

ÉCHOGRAPHIE ET EFFET DOPPLER, UNE MÉTHODE ORIGINALE POUR UNE APPRÉCIATION PRÉCOCE ET DYNAMIQUE DU CAL OSSEUX

M. ELANGA*, B. BOUCHE**, PH. PUTZ*, N. DUMONT**

SUMMARY : *Ultrasonography and Doppler effect, an original method for the early dynamic evaluation of the fracture callus.*

The authors describe an original and simple method for monitoring bone healing, based upon ultrasonography and the Doppler effect. They present four cases of diaphyseal fractures followed by this method and correlated with clinical findings.

This noninvasive and inexpensive method of investigation is full of prospect for the monitoring of bone healing after fracture.

Mots-clés : échographie ; Doppler ; fracture ; consolidation ; indice de résistivité ; flux vasculaire.

Keywords : ultrasonography ; Doppler ; fracture ; healing ; resistivity index ; vascular flow.

INTRODUCTION

La consolidation osseuse reste à ce jour un phénomène imparfaitement compris. Diverses philosophies de traitement des fractures en sont l'illustration. De plus en plus, le rôle de la vascularisation osseuse semble essentiel.

Le suivi de la consolidation osseuse cherche à prédire son évolution. Les méthodes d'évaluation ne peuvent être invasives ; elles doivent respecter le cal et son évolution, être indolores et sans risques. Elles doivent également être accessibles et adaptées à tous les types de traitement (3).

Jusqu'ici aucune méthode ne paraissait satisfaire à tous ces critères.

On sait déjà que l'échographie montre le tissu osseux, le trait de fracture et, précocement, le cal osseux. En couplant l'échographie à l'effet Doppler, on évalue la vascularisation du cal osseux.

Ce procédé original, non invasif, permet de suivre précocement l'évolution de la consolidation.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Quatre fractures diaphysaires ont été suivies par échographie couplée à l'effet Doppler (Toshiba Sono-layer SSh-140A, sonde de 7,5 Mghz).

Chaque semaine, la morphologie du cal a été étudiée ainsi que sa vascularisation. A cet égard, une fois le site de fracture repéré, l'effet Doppler permet de mesurer le flux sanguin, la vitesse du pic systolique qui en est le maximum, et la vitesse de fin de diastole qui en est le minimum (figure 1a, 1b). Ceci permet de définir un indice de résistivité, obtenu par la formule : $I = V_{\max} - V_{\min} / V_{\max}$ (1a, 1b). On comprend que si la vitesse maximale diminue, l'indice augmente et tend vers 1, ce qui correspond à une perfusion déficiente. Une bonne perfusion vasculaire correspond à un indice bas, inférieur à 0,75.

A chaque séance, huit mesures ont été réalisées et les courbes tracées représentent les moyennes des valeurs mesurées (fig. 3a, 3b).

Par ailleurs, le patient était suivi classiquement par l'examen clinique et la radiographie standard.

CASUISTIQUE

1. Suite à un accident sportif, cette patiente de 27 ans présente une fracture du tiers distal du tibia traitée par un clou verrouillé.

* Service d'Orthopédie-Traumatologie.

** Service d'Imagerie Médicale.

Hôpital Universitaire Brugmann, Place A. Van Gehuchten, 1020 Bruxelles, Belgique.

Correspondance et tirés à part : Ph. Putz.



Fig. 1a. -- Image réelle.

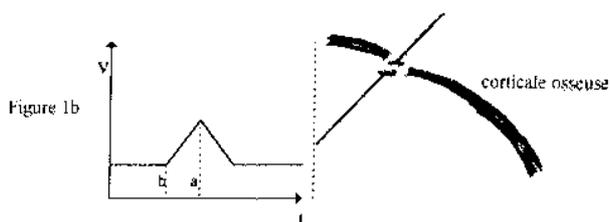


Fig. 1b. — Schéma correspondant. a : vitesse de pic systolique (V_{max}); b : vitesse de fin de diastole (V_{min}); index de résistivité = $a-b/a$.

Fig. 1. — Echo Doppler d'un vaisseau du cal. A droite, image morphologique de repérage du site fracturaire et de sa vascularisation. A gauche, effet Doppler au niveau du vaisseau mis en évidence. En ordonnée, la vitesse du flux et en abscisse, le temps écoulé.

Sept jours plus tard le trait de fracture laisse passer les ultrasons qui sont réfléchis par le clou. Le flux sanguin à ce stade est encore bas (0,08 m/sec) avec un indice de résistivité inférieur à 0,75 (fig. 2a).

A la cinquième semaine, la patiente marche en appui non limité et le foyer de fracture est indolore. Le flux sanguin, démontré par l'effet Doppler, est élevé (0,44 m/sec), comme depuis la deuxième semaine. L'indice de résistivité, bas jusqu'alors, s'élève à partir de la cinquième semaine (0,82, fig. 2b). La radiographie standard (fig. 2c) ne montre pas de cal, tandis que celui-ci est visible à l'échographie (fig. 2b).

Le flux sanguin (V_{max}) passe par un maximum vers la troisième semaine puis décroît. L'indice de résistivité augmente à partir de la même période. Ces deux éléments correspondent à une évolution favorable (fig. 3a).

2. Suite à un accident de roulage, ce patient de 20 ans présente une fracture de tibia traitée par plaque vissée et greffe spongieuse. Progressivement le cal osseux est d'avantage perçu à l'échographie, tandis que le flux diminue et que la résistivité augmente. La figure 4 illustre la situation à la quatrième semaine.

3. La troisième patiente, de 57 ans, présente une fracture comminutive du tiers distal du tibia traitée par enclouage verrouillé.

Après quatre semaines, le cal n'est pas perceptible à la radiographie mais bien à l'échographie qui montre une hyperreflectivité au foyer de fracture. A ce moment, l'écho Doppler révèle un flux élevé (0,44 m/sec) et une augmentation progressive de la résistivité (fig. 5).

L'évolution du flux et de la résistivité est normale, comme dans le premier cas (fig. 3a).

Les trois premiers cas ont évolué favorablement.

4. La quatrième patiente, de 62 ans, présente une fracture diaphysaire de l'humérus traitée par enclouage centromédullaire. Après quatre mois, il n'y a pas de cal visible à la radiographie standard ni à l'échographie, puisque le clou est toujours visible au travers du trait de fracture (fig. 6a). Le Doppler démontre un flux bas (0,07 m/sec) et une résistivité élevée, témoignant d'une mauvaise vascularisation.

Au sixième mois, le trait de fracture laisse encore passer les ultrasons qui sont réfléchis par le clou, témoignant de l'absence de cal. Le flux reste bas (0,08 m/sec) et la résistivité élevée (fig. 6b), preuve d'une vascularisation déficiente du foyer de fracture. L'évolution du flux et de la résistivité est défavorable (fig. 3b). Cliniquement la patiente ressent encore une douleur à l'endroit fracturé et présente une impotence fonctionnelle relative.

La radiographie standard confirme l'évolution vers la pseudarthrose (fig. 6c).

A travers ces quatre observations apparaît une relation entre le flux vasculaire, la résistivité et la consolidation osseuse.

Pour les trois premiers cas, d'évolution normale, le flux apparaît à la fin de la première semaine,

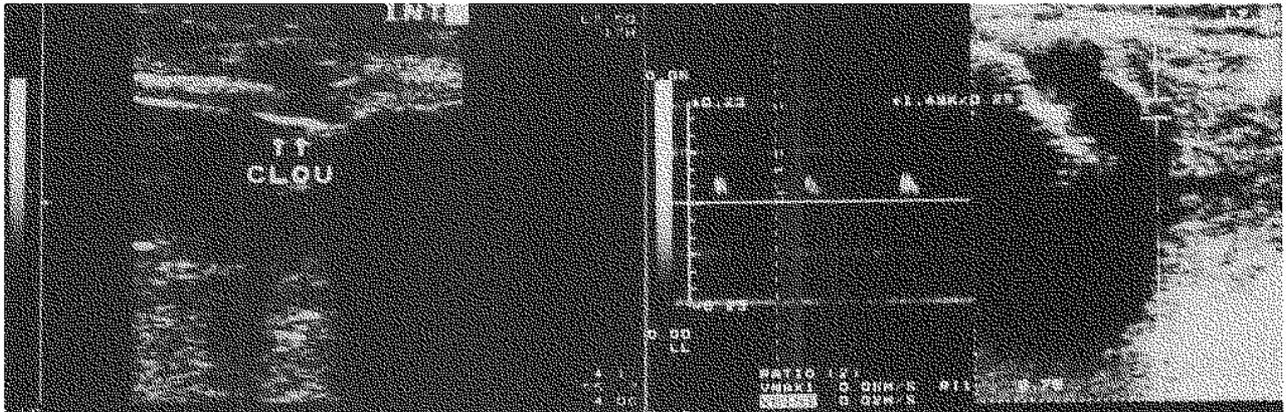


Fig. 2a. -- Image échographique de la fracture et de l'implant (à gauche) et écho-Doppler de la vascularisation du site fracturaire (à droite). Septième jour.

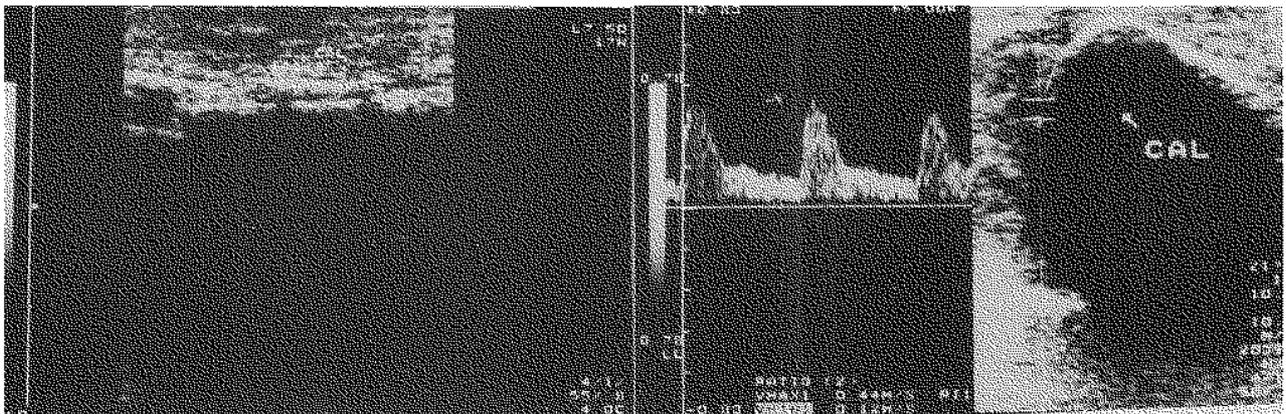


Fig. 2b. -- Image échographique et écho-Doppler de la vascularisation du site fracturaire. Cinquième semaine.

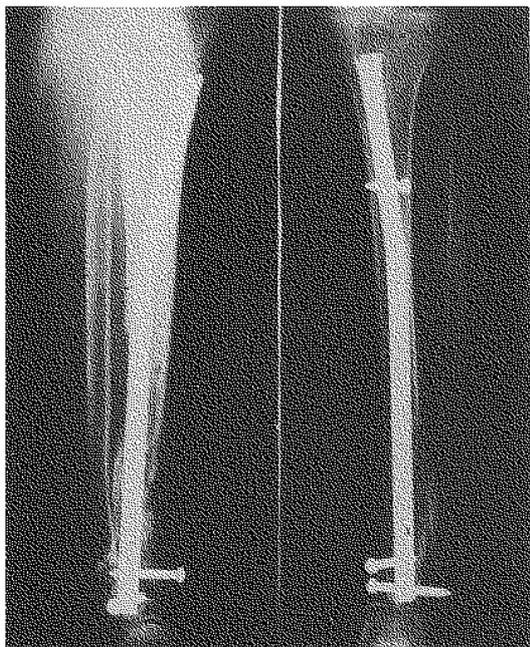


Fig. 2c. -- Radiographie standard (5ème semaine) : pas de cal visible.

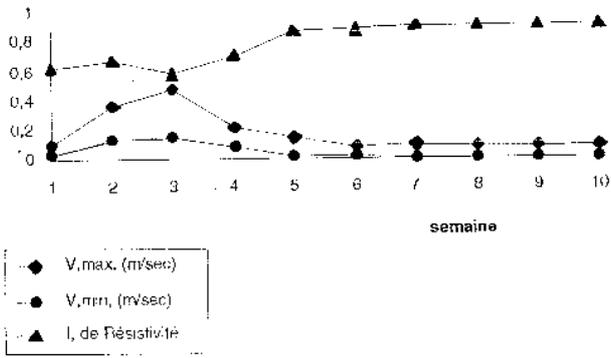


Fig. 3a. — Profil du flux (V_{max} , V_{min}) et de la résistivité (évolution favorable, cas n°1).

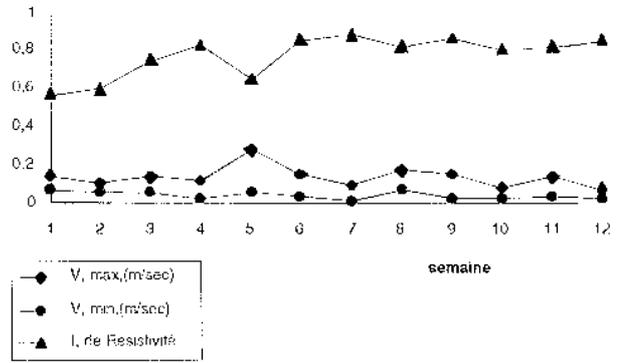


Fig. 3b. — Profil du flux (V_{max} , V_{min}) et de la résistivité (évolution défavorable, cas n°4).

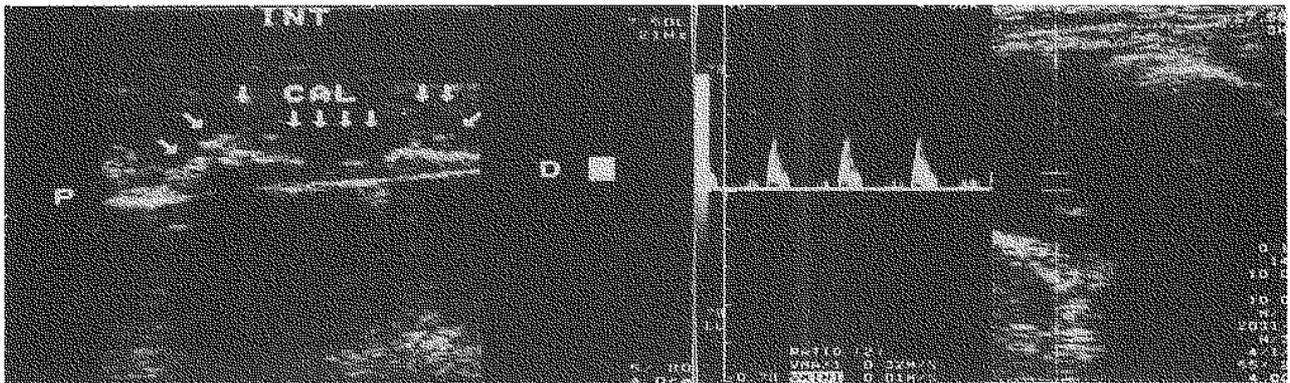


Fig. 4. — Image échographique et écho-doppler de la vascularisation de la fracture (à la quatrième semaine).

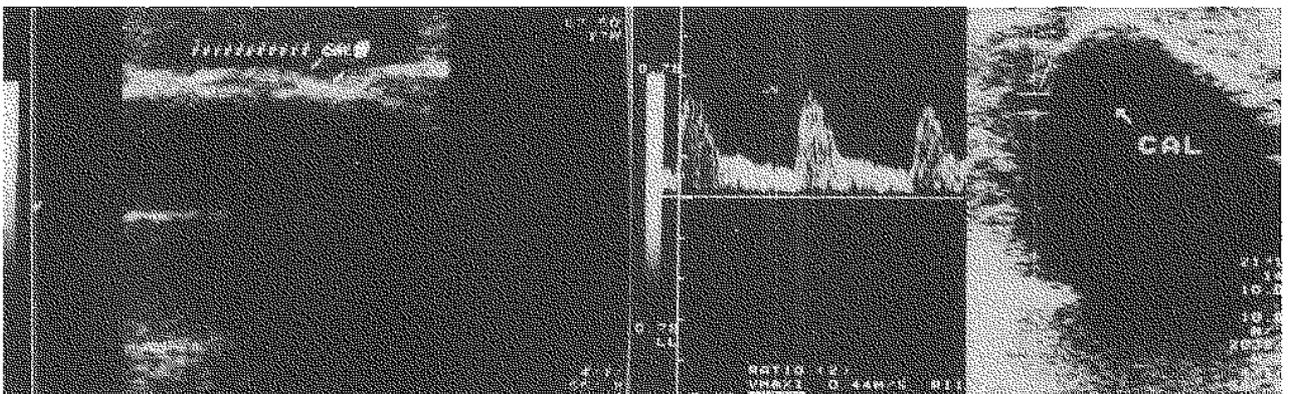


Fig. 5. — Image échographique et écho-Doppler de la vascularisation du site fracturaire, à quatre semaines.

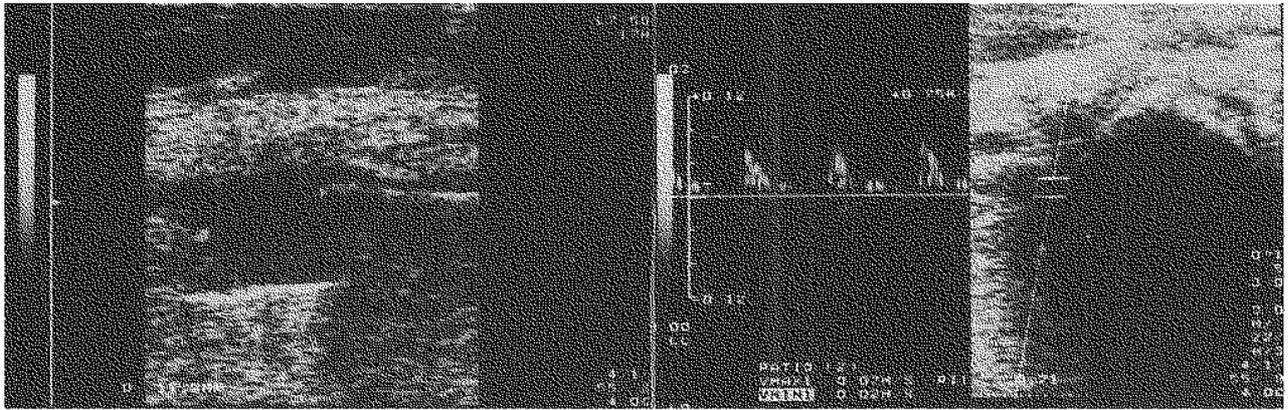


Fig. 6a. -- Echographie et écho-Doppler (quatrième mois post-opératoire).

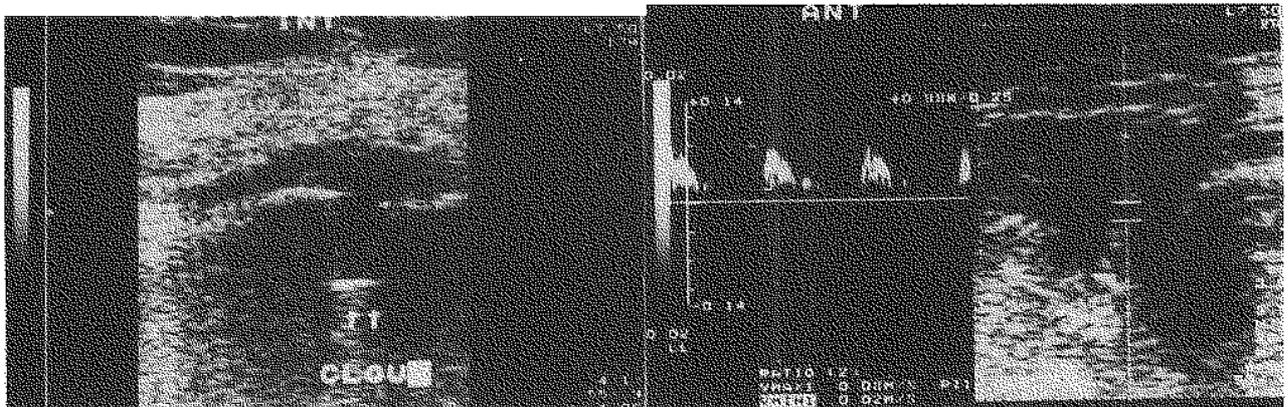


Fig. 6b. — Image échographique et écho-doppler (sixième mois).

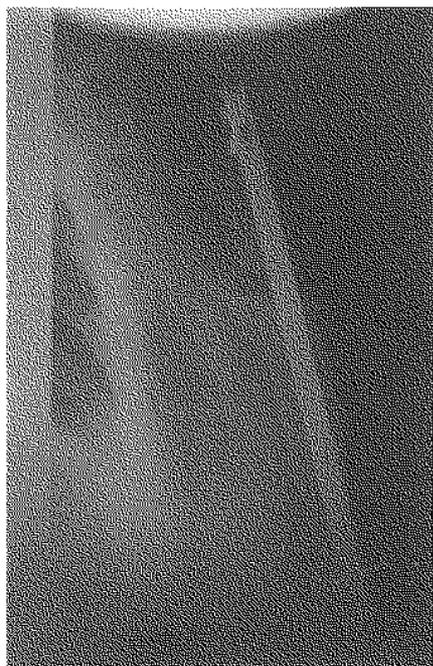


Fig. 6c. Radiographie standard.

croît et atteint son maximum à la quatrième semaine, puis décroît et n'est plus perceptible après la 10^{ème} semaine.

Pendant que le flux est encore bas (0,01 à 0,1m/sec), les implants intra-médullaires sont visibles à l'échographie, ce qui signe l'absence de cal. Dès la quatrième semaine, alors que le flux est élevé (0,2-0,4 m/sec), les implants ne sont plus visibles à l'échographie, car les ondes accoustiques sont réfléchies par le cal.

La résistivité des vaisseaux augmente alors que le flux décroît. Ceci exprime une disparition progressive de la néovascularisation née des tissus avoisinants pendant que le cal osseux retrouve une vascularisation autonome.

L'évolution favorable de la vascularisation démontrée par notre méthode est parallèle à l'évolution clinique : indolence et récupération fonctionnelle.

Pour le quatrième cas, ayant évolué en pseudarthrose, les courbes du flux et de la résistivité restent plates. La résistivité élevée tout au long de l'évolution traduit une perfusion sanguine insuffisante du cal.

DISCUSSION

Le traitement des fractures a certes progressé au fil des années, mais le degré de consolidation, nécessaire pour guider la reprise fonctionnelle ou une éventuelle réorientation thérapeutique, reste difficile à déterminer surtout à sa phase précoce : l'appréciation clinique, basée sur la douleur, est subjective ; la mobilité anormale ne peut être recherchée utilement pour les ostéosynthèses rigides ; la radiographie conventionnelle, qui n'objective que la phase minérale n'est guère utile pour les premières étapes de la consolidation ; la référence à des temps moyens de consolidation n'est pas applicable à des cas individuels.

Le besoin de critères objectifs est évident pour suivre la consolidation. Les méthodes proposées ne peuvent pas perturber l'évolution naturelle, elles doivent être accessibles, simples et applicables à tous les modes de traitement (2, 3).

L'étude de la vascularisation, facteur principal de consolidation paraît judicieuse. En cas de fracture, une vascularisation de suppléance se développe au site fracturé : elle apparaît dès la première semaine, atteint son maximum vers la quatrième semaine et devrait ensuite diminuer tandis que l'os reprend sa vascularisation normale (6, 10, 13).

L'analyse de cette néo-vascularisation devrait permettre de suivre la consolidation de l'os, d'en détecter les troubles et ainsi d'orienter le traitement.

Riccardi *et al.* (11) ont suivi la consolidation des fractures par échographie et ont trouvé des corrélations entre les images échographiques et le comportement mécanique du cal osseux. Moed *et al.* (8) montrent que le cal osseux est perceptible à l'échographie bien plus précocement qu'il ne l'est à la radiographie standard. Nutz et Peschen (9) ont montré la corrélation entre le débit fémoral (Doppler) et la consolidation des fractures des membres inférieurs ; Rizzato *et al.* (12) ont constaté que les résistances vasculaires étaient augmentées au niveau de foyer de fracture en cas des troubles de consolidation osseuse.

Dans la transplantation rénale, l'apport de l'échographie-Doppler a été déjà démontré et a contribué à la réduction du suivi invasif (biopsie) : l'augmentation de la résistivité vasculaire au niveau de l'anastomose signe un début de rejet et la conduite thérapeutique est adaptée en conséquence (7). En obstétrique, dès que la résistivité des vaisseaux du cordon augmente, il y a lieu de craindre un syndrome éclamptique (4).

Burny (3), par une étude de la déformation du fixateur externe par jauges de contraintes constatait que c'est pendant les premières semaines qu'il y a une diminution sensible de la sollicitation de la barre du fixateur. Ceci signifie que les premières phases du processus de consolidation sont les plus déterminantes. Pouvoir objectiver d'une façon non invasive cette phase précoce est un apport considérable dans le suivi des fractures.

La méthode originale que nous proposons n'est pas invasive et ne perturbe pas l'évolution naturelle de la consolidation. Elle est applicable quel que soit le mode de traitement choisi. Elle semble permettre de prédire l'évolution de la consolidation osseuse.

CONCLUSION

L'échographie est une voie très prometteuse pour le suivi des fractures. L'originalité de la méthode proposée consiste à associer à la vue morphologique du cal un suivi dynamique par l'étude de la néovascularisation du cal à l'effet Doppler. L'examen est anodin, peu coûteux et accessible.

Après une revue du mode de consolidation d'un grand nombre de patients, nous devrions tracer des courbes, à l'instar des percentiles de la croissance, qui devraient orienter le chirurgien dans le suivi de l'évolution des fractures.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bonnin A., Legmann P., Convard J. P., Broussouloux C. Echographie. Masson, 1993.
2. Brookes M. Morphology and distribution of blood vessels and blood flow in Bone. Bone Circulation and Vascularisation in Normal and Pathological Conditions. NATO ASI SERIES, Life Sciences, 1993, Vol. 247, 19-38.
3. Burny F. Etude par jauges de déformation de la consolidation de fractures en clinique. Acta Orthop. Belg., 1968, 34, 917-927.
4. Durand A., Deschamps P., Pourcelot D., Body G., Lansac J., Pourcelot L. Modélisation de la circulation foeto-placentaire : application à propos de 21 patientes ayant un flux ombilical nul ou inversé. J-Gynécologie-Obstet-Biol-Reprod-Paris, 1993, 22, 611-619.
5. Gothmann L. Arterial changes in experimental fractures of the rabbit's tibia treated with intramedullary nailing : A microangiographic study. Acta Chir. Scand., 1960, 120, 289-300.
6. Holden C. E. A. The role of blood supply to soft tissue in the healing of diaphyseal fractures. J. Bone Joint Surg., 1972, 54-A, 5, 993-1000.
7. Krumme B., Gondolf K., Kirste G., Schollmeyer P., Keller E. Farbkodierte Duplexsonographie zur Diagnostik von Nierenvenenthrombosen in der Frühphase nach Nierentransplantation. Dtsch. Med. Wochenschr., 1993, 118, 12, 1629-1635.
8. Moed B. R., Watson J. T., Goldschmidt P., van Holsbeek M. Ultrasound for the early diagnosis of fracture

healing after interlocking nailing of the tibia without reaming. Clin. Orthop., 1995, 310, 137-144.

9. Nutz V., Peschen M. Doppler-sonographie Durchblutungsmessungen der unteren Extremität des Menschen. Langenbecks Arch. Chir., 1992, 377, 372-377.
10. Rhinelander F. W. The normal microcirculation of diaphyseal cortex and its response to fracture. J. Bone Joint Surg., 1968, 50-A, 784-800.
11. Ricardi L., Perissinotto A., Dabala M. Mechanical monitoring of fracture healing using ultrasound imaging. Clin. Orthop., 1993, 293, 71-76.
12. Rizzato G., Abbona M., Minimel G. Bone and Callus. Radiology, 1995, 375-382.
13. Trueta J. The role of the vessel in osteogenesis. J. Bone Joint Surg., 1963, 45-B, 402-418.

SAMENVATTING

M. ELANGA, B. BOUCHE, PH. PUTZ, N. DUMONT. Ultrasonographie en het Doppler effect.

De auteurs beschrijven een originele methode die toelaat de botconsolidatie te volgen, gebaseerd op echografie gekoppeld aan het Doppler effect. Ze stellen vier gevallen voor van diaphysaire fracturen gevolgd met deze methode, waarvan de correlatie tussen de klinische en de echografische gegevens bepalen.

Deze niet invasieve en goedkope methode vormt in de toekomst een uitstekende mogelijkheid voor opvolging van fracturen.

RÉSUMÉ

M. ELANGA, B. BOUCHE, PH. PUTZ, N. DUMONT.

Les auteurs décrivent une méthode originale et simple permettant de suivre la consolidation osseuse, basée sur l'échographie couplée à l'effet Doppler. Ils présentent quatre observations de fractures diaphysaires suivies par cette méthode, dont il ressort une corrélation entre les données cliniques et échographiques.

Cette méthode nouvelle, non invasive et peu coûteuse, représente une voie d'avenir pour le suivi des fractures.