

Intérêt de l'échographie pour l'ostéosynthèse des fractures du radius distal

Interest of Ultrasound for Osteosynthesis of Distal Radius Fractures

Jean-Michel Cognet [1], Olivier Mares [2]

1-SOS Mains Champagne-Ardenne - Clinique Courlancy - 38 bis, rue de Courlancy 51100 Reims.

2-Servie de chirurgie orthopédique et traumatologique - CHU Carêmeau - 4, rue du Professeur Robert Debré 30029 Nîmes.

Résumé

Objectifs : le but ce travail était d'évaluer la possibilité de contrôler la réduction et l'ostéosynthèse d'une fracture déplacée du radius distal par un contrôle échographique en effectuant une comparaison avec un contrôle radiographique par amplificateur de brillance en per-opératoire.

Méthodes : il s'agit d'une étude multicentrique, multi-opérateurs comportant des opérateurs seniors et des opérateurs juniors. 41 patients opérés d'une fracture déplacée du radius distal ont bénéficié d'un contrôle échographique per-opératoire de la réduction et de l'ostéosynthèse de leur fracture. Pour chaque temps opératoire, un double contrôle était effectué, échographique puis par amplificateur de brillance.

Résultats : trente et une femmes et 10 hommes d'une moyenne d'âge de 62.4 ans (41-89) ont été inclus dans cette étude. Le temps opératoire moyen était de 35,8 minutes (22-60). Au dernier contrôle, l'antéversion moyenne était de 7.5° (0-17), avec une inclinaison radiale moyenne de 19.1° (12-28) et un index radio-ulnaire moyen de - 0.56 mm (-1.4-0.1). Le contrôle radio par amplificateur de brillance a permis à chaque fois de confirmer le contrôle échographique de la réduction du foyer de fracture. La position de la plaque a dû être modifiée cinq fois (12.2%) après le contrôle par amplificateur de brillance. À chaque fois, il s'agissait d'un opérateur junior.

Conclusion : cette étude a permis de montrer la faisabilité de l'échographie comme outil de contrôle pour l'ostéosynthèse des fractures du radius distal pour des opérateurs expérimentés.

Mots clés

- ◆ Radius distal
- ◆ Échographie
- ◆ Fracture
- ◆ Ostéosynthèse

Abstract

Objectives: The aim of this study was to evaluate the possibility to check the reduction and osteosynthesis of a displaced distal radius fracture using ultrasound, compare to radiographic control by image intensifier peroperatively .

Methods: 41 patients operated for a displaced distal radius fracture underwent intraoperative ultrasound control of the reduction and osteosynthesis of their fracture. For each procedure, a double check was carried out, ultrasound then by image intensifier.

Results: 31 women and 10 men with an average age of 62.4 years old were included in this study. The average operating time was 35.8 minutes. At the last follow-up, the average anteversion was 7.5°, with an average radial inclination of 19.1 ° and an ulnar variance of - 0.56 mm. The image intensifier radio control confirmed the ultrasound control of the reduction of the fracture. Position of the plate was modified in five cases after image intensifier control. All of these cases were operated on by a junior surgeon.

Conclusions: This study demonstrated that ultrasound could be used for the control of osteosynthesis of distal radius fractures for senior surgeons.

Keywords

- ◆ Distal radius
- ◆ Ultrasound
- ◆ Fracture
- ◆ Osteosynthesis

Correspondance

Jean-Michel Cognet

SOS Mains Champagne-Ardenne - Clinique Courlancy - 38 bis, rue de Courlancy 51100 Reims.

E-mail : jmrc@free.fr

L'appréciation de la réduction d'une fracture du radius distal et du bon positionnement des implants fait appel de façon classique au contrôle per-opératoire par amplificateur de brillance. L'utilisation de ce type d'appareil nécessite des mesures de protection en raison du rayonnement produit (1-3). Le niveau de risque peut être plus ou moins élevé en fonction des patients, de la durée d'exposition et du caractère répétitif de certains actes.

Nous avons voulu savoir si l'échographie pouvait être utilisée comme imagerie de contrôle per-opératoire lors de l'ostéosynthèse d'une fracture comme l'est actuellement la fluoroscopie. Trois points clé ont été étudiés : l'appréciation échographique de la réduction du foyer de fracture, du positionnement du matériel d'ostéosynthèse (plaque verrouillée) et la recherche d'un débord dorsal des vis.

Nous avons suivi pour cela une série de patients opérés dans notre service d'une fracture du radius distal en comparant le contrôle échographique et le contrôle radioscopique (considéré comme le « gold standard ») réalisés de façon simultanée pendant la procédure chirurgicale.

Matériel et méthode

Nous avons suivi des patients victimes d'une fracture déplacée du radius distal opérés avec contrôle radioscopique et échographique sur une période de quatre mois.

Il s'agissait d'une étude multicentrique réalisée dans un centre privé et dans un centre public (CHU) et multi-opérateurs comportant des opérateurs seniors et des opérateurs juniors.

Les critères d'inclusion étaient une fracture déplacée fermée du radius distal stade A ou B de la classification AO survenant chez un adulte majeur. Les critères d'exclusion étaient une fracture de type C de l'AO, l'existence d'une ouverture du foyer de fracture, quel que soit le type, la notion de polytraumatisme ou un patient mineur.

Le matériel d'échographie utilisé pendant cette étude était une sonde LUMIFY (PHILLIPS) 4-12 MHz se connectant sur une tablette Android et un échographe General Electric Logiq-e. L'amplificateur de brillance utilisé pour le contrôle radiographique per-opératoire était un InSightTM2 dédié à la Chirurgie des extrémités.

L'évaluation de la réduction du foyer de fracture en échographie s'établissait en recherchant l'alignement de la corticale antérieure sur une coupe sagittale et la disparition de la marche d'escalier en coupe transversale dynamique. La recherche d'une issue dorsale des vis était réalisée en coupe transversale.

Le contrôle fluoroscopique comportait une vue de face et de profil mais pas de vue type skyline dont il a déjà été démontré que la sensibilité était inférieure au contrôle échographique (4). Les critères de réduction étaient la restitution de l'anatomie du poignet (antéversion, pente radiale, index radio-ulnaire distal).

Le patient était installé en décubitus dorsal, avec un garrot pneumatique à la racine du membre supérieur, et une table à bras positionnée du côté opéré.

L'intervention se déroulait en trois étapes :

- Repérage échographique des traits de fracture et comparaison avec les radiographies préopératoires ;
- Réduction et stabilisation du foyer de fracture ;
- Ostéosynthèse définitive.

Étape N° 1 : Repérage échographique des traits de fracture et comparaison avec les radiographies préopératoires (figures 1 à 3)

Cette première exploration qui permet de repérer et d'analyser le foyer de fracture nécessite la connaissance des repères échographique de l'anatomie du radius distal (figure 1) :

- En coupe frontale postérieure (sonde échographique sur la face postérieure du poignet) :
 - Articulation radio-ulnaire distale (1a) ;
 - Tubercule de Lister (1b) ;
 - Diaphyse du radius (1c).
- En coupe sagittale antérieure (sonde échographique sur la face antérieure du radius) :
 - La jonction métaphyso-épiphyso-radiale du radius distal avec le *pronatus quadratus*, la watershed line et les tendons fléchisseurs (1d).
- En coupe sagittale postérieure (sonde à la face postérieure du poignet) :
 - La corticale dorsale du radius distal avec le tubercule de Lister et l'articulation radio-carpienne (1 e).

Étape N° 2 : Réduction et stabilisation du foyer de fracture

Nous utilisons une ostéosynthèse par plaque verrouillée pour les fractures du radius distal (NEWCLIP). Cependant, si la stabilisation du foyer de fracture est assurée par la plaque, nous faisons appel à la technique de PY (5) pour la réduction du foyer de fracture. La mise en place des broches peut être réalisée soit avant la pose de la plaque soit après, sous contrôle échographique ou simplement en tenant compte des radiographies préopératoires. Nous décrivons la procédure avec une réduction première par broches du foyer de fracture.

Une fois les broches en place, le contrôle échographique est réalisé et permet de vérifier la réduction du foyer de fracture (figures 2 et 3). Le contrôle échographique de la réduction peut tenir compte de la corticale postérieure (figure 2) ou de la corticale antérieure (figure 3). Le contrôle radiographique est effectué après le contrôle échographique pour vérifier que la réduction constatée en échographie est effective (figure 4).

La pose de la plaque verrouillée se fait par une voie d'abord de Henry et est maintenue par une vis non verrouillée dans son orifice ovale. Un contrôle visuel du foyer de fracture permet de vérifier les images échographiques. Le centrage de la plaque est réglé en tenant compte de la watershed line et des bords latéraux de la diaphyse radiale avec un alignement préférentiel sur le versant ulnaire de la diaphyse radiale.

Un nouveau contrôle échographique est réalisé. On vérifie les différents repères anatomiques et la disparition d'une éventuelle hyper-réduction. On recherche une effraction corticale dorsale de la première vis et/ou un débord de la plaque.

Étape N° 3 : ostéosynthèse définitive

Mise en place des dernières vis d'ostéosynthèse. Le contrôle échographique ne permet pas de dépister une issue intra-articulaire d'une vis. Pour parer à cet écueil, une broche est poussée dans l'orifice de méchage et son point de sortie est visualisé en échographie. On recherche sur la corticale dorsale du radius distal une vis dépassant de plusieurs millimètres (figures 6 et 7). Un dernier contrôle radiographique est réalisé qui donne l'image de la synthèse définitive (figures 8 et 9).

Au cours de chaque étape, nous avons recherché :

- Rapport image échographique / aspect visuel ;
- Rapport image échographique / image radiographique ;
- Modification de l'ostéosynthèse suite au contrôle radiographique.

Le temps opératoire moyen, l'antéversion et l'inclinaison radiale ont été évalués. Nous avons noté la modification du positionnement de l'implant lorsqu'elle survenait en per-opératoire. Nous avons également cherché à savoir s'il existait des différences inter-opérateurs en fonction de leur niveau d'expérience.

Résultats

Quarante et une fractures du radius distal ont été opérées sur une période de quatre mois en utilisant le protocole décrit. Trente-cinq plaques ont été posées par des opérateurs seniors et six plaques par des opérateurs juniors. Une réduction par broche a été utilisée 39 fois. Il s'agissait de 10 hommes et de 31 femmes. La moyenne d'âge était de 62.4 ans (41-89). Les fractures classées selon la classification de l'AO étaient 10 types A2, 28 types A3 et 3 type B1. Le temps opératoire moyen était de 35.8 minutes (22-60). L'analyse des clichés radiographiques au dernier recul a été réalisée par un opérateur indépendant. La pente radiale moyenne était de 19.1° (12-28), l'antéversion de 7.5° (0-17) et l'index radio-ulnaire distal de -0.56 (-1.4-0.1).

Le contrôle échographique a permis de retrouver pour chaque patient les repères osseux pré cités, de visualiser le foyer de fracture ainsi que sa réduction se manifestant par l'alignement de la corticale antérieure et postérieure et la disparition de la marche d'escalier correspondant au foyer de fracture (figures 2 et 3). Dans un des cas traités, nous avons pu constater la présence d'une hyper-réduction se traduisant par un chevauchement de la corticale antérieure. L'échographie s'est révélée être plus performante que la radiographie (figure 7) montrant beaucoup mieux le chevauchement de la corticale antérieure. Sur des fractures à fort déplacement, l'échographie a permis également de vérifier les structures vasculo-nerveuses et notamment le nerf médian (figure 8).

Le contrôle fluoroscopique a confirmé la réduction du foyer de fracture et aucun geste additionnel de réduction ne s'est avéré nécessaire.

La position de la plaque a été réalisée de visu en s'alignant sur le versant ulnaire du radius et en respectant la courbure antérieure de la zone métaphysaire. S'agissant de plaques anatomiques, celles-ci se positionnent naturellement sur corticale antérieure du radius distal à condition d'avoir obtenu une réduction préalable. De la même façon, une plaque verrouillée impose une direction prédéfinie des vis bloquées : si la fracture est réduite et la plaque correctement positionnée, le risque d'issue intra-articulaire d'une des vis épiphysaires est très faible. Dans notre série, il n'y a pas eu d'issue intra-articulaire d'une des vis épiphysaires posées.

Dans cinq cas, la plaque antérieure a dû être repositionnée après contrôle par amplificateur de brillance. À chaque fois l'opérateur était un opérateur junior.

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre opérateur senior et junior pour le temps opératoire (34.2/43.8 mn ; $p = 0.07$), l'antéversion (7.5/7.7° ; $p = 0.9$), l'inclinaison radiale (19.5/17.2° ; $p = 0.18$). La modification du positionnement de la plaque induisait une différence statistiquement significative sur le temps opératoire ($p = 0.04$) et sur le statut de l'opérateur (senior ou junior : $p = 0.002$).

Discussion

Le contrôle per-opératoire d'une ostéosynthèse fait appel à l'imagerie par rayons X. cette imagerie permet d'obtenir en temps réel une image précise de la réduction du foyer de fracture et du positionnement des implants. Cependant le rayonnement X représente un danger pour l'organisme humain, connu depuis des années avec des risques de cancers de la peau, notamment en chirurgie de la main, mais aussi de la thyroïde ainsi que des risques de cataracte (1-3). L'utilisation ces dernières années, d'amplificateurs de brillance dédiés à la main a réduit le risque lié au rayonnement X sans le faire disparaître (6). L'abandon des rayons X pour l'ostéosynthèse en traumatologie, si cela était possible, serait un progrès indiscutable. Le but de ce travail était d'évaluer la faisabilité du contrôle échographique pour le contrôle de l'ostéosynthèse des fractures du radius distal.

Nous avons choisi d'inclure des fractures « simples » correspondant aux stades A et B de la classification de l'AO dans un premier temps. La première difficulté du contrôle échographique est d'apprécier la réduction du foyer de fracture. L'échographie, à l'inverse de la radiographie, ne donne pas une image globale du foyer de fracture permettant de visualiser d'emblée la réduction, mais donne un aperçu du foyer de fracture sur une zone limitée correspondant à la largeur de la sonde. Par contre, il s'agit d'un examen dynamique qui permet de « dérouler » la surface osseuse et le foyer de fracture. Des travaux sur le contrôle de la réduction des fractures du radius distal ont été publiés (7-9) et montrent que l'évaluation de la réduction du foyer de fracture est possible et reproductible.

Ang et al (7) ont rapporté en 2010 une série de 62 patients dont la fracture du radius distal a été réduite par manœuvres externes dans un service d'Urgences. L'utilisation d'un contrôle échographique a permis de diminuer le nombre de manipulations et d'améliorer la réduction.

Kodama et al (8) ont rapporté en 2014 un travail comparant une population de 43 patients dont la fracture du radius distal avait été réduite sous échographie à une population de 57 patients ayant bénéficié d'une réduction manuelle avec ou sans contrôle radiographique. La qualité de la réduction était identique dans les deux groupes.

Plus récemment, Lau et al (9) ont évalué l'usage de l'échographie pour le diagnostic et le contrôle de la qualité de réduction d'une fracture du radius distal. Ils ont également contrôlé l'incidence de l'opérateur (radiologue ou non radiologue) sur le résultat. Là encore, l'échographie a donné des résultats équivalents à la radiographie, indépendamment du type d'opérateur.

Les pédiatres utilisent déjà l'échographie pour le diagnostic des lésions osseuses traumatiques. La sensibilité de l'échographie est supérieure à la sensibilité de la radiographie pour le dépistage des fractures de l'enfant comme l'ont montré de nombreuses études (10-13). La spécificité de l'échographie est supérieure à la spécificité de la radiographie au moins pour le diagnostic des fractures de l'enfant. Chen et Moore (11) ont ainsi retrouvé 14 faux positifs induits par la radiographie sur une série de 110 enfants souffrant d'une fracture non déplacée des deux os de l'avant-bras.

Chez l'adulte, l'échographie est mise en avant dans les cas où la radiographie peine à poser un diagnostic. C'est le cas des fractures de fatigue où les radiographies sont normales au début alors que l'échographie est en mesure de faire le diagnostic (14). Banal et al (15) ont montré que la sensibilité de l'échographie était équivalente à celle de l'IRM avec un accès plus facile et un coût moins important. La disponibilité de l'échographie et la miniaturisation des appareils sont également des arguments pour leur utilisation en traumatologie du sport (16). Le diagnostic de fracture peut être réalisé immédiatement après le traumatisme, là où aucun appareil de radio n'est disponible.

Depuis plusieurs années des articles plaident pour que le diagnostic échographique des fractures s'étende à l'ensemble de la traumatologie osseuse. Son intérêt est renforcé dans les cas où la radiographie peut être prise en défaut comme pour les fractures du scaphoïde (17-19) ou en terme de dépistage des lésions osseuses par les médecins urgentistes (20).

Dans notre série, nous avons pu visualiser, à chaque fois, la réduction du foyer de fracture à partir des repères indiqués (corticale antérieure, tubercule de Lister, Styloïde radiale, articulation radio-ulnaire distale, diaphyse radiale). La corticale antérieure du radius distal était facilement reconnaissable ainsi que son alignement correspondant à la réduction du foyer de fracture. Chez un de nos patients, une hyper-réduction du foyer de fracture a pu être visualisée de façon beaucoup plus fine que sur l'image fluoroscopique ce que Banal et al avaient déjà montré (15).

Étant démontrée la fiabilité de l'échographie pour le diagnostic et l'analyse des fractures, l'étape suivante est le contrôle peropératoire et en temps réel de la réduction du foyer de fracture et du bon positionnement des implants.

Pour une ostéosynthèse par broche, le point d'entrée peut se faire en percutané en se référant à l'imagerie per-opératoire chez un opérateur expérimenté, ou directement sous contrôle échographique comme décrit par Bouillis et al (21).

L'ostéosynthèse par plaque sous contrôle échographique présente des difficultés techniques pour l'opérateur : le bon positionnement de la plaque sur le radius et le contrôle du trajet et du point de sortie des vis.

La plaque doit être suffisamment distale pour que les vis bloquées aient un effet d'étais sur la surface articulaire. Plus les vis bloquées sont éloignées de la surface articulaire, plus le risque de perte de réduction est important (22). Si la plaque est trop basse, le risque de pénétration intra-articulaire des vis est important ainsi que le risque de lésion des fléchisseurs et notamment du Flexor Pollicis Longus (23, 24). Il faut respecter la limite distale du *pronatus quadratus* encore appelée « watershed line » que la plaque ne doit pas dépasser.

La plaque doit également être centrée sur la diaphyse radiale. Ce centrage peut être réalisé en se basant sur le versant ulnaire du radius qui donne l'axe diaphysaire.

L'échographie ne visualise que la surface de l'os. On ne peut contrôler, en l'absence de radiographie que le point d'entrée (de visu) et le point de sortie des vis à la corticale postérieure. La supériorité de l'échographie sur la radiographie pour dépister une vis trop longue n'est pas tranchée (4, 25, 26). Pour nous, le risque principal est d'ignorer une vis dont le point de sortie serait intra-articulaire. Pour contrer ce risque, nous avons mis au point un artifice : il suffit, une fois le méchage réalisé, de placer à la main une broche dans le trajet réalisé par la mèche et de la faire sortir à la face dorsale du radius. Le contrôle échographique permet de visualiser la broche et de s'assurer de son trajet extra-articulaire. Une fois les vis mises en place, un dernier contrôle échographique permet de s'assurer que les vis ne sont pas trop longues et qu'il n'existe pas de conflit avec les tendons extenseurs.

Le taux élevé de modification de la position de la plaque après contrôle par amplificateur de brillance chez les opérateurs juniors (87.8%) versus seniors (0%) montre clairement l'existence d'une courbe d'apprentissage. À contrario, le bon positionnement de la plaque sous contrôle échographique pour 36 poignets témoigne de la faisabilité de cette technique hors courbe d'apprentissage.

Notre série est trop courte pour affirmer que l'ostéosynthèse d'une fracture du radius distale peut être réalisée de façon systématique sans contrôle radiographique. Nous avons cependant montré la faisabilité du contrôle échographique pour l'ostéosynthèse des fractures simples dans un premier temps. Nous allons poursuivre cette étude pour inclure un plus grand nombre de cas. S'il s'avère que l'échographie seule suffit à réaliser des ostéosyntheses de qualité, un plus grand nombre de fractures du radius distal pourrait être traité en utilisant cette technique. Ceci conduirait à une diminution de l'irradiation des patients, et de l'ensemble des intervenants au bloc opératoire pour ce type de chirurgie.

Références

1. Mastrangelo G, Fedeli U, Fadda E, Giovanazzi A, Scozzato L, Saia B. Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. *Occupational medicine (Oxford, England)*. 2005;55(6):498-500.
2. Frazier TH, Richardson JB, Fabre VC, Callen JP. Fluoroscopy-induced chronic radiation skin injury: a disease perhaps often overlooked. *Archives of dermatology*. 2007;143(5):637-40.
3. Chambers JA, Long JN. Radiation injury and the hand surgeon. *J Hand Surg Am*. 2008;33(4):601-11.
4. Herisson O, Delaroché C, Maillot-Roy S, Sautet A, Doursounian L, Cambon-Binder A. Comparison of lateral and skyline fluoroscopic views for detection of prominent screws in distal radius fractures plating: results of an ultrasonographic study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2017;137(10):1357-62.
5. Desmanet E. [Osteosynthesis in double elastic nailing of radial shortening osteotomy in Kienbock disease. Apropos of 4 cases]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1996;82(4):327-30.
6. van Rappard JRM, Hummel WA, de Jong T, Moues CM. A Comparison of Image Quality and Radiation Exposure Between the Mini C-Arm and the Standard C-Arm. *Hand (New York, NY)*. 2018;1558944718770210.
7. Ang S-H, Lee S-W, Lam K-Y. Ultrasound-guided reduction of distal radius fractures. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2010;28(9):1002-8.
8. Kodama N, Takemura Y, Ueba H, Imai S, Matsusue Y. Ultrasound-Assisted Closed Reduction of Distal Radius Fractures. *The Journal of Hand Surgery*. 2014;39(7):1287-94.
9. Lau BC, Robertson A, Motamedi D, Lee N. The Validity and Reliability of a Pocket-Sized Ultrasound to Diagnose Distal Radius Fracture and Assess Quality of Closed Reduction. *The Journal of Hand Surgery*. 2017;42(6):420-7.
10. Ko C, Baird M, Close M, Cassas KJ. The Diagnostic Accuracy of Ultrasound in Detecting Distal Radius Fractures in a Pediatric Population. *Clin J Sport Med*. 2019;29:426-9.
11. Chen L, Kim Y, Moore CL. Diagnosis and guided reduction of forearm fractures in children using bedside ultrasound. *Pediatric emergency care*. 2007;23(8):528-31.
12. Chaar-Alvarez FM, Warkentine F, Cross K, Herr S, Paul RI. Bedside ultrasound diagnosis of nonangulated distal forearm fractures in the pediatric emergency department. *Pediatric emergency care*. 2011;27(11):1027-32.
13. Warkentine FH, Horowitz R, Pierce MC. The use of ultrasound to detect occult or unsuspected fractures in child abuse. *Pediatric emergency care*. 2014;30(1):43-6.
14. Fukushima Y, Ray J, Kraus E, Syrop IP, Fredericson M. A Review and Proposed Rationale for the use of Ultrasonography as a Diagnostic Modality in the Identification of Bone Stress Injuries. *J Ultrasound Med*. 2018;37:2297-307.
15. Banal F, Gandjbakhch F, Foltz V, Goldcher A, Etchepare F, Rozenberg S, et al. Sensitivity and specificity of ultrasonography in early diagnosis of metatarsal bone stress fractures: a pilot study of 37 patients. *The Journal of rheumatology*. 2009;36(8):1715-9.
16. Hoffman DF, Adams E, Bianchi S. Ultrasonography of fractures in sports medicine. *British journal of sports medicine*. 2015;49(3):152-60.
17. Kwee RM, Kwee TC. Ultrasound for diagnosing radiographically occult scaphoid fracture. *Skeletal Radiol*. 2018;47:1205-12.

18. Senall JA, Failla JM, Bouffard JA, van Holsbeeck M. Ultrasound for the early diagnosis of clinically suspected scaphoid fracture1 1No benefits in any form have been received or will be received by a commercial party related directly or indirectly to the subject of this article. The Journal of Hand Surgery. 2004;29(3):400-5.
19. Christiansen TG, Rude C, Lauridsen KK, Christensen OM. Diagnostic value of ultrasound in scaphoid fractures. Injury. 1991;22(5):397-9.
20. Oguz AB, Polat O, Eneyli MG, Gulunay B, Eksioglu M, Gurler S. The efficiency of bedside ultrasonography in patients with wrist injury and comparison with other radiological imaging methods: A prospective study. The American Journal of Emergency Medicine. 2017;35(6):855-9.
21. Bouillis J, Lallouet S, Ropars M. Echography-Guided Pinning for Prevention of Iatrogenic Injuries to the Radial Nerve during Fixation of Extra-articular Distal Radius Fracture: An Anatomical Study. Journal of wrist surgery. 2017;6(4):336-9.
22. Vosbikian MM, Ketonis C, Huang R, Ilyas AM. Optimal Positioning for Volar Plate Fixation of a Distal Radius Fracture: Determining the Distal Dorsal Cortical Distance. The Orthopedic clinics of North America. 2016;47(1):235-44.
23. Imatani J, Akita K, Yamaguchi K, Shimizu H, Kondou H, Ozaki T. An anatomical study of the watershed line on the volar, distal aspect of the radius: implications for plate placement and avoidance of tendon ruptures. J Hand Surg Am. 2012;37(8):1550-4.
24. Obert L, Loisel F, Gasse N, Lepage D. Distal radius anatomy applied to the treatment of wrist fractures by plate: a review of recent literature. Sicot-j. 2015;1:14.
25. Gurbuz Y, Kucuk L, Gunay H, Ozaksar K, Sugun TS, Bilge O. Comparison of ultrasound and dorsal horizon radiographic view for the detection of dorsal screw penetration. Acta Orthop Traumatol Turc. 2017;51(6):448-50.
26. Vernet P, Durry A, Nicolau X, D'Ambrosio A, Collinet A, Botero Salazar S, et al. Detection of penetration of the dorsal cortex by epiphyseal screws of distal radius volar plates: Anatomical study comparing ultrasound and fluoroscopy. Orthop Traumatol Surg Res. 2017;103:911-3.

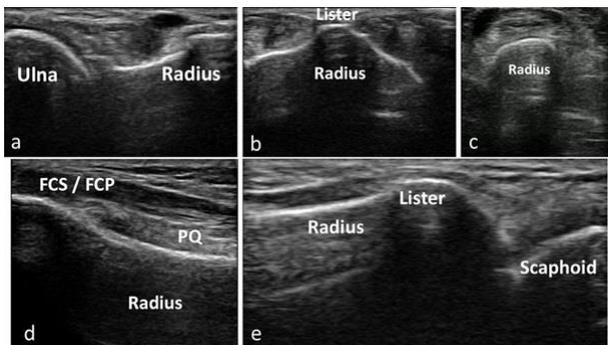


Figure 1 : Repères échographiques de l'anatomie du radius distal : Articulation radio-ulnaire distale (1a), T ubercule de Lister (1b), Diaphyse du radius (1c), jonction métaphyso-épiphysaire du radius distal avec le pronatus quadratus, la watershed line et les tendons fléchisseurs (1d), corticale dorsale du radius distal avec le tubercule de Lister et l'articulation radio-carpienne (1 e).



Figure 2 : Contrôle échographique de la réduction en se basant sur la corticale dorsale du radius distal : la flèche rouge correspond à la limite proximale du fragment distal, la flèche jaune correspond à la limite distale du fragment proximal. Quand les deux flèches sont alignées, la fracture est réduite.

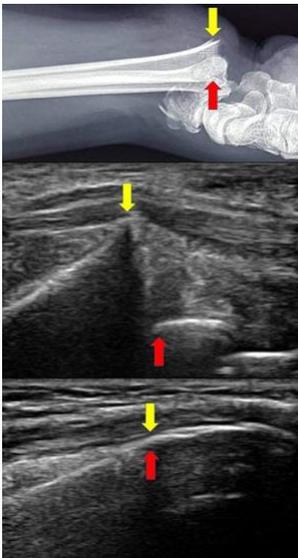


Figure 3 : Contrôle échographique de la réduction en se basant sur la corticale antérieure du radius distal : la flèche rouge correspond à la limite proximale du fragment distal, la flèche jaune correspond à la limite distale du fragment proximal. Quand les deux flèches sont alignées, la fracture est réduite.

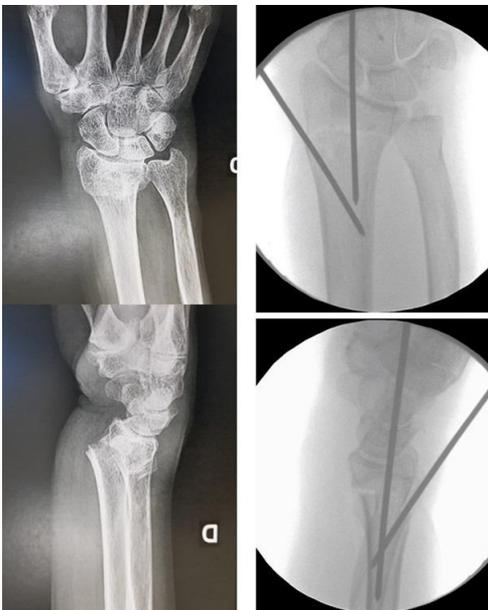


Figure 4 : Vérification par amplificateur de brillance du contrôle de la réduction.

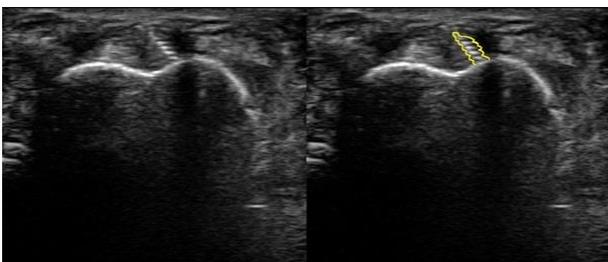


Figure 5 : Issue d'une vis à la face dorsale du radius bien visualisée en échographie.



Figure 6 : Contrôle radiographique en fin d'intervention

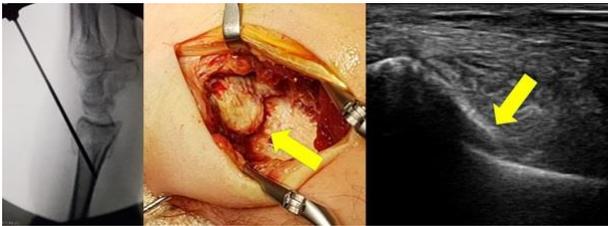


Figure 7 : Un chevauchement de la corticale antérieure est mieux visualisé en échographie qu'en radiographie.

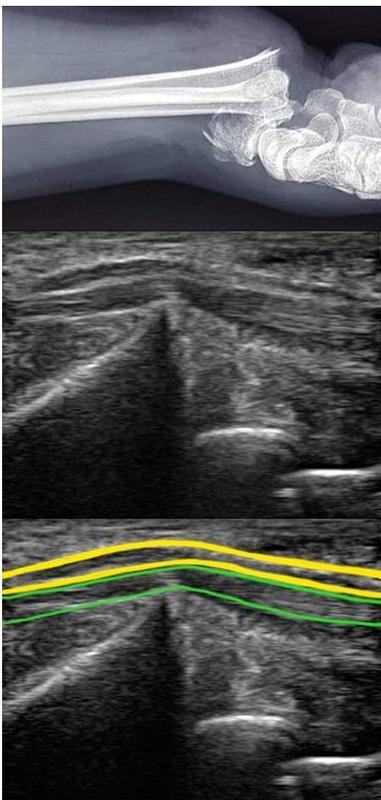


Figure 8 : Sur une fracture à fort déplacement, l'échographie permet de visualiser les parties molles. On voit que le nerf médian (surligné en jaune) n'est pas directement menacé par l'esquille osseuse, mais protégé par les tendons fléchisseurs (surlignés en vert).