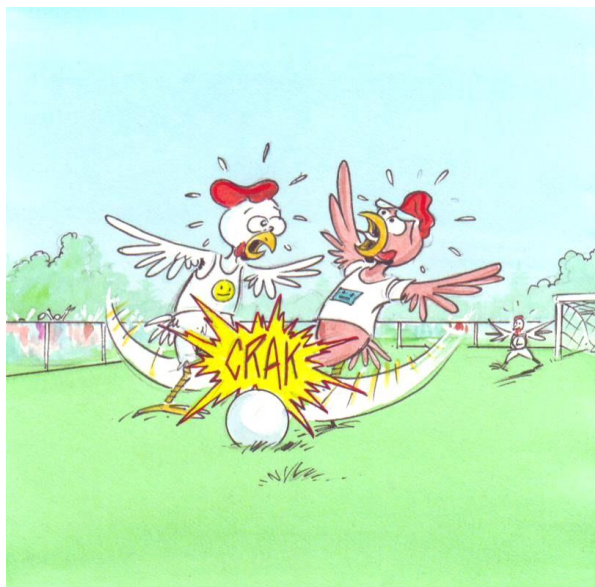


L'accident



Imaginons un accident pendant une phase d'un match de football : les tibias des deux poulets sont cassés !

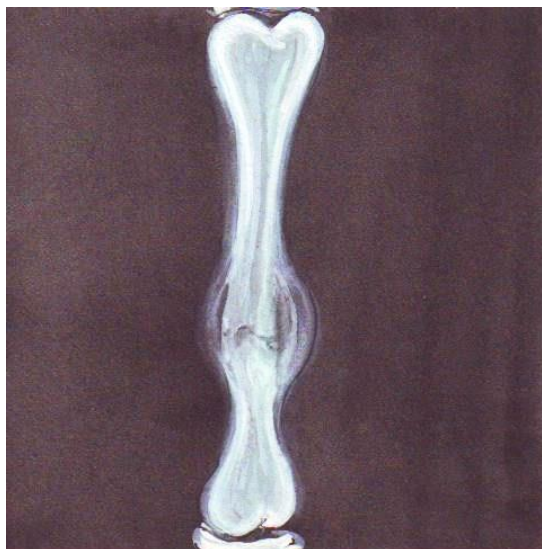
Que va-t-il se passer ?

Heureusement pour eux, il s'agit de fractures simples, sans déplacement osseux. Aucune opération n'est planifiée. Les poulets ont simplement besoin d'un plâtre. Ils sont invités à se reposer et à marcher avec des béquilles pendant 6 semaines.

Formation du cal

Que se passe-t-il à l'endroit de la fracture? La consolidation d'une fracture nécessite un processus complexe de différenciation et de prolifération cellulaire. Elle peut être subdivisée en 3 phases principales:

- La phase inflammatoire est caractérisée par la formation d'un hématome et par des phénomènes physico-chimiques qui vont activer la migration des cellules réparatrices. Ces cellules se différencient en cellules spécialisées destinées à reconstruire le tissu osseux (cellules appelées ostéoblastes) et le cartilage (cellules appelées chondroblastes).
- La phase réparatrice est caractérisée par la formation du cal. Il est composé de chondroblastes et d'ostéoblastes qui se multiplient au niveau de la fracture. Le cal initial est plutôt visqueux et ne permet pas de maintenir solidement les fragments d'os. Après un certain temps, le cal se calcifie et l'os devient de plus en plus rigide.
- La phase de remodelage est caractérisée par la restauration de la taille, de la forme et de la force normales de l'os fracturé. Cette phase peut prendre de quelques mois à quelques années.



Malheureusement pour nos poulets, après 6 semaines, la radiographie montre une image peu encourageante: pseudarthrose hypertrophique ⁽¹⁾. La pseudarthrose est un facteur de mauvais pronostic, car cela signifie que la fracture ne guérit pas : le cal reste dans son état visqueux et ne se calcifie pas.

Pourquoi?

Diverses causes peuvent entraîner une union non hypertrophique, comme par exemple une instabilité sous plâtre. Quelles sont les options? Comment favoriser la guérison et la reconstruction osseuse?

Champs magnétiques et consolidation du cal

Les champs magnétiques peuvent jouer un rôle dans la consolidation du cal! Il existe d'autres solutions (comme par exemple l'autogreffe, l'allogreffe ou la fixation chirurgicale), mais les champs magnétiques peuvent être utiles sous certaines conditions.

Surprenant? Pas nécessairement si on fait un petit retour en arrière dans l'histoire de la traumatologie orthopédique ⁽²⁾:

Déjà au début du 19^e siècle, les chocs électriques avaient été utilisés dans le traitement d'une pseudarthrose du tibia. Les techniques ont été améliorées et, par exemple en 1861, des courants directs étaient appliqués au niveau du site de la fracture au moyen d'aiguilles. Toutefois, ces expériences étaient empiriques, sans justification scientifique.

⁽¹⁾ Cette pseudarthrose est appelée "hypertrophique" car la prolifération cellulaire est très active et la vascularisation de l'os est bonne. Donc, la production d'os augmente, mais le tissu réparateur ne rigidifie pas la fracture. Ce cas de pseudarthrose, le plus souvent due à une instabilité sous plâtre, est un bon candidat pour le traitement par stimulation magnétique.

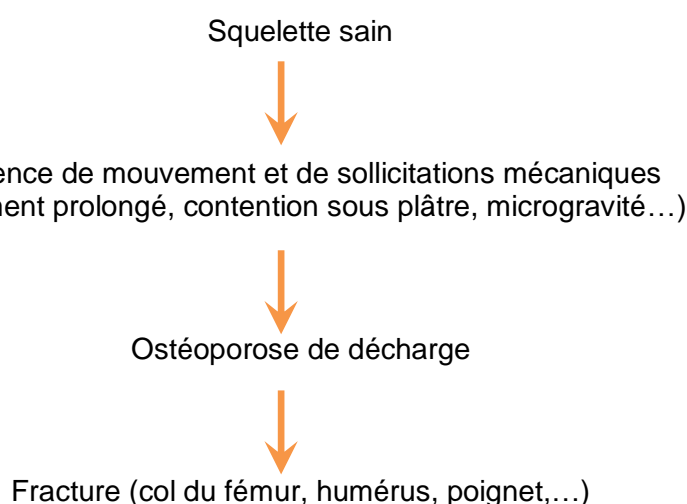
⁽²⁾ Une revue complète de l'histoire de la traumatologie orthopédique est disponible dans l'ouvrage Hinsenkamp M. Stimulation électromagnétique de l'ostéogénèse et de la consolidation des fractures. Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences, Bruxelles, 336 pages, 1994.

Au cours des 18^e et 19^e siècles, les connaissances des phénomènes électriques se sont améliorées. C'était l'âge de la découverte des propriétés de l'électricité et des champs électriques et magnétiques. Les premières utilisations thérapeutiques étaient plus « magiques » que scientifique.

Comment l'idée d'utiliser l'électricité a-t-elle germé ? Comment la recherche est-elle devenue plus scientifique ? L'évolution peut être résumée en 3 grandes phases :

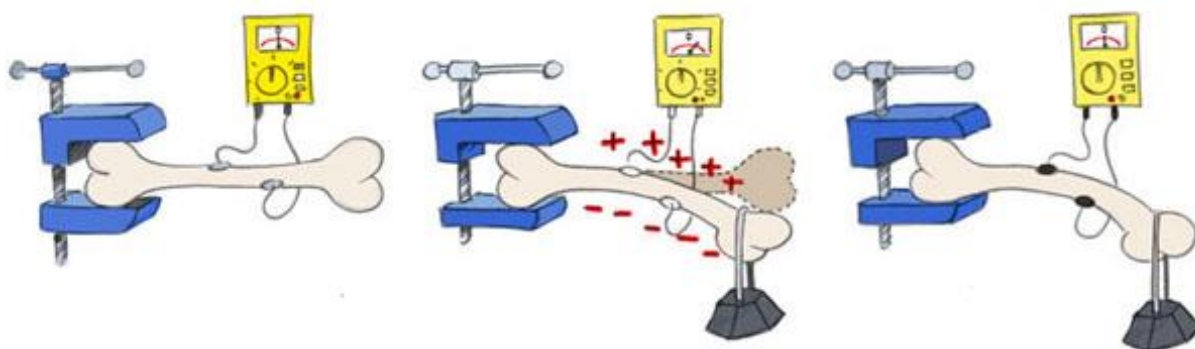
1 Observation

Un os sollicité mécaniquement (par exemple pendant la marche) produit du tissu osseux (ostéogénèse). A l'opposé, sans sollicitation, l'os s'atrophie (par exemple en cas d'alitement prolongé, de contention sous plâtre, de microgravité...) induisant une ostéoporose de décharge.



2 Expérimentations

En parallèle, des expériences sur les os ont montré que la répartition des charges électriques varie sur les deux côtés de l'os en fonction de la déformation mécanique. Au départ, cet effet a été associé à l'**effet piézoélectrique** observé par exemple dans des conditions sèches sur des minéraux comme le quartz (voir la figure ci-dessous).



En 1953, les scientifiques ont observés des variations du potentiel électrique à la surface d'un os déformé mécaniquement. Ces variations apparaissaient lors de la phase de déformation et disparaissaient lorsque la déformation était obtenue.

Toutefois, au niveau des os vivants (conditions humides), c'est essentiellement la migration des ions pendant la déformation mécanique qui produit un potentiel de flux, responsable des variations de potentiel électrique à la surface des os.

3 Applications thérapeutiques

A partir de ces résultats, les chercheurs ont émis l'hypothèse que l'application d'un champ magnétique externe pouvait entraîner des variations du potentiel électrique à la surface des os et ainsi imiter des processus physiologiques, comme l'ostéogénèse.

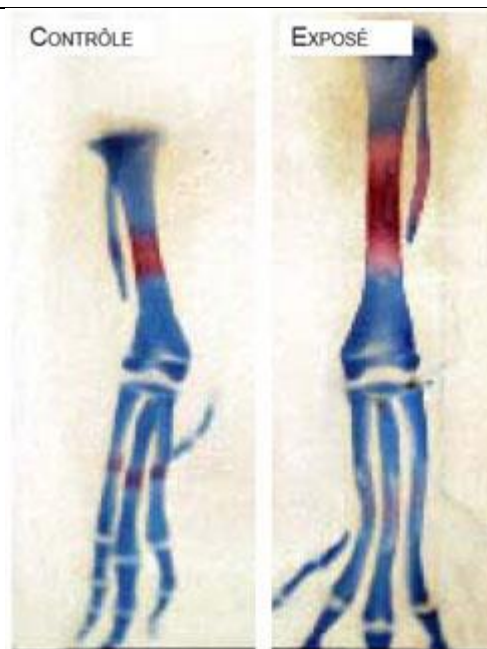
En comparaison à d'autres techniques thérapeutiques "historiques" (comme par exemple les courants électriques appliqués au moyen d'aiguille au site de la fracture), la technique des champs magnétiques externes présente l'avantage d'être non invasive: ils sont simplement appliqués à l'aide de deux bobines (voir l'image ci-dessous).

Ci-dessous les résultats d'expériences menées sur des animaux:

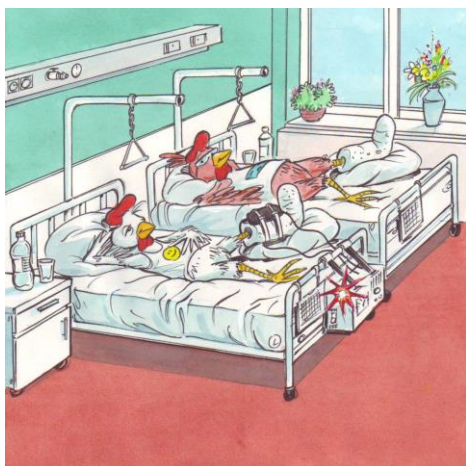
Source: Hinsenkamp M. Stimulation électromagnétique de l'ostéogénèse et de la consolidation des fractures. Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences, Bruxelles, 336 pages, 1993.



Accélération de la maturation du cartilage d'embryon de souris sous exposition *in vitro* aux champs EM (voir les zones bleutées plus larges sous stimulation, montrant une accélération de la maturation du cartilage)

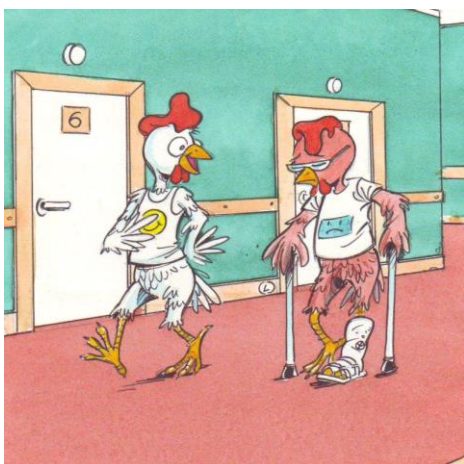


Accélération du développement des centres d'ossification primaire d'os de poulet sous exposition *in vivo* aux champs EM (voir la zone rouge plus grande sous stimulation)



Dans les fractures récentes, l'action des champs magnétiques externes est caractérisée par une accélération de la rigidité du cal dans les premières phases de la réparation et par l'absence de cal périosté. Toutefois, cette action ne modifie pas significativement le temps total de cicatrisation des fractures récentes.

Happy end



Dans l'état actuel des connaissances, même si une petite diminution du temps de cicatrisation est observée, ce n'est pas suffisant pour être appliqué chez l'homme.

Toutefois, une modification du processus de guérison est observée et des recherches complémentaires qui préciseraient les mécanismes d'action des CM au niveau cellulaire permettraient d'améliorer le traitement des fractures.

A quoi nos poulets peuvent-ils s'attendre?

Dans la pseudarthrose hypertrophique, on observe une prolifération des cellules osseuses habituellement due à une mobilisation excessive des fragments osseux et la présence d'un grand cal osseux, mais non unifié. Dans ces conditions, les études ont montré que les champs magnétiques pouvaient améliorer la réparation par accélération de l'ossification des bourgeons cartilagineux à l'origine du cal.

A ce jour, il semble que les stimulations devraient débuter lorsque le cal est déjà bien développé : un cal dans les dernières phases de la réparation bénéficiera de la stimulation magnétique en accélérant l'ossification. Un traitement magnétique débuté trop tôt pourrait entraîner une accélération de la rigidité mécanique du cal, mais au dépend de sa résistance.

En résumé

La consolidation osseuse est influencée par des facteurs mécaniques que les champs magnétiques externes semblent imiter.

Un os stimulé par des champs magnétiques externes spécifiques présente une accélération de la différenciation de ces tissus (ostéogénèse). En d'autres mots, l'effet principal est une accélération de la différenciation cellulaire. Cet effet est uniquement observé sur des tissus sensibles, c'est-à-dire des fractures et des tissus en croissance ou en réparation.

Les traitements par stimulations magnétiques ont des indications dans des cas bien définis de pseudarthrose hypertrophique et de nécrose ischémique.

Références

Hinsenkamp M. Stimulation électromagnétique de l'ostéogénèse et de la consolidation des fractures. Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences, Bruxelles, 336 pages, 1993.

Hinsenkamp M. Effets des champs électromagnétiques sur la différenciation cellulaire et son intérêt en chirurgie orthopédique et traumatologique. Académie Royale de Médecine. In press.

Hinsenkamp M, Collard JF. Bone Morphogenic Protein--mRNA upregulation after exposure to low frequency electric field. *Int Orthop*, 35(10):1577-81(2011)

Hinsenkamp M. Influence des facteurs physiques sur la consolidation osseuse. *Bulletin et mémoires de l'Académie Royale de Médecine de Belgique*, 151 (12): 517-526, 1996.

Hinsenkamp M. 15 Years Experience in electromagnetic stimulation of bone growth and repair. *J. Jpn. Bioelect. Res. Soc.*, 8: 1-10, 1994.

Hinsenkamp M. Clinical studies of the effects of electromagnetic fields on bone tissues. *Cost 244: Biomedical effects of electromagnetic fields*. (Ed.: Simunic D.) EU. DG XII: 114-119, 1994.

Hinsenkamp M., Hauzeur J.P., Sintzoff S. Jr. Preliminary results in electromagnetic field treatment of osteonecrosis. *Bioelectroch. Bioener.*, 30: 229-235, 1993.

Hinsenkamp M., Heenen M., Dierickx M., Lifschitz L. Effects of electrical stimulation on wound healing. Final report contract EC n.