

Beckenkammfräse – Ein Instrumentarium zur vereinfachten Gewinnung von Beckenkammtransplantaten

R. L. Stocker¹

H. Krimmer²

The Reamer – A New Instrument for Simplified Harvesting of Donor Bone from the Iliac Crest

Zusammenfassung

Die Gewinnung von Spenderknochen aus dem Beckenkamm zum Auffüllen von Defekten ist eine einfache Operation, dennoch werden in der Literatur zahlreiche Komplikationen rund um die Knochenentnahme beschrieben. Es wird hier eine Entnahmetechnik mit einem neuen Instrumentarium beschrieben, die die Morbidität der Spenderregion deutlich senkt. Die Anwendung der Beckenkammfräse modifiziert nach Krimmer wurde an 40 Patienten (Durchschnittsalter 68 Jahre) dokumentiert und die Ergebnisse mit zwölf Patienten (Durchschnittsalter 65 Jahre), die nach der konventionellen Methode operiert wurden, verglichen: Die Hautinzisionen waren im Schnitt mit 41 mm deutlich kürzer als bei der konventionellen Methode mit 79 mm, die Entnahmzeit war mit 7,6 gegenüber 18 Minuten ebenfalls deutlich kürzer. Die postoperativen Schmerzen wurden auf der visuellen analogen Schmerzskala (0 bis 100 Punkte) erhoben: Am zweiten postoperativen Tag waren die Schmerzangaben um 29 Punkte, am vierten Tag um 25 Punkte und am 12. Tag um 17 Punkte geringer als bei der Kontrollgruppe. Komplikationen wurden keine beobachtet. In der Vergleichsgruppe wurden drei Hämatome, zwei Narbendehiszenzen, ein Narbenkeloid und ein lokaler Sensibilitätsausfall beobachtet. Das neue Instrumentarium erfüllt ansatzweise die Forderungen für minimal-invasive Operationsmethoden.

Schlüsselwörter

Beckenkammfräse · Spongiosagewinnung · minimal-invasive Entnahme

Abstract

Harvesting donor bone from the iliac crest site to fill gaps in bone defects is a simple operation but there are still reports of many complications occurring in the bone harvesting process. We now describe a procedure that significantly decreases the morbidity of the donor site. Reports on the iliac crest miller modified according to Krimmer that was applied on 40 patients (average age: 68 years) afforded results that were compared with data collected from the use conventional methods (average age: 65 years). The average length of the skin incision of 41 mm was significantly shorter than the incision length recorded in connection with the conventional methods, namely 79 mm. The harvesting time was limited to 7.6 minutes instead of 18 minutes and thus was also significantly shorter. The postoperative pain as measured on the basis of a visual analogue scale (0 to 100 points) was as follows: pain records were lower than those of the control group by 29 points on the second day following the operation, by 25 points on the fourth day, and by 17 points on the 12th day following the operation. No complications were observed. In the control group there were three haematomas, two cicatricial dehiscences, one cicatricial keloid and one loss of sensibility. This new procedure fulfils the demands for a minimally invasive technique.

Key words

Bone graft · iliac crest reamer · minimal invasive technique

Institutsangaben

¹ Departement für Unfallchirurgie, Landeskrankenhaus Thermenregion Baden bei Wien

² Zentrum für Handchirurgie, Ravensburg

Korrespondenzadresse

Dr. med. Roland L. Stocker · Cottagestraße 13 · 1140 Wien · Österreich · E-mail: roland.stocker@inode.at

Eingang des Manuskriptes: 26. Februar 2006 · **Angenommen:** 1. Juni 2006

Bibliografie

Handchir Mikrochir Plast Chir 2006; 38: 334–339 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · ISSN 0722-1819 · DOI 10.1055/s-2006-924404

Einleitung

In der rekonstruktiven Chirurgie müssen häufig knöcherne Defekte aufgefüllt werden. Dazu finden einerseits Knochentransplantate, ob homogen oder autogen, andererseits Knochensatzstoffe Anwendung. Trotz der großen Fortschritte bei Letzteren ist die Verwendung von autogener, gut durchbluteter Spongiosa nach wie vor das Verfahren der ersten Wahl, der so genannte Gold-Standard [1]. Allein in Deutschland werden derzeit pro Jahr zirka 71 000 autologe Knochentransplantationen durchgeführt [7]. Die Vorteile sind allgemein bekannt und unbestritten. Von Nachteil ist, dass zur Entnahme des Spenderknochens ein weiterer operativer Eingriff nötig ist, der eine Reihe von Komplikationen nach sich ziehen kann.

Als Entnahmestellen für Spongiosa kommen mehrere Regionen infrage, abhängig unter anderem von der Menge des benötigten Knochenmaterials. Bekannt sind die Entnahmen von kleinen Mengen, wie sie zum Beispiel in der Handchirurgie benötigt werden, aus der distalen Speiche radiallyseitig und der proximalen Elle streckseitig [12].

Werden größere Mengen benötigt, bietet sich der vordere oder hintere Beckenkamm, meist einseitig, gelegentlich auch beidseitig an. Beschrieben sind auch Entnahmestellen am Trochanter major und am Schienbeinkopf [5, 7, 12].

Der Beckenkamm stellt sicher die häufigste Knochenpenderegion dar, sei es für reine Spongiosaentnahmen, sei es zur Gewinnung von kortikospongiosen Knochenteilen, so genannten strukturellen Transplantaten [7]. Der gewonnene Knochen aus dem Beckenkamm ist meist von hoher Qualität.

Obwohl die Knochenentnahme aus dem Beckenkamm eine an sich einfache Operation darstellt, wird in der Literatur dennoch eine Reihe an Komplikationen angegeben, die rund um diese Operation auftreten können [4, 6, 7]. Im Vordergrund stehen lang anhaltende Schmerzen, Nervenschäden, Nachblutungen, in einzelnen Fällen auch Beckenschaufelsprengungen. Um die Entnahme einerseits zu vereinfachen und um die Komplikationen andererseits gering zu halten, wurden schon mehrfach spezielle Meißel, verschiedene Stanzen und Fräsen entwickelt. Auch motorbetriebene Fräsen werden eingesetzt [6, 7, 13, 14].

Es wird hier ein neues Instrumentarium vorgestellt, das die Gewinnung von Spenderknochen aus dem Becken vereinfacht und gegenüber anderen Verfahren deutliche Vorteile bringt. Mit diesem Instrumentarium können kortikospongiose (bikortikale) Knochenzylinder mit einem Durchmesser von 16 mm gewonnen werden, die gerade in der Handchirurgie bei Radiuskorrekturoperationen, Sanierungen von Kahnbeinpsuedarthrosen etc. aufgrund der Größe und der hohen Festigkeit ideal zum Einsatz kommen können.

In einer Anwenderbeobachtung sollte geprüft werden, ob das neue Verfahren der Knochentransplantatgewinnung der konventionellen Art wirklich überlegen ist und worin die Vorteile bestehen.



Abb. 1 Instrumentarium mit Führungsrohr, Hohlfräse und Stößel (Fa. KLS martin group, Gebrüder Martin GmbH & Co. KG, Ludwigstaler Straße 132, 78532 Tuttlingen).

Patienten und Methode

Instrumentarium

Das Instrumentarium besteht aus insgesamt drei Teilen: einem vorne gezahnten Führungsrohr von 140 mm Länge und 20 mm Außendurchmesser mit einem Kunststoffgriff, einer Hohlfräse mit einem Außendurchmesser von 17,25 mm, Innendurchmesser von 16 mm und einer Länge von 225 mm, mit einem T-Griff aus Metall sowie einem passenden Stößel mit einer Dicke von 14 mm (Abb. 1 bis 3). Auf Wunsch ist das Instrumentarium auch in einer größeren Dimension (Innendurchmesser der Fräse 20 mm) erhältlich.

Operationstechnik

Zur korrekten Positionierung der Fräse wird eine zirka 4 cm lange Hautinzision 2 bis 3 cm unterhalb der Crista iliaca und mindestens 2 cm dorsal der Spina iliaca anterior superior gesetzt. Danach erfolgt eine sorgfältige Präparation der Subkutis, um variabel verlaufende Nervenäste zu schonen. Die der Beckenschaukel außen anliegende Muskulatur wird mit einem Raspatorium stumpf auseinandergedrängt. Das Führungsrohr wird direkt auf den Knochen aufgesetzt, und mithilfe eines Hammers werden die Dorne etwas in den Knochen vorgetrieben, um ein Abrutschen der Führungshülse zu unterbinden. Die Hohlfräse wird in das Führungsrohr eingesetzt und durch kontinuierliches Drehen vorgeschoben (Abb. 4). Sobald der Widerstandverlust auftritt, hat die Fräse die innen liegende Kortikalis durchtrennt. Der Knochenzylinder verbleibt in der Fräse und kann somit nach einigen weiteren Drehungen problemlos geborgen werden. Der gewonnene Zylinder wird mit dem Stößel aus der Fräse herausgestoßen und kann entsprechend weiter verarbeitet werden. Der gewonnene Knochenzylinder ist bikortikal, seine Länge hängt naturgemäß von der Stärke der Beckenschaukel ab (Abb. 5 und 6). Aufgrund der Verdichtung des Knochens kommt es nur zu einer unwesentlichen Blutung aus der Beckenschaukel. Bei Bedarf können durch dieselbe Hautinzision durch Verschieben der Weichteile noch weitere Zylinder entnommen werden (Abb. 7). Die Fräse wird händisch betrieben, ein spezielles Motorsystem wird nicht benötigt.



Abb. 2 Instrumentarium zusammengesetzt.



Abb. 3 Detailansicht.



Abb. 4 Fräse *in situ*.

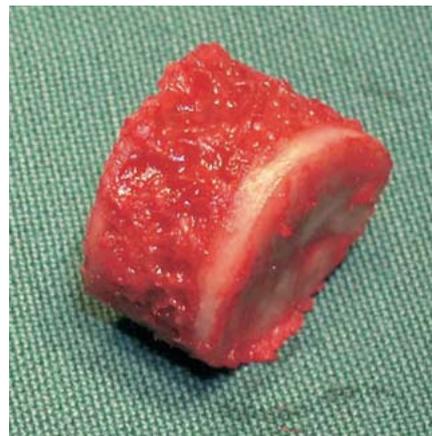


Abb. 5 Gewonnener kortikospongiöser Knochenzylinder.

Patientengut

Das neue Instrumentarium wurde bei 40 Patienten eingesetzt und entsprechend dokumentiert. Es waren dies vorwiegend Frauen (33 Frauen, 7 Männer) mit einem Durchschnittsalter von 68 (16 bis 92) Jahren. Bei 37 Patienten war eine Knochentransplantation aufgrund von Knochenbrüchen mit Defektzuständen notwendig, bei den restlichen Patienten lagen Defekte nach Tumorausräumungen vor.

Die Kontrollgruppe bestand aus zwölf Patienten (neun Frauen, drei Männer) mit einem Durchschnittsalter von 65 (32 bis 78) Jahren; bei vier Patienten war die Knochentransplantation aufgrund von Knochenbrüchen mit Defektzuständen notwendig, sechsmal wurde die Transplantation zum Zwecke einer Pseudarthrosenbehandlung nötig, zweimal lag ein Knochendefekt nach Tumorentfernung vor.

Ein Hämostyptikum wurde in der Gruppe der mittels Beckenfräse Operierten lediglich in drei Fällen verwendet, eine Drainage in zwei Fällen. Bei Knochenentnahmen nach konventioneller Methode wurden in unserem Hause planmäßig sowohl ein Hämostyptikum als auch eine Drainage verwendet. Die Drainage wurde jeweils am zweiten postoperativen Tag entfernt, die Nähte

um den 12. Tag. Lokale Analgesien mit Bupivacain wurden in unserem Hause nicht durchgeführt.

Alle Operationen wurden in Allgemeinnarkose durchgeführt.

Ergebnisse

Die Länge der Inzisionen betrug in der Gruppe der mittels Beckenkammfräse Operierten im Mittel 41 mm, die Entnahmezeit (Schnitt-Naht-Zeit) im Schnitt 7,6 Minuten (6 bis 9 Minuten, dokumentiert im Anästhesieprotokoll).

In der Vergleichsgruppe waren Schnittlängen von 64 mm bei schlanken und bis zu 97 mm bei adipösen Patienten (im Schnitt 79 mm) zu beobachten. Die Entnahmezeit betrug im Schnitt 18 Minuten (11 bis 23 Minuten).



Abb. 6 Zylinder en bloc, durch dorsalen Zugang bei einer Trümmerfraktur der distalen Speiche eingesetzt.



Abb. 7 Computertomographie des Beckens nach Entnahme von zwei Zylindern.

Die Schmerzen wurden am 2., 4. und 12. postoperativen Tag sowie im Rahmen der Nachuntersuchung nach drei Monaten mittels einer visuellen analogen Schmerzskala (VAS, Einteilung 0 bis 100 Punkte) erhoben. In der Gruppe der mittels Beckenkammfräse Operierten wurden am zweiten Tag im Schnitt 28/100, am vierten Tag 17/100 und am 12. Tag 10/100 Punkte erhoben. In der Kontrollgruppe wurden mit 56/100 am zweiten Tag, 42/100 am vierten Tag und 27/100 am 12. Tag deutlich höhere Werte ermittelt (Tab. 1).

In der Patientengruppe, bei der der Spenderknochen mittels Beckenkammfräse gewonnen wurde, wurden keine Wundheilungsstörungen, Serome oder Hämatome beobachtet. Bei der Nachuntersuchung nach drei Monaten waren alle Patienten schmerzfrei und mit dem kosmetischen Ergebnis ausnahmslos zufrieden. Vier Frauen gaben eine leichte Wetterfühligkeit an, bei einer Patientin konnte ein etwa 3 × 4 cm großer Sensibilitätsausfall nachgewiesen werden, auf den sie erst während der Nachuntersuchung aufmerksam wurde und der sie subjektiv in keiner Weise störte.

Tab. 1 Vergleich der Schmerzangaben der Patienten, erhoben auf einer 100-teiligen VAS

Gruppe/ postoperativer Tag	Beckenkammfräse	konventionell
2.	28 (± 6)	56 (± 12)
4.	17 (± 5)	42 (± 9)
12. (± 2)	10 (± 2)	27 (± 5)

In der Vergleichsgruppe (n = 12) ist es bei zwei Patienten zum Auftreten von punktionswürdigen Hämatomen beziehungsweise Seromen (eine Patientin musste dreimal punktiert werden) gekommen, obschon alle konventionell operierten Patienten sowohl ein Hämostyptikum als auch eine Wunddrainage für zwei Tage erhalten hatten. Zwei Patientinnen gaben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung mäßige Dauerschmerzen (VAS 16/100 beziehungsweise 10/100) an, vier Patientinnen gaben Wetterfühligkeiten an, drei Patientinnen boten einen Sensibilitätsausfall von etwa Handtellergröße, bei einer Patientin war ein Narbenkeloid zu verzeichnen, das jedoch nicht revidiert werden musste, zwei adipöse Patientinnen boten Narbendehiszenzen.

Diskussion

Die Entnahme von Knochen aus dem Beckenkamm stellt nach wie vor die gebräuchlichste Art der Gewinnung von Spenderknochen dar. Bei der konventionellen Methode wird der Hautschnitt entlang des Beckenkammes, eventuell unter Verschieben der Haut, durchgeführt. Damit soll die Schädigung des N. cutaneus femoris lateralis vermieden werden. Die Schnittlänge kann bei schlanken Patienten kurz gehalten werden, bei adipösen Patienten muss sie unter Umständen 8 bis 10 cm lang sein. Jäger und Mitarb. [7] geben als Standard eine Schnittlänge von zirka 8 cm an, führen aber auch standardisierte Erweiterungen dieser Schnitte an, so die Schnittführungen nach Judet, nach Letournel und die nach Smith-Peterson. Die subkutan verlaufenden Nervenäste sollen geschont werden. Die Faszie wird durchtrennt und die Muskulatur abgeschoben. Dann wird unter türflügelartiger Abhebung des Beckenkamms, mit einem einfachen Meißel, einem Hohlmeißel, einem Hohlbohrer oder einer Kürette Knochen entnommen, der abgehobene Deckel wird wieder zurückgeschlagen und – gegebenenfalls nach Einbringen einer Drainage – die Wunde verschlossen [4]. Einige Autoren geben auch die Verwendung von Knochenwachs zum Abdichten von stärker blutenden Vasa nutritia sowie die Einbringung eines Kollagen-I/III-Schwammes als zusätzliches Hämostyptikum an [7]. Der Vorteil der konventionellen Methode der Spenderknochenentnahme besteht darin, neben spongiosen Material, das eine gute Modellierbarkeit aufweist, auch größere kortikospongiose, bi- und trikortikale Späne und Keile, so genannte strukturelle Transplantate, entnehmen zu können [1, 7, 12].

Als Nachteil wird von vielen Patienten ein meist lang anhaltender, sehr belastender Schmerz an der Entnahmestelle trotz größter Sorgfalt bei der Entnahme angegeben, der in bis zu 29% der

Fälle zu beobachten ist, ganz gleich, ob ein vorderer oder ein hinterer Zugang gewählt wurde [6–8,15]. Nicht selten führen diese persistierenden Schmerzen zu einer Verlängerung der Hospitalisationsdauer [7]. In diese Gruppe fallen sowohl direkte Narbenschmerzen als auch Schmerzen, die von einer Verletzung größerer Nerven herrühren, allen voran des Ramus cutaneus anterior des N. iliohypogastricus, des R. lateralis des N. subcostalis, aber auch des N. cutaneus femoris lateralis, die beim sog. vorderen Zugang verletzt werden können, wobei die Verletzungen der Nerven mitunter auch komplette Sensibilitätsausfälle umschriebener Regionen, Parästhesien und Meralgien nach sich ziehen können [4,7,10,12]. Ursache für die leichte iatrogene Verletzung dieser Nerven ist mitunter eine große Zahl von Varianten der einzelnen Nerven. Bereits 1885 wurde die Verletzung des N. cutaneus femoris lateralis durch den deutschen Chirurgen Werner Hager beschrieben. Erbil und Mitarb. [2] beschreiben bei der Präparation von 28 Leichen gleich mehrere Variationen dieser Nerven, die zudem auch nicht symmetrisch auftraten, sondern auf der rechten beziehungsweise linken Körperseite weitere Eigenheiten aufwiesen. Um die postoperativen Schmerzen zu reduzieren, werden in der Literatur regionale Analgesien mit Bupivacain mit einem Morphinzusatz angegeben [7].

Eine weitere häufige Komplikation stellt die Hämatombildung dar. Wenngleich einzelne Autoren ein Auftreten eines Hämatoms in einer Häufigkeit von unter 1% der Fälle angeben [5], so finden sich in Übersichtsarbeiten immerhin auch Angaben von über 10% [15]. Auch sind mehrfach, insbesondere bei Zugängen zum hinteren Beckenkamm, arterielle Blutungen beschrieben, die durch die Retraktion der Gefäße beziehungsweise den Muskelzug nur schwer zu stillen waren [15]. Dokumentiert sind auch Fälle mit Verletzung der Arteria glutea superior [8,9].

In Einzelfällen sind Verletzungen der Ureteren beschrieben worden, die durch Elektrokauterisation von Gefäßen verursacht worden sind [15].

Bei größeren Knochenentnahmen wurden in etwa 5% der Fälle Herniationen beschrieben [15]. Nocini und Mitarb. [11] berichten in einer Übersichtsarbeit von insgesamt 37 Fällen, 25 bei vorderen Zugängen, zwölf bei hinteren Zugängen, bei denen es durch die Entnahme von Knochen mit Hammer und Meißel zu Brüchen des Beckenringes gekommen ist; vier von diesen mussten chirurgisch angegangen werden. Fernando und Mitarb. [3] berichten von einem komplexem Beckenbruch nach Knochenentnahme aus einem hinteren Zugang mit ausbleibender Knochenbruchheilung und aufwändiger späterer Pseudarthrosensanierung bei einer Patientin mit steroid-induzierter Osteoporose.

Die Zahl der auftretenden Infektionen im Spenderareal ist mit unter 1% gering, jedoch dennoch nicht zu vernachlässigen. Insbesondere bei insuffizienter Operationstechnik und bei immunsupprimierten oder unterernährten Patienten besteht ein erhöhtes Infektionsrisiko [7,8].

Um die Komplikationsrate zu minimieren, wurden bereits früher Instrumente für spezielle Indikationen entwickelt. So geben zum Beispiel Sándor und Mitarb. [13,14] eine motorbetriebene Fräse an, mit der über eine zirka 1 cm lange Hautinzision 4 mm dünne, monokortikale Knochenzylinder von bis zu 38 mm Länge aus

dem vorderen Beckenkamm gewonnen werden können, die in der maxillofazialen Chirurgie zum Einsatz kommen. Die Morbidität bei dieser minimal-invasiven Entnahmetechnik ist ausgesprochen gering, der Einsatz des gewonnenen Materials jedoch nur gewissen, speziellen Indikationen vorbehalten.

Mit dem neuen, hier vorgestellten Instrumentarium wird der Spenderknochen knapp unterhalb der Crista iliaca gewonnen, das heißt, der Beckenkamm selbst bleibt unangetastet. Somit fällt eine spätere Irritation der Narbe durch Kleidungs- beziehungsweise Gürteldruck gänzlich weg. Das Entnahmeprinzip selbst mit Gewinnung des Knochens unterhalb des Beckenkammes ist nicht neu. Bereits 1989 wurde von William und Mitarb. die Entnahme über eine Fenestrierung der Beckenschaukel knapp unterhalb der Crista angegeben, derart, dass der Beckenkamm selbst intakt bleibt [8].

Das hier vorgestellte Instrumentarium kam in unserem Krankengut in schon mehr als 200 Fällen ohne nennenswerte Komplikationen zur Anwendung. Vierzig aufeinander folgende Entnahmen wurden eingehend dokumentiert und einer Gruppe von zwölf Knochenentnahmen aus dem vorderen Beckenkamm, die parallel dazu auf konventionelle Art in unserem Hause durchgeführt wurden, gegenübergestellt. Die Handhabung des Instrumentariums bedarf keiner großen Einschulung.

Die Länge des Hautschnittes ist bei diesem Verfahren unabhängig von der Körperfülle des Patienten und ergibt sich aus dem Umfang des Führungsrohres. Bei Bedarf können über die eine Hautinzision durch Verschieben der Weichteile auch mehrere Knochenzylinder gewonnen werden. Im beobachteten Krankengut war der Hautschnitt in der Regel 41 mm lang und erfüllt somit zum Teil die Anforderungen von minimal-invasiven Techniken (MIT), während in der Vergleichsgruppe Schnittlängen von 64 bis 97 mm (durchschnittlich 79 mm) zu beobachten waren.

Alle Entnahmestellen heilten reizlos ab. Die Nähte wurden am 12.(±2) Tag im Rahmen der Nahtentfernung der Primäroperation entfernt. Die Schmerzen wurden anhand einer visuellen Analogskala (VAS) mit einer Skalierung von 0 bis 100 erhoben und wurden am zweiten und am vierten postoperativen Tag sowie am Tag der Nahtentfernung (= 12. postoperativer Tag) dokumentiert.

In der Gruppe der mittels Beckenkammfräse Operierten waren die subjektiven Schmerzangaben auf der 100-Punkte-VAS am zweiten postoperativen Tag um 28 Punkte, am vierten Tag um 25 Punkte und am Tag der Nahtentfernung um 17 Punkte niedriger als in der Gruppe der konventionell Operierten (Tab. 1).

Schlussfolgerung

Die Indikationen für den Einsatz des Instrumentariums zum Heben des Spenderknochens aus der Beckenschaukel sind vielfältig. Die gewonnenen, bikortikalen Knochenzylinder bieten sich aufgrund ihrer Größe und Festigkeit ideal zur Sanierung von Pseudarthrosen und Defektbrüchen an, allen voran von Kahnbeinpseudarthrosen, von Speichentrümmerfrakturen und bei Speichenkorrekturoperationen. Das gewonnene Knochenmate-

rial kann aber auch nach entsprechender Weiterverarbeitung zur Sanierung von Defekten nach verschiedensten Knochenpathologien verwendet werden.

Die neue Fräse bietet eine Reihe von Vorteilen: Die Inzision kann sehr klein gehalten werden, Irritationen des N. cutaneus femoris lateralis unterbleiben in der Regel zur Gänze (bis dato noch kein beobachteter Fall), die postoperativen Schmerzen sind gegenüber der konventionellen Methode deutlich vermindert, die Nachblutung aus der Entnahmestelle ist minimal, der Spenderknochen kann in kürzester Zeit gewonnen werden, die Handhabung des Instrumentariums ist einfach, und auf ein motorbetriebenes System kann verzichtet werden. Die hier vorgestellte Technik erfüllt ansatzweise die Anforderungen an eine minimal-invasive Technik mit verringerter Morbidität.

Literatur

- ¹ Behairy YM, Al-Sebai W: A modified technique for harvesting full-thickness iliac crest bone graft. *Spine* 2001; 26: 695–697
- ² Erbil KM, Sargon FM, Sen F, Öztürk H, Tascioğlu B, Yener N, Özozan VÖ: Examination of the variations of lateral femoral cutaneous nerves: Report of two cases. *Anat Sci Int* 2002; 77: 247–249
- ³ Fernando TL, Kim SS, Mohler DG: Complete pelvic ring failure after posterior iliac bone graft harvesting. *Spine* 1999; 24: 2101–2194
- ⁴ Hoffmann R: Knochentransplantatentnahme. In: Hoffmann R (Hrsg): *Checkliste Handchirurgie*. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag, 1999: 273–274
- ⁵ Holz U, Weller S, Borell-Kost S: Indikation, Technik und Ergebnisse der autogenen Knochentransplantation. *Chirurg* 1982; 53: 219–224
- ⁶ Holzmüller W, Prokop A, Rehm KE: Gewinnung autologer Spongiosa mit einem neuen Instrumentarium. *Operat Orthop Traumatol* 1995; 7: 208–210
- ⁷ Jäger M, Westhoff B, Wild A, Krauspe R: Knochenspanentnahme am Becken. *Techniken und Probleme*. *Orthopäde* 2005, 34: 976–994
- ⁸ Kurz LT, Garfin SR, Booth RE: Harvesting autogenous iliac bone grafts. A review of complications and techniques. *Spine* 1989; 14: 1324–1331
- ⁹ Lim EVA, Lavadia WT, Roberts JM: Superior gluteal artery injury during iliac grafting for spinal fusion. A case report and literature review. *Spine* 1996; 21: 2376–2378
- ¹⁰ Massey EW: Meralgia paresthetica secondary to trauma of bone graft. *J Trauma* 1980; 20: 342–343
- ¹¹ Nocini PF, Bedogni A, Valsecchi S, Trevisiol L, Ferrari F, Fior A, Saia G: Fractures of the iliac crest following anterior and posterior bone graft harvesting. Review of the literature and case presentation. *Minerva Stomatol* 2003; 52: 441–452
- ¹² Pechlaner S, Hussl H, Kerschbaumer F: *Operationsatlas Handchirurgie*. Stuttgart: Thieme Verlag, 1998: 355, 389–393, 421–430
- ¹³ Sándor GK, Nish IA, Carmichael RP: Comparison of conventional surgery with motorized trephine in bone harvest from the anterior iliac crest. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 150–155
- ¹⁴ Sándor GK, Rittenberg BN, Clokie CML, Caminiti MF: Clinical success in harvesting autogenous bone using a minimally invasive trephine. *J Oral Maxillofac Surg* 2003; 16: 164–168
- ¹⁵ Seiler JG, Johnson J: Iliac crest autogenous bone grafting: Donor site complications. *J South Orthop Assoc* 2000; 9: 91–97