

UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
FES



Année 2014

Thèse N° 115/14

**TRAITEMENT DES PERTES DE SUBSTANCE OSSEUSE CHEZ L'ENFANT
PAR LA TECHNIQUE DE MASQUELET
(A propos de 06 cas)**

THESE
PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 04/11/2014

PAR
Mme. SALIM SALMA
Née le 19 Février 1989 à Oujda

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS-CLES :

Perte de substance osseuse - Reconstruction - Technique de Masquelet

JURY

M. EL MRINI ABDELMAJID.....	PRESIDENT
Professeur de Traumatologie-orthopédie	
M. AFIFI MY ABDERRAHMANE.....	RAPPORTEUR
Professeur de Chirurgie pédiatrique	
M. ARROUD MOUNIR.....	} JUGES
Professeur agrégé de Chirurgie pédiatrique	
Mme. CHATER LAMIAE.....	
Professeur agrégé de Chirurgie pédiatrique	

Table des matières

Liste des figures	3
Introduction	6
Historique	8
Bases anatomo–physiologiques	11
1. Rappel sur le tissu osseux : composition, structure et phénomène du remodelage osseux	12
2. Caractéristiques histologiques, mécaniques et physiologique de la membrane induite	13
2.1. Description de la membrane induite	13
2.2. Propriétés mécaniques et physiologiques de la membrane induite	15
La technique de Masquelet	17
1. Premier temps	18
2. Deuxième temps	20
Matériel et méthodes :.....	22
1. Les observations	24
2. Tableau récapitulatif des six observations et leurs résultats	50
Discussion	52
1 Introduction	53
2 Indications	54
2.1 Reconstruction en pathologie congénitale.	54
2.2 Reconstruction en cas de résections pour pathologie tumorale... ..	56
2.3 Reconstruction en pathologie traumatique et infectieuse.	57
3 Expérience clinique à propos de la technique de Masquelet :.....	59
3.1 Astuces techniques pour un résultat optimal ?.....	59
3.2 Quels os peut–on traiter selon la technique de Masquelet ?	61
3.3 Quelles pertes de substance osseuse peut–on traiter par la technique de Masquelet ?.....	61
3.4 Quelle greffe osseuse, à quel délai et place des BMP (bone morphogenic protein) ?.....	62
4 Apport de la technique de Masquelet et sa place parmi les autres moyens de reconstruction osseuse	64

4.1	Comparaison à la greffe libre.....	64
4.2	Comparaison au péroné vascularisé.....	66
4.3	Avantages	67
5	Limites de la technique de Masquelet :	68
5.1	Complications	68
5.2	Inconvénients	70
	Conclusion.....	71
	Résumé	73
	Références bibliographiques	77

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : A,B : aspect histologique de la membrane induite à 2 semaines ;
C,D : aspect à 4 semaines.

Figure 2 : photo per opératoire montrant la mise en place du ciment chirurgical au niveau de la perte de substance osseuse fémorale.

Figure 3 : photos per opératoire montrant : a : l'ouverture longitudinale de la membrane induite, b : l'ablation du ciment chirurgical, c : l'aspect de la membrane induite après l'ablation de l'entretoise de ciment.

Figure 4 : radiographie F/P de la jambe, montrant une solution de continuité du tibia et du péroné avec déplacement en chevauchement et en angulation (aspect évoquant une pseudarthrose congénitale).

Figure 5 : radiographie post opératoire du 1er temps de Masquelet.

Figure 6 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.

Figure 7 : radiographie de contrôle à 3 mois montrant une absence de consolidation.

Figure 8 : radiographie de contrôle après un recul de 1 an montrant une bonne consolidation au niveau du péroné et une résorption du greffon osseux au niveau du tibia.

Figure 9 : image clinique de la tuméfaction.

Figure 10 : image radiologique du kyste anévrysmal du 1^{er} métatarsien.

Figure 11 : ablation de la tumeur, ostéosynthèse par broche de Kirchner puis comblement du défaut osseux par du ciment chirurgical.

Figure 12 : résultat satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse à 6 mois du post- opératoire.

Figure 13 : radiographie montrant les séquelles d'OMC : une fracture déplacée en angulation et en chevauchement du fémur, une déminéralisation osseuse et un séquestre osseux de la diaphyse fémorale.

Figure 14 : radiographie post opératoire de la séquestrectomie avec mise en place d'un fixateur externe d'alignement.

Figure 15 : radiographie post opératoire du premier temps de Masquelet.

Figure 16 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.

Figure 17 : très bonne consolidation osseuse après un recul de 6 mois.

Figure 18 : ablation du fixateur externe après une bonne consolidation osseuse.

Figure 19 : résultat final après la technique de Masquelet.

Figure 20 : allongement par fixateur externe.

Figure 21 : résultat satisfaisant après allongement avec un gain de 5 cm.

Figure 22 : image clinique montrant les séquelles d'ostéomyélite chronique de l'humérus.

Figure 23 : fracture sur os pathologique, cassure du matériel d'ostéosynthèse et perte de substance osseuse.

Figure 24 : radiographie post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet.

Figure 25 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.

Figure 26 : résultat définitif satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse à 9 mois du traitement par la technique de Masquelet.

Figure 27 : résultat après l'allongement avec gain de 3 cm.

Figure 28 : luxation congénitale de la tête radiale.

Figure 29 : ostéotomie d'allongement du cubitus.

Figure 30 : pseudarthrose septique du foyer d'ostéotomie cubitale avec fracture sur os pathologique déplacée en angulation.

Figure 31 : radiographie post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet.

Figure 32 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.

Figure 33 : absence de consolidation osseuse après un recul de 9 mois.

Figure 34 : résultat définitif non satisfaisant avec pseudarthrose résiduelle du cubitus et absence de consolidation.

INTRODUCTION

La reconstruction des pertes de substance osseuse et des non-consolidations au niveau des os constitue un défi pour le chirurgien orthopédiste [1 -3]

La technique de la membrane induite imaginée et popularisée par AC

Masquelet et l'équipe de Bobigny constitue une véritable révolution dans la chirurgie de reconstruction des défauts osseux où seules les allogreffes et/ou les greffes vascularisées étaient possibles [4-7]

Le principe est de combler la perte de substance osseuse par un matériau inerte (ciment), afin de créer une membrane à corps étranger autour de celui-ci. Cette dernière délimite une chambre qui, lors du retrait du ciment, est capable de recevoir une greffe osseuse spongieuse massive.

La simplicité de cette technique facile à réaliser et à transmettre contraste avec la complexité des problèmes qu'elle peut résoudre. Elle permet une reconstruction osseuse sans microchirurgie en urgence ou en secondaire, en milieu septique ou en cas de défaut osseux massif (jusqu'à 30cm), au membre inférieur comme au membre supérieur.

Cependant elle nécessite deux temps opératoires espacés de quelques mois afin de permettre la fabrication de cette membrane.

Le but de ce travail est d'essayer d'établir une mise au point concernant ce procédé de reconstruction osseuse et de discuter ses résultats à la lumière de six observations tout en se référant aux données de la littérature.

HISTORIQUE

La reconstruction d'un segment osseux manquant pour assurer la continuité du squelette est un problème qui a existé de tout temps. Depuis le remplacement par une pièce d'ivoire taillée en pont et encastrée dans les médullaires des extrémités osseuses jusqu'aux allogreffes non vascularisées dont il faut bien convenir qu'elles n'assurent pas une guérison définitive.

En effet dans les années 70-80 du siècle dernier, trois techniques ont émergé et ont permis des reconstructions post traumatiques effectives, repoussant les indications d'amputations. L'opération de Papineau, qui avait l'avantage de traiter simultanément toutes les composantes d'une perte de substance multi-tissulaire, les techniques de migration osseuse issues des travaux d'Ilizarov et les transferts osseux vascularisés isolés ou sous leur forme composite. Il faut y adjoindre la formidable avancée que constituait dans les années 50-60 la greffe intertibia-fibulaire à la jambe [8].

« Jeune chef de clinique dans les années 80, je fus confronté à ces problèmes de pseudarthroses septiques post traumatique avec ou sans perte de substance des parties molles. Nous disposions déjà à l'époque d'un arsenal réduit de techniques de lambeaux libres ou pédiculés qui permettait néanmoins des exérèses élargies, seules garantes de l'assèchement de l'infection, considérée comme maladies locorégionale. Un cas clinique fut l'occasion d'amorcer une réflexion. Certes le lambeau permettait d'obtenir un remplacement trophique mais en cas de pertes de substance osseuse ne venait-il pas prendre la place du segment osseux manquant ? D'où l'idée dans un premier temps d'introduire une entretoise en ciment acrylique dans le seul but de préserver l'espace de reconstruction osseuse ... enlevée après une période d'attente de 2-3 mois afin de combler la cavité ainsi créée par un greffon autologue morcelé » A.C. Masquelet [8].

La démarche qui a conduit à la mise au point de la méthode de la membrane induite est un bel exemple de sérendipité au sens où le sociologue des sciences, Robert Merton, en a donné la définition suivante : « le phénomène de sérendipité concerne l'expérience assez générale de l'observation d'une idée non anticipée, anormale et stratégique qui devient l'occasion du développement d'une nouvelle théorie » [9].

Ensuite cette technique de découverte fortuite, où le patient « fabrique » finalement un nouveau périoste, fut développée au fil des années par la même équipe de Masquelet ainsi que par d'autres équipes.

Nous rentrons alors dans une nouvelle ère où le concept de médecine régénérative prend tout son sens.

BASES ANATOMO- PHYSIOLOGIQUES

1. Rappel sur le tissu osseux : composition, structure et phénomène du remodelage :

Le tissu osseux est un tissu squelettique, faisant partie des tissus conjonctifs spécialisés. Il est constitué de différents types de cellules dispersées au sein d'une matrice extracellulaire. Ces cellules existent sous quatre types :

les ostéoblastes : qui ont une activité ostéoformatrice, les ostéoclastes : qui ont une activité ostéodestructrice, les ostéocytes : qui interviennent principalement dans l'entretien de la matrice osseuse et les cellules bordantes : qui sont des ostéoblastes au repos.

On distingue, selon ses variations architecturales, deux types d'os : l'os compact et l'os spongieux. Le périoste constitue une variété architecturale de l'os compact, il se présente sous forme d'une membrane conjonctive richement vascularisée, dotée de propriété ostéogénique et jouant un rôle dans la croissance en longueur mais surtout en circonférence de l'os. **La membrane induite est en effet assimilée au périoste par rapport à ces fonctions mécaniques et biologiques.**

L'ossification aboutit à un os à l'état final, dit secondaire, au sein duquel se déroule un phénomène extrêmement important : **le remodelage osseux**. Il s'agit d'un phénomène de renouvellement continu du tissu osseux faisant intervenir deux activités opposées : une activité d'élaboration et une activité de destruction ou de résorption.

On compte parmi les propriétés de la membrane induite, sa capacité d'induire un remodelage osseux au sein du greffon, et ce grâce aux différents facteurs de croissance qu'elle élabore.

2. Caractéristiques histologiques, mécaniques et physiologique de la membrane induite [10–11] :

La structure et les propriétés biologiques de la membrane induite ont été étudiées dans des modèles animaux de petite et grande taille (respectivement le lapin et le mouton) dans lesquels l'implantation du cylindre de ciments (polyméthacrylate de méthyle PMMA), soit dans le tissu sous-cutané paravertébral dorsal (site d'implantation ectopique), soit dans des défauts osseux segmentaires (site d'implantation orthotopique) a induit la formation d'une membrane.

2.1 Description de la membrane induite :

Macroscopiquement, la membrane induite est individualisable, résistante à la manipulation à la pince, suturable, non adhérente au PMMA et à partir de la 6^{ème} semaine elle devient clivable du plan musculaire environnant.

Des études histologiques réalisées deux, quatre, six et huit semaines après l'implantation ont révélé les constatations suivantes :

- ❖ A deux semaines : la membrane possédait les caractéristiques d'une membrane à corps étranger :
 - un grand nombre de cellules multinucléées (inflammatoires)
 - un épithélium interne (face du ciment) pseudostratifié équivalent à une membrane synoviale et une partie extérieure composée de fibroblastes, myofibroblastes et de collagène.
 - une vascularisation extrêmement riche.
- ❖ A 4 et 6 semaines : il existait un aspect identique, la différence était seulement la diminution de l'œdème avec une partie extérieure qui s'organisait parallèlement à la structure du corps étranger en l'occurrence le ciment.

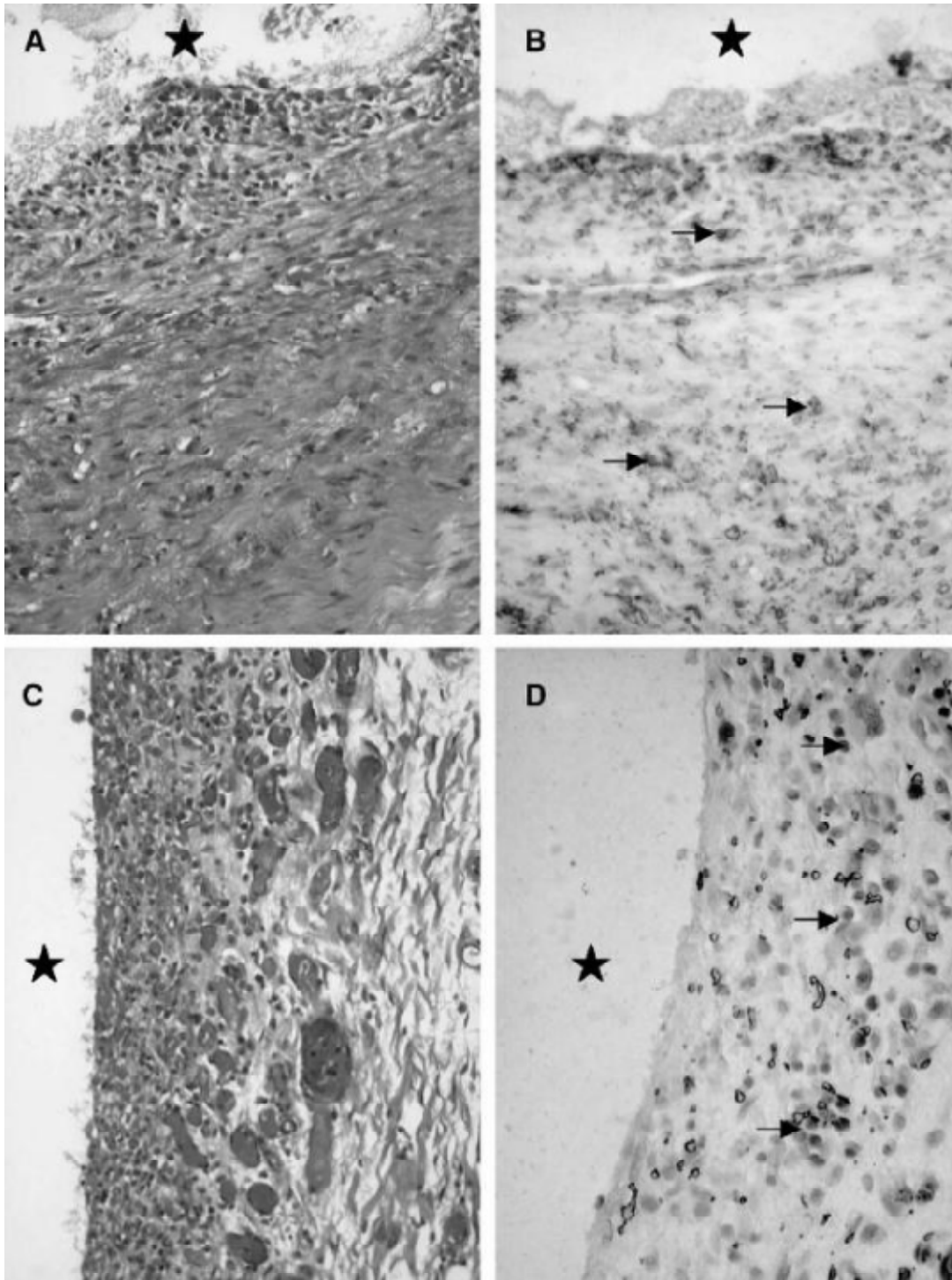


Figure 1 : A,B : aspect histologique de la membrane induite à 2 semaines.

C,D : aspect à 4 semaines.

(Pélissier, étude histologique de la membrane induite, 2004)

2.2 Propriétés mécaniques et physiologiques de la membrane induite :

- ❖ La membrane induite est dotée de capacités structurales permettant d'éviter le comblement de l'espace réséqué par du tissu d'interposition. Mais son rôle mécanique principal réside dans le fait qu'elle constitue une véritable chambre d'implantation de la greffe osseuse tout en assurant la protection de cette dernière de l'environnement tissulaire et contre la résorption.
- ❖ Sur le plan expérimental, les membranes induites ont démontré des propriétés de sécrétion de facteurs de croissance tels que : VEGF (vascular endothelial growth factor), TGF bêta1 (transforming growth factor beta 1), un facteur de croissance ostéoinducteur : BPM-2 (bone morphogenic protein).

Les rôles de chacun de ces facteurs de croissance peuvent être résumés comme suit :

- VEGF : induit l'angiogénèse, joue un rôle important dans la régulation du remodelage osseux en attirant les cellules endothéliales et les ostéoclastes, et en stimulant la différenciation des ostéoblastes.
- TGF bêta 1 : joue un rôle important dans le métabolisme osseux, dans la synthèse des protéines de la matrice extracellulaire et est également considéré comme un régulateur hypothétique de l'interaction ostéoclastique-ostéoblastique.
- BPM2 : présente des fonctions pléiotropes allant de l'organogénèse extrasquelettique et squelettique à la formation et la régénération osseuse.

Donc ces facteurs ont chacun une action individuelle sur les tissus osseux ou vasculaire, mais il a été démontré que leur association stimule la différenciation des cellules souches de la moelle osseuse vers la lignée ostéoblastique favorisant ainsi l'ostéogénèse.

La membrane induite semble alors constituer un environnement favorable à une greffe osseuse, à la fois par ces propriétés mécaniques de protection de l'implant et celle histologiques et physiologiques facilitant la régénération osseuse et le remodelage osseux.

LA TECHNIQUE DE MASQUELET

La technique de la membrane induite, proposée par Masquelet, associe l'induction d'une membrane in situ et une autogreffe osseuse spongieuse non vascularisée. La technique se déroule en deux étapes.

1. Premier temps (fig1) : [12,13]

- ❖ Préparation du site de reconstruction et mise en place de l'entretoise de ciment : C'est une étape essentielle de la technique de Masquelet. L'excision des tissus dévascularisés, scléreux, mortifiés tant au niveau des parties molles que de l'os lui-même est obligatoire. Après ce **débridement**, les tissus restant doivent avoir une vascularisation parfaite. Ensuite, l'opérateur réalise une réparation des parties molles, et tente d'effectuer **une fixation** la plus stable possible. En outre, **une infection** locale éventuelle, doit être **bilantée et traitée**.
- ❖ Ensuite **le comblement** de la perte de substance **par le ciment acrylique** est réalisé à la phase pâteuse du ciment, manipulé par l'opérateur, remplissant le défaut osseux mais sans excès. Le ciment acrylique est poussé en intramédullaire sur un bon centimètre de longueur. De même, le ciment doit couvrir la partie superficielle de chaque extrémité osseuse réalisant un « tulipage » engainant les extrémités. D'où l'intérêt d'une préparation rigoureuse et d'une recoupe parfaite des extrémités osseuse avant la pose du ciment.



Figure 2 : photo peropératoire montrant la mise en place du ciment chirurgical au niveau de la perte de substance osseuse fémorale.

(Photo tirée de l'observation N° 3)

2. Deuxième temps (fig 2 : a,b,c) : [12,13]

Lors du second temps, l'abord chirurgical est réalisé au bistouri pour permettre une ouverture longitudinale de la membrane. Cette ouverture est étendue aux extrémités osseuses, donc au-delà des limites du ciment. A partir de cette incision, l'utilisation de ciseaux à os permet la décortication périostée des extrémités osseuses. La libération latérale de la membrane induite en regard du ciment acrylique est effectuée avec précaution. Elle est réalisée par la mise en place successive de lames malléables contre-coudées permettant d'éviter de déchirer la membrane acrylique. L'exposition du ciment acrylique et la décortication périostée en continuité de la membrane sont réalisées sur la moitié de la circonférence osseuse. Ce n'est qu'une fois cette exposition acrylique complètement réalisée que la fragmentation du ciment acrylique est réalisée par ciseau à os. La fragmentation pas à pas permet l'ablation de l'entretoise au ciment dans son intégralité, sans lésion de la membrane induite entourant l'entretoise. Puis les segments de ciment situés en intramédullaire sont enlevés. L'avivement est enfin réalisé en intramédullaire par l'ablation de la partie de la membrane induite située à l'intérieur de l'os.

Dans la chambre réalisée, la greffe spongieuse sera mise en place mais de façon aérée et sans impaction. Ensuite la membrane induite est suturée sur le greffon.

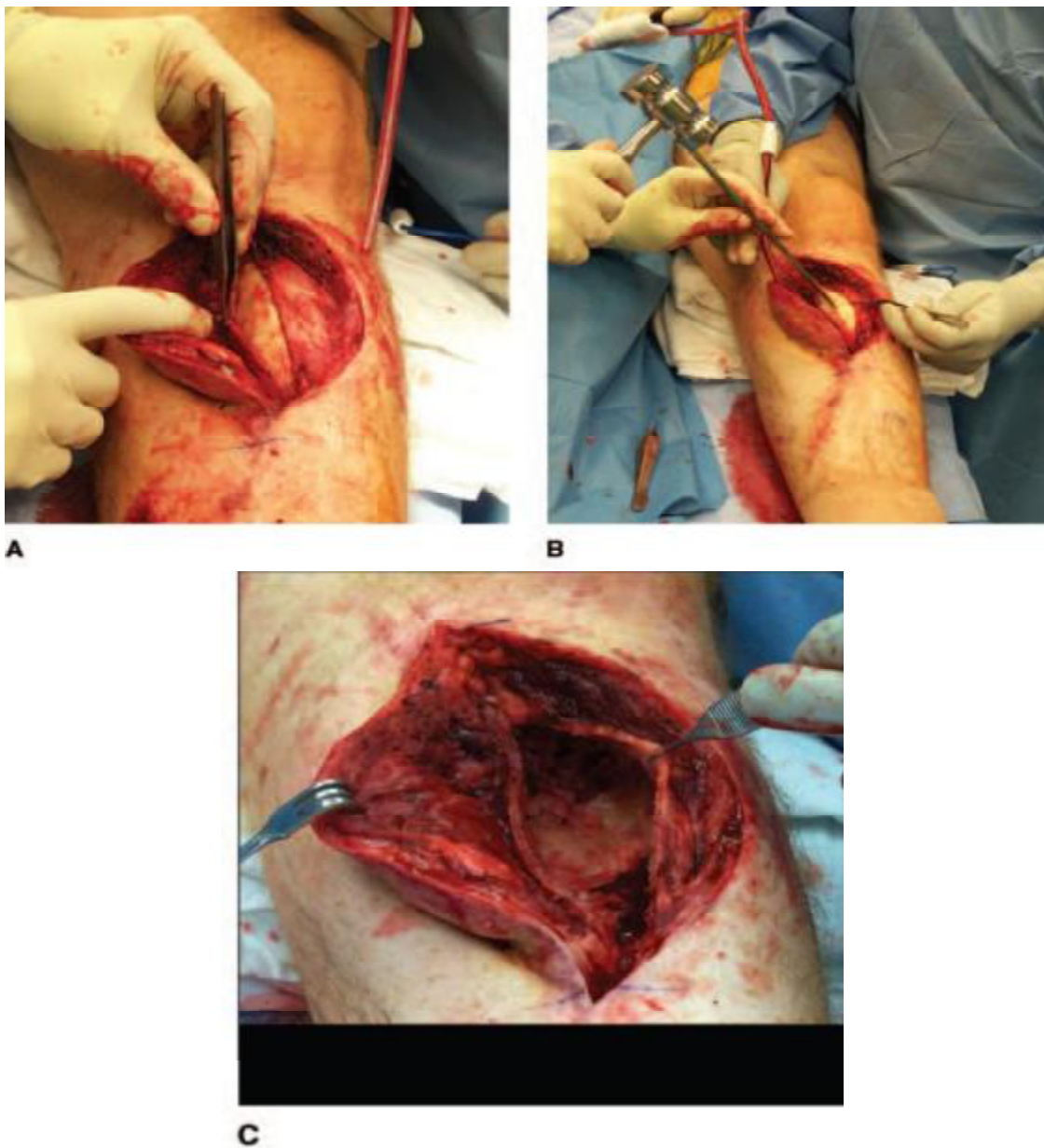


Figure 3 : photos peropératoires montrant : a : l'ouverture longitudinale de la membrane induite, b : l'ablation du ciment chirurgical, c : l'aspect de la membrane induite après l'ablation de l'entretoise de ciment.

(Photos tirées de l'observation N° 3)

MATERIEL ET METHODES

Présentation du travail :

Il s'agit d'une étude rétrospective ayant été menée au service de traumatologie orthopédie pédiatrique du CHU Hassan II de Fès entre 2011 et 2013. Se basant sur l'analyse des dossiers de **6** enfants ayant bénéficié de la technique de Masquelet pour le traitement de perte de substance osseuse d'origine différente (septique, post-traumatique, congénitale ou tumorale).

1. Les observations :

- **Observation 1 :**

Il s'agit de K. Abdelhamid, un nourrisson âgé de 14 mois. Sans ATCD pathologiques notables. Qui consulte pour prise en charge d'une déformation de la jambe gauche constatée à la naissance.

Chez qui l'examen clinique initial a retrouvé un nourrisson en bon état général, apyrétique, avec à l'examen ostéo-articulaire :

Une inégalité de longueur des membres inférieurs, une déformation à type de courbure à convexité latérale au niveau du tiers inférieur de de la jambe droite avec une mobilité du tiers inférieur par rapport aux deux tiers supérieurs de la jambe. Le reste de l'examen locomoteur ainsi que l'examen somatique complet étaient sans particularité, notamment pas de taches café au lait.

La radiographie standard de face et de profil de la jambe droite a montré : une solution de la continuité osseuse du tiers inférieur des 2 os de la jambe avec déplacement en angulation antérieure et latérale pour les 2 os et en chevauchement pour le péroné (fig4)

Le diagnostic de pseudarthrose congénitale a été posé. Ensuite la décision d'un comblement du défaut osseux par la technique de Masquelet a été prise.

Abdelhamid a été alors opéré le mois 04/13 pour premier temps de Masquelet où il a bénéficié : d'un abord antéro-interne pour le tibia et latérale pour le péroné, d'une résection de tissus fibrosés et d'un avivement des berges osseuses. Ensuite d'une ostéosynthèse par broche de Kirchner au niveau du péroné et de Métaizeau au niveau du tibia a été réalisée. Et à la fin du ciment chirurgical a été appliqué au niveau des pertes de substances osseuses (fig5)

2 mois plus tard, notre patient fut réadmis pour deuxième temps de Masquelet. Il a alors bénéficié d'un abord de l'ancien site d'intervention, une

ouverture longitudinale de la membrane induite, une extraction du ciment chirurgical, un comblement de la perte de substance tibiale et péronière par un greffon spongieux prélevé au niveau des deux crêtes iliaques, et à la fin une fermeture de la membrane par du vicryl 3.0 et une fermeture plan par plan (fig6).

Les suites post opératoires étaient simples et le nourrisson a été déclaré sortant sous antibiothérapie, AINS et attelle cruro-pédieuse postérieure.

La radiographie à 3 mois a montré une absence de consolidation au niveau des 2 os (fig 7).

Le contrôle radiographique après un recul de 1 an a objectivé une consolidation osseuse satisfaisante au niveau du péroné et une résorption du greffon au niveau du tibia (fig8).

Abdelhamid sera admis au service pour une autre tentative de comblement du défaut osseux tibial.

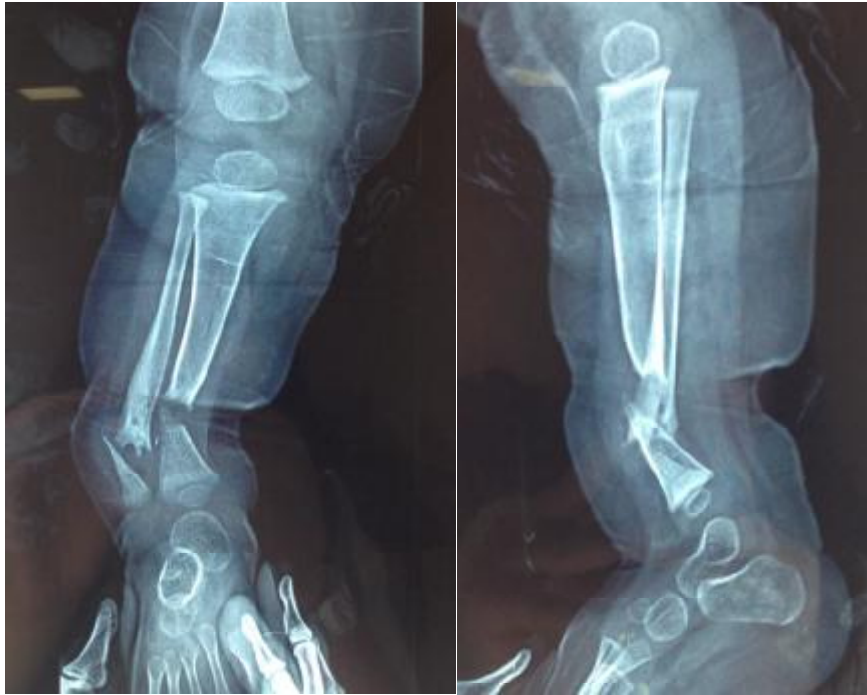


Figure 4 : radiographie F/P de la jambe, montrant une solution de continuité du tibia et du péroné avec déplacement en chevauchement et en angulation (aspect évoquant une pseudarthrose congénitale)



Figure 5 : radiographie post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet

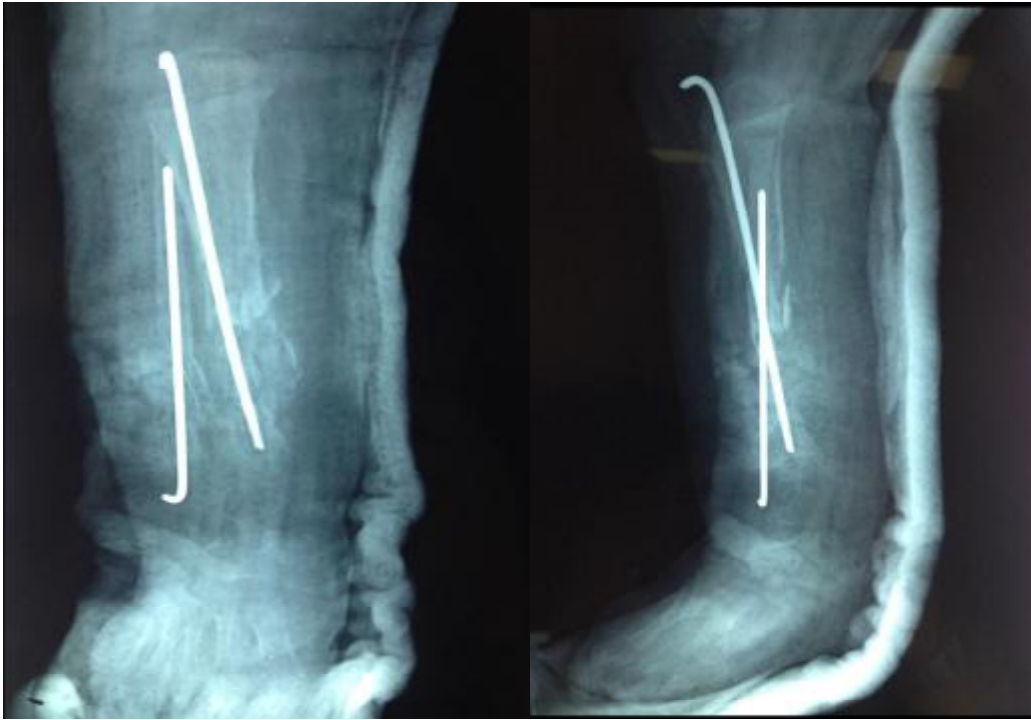


Figure 6 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet

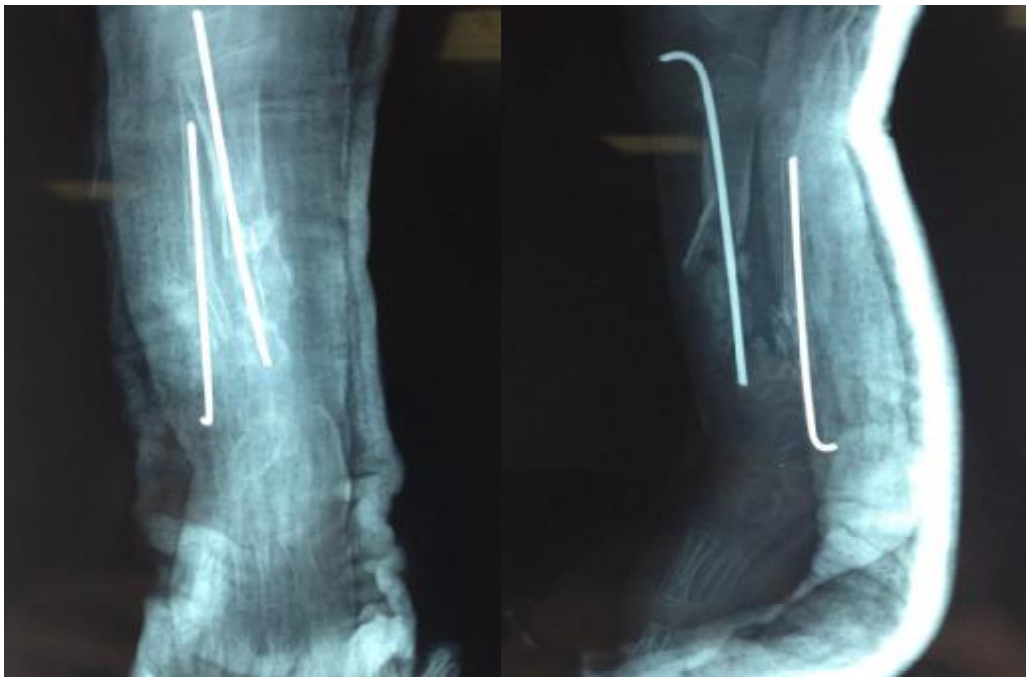


Figure 7 : radiographie de contrôle à 3 mois montrant une absence de consolidation



Figure 8 : radiographie de contrôle après un recul de 1 an montrant une bonne consolidation au niveau du péroné et une résorption du greffon osseux au niveau du tibia.

- **Observation 2 :**

Il s'agit de L.khalil, un enfant âgé de 15ans, sans ATCD pathologiques notables. Qui a consulté dans notre formation pour la prise en charge d'une tuméfaction du bord interne du pied.

Chez qui l'examen clinique initial avait retrouvé un enfant bien portant, apyrétique avec à l'examen locomoteur : une tuméfaction ovalaire du bord interne du pied gauche, faisant à peu près 4 cm de grand axe, non douloureuse, de consistance dure, immobile, sans signes inflammatoires en regard, ni déficit vasculo-nerveux, ni trouble de la mobilité (fig 9)

Le bilan radiologique a objectivé une image ovalaire, au dépend du premier métatarsien, bien limitée, associant une lyse osseuse et un amincissement des corticales sans qu'elles soient rompues (fig 10)

Une biopsie de la tumeur a été réalisée revenant en faveur d'un kyste anévrysmal.

La décision de réaliser une résection de la tumeur avec comblement de la perte de substance osseuse selon la technique de la membrane induite a été prise.

Le premier temps de Masquelet a consisté en une incision du bord interne du pied en regard de la tumeur. L'exploration chirurgicale avait retrouvé une tumeur qui atteint le 1^{er} métatarsien dans sa totalité d'où sa résection en bloc en emportant les surfaces articulaires. Ensuite une ostéosynthèse par broche de kerchner a été réalisée et à la fin un comblement du défaut osseux par du ciment chirurgical a été fait (fig 11).

45 ans jours plus tard le deuxième temps de Masquelet a été réalisé.

Notre patient a alors bénéficié d'une reprise de l'ancienne incision, une ouverture longitudinale de la membrane induite, une ablation du ciment chirurgical,

une mise en place du greffon spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque homolatérale avec adjonction de cristaux d'hydroxyapatite.

Les suites post-opératoires étaient simples et Khalil a été déclaré sortant après une semaine d'hospitalisation avec une attelle postérieure.

3 mois plus tard, l'ablation de la broche a été réalisée. Et à 6 mois du post opératoire le contrôle radiographique a été satisfaisant montrant une bonne prise du greffon et une bonne consolidation osseuse (fig 12).

Après un recul de 2ans, notre patient a repris une marche normale avec une arche interne légèrement raccourcie.



Figure9 : image clinique de la tuméfaction.



Figure 10 : image radiologique du kyste anévrysmal du 1 métatarsien.



Figure 11 : ablation de la tumeur, ostéosynthèse par broche de Kirchner puis comblement du défaut osseux par du ciment chirurgical.



Figure 12 : résultat satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse à 6 mois du post- opératoire.

- **Observation 3 :**

Il s'agit de S.Abderrahman, un enfant âgé de 10 ans.

Suivi dans notre formation pour ostéomyélite aigue au stade d'abcès sous périosté dont l'évolution a été marquée par une déformation de la cuisse droite avec une inégalité de longueur des membres inférieurs, associées à une séquestration d'une partie de la diaphyse fémorale (fig13). Abderrahman a alors bénéficié d'une séquestrectomie avec mise en place d'un fixateur externe d'alignement (fig14).

Vue la persistance d'un defect osseux important du fémur droit faisant à peu près 7 cm, l'indication d'un comblement selon la technique de la membrane induite a été posée.

Le premier temps de Masquelet, réalisé le mois 06/2012, a consisté en l'abord antéro-externe de la cuisse droite en regard de la perte de substance osseuse, un avivement des berges osseuses a été réalisé, ensuite un comblement du defect osseux par du ciment chirurgical a été fait (fig15)

Deux mois plus tard, le patient a été admis pour le deuxième temps de Masquelet où il a bénéficié après une reprise de l'ancienne incision, d'une ouverture longitudinale et la membrane induite, une ablation du ciment chirurgical, ensuite une mise en place d'un greffon spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque (fig16).

Les suites post opératoires étaient simples et notre patient fut déclaré sortant après une semaine sous couverture d'antibiotiques et d'antiinflammatoires.

Le contrôle radiographique à 2 mois du post opératoire a objectivé un début de prise du greffon. Et après un recul de 6 mois le résultat était satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse (fig17).

10 mois plus tard, une ablation du fixateur externe a été réalisée et Abderrahmane a repris une marche normale (fig18).



Figure 13 : radiographie montrant les séquelles d'OMC : une fracture déplacée en angulation et en chevauchement du fémur, une déminéralisation osseuse et un séquestre osseux de la diaphyse fémorale.



Figure 14 : radiographie post opératoire de la séquestrectomie avec mise en place d'un fixateur externe d'alignement



Figure 15 : radiographie post opératoire du premier temps de Masquelet.



Figure 16 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.



Radiographie 17 : très bonne consolidation osseuse après un récul de 6 mois.



Figure 18 : ablation du fixateur externe après une bonne consolidation osseuse.

- **Observation 4 :**

Il s'agit de R.Nabil, un enfant âgé de 7 ans.

Suivi dans notre formation pour un délabrement post traumatique de la cheville et de l'extrémité inférieure de la jambe droite avec mise à nu de l'os, associés à une fracture du tibia et une atteinte du cartilage de conjugaison. Nabil a bénéficié initialement d'un parage avec mise en place d'une greffe cutanée permettant la couverture de la perte substance.

Après l'obtention d'une bonne couverture des parties molles, le défaut osseux a été comblé selon la technique de Masquelet.

Le premier temps a consisté en l'avivement des berges osseuses, la résection des tissus nécrotiques et fibreux, la stabilisation par une broche de Métaizeau qu'on a fait passer en intramédullaire, et à la fin la mise en place du ciment chirurgical au niveau de la perte de substance osseuse.

2 mois plus tard, Nabil a été repris pour le deuxième temps de Masquelet et a bénéficié après la reprise de l'ancienne incision, d'une ouverture longitudinale de la membrane induite, d'une ablation du ciment chirurgical et d'un comblement par un greffon spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque homolatérale.

Les suites post-opératoires étaient simples et l'enfant a été déclaré sortant sous couverture d'antibiotiques et d'antiinflammatoire avec une attelle cruro-pédieuse postérieure.

Après un recul de 2 ans, le résultat était très satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse (fig19). Cependant, notre patient a gardé une inégalité de longueur des membres inférieurs estimée à 6 cm d'où la décision d'un d'allongement de la jambe (fig20).

Le résultat définitif était alors satisfaisant avec un gain de 5 cm de longueur et la reprise d'une marche normale (fig21).



Figure 19 : résultat final après la technique de Masquelet.



Figure 20 : allongement par fixateur externe.



Figure 21 : résultat satisfaisant après allongement avec un gain de 5 cm.

- **Observation 5 :**

Il s'agit De I.Samia, une enfant âgée de 8 ans.

Suivie pour ostéomyélite chronique de l'humérus gauche pour laquelle elle a bénéficié de plusieurs interventions, y compris une greffe osseuse libre, mais sans résultats.

A son admission dans notre formation, la patiente avait un bras court, déformé, des cicatrices des anciennes interventions, une fistule avec issue de pus évoquant la persistance de l'infection et une mobilité au niveau de la partie moyenne du bras (fig22). La radiographie standard avait montré une fracture de la diaphyse humérale sur os pathologique.

La décision était alors de traiter l'infection locorégionale et de réaliser par la suite un embrochage centromédullaire élastique stable.

Quelques semaines après, notre patiente a présenté une fracture itérative de l'humérus avec cassure du matériel d'ostéosynthèse et reprise de l'infection locale, puis l'évolution fut marquée par une pseudarthrose du foyer fracturaire avec une perte de substance osseuse estimée à 3 cm (fig 23).

Notre CAT fut alors de contrôler l'infection locorégionale par une bi-antibiothérapie pendant 3 semaines et après une amélioration clinique et une normalisation du bilan infectieux biologique, la perte de substance osseuse fut traitée selon la technique de la membrane induite.

Lors du premier temps de Masquelet, Samia a bénéficié d'un abord antéro-externe du bras gauche en regard de la perte de substance osseuse, d'une excision des tissus nécrotiques et fibreux et d'un avivement des berges osseuses, ensuite une mise en place du ciment chirurgical a été faite (fig24).

2 mois plus tard, notre patiente a été reprise pour deuxième temps de Masquelet, celui-ci a consisté après une reprise de l'ancienne incision, en

l'ouverture longitudinale de la membrane induite, l'ablation du ciment chirurgical et le comblement du défaut osseux par un greffon spongieux prélevé au niveau de la crête iliaque (fig25).

Les suites post-opératoire étaient simple et la patiente a été déclarée sortante sous antibiotiques et antiinflammatoires avec une attelle brachio-antébrachio-palmar postérieure.

Le résultat de l'intervention après un recul de 9 mois était très satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse (fig26).

Cependant, l'enfant a gardé une inégalité de longueur des deux membres supérieurs. Un allongement a été alors réalisé avec gain de 3 cm (fig27).



Figure 22 : image clinique montrant les séquelles d'ostéomyélite chronique de l'humérus.

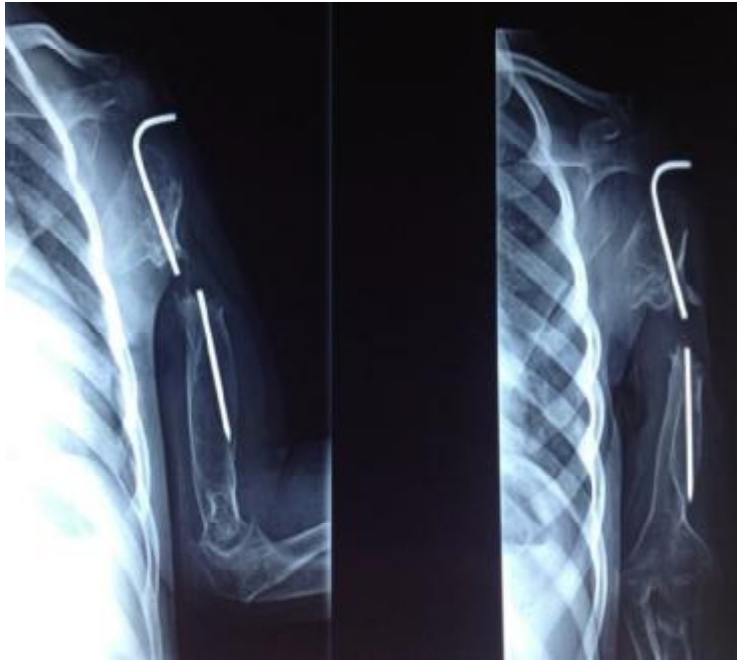


Figure 23 : fracture sur os pathologique, cassure du matériel d'ostéosynthèse et perte de substance osseuse.



Figure 24 : radiographie post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet.



Figure 25 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.



Figure 26 : résultat définitif satisfaisant avec une bonne consolidation osseuse à 9 mois du traitement par la technique de Masquelet.



Figure 27 : résultat après l'allongement avec gain de 3 cm.

- **Observation 6 :**

Il s'agit de L. Farah, une enfant âgée de 9 ans.

Suivie dans notre formation pour une luxation congénitale de la tête radiale (fig28) pour laquelle elle a bénéficié d'une ostéotomie d'allongement du cubitus à deux reprises, en 2010 et en 2011 (fig 29).

5 mois plus tard, la patiente a présenté une infection sur matériel d'ostéosynthèse d'où son ablation et la confection d'un plâtre circulaire.

Une année après, l'évolution fut marquée par l'apparition d'un foyer de pseudarthrose au niveau du site de l'ostéotomie et une absence de réduction de la tête radiale (fig30). D'où la décision d'intervenir selon la méthode de la membrane induite afin d'assurer la consolidation osseuse.

Le premier temps de Masquelet a été réalisé le mois 05/2012, au cours duquel Farah a bénéficié d'un abord interne en regard de la perte de substance cubitale, un débridement des tissus nécrotiques et fibreux, un avivement des berges osseuses, une ostéosynthèse par broche de Métaizeau au niveau du cubitus et à la fin un comblement du défaut osseux par du ciment chirurgical (fig31).

2 mois plus tard, notre patiente a été reprise pour deuxième le temps de Masquelet, qui a consisté en la reprise de l'ancienne incision, l'ouverture longitudinale de la membrane induite, l'ablation du ciment chirurgical puis le comblement du défaut osseux par un greffon prélevé au niveau de la crête iliaque (fig 32).

Les suites post opératoires étaient simples et la patiente fut déclarée sortante après une semaine d'hospitalisation sous couverture d'antibiotiques et d'antiinflammatoires avec une attelle postérieure brachio-antébrachio-palmaire.

Après un recul de 9 mois, la consolidation n'était toujours pas obtenue (fig33). Le résultat définitif fut alors marqué par une pseudarthrose résiduelle du cubitus avec une absence de consolidation osseuse (fig34).



Figure 28 : luxation congénitale de la tête radiale.



Figure 29 : ostéotomie d'allongement du cubitus.



Figure 30 : pseudarthrose septique du foyer d'ostéotomie cubitale avec fracture sur os pathologique déplacée en angulation.



Figure 31 : radiographie post opératoire du 1^{er} temps de Masquelet.



Figure 32 : radiographie post opératoire du 2^{ème} temps de Masquelet.



Figure 33 : absence de consolidation osseuse après un recul de 9 mois.



Figure 34 : résultat définitif non satisfaisant avec pseudarthrose résiduelle du cubitus et absence de consolidation.

2. Tableau résumant les six observations et leurs résultats

Patient	Age	Sexe	Etiologies	Consolidation	Recul	Résultat
K. ABDELHAMID	14mois	M	Pseudarthrose congénitale de la jambe	*Bonne pour le péroné (à 6 mois) *Absente pour le tibia	1 an	* Satisfaisant pour le péroné * Echec avec résorption du greffon au niveau du tibia
L.Khalid	15ans	M	Kyste anévrysmal	6 mois	1 an	Satisfaisant
S.Abderrahmane	10ans	M	Pathologie infectieuse	6 mois	2ans	Satisfaisant Problème d'ILMI : allongement prévu
R. Nabil	7ans	M	Traumatisme	6mois	2ans	Satisfaisant Problème d'ILMI traité par allongement
I. Samia	8ans	F	Pathologie infectieuse	7mois	2ans	Satisfaisant Problème d'ILMS traité par allongement
L.Farah	9ans	F	Pathologie infectieuse	absence	2ans	Echec avec pseudarthrose résiduelle

Il s'agit d'une série de 06 patients (4garçons et 2 filles) traités au service de traumatolo-orthopédie pédiatrique du CHU Hassan II de Fès entre 2011 et 2013, pour une perte de substance osseuse segmentaire et ce par la technique de Masquelet.

La perte de substance osseuse était d'origine infectieuse pour 3 patients, post traumatique pour 1 patient, plus un cas de lésion tumorale bénigne (kyste anévrysmal) et un cas de pseudarthrose congénitale.

L'âge moyen était de 8,5 ans (avec des extrêmes de 14 mois à 15 ans) lors du premier temps de reconstruction.

Le délai moyen de consolidation est de 6 mois. Avec un recul moyen de 20 mois.

La technique était réussie avec un résultat satisfaisant chez 4 patients. Parmi eux, 3 ont présenté une inégalité de longueur des membres d'où un allongement.

2 patients ont connu un échec de la technique, il s'agit d'un cas de pseudarthroses et un cas de résorption de la greffe osseuse.

DISCUSSION

1. Introduction :

La reconstruction des pertes de substance osseuse reste problématique chez l'enfant. La technique de la membrane induite prend dans ce contexte une dimension toute nouvelle.

En pédiatrie, ce procédé de reconstruction est utilisé tout particulièrement dans le cadre de la prise en charge des reconstructions en chirurgie oncologique [14-15]. La pathologie congénitale peut également être prise en charge par cette technique, notamment les pseudarthroses congénitales [16,17]. Dans notre contexte, la technique de la membrane induite serait d'un grand apport pour palier aux pertes de substance osseuse d'origine septique, notamment pour les cas d'infection osseuse post-traumatique ou d'ostéomyélite chronique.

Nous ne disposons pas d'une série importante pour pouvoir en tirer des conclusions de poids. Néanmoins nous allons essayer d'évaluer et de critiquer les résultats de nos observations tout en se référant aux grandes séries de la littérature, on exposera les résultats pour dégager les conditions ou les règles techniques qui doivent être prises en considération afin de mener à bien la prise en charge thérapeutique et d'améliorer les résultats pour mettre nos patients à l'abri des complications voir de l'échec de cette technique.

2. Indications :

2.1 Reconstruction en pathologie congénitale :

La pseudarthrose congénitale de jambe (PCJ) est une pathologie rare de l'enfant caractérisée par une grande hétérogénéité dans sa présentation, allant de la simple courbure à convexité antérolatérale (ou concavité postéro-médiale) de la jambe, peu évolutive, à une véritable solution de continuité avec perte de substance osseuse importante. Les radiographies peuvent mettre en évidence un aspect atrophique ou hypertrophique, des lésions kystiques ou dystrophiques à l'origine de plusieurs classifications. Bien que sa relation avec la neurofibromatose de type 1 (NF1) soit connue, la physiopathologie de la PCJ reste encore, aujourd'hui, mal comprise. Le traitement de la PCJ reste toujours aujourd'hui un problème difficile en orthopédie pédiatrique en raison des difficultés de consolidation, des déformations résiduelles, des raideurs articulaires et de l'inégalité de longueur séquellaire, parfois sévère. De nombreux traitements basés sur un concept biologique et/ou mécanique, chirurgical ou non, ont été décrits avec des taux de succès variables. Le pronostic des PCJ s'est considérablement transformé ces dernières décennies grâce au transfert fibulaire vascularisé et à la méthode d'Ilizarov. Malgré ces progrès, plusieurs interventions sont souvent nécessaires pour obtenir la consolidation de la pseudarthrose et l'amputation n'est jamais entièrement éliminée. L'efficacité des nouveaux traitements qui émergent aujourd'hui (protéines ostéo-inductrices, greffe de cellules de moelle osseuse, champs magnétique pulsé, **membrane induite...**) reste à évaluer dans le traitement de la PCJ. Leur association aux techniques classiques permettra peut-être d'améliorer le pronostic, toujours sombre, de cette pathologie [18].

En effet, la prise en charge des pseudarthroses congénitales par la technique de Masquelet est plus récente [16–17] et aucune série n'a encore été publiée pour en évaluer les résultats.

Au tibia, par exemple, les techniques de reconstructions décrites comme donnant les meilleurs résultats sur le taux de consolidation sont l'autogreffe, fibula vascularisée [19–20], l'enclouage centromédullaire associé à une greffe osseuse [21–22] et la méthode d'Ilizarov [23–24]. Les principaux inconvénients de ces techniques sont la nécessité de compétences microchirurgicales et le risque important de refracture [25–26] quelle que soit la méthode utilisée.

Le principe de la technique de Masquelet dans le traitement de la pseudarthrose congénitale consiste en l'excision complète du tissu fibreux pathologique et l'ostéosynthèse trans-physaire avant la mise en place de l'entretoise en ciment puis de la greffe.

Dans notre série, on rapporte le cas d'un patient porteur de pseudarthrose congénitale concernant les 2 os de la jambe, opéré à l'âge de 14 mois avec une bonne consolidation à 6 mois au niveau du péroné et une résorption du greffon empêchant la consolidation au niveau du tibia.

Dans la série rapportée par Masquelet [27] constituée de 14 patients, 4 étaient porteurs d'une pseudarthrose congénitale, concernant le tibia pour 2 d'entre eux, la fibula et la clavicule pour les 2 autres. Le délai de consolidation était court de 45 jours à 4 mois sans fracture itérative. Alors que l'âge d'intervention préférable est de 3 à 5 ans pour la fibula vascularisée [20] et à partir de 5 ans pour la méthode d'Ilizarov [28]. La technique de la membrane induit permet alors d'intervenir sur des patients plus jeunes.

2.2 Reconstruction en pathologie tumorale :

Les résections des tumeurs bénignes ou malignes des os, aboutissent à des pertes de substance souvent importantes, Parmi les résections tumorales laissant une grande perte de substance, on peut citer : les ostéosarcomes, les chondrosarcomes, les sarcomes d'Ewing et les tumeurs à cellules géantes.

La technique de la membrane induite trouve alors tout son intérêt dans le comblement des pertes de substance secondaire à des résections tumorales, notamment des tumeurs malignes.

En effet, c'est dans ce type de pathologie que la technique de la membrane induite a été la plus utilisée chez l'enfant. Biau [29] a rapporté la reconstruction d'un sarcome diaphysaire de fémur par cette technique, puis une étude multicentrique [30] a rapporté son utilisation sur une série de 12 enfants et enfin Chotel et al [31] ont rapporté leur expérience de 8 cas.

Les contraintes liées au traitement chimiothérapique adjuvant ont imposé une modification de la date du temps de greffe. Comme dans la série de Villemagne et al [30], et de Chotel et al [31], le second temps a donc été réalisé 6 à 8 semaines après la dernière cure de chimiothérapie adjuvante de manière à diminuer l'effet antimitotique des drogues sur les ostéoblastes et améliorer la neutropénie source de risque infectieux majeur.

Ce choix de délai reste empirique. Les résultats semblent montrer une reconstruction satisfaisante malgré ce délai.

C'est également dans ce type de pathologie que le type de greffe a été modifié. Ainsi la classique greffe spongieuse a été complétée et renforcée dans un nombre de cas par des cristaux d'hydroxyapatite, une autogreffe corticale (tibia). Cette construction, utilisée par Biau [29], Villemagne [30] (7 cas sur 12) a le double avantage d'augmenter le volume de greffe mais également de fournir une stabilité

primaire à la greffe puisque la baguette est encastrée aux deux extrémités osseuses résiduelles et parfois vissée en opposition à la plaque quand ce mode de fixation a été choisi.

Dans notre série, un seul cas de reconstruction par la technique de Masquelet faisant suite à une résection tumorale a été rapporté. Il s'agissait d'une tumeur bénigne : kyste anévrysmal du premier métatarsien, avec un délai de consolidation de 6 mois et un résultat final très satisfaisant, en dépit de l'arche interne restée relativement courte.

Dans la série rapportée par Masquelet [27], 7 cas de résection tumorale ont été rapportés, 4 cas de tumeurs malignes et 3 cas de tumeurs bénignes. Suite à une intervention de type Masquelet, le résultat était satisfaisant pour uniquement 2 cas de tumeur bénigne, l'évolution chez le reste des patients a été marquée par une désunion cutanée chez 2 cas, une pseudarthrose chez 2 autres et enfin une résorption massive du greffon chez un cas de tumeur maligne.

2.3 Reconstruction en pathologie traumatique et infectieuse [32] :

Les infections ostéo-articulaires de l'enfant sont graves en l'absence d'un traitement approprié. L'antibiothérapie a considérablement transformé le pronostic de ces atteintes, cependant des ostéomyélites continuent d'évoluer vers la chronicité, et constitue encore de nos jours un fléau malgré la multiplication des structures sanitaires, dans l'absence d'un traitement précoce et adapté, surtout dans notre contexte.

En effet, l'évolution vers la chronicité guette toute ostéomyélite aiguë mal traitée ou diagnostiquée tardivement. Les séquelles qui en résultent peuvent aboutir à des séquestrations osseuses importantes et étendues posant le problème de reconstruction mettant en jeu le pronostic fonctionnel du membre à long terme.

Selon les conclusions et recommandations issues des travaux du symposium consacré aux pertes de substance osseuse diaphysaires post traumatiques, à l'occasion du congrès de la SOFCOT (société française de chirurgie orthopédique et traumatologique) de novembre 2010 :

En cas d'infection déclarée, l'attitude raisonnable consiste à prévoir deux temps opératoires. Après excision radicale, l'entretoise en ciment maintient l'espace de reconstruction, joue le rôle de sentinelle apte à déceler une éventuelle récurrence de l'infection qui inciterait à une excision itérative, et induit une membrane à corps étranger qui possède elle-même un caractère inducteur sur la consolidation osseuse. La reconstruction sera faite secondairement selon le procédé dont l'équipe a l'expérience : comblement par matériau traditionnel, transfert osseux vascularisé ou mobilisation osseuse à l'intérieur de la chambre biologique que forme la membrane.

Le bourgeonnement dirigé, après exérèse pluritissulaire extensive, ne nous semble pas un procédé fiable à la fois pour l'assèchement de l'infection et pour la restauration définitive des parties molles. C'est d'ailleurs ce qui a conduit à l'abandon progressif de la technique de Papineau fondée sur une reconstruction par greffe spongieuse exposée [33,34].

Dans notre série, nous avons rapporté 3 cas de perte de substance osseuse d'origine infectieuse (ostéomyélite chronique) et 1 cas de défaut osseux post traumatique, avec une réussite de la technique dans 3 cas et échec de l'intervention dans le dernier cas marqué par une pseudarthrose résiduelle.

Dans la série rapportée par Masquelet [27], on note 3 cas de perte de substance osseuse post traumatique du tibia traités par la méthode de la membrane induite. Le résultat était satisfaisant pour 1 seul cas avec une consolidation dans 3 mois sans complication intercurrente, par contre dans les 2 autres cas il y a eu un échec de la technique et ce par la survenue d'une pseudarthrose compromettant la consolidation.

3. Expérience clinique à propos de la technique de Masquelet :

3.1 Astuces techniques pour un résultat optimal [35]

❖ Lors du premier temps :

1. L'excision des tissus dévascularisés et mortifiés est obligatoire tant au niveau des parties molles que de l'os lui-même afin de ne laisser aucun tissu non vivant.
2. Après ce parage, les tissus restants doivent avoir une vascularisation parfaite au mieux appréciée après lâchage du garrot pneumatique.
3. L'ostéosynthèse à cette phase doit être strictement rigide pour assurer une stabilité optimale.
4. L'insertion de l'entretoise est réalisée lorsque le ciment est encore malléable. Les extrémités osseuses seront ainsi encapuchonnées par le ciment et ce dernier est poussé en intramédullaire sur un bon centimètre de longueur. Après polymérisation, le bloc de ciment devient stable puisque accroché en proximal et en distal de l'os, à la fois en intra et en extra-médullaire. Ce caractère d'autostabilité de l'implant doit être recherché pour aider à la construction d'une membrane continue d'excellente qualité et d'épaisseur suffisante. En effet, la persistance d'une mobilité au niveau de la perte de substance génère une réaction inflammatoire et cicatricielle défavorable à une bonne membrane.
5. A la jambe, on cherche le contact avec le fibula qui servira d'appui à la greffe.
6. Le cylindre de ciment doit être d'un calibre légèrement supérieur à la diaphyse.

❖ Lors du deuxième temps :

1. La membrane pseudosynoviale est ouverte longitudinalement sur toute sa longueur
2. Les extrémités osseuses sont préparées : on reperméabilise les canaux médullaires pour permettre la libre circulation de facteurs de croissance, une décortication est pratiquée aux deux extrémités en détachant de fins copeaux d'os cortical qui restent attachés à la membrane périphérique. La membrane en effet déborde l'extrémité osseuse de 2 à 3 cm par l'effet d'encapuchonnement du ciment.
3. L'espace créé par la décortication est comblé par de véritables éclisses d'os spongieux disposées en palissade autour des extrémités diaphysaires. Pour épargner le capital spongieux, on peut associer de l'os spongieux déminéralisé d'origine bovine ne dépassant pas 30% du total greffé. Les fragments d'os spongieux de doivent pas être lavés au sérum physiologique. Ils sont découpés en petits cubes d'un à deux millimètres de côté.
4. Les greffons sont tassés dans la cavité jusqu'à obtenir la sensation, au doigt, d'une résistance élastique comparable à celle d'un « ballast de chemin de fer, lors du passage d'un train ».
5. La membrane est suturée sur la greffe, recréant ainsi un cylindre fermé.

3.2 Quels os peut-on traiter selon la technique de Masquelet [12-13] ?

Cette technique a été utilisée pour toutes les localisations osseuses, qu'il s'agisse du membre inférieur, tibia ou fémur, ou du membre supérieur, humérus, radius ou ulna. Elle a été aussi utilisée sur des os de membrane comme la clavicule. La différence constatée est le délai nécessaire pour le retrait de l'entretoise de ciment qui dépend de la vascularisation de chaque segment osseux, afin d'obtenir une membrane induite de qualité biologique et mécanique optimale.

3.3 Quelles pertes de substances peut-on traiter par la technique de Masquelet [12-13] ?

L'indication principale est une perte de substance osseuse **segmentaire** de grande taille intéressant le segment diaphysaire moyen d'un os long. L'explication principale de cette localisation de référence semble être la possibilité d'une ostéosynthèse d'excellente qualité mécanique grâce à un bon ancrage proximal et distal. Au niveau métaphysaire cette technique peut être aussi utilisée. Cependant, les pertes de substances épiphysaires sont probablement la situation locale la moins propice à la membrane induite dans l'hypothèse du respect de l'articulation adjacente. A l'inverse, dans l'hypothèse d'une fusion de l'articulation, le comblement de la perte de substance par une entretoise au ciment peut être une bonne solution.

En effet, les résultats obtenus pour le traitement des pertes de substance segmentaires, nous a conduit à vouloir étendre le recours à ce mode de reconstruction même aux pertes de substance **cavitaires** détruisant une zone osseuse sans perte de continuité, c'est-à-dire avec persistance d'au moins un contact cortical sur 1 / 3 de la circonférence osseuse.

3.4 Quelle greffe osseuse, à quel délai et place des BMP (bone morphogenic protein) [36] ?

La supériorité des résultats obtenus avec l'autogreffe en fait la technique « gold standard » dans la reconstruction des pertes de substance osseuse des os longs selon la technique de Masquelet. Cependant, le volume qu'il est possible d'obtenir à partir des sites donneurs d'autogreffe ne permettent pas de traiter les pertes de substance très étendues.

Initialement, un mélange de l'autogreffe et de l'allogreffe spongieuse morcelée, soit issue de tête fémorale de banque, soit allogreffe irradiée a été essayé. Le rapport le plus important réalisé a été de 60% d'autogreffe pour 40% d'allogreffe.

Puis plusieurs produit commerciaux à base de calcium et de phosphore de porosité variable tant qu'en macroporosité qu'en microporosité ont été essayés. Aucun de ces substituts osseux n'a permis de retrouver la qualité de la consolidation de la technique « gold standard » ni le remodelage avec corticatilisation.

De façon récente, un procédé R.I.A (Reading, Irrigation, Aspiration) a été développé pour améliorer le volume des greffes obtenues, tout en limitant les morbidités des sites donneurs. Si la consistance de la greffe ainsi prélevée est plus poudreuse, moins structurée, plus fragmentable, les résultats radiologiques à distance sont similaires à ceux obtenus avec une autogreffe iliaque. Il s'agit du mode de greffe osseuse employée actuellement, soit isolée soit associée à une allogreffe irradiée.

Le délai de réalisation de la greffe osseuse reste controversé. Si les travaux de Pélissier semblent trouver une phase optimale d'implantation de la greffe osseuse entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine, ces données sont constatées chez l'animal, et rien ne permet de dire qu'elles sont identiques chez l'homme.

Les expériences cliniques plaident pour une période idéale autour de la 6^{ème} semaine pour les pertes de substance diaphysaire de la jambe. En effet, cette période dépend largement de la vascularisation du segment osseux à reconstruire et de la qualité de la membrane induite obtenue, elle doit être allongée pour les lésions de l'humérus et du fémur et moindre pour celles de la jambe et de l'avant-bras par exemple. D'autres données peuvent nécessiter le report de la greffe osseuse, il s'agit des difficultés de cicatrisation des parties molles, de la nécessité de réaliser des gestes de couverture complémentaire autour de la perte de substance, ou de complications liées à la mise en place de matériel d'ostéosynthèse. Sur la base des travaux de Pélissier, le pic de production de BMP (bone morphogenic protein) naturels se fait vers la 4^{ème} semaine. Ayant constaté des cas cliniques de lyse de la greffe osseuse lors de l'adjonction de BMP issus du commerce lorsque cette adjonction était réalisée vers la 4^{ème} – 6^{ème} semaine d'implantation de l'entretoise. On n'utilise plus des BPM issus du commerce lorsque le temps de reconstruction par greffe est possible au voisinage de cette période. A l'inverse, lorsque la période de production maximale des BMP naturels est largement dépassée, nous cherchons à stimuler l'ostéogénèse par adjonction de BMP non naturels avec des résultats très satisfaisants.

4. Apport de la technique de Masquelet et sa place parmi les autres méthodes de reconstruction osseuse :

4.1 Comparaison à la greffe osseuse libre :

Il s'agit d'une procédure chirurgicale visant à augmenter le volume osseux à l'aide d'os naturel, artificiel ou synthétique. On l'emploie pour diverses raisons, notamment pour réparer un défaut osseux causé par une maladie quelconque. On distingue deux types de greffe osseuse naturelle : l'autogreffe : en provenance d'une partie du corps de la même personne et l'allogreffe : prélevée à un donneur humain. L'os prélevé peut être soit spongieux soit cortical.

En effet, l'autogreffe spongieuse est très opérante pour les pertes osseuses inférieures à 5-6 cm, mais au-delà l'incorporation de la greffe est longue et aléatoire vu l'absence de vascularisation nourricière. Les pseudarthroses, les fractures et les déformations sont fréquentes. Une lyse complète de la greffe n'est pas rare [37].

De plus, le stock spongieux est limité, notamment chez l'enfant, ce qui rend impossible les greffes étendues. Enfin, le prélèvement s'accompagne de certaines morbidités, il s'agit avant tout de complications minimales : hématomes, douleurs chroniques, paresthésie ; mais exceptionnellement des complications sérieuses ont été décrites : lésions de l'artère fessière supérieure, instabilité pelvienne, hernie, fracture de l'iléon [38].

Quant aux greffes corticales, elles ont été utilisées pour des reconstructions étendues en chirurgie traumatologique et le sont encore aujourd'hui exceptionnellement, mais leur intégration est trop longue contraignant à une décharge prolongée, le taux de fracture et également proportionnel à la taille de la greffe (plus de la moitié des greffes de plus de 12 cm) [39].

En ce qui concerne les allogreffes, leurs inconvénients se résument essentiellement dans : la nécessité d'une banque d'os, l'importance des pseudarthroses et des fractures secondaires comme c'est le cas pour les allogreffes [40], l'importance du taux d'infection bactérienne issue du donneur ou liée à une contamination lors du prélèvement ou lors de l'implantation [41], le risque théorique de transmission virale, la réaction immunologique de l'hôte et le risque du rejet [42], ainsi que l'impossibilité d'allongement en cas d'inégalité de longueur des membres [43]

Ceci dit, on peut illustrer l'apport de la technique de Masquelet par rapport à la greffe libre, par le fait qu'elle rend possible cette dernière même si les conditions locale ne sont pas favorable (irradiation, contamination septique) car la vascularisation se fait par la membrane.

En outre, elle rend possible les reconstructions plus étendues, en sécrétant sur toute sa longueur des facteurs de croissance et en agissant comme une chambre biologique dans laquelle vont se déverser les facteurs de croissances et les cellules médullaires. La membrane induite permet des reconstructions jusqu'à 25 cm. Masquelet dans sa série de 35 patients ayant subis une reconstruction de 4 à 25 cm n'a que 4 fractures soit 13%. En corrigeant la technique, les résultats peuvent selon lui être bien meilleurs [44]

Elle permet également une évolution plus rapide. Dans la même série rapportée par Masquelet, il notait un aspect de consolidation radiologique à 4 mois et l'ostéosynthèse a été retirée à 8,5 mois en moyenne [44].

Enfin, la mise en place du spacer va être une sorte d'épreuve à l'infection. Si au bout de 4 semaines il n'y a pas d'infection autour du spacer, l'autogreffe peut être placée en toute sécurité. C'est pour cela que Masquelet déconseille l'utilisation de ciment imprégné d'antibiotique et préfère que l'infection se déclare franchement afin de procéder à une reprise chirurgicale précoce et ne pas risquer de perdre son capital d'autogreffe spongieuse en le plaçant dans un milieu septique.

4.2 Comparaison au péroné vascularisé :

Suite à l'avènement de la microchirurgie, le transplant d'os vascularisé, donc «vivant», est devenu possible. En 1975, Taylor publia la première utilisation d'un péroné vascularisé pour une reconstruction osseuse post traumatique [45].

En comparaison à la greffe osseuse libre, le péroné vascularisé permet des reconstructions étendues allant jusqu'à 25 cm. De plus, l'environnement n'est pas déterminant étant donné la vascularisation autonome du greffon, et par cette même raison il résiste mieux aux infections. En outre la résistance mécanique est plus importante par rapport à celle d'un greffon simple et le péroné s'hypertrophie progressivement se rapprochant ainsi des propriétés mécaniques de l'os remplacé.

Cependant, l'intervention du péroné vascularisé nécessite une équipe formée à la microchirurgie et ayant la maîtrise de de cette technique. Ce qui contraste avec la simplicité de la technique de Masquelet pouvant être réalisée par tout chirurgien orthopédiste pédiatre. L'autre inconvénient du péroné vascularisé est la durée très longue de l'intervention allant jusqu'à 6-13 h, en comparaison avec 2 heures pour la technique de Masquelet [46].

Il en est de même pour la durée d'hospitalisation qui est nettement plus prolongée pour le péroné vascularisé. Enfin, le temps de décharge et de reprise d'une marche normale sans protection est en moyenne de 2 ans pour le péroné vascularisé à comparer à une moyenne de 45 jours pour le Masquelet [47].

4.3 Avantages :

D'après cette étude comparative entre la technique de Masquelet et les autres moyens de reconstruction osseuse, on peut résumer les avantages cette méthode comme suit :

- 1 Elle est utilisable qu'elle que soit la taille de la perte de substance osseuse (intérêt dans les défauts osseux importants)
- 2 Elle peut s'appliquer sur des terrains peu favorables, grâce à une capsule fibreuse constituant une barrière isolant le greffon et favorisant la vascularisation et la croissance de ce dernier.
- 3 Elle remplit instantanément la perte de substance par un spacer inerte, calé en proximal et distal dans les segments osseux concernés, ce qui assure une certaine stabilité.
- 4 Le cylindre de ciment joue un rôle de révélateur d'une infection latente nécessitant des mesures de stérilisations.
- 5 Elle est simple, fiable et efficace avec un déroulement rapide, une hospitalisation courte et une décharge plus précoce.
- 6 En cas d'échec elle peut être à nouveau réalisée, après un temps de latence raisonnable.
- 7 La technique ne ferme aucune forme thérapeutique ultérieure.

5. Limites de la technique de Masquelet :

5.1 Complications [48–49] :

❖ La pseudarthrose :

On parle de pseudarthroses quand il persiste une mobilité interfragmentaire et qu'il s'est avéré que le traitement institué n'amènera pas à la consolidation.

On distingue la pseudarthrose aseptique et celle septique. Son diagnostic implique une nouvelle décision thérapeutique, en l'occurrence une autogreffe au niveau du site de la pseudarthrose.

Le taux relativement élevé de la pseudarthrose aseptique compliquant les interventions chirurgicales selon la technique de Masquelet est expliqué essentiellement par des défauts techniques, à savoir :

- Un manchonnage insuffisant par le ciment lors du premier temps. De ce fait lors du 2^{ème} temps, l'autogreffe cortico-spongieuse ne recouvrait pas assez les berges osseuses et constitue probablement la cause de l'absence de fusion entre l'os néoformé et les berges de la résection.
- Une ostéosynthèse pas assez stable. En effet, des études expérimentales ont montré que le facteur déterminant la fusion entre hôte et greffe est la stabilité du montage.

Ceci nous a ainsi fait adapter notre technique opératoire lors du premier temps : un manchonnage important du ciment est réalisé de manière à ce que la membrane induite déborde sur les berges de la résection. Une ostéosynthèse stable est réalisée (l'ECMES est utilisé quand le clou verrouillé n'est pas adapté et le fixateur externe circulaire est privilégié au fixateur monoplan). L'ostéosynthèse par plaque vissée est souvent l'idéal mais reste difficile à proposer chez le tout petit enfant ou quand la zone à reconstruire est proche d'une zone de croissance. Une

baguette tibiale est ajoutée à la greffe quand la reconstruction intéresse plus que 40% de l'os concerné.

En outre, la pseudarthrose septique constitue une complication redoutable associant la non consolidation à l'infection. Ça peut être causé par une infection du greffon en per opératoire, ou une rechute d'une ostéomyélite chronique.

❖ La résorption de la greffe spongieuse :

La résorption massive de la greffe est le seul véritable échec encore non expliqué, comme celui que Chotel [31] a constaté pour un cas de résorption complète de la greffe dans la membrane induite au cours de la reconstruction de 22 cm de fémur au cours du traitement d'un ostéosarcome. Ce type de résorption n'avait jusqu'alors pas été constaté et incite à la plus grande prudence. Une meilleure compréhension des étapes cellulaires impliquées dans ce type de reconstruction (tout particulièrement de l'ostéoclastogenèse au sein de la membrane) s'impose pour expliquer ce type de complication et éviter qu'elle ne se reproduise.

❖ D'autres complications : plus rare

Fracture du greffon spongieux

Nécrose et désunion cutanées et des parties molles.

Raccourcissement et désaxation du membre traité.

5.2 Inconvénients

Cette technique présente néanmoins certaines limites, les principales étant :

- ❖ la morbidité potentielle des prélèvements nécessaires à la collecte d'une quantité importante de greffon : hématomes, douleurs chroniques, paresthésie ; voir exceptionnellement (en cas de prélèvement iliaque) : des lésions de l'artère fessière supérieure, une instabilité pelvienne, une hernie ou une fracture de l'iléon.
- ❖ Et la nécessité de 2 temps opératoires soit 2 hospitalisations et 2 anesthésies. Alors que les différentes interventions précédemment utilisées ne nécessitent qu'un seul temps.

CONCLUSION

Initialement utilisée en traumatologie, après résection de pseudarthroses septique, puis utilisée après résection de tumeurs malignes, la technique de la membrane induite permet la reconstruction de grandes pertes de substance osseuse. Les indications s'ouvrent en orthopédie pédiatrique à la prise en charge des pathologies congénitales telles que les pseudarthroses congénitales.

Il s'agit d'une méthode chirurgicale se déroulant en 2 temps et permettant la reconstruction des défauts osseux étendus. En urgence ou en secondaire, en milieu septique ou aseptique, au membre inférieur comme au membre supérieur voir d'autres parties du squelette osseux.

L'apparente simplicité de la technique nécessite néanmoins une rigueur d'exécution tant sur le plan du manchonnage par le ciment que sur le plan de la stabilité du montage. C'est à ces conditions que peut être évitée la principale complication qu'est la pseudarthrose. La résorption de greffe quant à elle, est possible mais n'est pas encore comprise.

La technique de Masquelet paraît donc être une méthode fiable pour répondre aux principales situations de pertes de substance osseuses rencontrées en orthopédie pédiatrique.

RESUME

RESUME

La reconstruction des pertes osseuses et des non consolidations au niveau des os longs constitue un défi pour le chirurgien orthopédiste. Les procédés sont nombreux, mais actuellement il n'existe que peu de consensus sur la meilleure conduite à tenir.

La technique développée par Masquelet fait appel à l'utilisation de deux temps opératoires. Le principe est de combler la perte de substance osseuse par un matériel inerte (du ciment), afin de créer une membrane à corps étranger autour de celui-ci. Cette dernière délimite une chambre qui, lors du retrait du ciment, est capable de recevoir une greffe osseuse spongieuse massive.

La membrane induite joue un rôle à la fois mécanique : une véritable chambre d'implantation assurant la protection du greffon, et biologique : la sécrétion de facteurs de croissance favorisant l'ostéogénèse et l'angiogénèse.

L'utilisation de la technique de Masquelet améliore ainsi les taux de consolidation osseuse et constitue une véritable révolution et une alternative aux autres techniques de reconstruction osseuse.

Notre travail consiste en une étude rétrospective portant sur une série de 06 patients (4 garçons et 2 filles) traités au service de traumatologie orthopédique pédiatrique du CHU Hassan II de Fès entre 2011 et 2013, pour une perte de substance osseuse segmentaire et ce par la technique de Masquelet.

La perte de substance osseuse était d'origine infectieuse pour 3 patients, post traumatique pour 1 patient, plus un cas de lésion tumorale bénigne (kyste anévrysmal) et un cas de pseudarthrose congénitale.

L'âge moyen était de 8,5 ans (avec des extrêmes de 14 mois à 15 ans) lors du premier temps de reconstruction.

Le délai moyen de consolidation était de 6 mois. Avec un recul moyen de 20 mois.

La technique était réussie avec un résultat satisfaisant chez 4 patients. Parmi eux, 3 ont présenté une inégalité de longueur des membres d'où un allongement.

Cependant, 2 patients ont connu un échec de la technique, il s'agit d'un cas de pseudarthroses et un cas de résorption de la greffe osseuse.

SUMMARY

The reconstruction of bone loss and non-binding in the long bones is a challenge for the orthopedic surgeon. The methods are many, but currently there is little consensus on how best to proceed.

The technique developed by Masquelet involves the use of two operating times. The principle is to fill the bone defect with an inert material (cement), in order to create a membrane of foreign body around thereof. The latter defines a chamber that, upon removal of the cement, is capable of receiving a massive cancellous bone graft.

Induced membrane plays a role in both mechanical: a real implantation chamber protecting the graft, and biological: the secretion of growth factors promoting osteogenesis and angiogenesis.

Use of the technique of Masquelet improves the rates of bone healing; it is a real revolution and an alternative to other bone reconstruction techniques.

Our work is a retrospective study of a series of 06 patients (4 boys and 2 girls) treated in the service of pediatric traumatology-orthopedic of university hospital Hassan II of Fez between 2011 and 2013, for a loss of segmental bone by introduced membrane technique.

The bone loss was infectious for 3 patients, post traumatic for 1 patient, more a case of benign tumor lesion (aneurysmal cyst) and one case of congenital pseudarthrosis.

The average age was 8.5 years (with a range of 14 months to 15 years) at the first time of reconstruction.

The average time to union was 6 months. With a mean of 20 months.

The technique was successful with satisfactory results in 4 patients. Among them, three had a limb length inequality where elongation.

However, two patients experienced a failure of the technique, it is a case of nonunion and resorption of the bone graft.

ملخص

تشكل إعادة ترميم فقدان العظام تحدياً لأخصائي جراحة العظام. ورغم تواجدها العديد من الطرق إلا أنه لا يوجد إجماع حول أفضل السبل للمضي قدماً.

التقنية التي طورها Masquelet تعتمد على عمليتين جراحيتين. ويتمثل مبدؤها في ملئ الفراغ على مستوى العظم بمادة خاملة (الاسمنت الجراحي) مما سيؤدي إلى تكون غشاء حول هذا الأخير. يحدد هذا الغشاء حجرة يتم ملؤها بعد إزالة الاسمنت بكمية كبيرة من العظم الإسفنجي.

يلعب هذا الغشاء دورين أساسيين الأول ميكانيكي ويتجسد في كونه يحدد حجرة حقيقية تمكن من الحفاظ على العظم الإسفنجي والثاني بيولوجي ويتمثل في كونه يفرز عوامل النمو التي تمكن من تكون العظم و الأوعية الدموية.

وهكذا تمكن هذه التقنية من تحسين معدلات إعادة تكوين العظم وتشكل ثوراة وبدلاً لباقي تقنيات ترميم العظام.

يتمثل عملنا في دراسة استعادية لسلسلة من 06 مرضى (4 اولاد وبناتان) خضعوا لعلاج بتقنية Masquelet في مصلحة جراحة العظام والمفاصل للأطفال بالمستشفى الجامعي الحسن الثاني بفاس خلال الفترة المتراوحة بين 2011 و2013.

في هذه السلسلة فقدان العظام الجزئي كان سببه تعفنياً في 3 حالات بسبب حادث في حالة واحدة بسبب ورم حميد لدى طفل واحد و خلقياً في الحالة المتبقية.

كان متوسط العمر 8.5 سنوات (مع مجموعة من 14 شهراً إلى 15 سنوات) في المرحلة الأولى لإعادة الإعمار.

أما متوسط الوقت لاتحاد العظم فكان 6 أشهر.

وقد عرفت هذه العملية نجاحاً مع نتائج مرضية لدى 4 مرضى. 3 من بينهم خضعوا لعملية استئصال بسبب عدم تساوي طول الاطراف الناجم.

أما في ما يخص الحالتين المتبقيتين فقد باءتا بالفشل وذلك بسبب انعدام الانجبار في واحدة من الحالتين وارتشاف العظم

الإسفنجي في الأخرى.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Obert L, Deschaseaux F, Pauchot J, Garbuio P, Tropet Y. Reconstruction des pertes de substance osseuses diaphysaires : les acteurs de la consolidation. Communication, Société d'orthopédie et traumatologie de l'Ouest, réunion annuelle 2006. Rev Chir Orthop 2007;93:2S59-12S.
- [2] Masquelet AC. Traitement des pertes de substance osseuse diaphysaires post-traumatiques. Rev Chir Orthop Reparatrice ApparMot 2007;93(7):28.
- [3] Lasanianos NG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Current management of long one large segmental defects. Orthop Trauma 2010;24(2):149-63.
- [4] Masquelet AC. Le concept de membrane induite pour la reconstruction des pertes de substance des os longs. e-mem Acad Natl Chir 2008;7(3):34-8.
- [5] Masquelet AC, Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. Orthop Clin North Am 2010;41(1):27-37.
- [6] Masquelet AC, Ben maitigue M, Bégué T. Reconstruction diaphysaire par membrane induite, greffe spongieuse et BMP. Rev Chir Orthop Reparatrice Appa Mot 2006;92(5):518-9.
- [7] Masquelet AC, Fitoussi F, Bégué T, et al. Reconstruction des os longs par membrane induite et autogreffe spongieuse. Ann Chir Plast Esthet 2000;45:346-53.
- [8] Technique de la membrane induite.AC Masquelet et L Obert
- [9] Merton RK. Élément de theorie et de méthode sociologue. Trad H Mendras ,paris,Armond Collin,1997
- [10] Pellisier P et al. Intoduced membranes secrete growth factors including vascular and osteoinductive factors and could stimulate bone regeneration. J orthop 2004.22 (1)

- [11] Klaue K. et al. Bone regeneration in long bone defects : tissue compartmentalisation ? in vivo study on bone defects in sheep. *Injury*,2009. 40 Suppl 4
- [12] Masquelet AC, Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. *Orthop Clin North Am* 2010;41(1):27-37.
- [13] Masquelet AC , Fitoussi F, BÉGUÉT , Muller GP : Reconstruction of the long bones by the induced membrane and spongy autograft, *Ann Chir Plast Esthet*.2000 Jun ; 45 (3) : 346-53.
- [14] Biau DJ, Pannier S, Masquelet AC, Glorion C.(case report : reconstruction of a 16 cm diaphyseal defect after ewing's resection in a child.clin. orthop.Relat.res.2009;467(2):572-577.
- [15] Chotel F, Nguiabanda L, Brailon P, Kholer R, Berard J, Abelin-genevois K. induced membrane technique for reconstruction after bone tumor resection in children: a preliminary study. *orthop traumatol surg res*.2012;98(3):301-308
- [16] Pannier S, Bourgeois A, Topouchian V, Pouliquen, finidori G, Glorion C. membrane induite et greffe spongieuse dans le traitement de la pseudoarthrose congenitale de jambe chez l'enfant : resultats preliminaires à propos de 3 cas. *Rev chir ortho*.2007.93 :107.
- [17] Gourdon R, Derousson F, juvet M , Ursuc, Plancq MC, Collet LM. early resection of congenital pseudoarthrosis of clavicle with use of the masquelet technique technique : a case report. *J Bone Joint Surg Am case connector*.2012:in press
- [18] *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, Volume 97, Issue 7, November 2011, Pages 750-761

- [19] Romanus B, Bollini G, Dungl P, et al. Free vascular fibular transfer in congenital pseudoarthrosis of the tibia: result of the EPOS multicenter study. *European paediatric orthopaedic society (EPOS). J pediatric orthop* 2000,9(2)
- [20] Sakamoto A, Yoshida T, Uchida Y, Kojima T, Kubota H, Amoto Y, long-term follow up on the use of vascularized fibular graft for the treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia
- [21] Dobbs MB, Rich MM, Gordon JE, Szymanski DA, Schoenecker PL. Use of an intramedullary rod for treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia; surgical technique. *J bone joint surg Am.* 2005;87 suppl 1(pt 1):33-40
- [22] Bitan F, Rigault P, Padovani JP, Finidori G, Touzet P. Congenital pseudoarthrosis of the tibia and fibula in children. result of the treatment of 18 cases with nails and bone grafts. *Rev chir orthop.* 1987
- [23] Grill F, Bollini G, Dungl P, et al. Treatment approaches for congenital pseudoarthrosis of tibia: result of the EPOS multicenter study. *European pediatric orthopaedic society*
- [24] Paley D, Catagni M, Argani F, Prevot J, Bell D, Armstrong P, treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia using the Ilizarov technique. *Clin orthop. Relat. Res* 1992
- [25] Weilland AJ, Weiss AP, Moore JR, Tolo VT. Vascularized fibular graft in the treatment of congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J bone joint surg Am.* 1990
- [26] Chot T, Choi IH, Lee SM, et al. Refracture after Ilizarov osteosynthesis in atrophic type congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J bone joint surg Am.* 2008
- [27] AC Masquelet et L Obert, *Technique de la membrane induite*. P: 51
- [28] Masquelet A, Fitoussi, Begue T, Muller G. reconstruction des os longs par la membrane induite et autogreffe spongieuse. *Ann chi plast esthet* 200 ;45 :346-353

- [29] Biau DJ, Pannier S, Masquelet AC, Glorion C.(case report : reconstruction of a 16 cm diaphyseal defect after ewing's resection in a child.clin. orthop.Relat.res.2009;467(2):572–577.
- [30] Villemagne T,Bonnard C, accadbled F,lkaissi M, de billy B, sales de gauzy J, .intercalary segmental reconstruction of long bones after malignant bone tumor resection using primary methyl methacrylate cement spacer interposition and secondary bone grafting :the induced membrane technique.j pediatric orthop.2011
- [31] Chotel F,Nguiabanda L, Braillon P,Kholer R, Berard J, Abelin-genevois K.induced membrane technique for reconstruction after bone tumor resection in children: a preliminary study.orthop traumatol surg res.2012;98(3):301–308
- [32] Karger C,kishi T,schneider L,fittoussi F,masquelet AC.treatment of posttraumatic bone defect by the induced membrane technique.orthop traumatol surg res.2012;98(1).97–102
- [33] Papineau LJ. L'excision-greffe avec fermeture retardée délibérée dans l'ostéomyélite chronique. Presse Med 1973;2:2753–5.
- [34] Lortat-jacob A, Koechlin P, Benoit J, Lecestre P. Échecs et limites de l'opération de Papineau. À propos de 54 cas. Rev Chir Orthop 1977;63:667–86.
- [35] Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, Muller GP, Reconstruction des os longs par membrane induite et autogreffe spongieuse. Ann Chir Plast Esthet 2000; 45: 346–53.
- [36] Pelissier Ph, Masquelet AC, Bareille R, Mathoulin-Pelissier S, Amedee J: introduced membranes secrete growth factors including vascular and osteoinductive factors and could stimulate bone regeneration. J Orthop Res 2004; 22: 73–79

- [37] Higinbotham NL, Coley BL. The treatment of bone tumors by resection and replacement with massive grafts, instrumental course lectures, American Academy of Orthopedics surgeons ; 7 : 26-33
- [38] Younger, Chapman. Morbidity at bone graft donor sites. J Ortho Traum 1989 ; 3(3) : 192-5
- [39] Enneking WF, Burchardt H. Puhl JJ. Physical and biological aspects of repair in dog cortical bone transplants. J Bone Joint Surg 1975 ; 57A :232-241
- [40] Mankin HJ, Gebhardt MC, Jennings LC, Springfield DS, Tomford WW. Long-term results of allograft replacement in management of bone tumors. Clin orthop 1996 ; 324 :86-97
- [41] Lord CF, Gebhardt MC, Tomford WW, Mankin HJ. Infection in bone allografts. Incidence, nature and treatment. J Bone Joint Surg AM. 1998 ; 70 :369-76
- [42] Sim FH, Frassica FJ. Use of allografts following resection of tumors of the musculoskeletal system. Instr Course Lect 1993 ; 42 :405-13
- [43] Cara JA, Lacleriga A, Canadell J. intercalary bone allografts. 23 tumors cases followed for 3 years. Acta Orthop Scand 1994 ; 65 :42-6
- [44] Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, Muller GP. Reconstruction des os longs par membrane induite et autogreffe spongieuse. Ann Chir Plast Esthet 2000 ; 45 :346-53
- [45] Taylor GI, Miller GDH, Ham FJ. The free vascularized bone graft. A clinical extension of microvascular techniques. Plast Reconstr Surg 1975 ; 55 : 533-538
- [46] Gao YH, Ketch LL, Eladomikdachi F, Netscher DT. Upper limb with microvascular bone transfer for major long-bone segmental tumor resections. Ann Plast Surg 2001 ;47 :191-200

- [47] Ihara K, Doi K, Yamamoto M, Kawai S. Free vascularized fibular grafts for large bone defects in the extremities after tumor excision. *J Reconstr Microsurg* 1998 ; 14 : 371-75
- [48] Stevenson S, Emery SE, Goldberg VM, Factors affecting bone graft incorporation. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1996; (324): 66-74.
- [49] Karger C, Kishi T, Schneider L, Fitoussi F, Masquelet AC. Treatment of posttraumatic bone defects by the introduced membrane technique. *Orthop Taumatol Surg Res.* 2012; 98 (1): 97-102.