Metallentfernungen

Zu oft Routine – zu wenig Indikation?

Metallentfernungen werden aufgrund der unterschiedlichsten Symptome und möglicher oder tatsächlicher lokaler und systemischer Reaktionen eingefordert. Sie werden meist als ein Routineeingriff angesehen und dem Patienten als solcher vermittelt, können aber zu recht aufwändigen und anspruchsvollen Operationen werden. Gerade diese Fehleinschätzung führt oft dazu, dass ein unerfahrener Chirurg den Eingriff vornimmt, der sich in einer unvorhergesehenen Situation nicht selbst zu helfen weiß, wie sie gerade bei Metallentfernungen auftreten kann. Fehlendes oder falsches Explantationswerkzeug, unübersichtliche und vernarbte Anatomieverhältnisse, überknöcherte Implantate, gebrochene Schrauben, überdrehte Schraubengewinde und -köpfe sowie intraoperative Komplikationen (Refraktur, Blutungen, Nervenverletzungen) sind einige Probleme, die den zunächst routinemäßigen Eingriff zu einem unplanmäßig aufwändigen risikoreichen Eingriff werden lassen können. Daher sollte die Indikation zur Metallentfernung individuell, mit allen Vor- und Nachteilen, ernsthaft überdacht und nicht routinemäßig gestellt werden.

Indikationsstellung

Es gibt klare Indikationen für eine Metallentfernung. Dazu gehören:

- Implantatversagen,
- Infektionen,
- Pseudoarthrosen und
- Weichteilkompromittierungen.

Ein reizlos liegendes Implantat bei verheilter Fraktur allerdings gehört nicht dazu, und gerade für diese Situation bedarf

es einer genauen Betrachtung der Vor- und Nachteile. Dabei gibt es zahlreiche, manchmal nicht eindeutig oder endgültig geklärte Fragestellungen, die diskutiert werden müssen. Inwieweit eine dauerhafte zyklische oder auch frühe hohe Belastung eines Implantats ein Risiko für die Stabilität des Knochens im Frakturbereich oder periimplantär darstellt, muss geklärt sein. Auch nimmt die Stabilität des Knochens nach einer Metallentfernung ab, wobei der zeitliche postoperative Verlauf eine Rolle spielt. Mögliche Komplikationen einer Metallentfernung müssen mit dem Patienten eingehend besprochen und gegenüber den möglichen Vorteilen abgewogen werden. Schließlich spielen auch ökonomische Gesichtspunkte im Rahmen der Metallentfernung eine Rolle. Routinemäßige Metallentfernungen ohne harte Operationsindikationen können die Bettenbelegung positiv beeinflussen, und die Verlockung eines vermeintlich „leichten“ Eingriffs mit guter versicherungsseitiger wirtschaftlicher Kompensation könnte die Stellung der Operationsindikation erleichtern.

Spezielle Erwägungen, die für die Indikationsstellung einer Metallentfernung wichtig sind und dem Chirurgen bekannt sein müssen, sind u. a.:

1. das Risiko einer Refraktur nach Metallentfernung,
2. das Risiko einer periimplantären Fraktur bei lang liegendem Implantat,
3. der Erfolg der Metallentfernung bei „schmerzhaftem Implantat“,
4. die Metallallergie,
5. eine mögliche kanzerogene Wirkung eines Implantats oder auch
6. eine Empfindlichkeit gegenüber Metalldetektoren.

Häufigkeit

Metallentfernungen sind sehr häufig durchgeführte Operationen. In den USA stellen 5–15% der orthopädischen Operationen eine Metallentfernung dar, und in Finnland werden 81% aller Implantate nach Frakturheilung wieder entfernt [3, 7, 29]. In der chirurgischen Klinik der BG-Universitätsklinik Bergmannsheil waren 2006 etwa 5% der durchgeführten Operationen Metallentfernungen. Diese hohe Zahl an Eingriffen birgt hohe direkte Kosten für den Versicherungsträger in sich, die in der heutigen Zeit nicht mehr als selbstverständlich hingenommen werden müssen, insbesondere wenn die Operationsindikation nicht grundsätzlich als sinnvoll angesehen wird und als gesichert gilt.

Zusätzlich fallen indirekte Kosten an, die durch postoperative Arbeitsausfälle bedingt sind. Eine Marknagelentfernung im Unterschenkelbereich führt durchschnittlich zu einer Arbeitsunfähigkeit von 11 Tagen [26].

Spezielle Erwägungen

Refrakturrisiko

Will man das Refrakturrisiko eines verheilten Knochens nach Metallentfernung einschätzen, muss man zunächst zwischen den unterschiedlichen Formen der Frakturheilung unterscheiden. Bei der direkten Frakturheilung, wie sie nach stabilen Kompressionsplattenosteosynthesen auftritt, kommt es nicht zu einer Kallusbildung. Intramedulläre Nagelosteosynthesen und Fixateur-externe-Behandlungen auf der anderen Seite resultieren

in einer indirekten Bruchheilung mit einer ausgeprägten Kallusformation.

Des Weiteren ist bekannt, dass es innerhalb der ersten Monate nach einer Plattenosteosynthese zu einem Knochenverlust im Bereich des Platten-Knochen-Übergangs kommt. Dies wird von einigen Autoren auf das so genannte Stress Shielding zurückgeführt. Perren et al. [26] begründeten es mit einer Störung in der Blutversorgung des Knochens durch die aufliegende Platte, weshalb das Konzept der „low-contact-plates“ entwickelt wurde.

Klinische Studien zur Refrakturrate untersuchten den zeitlichen Faktor sowie den Einfluss verschieden voluminöser und unterschiedlich dem Knochen anliegender Implantate. Zusammenfassend gilt: Je länger ein Implantat in situ belassen wird und sich der Knochen wieder aufbauen kann (Remodelling!), desto niedriger ist die Refrakturrate [1]. Hier findet die Ausbildung des Kallus Beachtung, genauso wie der Grad des Knochenremodellings. Kleinere Implantate mit geringerer Auflagefläche führen zu einer geringeren Refrakturrate aufgrund des Erhalts der Durchblutung. Grob orientierend kann man davon ausgehen, dass eine Knochenheilungszeit von mindestens 12 Monaten abgewartet werden sollte, insbesondere wenn nicht ein ausgeprägter durchgehender Kallus vorliegt.

Anlass zur Sorge bereiten oft Schraubenlöcher im kortikalen Knochenbereich nach Metallentfernung, da diese als „stress riser“ zu einer Fraktur führen könnten. Bekannt ist, dass es im 2,8- und 3,6-mm-Schraubenloch zu einer 55%igen Abnahme der Energieabsorption kommt [4]. Im Fersenbein nimmt die maximale Kompressionsbelastung nach Setzen und Entfernen eines 6-mm-Pins eines Fixateur externe um 22% ab [17]. Obwohl ein Schraubenloch noch lange im Röntgenbild nachweisbar ist, kommt es zu einer fortschreitenden Geflechtknochenbildung, die die Stresskonzentration im Schraubenloch zunehmend herabsetzt [6]. Nach etwa 18 Wochen kann man bei einem gesunden jungen Mann davon ausgehen, dass die Knochenmasse wieder den Normalwert erreicht hat [28]. Daher sollte man für etwa 4 Monate von Kontaktaktivitäten nach Schraubenentfernung absehen.

Trauma Berufskrankh 2007 · 9[Suppl 3]:S292–S296 DOI 10.1007/s10039-007-1286-4
© Springer Medizin Verlag 2007

T.A. Schildhauer

Metallentfernungen. Zu oft Routine – zu wenig Indikation?

Zusammenfassung

Metallentfernungen werden meist als Routineeingriff angesehen, können aber zu aufwändigen und anspruchsvollen Operationen werden. Die Indikation zur Metallentfernung sollte daher streng gestellt werden. Sie ist gegeben bei Implantatversagen, Infektionen, Pseudoarthrosen und Weichteilkompromittierungen, in allen übrigen Fällen ist eine strenge individuelle Abwägung der Vor- und Nachteile – inklusive Kosten-Nutzen-Relation – erforderlich. Keine gesicherten Argumente für bzw. gegen eine Metallentfernung sind das Risiko einer Refraktur nach Me-

tallentfernung oder das einer periimplantären Fraktur bei lang liegendem Implantat, „schmerzhaftes Implantat“, Metallallergie, eine mögliche kanzerogene Implantatwirkung oder auch eine Empfindlichkeit gegenüber Metalldetektoren. Der Eingriff selbst sollte keinesfalls von einem unerfahrenen Chirurgen vorgenommen werden.

Schlüsselwörter

Metallentfernung · Komplikationen · Indikationsstellung · Erfahrung · Kosten

Metal removal operations. Too often performed as routine – too little attention to indications?

Abstract

Operations to remove metal implants are mostly regarded as routine interventions, but can develop into sophisticated and challenging procedures. The indications for removal of metal implants should therefore be strictly adhered to. Removal is indicated in cases of implant failure, infection, malunion, and compromise of soft tissue; in all other situations the advantages and disadvantages must be individually weighed up, including the cost–benefit ratio. The risk of refracture following implant removal or of peri-implant fracture in the case of an implant that has

been in place for a long time, a “painful implant”, metal allergy, the possibility of a cancerogenic effect of an implant and even sensitivity to metal detectors cannot be regarded as absolute arguments for or against an operation to remove an implant. The intervention itself should not in any circumstances be undertaken by an unexperienced surgeon.

Keywords

Removal of metal implants · Complications · Indications · Experience · Cost

Abb. 1 ▲ Beispiel einer operativ versorgten distalen Radiusfraktur mit Redislolation nach 2. Trauma, nach geschlossener Reposition der erneuten Fraktur durch Biegen der Platte Ausheilung erreicht

Periimplantäres Frakturrisiko

Es bestehen immer wieder Bedenken, dass eine Fraktur im Übergang eines Implantats zum normalen Knochen (periimplantäre Fraktur) entstehen kann. Theoretisch wird ein solches Frakturrisiko durch Stresskonzentration am Übergang unterschiedlicher E-Module erklärt. Nichtsdestotrotz gibt es nur relativ wenig klinische Literatur hierzu. McKee et al. [23] berichteten über 3 Patienten mit einer periimplantären Humerusfraktur bei liegendem Humerusnagel bei nur niedriger energetischem Trauma. Als Erklärung wurde angegeben, dass der Nagel im diaphysären Knochen endet. Tibia- und Femurnägel enden in der Metaphyse und haben daher seltener Frakturen im Knochen-Implantat-Übergangsbereich zur Folge. Eine ähnliche Situation findet man beim γ-Na-

gel, der im diaphysären Femurbereich endet und eine Frakturrate am distalen Nagelende in 3,1% der Fälle aufweist [11]. Periprothetische Frakturen im Hüft- und Kniebereich zeigen ebenfalls eine Frakturrate von 2,3% bzw. 1,2% [22].

Es wird oft angegeben, dass die Diagnose einer periimplantären Fraktur ein operatives Problem darstellen kann. Dies muss nicht unbedingt der Fall sein. Aus dem eigenen Patientengut wissen wir, dass eine Refraktur am distalen Radius mit verbogener volarer Platte und nicht gelockerten Schrauben relativ einfach ohne eine erneute Operation geschlossen therapiert werden kann. Wir reponierten diese Fraktur erneut im Aushang und unter Bildwandlerkontrolle durch geschlossenes Biegen der Frakturzone. Die Platte brach dabei nicht, und die Fraktur konnte zur Ausheilung gebracht werden (■ Abb. 1).

Metallentfernung mit erhöhtem Risiko

Grundsätzlich gibt es aus oben genannten Gründen (Refrakturrisiko, periimplantäres Frakturrisiko) keinen generellen Konsens, ob ein Implantat immer belassen oder immer entfernt werden sollte. Sogar aktive Rugby-Spieler, bei denen die Implantate in situ belassen wurden, litten in 87% unter keinerlei Problemen [13]. Trotzdem gibt es Situationen, in denen keine Metallentfernung empfohlen wird, da das Komplikationsrisiko einer operativen Entfernung zu groß ist. Dazu gehören z. B. die Entfernung eines Schlitznagels [32] oder die Implantate im inneren Becken und der anterioren Wirbelsäule.

Schmerzhaftes Implantat

Eine Indikation zur Metallentfernung kann ein schmerzhaftes Implantat sein. Es ist aber nicht immer gesagt, dass ein prominentes Implantat z. B. an Gelenken schmerzhaft ist. Eine Patellazuggurtungsosteosynthese scheint in nur 13% der Patienten schmerzhaft zu sein, während bei Olekranonazuggurtungsosteosynthesen bis zu 61% der Patienten über ein schmerzhaftes Implantat klagen [27, 30].

Ebenso führt eine Metallentfernung bei schmerzhaftem Implantat nicht regelmäßig zu einer Beschwerdeverbesserung. Im Sprunggelenkbereich wird eine Schmerzverbesserung in 50–75% der Patienten angegeben [5, 16]. Bei Marknagelentfernung aus dem Femur gaben 64% der Patienten eine Besserung an [12]. Auch in der Tibia variiert das postoperative Ergebnis nach Metallentfernung. Keating et al. [19] beschrieben in 45% ihrer Patienten nach Tibiamarknagelentfernung ein Verschwinden der Beschwerden, während 35% nur eine teilweise Schmerzlinderung verspürten und 20% gar keine Änderung der Schmerzen wahrnahmen. Court-Brown et al. [9] berichteten ein Verschwinden der Schmerzen in 27% der Patienten, 69% gaben eine teilweise Verbesserung der Symptomatik und 3% eine Verschlechterung der Schmerzen an. Boerger et al. [2] berichteten eine Verschlechterung der Schmerzen sogar in 17% der Patienten nach Tibiamagelentfernung. Schmerzen sind daher nicht grundsätzlich eine Indi-

kation zur Metallentfernung, da das Endergebnis mit gewünschter Schmerzf়reiheit nicht unbedingt vorhersehbar ist.

Gelenkübergreifende Fixationen

Gelenkübergreifende Stabilisationen im Bereich von Diarthrosen sind typischerweise nur temporär angesetzt (z. B. Fixateur externe). Osteosynthesen, die Synarthrosen überbrücken, wie im Bereich der Symphyse, der Iliosakralfuge, des Lisfranc-Gelenks oder der distalen tibio-fibularen Syndesmose, unterliegen immer wieder der Diskussion, ob und ggf. wann man sie entfernen soll.

Im Bereich der Knöchelsyndesmose differieren die Lehrmeinungen zwischen einer generellen Entfernung einer Syndesmosen-schraube nach etwa 6 Wochen und einem generellen Belassen derselben [10, 24]. Die Befürworter einer frühen Schraubenentfernung, bevorzugt im deutschsprachigen Raum, begründen ihr Vorgehen mit möglichen Komplikationen durch gebrochene Implantate und spätere Bewegungseinschränkungen im OSG-Bereich. Dem wird v. a. im angloamerikanischen Sprachraum entgegengesetzt, dass ein frühzeitiges Entfernen einer Syndesmosen-schraube zu sekundären Syndesmoseninstabilitäten führen kann. Um Schwierigkeiten bei einem evtl. späteren Entfernen zu vermeiden, sollten die Schrauben immer durch 4 Kortizes gesetzt werden. Nur so kann ein abgebrochenes Schraubengewinde medial gefasst und entfernt werden.

Im Bereich des Lisfranc-Gelenks wird auf eine Studie verwiesen, in der die gelenkübergreifenden Implantate grundsätzlich belassen wurden [20]. In 42% der Patienten ergaben sich keinerlei Probleme, und die Implantate wurden auf Dauer belassen. In 58% der Patienten allerdings wurden lokale Schmerzen und Drucksymptome beim Schuhtragen angegeben, sodass in diesen Patienten das Implantat entfernt wurde. Eine symptomorientierte Indikation zur Metallentfernung ist daher empfehlenswert.

Das Vorgehen bei Metallentfernungen im Bereich der Synarthrosen des Beckens basiert nicht auf kontrollierten Studien. Gerade bei weiblichen Patienten im gebärfähigen Alter wird eine Metallentfer-

nung regelmäßig empfohlen, um eventuelle Geburtsschwierigkeiten wegen einer fehlenden Flexibilität des Beckenrings zu vermeiden. Auf der anderen Seite wird bei den meisten Frauen mit Zustand nach Beckenringverletzungen und Osteosynthesen zur Geburtsrisikoverminderung grundsätzlich eine Sectio durch den Gynäkologen vorgenommen.

Allergie

Nickel- und Chromallergien treten mit einer Prävalenz von 10–15% auf [15]. Die Inzidenz (Sensitivität) liegt für Chrom bei 0,2%, für Nickel bei 1,3% und für Kobalt bei 1,8%. Hinweise auf möglicherweise auftretende Implantatallergien können weitere bestehende Allergien, rote Haare oder sehr helle Haut sein. Auch sollten Patienten befragt werden, ob sie allergisch auf Kunstschmuck reagieren, bevor ein reguläres Metallimplantat verwendet wird. In allen fraglichen Situationen sollte ein Titanimplantat zur Anwendung kommen. Bisher wurden nur vereinzelte, wenngleich fragliche Titanallergien beschrieben.

Zu den Symptomen bei Metallallergie zählt v. a. ein unspezifischer Schmerz. Er muss allerdings von Schmerzen abgegrenzt werden, die aufgrund von Implantatprominenz oder Instabilität auftreten können. Der unspezifische Schmerz bei Metallallergie verschwindet typischerweise sofort und vollständig nach Metallentfernung. Ob ein erhöhtes Implantatversagen bei Metallallergie vorliegt, ist nicht bekannt und damit auch kein Argument für eine Metallentfernung.

Kanzerogenität

Eine Assoziation von Metallimplantaten und Tumoren hat sich aus Tierstudien ergeben [7]. Grundsätzlich werden dabei 2 Mechanismen als Erklärung für die Kanzerogenität angegeben:

- Metallionen binden an die DNA.
- Durch Metallionen werden die DNA oder die Proteinsynthese verändert.

Da aber eine Bindung reversibel ist, müssen andere Mechanismen eine Rolle spielen. Hier wird diskutiert, dass durch Korrosion frei werdende Radikale eine kanzerogene Wirkung haben könnten. Ins-

gesamt sind aber kaum mehr als 30 Patientenfälle in der Literatur dazu bekannt. Eine schwedische Studie mit 117.000 Patienten mit Endoprothesen ergab dabei kein generell erhöhtes Tumorrisiko. Allerdings fanden die Autoren einen leichten Anstieg bei Prostatakarzinom, Melanom, multiplem Myelom und Blasenkarzinom. Beim Magenkarzinom kam es sogar zu einer herabgesetzten Tumorrare.

Zusammenfassend muss man feststellen, dass es keinen festen Anhalt dafür gibt, eine Metallentfernung wegen Kanzerogenität durchzuführen.

Metalldetektor

Die zunehmende Sicherheitsüberprüfung von Reisenden an Flughäfen, aber auch in sonstigen zivilen Einrichtungen, führt immer öfter zu der Frage, inwieweit ein Metallimplantat einen Metalldetektor auslösen kann. Dies kann u. U. für Reisende zu unangenehmen Erklärungen und Reiseunterbrechungen führen. Aus dieser Sorge heraus werden Metallentfernungen von manchen Patienten gefordert.

Tatsächlich konnte in einer Studie gezeigt werden, dass Metallimplantate ab einer gewissen Größe zum Auslösen eines Metalldetektors führen [25]. Insbesondere Endoprothesen, Plattenimplantate ab einer Größe von 10 Löchern und auch intramedulläre Titannägel werden regelmäßig angezeigt. Platten mit einer Größe von weniger als 4 Löchern werden nicht im Metalldetektor wahrgenommen. Wichtig zu wissen ist, dass der Body-Mass-Index (BMI) keinen Einfluss auf das Detektorverhalten hat. Patienten sollten daher mit entsprechenden Implantatausweisen ausgestattet werden.

Eine Indikation zur Metallentfernung ist aufgrund von anschlagenden Metalldetektoren nicht gegeben.

Pädiatrische Patienten

Metallentfernungen werden bei Kindern meist routinemäßig angeboten. Gründe dafür sind ein späterer knöcherner Überbau des Implantats mit Schwierigkeiten, falls dieses später entfernt werden muss, ein Stress Shielding, das Korrosionsrisiko, mögliche Metallallergien und eine ungewisse Kanzerogenese. Au-

ßerdem bestehen Bedenken hinsichtlich Schwierigkeiten bei späterer Arthroesebehandlung (Endoprothesen) oder bei neu-erlichen Frakturen. Allerdings gibt es zu diesen Argumenten keine gesicherten Da-ten. Interessanterweise existiert eine Stu-die, bei der intramedulläre flexible Nä-gel nach Frakturheilung in situ belassen worden waren. Beschriebene Komplika-tionen bei Nagel-ME schlossen ein sep-tisches Knie und deutlich größere Zugän-ge ein [21]. Auch bei der Entfernung von Implantaten nach operativ versorgter Epi-physiolysis capitis femoris sind Komplika-tionen in bis zu 40–60% bekannt [18, 31]. Grundsätzlich findet man in den großen Operationslehren sowohl Empfehlungen für ein generelles Entfernen von Implan-taten bei Kindern als auch eine Empfeh-lung, sie bei Kindern in situ zu belassen [8], außer im Becken und proximalen Femur, wo es in der Zukunft zu Schwie-rigkeiten bei sekundären Rekonstruktio-nseingriffen kommen kann [14].

Fazit

Eine Metallentfernung wird bei Implan-tatversagen, Infektion, Pseudarthrose/ Non-Union, Weichteilkompromittierung und evtl. auch bei innerem Zwang durch-geführt. Allerdings sind ein Refrakturrisi-ko oder das Risiko einer periimplantären Fraktur kein Argument für oder gegen ei-ne Metallentfernung. Auch ist das Ergeb-nis einer Metallentfernung bei schmerz-haftem Implantat oft ungewiss. Eine mögliche Allergie (bei Titanimplantaten), eine Kanzerogenität oder Metalldetek-torenuntersuchungen stellen ebenfalls keine gesicherten Argumente für eine Implantatentfernung dar. Für die Klinik bleibt zu empfehlen, dass eine Metallentfernung nur im Bewusst-sein einer adäquaten Indikation unter re-alistischen Erwartungen durchgeführt werden sollte. Dabei müssen unnötige Kosten und mögliche Komplikationen mit in die Überlegungen einbezogen werden.

Korrespondenzadresse

PD Dr. T.A. Schildhauer

Chirurgische Klinik und Poliklinik,
BG-Universitätsklinik Bergmannsheil,
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1, 44789 Bochum
Thomas.A.Schildhauer@rub.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Beaupre GS, Csongradi JJ (1996) Refracture risk after plate removal in the forearm. *J Orthop Trauma* 10: 87–92
2. Boerger TO, Patel G, Murphy JP (1999) Is routine removal of intramedullary nails justified? *Injury* 30: 79–81
3. Bostman O, Pihlajamäki H (1996) Routine implant removal after fracture surgery: a potentially reducible consumer of hospital resources in trauma units. *J Trauma* 41: 846–849
4. Brooks DB, Burstein AH, Frankel VH (1970) The biomechanics of torsional fractures: the stress concentration effect of a drill hole. *J Bone Joint Surg Am* 52: 507–514
5. Brown OL, Dirschl DR, Obremskey WT (2001) Incidence of hardware-related pain and its effect on functional outcomes after open reduction and internal fixation of ankle fractures. *J Orthop Trauma* 15: 271–274
6. Burstein AH, Currey J, Frankel VH et al. (1972) Bone strength: the effect of screw holes. *J Bone Joint Surg Am* 54: 1143–1156
7. Busam ML, Esther JR, Obremskey WT (2006) Hardware removal: indications and expectations. *J Am Acad Orthop Surg* 14: 113–120
8. Chapman MW (2001) Principles of internal and external fixation. In: Chapman MW (ed) *Chapman's orthopaedic surgery*, 3rd edn, vol 1. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 375–376
9. Court-Brown CM, Gustilo T, Shaw AD (1997) Knee pain after intramedullary tibial nailing: its incidence, etiology, and outcome. *J Orthop Trauma* 11: 103–105
10. De Souza LJ, Gustilo RB, Meyer TJ (1985) Results of operative treatment of displaced external rotation-abduction fractures of the ankle. *J Bone Joint Surg Am* 67: 1066–1073
11. Docquier PL, Manche E, Autrique JC et al. (2002) Complications associated with gamma nailing: a review of 439 cases. *Acta Orthop Belg* 68: 251–257
12. Doderhoff RM, Dainton JN, Hutchins PM (1997) Proximal thigh pain after femoral nailing: causes and treatment. *J Bone Joint Surg Br* 79: 738–741
13. Evans NA, Evans RO (1997) Playing with metal: fracture implants and contact sport. *Br J Sports Med* 31: 319–321
14. Green NE, Swiontkowski MF (2003) *Skeletal trauma in children*, 3rd edn, vol 3. Saunders, Philadelphia, pp 388–398
15. Jacobs JJ, Goodman SB, Sumner DR et al. (2000) Biologic response to orthopaedic implants. In: Buckwalter JA, Einhorn TA, Simon SR (eds) *Orthopaedic basic science: biology and biomechanics of the musculoskeletal system*, 2nd edn. AAOS, Rosemont, pp 401–426
16. Jacobsen S, De Lichtenberg MH, Jensen CM et al. (1994) Removal of internal fixation – the effect on patients' complaints: a study of 66 cases of removal of internal fixation after malleolar fractures. *Foot Ankle* 15: 170–171
17. Juliano PJ, Yu JR, Schneider DJ et al. (1997) Evaluation of fracture predilection in the calcaneus after external fixateur pin removal. *J Orthop Trauma* 11: 430–434
18. Kahle WK (1994) The case against routine metal removal. *J Pediatr Orthop* 14: 229–237
19. Keating JF, Orfaly R, O'Brien PJ (1997) Knee pain after tibial nailing. *J Orthop Trauma* 11: 10–13
20. Kuo RS, Tejwani NC, Di Giovanni CW et al. (2000) Outcome after open reduction and internal fixation of Lisfranc joint injuries. *J Bone Joint Surg Am* 82: 1609–1618
21. Luhmann SJ, Schootman M, Schoenecker PL et al. (2003) Complications of titanium elastic nails for pediatric femoral shaft fractures. *J Pediatr Orthop* 23: 443–447
22. Mabrey JD, Wirth MA (1996) Periprosthetic fractures. In: Rockwood CA, Green DP, Buchholz RW et al. (eds) *Rockwood and Green's fractures in adults*, 4th edn, vol 1. Lippincott-Raven, Philadelphia, pp 539–603
23. McKee MD, Pedlow FX, Cheney PJ et al. (1996) Fractures below the end of locking humeral nails: a case report of three cases. *J Orthop Trauma* 10: 500–513
24. Meyer TL, Kumler KW (1989) ASIF technique and ankle fractures. *Clin Orthop* 150: 211–216
25. Obremskey WT, Austin T, Crosby C et al. (2007) Detection of orthopaedic implants by airport metal detectors. *J Orthop Trauma* 21: 129–132
26. Perren SM, Cordey J, Rahn BA et al. (1988) Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants: a reaction to necrosis, not to stress protection? *Clin Orthop* 232: 139–151
27. Romero JM, Miran A, Jensen CH (2000) Complications and re-operation rate after tension band wiring of olecranon fractures. *J Orthop Sci* 5: 318–320
28. Rosson J, Murphy W, Tonge C et al. (1991) Healing of residual screw holes after plate removal. *Injury* 22: 383–384
29. Rutkow IM (1986) Orthopaedic operations in the United States, 1979 through 1983. *J Bone Joint Surg Am* 68: 716–719
30. Smith ST, Cramer KE, Karges DE et al. (1997) Early complications in the operative treatment of patella fractures. *J Orthop Trauma* 11: 183–187
31. Swiontkowski MF (1983) Slipped capital femoral epiphysis: complications related to internal fixation. *Orthopaedics* 6: 705–712
32. Takakuwa M, Funakoshi M, Ishizaki K et al. (1997) Fracture on removal of the ACE tibial nail. *J Bone Joint Surg Br* 79: 444–445