

# Traitement par arthroscopie de la prise en charge des pseudarthroses du scaphoïde carpien avec ostéosynthèse percutanée interne additionnée d'une greffe osseuse injectée. À propos de 18 cas

## Arthroscopically Assisted Treatment by Percutaneous Internal Fixation and Injectable Bone Graft Substitutes for Management of Carpal Scaphoid Nonunion. Report of 18 Cases

E Dahan [a], M Juvenspan [a,b], L Bourcheix [b], C Schlur [a,b]

*a. Département de chirurgie du membre supérieur - Clinique La Montagne - 53, rue Victor Hugo 92400 Courbevoie.*

*b. Institut Français de Chirurgie de la Main - Clinique Victor Hugo - 5, rue du Dôme 75116 Paris.*

### Résumé

L'objet de cette étude est d'évaluer l'évolution clinique de patients qui présentaient une pseudarthrose du scaphoïde carpien et traités chirurgicalement par une fixation interne percutanée avec injection d'une greffe osseuse assistée par arthroscopie.

**Méthode :** De janvier 2016 à juin 2018, une série consécutive de 18 patients masculins, âge moyen de 25 ans (20-30 ans) qui présentaient une pseudarthrose serrée (13) ou lâche (5) du scaphoïde (9 membres dominants), Schernberg type II : 7 cas, Type III : 11 cas, ont été pris en charge chirurgicalement après un délai de six à 37 mois (moyenne 12 mois) du traumatisme. La cure chirurgicale consiste à la fixation interne percutanée de la fracture (broche pour cinq cas et vis pour 13 cas) additionnée d'une greffe osseuse prélevée sur la métaphyse radiale par ponction et injectée par trocart sous contrôle de la vue. Durée d'immobilisation de 12 semaines suivie par 13 séances de physiothérapie en moyenne (de cinq à 25 séances).

L'évaluation pré et post opératoire a été clinique (mobilité, force), Mayo Wrist Score et radiographique (angles radio- et scapho-lunaire) sur une durée moyenne de 13,3 mois (12-18 mois).

**Résultats :** Tous les patients ont été considérés comme consolidés à 12 semaines de l'intervention tant sur le plan clinique que radiographique. À six mois de recul, la prise de force a augmentée de 26,21 à 38,14 Kg, le Modified Mayo Wrist Score à six mois démontrait comme résultats : 7 excellents ; 10 bons ; 1 convenable.

Aucune complication post-opératoire n'a été relevée.

**Discussion :** Les choix pour le traitement des pseudarthroses du scaphoïde restent multiples. Cependant, certains principes demeurent comme : la préservation de sa vascularisation du scaphoïde, le débridement du foyer de pseudarthrose ; la mise en place d'une ostéosynthèse stable et s'il y a lieu l'apport de tissu osseux autologue ; un site de prise de greffe offrant peu d'effet adverse. Cette technique de synthèse additionnée à l'injection d'un substitut osseux sous contrôle arthroscopique répond à l'ensemble des critères décrits. Les résultats sont probants avec un délai de récupération modéré.

**Conclusion :** Le traitement d'une pseudarthrose du scaphoïde carpien par ostéosynthèse interne percutanée additionnée d'une greffe osseuse et assistée par arthroscopie est une méthode fiable et reproductible. Elle permet de manière peu invasive et sous contrôle de la vue d'effectuer une synthèse stable avec un apport osseux aboutissant à un résultat à 6 mois très satisfaisant.

### Mots clés

- ◆ Scaphoïde
- ◆ Pseudarthrose
- ◆ Fracture
- ◆ Greffe osseuse
- ◆ Ostéosynthèse interne
- ◆ Arthroscopie

### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the clinical outcome of patients who had arthroscopically assisted percutaneous internal fixation augmented by injection of a bone graft substitute for scaphoid nonunion.

From January 2016 through June 2018, a consecutive series of 18 male patients, mean age 25 years (20-30 years) who had a fibrous nonunion of the carpal scaphoid (9 dominant limbs), Schernberg type II : 7 cases, Type III: 11 cases, and were treated surgically after a delay of 6 to 37 months (mean 12 months) from the trauma. The surgical cure consists of the percutaneous internal fixation (pin for 5 cases and screws for 13 cases) supplemented with a bone graft harvesting from the radial metaphysis by a biopsy canula and injected by trocar under visual control. Duration of immobilization of 12 weeks followed by 13 sessions of physiotherapy on average (from 5 to 25 sessions). The pre- and postoperative assessment was clinical (mobility, gripp), Modified Mayo Wrist Score and radiographic over an average duration of 13.3 months (12-18 months).

The healing was obtained in all patients 12 weeks after surgery, both clinically and radiographically. After 6 months from surgery, the gripp increased from 26.21 to 38.14 Kg., The Modified Mayo Wrist Score at 6 months showed as results: 7 excellent; 10 good; 1 satisfactory. No postoperative complications were noted.

The treatment for scaphoid nonunion varies remain multiple. However, certain principles remain as: the preservation of scaphoid vascularization, nonunion debridement; the setting up of a stable osteosynthesis; and if it is necessary bone graft; a harvesting site with poor adverse effect. The surgical technique present here meets all the criteria previously described. The results are convincing with a moderate recovery time.

The treatment of scaphoid nonunion by arthroscopically assisted percutaneous internal osteosynthesis supplemented with bone graft is a reliable and reproducible method. It allows minimally invasive and under visual control to perform a stable osteosynthesis with bone graft resulting in a very satisfactory 6 months results.

### Keywords

- ◆ Scaphoid
- ◆ Nonunion
- ◆ Bone graft
- ◆ Internal fixation
- ◆ Arthroscopy

### Correspondance

*Marc Juvenspan*

*Département de chirurgie du membre supérieur - Clinique La Montagne - 53, rue Victor Hugo 92400 Courbevoie.*

*E-mail : m.juvenspan@gmail.com*

## Introduction

Les fractures du scaphoïde carpien sont fréquentes et représentent 60 % des fractures des os du carpe (1). Elles intéressent le plus souvent l'homme jeune, entre 15 et 30 ans, après une chute sur le poignet en extension (2). La pseudarthrose du scaphoïde se définit comme une absence de consolidation de la fracture à six mois. Elle correspond à une perte des capacités de consolidation d'un point de vue histologique. Sur le plan radiologique, celle-ci se traduit par une corticalisation de part et d'autre du foyer fracturaire. Selon les séries sur les fractures du scaphoïde, le taux de pseudarthrose varie de 5 à 15 % (3-7).

Les facteurs de risque reconnus de pseudarthrose sont : le tabac, la méconnaissance initiale de la fracture, l'inobservance du traitement, l'écart interfragmentaire important (>1mm), la localisation proximale du trait de fracture, la nécrose avasculaire du pôle proximal (8,9) ainsi que la présence de lésions ligamentaires associées (10).

L'absence de traitement évolue inéluctablement vers l'arthrose radio carpienne et intracarpienne (11) responsable de douleurs et d'une réduction importante des mobilités du poignet. En l'absence d'arthrose ou en cas d'arthrose débutante, de nombreuses techniques chirurgicales sont décrites pour traiter les pseudarthroses du scaphoïde, aucune n'ayant fait la preuve de sa supériorité (6,12). Les greffes osseuses avec fixation interne constituent les techniques les plus fréquemment employées. L'objectif du traitement chirurgical des pseudarthroses du scaphoïde est triple : obtenir la consolidation du scaphoïde, restituer sa morphologie et sa hauteur, et corriger une éventuelle bascule dorsale adaptative du lunatum afin de prévenir la survenue d'une arthrose radio-scaphoïdienne et médio-carpienne.

Aujourd'hui l'arthroscopie trouve sa place dans l'arsenal diagnostique et thérapeutique des pseudarthroses du scaphoïde du fait d'amélioration des possibilités techniques et de son caractère mini invasif. Cet outil permet une exploration précise du carpe à la recherche de lésions cartilagineuses ou ligamentaires pouvant affecter le pronostic fonctionnel du poignet.

Le caractère mini invasif permet une préservation du complexe ligamentaire extrinsèque dorsal et de la vascularisation du scaphoïde. Le contrôle arthroscopique permet également d'effectuer des gestes thérapeutiques de styloïdectomie radiale, la réalisation d'une greffe osseuse spongieuse ainsi que des gestes de réparation ligamentaire. Les greffes spongieuses radiales, assistées par arthroscopie, ont des résultats semblables aux techniques chirurgicales décrites à ciel ouvert dans la littérature (13-16).

L'objectif de ce travail est de présenter notre expérience et nos résultats des greffes osseuses spongieuses prélevées dans le radius distal, associées à une fixation interne percutanée, assistée par arthroscopie, dans les pseudarthroses du scaphoïde.

## Matériel et méthodes

Il s'agissait d'une série consécutive opérés entre janvier 2016 et juin 2018 et revus avec un recul minimum de six mois.

Les critères d'inclusions étaient : une pseudarthrose du scaphoïde évoluant depuis au moins six mois indépendamment de la chronicité et de la localisation.

Les patients qui présentaient une fragmentation ou nécrose du pôle proximal ainsi qu'une arthrose radio carpienne de type SNAC II et SNAC III étaient exclus. Étaient aussi exclus les patients en échec d'une première cure de pseudarthrose du scaphoïde.

L'évaluation pré opératoire recueillait : Les données épidémiologiques de l'ensemble des patients, le délai par rapport au traumatisme initial, le métier et la présence d'une intoxication tabagique. Le stade de pseudarthrose selon Schernberg et Alnot était consigné. La force de préhension (grasp) était mesurée de façon bilatérale (17) à l'aide d'un dynamomètre hydraulique de Jamar (Arex®). Trois mesures étaient effectuées pour chaque côté. La valeur la plus importante des 3 mesures a été retenue. Deux questionnaires d'auto-évaluation étaient remplis avec le patient en consultation. Il s'agissait de scores internationaux, fiables, reproductibles, et validés (18) : le Mayo Wrist Score (MWS) (19) et le Quick DASH (Disability for Arm Shoulder and Hand) (20). Le bilan radiographique pré opératoire comprenait : des radiographies standard de face et de profil, une incidence de Schneck I et II (21). Le bilan radiographique standard était complété par un arthroscanner et/ou une IRM qui avait pour but d'évaluer le type de pseudarthrose ainsi que l'état des cartilages radio-carpiens et médio-carpiens. L'IRM permettait également une évaluation de la vascularisation du pôle proximal du scaphoïde. Les patients étaient revus à six semaines, trois mois, six mois et au dernier recul. À chaque consultation une évaluation clinique, fonctionnelle et radiologique était réalisée. Le critère d'analyse de la consolidation portait sur les radiographies et sur la

réalisation d'un scanner. La consolidation était jugée effective lorsqu'un pont osseux était présent sur les examens d'imagerie. Était également vérifié l'absence de mouvement du matériel, d'une chambre de lyse autour de celui-ci et l'absence de déplacement progressif du greffon. L'intervention était réalisée en chirurgie ambulatoire. Une attelle thermoformée était confectionnée vers le 15<sup>ème</sup> jour, après diminution de l'œdème post opératoire. Les patients étaient revus en consultation à six semaines post opératoire, trois mois et six mois pour une évaluation clinique, fonctionnelle et radiographique. La durée d'immobilisation dépendait de la consolidation radiographique et variait entre six semaines et trois mois. Les complications étaient recueillies lors des consultations de suivi : infection, déplacement du matériel, pseudarthrose itérative, algodystrophie. Les éventuelles reprises chirurgicales étaient consignées.

L'analyse statistique de notre série a été réalisée à l'aide de Microsoft Excel® et du logiciel de statistiques JMP® (version 9.0.1). Les variables ont été rapportées en moyenne, écart-types, pourcentage, médiane et écarts interquartiles, selon les cas. Les comparaisons entre groupes ont été réalisées en utilisant le test du Chi<sup>2</sup> ou le test exact de Fischer pour les variables catégorielles, et le test t de Student pour les variables continues. L'ensemble des tests étaient bilatéraux. Le risque de première espèce était fixé à 5 %. Le test statistique avait une valeur significative lorsque  $p < 0,05$ .

## Résultats

Dix-huit patients de sexe exclusivement masculin ont été opérés. L'âge moyen était de 25 ans (20-30 ans). Neuf membres dominants ont été pris en charge. Le délai moyen de prise en charge entre l'accident initial et la cure de pseudarthrose était de 12 mois (6-37 mois). Le recul moyen était de 12 mois (6-18mois). Cinq patients (27,7 %) étaient fumeurs et non sevrés en tabac au moment de l'intervention. Cinq patients (27,7 %) étaient en accident de travail.

On comptait sept pseudarthroses en zone II (38,9 %) et 11 en zone III (61,1 %) selon Schernberg avec 13 pseudarthroses serrées et cinq lâches.

Une ostéosynthèse du scaphoïde, une fois la greffe spongieuse impactée dans le foyer de pseudarthrose, était toujours réalisée : Dans tous les cas l'ostéosynthèse était assurée à l'aide d'une vis canulées à double filetage. La consolidation a été obtenue chez tous les patients. Le délai moyen de consolidation était de 12,2 semaines (10-16 semaines).

La force moyenne pré opératoire de la main et du poignet atteint était de 26,21 kg (10-35 kg)

La force du poignet controlatéral, était en moyenne de 39 kg (26-57 kg)

À six mois post opératoire, la force du poignet opéré était en moyenne de 38,14kg (15-51kg). Avec une augmentation moyenne de 11,93 kg entre l'évaluation pré et post opératoire, la force de préhension du membre opéré était statistiquement significativement augmentée (test de Student,  $p < 0,0001$ ). Le Mayo Wrist Score (MWS) pré opératoire était en moyenne de 41,7 (25-75). On comptait cinq patients (27,8 %) avec un score juste et 13 patients (72,2 %) avec un score faible. Le MWS à six mois post opératoire avait une valeur moyenne de 75 (50-100). Sept patients (38,9 %) avaient un résultat excellent, 10 patients (55,6 %) un bon résultat, un patient (5,5 %) un résultat juste. La différence observée entre le score pré opératoire et à six mois post opératoire était statistiquement significative ( $p < 0,0001$ ). Le score fonctionnel Quick DASH est passé de 35,4 en pré opératoire à 12,1 à six mois post opératoire. La différence observée était statistiquement significative ( $p < 0,001$ ). Aucun incident per opératoire n'a été observé.

## Discussion

Plusieurs techniques chirurgicales ont été décrites dans les cures de pseudarthroses du scaphoïde sans qu'aucune n'ait apporté la preuve de sa supériorité. La greffe radiale avec ostéosynthèse percutanée sous assistance arthroscopique montre des résultats similaires aux autres techniques décrites dans la littérature avec 100 % de consolidation obtenue dans notre série. Le manque de consensus sur les indications thérapeutiques provient de l'absence de série de haut niveau de preuve, avec un nombre de sujets suffisant, permettant de comparer les différents traitements. L'absence de classification standardisée et universelle rend les méta-analyses difficiles d'interprétation. Plusieurs séries intègrent les retards de consolidation (types C de Herbert) qui sont parfois accessibles à une fixation en place (22).

Pour certains auteurs l'adjonction d'une greffe osseuse apparaît essentielle dans la prise en charge, notamment lorsqu'il s'agit de traiter des pseudarthroses qui ne sont pas linéaires, avec une désorganisation de l'architecture du carpe. Munk et Larsen (23), rapportent sur 5246 cas, 80 % (IC95 % [78 % ; 82 %]) de consolidation pour les greffes non vascularisées sans fixation, 84 % (IC95 % [82 % ; 85 %]) pour les greffes non vascularisées avec fixation et 91 % (IC95 % [87 % ; 94 %]) pour les greffes vascularisées. Ainsi il existe une tendance à préférer les greffes vascularisées (24). Pinder et al. (6) ne retrouvent pas de différence significative entre greffe iliaque (87 %), radiale (89 %) et greffe vascularisée (92 %). Al-Jabri et al. (25) dans une revue de la littérature de 2014 retrouvent 100 % de consolidation après greffe osseuse libre de condyle fémoral médial mais cette technique est lourde et peu reproductible. Jones et al. (26) montrent également la supériorité des greffes libres vascularisées de condyle fémoral sur les greffes vascularisées pédiculées sur l'artère supra-rétinaculaire du premier et deuxième compartiment des extenseurs. Cette technique nécessite des chirurgiens expérimentés en microchirurgie et un plateau technique adapté. L'intervention est réalisée sous anesthésie générale. Compte tenu de l'importance de la morbidité liée au site donneur (12,26), cette technique devrait être réservée aux échecs de procédures chirurgicales de première intention. Slade et al. (27) publient en 2003 une étude de faisabilité de vissage percutané sous assistance arthroscopique dans les pseudarthroses linéaires du scaphoïde, sans perte de substance osseuse. Celles-ci peuvent théoriquement être traitées par vissage simple. La consolidation est obtenue dans l'ensemble de la population étudiée. Progressivement les indications se sont élargies. Wong et Ho (13) sont les premiers à publier en 2011 sur les greffes osseuses sous assistance arthroscopique dans les pseudarthroses du scaphoïde. A 39,5 mois de recul, 91,2 % étaient consolidés dans un délai moyen de 12 semaines. En France, Cognet a diffusé la technique (16). Ses résultats préliminaires portaient sur 23 cas de pseudarthroses quels que soient le délai et la localisation de la lésion, en excluant les arthropathies radio-carpiennes. La consolidation a été observée chez l'ensemble des patients dans un délai de quatre mois (3-12 mois). Lee et al. (28) nous rappellent les avantages d'une technique mini invasive avec greffe et fixation percutanée : éviter de compromettre la vascularisation du scaphoïde lors de la dissection de la capsule articulaire du poignet permettant d'augmenter les chances de consolidation, éviter d'endommager les ligaments extrinsèques responsable d'une raideur post opératoire, permettre une évaluation approfondie et un traitement concomitant des lésions cartilagineuses et ligamentaires intrinsèques du carpe.

Chang et al. (29) retrouvent un taux de consolidation significativement plus élevé chez les hommes (81,5 %) que chez les femmes (30 %) pour les greffes vascularisées par l'artère supra rétinaculaire inter-compartimentale 1-2 (OR=8,9). Notre série ne comportant aucune femme, ce facteur de risque n'a pas pu être étudié. Chang et al. (29) retrouvent le tabac comme facteur de risque d'échec avec un Odds Ratio de 5,4. Le tabac étant considéré par l'ensemble des auteurs comme un facteur de risque d'échec (8,30), un sevrage tabagique a été recommandé à l'ensemble des patients, avant l'intervention et pendant la phase de consolidation. Certains rapportent le délai de prise en charge tardif comme facteur de risque d'échec (8,31-33) des pseudarthroses du scaphoïde. Notre étude n'a pas mis en évidence de différence. Trezies et al. (34) ne retrouvent pas de corrélation entre le taux de consolidation après greffe osseuse et le délai de prise en charge chez 134 patients. Cette absence d'association peut être liée à la faible taille de notre échantillon. La nécrose du pôle proximal a été choisie comme critère d'exclusion puisqu'une méta analyse menée par Merrell et al. (32) a conclu à la supériorité des greffes vascularisées dans ce cas. Une IRM systématique, dans le bilan pré opératoire, étudiant la vascularisation du pôle proximal du scaphoïde, permettrait d'identifier de façon plus précise les patients présentant un risque d'échec et de leur proposer un traitement par greffe vascularisée d'emblée. Une étude biomécanique de Jarrett et al. (35) montre une résistance équivalente de la greffe issue de la crête iliaque et du radius distal. Tambe et al. (36) retrouvent des taux de consolidation similaires dans les pseudarthroses du scaphoïde traitées par greffe iliaque et greffe radiale avec respectivement 66 % et 67 % de fusion osseuse. Dans leur étude, ils notent 20 % de douleurs sur le site de prélèvement iliaque et quatre fois plus de complications infectieuses mineures par rapport à une greffe prélevée sur le radius. Goyal et al. (37) montrent dans un essai prospectif contrôlé randomisé, sur 50 patients traités par greffe iliaque et 50 patients traités par greffe radiale, associée à une fixation interne, que la greffe iliaque ne présente aucun avantage sur la consolidation, la réduction, les mobilités articulaires du poignet et sur les scores fonctionnels par rapport à une greffe radiale. Dans une étude récente, Kim (38) retrouve un retard de consolidation significatif de quatre semaines après greffe cortico-spongieuse provenant de la crête iliaque par rapport à une greffe spongieuse prélevée sur le radius distal ou sur la crête iliaque, sans différence sur la restauration de la déformation scaphoïdienne et de la fonction du poignet. Cognet (16) ajoute que si la greffe n'est pas en quantité suffisante pour combler le défaut osseux, il est possible d'adjoindre une greffe spongieuse prélevée dans l'olécrane. Sur l'ensemble de nos patients, y compris les plus âgés, une greffe olécranienne supplémentaire n'a jamais été nécessaire. Compte tenu de la technique chirurgicale simplifiée de prélèvement du radius distal, la faible morbidité liée au prélèvement, la possibilité de prélever la greffe sous anesthésie loco-régionale, la proximité du site de prélèvement par rapport au site receveur permettant de ne pas multiplier les sites opératoires, l'utilisation d'une greffe osseuse prélevée dans le radius distal nous semble être une alternative intéressante. Taleb et al. (39) préconisent un vissage percutané rétrograde pour les pseudarthroses IIA de la classification d'Alnot et un vissage percutané associé à une greffe spongieuse sous arthroscopie pour les stades IIB. Compte tenu de la faible morbidité lié au prélèvement d'un greffon spongieux radial, des avantages théoriques de réaliser une greffe osseuse pour restaurer la morphologie du scaphoïde après excision du tissu de pseudarthrose, nous avons choisi d'apporter de l'os spongieux chez l'ensemble des patients de notre série.

Aucune complication majeure n'a été retrouvée. Selon les séries le taux de complication des arthroscopies de poignet varie entre 1,2 % et 5 % (40-43) (58-61). Pour Fontes (44), les complications de l'arthroscopie de poignet sont rares.

La principale limite de notre série repose sur l'absence de comparaison à un groupe contrôle permettant de confirmer la non-infériorité de la technique chirurgicale employée. Compte tenu de l'absence de « gold standard » dans le traitement des pseudarthroses du scaphoïde, le choix de la technique de référence est difficile à établir et varie selon les cas et les opérateurs. Le faible échantillon étudié représente également un biais de confusion. Ainsi certains facteurs reconnus comme des facteurs de risque d'échecs, tels que le tabagisme, le délai de prise en charge, l'âge, n'ont pas pu être identifiés dans notre étude.

## Conclusion

Le traitement d'une pseudarthrose du scaphoïde carpien par ostéosynthèse interne percutanée additionnée d'une greffe osseuse et assisté par arthroscopie est une méthode fiable et reproductible. Elle permet de manière peu invasive et sous contrôle de la vue d'effectuer une synthèse stable avec un apport osseux aboutissant à un résultat à six mois très satisfaisants. Pour nos équipes, il s'agit désormais de la technique de choix en première intention. Des publications sur de grandes séries avec des résultats cliniques et radiologiques à long terme permettraient de conforter notre hypothèse et d'intégrer cette technique dans l'arsenal thérapeutique des pseudarthroses du scaphoïde. Une étude comparative isolée de ces pseudarthroses servira à établir un consensus sur la prise en charge de ces fractures.

## Références

1. Hove LM. Epidemiology of scaphoid fractures in Bergen, Norway. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 1999 Dec;33(4):423-6.
2. Reigstad O, Grimsgaard C, Thorkildsen R, Reigstad A, Røkkum M. Scaphoid non-unions, where do they come from? The epidemiology and initial presentation of 270 scaphoid non-unions. *Hand Surg Int J Devoted Hand Up Limb Surg Relat Res J Asia-Pac Fed Soc Surg Hand.* 2012;17(3):331-5.
3. Dias JJ, Brenkel IJ, Finlay DB. Patterns of union in fractures of the waist of the scaphoid. *J Bone Joint Surg Br.* 1989 Mar;71(2):307-10.
4. Leslie IJ, Dickson RA. The fractured carpal scaphoid. Natural history and factors influencing outcome. *J Bone Joint Surg Br.* 1981 Aug;63-B(2):225-30.
5. Mack GR, Bosse MJ, Gelberman RH, Yu E. The natural history of scaphoid non-union. *J Bone Joint Surg Am.* 1984 Apr;66(4):504-9.
6. Pinder RM, Brkljac M, Rix L, Muir L, Brewster M. Treatment of Scaphoid Nonunion: A Systematic Review of the Existing Evidence. *J Hand Surg.* 2015 Sep;40(9):1797-1805.e3.
7. Hovius SER, de Jong T. Bone Grafts for Scaphoid Nonunion: An Overview. *Hand Surg Int J Devoted Hand Up Limb Surg Relat Res J Asia-Pac Fed Soc Surg Hand.* 2015;20(2):222-7.
8. Schuind F, Mounongo F, El Kazzi W. Prognostic factors in the treatment of carpal scaphoid non-unions. *Eur J Orthop Surg Traumatol Orthop Traumatol.* 2017 Jan;27(1):3-9.
9. Özalp T, Öz Ç, Kale G, Erkan S. Scaphoid nonunion treated with vascularised bone graft from dorsal radius. *Injury.* 2015 Jul;46 Suppl 2:S47-52.
10. Pao VS, Chang J. Scaphoid nonunion: diagnosis and treatment. *Plast Reconstr Surg.* 2003 Nov;112(6):1666-1676-1679.

11. Ruby LK, Stinson J, Belsky MR. The natural history of scaphoid non-union. A review of fifty-five cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1985 Mar;67(3):428-32.
12. Ditsios K, Konstantinidis I, Agas K, Christodoulou A. Comparative meta-analysis on the various vascularized bone flaps used for the treatment of scaphoid nonunion. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 2017;35(5):1076-85.
13. Wong WYC, Ho PC. Minimal invasive management of scaphoid fractures: from fresh to nonunion. *Hand Clin.* 2011 Aug;27(3):291-307.
14. Jegal M, Kim JS, Kim JP. Arthroscopic Management of Scaphoid Nonunions. *Hand Surg Int J Devoted Hand Up Limb Surg Relat Res J Asia-Pac Fed Soc Surg Hand.* 2015;20(2):215-21.
15. Kim JP, Seo JB, Yoo JY, Lee JY. Arthroscopic management of chronic unstable scaphoid nonunions: effects on restoration of carpal alignment and recovery of wrist function. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2015 Mar;31(3):460-9.
16. Cognet J-M, Louis P, Martinache X, Schernberg F. Arthroscopic grafting of scaphoid nonunion - surgical technique and preliminary findings from 23 cases. *Hand Surg Rehabil.* 2017 Feb;36(1):17-23.
17. Mathiowetz V, Kashman N, Volland G, Weber K, Dowe M, Rogers S. Grip and pinch strength: normative data for adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 1985 Feb;66(2):69-74.
18. Dacombe PJ, Amirfeyz R, Davis T. Patient-Reported Outcome Measures for Hand and Wrist Trauma. *Hand N Y N.* 2016 Mar;11(1):11-21.
19. Cooney WP, Bussey R, Dobyns JH, Linscheid RL. Difficult wrist fractures. Perilunate fracture-dislocations of the wrist. *Clin Orthop.* 1987 Jan;(214):136-47.
20. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). *Am J Ind Med.* 1996 Jun;29(6):602-8.
21. Demondion X, Boutry N, Khalil C, Cotten A. Iconography: le point sur... - Les radiographies simples du poignet et de la main. *Datarevues0221036300895-C2640* [Internet]. 2008 Mar 6 [cited 2018 Sep 3]; Available from: <http://www.em-consulte.com/en/article/166467/iconosup>
22. Cosio MQ, Camp RA. Percutaneous pinning of symptomatic scaphoid nonunions. *J Hand Surg.* 1986 May;11(3):350-5.
23. Munk B, Larsen CF. Bone grafting the scaphoid nonunion: a systematic review of 147 publications including 5,246 cases of scaphoid nonunion. *Acta Orthop Scand.* 2004 Oct;75(5):618-29.
24. Gras M, Mathoulin C. Vascularized bone graft pedicled on the volar carpal artery from the volar distal radius as primary procedure for scaphoid non-union. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2011 Dec;97(8):800-6.
25. Al-Jabri T, Mannan A, Giannoudis P. The use of the free vascularised bone graft for nonunion of the scaphoid: a systematic review. *J Orthop Surg.* 2014 Apr 1;9:21.
26. Jones DB, Bürger H, Bishop AT, Shin AY. Treatment of scaphoid waist nonunions with an avascular proximal pole and carpal collapse. A comparison of two vascularized bone grafts. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Dec;90(12):2616-25.
27. Slade JF, Geissler WB, Gutow AP, Merrell GA. Percutaneous internal fixation of selected scaphoid nonunions with an arthroscopically assisted dorsal approach. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A Suppl 4:20-32.
28. Lee Y-K, Choi K-W, Woo S-H, Ho PC, Lee M. The clinical result of arthroscopic bone grafting and percutaneous K-wires fixation for management of scaphoid nonunions. *Medicine (Baltimore).* 2018 Mar;97(13):e9987.
29. Chang MA, Bishop AT, Moran SL, Shin AY. The outcomes and complications of 1,2-intercompartmental supraretracul artery pedicled vascularized bone grafting of scaphoid nonunions. *J Hand Surg.* 2006 Mar;31(3):387-96.
30. Little CP, Burston BJ, Hopkinson-Woolley J, Burge P. Failure of surgery for scaphoid non-union is associated with smoking. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 2006 Jun;31(3):252-5.
31. Inoue G, Shionoya K, Kuwahata Y. Herbert screw fixation for scaphoid nonunions. An analysis of factors influencing outcome. *Clin Orthop.* 1997 Oct;(343):99-106.
32. Merrell GA, Wolfe SW, Slade JF. Treatment of scaphoid nonunions: quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg.* 2002 Jul;27(4):685-91.
33. Nakamura R, Horii E, Watanabe K, Tsunoda K, Miura T. Scaphoid non-union: factors affecting the functional outcome of open reduction and wedge grafting with Herbert screw fixation. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1993 Apr;18(2):219-24.
34. Trezies AJ, Davis TR, Barton NJ. Factors influencing the outcome of bone grafting surgery for scaphoid fracture non-union. *Injury.* 2000 Oct;31(8):605-7.
35. Jarrett P, Kinzel V, Stoffel K. A biomechanical comparison of scaphoid fixation with bone grafting using iliac bone or distal radius bone. *J Hand Surg.* 2007 Nov;32(9):1367-73.
36. Tambe AD, Cutler L, Murali SR, Trail IA, Stanley JK. In scaphoid non-union, does the source of graft affect outcome? Iliac crest versus distal end of radius bone graft. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 2006 Feb;31(1):47-51.
37. Garg B, Goyal T, Kotwal PP, Sankineani SR, Tripathy SK. Local distal radius bone graft versus iliac crest bone graft for scaphoid nonunion: a comparative study. *Musculoskelet Surg.* 2013 Aug;97(2):109-14.
38. Kim JK, Yoon JO, Baek H. Corticocancellous bone graft vs cancellous bone graft for the management of unstable scaphoid nonunion. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR.* 2018 Feb;104(1):115-20.
39. Taleb C, Bodin F, Collon S, Gay A, Facca S, Liverneaux P. Retrograde percutaneous screw fixation for scaphoid type II non-union in Schernberg zones 2 to 4: a series of 38 cases. *Chir Main.* 2015 Feb;34(1):32-8.
40. Small NC. Complications in arthroscopic surgery performed by experienced arthroscopists. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 1988;4(3):215-21.
41. Nagle DJ, Benson LS. Wrist arthroscopy: indications and results. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 1992;8(2):198-203.
42. De Smet L, Dauwe D, Fortems Y, Zachee B, Fabry G. The value of wrist arthroscopy. An evaluation of 129 cases. *J Hand Surg Edinb Scotl.* 1996 Apr;21(2):210-2.
43. Hofmeister EP, Dao KD, Glowacki KA, Shin AY. The role of midcarpal arthroscopy in the diagnosis of disorders of the wrist. *J Hand Surg.* 2001 May;26(3):407-14.
44. Fontès D. [Wrist arthroscopy. Current indications and results]. *Chir Main.* 2004 Dec;23(6):270-83.