

# Macroreplantations du membre supérieur : Technique chirurgicale et progrès de la recherche

## Macroreplantations of the upper extremity: Surgical technique and research progress

FM Leclère [1,2], M Germain [2], U Büchler [1], E Vögelin [1]

1. Département de chirurgie plastique et chirurgie de la main, Université de Berne, Suisse.

2. Institut Gustave Roussy, Paris.

### Mots clés

- ◆ Amputation
- ◆ Macroamputation
- ◆ Replantation
- ◆ Macroreplantation
- ◆ Membre supérieur
- ◆ Microchirurgie

### Résumé

**Introduction :** Depuis la première macroreplantation de membre supérieur, effectuée par Ronald Malt à Boston en 1962, la technique chirurgicale n'a cessé de s'affiner. Pour les pionniers de la microchirurgie, la survie de l'extrémité replantée était en soi considérée comme un succès. Actuellement bien plus que la survie, c'est la fonction qui est activement recherchée. Cet article revient sur notre expérience universitaire à propos de la macroreplantation.

**Matériel et technique chirurgicaux :** Depuis les années 1980, deux séries de patients présentant une amputation proximale au poignet ont été replantées dans notre service universitaire. La technique chirurgicale est présentée étape par étape.

**Résultats :** Les résultats fonctionnels et subjectifs sont discutés. Une attention particulière est accordée à la phase pré-chirurgicale de la replantation et à la gestion de l'accueil du patient. Nous discutons les étapes techniques de la macroreplantation et la nécessité d'arbres de décisions claires. Nous revenons sur les progrès de la recherche pour minimiser le temps d'ischémie et réduire le risque de lésions d'ischémie-reperfusion.

**Conclusion :** Grâce au raffinement de la technique chirurgicale, les résultats fonctionnels ont pu être largement améliorés. Cependant les macroreplantations de l'extrémité supérieure, du fait de leur rareté, doivent être prises en charge par des équipes spécialisées dans des centres de replantations.

### Keywords

- ◆ Amputation
- ◆ Macroamputation
- ◆ Replantation
- ◆ Macroreplantation
- ◆ Upper extremity
- ◆ Microsurgery

### Abstract

**Introduction:** Since the first macroreplantation of upper limb, conducted in 1962 by Ronald Malt in Boston, the surgical technique has refined. For pioneers in microsurgery, tissue survival with functional failure was acceptable. Today, functional recovery after replantation has become the ultimate goal. This article presents our university experience about macroreplantation.

**Material and Methods:** Since the 1980s, two series of patients with amputation proximal to the wrist were replanted in our university. The surgical technique is presented step by step.

**Results:** The functional and subjective results are discussed. Particular attention is given to the pre-surgical phasis of replantation and management of the patient's arrival. We discuss the technical steps of macroreplantation and the need for clear guidelines. We review the progress of research to minimize ischemic time and reduce the risk of ischemia-reperfusion.

**Conclusion:** With the refinement of the surgical technique, the functional results could be greatly improved. However due to the rarity of the macroreplantations, it must be assessed and treated by specialized teams.

La macroreplantation du membre supérieur a été introduite dès 1903 par des chirurgiens vasculaires au laboratoire sur des animaux (1). Soixante ans plus tard, la première replantation d'un membre sectionné chez un garçon de 12 ans a été réalisée avec succès par Malt à Boston (2). Depuis ce premier rapport, la technique de macroreplantation n'a cessé de s'affiner. Pour les pionniers de la microchirurgie, la survie du tissu replanté était en soi un succès. Aujourd'hui, la récupération fonctionnelle après la replantation est devenue le but ultime, ce qui nécessite la restauration de la stabilité osseuse, de la mobilité articulaire, de la force musculaire et de la sensibilité. Cela ne peut être réalisé que par des chirurgiens expé-

mentés qui prennent en compte le patient et son état général, les possibilités techniques et la faisabilité de la replantation, les complications possibles et la nécessité éventuelle de chirurgies secondaires.

Dans cet article (i) nous revenons sur les étapes essentielles de la technique de replantation (ii) Les résultats des deux séries cliniques réalisées dans notre clinique universitaire sont brièvement rapportés (3,4). (iv) La discussion revient sur les progrès issus du laboratoire dans la gestion du temps d'ischémie, du risque d'ischémie-reperfusion, et de la surveillance du membre replanté.

### Correspondance :

Franck Marie Leclère MD, PhD

E-mail : [franckleclere@yahoo.fr](mailto:franckleclere@yahoo.fr) / [franck.leclere@igr.fr](mailto:franck.leclere@igr.fr) / [franck.leclere@insel.ch](mailto:franck.leclere@insel.ch)

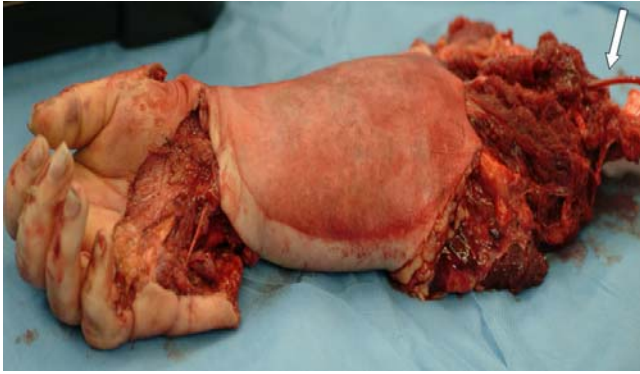


Figure 1. Macroamputation de l'avant-bras : Ostéosynthèse stable par plaques après raccourcissement osseux.

## Technique chirurgicale par étapes

### La gestion du temps d'ischémie

Les centres de replantation sont accrédités sur la base de la présence de personnel qualifié et d'installations adaptées : hélicoptère, service d'accueil permanent, unité de soins intensifs. A l'arrivée du patient, la première équipe chirurgicale examine le patient tandis que la seconde équipe chirurgicale examine la partie amputée (5). Lorsque l'amputation est monotraumatique, une anesthésie plexique continue est mise en place avant la replantation afin de soulager la douleur et de bénéficier de la sympathectomie.

### Débridement et identification des structures nobles

Un débridement est effectué sur l'extrémité amputée et l'amputat. Pour éviter toute confusion, toutes les structures nobles sont systématiquement étiquetées. Des débridements itératifs sont obligatoires à la fois avant et après la restauration de la circulation. En outre, un ou plusieurs débridements chirurgicaux supplémentaires sont réalisés dans la phase post-opératoire précoce afin de réduire au minimum le risque d'infection.

### Raccourcissement osseux et ostéosynthèse

Le raccourcissement osseux est une condition *sine qua non* au succès de la macroreplantation. Il permet un débridement complet et évite potentiellement la nécessité de greffes pour les réparations vasculaires et nerveuses. Habituellement, un raccourcissement osseux de cinq à huit centimètre est très bien toléré. L'ostéosynthèse est réalisée par plaques ou avec des broches de Kirschner (6) en fonction de la localisation des ostéotomies. L'utilisation de la fluoroscopie est nécessaire pendant l'opération afin de contrôler le raccourcissement égal des deux os de l'avant-bras et par là, la congruence des articulations radio-ulnaire distale et proximale afin d'éviter une restriction de rotation de l'avant-bras (Fig. 1).

### Réparation vasculaire

Si le temps d'ischémie est important ou en cas de mécanisme lésionnel d'écrasement, il est utile de revasculariser l'amputat par shunt artériel préliminaire (7) (Fig. 2). Nos lignes directrices (4) sont conformes à celles de Sabapathy et al, dans lesquelles la séquence de réparations artérielles et veineuses est directement influencée par la quantité de masse muscu-



Figure 2. Revascularisation de l'amputat par shunt artériel préliminaire (flèche blanche).

laire et par le temps d'ischémie (8,9). Au moins deux artères principales sont reconstruites. Un maximum de veines est réparé afin d'éviter saignement et congestion par la suite.

### Fasciotomies

Les fasciotomies sont effectuées systématiquement si le temps d'ischémie est supérieur à six heures, si l'amputation est située au niveau du bras, ou en cas d'un mécanisme d'écrasement.

### Réparation musculaires

Les lésions tendineuses sont réparées chaque fois que possible de manière primaire par sutures tendineuses ou réinsertions. Les défauts musculaires importants sont reconstruits de façon primaire ou secondaire par des greffes, des transferts tendineux ou des lambeaux musculaires libres.

### Réparations nerveuses

Les trois nerfs principaux sont réparés ou reconstruits de façon immédiate si possible. Un raccourcissement osseux permet parfois de limiter la nécessité de greffes nerveuses et réduit toujours la longueur des greffons nécessaires.

### Couverture cutanée

Les pertes de substance après débridement dépendent du type de traumatisme et de l'importance du raccourcissement osseux. En présence d'un lit musculaire sous-jacent sans exposition de structures nobles une simple greffe de peau mince peut être effectuée. Un dispositif VAC sera utilisé lorsque des débridements itératifs semblent nécessaires ou en attendant une couverture définitive par lambeau libre.

### Surveillance post-opératoire

La surveillance du membre replanté est effectuée chaque heure pendant cinq jours. Ce contrôle intensif est essentiel afin que toute révision soit effectuée le plus rapidement possible. La surveillance est d'abord clinique mais elle peut être affinée avec des sondes ou capteurs de température. L'éva-



Figure 3. A, B : Macroamputation au niveau du tiers distal de l'avant-bras ; C : Résultats postopératoires.

luation de la perfusion par laser Doppler (Aimago®, Lausanne, Suisse) longtemps testé au laboratoire (10) représente une alternative qui a fait ses preuves chez les patients replantés. La mesure cutanée du flux sanguin est effectuée grâce au principe Doppler. La valeur diagnostique de cette technologie réside dans sa capacité à détecter en continu et de manière non-invasive les changements instantanés dans la microcirculation artérielle et veineuse de la peau. Les antibiotiques sont poursuivis jusqu'à assèchement des cicatrices. Un traitement anticoagulant (héparine de bas moléculaire) ainsi que des liquides de substitution adaptés au poids sont de règle. La vascularisation du membre replanté est vérifiée sur une base régulière pendant cinq jours. L'aspirine est prescrite systématiquement pendant un mois. Les procédures secondaires les plus courantes comprennent les reconstructions nerveuses, les transferts tendineux, les arthrodèses sélectives, la correction des cicatrices, et la couverture des défauts cutanés par lambeaux pédiculés et lambeaux libres. Pendant la phase d'immobilisation, la prévention de la contracture des tissus mous et de la raideur articulaire doit être traitée par une adaptation correcte et un suivi régulier de l'attelle et une mobilisation passive par kinésithérapie. Le calendrier des corrections secondaires repose sur l'état d'avancement de la réhabilitation et de l'état général du patient, de la régénération nerveuse, et de l'état trophique des tissus mous (Fig. 3).

### Evaluation fonctionnelle du membre replanté

Au sein de la littérature, l'évaluation fonctionnelle du membre replanté est quantifiée pas le score de CHEN (I=excellent à IV=fonction déficiente) (11). Ce dernier prend en compte l'activité professionnelle après replantation, l'amplitude articulaire, la sensibilité et la motricité (Tableau 1).

### Séries cliniques

Depuis les années 1980, deux séries de patients présentant une amputation proximale au poignet ont été replantées dans notre service universitaire (3,4). Dans une première série clinique, vingt-neuf patients adressés pour replantation entre 1980 et 1990 ont été revus (3). L'amputation était incomplète dans 26 cas et complète dans trois cas. Le taux de survie des membres était de 93 % et 76 % des patients ont retrouvé une fonction CHEN 1. Dans une deuxième série clinique (4), onze patients avec macroamputation complète ont été adressés pour replantation entre 1990 et 2011. Tous sauf un ont été replantés avec succès. Dans ce dernier cas, le temps d'ischémie était supérieur à sept heures et la tentative de revascularisation par shunt est restée infructueuse après 20 minutes. Une amputation a été réalisée. Malgré de nombreux débride-

GRADE	FONCTION
I	Travail : Retour au même poste de travail possible Amplitude articulaire : >60 % Sensibilité : Normale ou subnormale Motricité : M4-M5
II	Travail : Apte à un travail Amplitude articulaire : >40 % Sensibilité : Subnormale Motricité : M3-M4
III	Travail : Activité de la vie quotidienne possible Amplitude articulaire : >30 % Sensibilité : Récupération partielle Motricité : M3
IV	Utilisation quasi impossible du membre replanté

Tableau 1. Classification de Chen pour l'évaluation du membre replanté.

ments effectués dans le décours direct de la replantation, deux cas d'infections ont été retrouvés dans la série. Ils furent traités par débridement et lambeau local dans un cas et débridement et exérèse du matériel d'ostéosynthèse dans l'autre cas. Parmi les patients replantés, quatre ont retrouvé une fonction CHEN I (36 %), trois d'entre eux une fonction CHEN II (27 %), deux une fonction CHEN III (18 %), et un patient une fonction CHEN IV (9 %). Pour ce dernier patient, il s'agissait d'un cas de polytraumatisme avec lésion neurologique. Le patient développa un syndrome algodystrophique et refusa tout traitement de kinésithérapie.

### Discussion

Pour les pionniers de la microchirurgie, la survie du tissu replanté était en soi un succès. Aujourd'hui, la récupération fonctionnelle après la replantation est devenue le but ultime, ce qui nécessite la restauration de la stabilité osseuse, de la mobilité articulaire, de la force musculaire et de la sensibilité. Des équipes fortement expérimentées comme celle de Sabapathy et al (8,9) ont su très tôt souligner la nécessité des facteurs suivants : la gestion du temps d'ischémie, la bonne maîtrise de la séquence opératoire, la nécessité d'arbre de décisions connues, la prise en compte du risque d'ischémie reperfusion, la surveillance immédiate du membre replanté et l'importance des procédés secondaires. Le problème reste le petit nombre de macroreplantations en Europe du fait du développement des mesures de précautions prônées par les assurances. Elles exigent leurs traitements dans des centres universitaires ; cependant même dans ce cas, il est très difficile de se faire rapidement une expérience et les chirurgiens universitaires devront répéter les séquences de la macroreplantation au laboratoire afin d'en intégrer les séquences selon les guidelines de l'établissement.

Les résultats fonctionnels des séries publiées par notre service universitaire sont très satisfaisants puisque plus de soixante pour cent des patients atteignent un score de CHEN I ou II. Ceci est à comparer avec les 59 % de patients CHEN I ou II retrouvés chez Chen et al (5), les 55 % (12 sur 22) retrouvés dans la série de Sabapathy et al (9) ou les 54 % (15 sur 28) retrouvés dans la série de Cavadas et al (12). Dans notre expérience, seule une double équipe et une attention particulière accordée aux facteurs évoqués ci-dessus nous ont permis d'obtenir ces résultats. De plus, notre équipe s'attache à reconstruire les structures nobles lors de la replantation elle-même et non de façon secondaire. Les lésions nerveuses notamment sont pratiquement toujours reconstruites au premier temps opératoire afin de conduire plus rapidement et plus efficacement la rééducation.

Outre les connaissances chirurgicales, certains progrès issus du laboratoire ont permis d'améliorer fortement la fonctionnalité du membre replanté. (i) La perfusion continue du membre avant la replantation par le Fluosol, le Fluorocarbone ou encore le sang humain oxygéné permet de réduire les lé-

sions ischémiques lorsque la greffe immédiate n'est pas possible (13). (ii) La meilleure compréhension du mécanisme d'ischémie-reperfusion, notamment par les travaux de Wang et al (14). Ces derniers préconisent la manœuvre de postconditioning (brèves séquences d'épisodes de reperfusion/réocclusion de/des artère(s) nourricière(s)) ou de -remote postconditioning- (brèves séquences d'épisodes d'occlusion/perfusion du membre controlatéral) pour diminuer le risque de lésions de ce type. (iii) Enfin, le laboratoire a permis de tester un certain nombre d'appareils pour la surveillance des lambeaux. En effet, si la surveillance est d'abord clinique, elle peut être affinée avec des sondes ou capteurs de température. La surveillance idéale est non-invasive, en temps réel, précise et facile à mettre en place, le but étant d'obtenir une information rapide afin de conduire le plus rapidement possible à la révision du membre greffé. L'évaluation de la perfusion par laser Doppler (Aimago®, Lausanne, Suisse) longtemps testé au laboratoire (10) est aujourd'hui largement utilisée dans notre service. La mesure cutanée du flux sanguin est effectuée grâce au principe Doppler. Cet appareil donne de manière non invasive et en temps réel une information précise sur l'état de congestion ou d'ischémie du membre greffé.

## Conclusion

Grâce au raffinement de la technique chirurgicale, les résultats fonctionnels ont pu être largement améliorés. Cependant les greffes de l'extrémité supérieure, du fait de leur rareté, doivent être prises en charge par des équipes spécialisées dans des centres de greffes.

## Références

- Höfner E. Ueber Gefaessnaht, Gefaesstransplantation und Reimplantation von Amputierten Extremitaeten. Arch Klein Chir 1903;70:417.
- Malt RA, Mekhann CF. Replantation of severed arms. JAMA 1964;189:716.
- Axelrod TS, Buchler U. Severe complex injuries to the upper extremity: revascularization and replantation. J Hand Surg Am 1991;16:574-84.
- Leclère FM, Mathys L, Juon B, Franz T, Unglaub F, Vögelin E. Macroreplantations of the upper extremity: a series of 11 patients. Arch Orthop Trauma Surg 2012;132:1797-805.
- Vögelin E, Leclère FM. Management of Major Open Forearm Trauma (Subtotal and Total amputations). In: Federation of European Societies for Surgery of the Hand (FESSH), Sauramps Medical 2012.
- The Hoang N, Hai LH, Staudenmaier R, Hoehnke C. Complete middle forearm amputations after avulsion injuries--microsurgical replantation results in Vietnamese patients. J Trauma 2009;66:1167-72.
- Weinstein MH, Golding AL. Temporary external shunt bypass in the traumatically amputated upper extremity. J Trauma 1975;15:912-5.
- Sabapathy SR, Venkatramani H, Bharathi RR, Bhardwaj P. Replantation surgery. J Hand Surg Am 2011;36:1104-10.
- Sabapathy SR, Venkatramani H, Bharathi RR, Dheenadhayalan J, Bhat VR, Rajasekaran S. Technical considerations and functional outcome of 22 major replantations (The BSSH Douglas Lamb Lecture, 2005). J Hand Surg Eur 2007;32:488-501.
- Fischer JC, Parker PM, Shaw WW. Waveform analysis applied to laser Doppler flowmetry. Microsurgery 1986;7:67-71.
- Chen C, Meyer V, Kleinert H, Beasley R. Present indications and contrindications for replantations reflected by long term functional results. Orthop Clin N 1981;12:849-70.
- Cavadas PC, Landín L, Ibáñez J. Temporary catheter perfusion and artery-last sequence of repair in macroreplantations. Plast Reconstr Surg 2009;62:1321-5.
- Constantinescu MA, Knall E, Xu X, Kiermeir DM, Jenni H, Gygax E, Rieben R, Banič A, Vögelin E. Preservation of amputated extremities by extracorporeal blood perfusion ; a feasibility study in a porcine model. J Surg Res 2011;171:291-9.
- Wang WZ, Baynosa RC, Zamboni WA. Update on ischemia-reperfusion injury for the plastic surgeon: 2011. Plast Reconstr Surg. 2011;128:685-92.