

Le matériel d'ostéosynthèse doit-il être retiré chez l'enfant ?

JULIA ROYER, YAN LEFÈVRE

I. Définition du sujet

Face à ce vaste sujet, il s'agit tout d'abord de le définir plus précisément.

« **Le matériel d'ostéosynthèse** » : Nous avons décidé de nous concentrer sur le matériel d'ostéosynthèse d'orthopédie et de traumatologie périphérique, soit en excluant le rachis.

« **doit-il être retiré** » : Deux conceptions s'opposent : l'ablation systématique et l'ablation optionnelle.

« **chez l'enfant** » : L'enfant ou plutôt les enfants. Il faut en effet intégrer l'âge et juger à la fois de l'effet de la croissance sur le matériel et du matériel sur la croissance, ainsi que déterminer l'influence d'un terrain sous-jacent.

II. Problématique, discussion, littérature

Le matériel d'ostéosynthèse est utilisé dans de nombreuses indications chez l'enfant tant en orthopédie qu'en traumatologie. Une fois la consolidation acquise, il n'a plus de rôle (1) et représente un corps étranger, potentiellement source de complications. De même, la nouvelle chirurgie destinée à le retirer peut elle-même être source de complications. Se discute donc l'intérêt de son ablation avec mise en balance des bénéfices versus des risques encourus, que ce soit pour son ablation ou pour le choix de le laisser en place définitivement. Face à ce dilemme, les chirurgiens font face à un manque d'evidence-based medicine et de recommandations de bonnes pratiques. Les décisions quant au devenir du matériel d'ostéosynthèse chez l'enfant reposent surtout sur des avis d'experts, des habitudes de service et l'expérience personnelle de chaque praticien.

En pratique, l'ablation de matériel d'ostéosynthèse chez l'enfant est réalisée en routine dans des proportions variables allant jusqu'à 60% des cas selon la littérature (2), motivée le plus souvent par la volonté d'éviter la survenue de complications.

Ablation systématique ?

Lorsqu'un enfant présente des symptômes liés à la présence de matériel d'ostéosynthèse, son ablation paraît évidente et justifiée (1,3,4). En revanche, selon Hanson et al., 58% des chirurgiens n'approuvent pas un retrait systématique du matériel chez les enfants asymptomatiques et pensent que cette chirurgie est plus risquée que de le laisser en place (5). En ce sens,

Raney et al. relate un taux global de 10% complications secondaires aux ablations de matériel (ce taux variant plutôt entre 7 et 40% selon les études(1)) avec une proportion importante de complications majeures (6).

Parmi les principaux risques nous retrouvons :

- Les risques propres à l'anesthésie
- Les risques en rapport avec la morbidité chirurgicale :
 - Extension de l'abord chirurgical
 - Pertes sanguines
 - Hématome
 - Lésions vasculaire, nerveuse et tendineuse.

A cela s'ajoute la possible irradiation per-opératoire si la fluoroscopie est utilisée.

Noter que plusieurs auteurs ont décrit qu'une chirurgie initiale compliquée multipliait par 2,48 le risque de complication à l'ablation du matériel (1,7).

Les conséquences matérielles rentrent également en compte avec les coûts qu'impliquent une nouvelle hospitalisation et les soins post-opératoires, ainsi que les contraintes organisationnelles pour l'opérateur en rapport avec la programmation d'un volume important d'interventions au bloc opératoire, parfois au détriment de chirurgies réglées (3).

Enfin, plus spécifique à la chirurgie pédiatrique, la décision d'une nouvelle chirurgie générera de nouveau de l'inquiétude parentale, des retentissements scolaires et socio-familiaux de par l'absentéisme et la disponibilité parentale nécessaire.

Le métal, un toxique ?

Le métal utilisé pour le matériel d'ostéosynthèse représente un corps étranger inerte dans le corps humain, qui interagit avec lui. En effet, ce métal réagit vis-à-vis du milieu salin de l'organisme humain en libérant des particules (3). Les matériaux utilisés sont censés résister à la corrosion, cependant ces phénomènes sont retrouvés dans plus de 75% cas. Ces particules peuvent s'accumuler localement, ainsi que dans d'autres tissus à distance, avec certains sels toxiques, à relativiser quant aux faibles doses et concentrations relarguées.

En ce sens, l'organisme humain peut réagir vis-à-vis du métal de différentes façons :

- L'inflammation : Comme face à tout corps étranger, une réaction inflammatoire se produit au contact du matériel d'ostéosynthèse et un tissu de granulation, qui peut être responsable d'un gonflement et de douleur avec plus ou moins de latence, se forme. Cette réaction serait moindre avec le titane.

- L'allergie : Une étude histologique réalisée sur les tissus attachés aux implants après leur retrait imputait un tiers des symptômes à type de gêne à une réaction allergique (8).
- La carcinogenèse : Si l'effet carcinogène a été retrouvé dans de nombreux cas chez les animaux, il est plus discuté chez l'homme et particulièrement chez l'enfant ; seulement 2 cas ont été rapportés dans la littérature. Les cancers survenaient dans un délai moyen de 10 ans, au contact du matériel ou à distance (3). A ce jour, il s'agit surtout d'un risque théorique dont la causalité n'a pas été prouvée, et l'on peut se demander qui du matériel en lui-même, des remaniements locaux fracturaires ou chirurgicaux en serait responsable.

Toutefois même si aucune étude ne prouve la toxicité locale de ces implants (9), certains industriels relayés par l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament, imposent maintenant l'explantation systématique de leur matériel après un certain délai, comme cela est le cas pour les clous d'allongement électromagnétique Precise Nu Vasive®.

Croissance

L'enfant n'étant pas un adulte en miniature, la présence de matériel dans un squelette immature interpelle. Si tous les auteurs s'accordent à dire que vis-à-vis de la croissance, il ne faut pas laisser de matériel d'ostéosynthèse chez l'enfant et ce d'autant plus qu'il est jeune, la nature des perturbations présumées qu'il engendrerait n'étant pas clairement décrite dans la littérature.

Ainsi, plusieurs hypothèses peuvent être évoquées :

- Risque d'épiphysiodèse pour du matériel traversant la physe, majoré par un traumatisme de type fracture-décollement épiphysaires.
- Risque d'allongement vicariant dû au « déperiochage » pour les plaques.
- Caractère gênant du matériel éloigné progressivement des physes (Figure 1).
- Migration du matériel, essentiellement lorsqu'il s'agit de broches.



*Radiographie du bassin de face
- Exemple de migration d'une
plaque d'ostéosynthèse du
phémur proximal*

Cependant, il est aussi licite de se demander si une un nouveau geste chirurgical, surtout lorsque l'extraction n'est pas aisée, n'est pas plus délétère (1).

On retiendra donc que la présence du matériel et son ablation, se discutera au cas par cas quant aux conséquences possibles sur la croissance.

Terrain

Dans les pathologies où l'os est pathologique telles que l'ostéogénèse imparfaite ou la dysplasie fibreuse, la mise en place de matériel d'ostéosynthèse est le plus souvent définitive en raison du risque de déformation ou de fracture pathologique s'il est retiré (9).

Chez les patients présentant une pathologie neuromusculaire, l'os étant de moins bonne qualité et le patient plus fragile, il est souvent préconisé de retirer le matériel dans l'année car le risque de complications infectieuses et mécaniques est plus élevé (10). Mais, à l'inverse, il est décrit qu'un patient atteint d'une pathologie neuromusculaire a 1,5 fois plus de risque d'avoir une complication à l'ablation du matériel, et ce risque est multiplié par deux s'il est non marchant (7). Truong et al. a comparé les complications secondaires à l'ablation du matériel, selon l'indication (systématique versus si symptômes), rapportant un taux de refractures et d'infections significativement plus important dans le groupe « si symptômes », même si 80% des enfants de ce groupe avaient pu être épargnés d'une ablation chirurgicale (11).

Ainsi, si l'ablation du matériel chez le patient présentant une pathologie neuromusculaire apparaît plus indiquée en s'appuyant sur des conclusions chirurgicales, celles-ci se heurtent, là encore, aux risques propres à l'anesthésie, non négligeables.

Localisation

Plusieurs auteurs s'accordent pour retenir certaines localisations d'implantation de matériel comme plus à risque de complications, comme sur les os longs du membre inférieur et les métaphyses (3,7) alors que pour d'autres, le taux de complication est indépendant de la région anatomique (12,13).

Chu et al. a évalué l'impact fonctionnel de l'ablation du matériel chez l'enfant (14). Pour le membre supérieur, il est retrouvé une amélioration significative sur le plan fonctionnel global et dans les activités sportives ainsi que sur les douleurs, alors qu'aucune différence n'est notée pour le membre inférieur.

Il serait donc plus indiqué de retirer le matériel au niveau du membre supérieur.

Douleur et gêne

C'est une des principales plaintes.

Certains implants et certaines localisations sont plus susceptibles d'induire une gêne voire des douleurs, tels que les broches d'ECMES ou de Kirshner si elles ne sont pas recoupées au ras de l'os, les plaques d'ulna ou les cerclages d'olécrâne ou de rotule, sous-cutanées, irritant les tissus et menaçant la peau. De ce fait, leur ablation paraît justifiée. Mais ces symptômes peuvent être rencontrés dans d'autres situations où les douleurs peuvent être moins bien expliquées, et

où les résultats sont plus hétérogènes, allant d'une sédation complète après ablation du matériel (2) à une absence d'amélioration dans 5 à 50 % des cas, malgré une intervention chirurgicale sans complication (7,15). Il faut donc bien réfléchir à proposer une seconde intervention chirurgicale pour un bénéfice parfois incertain. De plus, Vopat et al. rapporte que la majorité des patients ayant gardé leur matériel ont retrouvé leurs capacités fonctionnelles et leur niveau d'activité antérieurs et sont satisfaits du résultat (16). Il est donc difficile de conclure sur l'impact fonctionnel du matériel, au moins à long terme.

Infection

Le matériel d'ostéosynthèse représente un corps étranger où peuvent se développer des foyers d'infection profonde, par inoculation directe ou par voie hématogène, de façon précoce ou à distance, quelle que soit la technique chirurgicale, malgré l'antibioprophylaxie recommandée par la Société Française d'Anesthésie Réanimation et l'ensemble des précautions per et péri opératoires.

En cas d'une telle infection, en plus d'une antibiothérapie indispensable, l'ablation du matériel est recommandée pour la traiter de façon efficace. En effet, d'après la littérature, la guérison d'une infection sur matériel survient dans 100 % des cas où le matériel a été retiré contre 25% de récurrence dans les cas où il a été laissé en place (17,18).

Il semble donc plus difficile de guérir une ostéite sur matériel s'il est laissé en place.

Migration du matériel

Les auteurs recommandent l'ablation systématique des implants susceptibles de migrer afin d'éviter une intervention plus complexe ou plus dangereuse (3). Parmi les situations reconnues comme très à risque de migration, on peut citer l'ostéosynthèse de la clavicule lorsque est réalisée avec des broches. Il est donc licite de bien peser l'indication et si la chirurgie est réalisée, d'anticiper l'ablation précoce du matériel (19). D'autres situations heureusement exceptionnelles, listées dans le Tableau 1 montrent toutefois qu'aucune situation n'est anodine (20).

From	To
Finger	Mediastinum
Distal radius	Pericardial cavity
Humerus	Right ventricle
Shoulder	Jugular foramen
Clavicule	Ascending aorta
Hip	Abdominal aorta
Spine	Pulmonary artery
Mandible	Lung
	Abdomen
	Spleen
	Ureter
	Trachea
	Spinal cord
	Orbit

Tableau 1: cas de migrations de broches, rapportés dans la littérature. D'après Seipel RC, Schmeling GJ et Daley R, dans «Migration of a K-wire from the distal radius to the heart. Am J Orthop. 2001;30:147-151.

Fracture

Une fracture peut compliquer une ostéosynthèse à travers diverses circonstances.

- Si le matériel est retiré avant que la consolidation soit acquise ou que le remodelage osseux soit suffisant. Schaaf et al. a montré dans son étude sur les ostéotomies dans le cadre d'ostéochondrite, que la probabilité de fracturer suite à l'ablation du matériel diminue s'il est laissé en place suffisamment longtemps : chaque mois attendu diminue par trois le risque de fracture. La durée prédictive pour que 95% des enfants n'aient pas de fracture est de 5,6 mois (21).

Dans une étude des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'enfant, Makki et al rapportait un taux de refracture de 14% après ablation d'un ECMES (ce que corroborent d'autres études (23)), et de 10% après ablation d'une plaque. La refracture survenait toujours à l'endroit de la fracture initiale. Le risque de refracture était significativement plus élevé si l'ablation des plaques était réalisée avant 12 mois et l'ablation de l'ECMES était réalisée avant 6 mois. Par ailleurs, étaient également rapportées, une augmentation significative du risque de refracture au-delà de 12 ans pour les plaques et de 9 ans pour les ECMES.

Il convient donc de respecter un délai de consolidation minimal en fonction de la localisation de la fracture. Dans notre pratique courante, nous retenons particulièrement l'exemple de l'ECMES des 2 os de l'avant-bras retiré nécessairement après 6 mois et vérification radiologique de la parfaite consolidation.

- Si le matériel est retiré après obtention de la consolidation, l'os peut être fragilisé de façon temporaire par l'ablation du matériel, notamment au niveau du trajet des anciennes vis.

De plus, chez l'enfant, il existe un phénomène de remodelage tel que le cal osseux peut recouvrir tout ou partie du matériel (Figure 2), nécessitant de réaliser des ostéotomies sur le matériel (occasionnant un allongement des durées opératoires et une majoration des saignements) pouvant aboutir, dans des cas extrêmes, à la fracture iatrogène, peropératoire ou dans les suites par affaiblissant des corticales (24)

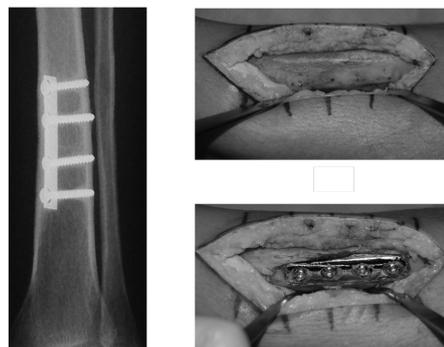


Figure 2 : Exemple de recouvrement de l'ensemble du matériel d'ostéosynthèse par le tissu de réparation osseuse. D'après Davis JR et al. dans Removal of deep extremity implants in children. J Bone Joint Surg Br. juill 2010;92(7):1006-12.

- Si le matériel est laissé en place, deux risques peuvent se présenter.

Tout d'abord, la présence de matériel d'ostéosynthèse est à l'origine d'une modification des contraintes appliquées à l'os selon la loi de Wolff et engendre une diminution de la densité osseuse et un phénomène de résorption endostéale (25) à la jonction os sain / matériel, et ce d'autant plus que ce dernier est rigide. Cette ostéopénie relative constitue une zone de faiblesse où peuvent survenir des fractures. Certaines localisations, les zones portantes, sont plus favorables à ce « stress shielding » comme le souligne Jain et al qui décrit un risque 15,2 fois plus élevé de fracture sur matériel au niveau du fémur (26). C'est une raison classiquement invoquée par certains auteurs pour recommander l'ablation systématique du matériel au niveau de ces zones portantes (3).

Clement et al., à travers une des seules études prospectives sur ce sujet, a retrouvé chez les enfants porteurs d'une plaque d'avant-bras, un taux de fracture sur matériel de 7,3%, toutes survenues dans les 3 ans (2). Cependant, ces résultats ne sont pas supérieurs au taux de refractures rapporté après ablation du matériel.

Rousset et al. retrouvait lui un taux de refractures de 10,5% chez les enfants porteurs d'un ECMES de l'avant-bras avec un risque significativement plus important en dessous de l'âge de 7 ans (23).

A cela s'ajoute le fait que la survenue d'une fracture, sur du matériel en place, rend le plus souvent la prise en charge chirurgicale (ablation et solutions d'ostéosynthèse) complexe.

Concernant le risque de fracture, tout est donc question de timing et de localisation...

Expérience du chirurgien

L'ablation du matériel d'ostéosynthèse est généralement considérée comme une intervention mineure, et cette tâche est souvent déléguée, or « No one ever looked good on a hardware removal » (27). L'étude menée par Sanderson et al., concluait que le taux de complications n'était pas significativement différent selon le statut de l'opérateur (28). Celui-ci avoisinait 20% quel que soit son niveau d'expérience. Cependant les complications les plus graves (lésions nerveuses), étaient toutes survenues chez les patients pris en charge par un junior non supervisé.

A l'inverse, dans l'étude de Kim et al., toutes les ablations de matériel étaient réalisées par un junior mais seulement moins d'un tiers n'étaient pas directement supervisées par un sénior (29). Le taux de complications était inférieur à 10% et aucune complication nerveuse n'avait été retrouvée.

Il apparait donc qu'une telle chirurgie ne doit pas être minimisée et l'encadrement par un chirurgien d'expérience semble indispensable pour préserver le patient de complications évitables.

Pour un futur geste

L'enfant étant un être en devenir, il faut également penser à l'évolution naturelle des différentes pathologies pédiatriques, pouvant amener à des chirurgies secondaires à l'âge adulte. La persistance du matériel peut alors compliquer ces chirurgies ultérieures et les rendre plus morbides. C'est pourquoi de nombreux auteurs recommandent, notamment pour les dysplasies de hanche quelle que soit leur origine, de retirer le matériel dès que possible afin de faciliter un éventuel geste d'arthroplastie (3,21,30), (Figure 3). Loder et Feinberg soulignent que la différence de points de vue et la méconnaissance mutuelle entre les chirurgiens pédiatriques et chirurgiens adultes explique l'absence de recommandations claires et communes (31).



Figure 3 : Exemple de pathologie au fémur proximale prise en charge initialement avec une ostéo-tomie (A), puis migration du matériel d'ostéosynthèse (A) et recours final à une arthroplastie de hanche (B). D'après Peterson HA. *Metallic Implant Removal in Children. J Pediatr Orthop. 2005;25(1):9.*

Cas particulier des vis d'épiphyse

L'ablation des vis mises en place pour une épiphysiolyse fémorale supérieure est connue de tous comme compliquée. Dans la revue de littérature de Raney et al. – 2008 (6) le taux de complication est de 34% dans cette indication soit trois fois le taux global. Alors que la chirurgie initiale est percutanée, la chirurgie d'ablation impose très souvent un abord plus invasif et des durées opératoires accrues, dus à la difficulté d'ablation d'un matériel au sein d'un site profond et chez des enfants souvent en surpoids (32,33). Beaucoup de bris de matériel sont décrits, astreignant le chirurgien de réaliser des corticotomies élargies pour tenter de le retirer, parfois en vain, et fragilisant un os pourtant sain (34). Il faut noter que cette chirurgie s'effectue à physes fermées imposant un délai classique de plusieurs années, cette longue durée d'implantation étant significativement associée à un risque accru de complications (33).

Quid de l'échec ?

L'échec d'ablation du matériel représente la principale complication de la chirurgie d'ablation de matériel d'ostéosynthèse avec un taux de 7% dans la littérature. Certaines localisations sont réputées être plus à risque, comme la hanche. Il est donc licite

de se demander quelle sont les conséquences d'une ablation incomplète. Selon Schmalzried et al. cela a peu d'incidence si la portion restante est intra-osseuse (35) (Figure 4).



Figure 4 : Radiographies du bassin en exemple d'une ostéochondrite primitive de hanche ayant bénéficié d'une triple ostéotomie du bassin ostéosynthésée par vis (A). Rupture des vis sous la tête lors de la tentative d'ablation trois ans plus tard (B).

Sport et activités professionnelles

La pratique sportive est contre-indiquée après une chirurgie, mais lorsque la consolidation est acquise et que le geste chirurgical est suffisamment à distance, la question d'un retour aux activités se pose dès les premières minutes de consultation. Ce sont surtout les sports de contact qui préoccupent quant au risque de fracture, et bon nombre de chirurgiens pédiatriques s'entendent sur un retrait préventif du matériel avant la reprise du sport, imposant à nouveau un délai post-opératoire de précaution et reculant encore l'échéance du retour sur le terrain. Cependant, l'étude d'Evans a montré que, chez des rugbymans professionnels âgés de 18 à 32 ans, la reprise avec le matériel en place a été possible pour la plupart, dans les 6 mois, avec une parfaite récupération des aptitudes et seulement 1% de complications (36). Cela permettrait de lever certaines réticences, notamment chez les adolescents.

Enfin, on rencontre à l'occasion, de jeunes patients ayant pour ambition de réaliser une carrière militaire, réclamant une ablation de matériel qui leur serait obligatoire pour leur recrutement (cette information n'ayant pu être vérifiée par les auteurs).

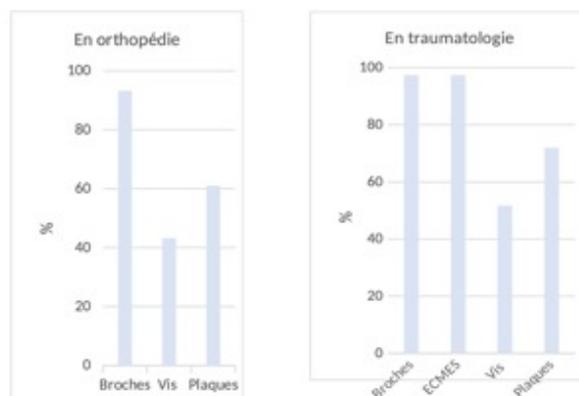
III. Enquête de pratique 2021

Dans ce contexte, nous avons réalisé en 2021 une enquête de pratique sur les habitudes des chirurgiens orthopédiques pédiatriques français vis-à-vis du matériel d'ostéosynthèse en orthopédie et en traumatologie périphérique chez leurs patients. Nous avons transmis un questionnaire comportant 6 questions par mail à l'ensemble des membres de la Société Française d'Orthopédie Pédiatrique (SoFOP). Nous avons collecté au total 118 réponses dont les résultats sont les suivants :

En France, l'ablation de matériel est réalisée en routine par 65% des chirurgiens orthopédiques pédiatriques.

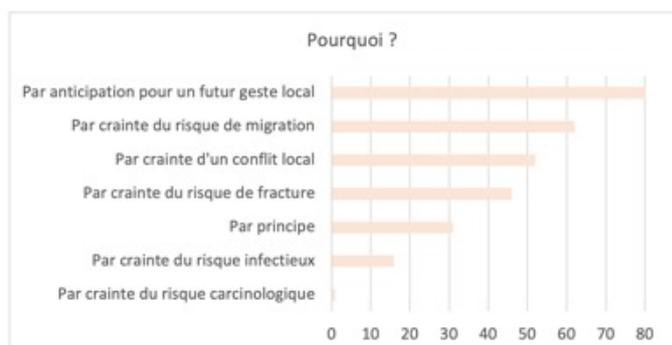
En traumatologie comme en orthopédie, l'ablation des

broches et des ECMES est quasi-systématique (plus de 96% des cas), tandis que les vis sont laissées en place dans près de la moitié des cas, de même que les plaques dans plus d'un tiers des cas. Il faut noter que parmi les chirurgiens pour qui l'ablation du matériel n'est pas systématique, la majorité (94,3%) enlèvent néanmoins les broches et les ECMES dans le cadre de la traumatologie.



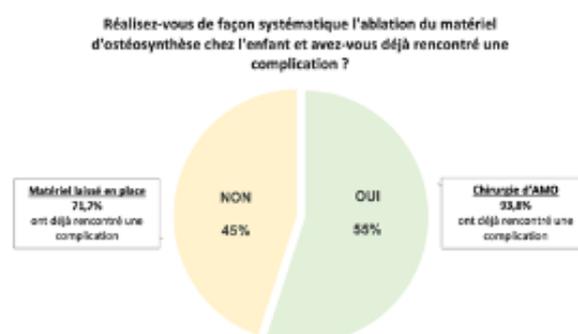
Figures 5 et 6

Les justifications principalement retenues en faveur de l'ablation du matériel sont l'anticipation pour un futur geste local, la crainte du risque de migration, d'un conflit local et le risque de fracture.

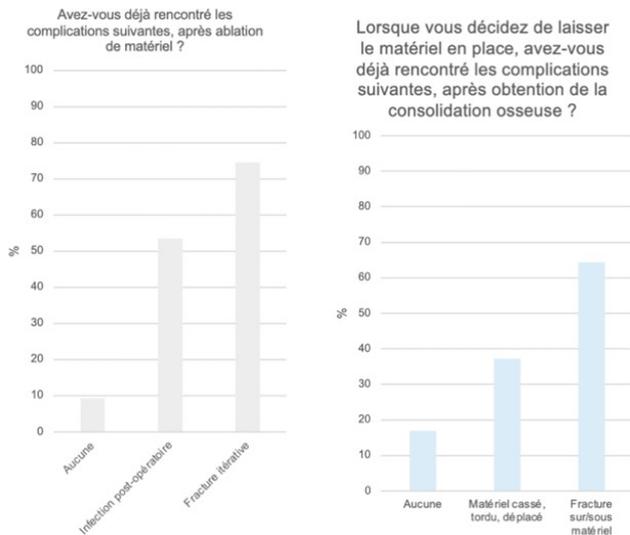


Figures 7

80% des praticiens déclarent avoir déjà rencontré « une ou des » complications lorsque le matériel était laissé en place. A l'opposé, plus de 90% des praticiens ont déjà rencontré « une ou des » complications à l'occasion d'une ablation de matériel.



Figures 8



Figures 9 & Figure 10

IV. Conclusion

En conclusion, il n'existe pas de consensus sur la nécessité ou non de réaliser l'ablation du matériel d'ostéosynthèse, même si le principe de précaution prévaut chez nos confrères de chirurgie orthopédique pédiatrique, puisqu'une large majorité retire le matériel d'ostéosynthèse.

Les études de la littérature ne nous éclairent que peu sur la nécessité de retirer le matériel en général, mais nous invitent à considérer des situations particulières pour lesquelles des travaux scientifiques pourront guider nos pratiques...

En ce sens, plus l'enfant est jeune, plus l'ablation du matériel semble indiquée. De même dans les contextes de fragilité osseuse tels que l'infirmité motrice cérébrale.

Certaines localisations inciteraient plus au retrait du matériel, telles que le bassin et les membres inférieurs. D'autres situations particulières, à risque important de migration du matériel, telles que l'ostéosynthèse par broche au niveau de la clavicule, imposent un retrait du matériel au plus tôt et une surveillance stricte dans l'attente d'une consolidation suffisante.

L'ablation du matériel d'ostéosynthèse est une intervention qui peut se compliquer et ne doit donc pas être négligée.

Selon les indications d'ostéosynthèse, un délai de consolidation suffisant sera respecté en rapport avec la fracture, comme pour les fractures de la diaphyse des deux os de l'avant-bras. A l'inverse, on veillera à ne pas prolonger inutilement le délai avant l'ablation une fois la consolidation acquise, au risque de compliquer celle-ci.

Lorsque le site d'ostéosynthèse se surinfecte, l'ablation du matériel facilite la guérison et doit donc être la règle dans la mesure du possible.

Enfin, quel que soit le choix, entre l'ablation du matériel ou de l'abandonner en place, celui-ci sera fait au moment de sa mise en place, en vue d'anticiper la facilitation de son retrait ou au contraire de minimiser la gêne fonctionnelle induite.

V. Bibliographie

- Schmittenebecher PP. Implant removal in children. Eur J Trauma Emerg Surg. 1 août 2013;39(4):345 52.
- Clement ND, Yousif F, Duckworth AD, Teoh KH, Porter DE. Retention of forearm plates: risks and benefits in a paediatric population. J Bone Joint Surg Br. janv 2012;94(1):134 7.
- Peterson HA. Metallic Implant Removal in Children. J Pediatr Orthop. 2005;25(1):9.
- Simanovsky N, Tair MA, Simanovsky N, Porat S. Removal of Flexible Titanium Nails in Children. J Pediatr Orthop. mars 2006;26(2):188 92.
- Hanson B, van der Werken C, Stengel D. Surgeons' beliefs and perceptions about removal of orthopaedic implants. BMC Musculoskelet Disord. 24 mai 2008;9:73.
- Raney EM, Freccero DM, Dolan LA, Lighter DE, Fillman RR, Chambers HG. Evidence-Based Analysis of Removal of Orthopaedic Implants in the Pediatric Population. J Pediatr Orthop. oct 2008;28(7):701 4.
- Davids JR, Hydorn C, Dillingham C, Hardin JW, Pugh LI. Removal of deep extremity implants in children. J Bone Joint Surg Br. juill 2010;92(7):1006 12.
- French HG, Cook SD, Haddad RJ. Correlation of tissue reaction to corrosion in osteosynthetic devices. J Biomed Mater Res. sept 1984;18(7):817 28.
- Kahle WK. The Case Against Routine Metal Removal: J Pediatr Orthop. mars 1994;14(2):229 37.
- Highland TR, LaMont RL. Deep, late infections associated with internal fixation in children. J Pediatr Orthop. févr 1985;5(1):59 64.
- Truong WH, Novotny SA, Novacheck TF, Shin E-J, Howard A, Narayanan UG. Should Proximal Femoral Implants be Removed Prophylactically or Reactively in Children With Cerebral Palsy? J Pediatr Orthop. sept 2019;39(8):e629 35.
- Brown RM, Wheelwright EF, Chalmers J. Removal of metal implants after fracture surgery--indications and complications. J R Coll Surg Edinb. avr 1993;38(2):96 100.

13. Kellam PJ, Harrast J, Weinberg M, Martin DF, Davidson NP, Saltzman CL. Complications of Hardware Removal. *J Bone Joint Surg Am.* 17 nov 2021;103(22):2089-95.
14. Chu A, Madou MRZ, Sala DA, Chorney GS, Feldman DS. Outcomes analysis after routine removal of implants in healthy pediatric patients. *J Pediatr Orthop Part B.* nov 2009;18(6):381-7.
15. Reith G, Schmitz-Greven V, Hensel KO, Schneider MM, Tinschmann T, Bouillon B, et al. Metal implant removal: benefits and drawbacks--a patient survey. *BMC Surg.* 7 août 2015;15:96.
16. Vopat BG, Kane PM, Fitzgibbons PG, Got CJ, Katarincic JA. Complications associated with retained implants after plate fixation of the pediatric forearm. *J Orthop Trauma.* juin 2014;28(6):360-4.
17. Foster CE, Lamberth LB, Kaplan SL, Hulten KG. Clinical Characteristics and Outcomes of Staphylococcus aureus Implant-associated Infections in Children. *Pediatr Infect Dis J.* août 2019;38(8):808-11.
18. Boulos A, DeFroda SF, Kleiner JE, Thomas N, Gil JA, Cruz AI. Inpatient orthopaedic hardware removal in children: A cross-Sectional study. *J Clin Orthop Trauma.* 2017;8(3):270-5.
19. Tan L, Sun D-H, Yu T, Wang L, Zhu D, Li Y-H. Death Due to Intra-aortic Migration of Kirschner Wire From the Clavicle: A Case Report and Review of the Literature. *Medicine (Baltimore).* mai 2016;95(21):e3741.
20. Seipel R, Schmeling G, Daley R. Migration of a K-wire from the distal radius to the heart. *Am J Orthop Belle Mead NJ.* 1 mars 2001;30:147-51.
21. Schaaf AC, Weiner DS, Steiner RP, Morscher MA, Dicintio MS. Fracture incidence following plate removal in Legg-Calvé-Perthes disease: a 32-year study. *J Child Orthop.* oct 2008;2(5):381-5.
22. Makki D, Kheiran A, Gadiyar R, Ricketts D. Refractures following removal of plates and elastic nails from paediatric forearms. *J Pediatr Orthop Part B.* mai 2014;23(3):221-6.
23. Rousset M, Mansour M, Samba A, Pereira B, Canavese F. Risk factors for re-fracture in children with diaphyseal fracture of the forearm treated with elastic stable intramedullary nailing. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 1 févr 2016;26(2):145-52.
24. Alzahrani AG, Behairy YM, Alhossan MH, Arab FS, Alammari AA. Removal of internal fixation in pediatric patients. *Saudi Med J.* mars 2003;24(3):254-5.
25. Uthhoff H, Finnegan M. The effects of metal plates on post-traumatic remodelling and bone mass. *J Bone Joint Surg Br.* 1983;
26. Jain A, Erkula G, Leet AI, Ain MC, Sponseller PD. Implant-related fractures in children: a 15-year review. *J Pediatr Orthop.* août 2012;32(5):547-52.
27. Stanitski CL. Metal removal in asymptomatic children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* août 2005;25(4):557.
28. Sanderson PL, Ryan W, Turner PG. Complications of metalwork removal. *Injury.* 1 janv 1992;23(1):29-30.
29. Kim WY, Zenios M, Kumar A, Abdulkadir U. The removal of forearm plates in children. *Injury.* déc 2005;36(12):1427-30.
30. Boos N, Krushell R, Ganz R, Müller ME. Total hip arthroplasty after previous proximal femoral osteotomy. *J Bone Joint Surg Br.* mars 1997;79(2):247-53.
31. Loder RT, Feinberg JR. Orthopaedic Implants in Children: Survey Results Regarding Routine Removal by the Pediatric and Nonpediatric Specialists. *J Pediatr Orthop.* juill 2006;26(4):510-9.
32. Ilchmann T, Parsch K. Complications at screw removal in slipped capital femoral epiphysis treated by cannulated titanium screws. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1 août 2006;126(6):359-63.
33. Vresilovic EJ, Spindler KP, Robertson WW, Davidson RS, Drummond DS. Failures of pin removal after in situ pinning of slipped capital femoral epiphyses: a comparison of different pin types. *J Pediatr Orthop.* déc 1990;10(6):764-8.
34. Larsson S, Friberg S. Complications at extraction of the ASIF epiphysiodesis screws. :2.
35. Schmalzried TP, Grogan TJ, Neumeier PA, Dorey FJ. Metal removal in a pediatric population: benign procedure or necessary evil? *J Pediatr Orthop.* févr 1991;11(1):72-6.
36. Evans NA, Evans RO. Playing with metal: fracture implants and contact sport. *Br J Sports Med.* déc 1997;31(4):319-21.

DOI : 10.34814/sofop-2022-003