5th Finger Extensor Rupture in Rheumatoid Arthritis: A Case Report.....68-73
- 10- Lambeau du carré pronateur dans les nevromes douloureux du nerf median : A propos d'un cas.....74-77

ARTICLE ORIGINAL

Fractures of the base of the first metacarpal : Epidemiology, treatment strategies and functional outcomes in a 10-year retrospective study

EM. Boumediane, O. Jadioui, A. Soleh, Y. Fathelkhir, A. Said, MA. Benhima, I. Abkari

ABSTRACT

Background : Fractures of the base of the first metacarpal represent a particular challenge due to the biomechanical importance of the trapeziometacarpal (TMC) joint. Intra-articular fractures, especially Bennett and Rolando fractures, are inherently unstable and may lead to long-term functional impairment if inadequately treated.

Objective : To analyze epidemiological characteristics, fracture patterns, management modalities, complications, and functional outcomes of first metacarpal base fractures treated predominantly by percutaneous fixation in a tertiary trauma center.

Methods : A retrospective study including 100 patients treated between 2014 and 2024. Fractures were classified as Bennett, Rolando, or extra-articular. Radiological outcomes and functional results were assessed using Brazier, Nonnenmacher, and Kapandji scores.

Conflict of interest : Authors declared they have no conflict of interest.

* Service de traumatologie orthopédie B Hôpital AR-RAZZI, CHU Mohammed VI Marrakech

Results : The mean age was 30 years, with male predominance (67%). Bennett fractures were the most frequent (44%). Percutaneous pinning was performed in 99% of cases, mainly using the Iselin technique (96%). Radiological consolidation was achieved in 97% of cases at 6 weeks. Functional outcomes were excellent or good in 78% of patients. Complications were minor and mainly related to pin sites.

Conclusion : Percutaneous fixation remains a reliable and minimally invasive technique for fractures of the base of the first metacarpal, offering high consolidation rates and satisfactory functional recovery when combined with appropriate rehabilitation.

Keys Words : Fracture, Thumb, Trapeziometacarpal joint, Percutaneous pinning

INTRODUCTION

Fractures of the base of the first metacarpal account for a significant proportion of thumb injuries and predominantly affect young, active individuals exposed to high-energy trauma. Due to the unique saddle-shaped anatomy of the trapeziometacarpal (TMC) joint, these fractures are functionally critical and require precise anatomical restoration to preserve thumb opposition and pinch strength [1].

Bennett fractures correspond to partial intra-articular fractures with a volar-ulnar fragment remaining attached to the trapezium through the anterior oblique ligament, while the main metacarpal fragment is displaced by the abductor pollicis longus [2]. Rolando fractures represent comminuted intra-articular fractures with a worse prognosis due to articular surface fragmentation [3].

Several treatment options have been described, ranging from conservative management to open reduction and internal fixation (ORIF). However, percutaneous pinning remains widely used due to its minimally invasive nature, satisfactory stability, and low complication rate [4]. The objective of this study was to report epidemiological data, fracture patterns, management strategies, complications, and functional outcomes in a large retrospective series treated predominantly by percutaneous fixation

Fractures of the Base of the Fi...

MATERIALS & METHODS

1. Study Design

This was a retrospective descriptive study conducted over a 10-year period (January 2014–January 2024) in a tertiary trauma center.

2. Patient Selection

Patients aged 16 years or older with a radiologically confirmed fracture of the base of the first metacarpal and complete follow-up were included. Patients with incomplete medical records or lost to follow-up were excluded.

3. Data Collection

Collected variables included demographic characteristics, mechanism of injury, fracture type, treatment technique, postoperative complications, radiological consolidation, and functional outcomes.

4. Radiological Assessment

Standard radiographs (anteroposterior, lateral, and Kapandji views) were performed. Fractures were classified into:

1. Extra-articular fractures
2. Bennett fractures
3. Rolando fracture

5. Surgical Management

Percutaneous fixation was the primary treatment modality (99% of cases), mainly using the Iselin technique. Open reduction

and internal fixation was required in one case due to irreducible displacement.

6. Outcome Assessment

Functional outcomes were evaluated using validated scoring systems (Brazier, Nonnenmacher, Kapandji). Radiological outcomes focused on fracture consolidation, alignment, and TMC joint degeneration.

RESULTS

1. Epidemiological Characteristics

A total of 100 patients with fractures of the base of the first metacarpal were included in this study. The mean age at the time of injury was 30 years, with a range extending from late adolescence to elderly patients, reflecting a wide exposure to traumatic mechanisms. A marked male predominance was observed, with males accounting for 67% of the cohort. This sex distribution highlights the higher exposure of young men to high-energy trauma and manual activities.

Manual workers constituted a significant proportion of the study population (62%), underlining the occupational risk associated with these injuries. The dominant hand was involved in 62% of cases, and the right hand was affected in nearly three-quarters of patients. These findings emphasize the potential functional and socio-professional impact of first metacarpal base fractures, particularly in active and working populations.

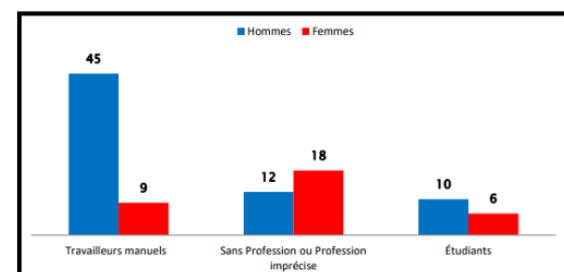


Figure 1 : Distribution by profession and sex

2. Etiology

Road traffic accidents were the leading cause of injury, accounting for 48% of

cases. These injuries were often related to high-energy mechanisms, such as motorcycle or car accidents, resulting in axial loading or forced abduction of the thumb.

Falls represented the second most common etiology (23%), occurring mainly during daily activities or work-related incidents. Assaults accounted for 14% of cases and were frequently associated with direct trauma to the hand. Work-related accidents represented 10% of cases, while sports-related injuries were less frequent.

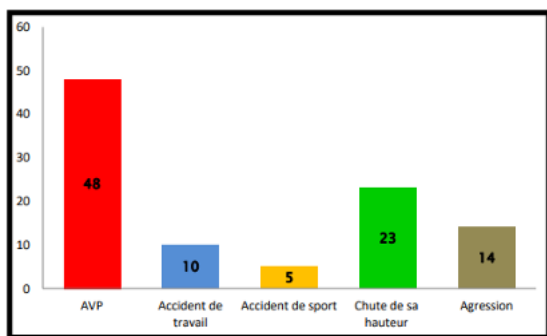


Figure 2 : Distribution of fractures according to the etiology of trauma
Overall, indirect trauma mechanisms predominated, reflecting the role of axial compression and ligamentous traction forces in the genesis of fractures at the base of the first metacarpal.

3. Fracture Patterns

Analysis of fracture patterns revealed that Bennett fractures were the most frequent, representing 44% of all cases. These fractures were characterized by intra-articular involvement with relative instability of the trapeziometacarpal joint. Extra-articular fractures accounted for 36% of cases and generally presented with more stable patterns, allowing easier reduction and fixation. Rolando fractures were observed in 20% of patients and were typically associated with comminution and more complex articular involvement, making their management technically more demanding.

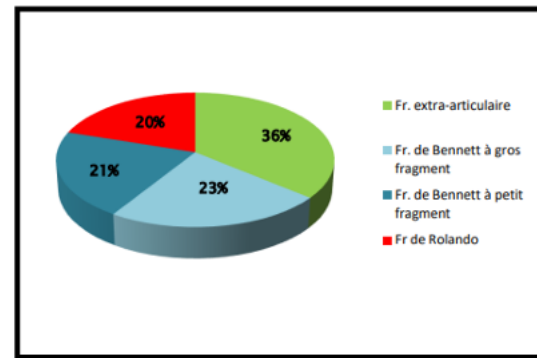


Figure 3 : Pie chart illustrating the proportion of anatomopathological types

This distribution highlights the predominance of intra-articular fractures, which require accurate reduction to preserve joint congruency and long-term thumb function.

4. Treatment and Complications

Percutaneous fixation was the main treatment modality, performed in 99% of cases. Closed reduction followed by percutaneous pinning was favored due to its minimally invasive nature and ability to achieve stable fixation while preserving soft tissues.



Figure 4 : Fluoroscopic control of a reduction achieved by external maneuver



Figure 5 : Insertion of the distal K-wire from M2 to M1



Figure 6 : Fluoroscopic control after K-wire placement

Only one patient required open reduction and internal fixation because of irreducible displacement.



Figure 7 : Treatment of an extra-articular fracture using a plate-and-screw fixation

Postoperative immobilization was systematically applied, followed by progressive rehabilitation after pin removal.

Complications were generally minor and

manageable. Pin-site infection occurred in 5% of cases and was successfully treated with local care and oral antibiotics. Skin irritation around the pin entry points was observed in 4% of patients. No major complications, such as malunion, nonunion, joint stiffness requiring surgical revision, or neurovascular injury, were reported.

5. Functional and Radiological Outcomes

Radiological evaluation demonstrated fracture consolidation in 97% of patients at 6 weeks postoperatively. Alignment of the first metacarpal base and restoration of trapeziometacarpal joint congruency were satisfactory in the vast majority of cases. Functional assessment revealed excellent or good outcomes in 78% of patients. Most patients recovered satisfactory thumb opposition, grip strength, and pinch function, allowing a return to daily and professional activities. Moderate to poor outcomes were mainly related to delayed rehabilitation, persistent pain, or reduced compliance with postoperative instructions.



Figure 8 : Images illustrating functional outcome in terms of mobility in a patient at the end of rehabilitation

These results confirm the effectiveness of percutaneous fixation in achieving both reliable radiological consolidation and favorable functional recovery in fractures of the base of the first metacarpal.

DISCUSSION

The results of this study confirm that fractures of the base of the first metacarpal

predominantly affect young, active males, as previously reported [5,7]. The high incidence of Bennett fractures observed in our series (44%) is consistent with most contemporary studies [6,8].

Percutaneous pinning has been widely advocated as a first-line treatment for Bennett fractures due to its ability to restore joint congruency while minimizing soft-tissue damage [4,9]. Several comparative studies have shown no significant difference in long-term functional outcomes between percutaneous fixation and ORIF, while ORIF is associated with higher rates of soft-tissue complications and stiffness [10,11].

Rolando fractures remain more challenging due to their comminuted nature. Although ORIF is often recommended, recent studies suggest that percutaneous fixation may still provide acceptable results in selected cases, particularly when articular congruency can be restored [12].

In our series, radiological consolidation was achieved in 97% of cases, which is comparable or superior to rates reported in recent literature (90–96%) [6,9,13]. Functional outcomes were satisfactory in the majority of patients, emphasizing the importance of early rehabilitation and patient compliance [14].

Socio-professional consequences were notable, particularly among manual workers, highlighting the economic and functional impact of these injuries, as previously underlined by Chung et al. [15].

Etudes	Excellents résultats	Bons résultats	Résultats moyens	Mauvais résultats
J. Nonnenmacher[56]	66,7%	22,2%	11,1%	0%
R. Surzur et al.[50]	61%	23%	12%	4%
M. Abdelouadoud et al.[54]	39%	23%	15%	24%
Notre série	65%	19%	10%	6%

Table 9 : Summary of the results of the different studies

CONCLUSION

Fractures of the base of the first metacarpal are complex injuries requiring precise management. Percutaneous pinning,

particularly using the Iselin technique, remains a reliable and minimally invasive option, providing high consolidation rates and good functional outcomes. Adequate rehabilitation and patient compliance are essential determinants of success.

ICONOGRAPHY



Figure 10 : Anteroposterior, lateral, and Kapandji radiographic views showing a fracture of the base of the first metacarpal



Figure 11 : Patient positioning with the upper limb placed on a lateral arm table

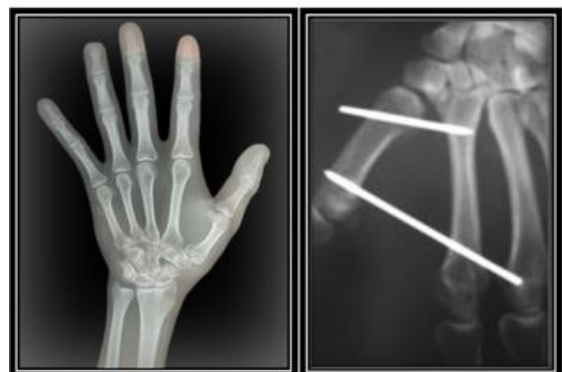


Figure 12 : Anteroposterior radiographic view before and after Iselin pinnin



Figure 13 : Follow-up radiograph after Tubiana pinning



Figure 14 : Follow-up radiograph after Wiggins

REFERENCES

1. Eaton RG, Littler JW. Ligament reconstruction for the painful thumb carpometacarpal joint. *J Bone Joint Surg Am.* 2019.
2. Bennett EH. Fractures of the metacarpal bones. *J Hand Surg.* 2020.
3. Rolando S. Fracture de la base du premier métacarpien. *Rev Chir Orthop.* 2019.
4. Soyer AD, et al. Current concepts in Bennett fracture management. *J Hand Surg Eur.* 2021.
5. Vermeulen GM, et al. Epidemiology of thumb base fractures. *Hand (N Y).* 2020.
6. Pomares G, et al. Long-term outcomes of percutaneous pinning for Bennett fractures. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2022.
7. Zhang Y, et al. Functional results after minimally invasive fixation. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023.
8. Hussain N, et al. Bennett vs Rolando fractures: treatment strategies. *Hand Clin.* 2021.
9. Rancy SK, et al. Percutaneous fixation of first metacarpal fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2024.
10. Lutz M, et al. ORIF versus percutaneous pinning in Bennett fractures. *J Hand Surg Am.* 2020.
11. Shih JT, et al. Complications after open reduction of thumb base fractures. *Injury.* 2021.
12. Henry M. Management of Rolando fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2022.
13. Wang L, et al. Radiological outcomes of thumb metacarpal base fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023.
14. Nonnenmacher J, et al. Functional evaluation after thumb injuries. *Hand Surg Rehabil.* 2019.
15. Chung KC, et al. Socioeconomic impact of hand injuries. *J Bone Joint Surg Am.* 2020



ARTICLE ORIGINAL

Traitement chirurgical d'un premier épisode de luxation de l'épaule chez le sportif : Quoi de neuf ?

K. El Khaymy, O. Fadili, Y. Bouzid, Y. El Qadiri, Y. Sbihi, O. Eladaoui, Y. El Andaloussi, M. Fadili

RESUME

L'instabilité antérieure de l'épaule, fréquente après une première luxation antéro-interne, est particulièrement courante chez les jeunes athlètes et les militaires. Bien que le traitement conservateur « traditionnel » fait d'une immobilisation coude au corps, soit souvent utilisé aux urgences, il entraîne des taux de récurrence élevés, surtout chez les jeunes malades. La chirurgie, en particulier la réparation arthroscopique de Bankart et la technique de Latarjet, est de plus en plus recommandée pour le traitement d'une primoluxation de l'épaule, notamment pour les patients jeunes et sportifs, car elle réduit significativement les risques de récurrence et permet un retour rapide à l'activité sportive. Le choix du traitement dépend de plusieurs facteurs, comme l'âge, l'activité physique, la présence de lésions osseuses et leurs degrés, et nécessite une approche personnalisée pour chaque malade afin de garantir des résultats optimaux à long terme.

INTRODUCTION

L'instabilité antérieure de l'épaule est très courante, en particulier en médecine de

sport chez les jeunes hommes, les athlètes et le personnel militaire, avec une incidence pouvant atteindre 3 % par an (1,2).

Les études biomécaniques récentes ont démontré qu'après la première luxation, la lésion du complexe articulaire modifie la biomécanique normale et augmente le risque d'instabilité récurrente, et cette perturbation de la cinématique se cumule avec les luxations subséquentes (3–5). Ces altérations biomécaniques permanentes et les effets d'instabilité multiples soutiennent les études cliniques récentes préconisant la stabilisation chirurgicale précoce afin de minimiser les récurrences et d'optimiser la fonction pour un retour rapide au sport (6,7). Malgré ça, les avis restent controversés sur la prise en charge chirurgicale d'une première luxation (8). Le but de cette revue est de discuter les facteurs de prise de décision ainsi que les stratégies thérapeutiques en cas de première luxation traumatique de l'épaule en particulier chez le sujet jeune et sportif.

Traitement conservateur ou chirurgical ? PEC non chirurgicale :

Le traitement orthopédique "classique", consistant à maintenir le bras en rotation médiale, bien qu'encore largement utilisé dans les services d'urgence et d'orthopédie, présente des limites évidentes. Même avec une bonne observance, les taux de récurrence après une primo-luxation chez les jeunes restent élevés. Les données sont claires: le taux de récurrence atteint 100 % si la première luxation survient avant 16 ans, jusqu'à 75 % avant 20 ans et jusqu'à 50 % avant 30 ans (9). Dans les cas où la récurrence ne se produit pas, Kirkley (10) a démontré que les patients continuent de souffrir de douleurs, de raideurs, d'appréhension et d'une certaine rigidité, même après un suivi prolongé, avec des épaules qui ne sont souvent pas complètement oubliées.

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec la rédaction de cet article

*Service de traumatologie-orthopédie et chirurgie réparatrice
Aile 4, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Maroc

Plusieurs travaux ont été publiés sur le traitement conservateur. Une étude de cohorte menée par Shanley et al. sur des athlètes du lycée a observé que 85 % de ceux traités de manière non opératoire après une luxation de l'épaule sont retournés à leur niveau d'activité antérieur à la blessure pendant une saison complète sans événement récurrent d'instabilité. Buss et al. ont évalué des athlètes en cours de saison pendant une période de 2 ans après une luxation antérieure de l'épaule et ont constaté que bien que un tiers d'athlètes aient souffert d'épisodes récurrents d'instabilité liée au sport, près de 90 % des athlètes sont retournés pratiquer leur sport pour une saison complète, en manquant en moyenne seulement 10,2 jours en moyenne. Cependant, plus de 50 % (16/30) de ces patients ont finalement subi une intervention chirurgicale pendant l'intersaison (11). Les travaux d'Hovelius font référence, le suivi à 25 ans de recul d'une cohorte de 257 épaules a montré que seulement 43 % des patients étaient stables au dernier recul, contre 57 % des patients qui restaient instables. Seulement 7 % des patients ont récidivé une fois et 50 % plus de deux fois. L'âge de survenue de la première luxation est un facteur de risque principal de récurrence (12).

La considération du traitement conservateur dépend en partie du degré de l'instabilité. Les lésions des tissus mous, telles que l'avulsion humérale du ligament glénohuméral ou les déchirures de la coiffe des rotateurs qui augmentent le risque d'instabilité. De plus, la perte osseuse de la glène et/ou de l'humérus, discutée ci-dessous, a des conséquences majeures sur la biomécanique et la récurrence, ce qui pousse le chirurgien à s'éloigner du traitement conservateur. Chez les patients sans ces constatations, la gestion non opératoire peut être une option envisageable, en particulier chez les patients plus âgés et moins actifs.

PEC chirurgicale :

À l'heure actuelle, aucun traitement non

chirurgical ne peut offrir des résultats aussi prometteurs que ceux de la chirurgie. La tendance actuelle s'oriente vers une augmentation des indications chirurgicales. Ce passage à une prise en charge opératoire des luxations d'épaule primaires est expliqué par les risques élevés d'instabilité récurrente associés à la gestion conservatrice par rapport au traitement chirurgical (12,13). Ce risque accru de récurrence a été démontré dans plusieurs essais contrôlés randomisés de niveau 1 comparant le traitement opératoire et non opératoire après une luxation d'épaule primaire, qui ont montré une réduction substantielle des risques de récurrence avec une stabilisation précoce et des résultats à long terme durables, une amélioration des résultats rapportés par les patients et un retour significativement meilleur aux niveaux d'activité sportive antérieurs à la blessure, en particulier dans la population jeune (14,15).

Quand opérer ?

La prise de décision entre une chirurgie précoce ou retardée doit prendre en considération deux critères : le retour à la pratique sportive versus le risque de récurrence. Dickens et al. ont constaté que, chez les patients ayant subi une d'instabilité antérieure de l'épaule en cours de saison et ayant subi une stabilisation chirurgicale retardée pendant l'intersaison, 90 % ont pu reprendre la pratique sportive lors de la saison suivante, tandis que seulement la moitié de ceux ayant poursuivi un traitement non opératoire ont pu y revenir (13). Bien que le retour à la pratique sportive puisse être élevé avec une gestion chirurgicale retardée, cela doit être mis en balance avec les risques accrus de récurrence en cas de retard. L'instabilité récurrente avec une PEC chirurgicale retardée conduit à des blessures anatomiques cumulatives, ainsi qu'à un risque accru d'échec après une stabilisation de l'épaule. Dans une étude comparant les luxations aiguës et récurrentes, Yiannakopoulos et al. ont

trouvé que le groupe récurrent présentait une plus grande perte osseuse de la glène et des lésions de Hill-Sachs, ainsi qu'un dommage capsulolabral plus avancé (16). Drain et al. ont comparé les patients subissant une stabilisation chirurgicale après une luxation unique par rapport à ceux ayant présenté deux luxations documentées, et ont trouvé que la stabilisation chirurgicale immédiate après une première luxation réduisait de manière significative le risque de luxation récurrente par rapport au groupe des deux luxations (17).

La revue de la littérature indique que la décision entre une méthode conservatrice, une chirurgie retardée ou une chirurgie immédiate après une première luxation est influencée par plusieurs facteurs, notamment les exigences fonctionnelles, le sexe, l'âge, les facteurs de risque anatomiques et les spécificités liées à la pratique sportive. Un nombre croissant de données soutient la stabilisation chirurgicale précoce, notamment pour les groupes à haut risque, tels que les jeunes hommes et les athlètes pratiquant des sports de contact à un niveau élevé. Lorsque la prise en charge chirurgicale est retenue, le choix de la procédure de stabilisation doit se concentrer sur la restauration de l'anatomie et la physiologie natives, la réduction du risque de récurrence et l'amélioration de la fonction.

Quelle technique chirurgicale ?

La chirurgie, qu'elle soit arthroscopique ou conventionnelle, permet de réduire de manière significative le risque de récurrence. Les taux de récurrence, véritablement bas, oscillant entre 3 % et 18 %, ainsi que les excellents résultats fonctionnels, plaident en faveur d'une intervention précoce dans cette indication.

Le traitement chirurgical de l'instabilité antérieure de l'épaule se divise en trois grandes catégories : la stabilisation des tissus mous par arthroscopie, la stabilisation des tissus mous à ciel ouvert et les greffes osseuses. Lorsqu'elles sont correctement

indiquées, toutes ces procédures poursuivent l'objectif de minimiser la récurrence et de permettre le retour à l'activité. Le choix de la technique chirurgicale spécifique dépend des préférences et de l'expertise du chirurgien, des facteurs de risque anatomiques et des préférences du patient. Actuellement, aux États-Unis, la stabilisation des tissus mous, qu'elle soit arthroscopique ou à ciel ouvert, est généralement privilégiée dans les cas de perte osseuse minimale de la glène. Le remplissage osseux peut être ajouté en fonction de l'étendue de la lésion de Hill-Sachs ou selon les préférences du chirurgien. Dans les cas de perte osseuse critique de la glène de plus de 20 %, les procédures de greffes osseuses sont généralement recommandées (18,19). Les options de traitement restent controversées et un grand sujet de débat entre la stabilisation à ciel ouvert et arthroscopique avec ou sans gestes osseux.

Réparation arthroscopique type Bankart (figure1)

Les techniques de réparation de Bankart se sont considérablement améliorées au cours des 90 dernières années depuis que Bankart a initialement décrit cette lésion. La réparation à ciel ouvert a été la référence pendant des années, avec des taux de succès variant de 75 % à 100% (20). Cependant, des problèmes postopératoires tels que la limitation des amplitudes de la rotation externe et l'arthrose secondaire étaient des préoccupations (21). La réparation arthroscopique de Bankart a gagné en popularité depuis qu'elle a été introduite il y a près de 30 ans grâce à l'amélioration des équipements arthroscopiques et à l'expérience accrue des chirurgiens. Comparée à la réparation à ciel ouvert de Bankart, la réparation arthroscopique de Bankart présente les avantages potentiels d'incisions cutanées plus petites, de durées chirurgicales plus courtes, de moins de douleur postopératoire, de pertes sanguines réduites, de taux de complications plus

faibles et d'une amélioration de la mobilité de l'épaule (22).

En présence de lésions osseuses concomitantes, même avec une technique chirurgicale appropriée, le risque de récurrence est particulièrement élevé lors de la réparation arthroscopique de Bankart seule, notamment les fractures de la glène et les grandes lésions de Hill-Sachs en dehors du site. Dans leur série de cas, Locher et al. ont observé une augmentation du risque de récurrence de 8,3 fois chez les patients présentant des lésions de Hill-Sachs en dehors du site traitées par réparation arthroscopique isolée de Bankart (23). Dans leur série Pathak et al. ont trouvé que le remplissage arthroscopique associée à Bankart pour le traitement de l'instabilité antérieure glénohumérale avec une lésion de Hill-Sachs engageante est associée à de bons résultats fonctionnels postopératoires de l'épaule, un faible taux d'échec (4.17%) et de complications, ainsi qu'aucune perte notable de la mobilité de l'épaule (24).

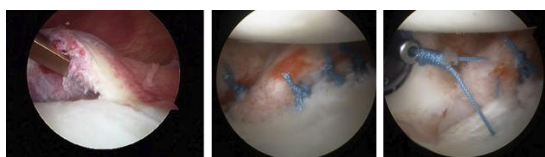


Figure 1 : Stabilisation par technique de Bankart arthroscopique

Stabilisation à foyer ouvert :

Bien que la réparation arthroscopique de Bankart soit une excellente option chirurgicale pour la plupart des patients, la réparation capsulolabrale de Bankart à ciel ouvert est historiquement considérée comme le gold standard pour l'instabilité gléno-humérale chez les patients pratiquant des sports à haut risque, avec des taux de récurrence inférieurs à 1 % lors des suivis à court et à long terme, même en présence de perte osseuse bipolaire (25,26).

Cette procédure nous offre les avantages du ciel ouvert, et nous permet un déplacement capsulaire plus important grâce à l'utilisation de nœuds extracapsulaires. La réalisation d'un split du sous-scapulaire (le sous-scapulaire est fendu plutôt que

sectionné) réduit la probabilité d'avulsion du tendon du sous-scapulaire après une la réparation d'une ténotomie du tendon du sous-scapulaire, comme cela a été décrit dans la littérature. Enfin, cette procédure est moins invasive que la technique de Latarjet car elle ne nécessite pas d'ostéotomie osseuse ni de fixation (27).

Technique de Latarjet (figure 2)

La perte osseuse glénoïdienne est un problème qui complique l'instabilité antérieure récurrente de l'épaule. La technique de Latarjet est une intervention couramment utilisée, indiquée en cas de perte osseuse glénoïdienne supérieure à 15 % et chez les patients présentant des facteurs de risque significatifs de récurrence. Elle consiste à transférer le processus coracoïde et le tendon conjoint vers le rebord antérieur de la cavité glénoïdienne. La technique restaure la stabilité antérieure de l'épaule par trois mécanismes. Tout d'abord, la stabilité dynamique est assurée par le tendon conjoint. Deuxièmement, la capsule est reconstruite avec le ligament coraco-acromial. Enfin, le bloc osseux coracoïdien restaure ou étend la morphologie de la glène et la trajectoire glénoïdienne, augmentant l'arc fonctionnel de mouvement nécessaire pour la tête humérale. Avec le transfert, le processus coracoïdien peut être positionné de manière à ce que sa face inférieure soit alignée avec la glène, c'est technique classique, ou bien il peut être tourné de 90° pour utiliser la surface inférieure comme face, augmentant ainsi sa surface fonctionnelle, technique de l'arc congruent (28). Traditionnellement, la technique de Latarjet était réalisée à ciel ouvert ; cependant, des auteurs ont récemment préconisé sa réalisation par arthroscopie (29–31). L'objectif de l'arthroscopie est un placement précis du greffon, une meilleure esthétique et une récupération fonctionnelle plus rapide en postopératoire (29).

La technique de Latarjet donne d'excellents résultats fonctionnels lors du suivi à long

terme, avec un faible taux de récurrence et de complications. Dans une revue systématique récente sur les résultats à long terme incluant 13 études cliniques avec 822 patients et 845 épaules, les résultats ont été satisfaisants dans 94% des cas, le taux global de retour au sport était de 84,9%, avec 76,3 % des patients retrouvant le même niveau de pratique. Le taux d'instabilité récurrente était de 8,5 % avec seulement 1,6 % des patients subissant une révision en raison de récurrences (32). Le taux de récurrence à long terme chez les adultes a été rapporté comme étant significativement plus élevé après une réparation arthroscopique de Bankart (25 %) par rapport à une technique de Latarjet à ciel ouvert (8 %) (33,34). Cette différence de taux d'échec pourrait être plus marquée dans une population à haut risque d'adolescents, avec des taux de récurrence rapportés après une réparation arthroscopique de Bankart allant de 10 % à 51% (35,36). Waltenspül et al. ont démontré que comme chez les adultes la technique de Latarjet à ciel ouvert devrait être fortement envisagée comme procédure primaire pour l'instabilité antérieure récurrente de l'épaule chez les adolescents vu le taux d'échec élevé du Bankart chez cette population (37).

Les avantages de la technique de Latarjet doivent être mis en balance avec les risques de complications, un taux global de complications de 16,1 % incluant la fracture du greffon, la malposition, l'arthrose et la rupture de vis et un taux de reprise de 2,6 %. Bien que ces complications aient montré avec une signification clinique limitée à court et moyen terme, d'être particulièrement problématiques dans la population jeune et athlétique, une technique chirurgicale méticuleuse et l'expertise du chirurgien sont nécessaires pour obtenir un résultat réussi (38,39).



Figure 2 : Stabilisation par la butée de Latarjet à ciel ouvert

Comment évaluer les différents traitements et leurs résultats ?

Le traitement orthopédique « traditionnel » consistant à maintenir le coude contre le corps en rotation médiale, bien qu'il soit encore largement appliqué au quotidien, présente des limites évidentes. Les taux de récurrence après une primo-luxation chez les jeunes sont élevés : la récurrence atteint 100 % si la première luxation survient avant l'âge de 16 ans, jusqu'à 75 % avant 20 ans et 50 % avant 30 ans (9). L'immobilisation en rotation latérale semble prometteuse, ayant montré une réduction importante des taux de récurrence dans les travaux dans certaines publications. Toutefois, ces études initiales étaient basées sur un recul limité. L'absence de récurrence rapportée dans les recherches préliminaires après 15 mois n'est pas durable à long terme. En effet, à deux ans de suivi, ce taux de récurrence augmente à 26 % et atteint 37 % après plus de deux ans.

La chirurgie diminue de manière significative le risque de récurrence. Les taux de récurrence, véritablement bas, varient entre 3 % et 18 % et les résultats fonctionnels sont remarquablement bons. La tendance actuelle est à une expansion des indications chirurgicales, aucun traitement non chirurgical ne parvient à offrir des résultats aussi prometteurs que ceux obtenus par la chirurgie, ce qui incite à envisager une intervention chirurgicale précoce dans ce contexte. Une enquête britannique menée en 2002 puis en 2009, a trouvé une

augmentation significative des indications chirurgicales de la primoluxation de l'épaule, en l'espace de 7 ans, le nombre de chirurgiens proposant une intervention stabilisatrice précoce a doublé, tandis que l'utilisation de l'arthroscopie a quadruplé(40). Cela reflète l'engagement des chirurgiens à améliorer la prise en charge de ces jeunes patients, chez lesquels une luxation d'épaule non traitée peut entraîner l'interruption des activités sportives, l'apparition de douleurs, d'inconfort articulaire et le développement d'un handicap fonctionnel, plus ou moins invalidant.

Dans une étude américaine récente entre 2009 et 2018, Ahmed et al. ont constaté que le nombre des réparations de Bankart à ciel ouvert a diminué, tandis que les réparations arthroscopiques de Bankart est stable. En revanche, les interventions de Latarjet ont connu une forte augmentation. La réparation arthroscopique de Bankart demeure le traitement privilégié pour l'instabilité gléno-humérale aux États-Unis, mais l'augmentation des procédures de Latarjet indique un changement, les chirurgiens prenant conscience des récurrences d'instabilité chez les patients à haut risque avec une réparation isolée de Bankart. Selon les projections pour 2030, ces tendances devraient se poursuivre, avec une augmentation des procédures arthroscopiques de Bankart (de 40 000 à 49 000 par an) et des procédures de Latarjet (de 1 370 à 2 300-4 300 par an). En revanche, les réparations de Bankart à ciel ouvert devraient continuer de diminuer (de 1 000 à 0-250 par an)(41).

CONCLUSION

La prise en charge de la primoluxation traumatique de l'épaule dépend d'une multitude de facteurs spécifiques au patient. En fin du compte, le choix du traitement approprié nécessite une compréhension du complexe traumatique du patient, des altérations de la biomécanique de l'articulation gléno-humérale et de la

manière dont les techniques chirurgicales spécifiques permettent de les restaurer, ainsi qu'une prise en compte des facteurs externes tels que le sport, l'âge et le sexe.

Bien que des travaux antérieurs aient mis en évidence des facteurs associés à une diminution de la fonction et à des taux accrus de récurrence, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour établir des algorithmes individualisés qui permettraient d'obtenir des résultats durables à long terme pour le retour à l'activité et au sport, une diminution des récurrences, ainsi que des taux faibles de complications chirurgicales.

BIBLIOGRAPHIE

1. Owens BD, Duffey ML, Nelson BJ, DeBerardino TM, Taylor DC, Mountcastle SB. The Incidence and Characteristics of Shoulder Instability at the United States Military Academy. *Am J Sports Med.* juill 2007;35(7):1168-73.
2. Waterman B, Owens BD, Tokish JM. Anterior Shoulder Instability in the Military Athlete. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach.* nov 2016;8(6):514-9.
3. Rodineau J. La première luxation antérieure de l'épaule : quelles lésions anatomiques ? *Journal de Traumatologie du Sport.* déc 2020;37(4):201-7.
4. Yoshida M, Takenaga T, Chan CK, Musahl V, Lin A, Debski RE. Altered shoulder kinematics using a new model for multiple dislocations-induced Bankart lesions. *Clinical Biomechanics.* déc 2019;70:131-6.
5. Yoshida M, Takenaga T, Chan CK, Musahl V, Debski RE, Lin A. Location and magnitude of capsular injuries varies following multiple anterior dislocations of the shoulder: Implications for surgical repair. *Journal Orthopaedic Research.* mars 2021;39(3):648-56.

6. Dickens JF, Rue JP, Cameron KL, Tokish JM, Peck KY, Allred CD, et al. Successful Return to Sport After Arthroscopic Shoulder Stabilization Versus Nonoperative Management in Contact Athletes With Anterior Shoulder Instability: A Prospective Multicenter Study. *Am J Sports Med.* sept 2017;45(11):2540-6.
7. Vaswani R, Gasbarro G, Como C, Golan E, Fourman M, Wilmot A, et al. Labral Morphology and Number of Preoperative Dislocations Are Associated With Recurrent Instability After Arthroscopic Bankart Repair. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* avr 2020;36(4):993-9.
8. Tokish JM, Kuhn JE, Ayers GD, Arciero RA, Burks RT, Dines DM, et al. Decision making in treatment after a first-time anterior glenohumeral dislocation: A Delphi approach by the Neer Circle of the American Shoulder and Elbow Surgeons. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery.* déc 2020;29(12):2429-45.
9. Khiami F, Besch S. Traitement du premier épisode de luxation antéro-médiale du sujet jeune. *Journal de Traumatologie du Sport.* déc 2011;28(4):222-6.
10. Kirkley A, Werstine R, Ratjek A, Griffin S. Prospective randomized clinical trial comparing the effectiveness of immediate arthroscopic stabilization versus immobilization and rehabilitation in first traumatic anterior dislocations of the shoulder: Long-term evaluation. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* janv 2005;21(1):55-63.
11. Buss DD, Lynch GP, Meyer CP, Huber SM, Freehill MQ. Nonoperative Management for In-Season Athletes with Anterior Shoulder Instability. *Am J Sports Med.* sept 2004;32(6):1430-3.
12. Hovelius L, Olofsson A, Sandström B, Augustini BG, Krantz L, Fredin H, et al. Nonoperative Treatment of Primary Anterior Shoulder Dislocation in Patients Forty Years of Age and Younger: A Prospective Twenty-five-Year Follow-up. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume.* mai 2008;90(5):945-52.
13. Dickens JF, Rue JP, Cameron KL, Tokish JM, Peck KY, Allred CD, et al. Successful Return to Sport After Arthroscopic Shoulder Stabilization Versus Nonoperative Management in Contact Athletes With Anterior Shoulder Instability: A Prospective Multicenter Study. *Am J Sports Med.* sept 2017;45(11):2540-6.
14. Pougès C, Hardy A, Vervoort T, Amouyel T, Duriez P, Lalanne C, et al. Arthroscopic Bankart Repair Versus Immobilization for First Episode of Anterior Shoulder Dislocation Before the Age of 25: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* avr 2021;49(5):1166-74.
15. Belk JW, Wharton BR, Houck DA, Bravman JT, Kraeutler MJ, Mayer B, et al. Shoulder Stabilization Versus Immobilization for First-Time Anterior Shoulder Dislocation: A Systematic Review and Meta-analysis of Level 1 Randomized Controlled Trials. *Am J Sports Med.* mai 2023;51(6):1634-43.
16. Yiannakopoulos CK, Mataragas E, Antonogiannakis E. A Comparison of the Spectrum of Intra-articular Lesions in Acute and Chronic Anterior Shoulder Instability. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* sept 2007;23(9):985-90.
17. Drain N, Rai A, Zheng A, Carlos N, Lesniak B, Lin A, et al. Poster 152: Arthroscopic Bankart Repair Following a Second Dislocation Results in Increased Failure Rates Compared to Immediate Repair After Following a Traumatic First Time Dislocation. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine.* 1 juill 2022;10(7_suppl5):2325967121S00713.

18. Cavalier M, Johnston TR, Tran L, Gauci MO, Boileau P. Glenoid erosion is a risk factor for recurrent instability after Hill-Sachs remplissage. *The Bone & Joint Journal*. 1 avr 2021;103-B(4):718-24.
19. Yamamoto N, Kawakami J, Hatta T, Itoi E. Effect of subcritical glenoid bone loss on activities of daily living in patients with anterior shoulder instability. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. déc 2019;105(8):1467-70.
20. An VVG, Sivakumar BS, Phan K, Trantalis J. A systematic review and meta-analysis of clinical and patient-reported outcomes following two procedures for recurrent traumatic anterior instability of the shoulder: Latarjet procedure vs. Bankart repair. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. mai 2016;25(5):853-63.
21. Owens BD, Cameron KL, Peck KY, DeBerardino TM, Nelson BJ, Taylor DC, et al. Arthroscopic Versus Open Stabilization for Anterior Shoulder Subluxations. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 1 janv 2015;3(1):2325967115571084.
22. Hendawi T, Milchteim C, Ostrander R. Bankart Repair Using Modern Arthroscopic Technique. *Arthrosc Tech*. juin 2017;6(3):e863-70.
23. Locher J, Wilken F, Beitzel K, Buchmann S, Longo UG, Denaro V, et al. Hill-Sachs Off-track Lesions as Risk Factor for Recurrence of Instability After Arthroscopic Bankart Repair. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. oct 2016;32(10):1993-9.
24. Pathak S, Haidermota MJ, H VKK, Sancheti P. Arthroscopic Bankart and Remplissage for Anteroinferior Instability With Subcritical Bone Loss Has a Low Recurrence Rate. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*. avr 2022;4(2):e695-703.
25. Amroodi MN, Jafari D, Kousari AA. Results of Open Bankart Surgery for Recurrent Anterior Shoulder Dislocation with Glenoid Bone Defect and Concomitant Hill-Sachs Lesion. *Arch Bone Jt Surg*. mai 2018;6(3):212-8.
26. Mancini MR, Arciero RA. Open Bankart Repair. *Clinics in Sports Medicine*. oct 2024;43(4):617-33.
27. Meyer AM, Hoyt BW, Adebayo T, Taylor DC, Dickens JF. Open Bankart Repair with Subscapularis Split. *JBJS Essential Surgical Techniques* [Internet]. juill 2024
28. Burkhart SS, De Beer JF, Barth JRH, Criswell T, Roberts C, Richards DP. Results of Modified Latarjet Reconstruction in Patients With Anteroinferior Instability and Significant Bone Loss. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. oct 2007;23(10):1033-41.
29. Lafosse L, Boyle S. Arthroscopic Latarjet procedure. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. mars 2010;19(2):2-12.
30. Lafosse L, Lejeune E, Bouchard A, Kakuda C, Gobeze R, Kochhar T. The Arthroscopic Latarjet Procedure for the Treatment of Anterior Shoulder Instability. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. nov 2007;23(11):1242.e1-1242.e5.
31. Metais P, Clavert P, Barth J, Boileau P, Broszka R, Nourissat G, et al. Preliminary clinical outcomes of Latarjet-Patte coracoid transfer by arthroscopy vs. open surgery: Prospective multicentre study of 390 cases. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. déc 2016;102(8):S271-6.
32. Hurley ET, Jamal MS, Ali ZS, Montgomery C, Pauzenberger L, Mullett H. Long-term outcomes of the Latarjet procedure for anterior shoulder instability: a systematic review of studies at 10-year

follow-up. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. févr 2019;28(2):e33-9.

33. Ernstbrunner L, De Nard B, Olthof M, Beeler S, Bouaicha S, Gerber C, et al. Long-term Results of the Arthroscopic Bankart Repair for Recurrent Anterior Shoulder Instability in Patients Older Than 40 Years: A Comparison With the Open Latarjet Procedure. *Am J Sports Med*. juill 2020;48(9):2090-6.

34. Ernstbrunner L, Wartmann L, Zimmermann SM, Schenk P, Gerber C, Wieser K. Long-term Results of the Open Latarjet Procedure for Recurrent Anterior Shoulder Instability in Patients Older Than 40 Years. *Am J Sports Med*. nov 2019;47(13):3057-64.

35. Thomazeau H, Langlais T, Hardy A, Curado J, Herisson O, Mouton J, et al. Long-term, Prospective, Multicenter Study of Isolated Bankart Repair for a Patient Selection Method Based on the Instability Severity Index Score. *Am J Sports Med*. avr 2019;47(5):1057-61.

36. Torrance E, Clarke CJ, Monga P, Funk L, Walton MJ. Recurrence After Arthroscopic Labral Repair for Traumatic Anterior Instability in Adolescent Rugby and Contact Athletes. *Am J Sports Med*. oct 2018;46(12):2969-74.

37. Waltenstül M, Ernstbrunner L, Ackermann J, Thiel K, Galvin JW, Wieser K. Long-Term Results and Failure Analysis of the Open Latarjet Procedure and Arthroscopic Bankart Repair in Adolescents. *J Bone Joint Surg Am*. 15 juin 2022;104(12):1046-54.

38. Shah AA, Butler RB, Romanowski J, Goel D, Karadagli D, Warner JJP. Short-Term Complications of the Latarjet Procedure. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 21 mars 2012;94(6):495-501.

39. Cho CH, Na SS, Choi BC, Kim DH.

Complications Related to Latarjet Shoulder Stabilization: A Systematic Review. *Am J Sports Med*. janv 2023;51(1):263-70.

40. Malhotra A, Freudmann MS, Hay SM. Management of traumatic anterior shoulder dislocation in the 17- to 25-year age group: a dramatic evolution of practice. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. avr 2012;21(4):545-53.

41. Ahmed AS, Gabig AM, Dawes A, Gottschalk MB, Lamplot JD, Wagner ER. Trends and projections in surgical stabilization of glenohumeral instability in the United States from 2009 to 2030: rise of the Latarjet procedure and fall of open Bankart repair. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. août 2023;32(8):e387-95.



ARTICLE ORIGINAL

L'Intelligence artificielle au service de la chirurgie du membre supérieur

Artificial intelligence in upper limb surgery

A. Lachkar, Y. El Anbari, A. Rafaoui

RESUME

La chirurgie du membre supérieur se prête bien à l'IA grâce à une imagerie standardisée, des mesures reproductibles et un suivi fonctionnel longitudinal. Cette revue de littérature récente synthétise les applications selon leur maturité : en préopératoire (triage, segmentation et mesures automatisées, planification 3D), en peropératoire (analyse vidéo des phases, navigation/assistance, sécurité) et en postopératoire (capteurs, smartphone, PROMs). Les interfaces prothétiques et le contrôle myoélectrique progressent mais restent difficiles à valider en vie réelle. L'effet sur les décisions dépend surtout de la validation externe, d'une évaluation en conditions cliniques et d'une gouvernance de déploiement et de surveillance, plus que des seules performances algorithmiques.

Mots-Clés : Intelligence artificielle ; Chirurgie du membre supérieur ; Aide à la décision ; Imagerie médicale ; Apprentissage profond.

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec la rédaction de cet article
* Faculté de Médecine et de Pharmacie de Béni Mellal - Maroc

ABSTRACT

Upper limb surgery is well suited to AI due to standardized imaging, reproducible measurements, and longitudinal functional follow-up. A 2020–2025 review (PubMed, complemented by Scopus and IEEE Xplore) summarizes applications by maturity: preoperative (radiograph triage/second reader, segmentation and automated measurements, 3D planning, prognostic models), intraoperative (video phase recognition, navigation/assistance, safety), and postoperative (wearables, smartphone monitoring, PROMs). Prosthetic interfaces and myoelectric control are advancing but remain hard to validate in real-world use. Decision impact depends mainly on external validation, clinical workflow evaluation, and robust governance for deployment and monitoring, beyond headline algorithm performance.

Keywords : Artificial intelligence; Upper limb surgery; Clinical decision support; Medical imaging; Deep learning.

INTRODUCTION

Peu de domaines réunissent avec autant d'évidence les conditions d'une intégration pertinente de l'intelligence artificielle (IA) que la chirurgie du membre supérieur [1]. Elle s'appuie sur une imagerie codifiée et largement disponible, sur des paramètres morphométriques hautement reproductibles et sur des issues fonctionnelles longitudinales, autant d'éléments qui structurent un continuum décisionnel naturellement modélisable [1]. L'essor de données à grande échelle (Big Data), conjugué à la puissance de calcul et à la maturation du Deep Learning (DL), a rapidement élargi le champ des applications, de la détection et de la segmentation à la planification et à la prédiction des résultats [2]. Parallèlement, l'IA générative fondée sur de grands modèles de langage (Large Language Models, LLM) étend le champ vers la synthèse et la documentation, au prix

d'exigences renforcées de validation et de contrôle qualité [3]. L'enjeu reste l'utilité clinique, au-delà de la seule performance algorithmique [4]. Cette mise au point a pour objectif de dresser une synthèse critique des avancées récentes de l'IA appliquée à l'ensemble du membre supérieur, d'en hiérarchiser les cas d'usage au regard de leur degré de maturité, et de fournir au chirurgien un cadre opérationnel de lecture et d'implémentation.

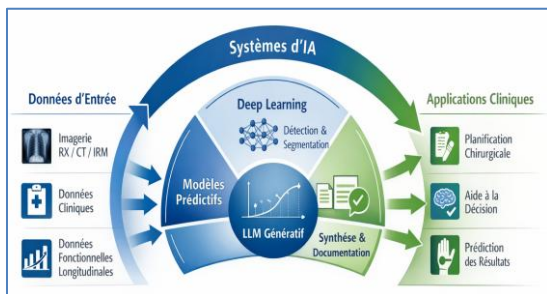


Fig 1 : Continuum décisionnel en chirurgie du membre supérieur augmenté par l'IA
L'IA EN PRÉOPÉRATOIRE

1. Analyse, triage et mesures morphométriques

En préopératoire, l'IA s'est d'abord développée là où les données sont standardisées et abondantes, surtout en radiographie traumatologique, puis s'est étendue à la TDM et à l'IRM lorsque la décision dépend de critères plus fins [5 – 7]. Pour les fractures du radius distal, les CNN atteignent un niveau compatible avec une aide à la lecture : Blüthgen [8] rapporte des performances proches des radiologues, renforcées par la pré-formation et l'optimisation sur petits jeux ; Tobler [9] intègre des conditions réalistes avec plâtre et matériel et montre l'effet majeur de la taille d'apprentissage ; Suzuki [10] obtient une performance comparable à des chirurgiens de la main sur radiographies de poignet (fine-tuning d'EfficientNet) ; Russe [11] compare classification, détection et segmentation et rappelle que de bons résultats peuvent être obtenus avec des méthodes simples, mais que la comparaison entre études reste fragile car elle dépend des références, des classes et des protocoles [11, 12].

La fracture du scaphoïde illustre l'intérêt d'une IA comme second lecteur, surtout pour les fractures occultes, dans un champ où les performances rapportées restent hétérogènes à l'échelle de la littérature [13] : Hendrix montre la faisabilité d'une détection automatisée sur radiographies standards [14] ; une approche par segmentation améliore la détection des fractures occultes au-delà des experts (gain net sur fractures occultes) [15] ; Hernáiz Ferrer, en conditions proches du réel, montre que deux logiciels commerciaux (BoneView®, RBfracture®) aident surtout dans les cas complexes nécessitant habituellement un recours au scanner [16].

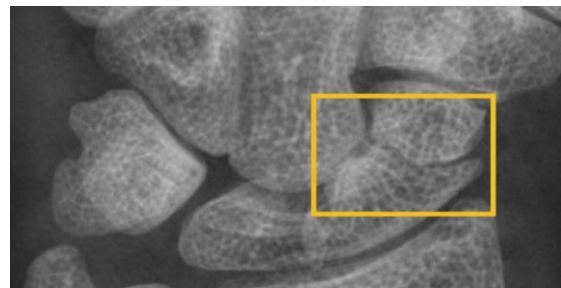


Fig 2 : Interface d'IA BoneView® d'aide à la détection des fractures (exemple : scaphoïde) ; image générée par IA

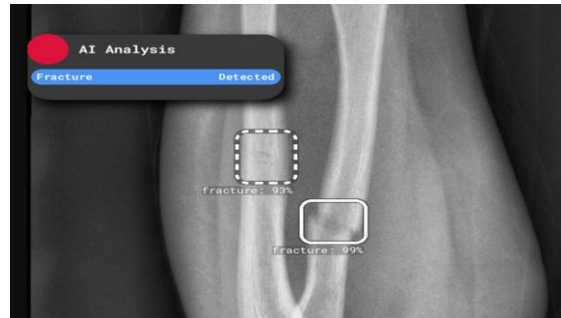


Fig 3 : Interface d'IA RBfracture® d'aide à la détection des fractures (Avant-bras) ; image générée par IA

Au-delà de la détection, l'apport le plus concret est la standardisation et l'accélération des mesures qui guident l'indication et la planification. En TDM d'épaule, une chaîne de traitement segmente l'os, repère des points anatomiques et calcule automatiquement la version et l'inclinaison glénoïdiennes, le CSA, les dimensions glénoïdiennes et des indices de subluxation [17 – 19] ; Satir [20] propose un

modèle open source chez l'arthrosique, orienté vers des mesures directement utiles au choix d'implant et au positionnement. La dépendance à la TDM reste une limite (irradiation, logistique), d'où deux voies : estimer la morphologie osseuse à partir d'IRM diagnostiques [21] et utiliser des séquences IRM dédiées comme la ZTE avec reconstruction par apprentissage profond [22]. En IRM, les travaux visent aussi le pronostic : Guo [23] propose une aide au diagnostic des ruptures du supra-épineux pour réduire l'effet de l'expérience, et la qualité musculaire évolue vers des mesures quantitatives grâce à la segmentation automatisée validée sur séries externes, permettant d'estimer volume, atrophie et infiltration graisseuse [24, 25].

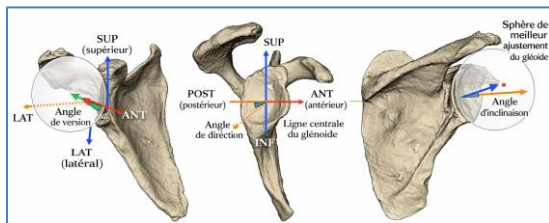


Fig 4 : Évaluation tridimensionnelle automatisée de l'orientation glénoïdienne par IA (Selon Boileau [17] ; image générée par IA à partir de [17])

Le triage est enfin un usage à bénéfice organisationnel immédiat : accélérer le rendu, sécuriser les gardes, réduire les faux négatifs et prioriser les examens les plus suspects. Momin et Cook [26] distinguent l'intégration par re-priorisation active de la liste de travail versus simple affichage d'aide, et proposent des métriques centrées sur le workflow avec une évaluation formalisée du risque de biais, cadre transposable au traumatique du membre supérieur. Sur les radiographies ostéo-articulaires, Duron [27] montre qu'une aide au repérage améliore performance et efficacité (gain de sensibilité/spécificité sans perte de vitesse de lecture) ; Bousson [28] confirme en conditions réelles des performances globalement bonnes mais hétérogènes selon l'outil, l'âge et la région anatomique, imposant une approche par zones de confiance. L'impact dépend du

scénario : Oppenheimer [29] décrit une intégration prospective au workflow (lecture initiale puis affichage IA déclenchant une relecture/correction ciblée) ; Loeffen [30] montre que le mode filet de sécurité réduit fortement les faux négatifs mais augmente les faux positifs, obligeant à définir la tolérance au sur-triage et son coût ; Prucker [31] souligne l'intérêt d'évaluer simultanément performance, efficacité (temps de lecture) et impact clinique. Enfin, Cohen [32] rappelle une limite majeure, la détection insuffisante des fractures du carpe hors scaphoïde, interdisant un usage comme règle d'exclusion sans stratégie complémentaire ; en pratique, le meilleur rendement est obtenu quand l'IA reste une aide et non un substitut [30, 31].

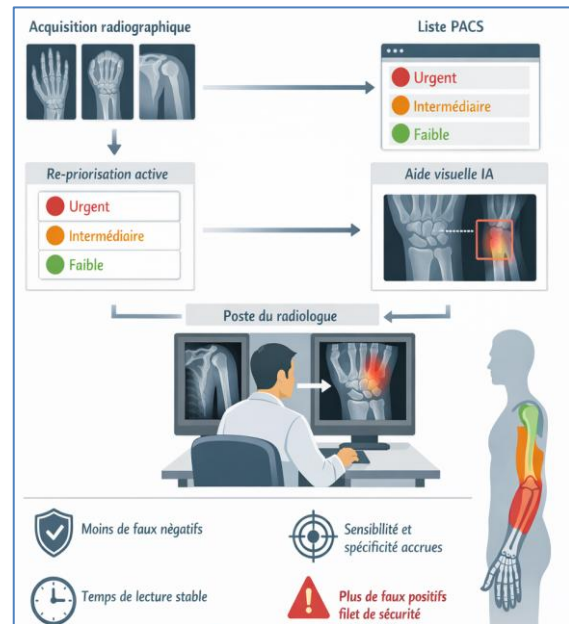


Fig 5 : Flux de travail radiologique assisté par IA

2. Planification chirurgicale préopératoire

La planification préopératoire repose rarement sur une IA isolée. Elle s'appuie sur une chaîne numérique complète. L'IA intervient surtout pour automatiser des étapes clés, notamment la segmentation et le repérage anatomique, au service des mesures morphologiques et de la planification. [17, 33, 34]. En chirurgie de l'épaule, l'enchaînement TDM → mesures → planification 3D est particulièrement adapté

et fait l'objet de revues récentes montrant une forte progression du domaine. [35, 36]. En arthroplastie, les synthèses et études comparatives rapportent un gain de précision du positionnement glénoïdien et une réduction des valeurs extrêmes/variabilité, notamment avec la planification 3D, les guides patient-spécifiques et/ou la navigation. [37 – 39].

Sur le plan pratique, la planification 3D anticipe fréquemment ce qui sera réellement implanté, ce qui aide à organiser le bloc et la gestion des implants [40, 41] ; des travaux incluant des séries multicentriques et des revues rapportent une bonne concordance entre planning et implants utilisés, en prothèse anatomique comme en inversée [40 – 42]. D'autres travaux rappellent que la précision de la planification des tailles et du choix des implants dépend d'abord de la qualité et de la reproductibilité de l'analyse morphologique (mesures/repères) [43, 44]. En peropératoire, la navigation basée sur la TDM améliore surtout l'orientation glénoïdienne, la trajectoire et les positionnements liés à l'implantation (dont les vis et l'axe/guide) [45, 46], et peut influencer un usage plus raisonné des augmentations et de stratégies de reconstruction [47]. Enfin, la réalité augmentée et la réalité mixte prolongent la planification vers l'exécution [48 – 51]. Des études expérimentales et cadavériques montrent une faisabilité et une précision prometteuses pour guider certains gestes [48 – 53]. Les dispositifs convergent vers le même objectif, réduire l'écart entre planification et geste réel, mais les niveaux de preuve restent variables selon les technologies [54 – 57].

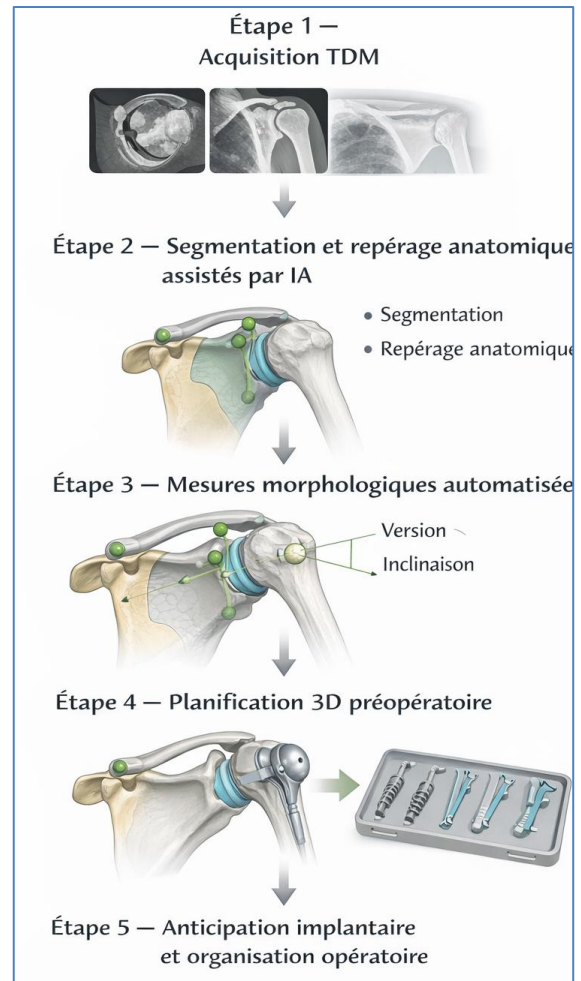


Fig 6 : Chaîne numérique de la planification préopératoire

En dehors de l'arthroplastie, la planification 3D est déjà bien codifiée pour les ostéotomies correctrices, surtout au radius distal [58–60]. Athlani [61] décrit une chaîne complète et simple à comprendre : TDM bilatérale, reconstruction 3D, simulation de l'ostéotomie, puis correction. Ce type de workflow montre clairement où l'automatisation (segmentation, appariement, registration) peut faire gagner du temps et réduire la variabilité [59,62]. Oldhoff [63] et Bodmer [64] comparent ensuite la précision selon que l'on utilise une plaque standard pré-moulée ou un implant spécifique, ce qui met en évidence les compromis entre exactitude, logistique et coût. Aussi, pour les fractures aiguës du radius distal, une revue clinique récente portant sur 718 cas [65] souligne que les techniques 3D assistées peuvent réduire certains paramètres opératoires comme le

temps et la fluoroscopie, mais que la démonstration d'un bénéfice fonctionnel robuste reste limitée, ce qui impose une lecture critique et pragmatique.

3. Prédire pour mieux décider

Prédiction de complications

Le passage au pronostic ne cherche pas d'abord à « battre un score » algorithmique, mais à produire un risque individuel réellement exploitable pour anticiper, informer et organiser (et donc à juger à la fois la discrimination et la calibration) [66]. Dans l'arthroplastie d'épaule par exemple, plusieurs équipes se sont appuyées sur de grandes bases de données pour prédire les complications et les réadmissions à court terme : Devana et al. [67] ont entraîné plusieurs modèles (dont XGBoost) pour estimer le risque de complication majeure ou de réadmission à 30 jours après prothèse inversée, en intégrant de nombreuses variables cliniques et en identifiant des facteurs contributifs (comorbidités, dénutrition, antécédents d'implant). Dans une logique plus « système », Powell et al. [68] se placent sur une fenêtre plus proche des enjeux de suivi et de coût en visant des complications à 180 jours, une durée de séjour prolongée et des échecs mécaniques après arthroplastie d'épaule. Sur des questions plus ciblées, Parmigiani et al. [69] se concentrent sur les glènes B2–B3, avec l'idée que la morphologie et les facteurs radiographiques peuvent enrichir la prédiction des complications. Enfin, à plus long terme, Macken [70] a proposé un protocole de modèle pour prédire le descellement aseptique glénoïdien après prothèse anatomique, en s'appuyant sur une grande base internationale, point crucial car l'issue est rare, tardive et très sensible aux définitions retenues. En parallèle, d'autres travaux confirment la faisabilité de la prédiction des complications à court terme après arthroplastie d'épaule dans des cohortes de validation [71]. D'autre part, dans le membre supérieur traumatique, l'enjeu est souvent de sélectionner le bon parcours : Hornung et al. [72] ont développé un modèle pour repérer des patients « non-

sûrs » pour une prise en charge ambulatoire lors d'une ostéosynthèse de fracture du radius distal, avec un positionnement pragmatique orienté sécurité et organisation. Pour les complications de consolidation et de pseudarthrose au carpe, des approches décisionnelles émergent : Tümen et al. [73] entraînent un modèle de deep learning sur radiographies afin d'estimer la probabilité de consolidation après reprise de pseudarthrose du scaphoïde, avec une logique directement actionnable (opérer, quand, pour qui). Dans ce champ, l'exigence est aussi de mieux standardiser le reporting et l'évaluation du risque de biais des modèles (notamment en IA), via des cadres dédiés [66, 74].

Prédiction des résultats fonctionnels

Ici, on ne cherche pas seulement à dire « fracture : oui/non », mais à prévoir une trajectoire de récupération : douleur, mobilité, scores fonctionnels, et parfois retour au sport. Dans cette perspective, après réparation de la coiffe, Stojanov et al. [75] proposent une mise à jour d'un modèle pour estimer le risque de raideur postopératoire. Leur point clé n'est pas un chiffre technique, mais quelque chose de très concret : si le modèle annonce un risque donné chez un patient, cette probabilité doit être fiable. Dans le même champ, plusieurs travaux visent soit des issues plus concrètes (comme la re-rupture). Ainsi, Cho [76] dans son étude récente a réussi à modéliser le risque de re-rupture après réparation arthroscopique à partir d'images peropératoires. À l'inverse, Turcotte et al. [77] se placent plus près de la réalité de la consultation ; ils cherchent à prédire qui atteindra une amélioration cliniquement significative, c'est-à-dire l'atteinte d'un MCID (minimal clinically important difference) sur un score rapporté par le patient. Potty et al. [78] illustrent aussi cette tendance : ils proposent de prédire des scores ASES postopératoires à partir de facteurs préopératoires. Aussi, en arthroplastie d'épaule, Schneller et al. [79] se focalisent sur un résultat souvent décisif pour la satisfaction mais moins modélisé que la « fonction » : la douleur postopératoire après

prothèse inversée, prédite par deep learning. Kunze et al. [80] abordent ensuite l'idée clé « qui s'améliore vraiment de façon substantielle » après arthroplastie, avec un impact direct sur la sélection prothétique (anatomique vs inversée) et le conseil préopératoire. Enfin, ces trajectoires peuvent être nourries par des données de vie réelle : Braun et al. [81] montrent la faisabilité d'utiliser des données d'activité issues de capteurs (wearables) pour prédire la récupération fonctionnelle après blessure musculosquelettique, ouvrant une voie très transposable au suivi du membre supérieur.

Aide à l'indication : « Qui bénéficie de quoi »

L'aide à l'indication thérapeutique constitue l'usage le plus sensible de l'IA en chirurgie du membre supérieur car il touche directement la décision thérapeutique. Dans la fracture du radius distal, Lim et al. [82] proposent un modèle hybride qui combine radiographies et variables cliniques pour prédire la nécessité d'un traitement chirurgical. Certains travaux s'intéressent à des sous-groupes d'indications (par exemple fractures isolées chez des patients <60 ans) et entraînent des CNN à prédire « chirurgie vs non-chirurgie » à partir de clichés de radiographie standard [83]. En pathologie tendineuse, Do et al. [84] utilisent l'apprentissage pour prédire la réparabilité des ruptures de coiffe. En arthroplastie d'épaule, certaines équipes vont jusqu'à mesurer l'effet d'une recommandation algorithmique sur la décision des chirurgiens, ce qui rapproche ces travaux d'un véritable test d'implémentation clinique [66, 85].

L'IA EN PEROPÉRATOIRE

1. Vision peropératoire

Au bloc, l'IA exploite d'abord ce que la colonne vidéo enregistre déjà : le flux arthroscopique. L'enjeu immédiat est simple : reconnaître en temps réel « où l'on est » dans l'intervention (phase/étape, progression), afin de préparer une assistance contextuelle (information, organisation, check-list augmentée, rappels) plutôt que de

« piloter » directement la main du chirurgien [86, 87]. Sur le plan méthodologique, cette approche vient du *surgical process modeling* et de l'analyse du workflow sur vidéo, avec des démonstrations solides de faisabilité ; Guédon et al. [88] montrent qu'on peut extraire automatiquement, à partir de vidéos endoscopiques, des informations sur le déroulement opératoire (phases, et même outils), utiles notamment pour objectiver la progression. Les revues récentes structurent bien les tâches, les jeux de données et les limites. En arthroscopie, le champ devient plus spécifique : contraintes visuelles (champ étroit, occlusions, distorsions) et enchaînements techniques propres au geste, d'où l'émergence de jeux de données et de modèles dédiés ; ArthroPhase illustre ce basculement vers des ressources réellement adaptées à l'arthroscopie pour la reconnaissance des phases [89]. À côté du « quoi/quelle étape », d'autres briques per-opératoires apparaissent : la qualité du champ peut être quantifiée, et Tran et al. [90] proposent par exemple un modèle qui classe la clarté visuelle en arthroscopie d'épaule en la reliant au saignement, pour objectiver un facteur qui conditionne le geste et le temps opératoire. Enfin, la vision per-opératoire sert aussi à évaluer le geste : en réparation arthroscopique de coiffe, Demirel et al. [91] combinent deep learning et métriques quantitatives pour distinguer novices et experts ; ce n'est pas encore du guidage direct, mais c'est une étape vers des systèmes capables de repérer des séquences « à risque » et de standardiser l'évaluation et la formation.

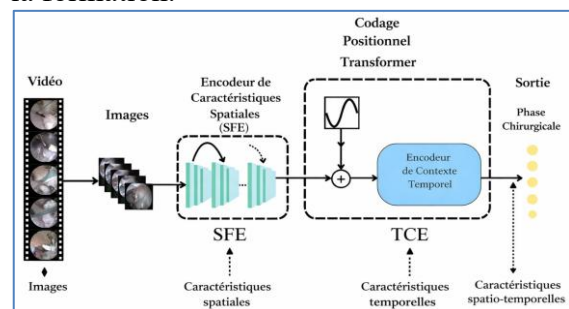


Fig 7 : Analyse des images arthroscopiques et de leur succession pour reconnaître les phases chirurgicales (à partir de [89] ; image

générée par IA)

2. Navigation et robotique

En membre supérieur, la navigation est surtout mature en arthroplastie d'épaule, parce que la précision glénoïdienne est critique. Les revues récentes montrent un signal assez constant : la navigation améliore la précision chirurgicale. La revue systématique de Garcia et al. [37] analyse précisément l'exactitude de la navigation pour la base glénoïdienne et discute le temps opératoire et la sélection des implants. Côté données « terrain », plusieurs études s'intéressent à l'apprentissage et à l'utilité réelle. Wang et al. [92] décrivent la courbe d'apprentissage rapide du chirurgien utilisant la navigation pour l'implant glénoïdien en prothèse inversée. Une cohorte comparative récente suggère un bénéfice particulièrement net dans les glènes difficiles : Cunningham et al. rapportent une amélioration d'exactitude, surtout en cas d'usure sévère [93]. Toutefois, la robotique reste plus limitée en épaule que dans le genou ou la hanche. Elle progresse surtout via des systèmes de préparation osseuse assistée (préparation de la position glénoïdienne) [94].

3. Checklists augmentées et sécurité peropératoire

L'objectif, ici, n'est pas d'obtenir « un bon score informatique », mais de réduire des problèmes évitables au bloc et de rendre la sécurité mesurable. Les checklists augmentées se résument en trois idées simples : aider l'équipe à faire la checklist au bon moment et complètement, enregistrer ce qui se passe au bloc (audio, vidéo, données de salle, déroulement) pour retrouver plus facilement les incidents et les facteurs humains, et repérer quand le déroulement s'écarte du scénario habituel (retards, omissions, interruptions) afin d'identifier plus tôt les dérives de processus [95, 96]. Un exemple concret est l'outil de vérification péri-opératoire assisté par IA développé dernièrement par une équipe chinoise [95], adossé à la checklist avec une nette amélioration de la réalisation et de la

standardisation des vérifications chirurgicales, tout en augmentant la satisfaction des professionnels impliqués au bloc opératoire.

4. Réalité augmentée et systèmes intégrés

La réalité augmentée (RA) et la réalité mixte (RM) cherchent à projeter le plan au bon endroit, au bon moment. L'épaule constitue un terrain très avancé, parce que la cible est géométrique. Les premières preuves ont été expérimentales : Schlueter-Brust et al. [48] ont développé l'assistance en réalité augmentée pour le placement de la broche glénoïdienne, avec une logique de réduction des erreurs de trajectoire. Les validations se sont raffinées par la suite ; Sanchez-Sotelo et al. ont évalué la précision de la réalité mixte pour le placement de la broche sur pièces cadavériques avec des résultats très prometteurs [50]. Dans le même sens, Kopriva et al. [97] ont rapporté une nette amélioration de l'exécution du geste glénoïdien grâce à la réalité mixte. D'autres travaux très récents abordent un point pratique majeur : le glissement de recalage (perte progressive d'alignement). Frantz et al. étudient une guidance par casque avec correction adaptative de ce glissement [53]. Ceci renforce la place de la RA/RM dans la fiabilisation du guidage peropératoire, la standardisation des gestes critiques et le soutien de l'apprentissage [53, 98].

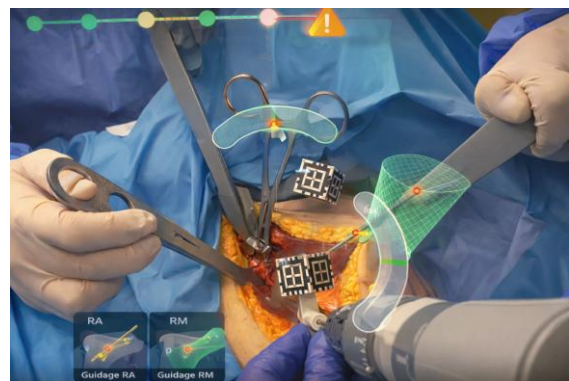


Fig 8 : Modèle de chirurgie de l'épaule avec réalité mixte / augmentée (image générée par IA)

L'IA EN POSTOPÉRATOIRE

1. Monitoring intelligent connecté

Le suivi postopératoire « augmenté » repose sur deux idées simples : objectiver ce que l'on mesure mal en consultation (activité réelle, usage du membre) et rendre mesurable ce qui est habituellement intermittent (douleur, amplitude, exercices, adhérence) [99, 100]. En chirurgie de l'épaule, l'actigraphie et les capteurs inertiels portés au poignet ou au bras ont montré qu'ils pouvaient quantifier, en vie réelle, la récupération d'activité après prothèse (dont la prothèse inversée) et suivre son évolution, avec des corrélations variables selon les mesures cliniques et les PROMs classiques [101, 102]. Les revues récentes dédiées à la rééducation de l'épaule à domicile décrivent un écosystème désormais large : capteurs inertiels, montres, plateformes d'exercices, et modèles capables de reconnaître automatiquement des exercices et de décrire la qualité d'exécution [100 – 105]. Sur la mesure de mobilité, l'offre « smartphone » progresse parce qu'elle est accessible au patient. Une synthèse méthodique des outils numériques de mesure d'amplitude de l'épaule conclut que plusieurs dispositifs et applications sont globalement fiables, mais que les performances dépendent fortement de la définition anatomique, de la position et du standard de référence utilisé [106]. Des études de validation confirment, sur des conditions standardisées, une bonne validité et reproductibilité pour l'auto-mesure de l'amplitude active par application mobile, ce qui rend plausible un suivi longitudinal en dehors de la consultation [107 – 109]. Enfin, les approches sans marqueurs basées sur la pose vidéo et le deep learning deviennent un candidat crédible pour une mesure plus clinique de la cinématique de l'épaule, tout en gardant des limites d'exactitude et de standardisation [110 – 113].

2. Modèles de suivi postopératoire

Le point clé, après chirurgie, est la temporalité [114 – 116] ; les complications fonctionnelles (raideur, retard de récupération) se manifestent souvent avant qu'un examen paraclinique ne soit

déclenché, alors que la réparation est plus simple quand elle est précoce. Pour la raideur après réparation de coiffe, l'axe de recherche actuel se base sur l'émergence de modèles pronostiques formalisés [117, 118]. Le groupe ARCR_Pred a publié un protocole visant à développer des modèles individuels basés sur données cliniques et PROMs [117]. Plus récemment, Stojanov et al. [75] ont actualisé un modèle de prédiction de raideur postopératoire après réparation arthroscopique de coiffe ; ce modèle rapproche le « risque » d'un « outil de suivi structuré », à condition de discuter la calibration et la transférabilité de ces algorithmes. En parallèle, Takahashi et al. [119] rappellent un message clinique utile : une raideur précoce à 3 mois est associée à des scores initiaux plus bas et prédit la raideur à 12 mois, ce qui donne une fenêtre logique pour déclencher un suivi intensifié avant la survenue et l'installation d'une raideur invalidante.

Quant à l'adhérence et l'encadrement, les outils conversationnels entrent dans le suivi post-épaule ; dans cette optique Blasco et al. [120] rapportent un essai pilote randomisé d'assistant virtuel guidant la rééducation précoce après prothèse inversée, avec un signal sur la conformité et certains résultats patient. Les revues sur le suivi à distance des patients (le concept du « remote patient monitoring »), y compris en rééducation de l'épaule, indiquent que les données restent hétérogènes et souvent de qualité limitée, mais insistent sur le bénéfice organisationnel (continuité du suivi, coordination des soins), à condition de définir clairement quelles alertes doivent déclencher une action clinique [121 – 123].

LES PROTHÈSES BIONIQUES CONNECTÉES

1. Décodage EMG et IA

Le contrôle myoélectrique repose sur un principe simple. On capte l'activité musculaire résiduelle (EMG), puis on la traduit en commandes. L'IA sert surtout à stabiliser cette traduction quand la vie réelle dégrade le signal (sueur, fatigue,

déplacement des électrodes, changement de position du membre) et à limiter la charge de recalibration imposée à l'utilisateur [124 – 127]. Les revues récentes montrent une migration nette vers des approches d'apprentissage plus robustes et vers des capteurs plus riches [126 – 128].

Deux axes structurent les progrès actuels. Le premier se concentre sur l'enrichissement de l'interface EMG ; l'EMG haute densité (HD-EMG) permet de capter une cartographie spatiale des activations, au lieu de quelques canaux [129 – 131]. Cela augmente le nombre de gestes distinguables et peut améliorer la stabilité, mais au prix de contraintes fortes (placement, bruit, électronique embarquée, calibration) que la littérature détaille avec les solutions algorithmiques « spatiales » associées [128, 132]. Le deuxième axe tend à diversifier les modalités du contrôle myoélectrique. La sonomyographie, fondée sur l'échographie, mesure la déformation musculaire et non le courant électrique [133, 134] ; elle est moins sensible à certains artefacts de surface et ouvre des signaux complémentaires pour le contrôle de main prothétique.

L'autre pilier est le retour sensoriel [135 – 137]. Sans feedback, le contrôle reste à l'aveugle. Cela augmente l'effort mental et peut dégrader la dextérité fine [135, 137, 138]. Les stratégies se répartissent en deux familles : la substitution non invasive (vibrotactile ou électrotactile), et la stimulation plus directe du système nerveux via électrodes implantées [135 - 137]. Les revues de Sensinger et al. [135] et de Roche et al. [136] résument bien les gains attendus (meilleure discrimination de force, meilleure manipulation, meilleure incorporation) et les limites récurrentes (hétérogénéité des tâches, difficultés de preuve en vie réelle, tolérance variable des stimulations cutanées). Sur l'invasif, une étude clinique de référence souvent citée est celle de Petrini et al. [139] utilisant une stimulation intraneurale pour restituer des sensations exploitables sur des durées prolongées ; elle dépasse le cadre d'un démonstrateur de courte durée et rapporte une faisabilité clinique documentée sur plusieurs mois.

Enfin, l'ostéo-intégration associée à des interfaces neurales est un champ en accélération, surtout en trans-huméral, avec l'idée d'une commande plus intuitive et d'une connexion plus stable ; des synthèses récentes cadrent les bénéfices, mais aussi les risques propres (notamment infectieux) et les contraintes logistiques [140].



Fig 9 : Prothèse bionique EsperHand® : Présentée à VivaTech 2024, il s'agit d'une main bionique contrôlée par les muscles du bras, avec une IA qui s'adapte à l'utilisateur pour améliorer la dextérité.

2. Du laboratoire au patient :

Progrès rapides, preuves difficiles

Le rythme s'est accéléré parce que plusieurs verrous ont sauté en même temps. D'un côté, tout est devenu plus « portable » : capteurs plus petits, électronique plus sobre, et puissance de calcul qui peut suivre le patient au quotidien plutôt que rester cantonnée au laboratoire [141, 142]. De l'autre, les algorithmes ont gagné en maturité : ils tolèrent mieux le bruit du signal, la dérive et les variations d'un jour à l'autre, ce qui rapproche enfin l'usage réel de ce qu'on observe dans des conditions contrôlées [142]. Les interfaces, elles aussi, se sont diversifiées : l'EMG haute densité apporte une information spatiale plus riche, la sonomyographie propose une autre lecture de l'intention motrice, et les systèmes hybrides cherchent à combiner ces atouts [129 – 134]. Enfin, le retour sensoriel devient plus crédible : de la substitution cutanée aux options implantées, les solutions

tendent vers des sensations plus exploitables et plus stables [143, 144]. L'ensemble converge vers une prothèse plus « bidirectionnelle » : commander et sentir.

La démonstration clinique, elle, reste difficile à verrouiller. La première raison est la variabilité des situations : niveau d'amputation, qualité des muscles résiduels, douleurs fantômes, comorbidités, usages professionnels... et donc des besoins et des capacités très différents [145, 146] ; les effectifs sont souvent faibles, et les essais demandent des durées longues pour être vraiment probants. Ensuite, les critères sont nombreux et pas toujours comparables : tests fonctionnels, temps de tâche, erreurs, satisfaction, taux d'abandon, et surtout usage réel à domicile (paramètre souvent le plus pertinent, mais aussi le plus compliqué à mesurer) [145 - 147]. Beaucoup d'études restent donc centrées au laboratoire, alors que la valeur clinique se juge dans la vraie vie : charge cognitive, adhérence, sécurité et tolérance. De plus, dès qu'on passe aux interfaces implantables, s'ajoutent des contraintes spécifiques (chirurgie, maintenance, risques) avec des exigences éthiques et méthodologiques particulièrement strictes, bien cadrées par les recommandations récentes [148, 149].

CONCLUSION

FEUILLE DE ROUTE POUR UNE IA CLINIQUE AU MAROC

Sur le terrain marocain, l'IA en imagerie ne devient réellement utile que si le « flux de données » est d'abord fiabilisé : accès constant aux examens (idéalement via PACS), export DICOM reproductible avec un minimum de standardisation (libellés, incidences, critères du diagnostic de référence). Sans ce socle, le modèle apprend du bruit, puis échoue dès que le flux change [150]. La conformité n'est pas un appendice : pour des données de santé, la Loi 09-08, son décret d'application et les formalités CNDP structurent la responsabilité du traitement, l'hébergement et, surtout, les transferts éventuels [151 – 153]. En pratique, il faut viser une anonymisation robuste pour

constituer des bases de données (enseignement / recherche / registre) et en routine, une pseudonymisation maîtrisée (table de correspondance séparée, accès restreint), en conservant seulement les variables nécessaires à l'audit des biais et des performances [151 – 153]. Pour l'imagerie, s'aligner sur les profils de confidentialité DICOM évite les « désidentifications » artisanales qui laissent fuiter des identifiants dans des tags [154].

Le déploiement doit ensuite être piloté comme un dispositif clinique : une gouvernance courte (clinique, radiologie, qualité/risques, données) qui fixe l'usage exact, valide avant déploiement, puis surveille après [150]. La validation la plus applicable est progressive : évaluation rétrospective locale, phase « silencieuse » en conditions réelles (sans influencer la décision), puis intégration limitée avant extension ; DECIDE-AI aide précisément à cadrer cette phase précoce et ses facteurs humains [4]. Comme les pratiques et les machines évoluent vite, la surveillance est non négociable : La dérive des données et du contexte d'usage est une cause fréquente de baisse de performance [155, 156]. Pour démarrer « petit mais rentable » en traumatologie du membre supérieur, les cas d'usage les plus robustes sont souvent le triage des radios de garde, la seconde lecture de sécurité quand la conclusion est négative, et l'automatisation de mesures préopératoires répétitives, avec un objectif pratique (sécurité/organisation) plutôt qu'un score académique. Enfin, dès qu'il s'agit de publier, comparer ou industrialiser, la crédibilité repose sur des standards de transparence : CLAIM (imagerie), STARD-AI (exactitude diagnostique), TRIPOD+AI / PROBAST+AI (pronostic), et SPIRIT-AI / CONSORT-AI quand l'IA devient une intervention évaluée par protocole-essai [66, 74, 157 – 160].

REFERENCES

[1] Parry D, Henderson B, Gaschen P, Ghanem D, Hernandez E, Idicula A, Hanna T, MacKay B. The implementation of

artificial intelligence in upper extremity surgery: a systematic review. *Front Artif Intell.* 2025 Sep 29;8:1621757. doi: 10.3389/frai.2025.1621757. PMID: 41089209; PMCID: PMC12515950.

[2] Zhou SK, Greenspan H, Davatzikos C, Duncan JS, van Ginneken B, Madabhushi A, Prince JL, Rueckert D, Summers RM. A review of deep learning in medical imaging: Imaging traits, technology trends, case studies with progress highlights, and future promises. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng.* 2021 May;109(5):820-838. doi: 10.1109/JPROC.2021.3054390. Epub 2021 Feb 26. PMID: 37786449; PMCID: PMC10544772.

[3] Sallam M. ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice: Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. *Healthcare (Basel).* 2023 Mar 19;11(6):887. doi: 10.3390/healthcare11060887. PMID: 36981544; PMCID: PMC10048148.

[4] Vasey B, Nagendran M, Campbell B, Clifton DA, Collins GS, Denaxas S, Denniston AK, Faes L, Geerts B, Ibrahim M, Liu X, Mateen BA, Mathur P, McCradden MD, Morgan L, Ordish J, Rogers C, Saria S, Ting DSW, Watkinson P, Weber W, Wheatstone P, McCulloch P; DECIDE-AI expert group. Reporting guideline for the early-stage clinical evaluation of decision support systems driven by artificial intelligence: DECIDE-AI. *Nat Med.* 2022 May;28(5):924-933. doi: 10.1038/s41591-022-01772-9. Epub 2022 May 18. Erratum in: *Nat Med.* 2022 Oct;28(10):2218. doi: 10.1038/s41591-022-01951-8. PMID: 35585198.

[5] Jung J, Dai J, Liu B, Wu Q. Artificial intelligence in fracture detection with different image modalities and data types: A systematic review and meta-analysis. *PLOS Digit Health.* 2024 Jan 30;3(1):e0000438. doi: 10.1371/journal.pdig.0000438. PMID: 38289965; PMCID: PMC10826962.

[6] Olczak J, Fahlberg N, Maki A, Razavian AS, Jilert A, Stark A, Sköldenberg O, Gordon M. Artificial intelligence for analyzing orthopedic trauma radiographs. *Acta Orthop.* 2017 Dec;88(6):581-586. doi: 10.1080/17453674.2017.1344459. Epub 2017 Jul 6. PMID: 28681679; PMCID: PMC5694800.

[7] Langerhuizen DWG, Janssen SJ, Mallee WH, van den Bekerom MPJ, Ring D, Kerkhoffs GMMJ, Jaarsma RL, Doornberg JN. What Are the Applications and Limitations of Artificial Intelligence for Fracture Detection and Classification in Orthopaedic Trauma Imaging? A Systematic Review. *Clin Orthop Relat Res.* 2019 Nov;477(11):2482-2491. doi: 10.1097/CORR.0000000000000848. PMID: 31283727; PMCID: PMC6903838.

[8] Blüthgen C, Becker AS, Vittoria de Martini I, Meier A, Martini K, Frauenfelder T. Detection and localization of distal radius fractures: Deep learning system versus radiologists. *Eur J Radiol.* 2020 May;126:108925. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.108925. Epub 2020 Mar 9. PMID: 32193036.

[9] Tobler P, Cyriac J, Kovacs BK, Hofmann V, Sexauer R, Paciolla F, Stieltjes B, Amsler F, Hirschmann A. AI-based detection and classification of distal radius fractures using low-effort data labeling: evaluation of applicability and effect of training set size. *Eur Radiol.* 2021 Sep;31(9):6816-6824. doi: 10.1007/s00330-021-07811-2. Epub 2021 Mar 19. PMID: 33742228; PMCID: PMC8379111.

[10] Suzuki T, Maki S, Yamazaki T, Wakita H, Toguchi Y, Horii M, Yamauchi T, Kawamura K, Aramomi M, Sugiyama H, Matsuura Y, Yamashita T, Orita S, Ohtori S. Detecting Distal Radial Fractures from Wrist Radiographs Using a Deep Convolutional Neural Network with an Accuracy Comparable to Hand Orthopedic Surgeons. *J Digit Imaging.* 2022 Feb;35(1):39-46. doi: 10.1007/s10278-021-00519-1. Epub 2021

Dec 15. PMID: 34913132; PMCID: PMC8854542.

[11] Russe MF, Rebmann P, Tran PH, Kellner E, Reisert M, Bamberg F, Kotter E, Kim S. AI-based X-ray fracture analysis of the distal radius: accuracy between representative classification, detection and segmentation deep learning models for clinical practice. *BMJ Open*. 2024 Jan 23;14(1):e076954. doi: 10.1136/bmjopen-2023-076954. PMID: 38262641; PMCID: PMC10823998.

[12] Min H, Rabi Y, Wadhawan A, Bourgeat P, Dowling J, White J, Tchernegovski A, Formanek B, Schuetz M, Mitchell G, Williamson F, Hacking C, Tetsworth K, Schmutz B. Automatic classification of distal radius fracture using a two-stage ensemble deep learning framework. *Phys Eng Sci Med*. 2023 Jun;46(2):877-886. doi: 10.1007/s13246-023-01261-4. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37103672; PMCID: PMC10209228.

[13] Kraus M, Anteby R, Konen E, Eshed I, Klang E. Artificial intelligence for X-ray scaphoid fracture detection: a systematic review and diagnostic test accuracy meta-analysis. *Eur Radiol*. 2024 Jul;34(7):4341-4351. doi: 10.1007/s00330-023-10473-x. Epub 2023 Dec 15. PMID: 38097728; PMCID: PMC11213739.

[14] Hendrix N, Scholten E, Vernhout B, Bruijnen S, Maresch B, de Jong M, Diepstraten S, Bollen S, Schalekamp S, de Rooij M, Scholtens A, Hendrix W, Samson T, Sharon Ong LL, Postma E, van Ginneken B, Rutten M. Development and Validation of a Convolutional Neural Network for Automated Detection of Scaphoid Fractures on Conventional Radiographs. *Radiol Artif Intell*. 2021 Apr 28;3(4):e200260. doi: 10.1148/ryai.2021200260. PMID: 34350413; PMCID: PMC8329964.

[15] Bützow A, Anttila TT, Haapamäki V, Ryhänen J. A novel segmentation-based deep learning model for enhanced scaphoid fracture detection. *Eur J Radiol*. 2025

Oct;191:112309. doi: 10.1016/j.ejrad.2025.112309. Epub 2025 Jul 9. PMID: 40652603.

[16] Hernáiz Ferrer AI, Bortolotto C, Carone L, Preda EM, Fichera C, Lionetti A, Gambini G, Fresi E, Grassi FA, Preda L. Application of artificial intelligence in the diagnosis of scaphoid fractures: impact of automated detection of scaphoid fractures in a real-life study. *Radiol Med*. 2025 Oct;130(10):1633-1641. doi: 10.1007/s11547-025-02028-5. Epub 2025 Aug 23. PMID: 40848226; PMCID: PMC12546487.

[17] Boileau P, Cheval D, Gauci MO, Holzer N, Chaoui J, Walch G. Automated Three-Dimensional Measurement of Glenoid Version and Inclination in Arthritic Shoulders. *J Bone Joint Surg Am*. 2018 Jan 3;100(1):57-65. doi: 10.2106/JBJS.16.01122. PMID: 29298261.

[18] Gates S, Sager B, Khazzam M. Preoperative glenoid considerations for shoulder arthroplasty: a review. *EFORT Open Rev*. 2020 Mar 2;5(3):126-137. doi: 10.1302/2058-5241.5.190011. PMID: 32296546; PMCID: PMC7144890.

[19] Sharifi A, Siebert MJ, Chhabra A. How to Measure Glenoid Bone Stock and Version and Why It Is Important: A Practical Guide. *Radiographics*. 2020 Oct;40(6):1671-1683. doi: 10.1148/rg.2020200008. PMID: 33001780.

[20] Satir OB, Eghbali P, Becce F, Goetti P, Meylan A, Rothenbühler K, Diot R, Terrier A, Büchler P. Automatic quantification of scapular and glenoid morphology from CT scans using deep learning. *Eur J Radiol*. 2024 Aug;177:111588. doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111588. Epub 2024 Jun 25. PMID: 38944907.

[21] Hess H, Oswald A, Rojas JT, Lädemann A, Zumstein MA, Gerber K. Deep learning algorithms enable MRI-based scapular morphology analysis with values

- comparable to CT-based assessments. *Sci Rep.* 2025 Jan 10;15(1):1591. doi: 10.1038/s41598-024-84107-7. PMID: 39794358; PMCID: PMC11724003.
- [22] Carretero-Gómez L, Fung M, Wiesinger F, Carl M, McKinnon G, de Arcos J, Mandava S, Arauz S, Sánchez-Lacalle E, Nagrani S, López-Alcorocho JM, Rodríguez-Íñigo E, Malpica N, Padrón M. Deep learning-enhanced zero echo time MRI for glenohumeral assessment in shoulder instability: a comparative study with CT. *Skeletal Radiol.* 2025 Jun;54(6):1263-1273. doi: 10.1007/s00256-024-04830-0. Epub 2024 Nov 22. PMID: 39572485; PMCID: PMC12000158.
- [23] Guo D, Liu X, Wang D, Tang X, Qin Y. Development and clinical validation of deep learning for auto-diagnosis of supraspinatus tears. *J Orthop Surg Res.* 2023 Jun 13;18(1):426. doi: 10.1186/s13018-023-03909-z. PMID: 37308995; PMCID: PMC10262398.
- [24] Riem L, Feng X, Cousins M, DuCharme O, Leitch EB, Werner BC, Sheean AJ, Hart J, Antosh IJ, Blemker SS. A Deep Learning Algorithm for Automatic 3D Segmentation of Rotator Cuff Muscle and Fat from Clinical MRI Scans. *Radiol Artif Intell.* 2023 Feb 8;5(2):e220132. doi: 10.1148/ryai.220132. PMID: 37035430; PMCID: PMC10077094.
- [25] Kim SH, Yoo HJ, Yoon SH, Kim YT, Park SJ, Chai JW, Oh J, Chae HD. Development of a deep learning-based fully automated segmentation of rotator cuff muscles from clinical MR scans. *Acta Radiol.* 2024 Sep;65(9):1126-1132. doi: 10.1177/02841851241262325. Epub 2024 Jul 23. PMID: 39043149.
- [26] Momin E, Cook T, Gershon G, Barr J, De Cecco CN, van Assen M. Systematic review on the impact of deep learning-driven worklist triage on radiology workflow and clinical outcomes. *Eur Radiol.* 2025 Nov;35(11):6879-6893. doi: 10.1007/s00330-025-11674-2. Epub 2025 May 21. PMID: 40397031.
- [27] Duron L, Ducarouge A, Gillibert A, Lainé J, Allouche C, Cherel N, Zhang Z, Nitche N, Lacave E, Pourchot A, Felter A, Lassalle L, Regnard NE, Feydy A. Assessment of an AI Aid in Detection of Adult Appendicular Skeletal Fractures by Emergency Physicians and Radiologists: A Multicenter Cross-sectional Diagnostic Study. *Radiology.* 2021 Jul;300(1):120-129. doi: 10.1148/radiol.2021203886. Epub 2021 May 4. PMID: 33944629.
- [28] Bousson V, Attané G, Benoist N, Perronne L, Diallo A, Hadid-Beurrier L, Martin E, Hamzi L, Depil Duval A, Revue E, Vicaut E, Salvat C. Artificial Intelligence for Detecting Acute Fractures in Patients Admitted to an Emergency Department: Real-Life Performance of Three Commercial Algorithms. *Acad Radiol.* 2023 Oct;30(10):2118-2139. doi: 10.1016/j.acra.2023.06.016. Epub 2023 Jul 18. PMID: 37468377.
- [29] Oppenheimer J, Lüken S, Hamm B, Niehues SM. A Prospective Approach to Integration of AI Fracture Detection Software in Radiographs into Clinical Workflow. *Life (Basel).* 2023 Jan 13;13(1):223. doi: 10.3390/life13010223. PMID: 36676172; PMCID: PMC9864518.
- [30] Loeffen DV, Zijta FM, Boymans TA, Wildberger JE, Nijssen EC. AI for fracture diagnosis in clinical practice: Four approaches to systematic AI-implementation and their impact on AI-effectiveness. *Eur J Radiol.* 2025 Jun;187:112113. doi: 10.1016/j.ejrad.2025.112113. Epub 2025 Apr 14. PMID: 40252277.
- [31] Prucker P, Lemke T, Mertens CJ, Ziegelmayr S, Graf MM, Weller D, Kim SH, Gassert FT, Kader A, Dorfner FJ, Meddeb A, Makowski MR, Lammert J, Huber T, Lohöfer F, Bressemer KK, Adams LC, Luiken I, Busch F. Real-world clinical

- impact of three commercial AI algorithms on musculoskeletal radiography interpretation: A prospective crossover reader study. *Int J Med Inform.* 2026 Jan;205:106120. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2025.106120. Epub 2025 Sep 17. PMID: 40975012.
- [32] Cohen M, Puntonet J, Sanchez J, Kierszbaum E, Crema M, Soyer P, Dion E. Artificial intelligence vs. radiologist: accuracy of wrist fracture detection on radiographs. *Eur Radiol.* 2023 Jun;33(6):3974-3983. doi: 10.1007/s00330-022-09349-3. Epub 2022 Dec 14. PMID: 36515712.
- [33] Verborgt O, Vanhees M, Heylen S, Hardy P, Declercq G, Bicknell R. Computer navigation and patient-specific instrumentation in shoulder arthroplasty. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2014 Dec;22(4):e42-9. doi: 10.1097/JSA.000000000000045. PMID: 25370882.
- [34] Daher M, Ghanimeh J, Otayek J, Ghoul A, Bizdikian AJ, El Abiad R. Augmented reality and shoulder replacement: a state-of-the-art review article. *JSES Rev Rep Tech.* 2023 Feb 5;3(3):274-278. doi: 10.1016/j.xrrt.2023.01.008. PMID: 37588507; PMCID: PMC10426657.
- [35] Can Kolac U, Paksoy A, Akgün D. Three-dimensional planning, navigation, patient-specific instrumentation and mixed reality in shoulder arthroplasty: a digital orthopedic renaissance. *EFORT Open Rev.* 2024 Jun 3;9(6):517-527. doi: 10.1530/EOR-23-0200. PMID: 38828974; PMCID: PMC11195342.
- [36] Rojas J, Lievano, Jiménez AM, González-Rico HA, Salas M, Fierro G, González JC. Preoperative planning in reverse shoulder arthroplasty: plain radiographs vs. computed tomography scan vs. navigation vs. augmented reality. *Ann Jt.* 2023 Sep 8;8:37. doi: 10.21037/aoj-23-20. PMID: 38529225; PMCID: PMC10929295.
- [37] Velasquez Garcia A, Abdo G, Sanchez-Sotelo J, Morrey ME. The Value of Computer-Assisted Navigation for Glenoid Baseplate Implantation in Reverse Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JBJS Rev.* 2023 Aug 24;11(8). doi: 10.2106/JBJS.RVW.23.00038. PMID: 37616447.
- [38] Lee D, Yoo J, Yoon JP, Oh KS, Chung SW. Comparison of patient-specific instrumentation, navigation, and mixed reality technologies for accurate glenoid positioning in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2025 Sep 1:S1058-2746(25)00619-6. doi: 10.1016/j.jse.2025.07.019. Epub ahead of print. PMID: 40902713.
- [39] Kida H, Urita A, Momma D, Matsui Y, Endo T, Kawamura D, Taneichi H, Iwasaki N. Implications of navigation system use for glenoid component placement in reverse shoulder arthroplasty. *Sci Rep.* 2022 Dec 7;12(1):21190. doi: 10.1038/s41598-022-25833-8. PMID: 36477208; PMCID: PMC9729232.
- [40] Raiss P, Walch G, Wittmann T, Athwal GS. Is preoperative planning effective for intraoperative glenoid implant size and type selection during anatomic and reverse shoulder arthroplasty? *J Shoulder Elbow Surg.* 2020 Oct;29(10):2123-2127. doi: 10.1016/j.jse.2020.01.098. Epub 2020 Apr 25. PMID: 32340791.
- [41] Freehill MT, Weick JW, Ponce BA, Bedi A, Haas D, Ruffino B, Robbins C, Prete AM, Costouros JG, Warner JJ. Anatomic Total Shoulder Arthroplasty: Component Size Prediction with 3-Dimensional Pre-Operative Digital Planning. *J Shoulder Elb Arthroplast.* 2022 May 6;6:24715492221098818. doi: 10.1177/24715492221098818. PMID: 35669622; PMCID: PMC9163733.
- [42] Lilley BM, Lachance A, Peebles AM,

Powell SN, Romeo AA, Denard PJ, Provencher CMT. What is the deviation in 3D preoperative planning software? A systematic review of concordance between plan and actual implant in reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2022 May;31(5):1073-1082. doi: 10.1016/j.jse.2021.12.006. Epub 2022 Jan 10. PMID: 35017079.

[43] Denard PJ, Provencher MT, Lädemann A, Romeo AA, Parsons BO, Dines JS. Version and inclination obtained with 3-dimensional planning in total shoulder arthroplasty: do different programs produce the same results? *JSES Open Access.* 2018 Sep 21;2(4):200-204. doi: 10.1016/j.jses.2018.06.003. PMID: 30675595; PMCID: PMC6334884.

[44] Erickson BJ, Chalmers PN, Denard P, Lederman E, Horneff G, Werner BC, Provencher MT, Romeo AA. Does commercially available shoulder arthroplasty preoperative planning software agree with surgeon measurements of version, inclination, and subluxation? *J Shoulder Elbow Surg.* 2021 Feb;30(2):413-420. doi: 10.1016/j.jse.2020.05.027. Epub 2020 Jun 13. PMID: 32544424.

[45] Schoch BS, Haupt E, Leonor T, Farmer KW, Wright TW, King JJ. Computer navigation leads to more accurate glenoid targeting during total shoulder arthroplasty compared with 3-dimensional preoperative planning alone. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020 Nov;29(11):2257-2263. doi: 10.1016/j.jse.2020.03.014. Epub 2020 Jun 9. PMID: 32586595.

[46] Venne G, Rasquinha BJ, Pichora D, Ellis RE, Bicknell R. Comparing conventional and computer-assisted surgery baseplate and screw placement in reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015 Jul;24(7):1112-9. doi: 10.1016/j.jse.2014.10.012. Epub 2015 Jan 1. PMID: 25556807.

[47] Moreschini F, Colasanti GB, Cataldi C,

Mannelli L, Mondanelli N, Giannotti S. Pre-Operative CT-Based Planning Integrated With Intra-Operative Navigation in Reverse Shoulder Arthroplasty: Data Acquisition and Analysis Protocol, and Preliminary Results of Navigated Versus Conventional Surgery. *Dose Response.* 2020 Nov 28;18(4):1559325820970832. doi: 10.1177/1559325820970832. PMID: 35185413; PMCID: PMC8851139.

[48] Schlueter-Brust K, Henckel J, Katinakis F, Buken C, Opt-Eynde J, Pofahl T, Rodriguez Y Baena F, Tatti F. Augmented-Reality-Assisted K-Wire Placement for Glenoid Component Positioning in Reversed Shoulder Arthroplasty: A Proof-of-Concept Study. *J Pers Med.* 2021 Aug 10;11(8):777. doi: 10.3390/jpm11080777. PMID: 34442421; PMCID: PMC8400865.

[49] Kriechling P, Loucas R, Loucas M, Casari F, Fürnstahl P, Wieser K. Augmented reality through head-mounted display for navigation of baseplate component placement in reverse total shoulder arthroplasty: a cadaveric study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023 Jan;143(1):169-175. doi: 10.1007/s00402-021-04025-5. Epub 2021 Jul 2. PMID: 34213578; PMCID: PMC9886637.

[50] Sanchez-Sotelo J, Berhouet J, Chaoui J, Freehill MT, Collin P, Warner J, Walch G, Athwal GS. Validation of mixed-reality surgical navigation for glenoid axis pin placement in shoulder arthroplasty using a cadaveric model. *J Shoulder Elbow Surg.* 2024 May;33(5):1177-1184. doi: 10.1016/j.jse.2023.09.027. Epub 2023 Oct 26. PMID: 37890765.

[51] Dey Hazra RO, Paksoy A, Imiolczyk JP, Gebauer H, Hayta A, Akgun D. Augmented reality-assisted intraoperative navigation increases precision of glenoid inclination in reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2025 Feb;34(2):577-583. doi: 10.1016/j.jse.2024.05.039. Epub 2024 Jul 19. PMID: 39032685.

- [52] Van Gestel F, Van Aerschot F, Frantz T, Verhellen A, Barbé K, Jansen B, Vandemeulebroucke J, Duerinck J, Scheerlinck T. Augmented reality guidance improves accuracy of orthopedic drilling procedures. *Sci Rep*. 2024 Oct 25;14(1):25269. doi: 10.1038/s41598-024-76132-3. PMID: 39448659; PMCID: PMC11502681.
- [53] Frantz T, van Gestel F, Slagmolen P, Duerinck J, Scheerlinck T, Vandemeulebroucke J. Evaluation of augmented reality guidance for glenoid pin placement in total shoulder arthroplasty. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2025 Aug;20(8):1633-1642. doi: 10.1007/s11548-025-03444-8. Epub 2025 Jun 11. PMID: 40498242; PMCID: PMC12350535.
- [54] Casari FA, Navab N, Hrubby LA, Kriechling P, Nakamura R, Tori R, de Lourdes Dos Santos Nunes F, Queiroz MC, Fürnstahl P, Farshad M. Augmented Reality in Orthopedic Surgery Is Emerging from Proof of Concept Towards Clinical Studies: a Literature Review Explaining the Technology and Current State of the Art. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2021 Apr;14(2):192-203. doi: 10.1007/s12178-021-09699-3. Epub 2021 Feb 5. PMID: 33544367; PMCID: PMC7990993.
- [55] Longo UG, Lalli A, Gobbato B, Nazarian A. Metaverse, virtual reality and augmented reality in total shoulder arthroplasty: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024 May 21;25(1):396. doi: 10.1186/s12891-024-07436-8. PMID: 38773483; PMCID: PMC11106997.
- [56] Rito D, Barbosa RM, da Silva MV, Macedo CS, Alves V, Santos CP. Mixed reality in orthopaedics: A systematic review and meta-analysis on clinical and technological aspects. *Comput Methods Programs Biomed*. 2025 Nov;271:109011. doi: 10.1016/j.cmpb.2025.109011. Epub 2025 Aug 13. PMID: 40834554.
- [57] Calem DB, Lubiawski P, Trenhaile S, Gobbato B, Wong I, Alkhateeb J, Erickson J. Mixed reality applications in upper extremity surgery: the future is now. *EFORT Open Rev*. 2024 Nov 8;9(11):1034-1046. doi: 10.1530/EOR-24-0080. PMID: 39513697; PMCID: PMC11619721.
- [58] Meesters AML, Assink N, IJpma FFA. Functional outcome of 2-D- and 3-D-guided corrective forearm osteotomies: a systematic review. *J Hand Surg Eur Vol*. 2024 Jul;49(7):843-851. doi: 10.1177/17531934231201962. Epub 2023 Sep 25. PMID: 37747738; PMCID: PMC11264531.
- [59] Skaik K, Khizindar A, Mughal Q, Gdalevitch M, Mutch J. Three-Dimensional Preoperative Planning of Corrective Osteotomies for Distal Radius Malunions: A Systematic Review of Clinical and Radiographic Outcomes. *Hand (N Y)*. 2025 Aug 12:15589447251352001. doi: 10.1177/15589447251352001. Epub ahead of print. PMID: 40792578; PMCID: PMC12343530.
- [60] Gryska E, Zarkadas D, Stor Swinkels C, Libberecht K, Björkman A. Patient-specific plates for distal radius osteotomy: a review of the literature and a parametric plate design concept. *Expert Rev Med Devices*. 2025 Aug;22(8):881-888. doi: 10.1080/17434440.2025.2519477. Epub 2025 Jun 16. PMID: 40501212.
- [61] Athlani L, Chenel A, Detammaecker R, De Almeida YK, Dautel G. Computer-assisted 3D preoperative planning of corrective osteotomy for extra-articular distal radius malunion: A 16-patient case series. *Hand Surg Rehabil*. 2020 Sep;39(4):275-283. doi: 10.1016/j.hansur.2020.02.009. Epub 2020 Mar 31. PMID: 32244068.
- [62] Stor Swinkels C, Libberecht K, Gryska E, Axelsson P, Fredrikson P, Björkman A. Preclinical paired noninferiority study

comparing in-house and commercially available 3D planning for corrective osteotomy of the distal radius. *Sci Rep*. 2025 Apr 12;15(1):12652. doi: 10.1038/s41598-025-97788-5. PMID: 40221557; PMCID: PMC11993771.

[63] Oldhoff MGE, Assink N, Kraeima J, de Vries JPM, Ten Duis K, Meesters AML, Ijpma FFA. 3D-assisted corrective osteotomies of the distal radius: a comparison of pre-contoured conventional implants versus patient-specific implants. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2024 Feb;50(1):37-47. doi: 10.1007/s00068-023-02415-5. Epub 2024 Jan 23. PMID: 38261077; PMCID: PMC10924012.

[64] Bodmer E, Hug U, Liechti R. Comparison of patient-specific implants with standard plates after 3-D-planned corrective osteotomy for distal radial malunions. *J Hand Surg Eur Vol*. 2025 Apr;50(4):464-471. doi: 10.1177/17531934241307538. Epub 2025 Feb 22. PMID: 39985203.

[65] Roelofs LJM, Assink N, Kraeima J, Ten Duis K, Doornberg JN, de Vries JPM, Meesters AML, Ijpma FFA. Clinical Application of 3D-Assisted Surgery Techniques in Treatment of Intra-Articular Distal Radius Fractures: A Systematic Review in 718 Patients. *J Clin Med*. 2024 Nov 30;13(23):7296. doi: 10.3390/jcm13237296. PMID: 39685754; PMCID: PMC11642203.

[66] Collins GS, Moons KGM, Dhiman P, Riley RD, Beam AL, Van Calster B, Ghassemi M, Liu X, Reitsma JB, van Smeden M, Boulesteix AL, Camaradou JC, Celi LA, Denaxas S, Denniston AK, Glocker B, Golub RM, Harvey H, Heinze G, Hoffman MM, Kengne AP, Lam E, Lee N, Loder EW, Maier-Hein L, Mateen BA, McCradden MD, Oakden-Rayner L, Ordish J, Parnell R, Rose S, Singh K, Wynants L, Logullo P. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine

learning methods. *BMJ*. 2024 Apr 16;385:e078378. doi: 10.1136/bmj-2023-078378. Erratum in: *BMJ*. 2024 Apr 18;385:q902. doi: 10.1136/bmj.q902. PMID: 38626948; PMCID: PMC11019967.

[67] Devana SK, Shah AA, Lee C, Gudapati V, Jensen AR, Cheung E, Solorzano C, van der Schaar M, SooHoo NF. Development of a Machine Learning Algorithm for Prediction of Complications and Unplanned Readmission Following Reverse Total Shoulder Arthroplasty. *J Shoulder Elb Arthroplast*. 2021 Oct 28;5:24715492211038172. doi: 10.1177/24715492211038172. PMID: 35330785; PMCID: PMC8938598.

[68] Powell CM, Newton WN, Reis RJ, Moore JW, Rogalski BL, Eichinger JK, et al. Using machine learning to predict postoperative complications of total shoulder arthroplasty. *Semin Arthroplast*. 2025 Jun;35(2):203-209. doi:10.1053/j.sart.2024.12.006.

[69] Parmigiani O, Farron A, Goetti P, Becce F, Eghbali P, Terrier A. Machine learning to predict the occurrence of complications after total shoulder arthroplasty for B2-B3 glenoids. *Front Surg*. 2025 Oct 10;12:1637419. doi: 10.3389/fsurg.2025.1637419. PMID: 41141696; PMCID: PMC12549682.

[70] Macken AA, Macken LC, Oosterhoff JHF, Boileau P, Athwal GS, Doornberg JN, Lafosse L, Lafosse T, van den Bekerom MPJ, Buijze GA. Developing a machine learning algorithm to predict the probability of aseptic loosening of the glenoid component after anatomical total shoulder arthroplasty: protocol for a retrospective, multicentre study. *BMJ Open*. 2023 Oct 18;13(10):e074700. doi: 10.1136/bmjopen-2023-074700. PMID: 37852772; PMCID: PMC10603397.

[71] Gowd AK, Agarwalla A, Amin NH, Romeo AA, Nicholson GP, Verma NN, Liu JN. Construct validation of machine learning

in the prediction of short-term postoperative complications following total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2019 Dec;28(12):e410-e421. doi: 10.1016/j.jse.2019.05.017. Epub 2019 Aug 3. PMID: 31383411.

[72] Hornung AL, Rudisill SS, Smith S, Streepy JT, Simcock XC. Can Machine Learning Identify Patients Who are Appropriate for Outpatient Open Reduction and Internal Fixation of Distal Radius Fractures? *J Hand Surg Glob Online.* 2024 Aug 13;6(6):808-813. doi: 10.1016/j.jhsg.2024.06.002. PMID: 39703590; PMCID: PMC11652289.

[73] Tümen L, Medved F, Rachunek-Medved K, Han Y, Saul D. Deep Learning in Scaphoid Nonunion Treatment. *J Clin Med.* 2025 Mar 9;14(6):1850. doi: 10.3390/jcm14061850. PMID: 40142658; PMCID: PMC11942999.

[74] Moons KGM, Damen JAA, Kaul T, Hooft L, Andaur Navarro C, Dhiman P, Beam AL, Van Calster B, Celi LA, Denaxas S, Denniston AK, Ghassemi M, Heinze G, Kengne AP, Maier-Hein L, Liu X, Logullo P, McCradden MD, Liu N, Oakden-Rayner L, Singh K, Ting DS, Wynants L, Yang B, Reitsma JB, Riley RD, Collins GS, van Smeden M. PROBAST+AI: an updated quality, risk of bias, and applicability assessment tool for prediction models using regression or artificial intelligence methods. *BMJ.* 2025 Mar 24;388:e082505. doi: 10.1136/bmj-2024-082505. PMID: 40127903; PMCID: PMC11931409.

[75] Stojanov T, Aghlmandi S, Müller AM, Moroder P, Lädermann A, Baum C; ARCR_Pred Study Group; Audigé L. Update of a prediction model for postoperative shoulder stiffness after arthroscopic rotator cuff repair. *Commun Med (Lond).* 2025 Oct 2;5(1):413. doi: 10.1038/s43856-025-01125-w. PMID: 41039034; PMCID: PMC12491454.

[76] Cho SH, Kim YS. Prediction of Retear

After Arthroscopic Rotator Cuff Repair Based on Intraoperative Arthroscopic Images Using Deep Learning. *Am J Sports Med.* 2023 Sep;51(11):2824-2830. doi: 10.1177/03635465231189201. Epub 2023 Aug 11. PMID: 37565449.

[77] Turcotte JJ, Brennan JC, Boudani D, Johnson AH, Donegan C, Holmes S, York JJ, Petre BM, Redziniak DE. Predictors of early functional improvement after arthroscopic rotator cuff repair. *JSES Int.* 2025 Feb 5;9(3):720-727. doi: 10.1016/j.jseint.2025.01.003. PMID: 40486763; PMCID: PMC12145031.

[78] Potty AG, Potty ASR, Maffulli N, Blumenschein LA, Ganta D, Mistovich RJ, Fuentes M, Denard PJ, Sethi PM, Shah AA, Gupta A. Approaching Artificial Intelligence in Orthopaedics: Predictive Analytics and Machine Learning to Prognosticate Arthroscopic Rotator Cuff Surgical Outcomes. *J Clin Med.* 2023 Mar 19;12(6):2369. doi: 10.3390/jcm12062369. PMID: 36983368; PMCID: PMC10056706.

[79] Schneller T, Cina A, Moroder P, Scheibel M, Lazaridou A. Using deep learning to predict postoperative pain in reverse shoulder arthroplasty patients. *JSES Int.* 2024 Dec 19;9(3):748-755. doi: 10.1016/j.jseint.2024.11.020. PMID: 40486767; PMCID: PMC12145030.

[80] Kunze KN, Bobko A, Mathew JI, Polce EM, Manzi JE, Nicholson A, Finocchiario A, Estrada J, Zeitlin J, Meza B, Taylor S, Blaine TA, Warren RF, Fu MC, Dines JS, Gulotta LV. A machine learning analysis of patient and imaging factors associated with achieving clinically substantial outcome improvements following total shoulder arthroplasty: Implications for selecting anatomic or reverse prostheses. *Shoulder Elbow.* 2024 Jul;16(4):382-389. doi: 10.1177/17585732231187124. Epub 2023 Jul 18. PMID: 39318416; PMCID: PMC11418670.

[81] Braun BJ, Histing T, Menger MM,

Herath SC, Mueller-Franzes GA, Grimm B, Marmor MT, Truhn D; AO Smart Digital Solutions Task Force(Andrew M Hanflik, Peter H Richter, Sureshan Sivananthan, Seth R Yarboro). Wearable activity data can predict functional recovery after musculoskeletal injury: Feasibility of a machine learning approach. *Injury*. 2024 Feb;55(2):111254. doi: 10.1016/j.injury.2023.111254. Epub 2023 Nov 30. PMID: 38070329.

[82] Lim J, Chang S, Kim K, Park HJ, Kim E, Hong SW. Machine learning-based prediction of the necessity for the surgical treatment of distal radius fractures. *J Orthop Surg Res*. 2025 Apr 26;20(1):419. doi: 10.1186/s13018-025-05830-z. PMID: 40287717; PMCID: PMC12032687.

[83] Hsu D, Persitz J, Noori A, Zhang H, Mashouri P, Shah R, Chan A, Madani A, Paul R. Predicting Surgical Versus Nonsurgical Management of Acute Isolated Distal Radius Fractures in Patients Under Age 60 Using a Convolutional Neural Network. *J Hand Surg Am*. 2025 Jul;50(7):781-789. doi: 10.1016/j.jhsa.2025.04.015. Epub 2025 May 26. PMID: 40418202.

[84] Do WS, Shin SH, Lim JR, Yoon TH, Chun YM. Predicting the Reparability of Rotator Cuff Tears: Machine Learning and Comparison With Previous Scoring Systems. *Am J Sports Med*. 2024 Dec;52(14):3512-3519. doi: 10.1177/03635465241287527. Epub 2024 Nov 3. PMID: 39491518.

[85] Shukla, Dave R., Brian J. Rebolledo, Alexander W. Aleem, Adrien Jacquot, Jean-David Werthel, Diego Villacis, and Manuel Urvoy. 2023. "Effect of Machine Learning Prediction on Surgical Decision Making for Shoulder Arthroplasty: A Multi-Surgeon Study." *Journal of Orthopaedic Experience & Innovation* 4 (2). doi: 10.60118/001c.84084

[86] Maier-Hein L, Eisenmann M, Sarikaya

D, März K, Collins T, Malpani A, Fallert J, Feussner H, Giannarou S, Mascagni P, Nakawala H, Park A, Pugh C, Stoyanov D, Vedula SS, Cleary K, Fichtinger G, Forestier G, Gibaud B, Grantcharov T, Hashizume M, Heckmann-Nötzel D, Kenngott HG, Kikinis R, Mündermann L, Navab N, Onogur S, Roß T, Sznitman R, Taylor RH, Tizabi MD, Wagner M, Hager GD, Neumuth T, Padoy N, Collins J, Gockel I, Goedeke J, Hashimoto DA, Joyeux L, Lam K, Leff DR, Madani A, Marcus HJ, Meireles O, Seitel A, Teber D, Ückert F, Müller-Stich BP, Jannin P, Speidel S. Surgical data science - from concepts toward clinical translation. *Med Image Anal*. 2022 Feb;76:102306. doi: 10.1016/j.media.2021.102306. Epub 2021 Nov 18. PMID: 34879287; PMCID: PMC9135051.

[87] Junger D, Frommer SM, Burgert O. State-of-the-art of situation recognition systems for intraoperative procedures. *Med Biol Eng Comput*. 2022 Apr;60(4):921-939. doi: 10.1007/s11517-022-02520-4. Epub 2022 Feb 17. PMID: 35178622; PMCID: PMC8933302.

[88] Guédon ACP, Meij SEP, Osman KNMMH, Kloosterman HA, van Stralen KJ, Grimbergen MCM, Eijssbouts QAJ, van den Dobbelsteen JJ, Twinanda AP. Deep learning for surgical phase recognition using endoscopic videos. *Surg Endosc*. 2021 Nov;35(11):6150-6157. doi: 10.1007/s00464-020-08110-5. Epub 2020 Nov 25. PMID: 33237461.

[89] Bahari Malayeri A, Seibold M, Cavalcanti NA, Hein J, Jecklin S, Vlachopoulos L, Fucentese S, Hodel S, Fürnstahl P. ArthroPhase: a novel dataset and method for phase recognition in arthroscopic video. *Comput Assist Surg (Abingdon)*. 2025 Dec;30(1):2508144. doi: 10.1080/24699322.2025.2508144. Epub 2025 May 31. PMID: 40449528.

[90] Tran SQ, Bui MC, Nguyen DT, Itthipanichpong T, Limskul D, Thamrongsuksiri N, Tanpowpong T. The

- reliability of deep learning models in assessing the shoulder arthroscopic field's visual clarity in relation to bleeding. *JSES Int.* 2025 Mar 5;9(3):864-870. doi: 10.1016/j.jseint.2025.02.003. PMID: 40486805; PMCID: PMC12144979.
- [91] Demirel A, Weber S, Katić D, Engelhardt S, Bodenstedt S, Köhn A, et al. Scoring metrics and deep learning for assessing surgical skills: an example on arthroscopic rotator cuff repair. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2022 Oct;17(10):1833-1845. doi:10.1007/s11548-022-02689-x. PMID:35672594. PMCID:PMC9561140. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35672594/>
- [92] Wang AW, Hayes A, Gibbons R, Mackie KE. Computer navigation of the glenoid component in reverse total shoulder arthroplasty: a clinical trial to evaluate the learning curve. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020 Mar;29(3):617-623. doi: 10.1016/j.jse.2019.08.012. Epub 2019 Oct 21. PMID: 31648783.
- [93] Cunningham G, Borgonovo AR, Rivera M, Brandariz R. Navigation increases the accuracy of glenoid component implantation in reverse total shoulder arthroplasty in shoulders with severe glenoid wear: a comparative cohort study. *JSES Int.* 2024 Nov 28;9(2):492-500. doi: 10.1016/j.jseint.2024.11.009. PMID: 40182268; PMCID: PMC11962623.
- [94] Athwal GS, Nelson A, Antuna S, Ponce B, Mighell M, St Pierre P, Sanchez-Sotelo J. Glenoid preparation in reverse shoulder arthroplasty: robotic arm-assisted preparation compared to manual preparation and patient-specific guides. *J Shoulder Elbow Surg.* 2025 Aug;34(8):2022-2030. doi: 10.1016/j.jse.2024.12.007. Epub 2025 Jan 23. PMID: 39863156.
- [95] Yu X, Wang Z, Wu J, Weng D. Artificial intelligence-based perioperative safety verification system improved the performance of surgical safety verification execution. *Am J Transl Res.* 2024 Apr 15;16(4):1295-1305. doi: 10.62347/PUUT2092. PMID: 38715820; PMCID: PMC11070349.
- [96] Salgado D, Barber KR, Danic M. Objective Assessment of Checklist Fidelity Using Digital Audio Recording and a Standardized Scoring System Audit. *J Patient Saf.* 2019 Sep;15(3):260-266. doi: 10.1097/PTS.0000000000000306. PMID: 27811595; PMCID: PMC6727909.
- [97] Kopriva JM, McKissack HM, Griswold BG, Hussain ZB, Cooke HL, Gottschalk MB, Wagner ER. Mixed-reality improves execution of templated glenoid component positioning in shoulder arthroplasty: a CT imaging analysis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2024 Aug;33(8):1789-1798. doi: 10.1016/j.jse.2023.12.019. Epub 2024 Feb 5. PMID: 38320671.
- [98] Fleet CT, Gao R, Johnson JA, Athwal GS. An in vitro comparison of mixed-reality navigation to traditional freehand and patient-specific instrumentation techniques for glenoid guide pin insertion during shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2024 Nov;33(11):2482-2492. doi: 10.1016/j.jse.2024.04.030. Epub 2024 Jun 21. PMID: 38908464.
- [99] Morgan C, Hargreaves M, Williams M, Hoyt RE, Snider DH, Callanan M, Nelson A, Brabston EW, Momaya AM, Ponce BA, O'Grady C. The use of actigraphy to objectively define motion and function before and after shoulder arthroplasty. *J Orthop.* 2024 Apr 18;56:6-11. doi: 10.1016/j.jor.2024.04.009. PMID: 38715987; PMCID: PMC11070592.
- [100] Sassi M, Villa Corta M, Pisani MG, Nicodemi G, Schena E, Pecchia L, Longo UG. Advanced Home-Based Shoulder Rehabilitation: A Systematic Review of Remote Monitoring Devices and Their Therapeutic Efficacy. *Sensors (Basel).* 2024 May 5;24(9):2936. doi: 10.3390/s24092936. PMID: 38733040; PMCID: PMC11086333.

- [101] Edwards PK, Ebert JR, Morrow MM, Goodwin BM, Ackland T, Wang A. Accelerometry evaluation of shoulder movement and its association with patient-reported and clinical outcomes following reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020 Nov;29(11):2308-2318. doi: 10.1016/j.jse.2020.03.030. Epub 2020 Jun 9. PMID: 32669199.
- [102] Van de Kleut ML, Bloomfield RA, Teeter MG, Athwal GS. Monitoring daily shoulder activity before and after reverse total shoulder arthroplasty using inertial measurement units. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021 May;30(5):1078-1087. doi: 10.1016/j.jse.2020.07.034. Epub 2020 Aug 6. PMID: 32771607; PMCID: PMC7409802.
- [103] Huang T, Zhang W, Yan B, Liu H, Girard O. Comparing Telerehabilitation and Home-based Exercise for Shoulder Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2024 Nov;105(11):2214-2223. doi: 10.1016/j.apmr.2024.02.723. Epub 2024 Mar 2. PMID: 38432330.
- [104] Burns DM, Leung N, Hardisty M, Whyne CM, Henry P, McLachlin S. Shoulder physiotherapy exercise recognition: machine learning the inertial signals from a smartwatch. *Physiol Meas.* 2018 Jul 23;39(7):075007. doi: 10.1088/1361-6579/aacfd9. PMID: 29952759.
- [105] Burns D, Razmjou H, Shaw J, Richards R, McLachlin S, Hardisty M, Henry P, Whyne C. Adherence Tracking With Smart Watches for Shoulder Physiotherapy in Rotator Cuff Pathology: Protocol for a Longitudinal Cohort Study. *JMIR Res Protoc.* 2020 Jul 5;9(7):e17841. doi: 10.2196/17841. PMID: 32623366; PMCID: PMC7381014.
- [106] Shepherd J, Hansjee S, Divall P, Raval P, Singh HP. How do digital range of motion measurement devices 'measure-up' to traditional goniometry in assessing shoulder range of motion? A systematic review and meta-analysis. *Shoulder Elbow.* 2024 Jul;16(4):363-381. doi: 10.1177/17585732231195554. Epub 2023 Aug 31. PMID: 39318409; PMCID: PMC11418675.
- [107] Werner BC, Holzgrefe RE, Griffin JW, Lyons ML, Cosgrove CT, Hart JM, Brockmeier SF. Validation of an innovative method of shoulder range-of-motion measurement using a smartphone clinometer application. *J Shoulder Elbow Surg.* 2014 Nov;23(11):e275-82. doi: 10.1016/j.jse.2014.02.030. Epub 2014 Jun 9. PMID: 24925699.
- [108] Shimizu H, Saito T, Kouno C, Shimoura K, Kawabe R, Shinohara Y, Mukaiyama K, Changyu C, Kato M, Nagai-Tanima M, Aoyama T. Validity and reliability of a smartphone application for self-measurement of active shoulder range of motion in a standing position among healthy adults. *JSES Int.* 2022 May 5;6(4):655-659. doi: 10.1016/j.jseint.2022.04.005. PMID: 35813133; PMCID: PMC9264016.
- [109] Soeters R, Damodar D, Borman N, Jacobson K, Shi J, Pillai R, Mehran N. Accuracy of a Smartphone Software Application Compared With a Handheld Goniometer for Measuring Shoulder Range of Motion in Asymptomatic Adults. *Orthop J Sports Med.* 2023 Jul 31;11(7):23259671231187297. doi: 10.1177/23259671231187297. PMID: 37533501; PMCID: PMC10392163.
- [110] van den Hoorn W, Fabre A, Nardese G, Su EY, Cutbush K, Gupta A, Kerr G. The Future of Clinical Active Shoulder Range of Motion Assessment, Best Practice, and Its Challenges: Narrative Review. *Sensors (Basel).* 2025 Jan 23;25(3):667. doi: 10.3390/s25030667. PMID: 39943306; PMCID: PMC11820973.

- [111] van den Hoorn W, Lavaill M, Cutbush K, Gupta A, Kerr G. Comparison of Shoulder Range of Motion Quantified with Mobile Phone Video-Based Skeletal Tracking and 3D Motion Capture-Preliminary Study. *Sensors (Basel)*. 2024 Jan 15;24(2):534. doi: 10.3390/s24020534. PMID: 38257626; PMCID: PMC10818695.
- [112] van den Hoorn W, Lavaill M, Hollman F, Valero RP, Bruyer-Montéléone F, Cutbush K, Gupta A, Kerr G. How do visual and smartphone camera-based shoulder ranges of motion compare? *JSES Int*. 2025 Jun 10;9(5):1793-1802. doi: 10.1016/j.jseint.2025.05.026. PMID: 41049664; PMCID: PMC12490633.
- [113] Lefebvre F, Rogowski I, Long N, Blache Y. Three-dimensional markerless pose estimation for anatomical landmarks of the shoulder and upper limb. *J Electromyogr Kinesiol*. 2025 Dec;85:103067. doi: 10.1016/j.jelekin.2025.103067. Epub 2025 Sep 10. PMID: 40944973.
- [114] Kane LT, Wilkening JD, Keener M, Tashjian RZ, Omid R, Namdari S. Common Complication From Routine Shoulder Surgery: Postoperative Stiffness After Rotator Cuff Repair. *Instr Course Lect*. 2024;73:527-534. PMID: 38090922.
- [115] Schneider WR, Trasolini RG, Riker JJ, Gerber N, Ruotolo CJ. Stiffness after arthroscopic rotator cuff repair: a rehabilitation problem or a surgical indication? *JSES Int*. 2020 Oct 26;5(1):88-92. doi: 10.1016/j.jseint.2020.09.001. PMID: 33554171; PMCID: PMC7846695.
- [116] Denard PJ, Lädermann A, Burkhart SS. Prevention and management of stiffness after arthroscopic rotator cuff repair: systematic review and implications for rotator cuff healing. *Arthroscopy*. 2011 Jun;27(6):842-8. doi: 10.1016/j.arthro.2011.01.013. PMID: 21624680.
- [117] Audigé L, Bucher HCC, Aghlmandi S, Stojanov T, Schwappach D, Hunziker S, Candrian C, Cunningham G, Durchholz H, Eid K, Flury M, Jost B, Lädermann A, Moor BK, Moroder P, Rosso C, Schär M, Scheibel M, Spormann C, Suter T, Wieser K, Zumstein M; ARCR_Pred Study Group; Müller AM. Swiss-wide multicentre evaluation and prediction of core outcomes in arthroscopic rotator cuff repair: protocol for the ARCR_Pred cohort study. *BMJ Open*. 2021 Apr 22;11(4):e045702. doi: 10.1136/bmjopen-2020-045702. PMID: 33888530; PMCID: PMC8070866.
- [118] Audigé L, Aghlmandi S, Grobet C, Stojanov T, Müller AM, Felsch Q, Gleich J, Flury M, Scheibel M. Prediction of Shoulder Stiffness After Arthroscopic Rotator Cuff Repair. *Am J Sports Med*. 2021 Sep;49(11):3030-3039. doi: 10.1177/03635465211028980. Epub 2021 Jul 26. PMID: 34310220.
- [119] Takahashi R, Kawakami K, Harada Y, Kouzaki K, Kajita Y. Early Postoperative Stiffness After Arthroscopic Rotator Cuff Repair Correlates With Improved Tendon Healing. *Arthroscopy*. 2024 Aug;40(8):2186-2194. doi: 10.1016/j.arthro.2024.01.038. Epub 2024 Feb 5. PMID: 38325498.
- [120] Blasco JM, Navarro-Bosch M, Aroca-Navarro JE, Hernández-Guillén D, Puigcerver-Aranda P, Roig-Casasús S. A Virtual Assistant to Guide Early Postoperative Rehabilitation after Reverse Shoulder Arthroplasty: A Pilot Randomized Trial. *Bioengineering (Basel)*. 2024 Feb 2;11(2):152. doi: 10.3390/bioengineering11020152. PMID: 38391638; PMCID: PMC10885890.
- [121] Keny SM, Bagaria V, Sahu D, Brkljac M, Logishetty K, Keny AA. Remote patient monitoring: A current concept update on the technology adoption in the realm of orthopedics. *J Clin Orthop Trauma*. 2024 Apr 11;51:102400. doi:

10.1016/j.jcot.2024.102400. PMID: 38681998; PMCID: PMC11043878.

doi: 10.3389/fnbot.2025.1675642. PMID: 40791943; PMCID: PMC12336220.

[122] Erickson BJ, Shishani Y, Gobezie R. Remote Patient Monitoring of Postoperative Rehabilitation. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2023 May;34(2):489-497. doi: 10.1016/j.pmr.2022.12.011. Epub 2023 Feb 27. PMID: 37003666.

[123] Zhang B, Fang Z, Nian K, Sun B, Ji B. The effects of telemedicine on Rotator cuff-related shoulder function and pain symptoms: a meta-analysis of randomized clinical trials. *J Orthop Surg Res.* 2024 Aug 14;19(1):478. doi: 10.1186/s13018-024-04986-4. PMID: 39143625; PMCID: PMC11323625.

[124] Campbell E, Phinyomark A, Scheme E. Current Trends and Confounding Factors in Myoelectric Control: Limb Position and Contraction Intensity. *Sensors (Basel).* 2020 Mar 13;20(6):1613. doi: 10.3390/s20061613. PMID: 32183215; PMCID: PMC7146367.

[125] Teh Y, Hargrove LJ. Understanding Limb Position and External Load Effects on Real-Time Pattern Recognition Control in Amputees. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2020 Jul;28(7):1605-1613. doi: 10.1109/TNSRE.2020.2991643. Epub 2020 May 11. PMID: 32396094; PMCID: PMC7391097.

[126] Wang X, Ao D, Li L. Robust myoelectric pattern recognition methods for reducing users' calibration burden: challenges and future. *Front Bioeng Biotechnol.* 2024 Jan 22;12:1329209. doi: 10.3389/fbioe.2024.1329209. PMID: 38318193; PMCID: PMC10839078.

[127] Ma C, Jiang X, Nazarpour K. Pre-training, personalization, and self-calibration: all a neural network-based myoelectric decoder needs. *Front Neurorobot.* 2025 Jul 28;19:1604453. doi: 10.3389/fnbot.2025.1604453. Erratum in: *Front Neurorobot.* 2025 Sep 19;19:1675642.

[128] Quadrelli D, Canepa M, Di Domenico D, Boccardo N, Chiappalone M, Laffranchi M. Advances in HD-EMG interfaces and spatial algorithms for upper limb prosthetic control. *Front Neurosci.* 2025 Sep 4;19:1655257. doi: 10.3389/fnins.2025.1655257. PMID: 40979536; PMCID: PMC12443821.

[129] Shandiz E, Gaskell A, Ingram M, Trajano GS, Fernandes GL, Henkin JS, McCombe PA, Henderson RD. Applying high-density surface EMG to the study of neuromuscular disorders: a systematic review. *Clin Neurophysiol.* 2025 Nov;179:2110983. doi: 10.1016/j.clinph.2025.2110983. Epub 2025 Aug 29. PMID: 40913923.

[130] Dimitrov H, Bull AMJ, Farina D. High-density EMG, IMU, kinetic, and kinematic open-source data for comprehensive locomotion activities. *Sci Data.* 2023 Nov 10;10(1):789. doi: 10.1038/s41597-023-02679-x. PMID: 37949938; PMCID: PMC10638431.

[131] Chen M, Zhou P. High-Density Surface EMG Decomposition: Achievements, Challenges, and Concerns. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2025;33:1212-1219. doi: 10.1109/TNSRE.2025.3551630. Epub 2025 Mar 31. PMID: 40085467.

[132] Zhao H, Zhang X, Chen X, Zhou P. A robust myoelectric pattern recognition framework based on individual motor unit activities against electrode array shifts. *Comput Methods Programs Biomed.* 2024 Dec;257:108434. doi: 10.1016/j.cmpb.2024.108434. Epub 2024 Sep 19. PMID: 39340933.

[133] Nazari V, Zheng YP. Controlling Upper Limb Prostheses Using Sonomyography (SMG): A Review. *Sensors (Basel).* 2023 Feb 8;23(4):1885. doi:

10.3390/s23041885. PMID: 36850483; PMCID: PMC9959820.

[134] Engdahl SM, Acuña SA, Kaliki RR, Sikdar S. Sonomyography for Control of Upper-Limb Prostheses: Current State and Future Directions. *J Prosthet Orthot.* 2024 Jul;36(3):174-184. doi: 10.1097/jpo.0000000000000482. PMID: 38983244; PMCID: PMC11230649.

[135] Sensinger JW, Dosen S. A Review of Sensory Feedback in Upper-Limb Prostheses From the Perspective of Human Motor Control. *Front Neurosci.* 2020 Jun 23;14:345. doi: 10.3389/fnins.2020.00345. PMID: 32655344; PMCID: PMC7324654.

[136] Roche AD, Bailey ZK, Gonzalez M, Vu PP, Chestek CA, Gates DH, Kemp SWP, Cederna PS, Ortiz-Catalan M, Aszmann OC. Upper limb prostheses: bridging the sensory gap. *J Hand Surg Eur Vol.* 2023 Mar;48(3):182-190. doi: 10.1177/17531934221131756. Epub 2023 Jan 17. PMID: 36649123; PMCID: PMC9996795.

[137] Bensmaia SJ, Tyler DJ, Micera S. Restoration of sensory information via bionic hands. *Nat Biomed Eng.* 2023 Apr;7(4):443-455. doi: 10.1038/s41551-020-00630-8. Epub 2020 Nov 23. PMID: 33230305; PMCID: PMC10233657.

[138] Valle G, D'Anna E, Strauss I, Clemente F, Granata G, Di Iorio R, Controzzi M, Stieglitz T, Rossini PM, Petrini FM, Micera S. Hand Control With Invasive Feedback Is Not Impaired by Increased Cognitive Load. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020 Apr 3;8:287. doi: 10.3389/fbioe.2020.00287. PMID: 32318562; PMCID: PMC7147827.

[139] Petrini FM, Valle G, Strauss I, Granata G, Di Iorio R, D'Anna E, Čvančara P, Mueller M, Carpaneto J, Clemente F, Controzzi M, Bioni L, Carboni C, Barbaro M, Iodice F, Andreu D, Hiairassary A, Divoux JL, Cipriani C, Guiraud D, Raffo L,

Fernandez E, Stieglitz T, Raspopovic S, Rossini PM, Micera S. Six-Month Assessment of a Hand Prosthesis with Intraneural Tactile Feedback. *Ann Neurol.* 2019 Jan;85(1):137-154. doi: 10.1002/ana.25384. Epub 2018 Dec 24. PMID: 30474259.

[140] Tereshenko V, Giorgino R, Eberlin KR, Valerio IL, Souza JM, Alessandri-Bonetti M, Peretti GM, Aszmann OC. Emerging Value of Osseointegration for Intuitive Prosthetic Control after Transhumeral Amputations: A Systematic Review. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2024 May 28;12(5):e5850. doi: 10.1097/GOX.00000000000005850. PMID: 38808147; PMCID: PMC11132373.

[141] Farina D, Vujaklija I, Brånemark R, Bull AMJ, Dietl H, Graimann B, Hargrove LJ, Hoffmann KP, Huang HH, Ingvarsson T, Janusson HB, Kristjánsson K, Kuiken T, Micera S, Stieglitz T, Sturma A, Tyler D, Weir RFF, Aszmann OC. Toward higher-performance bionic limbs for wider clinical use. *Nat Biomed Eng.* 2023 Apr;7(4):473-485. doi: 10.1038/s41551-021-00732-x. Epub 2021 May 31. PMID: 34059810.

[142] Chen Z, Min H, Wang D, Xia Z, Sun F, Fang B. A Review of Myoelectric Control for Prosthetic Hand Manipulation. *Biomimetics (Basel).* 2023 Jul 24;8(3):328. doi: 10.3390/biomimetics8030328. PMID: 37504216; PMCID: PMC10807628.

[143] Wijk U, Carlsson IK, Antfolk C, Björkman A, Rosén B. Sensory Feedback in Hand Prostheses: A Prospective Study of Everyday Use. *Front Neurosci.* 2020 Jul 7;14:663. doi: 10.3389/fnins.2020.00663. PMID: 32733187; PMCID: PMC7358396.

[144] Cady SR, Lambrecht JM, Dsouza KT, Dunning JL, Anderson JR, Malone KJ, Chepla KJ, Graczyk EL, Tyler DJ. First-in-human implementation of a bidirectional somatosensory neuroprosthetic system with wireless communication. *J Neuroeng Rehabil.* 2025 Apr 23;22(1):90. doi:

10.1186/s12984-025-01613-z. PMID: 40269935; PMCID: PMC12020317.

[145] Jones H, Webb L, Dyson M, Nazarpour K. Towards User-Centred Prosthetics Research Beyond the Laboratory. *Front Neurosci.* 2022 Apr 14;16:863833. doi: 10.3389/fnins.2022.863833. PMID: 35495033; PMCID: PMC9048479.

[146] Jones H, Chadwell A, Dyson M. Evidencing the effectiveness of upper limb prostheses: a multi-stakeholder perspective on study requirements. *Front Health Serv.* 2023 Dec 21;3:1213752. doi: 10.3389/frhs.2023.1213752. PMID: 38188614; PMCID: PMC10768005.

[147] Chadwell A, Diment L, Micó-Amigo M, Morgado Ramirez DZ, Dickinson A, Granat M, Kenney L, Kheng S, Sobuh M, Ssekitoleko R, Worsley P. Technology for monitoring everyday prosthesis use: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil.* 2020 Jul 14;17(1):93. doi: 10.1186/s12984-020-00711-4. PMID: 32665020; PMCID: PMC7362458.

[148] Ienca M, Valle G, Raspopovic S. Clinical trials for implantable neural prostheses: understanding the ethical and technical requirements. *Lancet Digit Health.* 2025 Mar;7(3):e216-e224. doi: 10.1016/S2589-7500(24)00222-X. Epub 2025 Jan 9. PMID: 39794174.

[149] Duarte RV, Bresnahan R, Copley S, Eldabe S, Thomson S, North RB, Baranidharan G, Levy RM, Collins GS, Taylor RS. Reporting guidelines for randomised controlled trial reports of implantable neurostimulation devices: the CONSORT-iNeurostim extension. *EClinicalMedicine.* 2024 Nov 12;78:102932. doi: 10.1016/j.eclinm.2024.102932. PMID: 39606687; PMCID: PMC11600657.

[150] Daye D, Wiggins WF, Lungren MP, Alkasab T, Kottler N, Allen B, Roth CJ,

Bizzo BC, Durniak K, Brink JA, Larson DB, Dreyer KJ, Langlotz CP. Implementation of Clinical Artificial Intelligence in Radiology: Who Decides and How? *Radiology.* 2022 Dec;305(3):555-563. doi: 10.1148/radiol.212151. Epub 2022 Aug 2. Erratum in: *Radiology.* 2022 Oct;305(1):E62. doi: 10.1148/radiol.229021. PMID: 35916673; PMCID: PMC9713445.

[151] Royaume du Maroc. Dahir n° 1-09-15 du 22 safar 1430 (18 février 2009) portant promulgation de la loi n° 09-08 relative à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel. *Bulletin Officiel n°5714*, 5 mars 2009. <https://www.cndp.ma/wp-content/uploads/2023/11/Loi-09-08-Fr.pdf>

[152] Royaume du Maroc. Décret n° 2-09-165 du 25 joumada I 1430 (21 mai 2009) pris pour l'application de la loi n° 09-08 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements des données à caractère personnel. *Bulletin Officiel n°5744*, 18 juin 2009. <https://www.cndp.ma/wp-content/uploads/2023/06/Decret-2-09-165-FR.pdf>

[153] Commission Nationale de Contrôle de la Protection des Données à Caractère Personnel (CNDP). Formalités (déclaration/autorisation) et transfert à l'étranger [Internet]. Rabat: CNDP; cité le 3 jan 2026. <https://www.cndp.ma/formalites/> ; <https://www.cndp.ma/notifier-une-demande-de-transfert-a-letranger/>

[154] NEMA. DICOM PS3.15: Security and System Management Profiles (Application Level Confidentiality Profile) [Internet]. NEMA; cité le 3 jan 2026. <https://dicom.nema.org/medical/dicom/current/output/chtml/part15/ps3.15.html>

[155] Sahiner B, Chen W, Samala RK, Petrick N. Data drift in medical machine learning: implications and potential remedies. *Br J Radiol.* 2023

Oct;96(1150):20220878. doi: 10.1259/bjr.20220878. Epub 2023 Mar 27. PMID: 36971405; PMCID: PMC10546450.

[156] Andersen ES, Birk-Korch JB, Hansen RS, Fly LH, Röttger R, Arcani DMC, Brasen CL, Brandslund I, Madsen JS. Monitoring performance of clinical artificial intelligence in health care: a scoping review. *JBISynth*. 2024 Dec 1;22(12):2423-2446. doi: 10.11124/JBIES-24-00042. PMID: 39658865; PMCID: PMC11630661.

[157] Tejani AS, Klontzas ME, Gatti AA, Mongan JT, Moy L, Park SH, Kahn CE Jr; CLAIM 2024 Update Panel. Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): 2024 Update. *Radiol Artif Intell*. 2024 Jul;6(4):e240300. doi: 10.1148/ryai.240300. PMID: 38809149; PMCID: PMC11304031.

[158] Sounderajah V, Guni A, Liu X, Collins GS, Karthikesalingam A, Markar SR, Golub RM, Denniston AK, Shetty S, Moher D, Bossuyt PM, Darzi A, Ashrafian H; STARD-AI Steering Committee. The STARD-AI reporting guideline for diagnostic accuracy studies using artificial intelligence. *Nat Med*. 2025 Oct;31(10):3283-3289. doi: 10.1038/s41591-025-03953-8. Epub 2025 Sep 15. PMID: 40954311.

[159] Cruz Rivera S, Liu X, Chan AW, Denniston AK, Calvert MJ; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Steering Group; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Consensus Group. Guidelines for clinical trial protocols for interventions involving artificial intelligence: the SPIRIT-AI extension. *Nat Med*. 2020 Sep;26(9):1351-1363. doi: 10.1038/s41591-020-1037-7. Epub 2020 Sep 9. PMID: 32908284; PMCID: PMC7598944.

[160] Liu X, Cruz Rivera S, Moher D, Calvert MJ, Denniston AK; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group. Reporting guidelines for clinical trial reports for

interventions involving artificial intelligence: the CONSORT-AI extension. *Lancet Digit Health*. 2020 Oct;2(10):e537-e548. doi: 10.1016/S2589-7500(20)30218-1. Epub 2020 Sep 9. PMID: 33328048; PMCID: PMC8183333.



ARTICLE ORIGINAL

Perilunate fracture-dislocations mayfield III/IV : Is systematic carpal tunnel release necessary?

A. Rajaallah, M. Bouhouche, M. Bachkira, C. El Kassimi, A. Rafaoui, M. Rafai

ABSTRACT

Introduction

Perilunate fracture-dislocations (PLFD) of Mayfield types III and IV are severe injuries often complicated by acute carpal tunnel syndrome (CTS). This study evaluates the necessity of systematic carpal tunnel release (CTR) in their surgical management.

Methods

A retrospective study was conducted on 23 patients treated between 2020 and 2024. The analysis focused on the presence of CTS, associated fractures, treatment modalities, and functional outcomes (QuickDASH score).

Results

Before reduction, 26% of patients had CTS, compared to 18% after reduction. Nerve conduction impairment was detected in 30%, requiring secondary surgical release. Multiple fractures, particularly in Mayfield IV cases, increased the risk of acute CTS.

Conflict of interest : Authors declared they have no conflict of interest.

* Service d'orthopédie Traumatologie PV32 CHU-Ibn Rochd Casablanca

Conclusion

Anatomical reduction alone often restores neurological function, but preventive carpal tunnel release may be beneficial in high-risk patients. Prospective studies are necessary to refine optimal indications.

Keywords : Perilunate Fracture-Dislocations, Acute Carpal Tunnel Syndrome, Mayfield III And IV, Reduction, Neurolysis

INTRODUCTION

Perilunate fracture-dislocations (PLFD) are rare but severe injuries, generally resulting from high-energy trauma such as road accidents or falls from a height. They account for approximately 7% of carpal injuries, but their initial diagnosis is often delayed, with an error rate reaching up to 25% of cases (1).

Acute carpal tunnel syndrome (CTS) is a frequent complication, reported in 15 to 50% of patients (2). It results from either direct compression of the median nerve by displaced bone fragments or post-traumatic edema limiting the carpal tunnel space.

Among the different classifications of PLFD, Mayfield types III and IV are particularly concerning. These injuries, characterized by major ligament instability and complete lunate dislocation, expose patients to a higher risk of neurological complications, including CTS (1,2).

The objective of this study is to identify predictive factors for CTS development following Mayfield III and IV PLFD and determine whether systematic carpal tunnel release is justified in their surgical management.

MATERIALS AND METHODS

This monocentric retrospective study was

conducted in the trauma-orthopedic department over a period from January 2020 to January 2024. The included patients presented with a Mayfield type III or IV perilunate fracture-dislocation, with a minimum clinical and radiological follow-up of 12 months.

Inclusion criteria comprised patients aged 18 years or older with a confirmed perilunate fracture-dislocation, treated surgically or non-surgically. Patients with a history of wrist trauma or surgery, or those with postoperative follow-up shorter than 12 months, were excluded from the study. Collected data included age, sex, trauma mechanism, time interval between injury and reduction, as well as the presence of acute carpal tunnel syndrome (CTS) before and after reduction. The assessment of associated fractures of the carpus or wrist was also performed.

The surgical management modalities were analyzed according to the type of reduction (open or closed), the surgical approach used (dorsal, palmar, or combined), and whether or not a carpal tunnel release was performed.

Neurological evaluation was conducted at 6 months postoperatively using an electroneuromyography (ENMG) to detect nerve conduction alterations or possible recovery.

Functional analysis was performed at 6 and 12 months using the QuickDASH score(3), evaluating perceived functional limitations on a scale from 0 (no limitation) to 100 (maximum limitation).

Radiological parameters were studied at 3, 6, and 12 months postoperatively, including the assessment of scapholunate angles, carpal alignment, and the presence of signs of avascular necrosis of the lunate or post-traumatic osteoarthritis.

Clinical follow-up was conducted at 1, 3, 6, and 12 months, with an analysis of postoperative complications, including infection, complex regional pain syndrome (CRPS), and persistent chronic pain.

RESULTS

The study included 23 patients, with a mean age of 44 years and a male predominance (77%). The mean time interval between injury and reduction was 8 hours.

Presence of associated fractures and types of fracture-dislocations: Among the included patients, 67% presented with associated carpal fractures, mainly of the scaphoid (21%) and radial styloid (19%).

The most frequent type of perilunate fracture-dislocation was Mayfield III (87%), while 13% of patients had a Mayfield IV (Table I).

Table I : Characteristics of fracture-dislocations and associated fractures

Fracture-dislocation characteristics	Number of patients (%)
Mayfield III type	87
Mayfield IV type	13
Scaphoid fracture	21
Radial styloid fracture	19

Acute carpal tunnel syndrome (CTS) and surgical management: Before reduction, 26% of patients (6/23) presented with acute CTS. After reduction, symptoms persisted in 18% of patients (4/23).

An open reduction via a dorsal approach was performed in 92% of patients (21/23) without systematic carpal tunnel release. The remaining 8% (2 patients) underwent closed reduction with percutaneous fixation.

Neurological and functional evaluation

All patients were evaluated at 6 months postoperatively using electroneuromyography (ENMG). Among them, 7 patients (30%) showed nerve conduction impairment, requiring secondary surgical carpal tunnel release.

Functional evaluation using the QuickDASH score showed an average of 15, indicating mild functional limitation. Patients who required surgical carpal tunnel

release had higher scores (22), while those without neurological complications had lower scores (Table II).



Fig.1 (A+B) : Anteroposterior and lateral wrist radiographs showing a perilunate fracture dislocation

Radiological analysis and postoperative complications

Radiological evaluation at 3, 6, and 12 months showed satisfactory carpal alignment in 83% of patients. An increased scapholunate angle was observed in 5 patients (22%), requiring extended monitoring. No cases of lunate avascular necrosis were identified, and 2 patients (9%) developed signs of post-traumatic osteoarthritis on late radiographs.(Fig 1)
Postoperative follow-up identified some complications: 1 case of superficial infection, 2 cases of complex regional pain syndrome (CRPS), and 3 patients (13%) reporting persistent chronic pain (Fig 3).



Fig.2 (A+B+C+D) : Steps of reduction via a posterior approach and stabilization with Kirschner wires, median nerve neurolysis

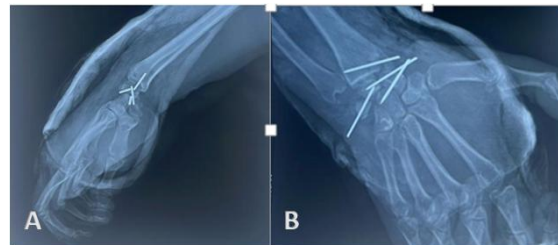


Fig.3 (A+B) : Postoperative radiographs showing anatomical reduction

Table II : Clinical, neurological, and radiological evaluation of patients

Clinical, neurological, and radiological parameters	Number of patients (%)
CTS before reduction	26
CTS after reduction	18
Nerve conduction impairment (ENMG)	30
Secondary surgical carpal tunnel release	30
QuickDASH score – All patients	15
QuickDASH score – Patients with surgical release	22
QuickDASH score – Patients without complications	11
Satisfactory carpal alignment	83
Increased scapholunate angle	22
Lunate avascular necrosis	0
Post-traumatic osteoarthritis	9
Postoperative complications (infection, CRPS, chronic pain)	26

DISCUSSION

Perilunate fracture-dislocations are complex injuries often associated with acute carpal tunnel syndrome (CTS) due to median nerve compression by displaced bone fragments or post-traumatic edema. In our study, 26% of patients had CTS before reduction, and 18% had persistent symptoms post-reduction, indicating that reduction alone does not always alleviate neurological symptoms. These findings align with those reported by Herzberg et al. and Martinage, who found a higher prevalence of CTS in Mayfield IV injuries

due to the severity of ligamentous and osseous damage (1,4).

Risk factor analysis demonstrated that multiple carpal fractures, particularly of the scaphoid and radial styloid, significantly increase the risk of acute CTS. This observation is consistent with findings by George et al. (4), who identified a direct correlation between the number of associated fractures and the likelihood of neurological complications.

The necessity for early carpal tunnel release (CTR) remains debated. In our study, 30% of patients presenting with nerve conduction impairment, confirmed via ENMG, required secondary surgical CTR. These results are in agreement with Trumble et al. (5), who advocate for preventive CTR in high-risk patients. However, Sarı et al. (6) emphasize the absence of consensus regarding systematic CTR, especially in patients without obvious clinical symptoms (fig 2).

Arthroscopic management has also been suggested as a less invasive alternative. Several studies, including those by Park et al., Liu et al., and Jeon et al. (8–10), highlight the advantages of arthroscopy in reducing postoperative fibrosis and stiffness.

Despite these findings, our study has limitations. Its retrospective and single-center nature limits the generalizability of conclusions. Additionally, variations in surgical approaches among clinicians introduce a confounding factor. These issues underscore the need for multicenter prospective studies to establish clearer guidelines for optimal management strategies.

CONCLUSION

Perilunate fracture-dislocations, particularly Mayfield IV types or those associated with multiple carpal fractures, present a high risk of acute carpal tunnel syndrome (CTS). While reduction is essential, it does not always alleviate

neurological symptoms. The absence of early carpal tunnel release increases the likelihood of secondary interventions. A standardized evaluation and tailored surgical strategies, including better-defined criteria for prophylactic carpal tunnel release, are necessary to optimize management and reduce long-term complications.

REFERENCES

1. Herzberg G, Comtet JJ, Linscheid RL, Amadio PC, Cooney WP, Stalder J. Perilunate dislocations and fracture-dislocations: A multicenter study. *J Hand Surg.* 1 sept 1993;18(5):768-79.
2. Clarke D, Franklin S, Mullings S, Jones K. Chronic Lunate Dislocation: An Unusual Cause of Carpal Tunnel Syndrome: Avoiding Diagnostic Pitfalls and Synopsis of Management Options. *West Indian Med J* [Internet]. 30 mars 2016 [cité 21 déc 2024]; Disponible sur: <https://www.mona.uwi.edu/fms/wimj/article/2771>
3. Beaton DE, Wright JG, Katz JN, Upper Extremity Collaborative Group. Development of the QuickDASH: comparison of three item-reduction approaches. *J Bone Joint Surg Am.* mai 2005;87(5):1038-46.
4. Garçon C, Degeorge B, Coulet B, Lazerges C, Chammas M. Perilunate dislocation and fracture dislocation of the wrist: Outcomes and long-term prognostic factors. *Orthop Traumatol Surg Res.* 1 sept 2022;108(5):103332.
5. Trumble T, Verheyden J. Treatment of isolated perilunate and lunate dislocations with combined dorsal and volar approach and intraosseous cerclage wire1. *J Hand Surg.* 1 mai 2004;29(3):412-7.
6. Mehmet Ümit ÇETİN AS. Mid-long Term Results of Dorsal Approach and Temporary Fixation Procedure in Overlooked Perilunate Carpal Dislocation [Internet]. *Namık Kemal Medical Journal*; 2021 [cité 21 déc 2024]. Disponible sur: <https://namikkemalmedj.com/articles/mid-long-term-results-of-dorsal-approach-and-temporary-fixation-procedure-in-overlooked-perilunate-carpal-dislocation/doi/nkmj.galenos.2021.43433>
7. Wickramasinghe NR, Duckworth AD, Clement ND, Hageman MG, McQueen MM, Ring D. Acute Median Neuropathy and Carpal Tunnel Release in Perilunate Injuries Can We Predict Who Gets a Median Neuropathy? *J Hand Microsurg.* 2015;7(2):237-40.
8. Park MJ, Ahn JH. Arthroscopically assisted reduction and percutaneous fixation of dorsal perilunate dislocations and fracture-dislocations. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* sept 2005;21(9):1153.
9. Liu B, Chen SL, Zhu J, Wang ZX, Shen J. Arthroscopically assisted mini-invasive management of perilunate dislocations. *J Wrist Surg.* mai 2015;4(2):93-100.
10. Jeon IH, Kim HJ, Min WK, Cho HS, Kim PT. Arthroscopically assisted percutaneous fixation for trans-scaphoid perilunate fracture dislocation. *J Hand Surg Eur Vol.* oct 2010;35(8):664-8.



ARTICLE ORIGINAL

Prise en charge des pseudarthroses aseptiques de l'humérus par décortication ostéopériostée et greffe osseuse au Centre Hospitalier de l'Ordre de Malte de Dakar

Treatment of aseptic pseudarthrosis of the humerus by osteoperiosteal decortication and bone grafting at the Order of Malta Hospital in Dakar

AB. Gueye, KA. Faye, MM. Niane, G .
Nghomsi, Y. Sock, CVA. Kinkpe

RÉSUMÉ

Introduction : La pseudarthrose de la diaphyse humérale est une complication tardive qui fait suite à moins de 10% des cas de fractures diaphysaires de l'humérus, et ce quelle que soit la technique utilisée. Sa prise en charge reste un problème pour les praticiens. L'objectif est d'évaluer cette technique dans la prise en charge des pseudarthroses aseptiques de l'humérus.

Patients et méthodes : Nous avons réalisé une étude rétrospective sur 9 ans allant de Janvier 2015 à Août 2023. Il s'agissait de 16

patients avec un sex ratio de 1,28 et d'un âge moyen de 50,18 ans. La prise en charge de nos patients s'est faite par décortication ostéopériostée associée à une plaqué vissée et une greffe osseuse. Deux patients avaient eu deux plaques vissées. Un patient n'avait pas bénéficié de greffe osseuse.

Résultats : L'ancienneté du traumatisme avait comme durée moyenne 50,81 mois avec comme extrêmes 4 mois et 456 mois. Huit (50%) de nos pseudarthroses siégeaient au 1/3 moyen de la diaphyse humérale. Le traitement initial était essentiellement chirurgical (68,75%) à type d'embrochage. Trois patients avaient déjà eu à bénéficier de cures de pseudarthroses. Toutes nos pseudarthroses étaient aseptiques. Nous avons eu 7 pseudarthroses hypertrophiques, 5 oligotrophiques et 4 atrophiques. Les suites post-opératoires s'étaient soldées par : un échec, deux parésies radiales et une paralysie radiale. Ces dernières avaient complètement régressé. Selon la classification de Stewart et Hundley, nous avons eu 11 excellents, 03 bons et 01 mauvais sur 15 patients évalués.

Conclusion : Notre technique de cure a fait ses preuves face aux pseudarthroses aseptiques de la diaphyse humérale, avec une évolution moindre vers des complications, et même face aux pseudarthroses qui s'étaient montrées rebelles par le passé.

Mots Clés : Pseudarthrose , Humérus, Décortication, Greffe , Plaqué Vissée

ABSTRACT

Introduction : Pseudarthrosis of the humeral diaphysis is a late complication that occurs in less than 10% of cases of diaphyseal fractures of the humerus,

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec la rédaction de cet article

* Université Cheikh Anta diop Dakar Sénégal

regardless of the technique used. Its management remains a problem for practitioners. The objective is to evaluate this technique in the management of aseptic pseudarthrosis of the humerus.

Patients and methods : We conducted a retrospective study over a 9-year period from January 2015 to August 2023. It involved 16 patients with a sex ratio of 1.28 and an average age of 50.18 years. Our patients were treated with osteoperiosteal decortication combined with a screw plate and bone graft. Two patients had two screw plates. One patient did not receive a bone graft.

Results : The average duration of the trauma was 50.81 months, ranging from 4 months to 456 months. Eight (50%) of our pseudarthroses were located in the middle third of the humeral diaphysis. Initial treatment was mainly surgical (68.75%) involving pinning. Three patients had already undergone treatment for pseudarthrosis. All of our pseudarthroses were aseptic. We had 7 hypertrophic pseudarthroses, 5 oligotrophic pseudarthroses, and 4 atrophic pseudarthroses. The postoperative outcomes were as follows: one failure, two cases of radial paresis, and one case of radial paralysis. The latter had completely regressed. According to the Stewart and Hundley classification, we had 11 excellent, 3 good, and 1 poor outcomes out of 15 patients evaluated.

Conclusion : Our treatment technique has proven effective in cases of aseptic pseudarthrosis of the humeral diaphysis, with fewer complications, even in cases of pseudarthrosis that had proven difficult to treat in the past.

Keywords : Pseudarthrosis, Humerus, Decortication, Graft, Screw Plate

INTRODUCTION

La pseudarthrose de la diaphyse humérale est une complication tardive qui fait suite à moins de 10% des cas de fractures diaphysaires de l'humérus, et ce quel que soit la technique utilisée[1]. Sa prise en charge est complexe et comporte un taux de complications et d'échecs non négligeables. D'une part, la neurolyse itérative du nerf radial peut entraîner un risque de paralysie postopératoire. D'autre part, les échecs de consolidation des cures de pseudarthroses restent élevés. Selon les séries, ils peuvent atteindre 8 à 30 % des cas [2], [3], [4]. Plusieurs procédés thérapeutiques existent selon la nature de la pseudarthrose et les habitudes du chirurgien. Nous rapportons une série de 16 pseudarthroses de la diaphyse humérale prises en charge par décortication ostéopériostée de Judet avec apport de greffons et ostéosynthèse par plaque à compression dynamique. L'objectif est d'évaluer cette technique dans la prise en charge des pseudarthroses aseptiques de l'humérus.

PATIENTS ET METHODES

1. PATIENTS

Il s'agit d'une étude rétrospective s'étendant de janvier 2015 à août 2023. Elle incluait toutes les pseudarthroses aseptiques et post traumatiques de la diaphyse humérale prises en charge par décortication ostéopériostée avec greffe osseuse et fixation interne par plaque. Les patients présentant des pseudarthroses congénitales ont été exclus.

Au total 16 patients ont été colligés dont 09 hommes et 07 femmes donnant un sex-ratio de 1,28. L'âge moyen était de 50,18 ans avec des extrêmes de 23 ans et 80 ans. Concernant le traitement de la fracture initiale, 11 patients (68,75%) avaient bénéficié d'un traitement chirurgical (figure 1), 04 patients (25%) d'un traitement orthopédique et 01 patient (6,25%) avait eu recours au traitement traditionnel. Le

traitement chirurgical effectué initialement était à type d'embrochage pour 5 patients, de plaque vissée pour 4 et d'enclouage centromédullaire pour 1 patient.

Trois patients avaient déjà eu à bénéficier de cures de pseudarthrose dans d'autres services. Il s'agissait d'une décortication chez deux patients et d'une compression par fixateur Ilizarov chez un patient. Une paralysie radiale a été notée à l'examen initial chez une patiente.

La pseudarthrose était majoritairement localisée au niveau du tiers moyen de la diaphyse (10 cas). Deux étaient situées au tiers proximal et 4 au tiers distal.

Sept pseudarthroses hypertrophiques, 05 pseudarthroses oligotrophiques et 04 pseudarthroses atrophiques avaient été retrouvées (figure 2). Le tableau I détaille les différentes caractéristiques épidémiologiques et anatomo-cliniques pré-thérapeutiques de la population.

2. METHODES D'ETUDE

2.1. Recueil et analyse des données

Nous avons recueilli les données épidémiologiques, cliniques, radiologiques, thérapeutiques et évolutives dans les dossiers grâce à la plateforme KobotoolBox. Ces données ont été analysées à l'aide du logiciel SPHINX V5.

2.2. Technique opératoire (figure 3) :

Tous les patients étaient opérés sous anesthésie générale. La voie d'abord habituelle est la voie latérale. Elle était utilisée chez 14 patients. Une voie postérieure paratricipitale a été utilisée pour deux patients. Une ablation première du matériel d'ostéosynthèse initiale était réalisée dans les cas de traitement chirurgical après repérage et neurolyse du nerf radial pour la voie latérale. Une excision des bords fibrosés suivie d'une décortication ostéopériostée puis d'une reperméabilisation du canal médullaire avaient été réalisées ensuite. Une plaque vissée autocompressive latérale ou postérieure a été utilisée pour tous les

patients. La compression était renforcée par l'utilisation d'un tendeur de plaque. Chez deux patients présentant une pseudarthrose au tiers distal de la diaphyse et en raison du caractère porotique de leurs os, une plaque de soutien a été utilisée pour renforcer l'ostéosynthèse. Une greffe cortico-spongieuse provenant des crêtes iliaques complétait le protocole chirurgical. La fermeture se faisait plan par plan sur drain de redon aspiratif.

2.3. Soins post opératoires

L'ablation du drain se faisait à J2 post opératoire. L'ensemble du membre supérieur était maintenu dans une poche à bras pendant 1 mois puis secondairement une kinésithérapie était entamée. La durée moyenne d'hospitalisation était de 4,87 jours.

2.4. Méthode d'évaluation des résultats

Les patient étaient évalués selon :

- Le nombre de cure chirurgicale réalisée
- Les complications notées
- L'évaluation fonctionnelle des patients qui était basée sur l'appréciation post opératoire :
 - La mobilité du coude post opératoire
 - Le score de Stewart et Hundley [5], [6]
- La consolidation et le délai de consolidation sur le plan radiologique : la consolidation était considérée comme acquise par la présence de 3 ou 4 ponts osseux sur les incidences de face et profil

RÉSULTATS

Une seule cure a été nécessaire pour 14 patients. Deux patients ont eu recours à une seconde chirurgie après la première cure pour défaut de consolidation.

Le recul moyen était de 33, 6 mois. La mobilité du coude était complète pour 13 patients. Trois raideurs du coude ont été notées avec une mobilité. Il s'agissait toutes

d'un défaut de flexion qui était entre 45 et 90°.

Selon le score de Stewart et Hundley, 12 patients avaient un excellent résultat fonctionnel, 03 patients un bon résultat et 01 présentait un mauvais résultat.

Sur le plan radiologique, la consolidation a été acquise pour 15 patients avec un délai de consolidation moyen de 4 mois (extrêmes de 3 et 5 mois) (figure 4). Une patiente présentait une persistance de la pseudarthrose après une seconde cure réalisée.

Sur le plan analytique et selon le siège de la pseudarthrose, le délai de consolidation était moindre pour les pseudarthroses du tiers moyens (3,5 mois) et plus important pour les pseudarthroses au tiers distal (4,8 mois). Le délai de consolidation au tiers proximal était de 4,4 mois. Concernant le type, les pseudarthroses hypertrophiques consolidaient plus rapidement (4 mois) suivies des pseudarthroses oligotrophiques (4,6 mois) puis des pseudarthroses atrophiques (5 mois.)

Une paralysie et deux parésies du nerf radial avaient été objectivées avec une récupération complète des parésies.

DISCUSSION

La fréquence des pseudarthroses de l'humérus dans nos contrées est due d'une part à un recours important au traitement traditionnel chez le rebouteux. G. Ngongang avait retrouvé 100% de patients ayant eu en premiers recours le tradipraticien dans son étude portant sur 20 cas pseudarthroses [7]. D'autre part, les mauvaises indications thérapeutiques et le non-respect du cahier de charge des ostéosynthèses de la lésion initiale sont des facteurs non négligeables de survenue de pseudarthrose de l'humérus. Le traitement initial effectué sur nos patients était préférentiellement chirurgical (68,75%) avec pour la plupart un non-respect des normes d'une ostéosynthèse normale. Ceci est similaire aux données de Valentin

Massin et de Dembélé qui ont retrouvé respectivement 85,24% et 61,1% [8] [9].

Il n'existe pas véritablement de consensus fondé quant à la prise en charge d'une pseudarthrose de la diaphyse humérale[3]. La décortication ostéopériostée imaginée par R Judet dans les années 1960 a prouvé son efficacité dans le traitement des pseudarthroses diaphysaires aseptiques. Elle consiste à relancer les processus de consolidation par création, autour du foyer, d'un fourreau de greffons osseux vivants car laissés pédiculés aux parties molles adjacentes[10]. Cette technique occupe une place prépondérante dans la prise en charge des pseudarthroses aseptiques de la diaphyse humérale [3] [11] [12]. Malgré la pléthore de techniques d'ostéosynthèse, la plaque vissée garde ses indications et reste le moyen d'ostéosynthèse le plus utilisé. Elle permet une bonne stabilisation du foyer mais également une compression inter fragmentaire impératives pour l'obtention d'une consolidation. Bien que rarement documentée isolément, l'utilisation d'un tendeur de plaque est conforme au principe de compression dynamique promu dans les ostéosynthèses modernes [13]. Elle permet une compression supplémentaire du foyer et donc favorise la consolidation. Autrefois considérée comme un adjuvant au traitement principale et souvent réservée au pseudarthrose atrophique, la greffe osseuse spongieuse doit être considérée comme un acte impératif dans le traitement de toute pseudarthrose aseptique. En effet d'une part des études ont prouvé que le taux d'échecs étaient plus élevés pour les pseudarthroses traitées par plaque vissée sans greffe et d'autre part de nombreuses publications font état de consolidations obtenues uniquement par apport de greffe sans modifications de l'ostéosynthèse [14], [15], [16].

L'ensemble de nos patients ont bénéficié d'une cure par décortication ostéopériostée avec ostéosynthèse par plaque et greffe osseuse. Deux cas d'ostéoporose ont justifié l'utilisation de doubles plaques, comme recommandé dans les cas d'os fragiles [17].

L'évaluation fonctionnelle selon le score de Stewart et Hundley a révélé 11 excellents résultats, 3 bons, et un seul mauvais, résultats concordants avec ceux d'autres séries ayant utilisé la même stratégie thérapeutique [5] [7][9]. Ceci témoigne de l'efficacité de la technique utilisée chez nos patients. Nous avons obtenu un taux de consolidation de 93,3 %, avec un délai moyen de 4 mois. Ces résultats sont en accord avec les taux rapportés dans la littérature : Massin [8] (90,16 %), Chantelot [18] (95,24 %), Moustaid [19] (100 %) et Dahmani [5] (95 %). Différents éléments influencent le succès thérapeutique :

- Le type de pseudarthrose : les formes hypertrophiques répondent mieux, comme l'ont montré Weber & Cech dans leur classification décisionnelle [20]
- La localisation : les pseudarthroses du tiers moyen, mieux vascularisées, ont donné de meilleurs résultats [5]
- L'état osseux : en cas d'ostéoporose, la double plaque améliore la stabilité [18]
- L'usage du tendeur de plaque : bien que peu décrit, il s'intègre dans la logique biomécanique de compression dynamique [17]

En dehors des échecs thérapeutiques, les complications les plus retrouvées dans la littérature sont l'infection du site opératoires mais surtout les paralysies et parésies du nerf radial [5]. Une paralysie et deux parésies transitoires du nerf radial ont été notées dans notre série. Ces complications peuvent être minimisées par une technique chirurgicale rigoureuse.

CONCLUSION

La pseudarthrose aseptique de la diaphyse humérale représente une complication redoutable des fractures, particulièrement dans les contextes à ressources limitées où les retards de prise en charge, le recours au traitement traditionnel et les ostéosynthèses non conformes restent fréquents. Notre étude confirme l'efficacité de la décortication selon Judet avec un taux de consolidation de 93,3 %, et des résultats

fonctionnels satisfaisants dans la majorité des cas, malgré quelques complications neurologiques transitoires.

REFERENCES

1. Osman N, Touam C, Masmejean E, Asfazadourian H, Alnot JY

Results of non-operative and operative treatment of humeral shaft fractures A series of 104 cases

Annales de Chirurgie de la Main et du Membre Supérieur 1998; 17(3):195-206

2. Giannoudis PV, Einhorn TA, Marsh D

Fracture healing : The diamond concept

Injury 2007; 38:S3-S6

3. Peters RM, Claessen FMAP, Doornberg JN, Kolovich GP, Diercks RL, van den Bekerom MPJ

Union rate after operative treatment of humeral shaft nonunion – A systematic review

Injury 2015; 46(12):2314-24

4. Pelissier P, Masquelet AC, Bareille R, Mathoulin Pelissier S, Amedee J

Induced membranes secrete growth factors including vascular and osteoinductive factors and could stimulate bone regeneration

Journal of Orthopaedic Research 2004; 22(1):73-9

5. Dahmani O, Bouziane A, Shimi M, Elibrahimi A, Elmrini A

Pseudarthrose aseptique de la diaphyse humérale traitée par plaque vissée et autogreffe osseuse (à propos de 20 cas)

Chirurgie de la Main 2013; 32(2):85-91

6. Martínez AA null, Herrera A, Pérez JM, Cuenca J, Martínez J.

Treatment of humeral shaft nonunion by external fixation: a valuable option. J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc. 2001;6(3):238-41.

7. Ngongang G, Arabo S, Guifo L, Fonkoue L, Mokom P

Résultats du traitement de pseudarthrose aseptique de la diaphyse humérale. À propos de 20 cas

Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique 2016; 102(8):791

8. Massin V

La prise en charge des pseudarthroses de la diaphyse humérale: analyse radio-clinique d'une série de 61 cas et évaluation de la stratégie diagnostique et thérapeutique
Thèse Med., Marseille 2021

9. Dembele B

Facteurs étiologiques et évaluation des pseudarthroses aseptiques de la diaphyse humérale au CHU LE DANTEC
Thèse Med., Dakar, 2013, N°04

10. Décortication.pdf [Internet]. [cité 3 févr 2025]. Disponible sur: <https://www.sofcot.fr/sites/www.sofcot.fr/files/medias/documents/1-%20D%C3%A9cortication.pdf>

11. Bégué T, Mouchantaf M, Aurégan JC

Pseudarthroses diaphysaires aseptiques de l'humérus
Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique 2022; 108(6, Supplement):S49-58

12. Massin V, Laumonerie P, Bonneville N, Le Baron M, Ollivier M, Flecher X, et al

Quel traitement pour les pseudarthroses de la diaphyse humérale? Évaluation d'une stratégie thérapeutique à partir d'une série de cas

Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique 2023

13. Piriou P, et al. Traitement des pseudarthroses de jambe après enclouage: intérêt de la décortication ostéopériostée.
Rev Chir Orthop. 2005;91(3):222-231.

14. Healy WL, White GM, Mick CA, Brooker AF, Weiland AJ. Non-union of the

humeral shaft. Clin Orthop 1987;219:206–13.

15. Gerard Y, Ameil M, Pierson A, Charfi F. Pseudarthroses de la diaphyse humérale.
Chirurgie 1991;117:263–9.

16. Hierholzer C, Sama D, Toro JB, Peterson M, Helfet DL. Plate fixation of ununited humeral shaft fractures: effect of type of bone graft on healing. J Bone Joint Surg Am 2006;88:1442–7.

17. Gaillard J, et al. Traitement chirurgical des pseudarthroses rebelles de l'humérus avec la technique de la membrane induite.
Rev Chir Orthop Traumatol. 2020;106(5):459-468.

18. Chantelot C, Ferry S, Lahoude-Chantelot S, Prodomme G, Guinand R, Fontaine C

Étude rétrospective des résultats du traitement chirurgical de 21 pseudarthroses de l'humérus
Chirurgie de la Main 2005; 24(2):84-91

19. Said Moustaid

Traitement chirurgical de pseudarthrose aseptique de la diaphyse humérale
Thèse Med., Marrakech, 2023, N°060

20. Weber BG, Cech O, Konstam P

Pseudarthrosis: pathophysiology, biomechanics, therapy, results
New York: Grune & Stratton 1976

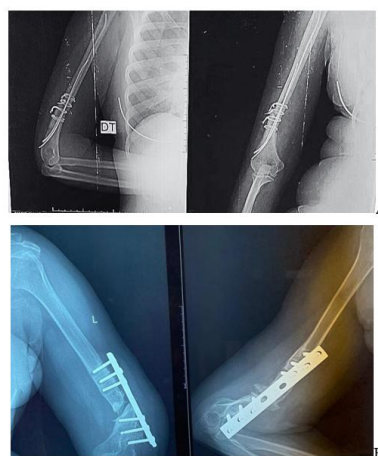


Figure 1 : Pseudarthroses après traitement

chirurgical A : Post embrochage
centromédullaire ; B : Post ostéosynthèse
par plaque



Figure 2 : Pseudarthrose hypertrophique au niveau du tiers distal de l'humérus



Figure 3 : Cure par décortication ostéopériostée + plaque vissée + greffe osseuse sur pseudarthrose armée. A et B : Installation et abord du patient ; C : exposition de l'ancienne plaque vissée ; D : nouvelle plaque vissée et greffe cortico-spongieuse ; E : Fermeture sur drain



Figure 4 : Pseudarthrose du tiers distal. A : radiographie préopératoire ; B : radiographie à post-opératoire immédiat ; C : radiographie à M3 post opératoire

Tableau I : Caractéristiques pré thérapeutique de la série

	Age	Sexe	Coté atteint	Profession	Traitement de la lésion initiale	Type de pseudarthrose	Lésion nerveuse	Siege lésion
1	47	F	D	couturière	Chirurgical(Plaque)	hypertrophique	oui	1/3 distal
2	56	M	D	Agent société	Chirurgical(plaque)	oligotrophique	Non	1/3 moyen
3	38	M	D	enseignant	Chirurgical (embrochage)	atrophique	Non	1/3 moyen
4	42	F	G	comptable	Chirurgical (embrochage)	hypertrophique	Non	1/3 moyen
5	43	M	D	tailleur	orthopédique	oligotrophique	Non	1/3 moyen
6	57	M	D	Chef religieux	Chirurgical (Plaque)	hypertrophique	Non	1/3 proximal
7	64	M	D	Sans profession	Chirurgical (Ilizarov)	atrophique	Non	1/3 moyen
8	59	M		gendarme	Chirurgical (embrochage)	hypertrophique	Non	1/3 moyen
9	75	F	G	ménagère	Chirurgical	oligotrophique	Non	1/3 moyen
10	80	F	D	Religieuse	Chirurgical (embrochage)	hypertrophique	Non	1/3 moyen
11	23	M	D	Commerçant	Tradipraticien	Atrophique	Non	1/3 moyen
12	33	F	G	Restauratrice	Chirurgical (Plaque)	oligotrophique	Non	1/3 proximal
13	64	F	G	Ménagère	Orthopédique	Atrophique	Non	1/3 distal
14	38	M	D	Ingénieur géomètre	Orthopédique	Hypertrophique	Non	1/3 distal
15	40	F	D	Étudiante	Chirurgical (Embrochage)	oligotrophique	Non	1/3 distal
16	44	M	D	Agent de sécurité	Chirurgical (Embrochage)	hypertrophique	non	1/3 moyen



CAS CLINIQUE

Combination of an anterior shoulder fracture dislocation with ipsilateral humeral shaft fracture : A case report

Y. Sbihi, M. El Hanbli, O. El Adaoui, O. Baba, Y. Qadiri, Y. El Andaloussi A.R. Haddoun, M. Fadili

ABSTRACT

Only a few reports in the literature have described the rare combination of a shoulder fracture-dislocation with a concomitant humeral shaft fracture. The treatment of this condition is not yet standardized and largely depends on the orthopedic surgeon's expertise. This complexity arises from the need to address two distinct injuries simultaneously while preserving joint function and ensuring fracture stability. In this case, we share our approach to managing this uncommon injury and provide a discussion on the topic.

Key Words : Fracture Dislocation, Shoulder, Humeral Shaft Fracture

INTRODUCTION

Anterior fracture dislocation of the shoulder joint with an ipsilateral humeral shaft fracture is a rare injury, and the first case was reported in 1940.(1) Here, we present a case involving an anterior fracture-dislocation of the right shoulder with an associated ipsilateral humeral shaft fracture and discuss the mechanism and management of this rare combination.

CAS CLINIQUE

A 28-year-old right-handed man was admitted to the emergency department following a road traffic accident. He was a motorcyclist hit by a car, resulting in a closed trauma to his right upper arm. Upon initial assessment in the emergency department, the patient was conscious and stable in both hemodynamic and respiratory terms, displaying signs of upper limb trauma with a visible deformity of the right arm. (Fig 1) Palpation revealed a vacuity of the glenoid cavity with pain and tenderness in the region of the humeral diaphysis. The elbow was painless, but movement of the shoulder and elbow was impossible. The vascular examination showed no abnormalities, with distal pulses clearly palpable. The neurological examination was normal at this stage, particularly regarding sensitivity in the areas of the circumflex and radial nerves. Radiographs showed a transversal humeral shaft fracture with apex lateral angulation, associated to a two-part proximal humerus fracture with an anterior dislocation of the humeral head. (Fig 2) The anterior dislocation of the shoulder is an emergency requiring immediate reduction, we first immobilized the arm in a sling going up to the level of the deltoid. This sling stabilized the humerus, effectively creating a single rigid segment and providing a strong lever arm to facilitate the reduction of the dislocation. The neurological examination following the reduction remained normal, particularly in the areas supplied by the axillary and radial nerves. A scan was performed to obtain a more detailed assessment of the associated greater tuberosity fracture. (Fig 3) The humerus was accessed through a lateral approach, performing neurolysis of the nerve and securing a narrow DCP plate. For the greater tuberosity, given its strictly non-

displaced nature, a simple immobilization with a sling was applied. (fig 4)

DISCUSSION

A fracture-dislocation of the shoulder combined with an ipsilateral fracture of the humeral shaft is an uncommon injury. Only few cases have been documented in the literature. (1–7)

In young individuals, the occurrence of this combined injury is typically indicative of high-energy trauma, such as that sustained in public traffic accidents or high-speed motorcycle collisions. The mechanism underlying this complex injury pattern remains ambiguous. Some authors hypothesize that the fracture-dislocation and humeral shaft fracture occur simultaneously due to an axial loading force transmitted along the humeral shaft into the shoulder joint.(5,6) Conversely, others suggest that indirect forces initially result in shoulder dislocation, followed by a subsequent humeral shaft fracture caused by direct impact forces.(8,9) Based on the analysis of the humeral fracture pattern and the distribution of ecchymosis observed in our case, we hypothesize that the patient sustained an impact from behind, with the force applied to the proximal portion of the humeral shaft. This initial impact likely induced the shoulder dislocation. Subsequently, the humeral fracture may have occurred due to the fall, with the arm positioned in abduction and external rotation at the time of impact.

The management of this type of injury is complex and lacks a standardized approach, primarily due to its rarity. Shoulder dislocation constitutes an orthopedic emergency, and we advocate reduction of the dislocation before addressing the humeral shaft fracture. Early reduction is preferable, as acute dislocations are generally easier to manage and associated with lower complication rates compared to chronic dislocations. However, in these cases, the absence of a lever arm and the presence of a humeral shaft fracture

significantly complicate the reduction process. Consequently, the procedure may not always be successful and carries a substantial risk of radial nerve injury. (10) From this perspective, several authors advocate for prioritizing stabilization of the humeral shaft before attempting joint reduction.(6,7,11–13) Various fixation methods are available, including plating, intramedullary nailing, bundle nailing, and external fixation. Additionally, some studies have reported favorable outcomes using only functional splinting.(1,8,14)

In consideration of the fracture's location and to minimize displacement and the risk of radial nerve palsy, we opted to stabilize the humeral shaft using a sling before reducing the dislocation with the Kocher maneuver under sedation. Given the patient's young age and active occupation involving manual labor, we chose plate fixation for the humeral shaft fracture to reduce the risk of nonunion.

CONCLUSION

Fracture-dislocation of the shoulder associated with a humeral shaft fracture is a very rare injury. Due to the lack of standardized management guidelines, we recommend immediate reduction of the shoulder dislocation to minimize the risk of complications. Utilizing a sling can aid in facilitating the reduction process. Once the dislocation is addressed, the humeral shaft fracture can be managed using various osteosynthesis techniques, depending on the specific case requirements.



Fig 1 : Deformity of the right arm with a brachial cross.



Fig 2 : X-rays showing humeral shaft fracture with the ipsilateral fracture dislocation of the right shoulder

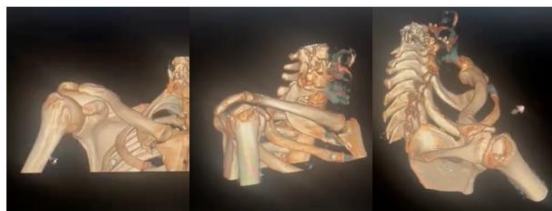


Fig 3 : 3D reconstruction showing the greater tuberosity fracture



Fig 4 : Post-operative X-rays after reduction and fixation with a DCP plate

BIBLIOGRAPHIE

1. Winderman A. Dislocation of the shoulder with fracture of the shaft of the humerus. Bull Hosp Joint Dis Orthop Inst. 1940, 1:23-5.
2. Albaker AB, Abdullah A Alsaleh A, Malik Alshammari M, Abdullah Akkasi H, Abdullah Hazza Alharbi H, Ibrahim S Alqurmulah N. Anterior Shoulder Dislocation With an Ipsilateral Humeral Shaft Fracture: A Case Report. Cureus [Internet]. 3 janv 2023 [cité 3 déc 2024]; Disponible sur: <https://www.cureus.com/articles/132029-anterior-shoulder-dislocation-with-an-ipsilateral-humeral-shaft-fracture-a-case-report>
3. Flint JH, Carlyle LM, Christiansen CC, Nepola JV. Case report and literature review anterior shoulder dislocation with three-part proximal humerus fracture and humeral shaft fracture. Iowa Orthop J. 2009;29:105-13.
4. Herzberg G, Tebaa E. Combined three-part humeral anterior fracture-dislocation and humeral shaft fracture treated with one-stage long stem shoulder hemiarthroplasty in an active elderly patient: A case report and review of literature. SICOT-J. 2017;3:62.
5. Barquet A, Schimchak M, Carreras O, Leon H, Masliah R. Dislocation of the shoulder with fracture of the ipsilateral shaft of the humerus. Injury. mars 1985;16(5):300-2.
6. Sankaran-Kutty M, Sadat-Ali M. Dislocation of the shoulder with ipsilateral humeral shaft fracture. Arch Orthop Trauma Surg. 1989;108(1):60-2.
7. Baker DM. Fracture of the humeral shaft associated with ipsilateral fracture dislocation of the shoulder: report of a case. J Trauma. juin 1971;11(6):532-4.

8. Kontakis GM, Galanakis IA, Steriopoulos KA. Dislocation of the shoulder and ipsilateral fracture of the humeral shaft: case reports and literature review. *J Trauma*. nov 1995;39(5):990-2.
9. Canosa i Arete J. Dislocation of the shoulder with ipsilateral humeral shaft fracture. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1994;113(6):347-8.
10. Calderone RR, Ghobadi F, McInerney V. Treatment of shoulder dislocation with ipsilateral humeral shaft fracture. *Am J Orthop* (Belle Mead NJ). févr 1995;24(2):173-6.
11. Kazakos K, Paraschou S, Lasanianos NG, Verettas D, Lyras DN. A humeral shaft fracture complicated with anterior shoulder dislocation in a young male treated with modified Intramedullary nailing prior to reduction: a case report. *Cases J*. 23 nov 2009;2:9075.
12. Gupta Y, Jha RK. Compound fracture of humeral shaft associated with two-part fracture dislocation of ipsilateral shoulder: a rare combination. *J Surg Case Rep*. 2 févr 2015;2015(2):rju153.
13. Maffulli N, Yip KM, Cowman JE, Chan KM. Fracture of the shaft of the humerus with a fracture-dislocation of the same shoulder. A case report. *Int Orthop*. 1996;20(4):237-8.
14. Davick J, Zadalis R, Garvin K. Anterior glenohumeral dislocation with ipsilateral humeral shaft fracture. *Orthopedics*. août 1995;18(8):745-8.



ARTICLE ORIGINAL

Traitement en un temps d'un traumatisme ouvert de l'index par plastie tendineuse et cross finger désépidermisé retourné

M. Jiddi, M. EL Kasseh, M. Habbab, M. Nassiri, A. Achkoun, R. Chafik

ABSTRACT

Open hand injuries are a frequent emergency in orthopedic and reconstructive surgery and may result in significant functional impairment, particularly in young and active patients. Combined injuries involving open phalangeal fractures, extensor tendon defects, and dorsal skin loss represent a major reconstructive challenge. We report the case of an 18-year-old right-handed male who sustained an open dorsal injury of the right index finger following a work-related accident. Clinical examination revealed a contused dorsal wound in zone II with skin loss, bone exposure, and complete loss of active extension, consistent with extensor mechanism injury, while radiographs confirmed an open fracture of the middle phalanx. Surgical management was performed in a single stage and included thorough debridement, axial Kirschner wire fixation, extensor tendon reconstruction using a Snow tendon plasty, and coverage of the dorsal defect with a reversed de-epithelialized cross-finger flap harvested from the adjacent finger. Postoperative

follow-up showed uneventful healing, satisfactory fracture consolidation, and progressive functional recovery with dedicated rehabilitation. Single-stage reconstruction combining skeletal stabilization, tendon repair, and reliable soft tissue coverage using a reversed de-epithelialized cross-finger flap appears to be an effective and reliable option for the management of complex dorsal finger injuries, providing durable coverage, protection of deep structures, and satisfactory functional and aesthetic outcomes.

Keywords : Open finger injury; Extensor tendon reconstruction; Cross-finger flap; Dorsal finger defect; Hand trauma

INTRODUCTION

Les traumatismes ouverts de la main constituent une urgence fréquente en chirurgie orthopédique et reconstructive et représentent une cause majeure de morbidité fonctionnelle, en particulier chez les sujets jeunes et actifs (1-3). La main étant un organe fonctionnel complexe et indispensable à la vie quotidienne et professionnelle, toute atteinte peut entraîner des séquelles lourdes si la prise en charge n'est pas rapide et adaptée. La gravité de ces traumatismes dépend de la nature, de l'étendue et de l'association des lésions osseuses, tendineuses, vasculo-nerveuses et cutanées. Lorsque plusieurs structures sont atteintes simultanément, le risque de complications, telles que l'infection, la raideur articulaire, le déficit fonctionnel permanent ou même l'amputation, est significativement augmenté (2,4).

Les fractures ouvertes des phalanges associées à une atteinte de l'appareil extenseur et à une perte de substance cutanée dorsale constituent un véritable défi

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec la rédaction de cet article

* Service de traumatologie orthopédie Hôpital Ibn Tofail
CHU Mohammed 6 de Marrakech

thérapeutique. La face dorsale du doigt est caractérisée par une peau fine, peu mobile, et intimement liée aux structures profondes, rendant la couverture cutanée particulièrement délicate, notamment en présence d'une exposition osseuse ou tendineuse (5,6). Dans ce contexte, l'objectif du traitement est d'assurer une restauration anatomique stable, une couverture cutanée fiable et une récupération fonctionnelle permettant une rééducation précoce (1,7).

Parmi les techniques de couverture disponibles, le lambeau cross finger désépidermisé retourné s'est imposé comme une option fiable et reproductible pour les pertes de substance dorsales des doigts. Il permet d'apporter une couverture cutanée vascularisée, protectrice des structures profondes, tout en conservant une sensibilité satisfaisante et en autorisant une mobilisation précoce (8–10). Nous rapportons à travers ce cas clinique la prise en charge en un temps opératoire d'un traumatisme ouvert complexe de l'index droit associant fracture ouverte de la deuxième phalange, perte de substance de l'appareil extenseur et perte de substance cutanée dorsale.

OBSERVATION CLINIQUE

Il s'agit d'un patient âgé de 18 ans, droitier, sans antécédents pathologiques notables, victime d'un accident de travail ayant entraîné un traumatisme ouvert de l'index droit. Le patient avait initialement négligé la gravité de la blessure et s'est présenté aux urgences trois jours après l'accident. Ce retard de consultation constitue un facteur aggravant, susceptible d'augmenter le risque infectieux et de compliquer la prise en charge. À l'examen clinique initial, on retrouvait une plaie contuse de la face dorsale de l'index droit, située en zone II (Figure 1). Les berges de la plaie étaient irrégulières et contuses. L'examen fonctionnel objectivait un déficit complet de l'extension active de

l'index, évoquant fortement une atteinte de l'appareil extenseur. L'examen vasculo-nerveux distal était normal.



Figure 1 : Plaie contuse de la face dorsale de l'index droit située en zone II

La radiographie standard de l'index, réalisée en incidences de face et de profil, mettait en évidence une fracture de la deuxième phalange (Figure 2). L'association de lésions osseuses, tendineuses et cutanées définissait ainsi un traumatisme ouvert complexe nécessitant une prise en charge chirurgicale urgente et globale.



Figure 2 : Radiographie standard de l'index (face et profil) mettant en évidence une fracture de la deuxième phalange

Le patient a été conduit au bloc opératoire où un parage chirurgical complet et soigneux a été réalisé, conformément aux principes de prise en charge des fractures

ouvertes, afin d'éliminer les tissus nécrotiques, de réduire la charge bactérienne et de prévenir les complications infectieuses. L'exploration chirurgicale confirmait une perte de substance de l'appareil extenseur rendant impossible une suture termino-terminale (Figure 3).



Figure 3 : Image peropératoire mettant en évidence la perte de substance cutané et tendineuse

La fracture de la deuxième phalange a été stabilisée par un embrochage axial, permettant un alignement osseux satisfaisant et une stabilité mécanique suffisante pour favoriser la consolidation. La continuité de l'appareil extenseur a été restaurée par une plastie tendineuse selon la technique de Snow, indiquée dans les pertes de substance tendineuse lorsque la suture directe est impossible (Figure 4). La perte de substance cutanée dorsale a été recouverte par un lambeau local de type cross finger désépidermisé retourné, prélevé sur le doigt adjacent, offrant une couverture cutanée vascularisée et protectrice des structures profondes exposées (Figure 5).

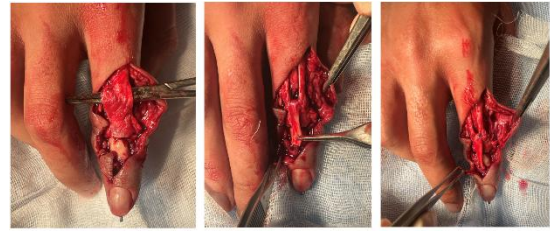


Figure 4 : Images peropératoires des étapes de la plastie tendineuse de Snow



Figure 5 : Images peropératoires du lambeau cross finger désépidermisé retourné

Les suites postopératoires ont été simples, avec une surveillance clinique rapprochée et un contrôle cutané régulier toutes les semaines le premier mois. À trois mois, la cicatrisation était complète, sans complication infectieuse ni nécrose du Lambeau (Figure 6). La radiographie de contrôle montrait une consolidation satisfaisante de la fracture. La rééducation fonctionnelle spécialisée a permis une récupération progressive de l'extension active et une conservation de la mobilité digitale. Le recul d'un an confirmait la stabilité fonctionnelle et la satisfaction esthétique et fonctionnelle du patient.



Figure 6 : Images cliniques de l'évolution post-opératoire à J7 , J15 , J30 et après 3 mois

DISCUSSION

La prise en charge des traumatismes ouverts complexes de la main demeure un défi majeur en chirurgie reconstructive. Ces lésions exposent à un risque élevé d'infection, de raideur articulaire et de séquelles fonctionnelles définitives si la reconstruction n'est pas précoce, stable et complète (1,3). La littérature souligne l'importance d'une approche globale intégrant un parage rigoureux, une stabilisation osseuse fiable, une reconstruction tendineuse adaptée et une couverture cutanée efficace, idéalement réalisées en un temps opératoire lorsque les conditions locales le permettent (1,4).

La couverture des pertes de substance dorsales des doigts est particulièrement délicate en raison de la finesse de la peau et de la superficialité de l'appareil extenseur. Dans ce contexte, le lambeau cross finger désépidermisé retourné s'est imposé comme une technique fiable et largement éprouvée. Atasoy et al. ont montré que ce lambeau est particulièrement indiqué pour les pertes de substance dorsales profondes

avec exposition osseuse ou tendineuse, lorsque les techniques simples de fermeture ou les greffes cutanées sont insuffisantes (8).

Fejjal et al ont rapporté des résultats fonctionnels satisfaisants avec le cross finger désépidermisé retourné, mettant en évidence une bonne fiabilité du lambeau et une récupération fonctionnelle acceptable, même dans les pertes de substance étendues (9). Ces résultats ont été confirmés par Ekinci et al., qui ont souligné la polyvalence de cette technique dans la reconstruction des défauts dorsaux digitaux, avec ou sans atteinte associée du mécanisme extenseur (10).

La reconstruction de l'appareil extenseur est un élément déterminant du pronostic fonctionnel. En présence d'une perte de substance tendineuse, les techniques de plastie tendineuse, telles que la plastie de Snow, permettent de restaurer la continuité tendineuse tout en respectant la longueur fonctionnelle du tendon (1,11). Associée à une stabilisation osseuse adéquate, cette reconstruction favorise une rééducation précoce et limite la survenue de raideurs secondaires (1,7).

Concernant la stabilisation osseuse, l'embrochage axial reste une méthode fiable et largement utilisée pour les fractures ouvertes des phalanges, permettant un bon alignement osseux tout en respectant les tissus mous environnants déjà fragilisés (12).

Bien que fiable, le cross finger désépidermisé retourné n'est pas dénué de risques. Elhoda et al. ont rapporté une morbidité potentielle du site donneur, incluant des troubles esthétiques et une raideur digitale transitoire, soulignant l'importance d'une indication rigoureuse et d'une rééducation postopératoire adaptée (13). Les complications telles que la nécrose partielle du lambeau ou l'infection restent rares lorsque la technique est bien réalisée

et que la surveillance postopératoire est rigoureuse (5,6).

Dans le cas présenté, la prise en charge en un temps opératoire associant parage, stabilisation osseuse, plastie tendineuse et couverture cutanée par cross finger désépidermisé retourné a permis d'obtenir un résultat fonctionnel et esthétique satisfaisant. La jeunesse du patient, l'absence de comorbidités et la mise en place d'une rééducation spécialisée ont probablement contribué à ce bon résultat, comme cela est souligné dans plusieurs séries de la littérature (1,10,14).

CONCLUSION

L'objectif de la prise en charge des traumatismes ouverts complexes de la main est d'assurer une restauration fonctionnelle et esthétique optimale tout en minimisant les complications. Le lambeau cross finger désépidermisé retourné, associé à une stabilisation osseuse et à une plastie tendineuse adaptée, constitue une option thérapeutique fiable pour la couverture des pertes de substance dorsales associées à une atteinte de l'appareil extenseur (1–3).

Ce cas illustre l'intérêt d'une prise en charge globale et bien planifiée en un temps opératoire, ainsi que l'importance d'une rééducation fonctionnelle précoce et adaptée, en particulier chez les jeunes patients actifs. Cette approche conserve une valeur pédagogique importante et demeure pleinement pertinente en chirurgie reconstructive de la main.

REFERENCES

1. Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC. Green's Operative Hand Surgery. 7th ed. 2017.
2. Mennen U, Wiese A. Treatment of open fractures of the hand. J Hand Surg Br. 1993.

3. Netscher DT, Baumholtz MA. Treatment of complex hand injuries. Plast Reconstr Surg. 2003.
4. Khouri RK, Shaw WW. Reconstruction of the hand. Plast Reconstr Surg. 1989.
5. Strauch B, Vasconez LO, Hall-Findlay EJ. Grabb's Encyclopedia of Flaps. 2009.
6. Choudry UH, Moran SL. Soft tissue coverage of the hand. Hand Clin. 2007.
7. Lister G. The Hand: Diagnosis and Indications. 2000.
8. Atasoy E, Ioakimidis E, Kasdan ML. Reconstruction of dorsal digital defects. J Hand Surg Am. 2016.
9. Fejjal N, Chafry B, Lahrach K, et al. Le lambeau cross finger désépidermisé retourné. Chir Main. 2008.
10. Ekinici Y, Aydin A, Atesalp AS. Reverse de-epithelialized cross-finger flap in dorsal finger defects. Hand Surg Rehabil. 2020.
11. Higgins JP, Lalonde DH. Flexor and extensor tendon injuries. Clin Plast Surg. 2019.
12. Bunnell S. Surgery of the hand. JBJS. 1944.
13. Elhoda M, Elrefai M, Khalifa A. Comparison between cross finger and Quaba flap. J Hand Surg Eur. 2020.
14. Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M. Local flaps of the hand. Plast Reconstr Surg. 2011.



CAS CLINIQUES

Prise en charge chirurgicale d'un schwannome isolé du nerf ulnaire au niveau du coude (à propos d'un cas)

A. Cala, H. Arfaoui, M. Hanbli, O. Baba,
Y. Elqadiri, Y. Sbihi, O. Eladaoui, Y. El
Andaloussi, AR. Haddoun, D. Bennouna,
M. Fadili

RESUME

Un schwannome isolé du nerf ulnaire au niveau du coude a été découvert chez un patient de 28 ans présentant depuis six ans une masse douloureuse et progressive, avec paresthésies irradiant vers la main. L'imagerie par résonance magnétique a mis en évidence une lésion excentrique le long du nerf, iso-signal T1 et hyper-signal T2, entourée d'un liséré capsulaire et présentant un rehaussement homogène après injection de gadolinium, permettant de différencier le schwannome du neurofibrome. L'intervention chirurgicale a consisté en une exérèse microscopique de la tumeur de 5 cm, réalisée par dissection plane-par-plan avec préservation du nerf cubital intact. L'examen histologique a confirmé le diagnostic de schwannome, et le suivi post-opératoire a montré l'absence de déficit sensitivo-moteur. Ce cas souligne l'importance de l'IRM pour le diagnostic précis et la planification chirurgicale afin d'éviter des séquelles fonctionnelles.

Mots-Clés : Schwannome, Tumeur, Nerf Ulnaire, Coude

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec la rédaction de cet article

* Service d'orthopédie Traumatologie Aile 4 CHU-Ibn Rochd Casablanca.

ABSTRACT

An isolated ulnar-nerve schwannoma at the elbow was identified in a 28-year-old patient who had a six-year history of a progressively enlarging, painful mass with paresthesias radiating to the hand. Magnetic resonance imaging revealed an eccentric lesion along the nerve, iso-intense on T1 and hyper-intense on T2, surrounded by a low-signal capsule and showing homogeneous gadolinium enhancement, facilitating differentiation from a neurofibroma. Surgical management involved microsurgical removal of the 5-cm tumor through a meticulous plane-by-plane dissection while preserving the intact ulnar nerve. Histopathology confirmed the schwannoma diagnosis, and postoperative follow-up demonstrated no sensory-motor deficit. This case highlights the pivotal role of MRI for accurate diagnosis and surgical planning, enabling nerve-sparing excision and preventing functional impairment.

Keywords : Schwannoma, tumor, ulnar nerve, elbow

INTRODUCTION

Le schwannome est défini comme étant une tumeur nerveuse bénigne qui se développe à partir des cellules de Schwann. Elle atteint fréquemment le nerf médian et sciatique et peut toucher rarement le nerf ulnaire.(1) On la retrouve surtout chez les sujets jeunes. Le schwannome est considéré habituellement comme une lésion énucléable dont l'excision n'entraîne pas de déficit post-opératoire.(2) Le diagnostic repose sur l'IRM. La confirmation est assurée par l'histologie. (3) L'intérêt de notre travail est de rapporter un cas de schwannome du nerf ulnaire traité chirurgicalement.

MATERIELS ET METHODES

Nous rapportons le cas d'un sujet âgé de 28 ans qui s'est présenté pour une masse du coude droit évoluant progressivement depuis 6 ans accompagné de douleur du coude irradiant vers l'avant-bras et la main au niveau des trois derniers doigts, rebelle au traitement antalgique. L'évolution fut marquée depuis 20 jours par l'aggravation de la douleur avec impotence fonctionnelle et paresthésies.

L'examen clinique objectivait une masse de 03 centimètres, dure, non adhérente à la peau, mobile par rapport au plan profond siégeant au niveau de la face postéro-interne du coude droit avec douleur à la palpation de la masse et décharge électrique à sa palpation sur le trajet du nerf ulnaire. On notait également une hypoesthésie par rapport au côté controlatérale.

Une IRM a été indiquée chez le patient objectivant un aspect évocateur d'un processus du nerf ulnaire à hauteur du coude étendu sur une hauteur de 6,5 centimètres. (Figure 1)



Figure 1 : IRM mettant en évidence la tumeur

RESULTATS

Le patient a été admis au service Aile 4 de traumatologie orthopédie du CHU Ibn Rochd de Casablanca pour une intervention chirurgicale. Le patient a été admis au bloc opératoire, en décubitus dorsale sur table ordinaire avec tablette latérale, sous anesthésie générale, garrot à la racine du

membre supérieur droit sans vidange. Après une incision selon la voie médiale du coude, (Figure 2) dissection plan par plan, on objective la mise en évidence d'une masse au dépend du nerf cubital d'une longueur de 5 centimètres d'aspect hémorragique par endroit (Figure 3).

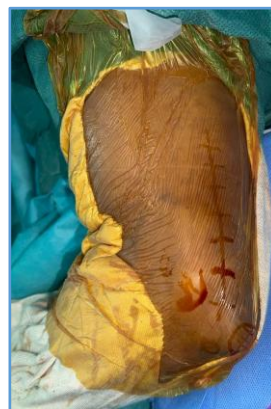


Figure 2 : La voie d'abord chirurgicale



Figure 3 : La tumeur au dépend du nerf cubital

Après dissection de l'épiméris et du péri-nerf nous avons réalisé une libération progressive de la masse (Figure 4) et ablation de cette dernière, tout en laissant le nerf cubital intact (Figure 5) avec envoi de la pièce opératoire pour étude anatomopathologique (Figure 6). Le patient n'a pas présenté de déficit sensitivo-moteur post-opératoire.



Figure 4 : La tumeur après dissection des tuniques



Figure 5 : Aspect du nerf cubital après ablation de la tumeur



Figure 6 : Aspect de la tumeur après son exérèse

DISCUSSION

Les schwannomes sont les plus fréquentes des tumeurs des nerfs périphériques, ils sont développés à partir de la gaine du nerf. Ils atteignent habituellement les troncs nerveux de grand calibre, en particulier, du membre supérieur. (4)

Le schwannome est retrouvé à différent âge mais le plus souvent entre 30 et 40 ans(5). L'évolution de la tumeur est lente ce qui retarde le plus souvent le diagnostic. Elle peut rester longtemps asymptomatique ou se manifester par une douleur, une tuméfaction et des signes d'irritation nerveuse. À la palpation, il s'agit d'une masse solitaire de consistance ferme et mobile.(6)

L'examen de choix est l'IRM qui nous permet de mieux visualiser la tumeur ainsi que préciser son étendue.(7,8) On caractérise le schwannome en visualisant une masse excentrée sur le trajet du nerf qui apparaît en isosignal T1 et en hypersignal T2. En général, les contours de la masse sont bien circonscrits avec en périphérie un liséré en hyposignal nous faisant évoquer la présence d'une capsule. Au gadolinium, le rehaussement est homogène.(8,9) L'IRM permet dans la plupart des cas de différencier entre schwannome et neurofibrome. L'aspect caractéristique du schwannome est hyper-intense en périphérie et hypo-intense plus au moins homogène tandis que celui du neurofibrome est hétérogène ou rarement homogène.(10) Cette différence entre schwannome et neurofibrome est importante car le neurofibrome envahit le nerf en profondeur ce qui nous oblige le plus souvent à réaliser une résection totale avec des conséquences fonctionnelles alors que le schwannome peut être disséqué sans perte de la continuité nerveuse.(11)

D'autres tumeurs nerveuses rares se développent à partir des éléments constitutifs du nerf et consistent en lipome intranerveux, hémangiome de la gaine de Schwann et neurofibrolipome.(12)

Le traitement des schwannomes est chirurgical. La tumeur étant extirpable, l'exérèse est complète.(13) Le caractère de la lésion non infiltrant qui refoule les fascicules nerveux permettant une dissection plus fine.(14) L'exérèse doit être microchirurgicale et peut être aidé par l'utilisation de la stimulation électrique qui permet de repérer les fascicules nerveux.

Dans certains cas, la tumeur est appendue à un fascicule que l'on ne peut séparer et qu'il faudra sacrifier.(4) Dans notre cas, nous avons pu réaliser l'exérèse tout en laissant le nerf ulnaire intact.

En post-opératoire, le déficit neurologique est inférieur à 15% et transitoire de quelques mois à quelques années, qui s'explique par la contusion des fibres nerveuses restées en continuité.(15) Notre patient n'avait aucune complication neurologique.

CONCLUSION

Le diagnostic du Schwannome du nerf ulnaire est souvent retardé devant l'évolution lente de la symptomatologie. Elle se présente par une tuméfaction sur le trajet du nerf ulnaire avec des signes neurologiques associés soit par douleur à type de décharge électrique ou de paresthésies. Son traitement est chirurgical.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. MARTINEZ ALGARRA JC, GASTALDI RODRIGO P, PALOMARES TALENS E. Le schwannome multiple du nerf sciatique: A propos d'un cas. Schwannome Mult Nerf Sciatique Propos Un Cas. 1999;85(6):632-5.
2. Rekha A, Ravi A. Sciatic Nerve Schwannoma. Int J Low Extrem Wounds. 1 sept 2004;3(3):165-7.
3. Omezzine SJ, Zaara B, Ben Ali M, Abid F, Sassi N, Hamza HA. Une rare cause de sciatique non discale : le Schwannome du nerf sciatique. Rev Chir Orthopédique Traumatol. 1 nov 2009;95(7):649-52.
4. Nawabi DH, Sinisi M. Schwannoma of the posterior tibial nerve: THE PROBLEM OF DELAY IN DIAGNOSIS. J Bone Joint Surg Br. 1 juin 2007;89-B(6):814-6.
5. Woodruff JM, Scheithauer BW, Kurtkaya-Yapcer Ö, Raffel C, Amr SS, LaQuaglia MP, et al. Congenital and Childhood Plexiform (Multinodular) Cellular Schwannoma: A Troublesome Mimic of Malignant Peripheral Nerve Sheath Tumor. Am J Surg Pathol. oct 2003;27(10):1321.
6. Abkari I, Bouhlal Y, Latifi M, Hamdaoui A, Hakkou M. Schwannome géant du nerf musculocutané (à propos d'un cas). Chir Main. 1 juin 2013;32(3):183-5.
7. CHICK G, ALNOT JY, SILBERMANN-HOFFMAN O. Tumeurs bénignes isolées des nerfs périphériques. Tumeurs Bénignes Isolées Nerfs Périphériques. 2000;86(8):825-34.
8. Amezyane T, Pouit B, Bassou D, Lecoules S, Desramé J, Blade JS, et al. Une cause rare de lombosciatique. Rev Médecine Interne. juin 2006;27(6):494-6.
9. Huang J, Mobbs R, Teo C. Multiple schwannomas of the sciatic nerve. J Clin Neurosci. 1 mai 2003;10(3):391-3.
10. Suh JS, Abenzoza P, Galloway HR, Everson LI, Griffiths HJ. Peripheral (extracranial) nerve tumors: correlation of MR imaging and histologic findings. Radiology. mai 1992;183(2):341-6.
11. Créteur V, Bacq C, Fumière E, Bissen L, Delcour C. Échographie des nerfs périphériques — Deuxième partie : membre inférieur. J Radiol. 1 mars 2007;88(3, Part 1):349-60.
12. Rezzouk J, Durandeau A. Compression nerveuse par pseudo-kyste mucoïde : à propos de 23 cas: Arguments en faveur de l'origine articulaire. Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot. 1 mars 2004;90(2):143-6.
13. EL MEKKAoui M, LAMRANI M, KHARMAZ M, ISMAEL F, MOUSTAINE M, EL OUDGHIRI M, et al. Le schwannome du nerf sciatique : une rare cause de sciatique non discale (a propos

d'un cas). Rev Maroc Chir Orthop
Traumatol 2011 45 38-41.

14. Conti P, Pansini G, Mouchaty H, Capuano C, Conti R. Spinal neurinomas: retrospective analysis and long-term outcome of 179 consecutively operated cases and review of the literature. Surg Neurol. 1 janv 2004;61(1):34-43.

15. Hems TEJ, Burge PD, Wilson DJ. The role of magnetic resonance imaging in the management of peripheral nerve tumours. J Hand Surg Br Eur Vol. 1 févr 1997;22(1):57-60.



ARTICLE

Tendon transfer and distal ulnar debridement for spontaneous 4th and 5th finger extensor rupture in rheumatoid arthritis : A case report

O. Mourafiq^{1,2}, A. Benbouha², H. Salahi², O. Mergad²

ABSTRACT

Extensor tendon ruptures are a common and functionally limiting complication in patients with rheumatoid arthritis (RA), often resulting from chronic inflammation, ischemic damage, or attrition over eroded bony structures. Surgical intervention, particularly tendon transfer, remains a key strategy for restoring hand function in these patients. We report the case of a 57-year-old female with a 9-year history of RA, who presented with progressive inability to extend the fourth and fifth fingers of her right hand over the course of a year. Clinical examination revealed isolated extension loss without pain or swelling. Radiographs

showed osteoarthritic changes and dislocation of the distal radioulnar joint (DRUJ), while MRI confirmed severe tenosynovitis with complete rupture of the extensor tendons to the affected digits. Surgical management included a dorsal approach with tendon transfer from the ruptured fourth and fifth extensor tendons to the intact third extensor tendon, along with debridement of the distal ulna to prevent further attritional rupture. Postoperative rehabilitation was initiated, and at three months, the patient demonstrated excellent functional recovery with restored extension and flexion of the involved fingers, without complications. This case highlights the importance of timely diagnosis and surgical intervention in managing tendon ruptures in RA patients.

Keywords : Rheumatoid Arthritis, Spontaneous Tendon Rupture, Tendon Transfer, Distal Ulna Debridement

INTRODUCTION

Extensor tendon ruptures are a frequent and debilitating complication in patients with rheumatoid arthritis. (1)

These ruptures can result from direct invasion of the tendon by the rheumatoid tenosynovium, ischemic necrosis due to pressure from the proliferative synovium, or attrition over the eroded bony prominences, such as the distal ulna. (2)

The management of these tendon ruptures often involves surgical interventions, with tendon transfer techniques emerging as a commonly employed solution, yielding positive functional outcomes in many cases. (3)

In this article, we report the case of a 57-year-old female patient with a history of long-standing rheumatoid arthritis, who presented with a loss of extension in the 4th and 5th digits for the past year. The patient was treated with tendon transfer surgery,

Conflict of Interest Statement : The authors declare that there are no conflicts of interest related to the publication of this brief communication.

Funding Sources statement : The authors received no funding

Author Contributions : All authors contributed significantly to the design, data handling, and critical revision of this brief communication, and approved the final submitted version.

Ethical Approval Statement : Ethical approval was not required for this case report in accordance with the institutional policy. Patient consent was obtained from the patient for publication of the case and associated clinical information

Declaration of Interest Statement : The authors declare that there are no conflicts of interest related to the publication of this article. The research was conducted without any financial support, and the authors have no personal, professional, or financial relationships that could influence the content of the manuscript.

(1) Department of Orthopaedic Surgery and Traumatology, Oued Eddahab Military Hospital Agadir 80000, Morocco

(2) Faculty of Medicine and Pharmacy of Marrakech.

involving the transfer of extensor tendons from the 4th and 5th digits to the 3rd digit, as well as open debridement of the distal ulna. This case illustrates the complexity of managing extensor tendon ruptures in rheumatoid arthritis and the role of tendon transfer in restoring hand function.

CASE REPORT

A 57-year-old female with a 9-year history of rheumatoid arthritis under regular follow-up presented to the orthopedic department with a complaint of difficulty extending her right fourth and fifth fingers for the past year. (Figure 1). The patient reported progressive loss of function in her right hand, significantly affecting her ability to perform daily activities. On examination, the patient exhibited noticeable impairment in the extension of her right fourth and fifth fingers. There was no visible deformity or swelling, and no pain or tenderness was noted on palpation. The remainder of her hand and wrist examination was unremarkable.

The patient underwent a series of radiological investigations. A standard X-ray of the right wrist and hand revealed osteoarthritic changes in the wrist, as well as the presence of a dislocation of the distal radioulnar joint (DRUJ). (Figure 2). To further investigate the extent of soft tissue involvement, magnetic resonance imaging (MRI) of the right hand and wrist was performed. The MRI findings revealed extensive exudative inflammatory tenosynovitis and severe damage to the extensor tendons of the fourth and fifth fingers. Both tendons exhibited rupture with significant loss of tendon substance. (Figure 3).

A dorsal longitudinal approach was chosen for tendon exploration, positioned between the fourth and fifth metacarpals. Intraoperatively, both the extensor tendons of the fourth and fifth fingers were found to be ruptured with substantial tendon

substance loss. (Figure 4). The fourth and fifth extensor tendons were transferred to the third extensor tendon, which was functioning normally, to restore active extension of the affected fingers. (Figure 5). A debridement of the distal ulna was performed to prevent further rupture of the tendons. The wound was closed, and the patient was placed in an intrinsic-plus splint to immobilize the hand and wrist for the first 15 days postoperatively.

The patient began physical therapy aimed at regaining motion and strength, and to restore both the extension and flexion of the affected fingers. At the three-month follow-up, the patient showed significant improvement in both active extension and flexion of the right fourth and fifth fingers. (Figure 6). She was able to perform daily activities without significant difficulty, and there were no signs of tendon re-rupture or complications. Both the aesthetic and functional outcomes were highly satisfactory

DISCUSSION

Rheumatoid arthritis (RA) is a chronic, progressive autoimmune disease that affects the hands in nearly 90% of patients. (4)

Spontaneous rupture of the extensor tendons, commonly seen in rheumatoid hands, is associated with several risk factors such as persistent synovitis, the scallop sign on radiographs, and dorsal subluxation of the distal ulnar head, also known as caput ulnae syndrome. (5)

The condition was first described by Vaughan-Jackson in 1948. (6)

Tendon ruptures can occur due to infiltration by inflammatory tissue or as a result of attrition. (7)

In long-standing rheumatoid arthritis, the distal radioulnar joint becomes affected by synovitis and joint destruction, leading to joint instability. Over time, the distal ulna subluxates dorsally, coming into contact

with the overlying extensor tendons. As the extensor tendons move across the inflamed dorsal radiocarpal synovium and eroded distal ulna, attrition of the tendons can occur, eventually leading to ruptures at this level. The extensor tendons to the small finger (EDC and extensor digiti quinti [EDQ]), located in the fourth and fifth dorsal compartments, are most commonly affected. Ruptures typically begin in the ulnar digits and progress radially over time. (8,9)

While joint destruction may be a major cause of functional impairment, extensor tendon rupture, if not treated appropriately in the early stages, can lead to severe hand dysfunction.

Tendon ruptures typically occur when a patient suddenly loses the ability to extend a finger or thumb. In individuals with rheumatoid arthritis, these ruptures are often painless and can happen during normal activities. Due to the patient's pre-existing functional limitations, these ruptures are often overlooked for some time, resulting in a delayed medical evaluation. (2,10)

Diagnosing a tendon rupture in individuals with rheumatoid arthritis necessitates a comprehensive medical history and physical examination. Preexisting deformities and associated conditions, such as restricted joint range of motion, can complicate the diagnosis. (3)

Advances in medical treatment have led to a decrease in the number of joint deformities (11), which has, in turn, reduced the frequency of surgeries for RA hands and wrists (12,13)

Primary reconstruction is typically not feasible on the ruptured tendon. Therefore, publications mainly recommend tendon transfer or coupling with an intact extensor tendon. (1,14)

Tendon transfer and tendon grafting are preferred methods over end-to-end primary repair for RA extensor tendon rupture, as the latter often results in limited flexion after resection of a poor-quality stump (15).

Tendon transfer is the primary treatment for restoring extensor function, and many authors have reported satisfactory results with this techniques (9,16)

Tendon transfer is often one of the first options considered due to its low morbidity at the donor site, the absence of concerns regarding the affected muscle function, and the need for only one suture site . (3).

As with any tendon transfer attempt, the underlying cause must be addressed during surgery to prevent future ruptures. This surgery may include ulnar debridement or a formal Darrach procedure. Additionally, the dorsal retinacular ligament can be sutured below the extensor tendons to create an appropriate tendon bed for a long-lasting repair. (17,18)

The extensor tendons to the small finger are most often ruptured in patients with rheumatoid arthritis. While an isolated EDQ rupture may not cause major functional impairment, it should still be treated surgically to prevent further tendon ruptures. (19)

PROCEDURE : END-TO-SIDE TENDON TRANSFER

Step 1 : Make a 3 to 4 cm longitudinal incision, centered between the metacarpal of the affected digit and the adjacent, unaffected digit.

Step 2 : Identify the distal stump of the ruptured tendon and remove any inflamed tissue.

Step 3 : Suture the distal tendon stump to the adjacent EDC tendon using nonabsorbable sutures. Adjust the tension so that full extension is achieved with wrist flexion and the digits are symmetrically aligned.

Step 4 : Irrigate the surgical site and close the wound. Splint the affected digits with the MCP joints in extension and the IP joints left free . (3)

We found that the patient had a better

outcome when one or two fingers were involved, compared to when three fingers were affected. Additionally, the duration of the untreated rupture was linked to the extent of the MP joint extension lag. (2) The results indicated that there was no significant difference in the clinical outcomes between tendon grafting and tendon transfer. (2) Although tendon transfer is commonly used as a first-line treatment for RA extensor tendon ruptures (16,3), there are few studies comparing tendon transfers with tendon grafts, and the results vary significantly.

CONCLUSION

Patients with rheumatoid arthritis often tolerate and compensate for long-term extensor tendon ruptures, resulting in a delayed clinical presentation. Tendon transfer remains the primary treatment for extensor tendon ruptures. In cases of extensor tendon rupture, dorsal synovitis, along with the subluxed and eroded distal ulna, should be addressed. Recent advances in the medical treatment of rheumatoid patients may considerably reduce the incidence of spontaneous tendon ruptures in the future.

REFERENCES

1. Chu, P.-J., Lee, H.-M., Hou, Y.-T., Hung, S.-T., Chen, J.-K., & Shih, J.-T. (2008). Extensor-tendons reconstruction using autogenous palmaris longus tendon grafting for rheumatoid arthritis patients. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/1749-799x-3-16>
2. Chung, U. S., Kim, J. H., Seo, W. S., & Lee, K. H. (2009). Tendon transfer or tendon graft for ruptured finger extensor tendons in rheumatoid hands. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 35(4), 279–282. <https://doi.org/10.1177/1753193409339942>
3. O’Sullivan, M. B., Singh, H., & Wolf, J. M. (2016). Tendon Transfers in the Rheumatoid Hand for Reconstruction. *Hand Clinics*, 32(3), 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2016.03.014>
4. Arnett, F. C., Edworthy, S. M., Bloch, D. A., Mcshane, D. J., Fries, J. F., Cooper, N. S., Healey, L. A., Kaplan, S. R., Liang, M. H., Luthra, H. S., Medsger, T. A., Mitchell, D. M., Neustadt, D. H., Pinals, R. S., Schaller, J. G., Sharp, J. T., Wilder, R. L., & Hunder, G. G. (1988). The american rheumatism association 1987 revised criteria for the classification of rheumatoid arthritis. *Arthritis & Rheumatism*, 31(3), 315–324. Portico. <https://doi.org/10.1002/art.1780310302>
5. RYU, J., SAITO, S., HONDA, T., & YAMAMOTO, K. (1998). Risk Factors and Prophylactic Tenosynovectomy for Extensor Tendon Ruptures in the Rheumatoid Hand. *Journal of Hand Surgery*, 23(5), 658–661. [https://doi.org/10.1016/s0266-7681\(98\)80022-3](https://doi.org/10.1016/s0266-7681(98)80022-3)
6. Vaughan-Jackson, O. J. (1948). Rupture of extensor tendons by attrition at the inferior radio-ulnar joint. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 30-B(3), 528–530. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.30b3.528>
7. Nalebuff, E. A. (1971). Present status of rheumatoid hand surgery. *The American Journal of Surgery*, 122(3), 304–318. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(71\)90250-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(71)90250-9)
8. Lubahn JD, Williams DP. Tendon transfers used for treatment of rheumatoid disorders. In: Weisel SW, editor. *Operative techniques in orthopaedic surgery*, vol. 3. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 2608–18.
9. Moore, J. R., Weiland, A. J., & Valdata, L. (1987). Tendon ruptures in the rheumatoid hand: Analysis of treatment and

functional results in 60 patients. The Journal of Hand Surgery, 12(1), 9–14. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(87\)80151-x](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(87)80151-x)

10. Schindele, S. F., Herren, D. B., & Simmen, B. R. (2011). Tendon Reconstruction for the Rheumatoid Hand. Hand Clinics, 27(1), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2010.10.004>

11. Chung, K. C., & Pushman, A. G. (2011). Current Concepts in the Management of the Rheumatoid Hand. The Journal of Hand Surgery, 36(4), 736–747. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.01.019>

12. Dafydd, M., Whitaker, I. S., Murison, M. S., & Boyce, D. E. (2012). Change in operative workload for rheumatoid disease of the hand: 1,109 procedures over 13 years. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery, 65(6), 800–803. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2011.11.050>

13. Gogna, R., Cheung, G., Arundell, M., Deighton, C., & Lindau, T. R. (2014). Rheumatoid Hand Surgery: Is there a Decline? A 22-Year Population-Based Study. HAND, 10(2), 272–278. <https://doi.org/10.1007/s11552-014-9708-9>

14. NAKAMURA, S., & KATSUKI, M. (2002). Tendon Grafting for Multiple Extensor Tendon Ruptures of Fingers in Rheumatoid Hands. Journal of Hand Surgery, 27(4), 326–328. <https://doi.org/10.1054/jhsb.2002.0755>

15. Wilson, R. L., & DeVito, M. C. (1996). EXTENSOR TENDON PROBLEMS IN RHEUMATOID ARTHRITIS. Hand Clinics, 12(3), 551–559. [https://doi.org/10.1016/s0749-0712\(21\)00342-5](https://doi.org/10.1016/s0749-0712(21)00342-5)

16. Williamson, S. C., & Feldon, P. (1995). EXTENSOR TENDON RUPTURES IN RHEUMATOID ARTHRITIS. Hand Clinics, 11(3), 449–459.

[https://doi.org/10.1016/s0749-0712\(21\)00066-4](https://doi.org/10.1016/s0749-0712(21)00066-4)

17. Nalebuff, E. A. (1971). Present status of rheumatoid hand surgery. The American Journal of Surgery, 122(3), 304–318. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(71\)90250-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(71)90250-9)

18. Feldon, P., Terrono, A. L., Nalebuff, E. A., & Millender, L. H. (2011). Rheumatoid Arthritis and Other Connective Tissue Diseases. Green's Operative Hand Surgery, 1993–2065. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4160-5279-1.00061-7>

19. MILLENDER, L. H., NALEBUFF, E. A., ALBIN, R., REAM, J. R., & GORDON, M. (1974). Dorsal Tenosynovectomy and Tendon Transfer in the Rheumatoid Hand. The Journal of Bone & Joint Surgery, 56(3), 601–610. <https://doi.org/10.2106/00004623-197456030-00018>

FIGURES



Figure 1 : Extension deficit of the right 4th and 5th fingers



Figure 2 : Preoperative radiograph showing

osteoarthritic changes and dislocation of the distal radioulnar joint (DRUJ)

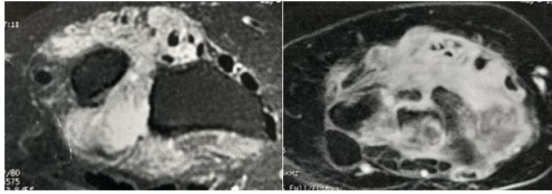


Figure 3 : MRI revealing severe tenosynovitis and complete rupture of the extensor tendons to the 4th and 5th digits

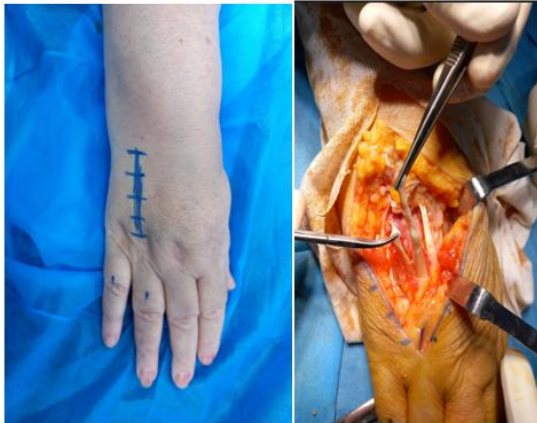


Figure 4 : Intraoperative view of ruptured extensor tendons before tendon transfer



Figure 5 : Intraoperative view showing tendon transfer of the ruptured 4th and 5th finger extensors to the intact extensor of the 3rd finger



Figure 6 : Clinical aspect of the hand at three months postoperatively, showing good recovery of both extension and flexion of the 4th and 5th fingers



CAS CLINIQUES

Lambeau du carré pronateur dans les nevromes douloureux du nerf median : A propos d'un cas

Pronator Quadratus Flap in Painful Median Nerve Neuromas : A Case Report

M. Akhouad, A. Laaribi, M. El Kasseh, M. Habbab, M. Nassiri, A. Achkoun, R. Chafik

ABSTRACT

Introduction

Painful wrist neuromas are common and can severely limit hand function. Optimal management remains controversial. Neurolysis combined with a muscle flap, particularly the pronator quadratus, protects the nerve and provides satisfactory analgesic outcomes.

Case

We report the case of a 54-year-old patient with a median nerve neuroma following an open wrist trauma. Diagnosis was primarily

Report

Conflit d'intérêt : Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec la rédaction de cet article
Service de traumatologie-orthopédie Hôpital IBN Tofail, CHU Mohammed V Marrakech

clinical and confirmed by MRI. The patient underwent neurolysis with retrograde pronator quadratus flap coverage. Postoperatively, pain decreased by 4 points on the Visual Analog Scale (VAS), paresthesia resolved, and manual activities were fully resumed without analgesics.

Discussion

Neuroma diagnosis relies primarily on clinical examination, with MRI aiding in lesion confirmation and localization. Surgical management provides significant pain relief, superior to medical treatment. The pronator quadratus flap, with its favorable vascularization and ease of dissection, is a reliable technique for protecting distal wrist neuromas.

Conclusion

The pronator quadratus island flap is a simple, safe, and effective method for treating painful distal median nerve neuromas, leading to significant pain reduction and optimal functional recovery.

INTRODUCTION

Un névrome correspond à une prolifération non néoplasique de tissu nerveux, résultant d'une repousse axonale désorganisée associée à différents types cellulaires, généralement observée après section ou traumatisme nerveux (1).

Les névromes douloureux du poignet sont fréquents et représentent une cause majeure de handicap fonctionnel. Le contact, même minime, avec le névrome déclenche une hyperalgie intense et désagréable, pouvant fortement limiter l'utilisation fonctionnelle de la main. (2)-(3)

Il n'existe aucun consensus concernant le traitement optimal des névromes douloureux(4) Par conséquent, de nombreuses modalités thérapeutiques ont été décrites pour traiter la douleur du névrome, incluant des interventions pharmacologiques, psychologiques et physiques. (5)-(6)-(7)

De nombreuses techniques chirurgicales ont été décrites pour la prise en charge des nevromes douloureux mais le rôle de la chirurgie dans cette alternative demeure controversé. (4)

Le traitement des névromes douloureux du poignet repose principalement sur l'exoneurolyse associée à une protection du nerf, le lambeau musculaire du carré pronateur offrant les résultats antalgiques les plus satisfaisants. De nombreuses techniques ont été décrites dans la littérature, mais aucune ne s'est révélée totalement efficace dans la prise en charge de ces douleurs. (8)

OBSERVATION

Nous présentons les cas de Mr. M.M âgés de 54 ans, droitier de latéralité travailleur manuel sans antécédents pathologiques particuliers consulte pour une symptomatologie douloureuse du poignet gauche évoluant depuis environ un an, faisant suite à un traumatisme ouvert de la face antérieure du poignet survenu dans un accident de travail. La plaie avait été explorée au bloc opératoire, mettant en évidence une section du tendon fléchisseur superficiel, une section du tendon cubital antérieur, ainsi qu'une section du nerf médian, qui avait alors fait l'objet d'une réparation chirurgicale. Évolution postopératoire :Le patient rapporte depuis des douleurs de 6 points sur l'EVA et des picotements en regard du trajet du nerf médian sans trouble de motricité, l'examen clinique a noté une cicatrice longitudinale en regard du ligament carpien siège d'une masse nodulaire de 25mmx11mm libre et mobile ainsi qu'un défaut douloureux à la palpation de celle-ci à la percussion un note un signe

de tinnel positif fait de paresthésie et de dyesthésie au long du trajet du nerf median sans autres signes associés notamment pas d'hypotrophie de la loge thenar pas de déficit moteur. L'imagerie par résonance magnétique a été pratiquée chez le patient et a confirmé la présence d'un épaississement hétérogène localisé du nerf median en rapport avec un nevrome.

Le patient a bénéficié d'une approche par une exoneurolyse suivie d'une protection nerveuse par le lambeau de carré pronateur à flux rétrograde et suturé à lui-même par du Vicryl 4/0. Après lâchage du garrot, le saignement du lambeau a toujours été correct Le suivi post-opératoire a été marqué par la diminution de la douleur de 4 points sur l'échelle visuelle analogique (EVA). et une nette amélioration des dyesthésies et paresthésies pulpaire avec une reprise des activités antérieures, y compris le travail manuel, sans recours aux antalgiques.

Nous n'avons pas noté un problème de pronosupination qui est restée identique au préopératoire .

DISCUSSION

Dans notre cas l'examen clinique était la méthode principale du diagnostic positif complété par l'IRM pour confirmation, l'étude de Louis H. et Al affirme que 6% des études utilisaient également l'imagerie pour aider au diagnostic du nevrome. (4)

Le délai de prise en charge entre le début des symptômes est la chirurgie par lambeau du carré pronateur était de 10 mois comparé à l'étude de Valérie Decrouy-Duruz qui arrivait à une moyenne de 48 mois. (9)

Dans notre expérience, nous avons préconisé la prise en charge chirurgicale ; son efficacité est nettement supérieure comparée à la prise en charge médicale, cette dernière aboutit à une réduction satisfaisante des douleurs neuropathiques dans seulement 30-40% à base de NSADIS/paracétamol et opiacés.(9)

les études de belmahi et Louis H. Poppler and Al atteste successivement que 84% de disparition totale de la douleur apres chirurgie contre 77% .(8)-(9)

Nath et mackinnon propose une alternative chirurgicale apres echec du traitement medical de 6mois . (10)

la prise en charge de névrome distal du poignet dans notre cas était par la technique d'exoneurolyse associé a un lambeau du muscle carré pronateur ; ce muscle, seul disponible dans la région et doté d'une vascularisation favorable, permet une dissection aisée en variante antérograde (11) comme en variante rétrograde, utilisée avec succès dans notre cas. La littérature ne permet pas de classer une technique chirurgicale superieur par rapport a une autre en terme d'efficacité. (4)-(9)

Le patient s'est rendu au contrôle A j30 et j60 post op avec une disparition complète des douleurs nociceptives, une régression totale des paresthésies, un Tinel négatif, et une pronation parfaitement préservée, ce qui concorde avec la série de Belmahi rapportant 84 % de disparition quasi totale de la douleur et 16 % d'atténuation significative.(8)

L'effet antalgique marqué s'explique par la couverture musculaire épaisse jouant un rôle d'amortisseur, ainsi que par la capacité du muscle à absorber les fibres névromateuses, mécanisme décrit par Dellon, Mackinnon et Pestrouk. (12)

CONCLUSION

Les névromes douloureux des nerfs périphériques représentent une complication fréquente des sutures nerveuses et constituent un motif de consultation de plus en plus courant. Le diagnostic est avant tout clinique, et l'IRM joue un rôle essentiel pour confirmer et localiser la lésion, guidant ainsi une intervention ciblée et limitant les complications. La prise en charge chirurgicale permis une amélioration cliniquement significative de la douleur,

indépendamment de la technique chirurgicale utilisée. Bien qu'aucune technique ne se soit révélée clairement supérieure.

Dans ce contexte, le lambeau en îlot de carré pronateur apparaît comme une technique fiable, simple et particulièrement efficace pour la protection des névromes distaux du poignet. Les résultats observés dans notre cas, en accord avec la littérature, soulignent la pertinence et la reproductibilité de cette approche.

ICONOGRAPHIE



REFERENCES

- (1) Foucher G. Le névrome douloureux. In: Tubiana R, editor. Traité de chirurgie de la main. Paris: Masson; 1986
- (2) Lister G. Neuroma in the hand. In: Lister G, editor. The hand diagnosis and indications. 3rd edition. Churchill Livingstone ; 1993, p. 234-5.
- (3) Dellon AL, Mackinnon SE. Terminal branch of anterior interosseous nerve as source of wrist pain. J Hand Surg 1984; 9B: 316.
- (4) Surgical interventions for the treatment of

painful neuroma: a comparative meta-analysis Louis H. Poppler and Al

(5) Nikolajsen L, Christensen KF, Haroutiunian S. Phantom limb pain: treatment strategies. Pain management 2013;3(6):421-424.

(6) Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. Proceedings Biological sciences / The Royal Society 1996;263(1369):377-386.

(7) Whipple RR, Unsell RS. Treatment of painful neuromas. The Orthopedic clinics of North America 1988;19(1):175-185.

(8) Le carré pronateur : un lambeau «aspirine» dans la chirurgie antalgique des névromes douloureux au poignet A. Belmahi*, A. Amrani, N. Gharib, A. Abbass

(9) Evaluation of surgical treatment for neuropathic pain from neuroma in patients with injured peripheral nerves Valérie Decrouy-Duruz, MD, Thierry Christen, MD, and Wassim Raffoul, MD

(10) Nath RK, Mackinnon SE: Management of neuromas in the hand. Hand Clin 12:745–756, 1996

(11) Netter F. Muscles of forearm. In: Netter F, editor. Atlas of human anatomy. Switzerland: CIBA-GEIGY; 1991

(12) Dellon AL, Mackinnon SE, Pestrouk AI. Implantation of sensory nerve into muscle: Preliminary clinical and experimental observations on neuroma formation. Ann Plast Surg 1984



RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

Afin de faciliter la publication de votre article, la rédaction vous remercie de lire attentivement les recommandations aux auteurs avant la mise en forme de votre travail

La revue marocaine de chirurgie orthopédique traumatologique et l'organe de la Société Marocaine De Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (SMACOT)
Les manuscrits qui lui sont soumis ne doivent pas avoir fait l'objet d'une publication antérieure.

Les manuscrits, l'iconographie et les tableaux, accompagnés d'une lettre d'envoi signé par tous les auteurs de l'article, doivent être adressés sous forme de fichiers Word à l'adresse électronique de la revue SMCM.
Adresses mail : secretariat.smcm@gmail.com

La publication de l'article sera faite une fois le comité de rédaction en donne son approbation après lecture et avis favorable de 2 de ses membres et éventuellement après la vie d'un expert.

I. Forme de publication

La revue de chirurgie orthopédique offre les cadres suivants

1. Le mémoire original : Il rapporte les résultats d'un travail de recherche expérimentale ou clinique susceptible d'apporter des notions nouvelles ou la confirmation utile de notions connues au regard des données déjà établies par des publications antérieures, il faut adopter le plan IMRAD.

2. Le fait clinique : Il s'agit de l'observation d'un ou plusieurs cas rares dans l'originalité doit être démontré par l'étude approfondie de la littérature. Il comporte l'exposé de la ou des observations et un commentaire en montrant l'intérêt et situant, le cas échéant, la ou les nouvelles observations par rapport aux cas antérieurement publiés.

3. La note de technique : Une technique et une instrumentation nouvelle peuvent être présentés sous réserve qu'elles soient réellement nouvelles au vu des publications antérieures et que leur valeur puisse être appuyée par une expérience suffisante.

4. La mise au point : Il s'agit d'une revue générale portant sur un problème clinique, thérapeutique ou fondamental, proposée sous l'occasion d'un ou plusieurs cas observés, soit en raison de l'expérience ou de la compétence particulière de l'auteur dans le domaine.

5. la lettre à la rédaction : Elle vise à établir un dialogue entre les auteurs et les lecteurs de la Revue; il s'agit des commentaires d'un lecteur portant sur un article publié qui seront assortis de la réponse de l'auteur; la lettre de rédaction doit comporter au maximum 2 pages.

II. Conseil de rédaction et de présentation

1. Le style : Le passé (imparfait est passé défini) doit être employé pour exposer les faits qui ont été observés par l'auteur. le présent est utilisé pour exposer, dans l'introduction et la discussion, les points établis par les publications antérieures. Le texte doit être rédigé en Time New Roman, caractère 12 et interligne 1,5

2. Les descriptions anatomiques : Doivent obéir à la nomenclature internationale (universelle).

3. Chiffres et statistiques : L'expression des résultats chiffrés (nombres, pourcentages, moyennes) et les tests statistiques utilisés doivent être adaptés à la taille de l'échantillon étudié. Les tests statistiques utilisés doivent être indiqués.

4. Le titre : Il doit être établi en français ou en anglais, indiquer de manière précise et concise le fait principal développé, il ne doit pas contenir des abréviations. Il doit être rédigé en caractère 16 pour la français et 12 en anglais.

5. Mots clé : En français et en anglais

6. Le résumé : Il est destiné à informer rapidement le lecteur du contenu du travail; il doit être présenté en 15 à 30 lignes dactylographiées.

7. L'abstract : Un abstract en anglais, de 500 mots en maximum, destiné à une diffusion internationale, doit être rédigé selon la structure de l'article.

8. Références :

a. Au chapitre références, la liste des auteurs cités doit être établie par ordre d'apparition dans le texte et chaque référence numérotée.

b. Ne doivent être cités que des travaux publiés dans les ouvrages accessibles aux lecteurs ce qui élimine toute référence à des communications orales, à des sites internet, à des comptes rendus de réunions qui n'ont pas été publiés dans des ouvrages diffusés en librairie ou dans des périodiques répertoriés par des index internationaux.

c. Les références issues des périodiques doivent être libellées par un ordre constant : noms patronymiques de l'auteur et d'éventuels co-auteur, suivi de l'initiale des prénoms, du titre de l'article, du titre abrégé du périodique en respectant les normes internationales, de l'année de la publication, du tome du périodique, du numéro du périodique et de la première et dernière page de l'article, les références issues de livres doivent comporter, outre le nom de l'auteur, le nom de l'éditeur, la ville où il exerce son activité, la date de parution du livre et éventuellement les chapitres cités si l'ouvrage est une compilation de plusieurs auteurs.

9. Illustrations : Figures et tableaux sont compris dans le nombre total de pages souhaité. Les figures doivent être numérotées dans l'ordre de leur succession en chiffres arabes, les tableaux en chiffres romains. Les tableaux et figures sont présentés à la fin du texte, ils doivent être simples et compréhensibles sans l'aide du texte.

Chaque tableau doit comporter un titre et chaque figure doit comporter une légende. L'ensemble des légendes doit être mis en fin de du texte.

10. Auteur et provenance du travail : L'usage des banques de données rend inutile l'inscription de plus de six auteurs. Le nom et l'adresse de l'institution, de l'organisme ou de l'hôpital d'où provient le travail doivent être précisés.

III. Référencement : Mots clés

La diffusion du travail et sa citation ultérieure pour d'autres, sont fonction de la facilité à le retrouver dans les chiffres banques de données. Le choix par l'auteur des mots clés les plus adaptés est donc essentiel et souhaité par la rédaction. il est recommandé de choisir les mots clés du travail et se référant au medical and subject heading (MeSH).