

# FRACTURES DE FATIGUE : PREVENTION, REEDUCATION, PHYSIOTHERAPIE ?

Ch. GROSS, Ph. VAUTRAVERS

Service de Médecine Physique et de Réadaptation  
Hôpitaux Universitaires de Strasbourg

## PHYSIOTHERAPIE : GENERALITES

La physiothérapie, ensemble des moyens thérapeutiques physiques délivrant une énergie, est proposée dans un but antalgique ; elle peut avoir, comme autre objectif, la résorption démateuse ou l'accélération des processus de cicatrisation. En France, sont utilisés l'électrothérapie, les agents thermiques et l'eau [11].

*L'électrothérapie* comprend l'utilisation du courant continu (galvanique) et discontinu. Par assimilation on y associe la vibro-thérapie [14].

**Le courant galvanique**, unidirectionnel, déplace les ions libres au sein d'une solution saline, à laquelle peut être assimilé le corps humain. Ce type de courant est utilisé en thérapeutique (**ionisation, ionophorèse, diélectrolyse**) comme vecteur de substances médicamenteuses ionisables, dans le but de faire pénétrer cette molécule en regard de la zone douloureuse ou pathologique. Les substances antalgiques applicables par di-électrolyse sont nombreuses : anti-inflammatoires non stéroïdiens, salicylés, corticoïdes, nitrate d'aconitine, chlorure de calcium [41]. Les indications les plus classiques sont les douleurs péri-articulaires ou articulaires superficielles. Ces techniques utilisent l'**effet polaire** du courant galvanique.

Le courant continu peut également être utilisé en thérapeutique dans le cadre de la **galvanisation**, traitement sans adjonction de produits à effet pharmaco-dynamique. On utilise dans ce cas l'**effet inter-polaire**. La galvanisation peut être longitudinale, transversale, ou par l'intermédiaire de bains galvaniques. L'effet recherché est antalgique, sédatif. Son usage, bien que d'un intérêt très réel dans certaines pathologies douloureuses (polyneuropathies...), est moins en faveur ces dernières années.

**Le courant discontinu** peut être utilisé à des fréquences différentes.

**Les courants de basse fréquence** ont connu un essor considérable ces dernières années avec l'apparition de données physiopathologiques modernes des contrôles de la douleur, de la théorie du Gate–contrôle et de la connaissance de la libération médullaire d'endorphines et d'enképhalines. Ces courants de fréquence comprise entre 1 et 1 000 Hz, peuvent être délivrés par des générateurs conventionnels ou par des appareils de stimulation transcutanée, de taille réduite, portés par le malade et fonctionnant sous très basse tension (TENS). Les courants délivrés par ces appareils sont bi–phasiques, non polarisés et bien tolérés. L'effet obtenu est différent selon la basse fréquence utilisée. Le TENS en mode très basse fréquence, de 1 à 5 Hz et d'intensité élevée, a un effet analgésique diffus et retardé par libération de peptides opioïdes ; le TENS en mode conventionnel, avec une fréquence de 50 à 100 Hz et des impulsions brèves, a un effet immédiat mais temporaire dès l'arrêt de la stimulation. Le TENS en mode de stimulation intense et brève active les mécanismes de la contre–irritation par le recrutement, au niveau du tronc cérébral, de voies descendantes inhibitrices sérotoninergiques sur l'entrée des messages douloureux au niveau de la moelle. La fréquence est plus élevée (100 à 150 Hz) avec des impulsions de longue durée.

Quel que soit le type d'application, les procédures TENS, qui ont fait l'objet de travaux de validation scientifique, permettent d'obtenir une analgésie certaine, au-delà d'un effet placebo [25,32,41] sans effet secondaire. Agissant initialement et préférentiellement pour les douleurs neuropathiques, ces courants sont actuellement proposés dans tous les types de douleurs, aiguës et chroniques. Ce type d'appareil peut dérégler les stimulateurs cardiaques [12], ceux-ci constituant la seule contre–indication à leur utilisation. Ils sont obtenus sur prescription médicale dans des procédures de location, ou de location–vente et remboursés par la sécurité sociale sous certaines conditions.

**Les courants de moyenne fréquence** ont une fréquence comprise entre 3 000 et 5 000 Hz. En pratique, ce sont les courants interférentiels (courant de Némec) qui sont utilisés pour leur effet antalgique. Les travaux de validation de ces procédés sont peu nombreux.

**Les courants de haute fréquence** ont une fréquence supérieure à 100 000 Hz. Dépourvus d'effets sur l'excitabilité neuro-musculaire, ils possèdent principalement des effets *thermiques et antalgiques*. Ils peuvent être délivrés sous 3 modalités : la diathermie, les ondes courtes et les micro-ondes (radar).

- Les courants de *diathermie* ne sont utilisés aujourd'hui que dans les bistouris électriques.
- Les *ondes courtes* peuvent être délivrées en méthode capacitive ou inductive. Dans la **méthode capacitive**, le champ électrique pénètre par capacité, à partir d'électrodes situées à distance de la peau, et chauffe fortement les tissus traversés, en particulier les structures articulaires et péri-articulaires profondes. La **méthode inductive** consiste à soumettre le patient à un champ magnétique produit par le passage du courant de haute fréquence dans une bobine d'induction. A l'intérieur du corps humain, ce champ magnétique fait apparaître un courant de conduction qui provoque un échauffement des tissus conducteurs, en particulier les muscles.

L'absence d'objets métalliques sous-jacents est impérative. Les études contrôlées de validation sont très peu nombreuses mais l'usage a bien établi l'impact thérapeutique de ce mode de traitement.

- Les micro-ondes (radar) ont connu une grande vogue après leur introduction dans les années 50. Ces ondes électromagnétiques de 11 cm de longueur ont un important effet thermique, relativement superficiel. Le rapport bénéfice/risque de cette thérapeutique est peu favorable.

**La vibrothérapie**, ultra-sons (U.S.) produits par la vibration d'un cristal piézo-électrique soumis à un courant périodique, est très utilisée en thérapeutique pour ses effets antalgiques et de micro-massages. Son efficacité a tenté d'être démontrée dans le traitement des affections douloureuses, articulaires et péri-articulaires, tendino-ligamentaires. Ils sont contre-indiqués en cas de présence d'objets métalliques [14].

#### **Autres techniques d'électrothérapie**

- Le *soft-laser* utilisé en physiothérapie n'a pas véritablement apporté la preuve d'une efficacité clinique significative.
- La *photothérapie* : les infra-rouges ont un effet antalgique très superficiel. Leur indication réelle est extrêmement limitée. Les ultra-violets n'ont pas d'indication ostéoarticulaire.

### ***Thermothérapie***

Le réchauffement localisé entraîne une vasodilatation avec hyper-émie cutanée et tendino-musculaire. Cet effet est très bénéfique, en particulier dans les **contractures musculaires douloureuses**, en préparation d'un traitement physique.

\* Enveloppements chauds agissant par conduction : bouillotte, hot-pack, enveloppements de paraffine, fango, parafango, permettant d'obtenir une température d'une cinquantaine de degrés.

\* **bains chauds** (34 à 37° C) et **air chaud** agissant par convection. La chaleur est employée dans les douleurs **subaiguës et chroniques**, permettant d'obtenir un effet sédatif et une relaxation musculaire.

\* **bains écossais** : il s'agit de l'utilisation alternée, pendant 3 minutes chacune, de la thermothérapie à 37° C et de la cryothérapie à 10° C. Diverses modalités pratiques sont possibles. Le but est de réaliser un contraste thermique. Ce type de technique empirique est un des traitements de base de l'algoneurodystrophie avec diminution rapide des douleurs, de l'oedème et des troubles érythro-cyanotiques.

### ***Cryothérapie***

L'utilisation du froid est une technique analgésique. Appliquée sous forme de massage à la glace, de cold-pack ou de spray de chlorure d'éthyle, très utilisée dans les milieux sportifs, la cryothérapie a une action très courte mais très rapidement efficace comme antalgique. Elle est, par conséquent, utilisée dans les douleurs *aiguës* : outre une action locale, cutanée, de vasoconstriction passagère suivie d'une vasodilatation, le froid a un effet analgésique par action neurologique (diminution de la vitesse de conduction nerveuse...) [27].

Les contre-indications de la thermothérapie et de la cryothérapie sont essentiellement vasculaires et sensibles.

### **CHAMPS MAGNETIQUES : GENERALITES**

Alors que l'efficacité des aimants est restée du domaine empirique, rendant marginale leur utilisation, les champs électromagnétiques de basse fréquence ou pulsés (CMP) ont vu leur utilisation augmenter durant ces dernières années. En donnant naissance à des courants induits dans les conducteurs, ces CMP constituent une manière simple d'apporter une énergie électrique dans les tissus. Le corps humain étant plus perméable aux champs magnétiques

qu'aux courants de conduction, cet apport d'énergie électrique se fait sans réaction thermique importante, constituant un avantage non négligeable par rapport aux champs électromagnétiques de haute fréquence (ondes courtes, micro-ondes).

Les CMP font apparaître des charges électriques dans les tissus qui rétabliraient des conditions de potentiel électrique favorables à la cicatrisation. On sait en effet que toute lésion tissulaire s'accompagne d'un courant électrique particulier ; il a été montré que l'application d'un courant continu provoque une prolifération d'ostéoblastes et de chondroblastes autour de la cathode mais cette méthode oblige à une effraction cutanée pour l'application intra-osseuse des électrodes [41]. La méthode inductive a donc été préférée pour créer un courant électrique dans le corps humain. A ces fins, des générateurs portables de courant à l'état variable, fonctionnant sous 10 à 145 V, avec des fréquences de 10 à 10000 Hz et des intensités de 1 à 10 A, permettraient la production d'un champ magnétique pouvant générer une différence de potentiel d'environ 1 mV et d'intensité 1 A.

Les champs électromagnétiques ont été incriminés dans l'apparition de leucémies, cancers du sein masculins, suicides, dépression nerveuse, infarctus du myocarde, avortements spontanés ou mort subite du nourrisson. Les lignes électriques de haute tension étaient particulièrement incriminées. Dans le Concours Médical, SOUQUES [47] reprend les différentes études réalisées. Il semblerait que seule l'occurrence de la leucémie aiguë chez l'enfant demeure encore actuelle mais les études épidémiologiques les plus récentes n'ont pas établi la réalité de ce risque. Sur le plan réglementaire, les niveaux d'exposition fondés sur l'induction de courants dans l'organisme recommandés par la Commission Européenne sont de 100T (1 Gauss) pour le champ magnétique et de 5kV/m pour le champ électrique.

Ainsi, plusieurs auteurs, en particulier Basset, ont montré l'intérêt des CMP dans l'accélération de la réparation osseuse [4], les pseudarthroses [3] et même l'ostéonécrose de la tête fémorale [5].

Lors d'une fracture, les extrémités fracturaires deviennent électro-négatives et entraînent un appel d'ions positifs, en particulier de calcium. Cette électro-négativité persiste jusqu'à l'apparition du cal osseux. L'ostéogenèse pourrait ainsi être stimulée par application d'un courant à l'os montrant que l'os se dépose à la cathode [43]. Tabrah [48] a également démontré l'intérêt de ces CMP dans l'amélioration de la masse osseuse chez des sujets ostéoporotiques.

Sur le plan thérapeutique, la littérature relate l'intérêt des CMP en cas de pseudarthrose ou de retard de consolidation osseuse. Chez les lapins, l'exposition des os fibulaires fracturaires, durant 28 jours à un CMP, rendraient ces os plus résistants en comparaison avec un groupe témoin [15]. Des études expérimentales sur l'homme confirmeraient l'effet des CMP sur la différenciation du cartilage en tissu osseux [23]. En effet, l'action électro-magnétique accélérerait le processus physiologique de cicatrisation osseuse par augmentation de l'ostéogenèse [19], résultats observés sur deux études parallèles sur des fibulas de rats et tibias de patients. Wahlstrom [50] a également observé une augmentation de la fixation osseuse à la scintigraphie au Technetium 99 chez des femmes ayant été victimes d'une fracture de Pouteau-Colles et traitées par immobilisation plâtrée et CMP en comparaison à un groupe traité par immobilisation sans adjonction thérapeutique. C'est en cas de retard de consolidation osseuse ou de pseudarthrose que ces CMP semblent avoir un réel intérêt. Basset a observé en 1985 [1] une accélération de la consolidation osseuse chez des patients présentant une pseudarthrose acquise ou congénitale, un échec d'arthrodèse ou un retard de consolidation après trois à quatre mois en utilisant les CMP par rapport à un groupe témoin. Plus récemment, Satter [42] confirme le rôle bénéfique de ces courants en cas de fracture osseuse *en admettant que les mécanismes d'ostéogenèse ne sont pas élucidés* ~; 11 sur 13 patients bénéficiant de ce traitement présentent une consolidation osseuse satisfaisante après quatorze semaines de traitement. Les deux échecs seraient relatifs à une infection ou à un écart inter-fracturaire de 1 cm. Les facteurs de la réussite ne sont pas explicités.

Ces courants inductifs pourraient être associés aux autres thérapeutiques proposées, en particulier chirurgicales en cas de greffe osseuse. Brighton [10] a même observé des résultats après échec de greffe osseuse ou de stimulation électrique en cas de pseudarthrose évoluant depuis en moyenne 3,3 ans chez 22 patients. Plus nuancé, Jenis [24], dans une publication plus récente de 2000, montre que des patients opérés d'une arthrodèse lombaire et traités par CMP augmentent leur densité minérale osseuse, sans toutefois accélérer la consolidation. Cet intérêt des CMP au niveau lombaire est confirmé par Oishi [36].

La durée d'exposition est importante comme le montre Garland [20] en exposant des patients ayant une pseudarthrose à des durées variables : une exposition de trois heures par

jour donnerait 35,7 % de bons résultats alors qu'une exposition plus prolongée donnerait jusqu'à 80 % de résultats favorables.

Quoi qu'il en soit, cette technique est simple, non invasive, peu onéreuse, sans risque, à tel point que Basset en 1993 [2] étend ses indications en cas de paralysie nerveuse périphérique, diabète, ischémie myocardique ou cérébrale et même sur des cellules néoplasiques ! Norton [35] propose également l'extension des applications des CMP dans le domaine bucco-dentaire.

Néanmoins ce traitement nécessite une parfaite coopération du patient [46], en particulier lorsqu'il faut associer le traitement à une décharge complète du membre blessé [22].

Les champs magnétiques pulsés devraient se développer à l'avenir mais il reste à standardiser et à codifier les paramètres physiques et thérapeutiques très rarement cités dans les différentes études !

## **FRACTURES DE FATIGUE ET MEDECINE PHYSIQUE ET DE READAPTATION**

Outre la physiothérapie à effet antalgique, la rééducation proprement dite tient une place limitée dans la prise en charge des fractures de fatigue. Elle se limite le plus souvent à une récupération et/ou un maintien des amplitudes articulaires dans un secteur protégé et respectant la règle de la non-douleur.

On peut insister sur l'apprentissage du pas simulé en cas de décharge du membre inférieur.

La balnéothérapie a un grand intérêt lors qu'un début de consolidation est obtenu. Le niveau d'immersion dépend de la décharge imposée par le chirurgien. Elle permet la verticalisation du patient, un entretien de la condition physique du sportif avec des exercices sans puis contre résistance associés à un travail proprioceptif [40].

– En cas de fracture de l'isthme, une immobilisation par un corset rigide peut être proposée dans certaines conditions.

## **FRACTURES DE FATIGUE : lutte contre les facteurs de risque**

Il est important de reconnaître les facteurs de risque afin d'éviter les récurrences qui peuvent compromettre l'avenir sportif des patients. Les fractures de stress surviennent en cas de déséquilibre entre les capacités d'adaptation de l'os et la surcharge des contraintes appliquées [38].

Certains facteurs de risque *extrinsèques* sont faciles à mettre en évidence comme la qualité des chaussures des coureurs ou le sol sur lequel ils courent [39]. Milgrom [29] a montré l'intérêt des semelles en polyuréthane « 65 shore A » avec des cellules d'air dans la diminution des contraintes du tibia lors de la course. Gillespie [21] confirme le fait que des semelles absorbant l'impact lié à la course réduit l'incidence des fractures de stress. Finestone, [17,18] a également retrouvé une diminution du risque de fracture de stress chez les soldats israéliens portant une orthèse plantaire souple par rapport à une semelle plus rigide.

Les *conditions d'entraînement* sont également importantes ; on ne peut que rappeler la nécessité d'effectuer des étirements musculaires avant et après l'activité sportive. L'incidence de ces fractures serait corrélée à la distance parcourue par jour [49]. Avec la fatigue apparaît un déséquilibre entre la contraction des muscles de la jambe et les chocs dus aux accélérations, susceptible d'entraîner une fracture de stress [31]. Une étude prospective réalisée dans l'infanterie américaine [30] a montré que les soldats pratiquant un sport de balle, principalement le basket, avant l'entraînement de base à type de course, avaient significativement moins de fractures de fatigue que ceux qui ne pratiquaient pas le sport de balle préliminaire. Les auteurs en concluent qu'un os subissant plus de contraintes devient plus résistant, réduisant les risques de fractures. Shaffer [44] reconnaît également le rôle d'une condition physique faible et d'un bas niveau d'activité physique lorsqu'un soldat est recruté dans l'armée américaine. En comparant la morphologie osseuse, Crossley [13] constate que les sportifs ayant un plus petit tibia, rapporté au poids, ont un risque plus grand de fracture.

Les facteurs *psychologiques* sont également importants [8]. En comparant une population de sportifs ayant été victimes de fracture de stress avec une population témoin, Ekenman [16] observe une personnalité différente avec augmentation de l'ambition, de l'esprit de compétition et du désir d'obtention du meilleur score dans le premier groupe. Il en déduit la nécessité d'éducation des sportifs afin de prévenir les excès.

La *densité osseuse* a été étudiée chez des patients atteints d'une fracture du col fémoral, comparés à un groupe témoin. Le premier groupe présente une diminution de la densité minérale osseuse de façon significative alors que l'analyse histo-morphométrique est

identique dans les deux groupes [33]. Marx [28] a également observé une diminution de la densité minérale osseuse chez 20 femmes athlètes. Cette ostéopénie est surtout mise en évidence en cas de fracture trabéculaire et moins en cas de fracture corticale, à tel point qu'il propose une évaluation systématique ostéodensitométrique chez les femmes ayant présenté une fracture de fatigue.

Les *facteurs hormonaux* jouent un rôle non négligeable dans le risque de survenue d'une fracture de stress ; il semblerait que les femmes soient plus sensibles que les hommes sportifs. Dans une étude prospective concernant le style de vie des femmes dans l'armée américaine, Lappe [26] met en évidence une augmentation du risque en cas d'âge avancé, de consommation régulière d'alcool ou de tabac, lors d'efforts pour maintenir un poids faible, ou encore en cas d'utilisation de corticostéroïdes. Les femmes blanches sont les plus exposées et le risque de fracture de stress est inversement proportionnel au poids des femmes. Par contre, la pratique régulière sportive est, ici aussi, protectrice. Cependant, si le sport entretient la forme, il peut aussi être responsable de désordre hypothalamique, avec pour conséquence une perturbation de la pulsativité de la GnRH. La conséquence est une aménorrhée secondaire, aggravée par une alimentation carentielle par souhait d'un maintien du poids. Cet hypo-oestrogénisme entraîne une stérilité, une baisse de la densité osseuse et une ostéopénie. Il est nécessaire d'augmenter l'apport calorique et de proposer un traitement séquentiel par oestrogènes [51]. Bennell [9] relativise le bien-fondé de la contraception orale. Si celle-ci permet l'obtention de cycles réguliers et évite les symptômes prémenstruels, il a été observé chez les patientes une baisse de la VO<sub>2</sub>max sans baisse de performance. Nattiv [34] précise, en plus, la présence de facteur génétique et sur la nécessité d'un apport calorique et calcique dans l'enfance pour avoir une densité minérale osseuse maximale.

En comparant une population d'hommes et de femmes, Beck [7] observe que la différence de risque fracturaire pourrait être liée en partie au fait que les femmes ont une corticale osseuse plus fine que les hommes, et que le muscle développe moins de force, idée reprise par Bennell [8].

Les hommes seraient également susceptibles de développer un hypo-gonadisme induit par l'exercice, responsable de fracture de fatigue et dysfonction sexuelle comme le montre Skarda [45].

## CONCLUSIONS

Le premier traitement d'une fracture de fatigue reste encore aujourd'hui le repos, au moins sportif, du patient [6,37]. La physiothérapie apporte une antalgie certaine en cas de douleurs mal contrôlées ou en cas de contre-indications médicamenteuses. Les champs magnétiques pulsés de basse fréquence ont montré l'activation de l'ostéogenèse du foyer fracturaire, sans que l'on puisse affirmer que la consolidation osseuse est plus rapide. Le rôle de la rééducation est modéré et celle-ci reste standard, dans un but de maintien de la condition physique du sportif, en particulier avec l'aide de la balnéothérapie.

Il est nécessaire encore aujourd'hui de respecter le temps de consolidation physiologique de l'os avant la reprise du sport qui doit être progressive [37]. C'est pourquoi la reconnaissance de facteurs de risques est essentielle afin d'éviter une récurrence et de compromettre l'avenir sportif du patient. Les femmes seraient plus exposées pour des raisons biophysiques, hormonales et psychologiques.

## **Bibliographie**

1. BASSETT CA. The development and application of pulsed electromagnetic fields (PEMFs) for ununited fractures and arthrodeses. Clin Plast Surg. 1985 ;259-77.
2. BASSETT CA. Beneficial effects of electromagnetic fields. J Cell Biochem. 1993 ;51(4) :387-93.

3. BASSET CAL, MITCHELL S, GASTON SR. Treatment of ununited tibial diaphyseal fractures with pulsing electromagnetic fields. 1981 ;J Bone J Surg,63A :511–523.
4. BASSET CAL, PAWLUK RJ, PILLA AA. Acceleration of fracture repair by electro–magnetic fields, a surgically non–invasive method. 1974 ;NY Acad Sci(238) :242–257.
5. BASSET CAL, SCHINK–ASCANI M, LEWIS SM. Effects of pulsed electro–magnetic fields on Steinberg ratings of femoral head osteonecrosis. 1989 ;Clin Orthop (246) :172–185.
6. BATT ME, KEMP S, KERSLAKE R. Delayed union stress fractures of the anterior tibia : conservative management. Br J Sports Med. 2001 ;35(1) :74–7.
7. BECK TJ, RUFF CB, SHAFFER RA, BETSINGER K, TRONE DW, BRODINE SK. Stress fracture in military recruits : gender differences in muscle and bone susceptibility factors. Bone. 2000;27(3) :437–44.
8. BENELL K, MATHESON G, MEEUWISSE W, BRUKNER P. Risk factors for stress fractures. Sports Med 1999 ;28(2) :91–122.
9. BENELL K, WHITE S, CROSSLEY K. The oral contraceptive pill : a revolution for sprotswomen ? Br J Sports Med 1999 ;33(4) :231–8.
10. BRIGHTON CT, POLLACK SR. Treatment of recalcitrant non–union with a capacitively coupled electrical field. A preliminary report. J Bone Joint Surg Am. 1985 ;67(4) :577–85.
11. CALMELS P., BARET G., PARRATTE B. Rôle de la Médecine Physique et de la Réadaptation dans la prise en charge de la douleur chronique. Journal de Réadaptation Médicale. 1997 ; 17, n° 3, 99–105.
12. CHEN D., PHILIP M., PHILIP P.A., MONGA T.N. Cardiac pace–maker inhibition by transcutaneous electrical nerve stimulation. Arch. Phys. Med. Reh.. 1990 ; 71 : 27–30.
13. CROSSLEY K, BENNEL KL, WRIGLEY T, OAKES BW. Ground reaction

- forces, bone characteristics, and tibial stress fracture in male runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 ;31(8) :1088–93.
14. DE BISSCHOP G., DUMOULIN J., AARON Cl. Electrothérapie appliquée en Kinésithérapie et rééducation en Rhumatologie et Médecine du Sport. Monographie de Bois–Larris, 1994, Masson, 92 p.
  15. DEIBERT MC, MCLEOD BR, SMITH SD, LIBOFF AR. Ion resonance electromagnetic field stimulation of fracture healing in rabbits with a fibular osteotomy. *J Orthop Res.* 1994 ;12(6) :878–85.
  16. EKENMAN I, HASSMEN P, KOIVULA N, ROLF C, FELLANDER–TSAI L. Stress fractures of the tibia : can personality traits help us detect the injury–prone athlete ? *Scand J Med Sci Sports.* 2001 ;11(2) :87–95.
  17. FINESTONE AS, ELDAD A, MILGROM C. Pre–induction sport activity in prevention of stress fractures in elite infantry recruits. *Harefuah* 2000 1 ;138(9) :719–22,808.
  18. FINESTONE A, GILADI M, ELAD H, SALMON A, MENDELSON S, ELDAD A, MILGROM C. Prevention of stress fractures using custom biomechanical shoe orthoses. *Clin Orthop* 1999 ;(360) :182–90.
  19. FONTANESI G, TRAINA GC, GIANCETTI F, TARTAGLIA I, ROTINI R, VIRGILI B, CADOSSO R, CECCHERELLI G, MARINO AA. Slow healing fractures : can they be prevented ? (Results of electrical stimulation in fibular osteotomies in rats in diaphyseal fractures of the tibia in humans). *Ital J Orthop Traumatol.* 1986 ;12(3) :371–85.
  20. GARLAND DE, MOSES B, SALYER W. Long–term follow–up of fracture nonunions treated with PEMFs. *Contemp Orthop.* 1991 ;22(3) :295–302.
  21. GILLEPSIE WJ, GRANT I. Interventions for preventing and treating stress fractures and stress reactions of bone of the lower limbs in young adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2000 ;(2) :CD000450.
  22. HECKMAN JD, INGRAM AJ, LOYD RD, LUCK JV Jr, MAYER PW. Nonunion treatment with pulsed electromagnetic fields. *Clin Orthop.* 1981 ;(161) :58–66.

23. HINENKAMP M. Influence of physical factors on osseous consolidation. *Bull Mem Acad R Med Belg.* 1996 ;151(12) :517–26.
24. JENIS LG, AN HS, STEIN R, YOUNG B. Prospective comparison of the effect of direct current electrical stimulation and pulsed electromagnetic fields on instrumented posterolateral lumbar arthrodesis. *J Spinal Disord.* 2000 ;13(4) :290–6.
25. KOES B.W., BOUTER L.M., BECKERMAN H., VAN DER HEIJDEN G., KNIPSCHILD P.G. Physiotherapy exercises and back pain : blinded review. *Br. Med. J.* 1991 ; 302 : 1572–1576.
26. LAPPE JM, STEGMAN MR, RECKER RR. The impact of lifestyle factors on stress fractures in female Army recruits. *Osteoporos Int.* 2001 ;12(1) :35–42.
27. LEHMANN J.F. Therapeutic heat and cold. 3ème édition, Williams et Wilkins, 1982, Baltimore, 641 p.
28. MARX RG, SAINT-PHARD D, CALLAHAN LR, CHU J, HANNAFIN JA. Stress fractures sites related to underlying bone health in athletic females. *Clin J Sport Med.* 2001 ;11(2) :73–6.
29. MILGROM C, FINESTONE A, EKENMAN I, SIMKIN A, NYSKA M. The effect of shoe sole composition on in vivo tibial strains during walking. *Foot Ankle Int.* 2001 ; 22(7) :598–602.
30. MILGROM C, SIMKIN A, ELHAD A, NYSKA M, FINESTONE A. Using bone's adaptation ability to lower the incidence of stress fractures. *Am J Sports Med.* 2000 ;28(2) :245–51.
31. MIZRAHI J, VERBITSKY O, ISAKOV E. Fatigue-related loading imbalance on the shank in running : a possible factor in stress fracture. *Ann Biomed Eng.* 2000 ;28(4) :463–9.
32. Moore S.R., SHURMAN J. Combined neuromuscular electrical stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of chronic back pain : double-blind, repeated measures comparison. *Arch. Phys. Med. Reh.* 1997 ; 78 : 55–60.

33. MULDOON MP, PADGETT DE, SWEET DE, DEUSTER PA, MACK GR. Femoral neck stress fractures and metabolic bone disease. *J Orthop Trauma*. 2001 ;15(3) :181–5.
34. NATTIV A. Stress fractures and bone health in track and field athletes. *J Sci Med Sports*. 2000 ;3(3) :268–79.
35. NORTON LA, HANLEY KJ, TURKEWICZ J. Bioelectric perturbations of bone. Research directions and clinical applications. *Angle Orthod*. 1984 ;54 :73–87.
36. OISHI M, ONESTI ST. Electrical bone graft stimulation for spinal fusion : a review. *Neurosurgery*. 2000 ;47(5) :1041–55 ;discussion 1055–6.
37. PERRON AD, BRADY WJ, KEATS TA. Principles of stress fracture management. The whys and hows of an increasingly common injury. *Postgrad Med.*, 2001 ; 115–8, 123–4.
38. PIRNAY L, CRIELAARD JM. Stress fractures and sports. *Rev Medc Liege*. 2001 ;56(5) :369–74.
39. RENSTROM P. Risk factors in leisure sports. Early and late sequelae. *Orthopade*.2000 ;29(11) :981–6.
40. ROLLAND E, SABOURIN F. Consolidation osseuse et rééducation. *Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Kinésithérapie–Médecine Physique–Réadaptation*, 26–208–A–10, 1998,9p.
41. ROQUES C.F. *Pratique de l'électrothérapie*. Springer Verlag, 1997, Paris, 281 p.
42. SATTER Syed A, ISLAM MS, RABBANI KS, TALUKDER MS. Bangladesh *Med Res Counc Bull*. 1999 ;25(1) :6–10.
43. SEDEL L, CHRISTEL P, DURIEZ J et al. Résultats de la stimulation par champ électromagnétique de la consolidation des pseudarthroses. A propos de 37 cas. *Rev Chir Orthop*. 1981 ;67 :11–23.
44. SHAFFER RA, BRODINE SK, ALMEIDA SA, WILLIAMS KM, ROAGHY S. Use of simple measures of physical activity to predict stress fractures in young

- men undergoing a rigorous physical training program. *Am J Epidemiol.* 1999  
1 ;149(3) :236–42.
45. SKARDA ST, BURGE MR. Prospective evaluation of risk factors for exercise-induced hypogonadism in male runners. *West J Med.* 1998 ;169(1) :9–12.
46. SNEED NV, VANBREE KM. Treating ununited fractures with electricity : nursing implications. *J Gerontol Nurs.* 1990 ;16(8) :26–31.
47. SOUQUES M, LAMBROZO J. Champs électro–magnétiques liés à l'électricité et risque de leucémie de l'enfant. *Concours Médical.* 2001 ;123(28) :1866–1871.
48. TABRAH F, HOFFMEIER M, GILBERT F, BATKIN S, BASSET CAL. Bone density changes in osteoporosis prone women exposed to pulsed electro magnetics fields. *J Bone Miner Res* 5 :437–442.
49. TAYLOR D, KUIPER JH. The prediction of stress fractures using a « stressed volume » concept. *J Orthop Res.* 2001 ; 19(5) : 919–26.
50. WAHLSTROM O. Stimulation of fracture healing with electromagnetic fields of extremely low frequency (EMF of ELF). *Clin Orthop.* 1984 ;(186) :293–301.
51. WARREN MP, PERLROTH NE. The effects of intense exercises on the female reproductive system. *J Endocrinol.* 2001 ;170(1) :3–11.