

Fettembolie bei der Hüftendoprothesenimplantation

Zementfrei gegen zementiert – ein quantitativer In vivo-Vergleich im Tiermodell

Zusammenfassung

Thrombembolische Komplikationen, die das Fettemboliesyndrom miteinschließen, sind bekannte und gefürchtete Auswirkungen der zementierten und zementfreien femoralen Hüftprothesenimplantation. Bei beiden Verankerungstechniken konnten klinisch und experimentell thrombembolische Phänomene nachgewiesen werden. Eine exakte Quantifizierung der entstehenden Fettemboli war bisher jedoch nicht durchgeführt worden.

In einem standardisierten Tiermodell untersuchten wir an 15 Merino-Schafen die Fettembolie im Gefäßsystem während bilateraler simultaner Hüftendoprothesenimplantation (zementfrei gegenüber zementiert). Nach identischer Markraumpräparation wurde auf der zementierten Seite zusätzlich ein Zementrestriktor eingebracht und der Kanal mit 250 ml Jetlavage gespült. Durch Katheter in den Vv. iliaca externa wurde nach Markraumpräparation und während Prothesenimplantation das zum Herz zurückfließende Blut in 2 Sammelphasen entnommen und auf seinen Fettgehalt untersucht.

Die signifikanten Ergebnisse zeigten, dass die zementierte (2,2749 g; $S = \pm 1,0079$) im Gegensatz zur zementfreien (1,1586 g; $S = \pm 0,4555$) Implantation eine doppelt so hohe Fettembolie in das venöse Drainagesystem des Femurs hervorrief ($p=0,0002$). Bei der zementierten Implantation konnte ein deutlicher Einfluss der Zementrestriktorapplikation bei der Markraumpräparation festgestellt werden;

8 von 13 ausgewerteten Tieren zeigten ein durch die Restriktorapplikation ausgelöstes Maximum der Fettembolie.

Unsere Ergebnisse betonen die Wichtigkeit der sorgfältigen Markraumpräparation v. a. bei der zementierten Verankerungsweise. Die Jetlavage, deren Anwendung als Standard bei der Implantation von zementierten Hüftendoprothesen anzusehen ist, sollte hierbei bereits vor Zementrestriktorapplikation zum Einsatz kommen, um schon zu diesem Zeitpunkt eine Reduktion der intramedullären Fettbestandteile herbeizuführen.

Schlüsselwörter

Hüfttotalendoprothese · Zementfrei · Zementiert · Fettembolie · Zementrestriktor

Bei der Implantation einer Hüftendoprothese im Femurbereich muss der Operateur zwischen der zementierten und der zementfreien Verankerung des Implantats wählen [5]. Auch wenn v. a. in den deutschsprachigen Ländern und den USA der Anteil der zementfreien Prothesen im Schaftbereich deutlich zugenommen hat, ist in Großbritannien und Skandinavien aufgrund der guten Langzeitergebnisse immer noch die zementierte Implantation vorherrschend [27]. Ein Vergleich der Resultate beider Verfahren anhand der Überlebensraten ist zzt. noch schwierig, da sich die Nachuntersuchungszeiträume der zement-

freien Endoprothesen aufgrund der kürzeren Anwendungszeit nur in Einzelfällen mit der etablierten zementierten Implantation messen können. Die vergleichenden Ergebnisse der skandinavischen Register nach bis zu 10 Jahren zeigen jedoch, dass sich mit beiden Verfahren, eine korrekte Indikation und Implantation vorausgesetzt, gute Resultate erzielen lassen [18, 27, 35]. Als Hauptkomplikation beider Verfahren wird die aseptische Lockerung oft als Diskussionsgrundlage angenommen, aber auch septische Lockerungen, Dislokationen und Materialversagen können zu einer Revision führen [27].

Thrombembolische Komplikationen, die das Fettemboliesyndrom mit einschließen, spielen ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Rolle [3, 19, 33]. Im Rahmen der zementierten Schaftimplantation wurde das schon vor >30 Jahren erkannt und erforscht [4, 24, 25]. Moderne Zementiertechniken, welche die Anwendung eines Markraumstoppers [28], einer proximalen Zementkompression [26] und die retrograde Zementapplikation [17] beinhalten, haben zu einer verbesserten Verzahnung des Zements im Knochen geführt [1, 16, 26]. Bei

© Springer-Verlag 2003

Priv.-Doz. Dr. S.J. Breusch
Stiftung Orthopädische Universitätsklinik,
Schlierbacher Landstraße 200a,
69118 Heidelberg,
E-Mail: steffen.breusch@urz.uni-heidelberg.de

C. Heisel · H. Mau · T. Borchers · J. Müller
S. J. Breusch

Fat embolism during total hip arthroplasty. Cementless versus cemented – a quantitative in vivo comparison in an animal model

Abstract

Thrombembolic complications, which include the fat embolism syndrome, are well-known consequences of cementless and cemented femoral total hip replacement. Thrombembolic phenomena have been demonstrated in clinical and experimental situations with both these fixation techniques, but so far no exact quantification of the intravasated fat emboli has been performed. In a standardized animal model in 15 Merino sheep we investigated the intravasation of fat into the bloodstream during simultaneous bilateral prosthetic implantation (cemented versus cementless). After identical preparation of the intramedullary canal on both sides, a cement restrictor was additionally inserted on the cemented side and the canal was cleaned by 250 ml jet lavage. Catheters in the external iliac veins made it possible to collect the drained blood in two phases, after preparation of the intramedullary canal and during insertion of the prosthesis, and the fat content of these blood samples was measured.

The amount of fat that passed into the venous draining system of the femur induced by cemented implantation (2.2749 g; $S=\pm 1.0079$) was twice the amount seen with cementless implantation (1.1586 g; $S=\pm 0.4555$) ($P=0.0002$). An obvious effect of the canal preparation was recognizable with the cemented implantation, 8 of the 13 animals evaluated showing a peak in the fat intravasation caused by application of the cement restrictor.

Our results emphasize the importance of a thorough preparation of the intramedullary canal, particularly when cemented fixation is performed. The jet lavage, which should be considered mandatory standard in cemented total hip arthroplasty, should be implemented before the insertion of the cement restrictor in order to further reduce the risk of fat embolism.

Keywords

Total hip replacement · Cementless · Cemented · Fat embolism · Cement restrictor

Originalien

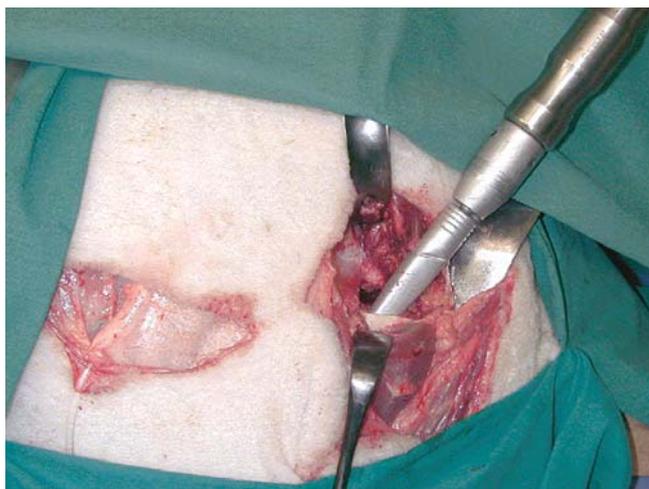


Abb. 1 ◀ Zementfreie Implantation einer Custom-made-Prothese. Links: heparinierter Katheter in der V. iliaca externa

der Anwendung dieser Verfahren kommt es jedoch zu einer Erhöhung des intramedullären Druckes während der Implantation [30, 36] und damit zu einer Erhöhung des Risikos für thrombembolische Komplikationen [4, 25, 32].

Auch bei der zementfreien Verankerung wurde in der jüngeren Vergangenheit das Risiko thrombembolischer Komplikationen erkannt, auch wenn diese hier mit einer geringeren Inzidenz auftreten [12, 21, 23, 32].

In einem standardisierten Tiermodell, in dem wir schon die Auswirkungen der Jetlavage [9] oder der Zementviskosität [8] auf das Einschwemmen von Fett- und Knochenmarkdebris in die Blutbahn evaluiert haben, untersuchten wir quantitativ vergleichend die Fetteinschwemmung bei der simultanen Implantation einer zementierten und einer zementfreien Endoprothese.

Material und Methoden

Es wurden 15 ausgewachsene, weibliche Merino-Schafe operiert, nachdem an einem weiteren Schaf im Vorversuch die operative Vorgehensweise validiert und perfektioniert wurde. Alle Tiere waren zwischen 2 und 3 Jahre alt und wogen zwischen 60–90 (durchschnittlich 75) kg. Bilateral wurde den Tieren jeweils eine zementfreie und eine zementierte Prothese implantiert und das zum Herz zurückfließende Blut auf seinen Fettgehalt hin untersucht.

Operative Vorgehensweise

Zunächst wurden die Hüftgelenke bilateral in Seitenlage durch transgluteale

Zugänge dargestellt und die Gelenkkapsel exzidiert. Durch retroperitoneale Zugänge wurden anschließend heparinisierte Katheter in die Vv. iliaca externae zum Sammeln des Blutes eingebracht (Abb. 1). In Bauchlage erfolgte dann die weitere Durchführung des Versuchs.

Markraumpräparation

Randomisiert wurde eine Seite der zementierten und die kontralaterale Seite der zementfreien Implantation zugeordnet. Die Präparation des Markraums erfolgte für jede Seite separat. Nach Schenkelhalsosteotomie wurde die Markhöhle mittels eines 8-mm-Bohrers eröffnet. Anschließend erfolgte die Präparation des Markraums mit einer flexiblen Kunststofffahle zur groben Entfernung der intramedullären Bestandteile. Dann wurde der Markkanal mit einer Raspel bearbeitet und die proximale Spongiosa entfernt. Auf der zementierten Seite wurde zusätzlich ein Zementrestrictor aus Gelatine (IMSET, Fa. Aesculap, Tuttlingen) appliziert. Mit dem zugehörigen Instrumentarium wurde die korrekte Größe des femoralen Kanals bestimmt und dann ein Markraumstopper in Übergröße eingebracht (z. B. Kanaldurchmesser 12 mm → Zementrestrictor 14 mm). Auf der zementierten Seite erfolgte dann die Spülung des Markraums mit 250 ml Kochsalzlösung mittels Jetlavage (Fa. Mebio, Dieburg).

Sammelphase 1

Nach Abschluss der Markraumpräparation wurden die venösen Katheter kurzzeitig geöffnet und das abfließende Blut

Tabelle 1

Gesamtfettmengen (in g) der Versuchstiere auf der zementiert und zementfrei implantierten Seite

Tiernummer	Fettmenge Seite zementiert	Fettmenge Seite zementfrei
1	1,121	0,9215
2	2,323	0,9736
3	1,3787	0,7244
4	4,6572	1,1805
5	2,2359	0,9022
6	1,2586	0,7415
7	2,2682	0,8183
8	1,3729	0,9581
9	1,7842	1,358
10	3,195	1,3589
11	1,8442	1,4538
12	3,0925	1,23
13	3,0423	2,4404
Total	29,5737	15,0612
Mittelwert	2,2749	1,1586
S	1,0079	0,4555

in 50-ml-Röhrchen (Fa. Greiner, Heidelberg) zur Fettanalyse gesammelt. Nach Füllung von 3 Röhrchen wurden die Katheter wieder verschlossen und die Prothesenimplantation vorbereitet.

Implantation

Die Prothesen waren speziell für diesen Versuch in 4 verschiedenen Größen aus Aluminium gefertigt worden. Nach Auswahl der korrekten Prothesengröße anhand des während der Präparation ausgemessenen Markraumdurchmessers erfolgte die gleichzeitige bilaterale Implantation (s. Abb. 1).

Auf der zementfreien Seite wurde die größtmögliche Prothese „press-fit“ eingebracht. Hierzu wurde ein spezielles Einschlaginstrumentarium zur Standardisierung der Implantation verwendet. Über einen Führungsstab wurde ein Gewicht (650 g) immer aus der gleichen Höhe (50 cm) fallen gelassen. Dieses Vorgehen wurde 5-mal wiederholt. Hatte die Prothese dann noch nicht die gewünschte Sitzfestigkeit erreicht, wurden bis zu 5 weitere Einschläge ausgeführt. Auf der kontralateralen Seite wurde die Prothese eine Größe kleiner gewählt, um einen suffizienten Zementmantel zu gewährleisten.

Für die zementierte Implantation wurde Knochenzement (Palacos®, Fa. Merck, Darmstadt) für 30 s unter Vakuum gemischt und nach 5 min mittels Zementpistole retrograd appliziert. Nach 7 min wurden an beiden Femora die Prothesen simultan implantiert. Die zementierte Prothese wurde manuell in die mit Zement gefüllte Markhöhle eingebracht.

Sammelphase 2

Anschließend wurden die bilateral eingebrachten Venenkatheter erneut geöffnet und das abfließende Blut kontinuierlich gesammelt bis der Blutfluss sistierte. Der hierdurch entstehende Volumenverlust wurde durch Flüssigkeitszufuhr in einen zentralen Venenkatheter ausgeglichen und damit der Blutdruck stabil gehalten. Nach Tötung der Tiere wurden die Femora entnommen und Röntgenbilder zur Bestätigung der korrekten Prothesenimplantation angefertigt.

Quantitative Fettanalyse der Blutproben

Um eine quantitative Fettmengenbestimmung der Blutproben durchführen zu können, wurden die Probenröhrchen zur Sedimentation der zellulären Blutbestandteile zunächst 2–3 Tage in aufrecht stehender Position bei 4°C gelagert. Dann wurden die zellulären Bestandteile aus der Probe abpipettiert. Die eigentliche Fettextraktion erfolgte im nächsten Schritt mittels Zugabe eines Gemisches aus Chloroform und Methanol (2:1), welches die Probe in 2 Phasen trennte. Die untere Fraktion, welche die gelösten, fettigen Bestandteile enthielt, wurde dann in ein vorgewogenes Plastikröhrchen abpipettiert. Nach Abdampfen des Chloroforms wurde das im Röhrchen zurückgebliebene Fett mit einer Präzisionswaage gravimetrisch bestimmt, indem das vorher ermittelte Leergewicht vom Röhrchenendgewicht subtrahiert wurde.

Statistische Analyse

Als Kennwerte werden arithmetisches Mittel und Standardabweichung der beiden Messwertreihen und ihre Differenz angegeben. Für die Analyse der im intraindividuellen Seitenvergleich ermittelten Werte wurde der t-Test für abhän-

gige Messungen (paired samples t-test) verwendet.

Ergebnisse

Von den 15 operierten Tieren gingen 13 in die Auswertung ein; 2 Tiere wurden ausgeschlossen, da es auf der zementierten Seite zu einem vorzeitigen Sistieren des Blutflusses aus der V. iliaca externa kam und so nicht ausreichend Blutproben gesammelt werden konnten.

Bei allen Tieren ließ sich, im Vergleich zur zementfreien Implantation, in den Proben der zementierten Seite eine größere Gesamtfettmenge nachweisen (Tabelle 1). Die mittlere Fetteinschwemmung in der zementierten Gruppe betrug 2,2749 g ($S = \pm 1,0079$). Dagegen belief sich die mittlere Fetteinschwemmung in der zementfreien Gruppe auf 1,1586 g ($S = \pm 0,4555$). Der Unterschied zwischen den zementiert und zementfrei verankerten Prothesen war signifikant ($p=0,0002$).

Alle Proben auf der zementfreien Seite beinhalteten innerhalb einer Probenfolge ungefähr gleiche Mengen an Fett. Anders verhielt es sich bei den gesammelten Proben auf der zementierten Seite. Bei 10 der 13 Tiere ließen sich ein oder mehrere charakteristische Peaks in der Fetteinschwemmung feststellen.

Die Abb. 2 zeigt exemplarisch den Fetteinschwemmungsverlauf eines Versuchstieres. Hier hebt sich der Fettgehalt der Proben 1 und 4 deutlich vom Fettgehalt der anderen Proben ab. Somit konnte eine Einteilung nach dem Zeitpunkt der Fetteinschwemmungsmaxima auf der zementierten Seite vorgenommen werden (s. Tabelle 2). Die Proben 1–3 entsprechen den Blutproben, die nach der Markraumpräparation (und auf der zementierten Seite nach Zementrestriktorimplantation) entnommen worden sind. 8 von 10 Tieren mit Fettmaximum zeigten mindestens einen ihrer Peaks in den ersten 3 Proben. Ab Probe 4 handelt es sich um Blutproben, die nach Implantation der Prothesen entnommen worden sind.

Diskussion

Thrombembolische Komplikationen im Rahmen einer Hüfttotalendoprothesenimplantation sind bekannt und relativ häufig [3, 19, 34, 38]. In der Literatur wird, abhängig von dem jeweiligen Diagnose-

Tabelle 2

Fetteinschwemmungsmaxima auf der zementierten Seite der Versuchstiere

Schaf-Nr.	Kein Peak	Fett-Peak bei Probe Nr. 1–3	Fett-Peak bei Probe Nr. 4–10	Fett-Peak bei Probe Nr. <10
1	X			
8	X			
11	X			
2		1	4	12
3		1	4	
4		1	4	
5		1	5	
6		3		
7		1		10
9			7	
10		1	6	
12			6	
13		3		18

verfahren, eine Inzidenz von tiefen Beinvenenthrombosen von 0–77% und von Lungenembolien von 0–33% berichtet [19]. Murray et al. [31] konnten jedoch in einer Metaanalyse mit 130.000 eingeschlossenen Patienten zeigen, dass sowohl die Rate an fulminanten Lungenembolien, als auch die Gesamttodesrate deutlich <1% liegt. Auch wenn Embolien mit tödlichem Ausgang relativ selten sind, stellen sie doch die häufigste Todesursache im Zusammenhang mit einer Hüfttotalendoprothesenimplantation dar [19, 31]. Bei während oder kurz nach Implantation verstorbenen Patienten konnten Autopsien die Embolisierung durch Fett- und Knochenmarkbestandteile beweisen [15, 29]. Inwiefern die Ausschwemmung thrombogenen Materials während der Hüftprothesenimplantation zu Thrombosen und Embolien mit verzögertem Auftreten führt, ist schwierig zu belegen, sicher ist jedoch, dass die Einführung risikovermindernder Implantationstechniken [6, 9, 11, 33] und die Verbesserung der medikamentösen Thromboseprophylaxe insgesamt zu einer Reduktion der thromboembolischen Komplikationen geführt haben [19, 31].

Die Implementierung von modernen Zementiertechniken hat die Langzeitergebnisse deutlich verbessert und eine Reduktion des Revisionsrisikos wegen aseptischer Lockerung herbeigeführt [10, 27]. Veränderungen und Weiterentwicklungen in der Zementiertechnik (retrograde Zementapplikation,

Markraumversiegelung mittels Markraumstopper, „Pressurising-Technik“), haben aber auch zu einem Anstieg der entstehenden intramedullären Drücke geführt [13, 39]. Vergleicht man intramedulläre Druckmessungen der 80er [2, 32] mit denen der späten 90er [13, 39] Jahre hat sich das Druckniveau deutlich nach oben verändert. Klinische [12, 22, 33, 34, 38] und experimentelle [4, 25, 32, 37] Studien konnten beweisen, dass in der Hüftendoprothetik die intramedulläre Druckerhöhung die Hauptursache für das Einschwemmen von Fett- und Knochenmarkdebris darstellt. Das Problem dieser Studien ist jedoch, dass die angewendeten Methoden keine exakte Quantifizierung der Ergebnisse zulassen. Die Ergebnisse dieser Studien beruhen auf Resultaten mit transösophagealer oder

intraabdomineller Echokardiographie [12, 33, 34, 37], peripherer Duplexsonographie [38], autoptisch-histologischen Präparaten [25, 32] oder auch klinischen Parametern [22, 32]. Unser Tiermodell erlaubte direkt die intraoperative Entnahme des zum Herz zurückfließenden Blutes und damit die Mengenbestimmung der darin enthaltenen Fettbestandteile. Außerdem konnte durch die gleichzeitige bilaterale Implantation ein direkter Vergleich zweier Implantationstechniken durchgeführt werden. Schon Christie et al. [12] konnten im Modell echokardiographisch nachweisen, dass die zementfreie gegenüber der zementierten Implantation weniger und kleinere Emboli in die Blutbahn freisetzt. Diese Ergebnisse konnten durch unsere Studie bestätigt werden. Es zeigte sich, dass die zementierte Verankerung insgesamt eine etwa doppelt so große Menge an Fett ins Blut freisetzte als die zementfreie Implantation. Wichtig zur differenzierten Beurteilung der Ergebnisse ist die Beachtung der unterschiedlichen Totraumvolumina [9]. Durch die Applikation eines Markraumstoppers auf der zementierten Seite wurde das Totraumvolumen des Femurs vor Zementeinbringung auf die proximale Hälfte reduziert.

Um den Einfluss der Markraumpräparation zu evaluieren, die, wie von Hofmann et al. [22] berichtet, schon zur Freisetzung von thrombogenem Material führt, haben wir die ersten Blutproben nach der Schaftpräparation und vor der Implantation entnommen. Hier ließ sich auf der zementfreien Seite kein wesentlicher Einfluss der Markraumpräparation (Aufraspeln) nachweisen. Das einge-

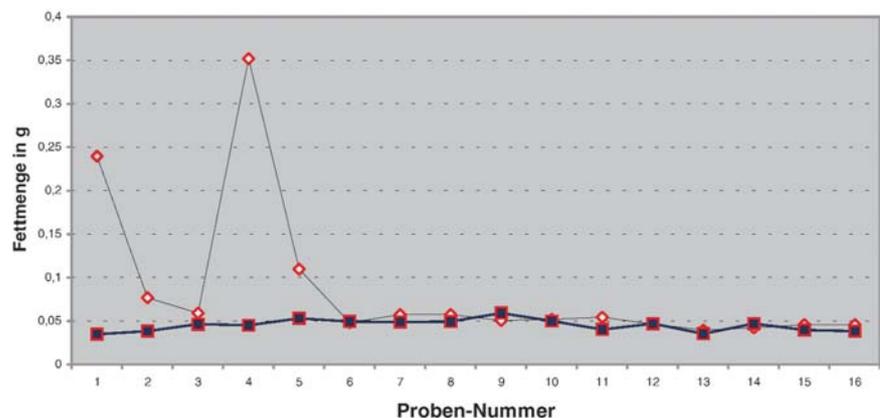


Abb. 2 ▲ Fettverteilung bei Schaf Nr. 3 (□ zementfreie Seite, ◆ zementierte Seite)

schwemmte Fett hatte sich gleichmäßig auf alle Proben verteilt. Eine unterschiedliche Beobachtung konnte beim Zementieren der Prothese beobachtet werden. Interessanterweise konnte nur bei 3 Versuchstieren eine konstante Fettverteilung gemessen werden. Bei 10 Tieren konnten ein oder mehrere Maxima der Fetteinschwemmung festgestellt werden. Die späten Peaks in unserem Versuch (ab 4. Probe) können auf die Zementapplikation oder Schaftimplantation zurückgeführt werden, die nachgewiesenermaßen zu einer intramedullären Druckerhöhung führen können [13, 25, 28, 39]. Fettmaxima innerhalb der ersten 3 Blutproben können aufgrund des Studienaufbaus nur mit der Markraumstopperimplantation in Verbindung gebracht werden. Der einzige Unterschied bei der Markraumpräparation zwischen der zementfreien Implantation, die keine Spitzen in der Fetteinschwemmung zeigte und der zementierten Implantation war die Applikation des Zementrestriktors. Bei 8 Tieren konnte bei der zementierten Implantation ein Peak innerhalb der ersten 3 Proben nachgewiesen werden, der sich durch die Zementrestriktorapplikation erklären lässt. Wird ein überdimensionierter Markraumstopper eingebracht, kann Fett- und Knochenmarkdebris (und Luft) vor dem Stopper hergeschoben werden und zu einer deutlichen Fetteinschwemmung in das Gefäßsystem führen. Aus diesem Grund sollte die Spülung des Markkanals nicht erst vor Implantation des Knochenzements, sondern bereits vor Implantation des Zementrestriktors durchgeführt werden. Dies wurde als Ergebnis dieser Studie im klinischen Alltag bei uns bereits umgesetzt. Auf diese Weise kann die intramedulläre Fettmenge reduziert und das Risiko der Fetteinschwemmung durch den Zementrestriktor vermindert werden [9, 11]. Vor Applikation des Zements sollte eine weitere intensive Spülung zur Reinigung des Knochens vorgenommen werden, da die Verzahnung des Zements im Knochen und damit die primäre Stabilität gefördert werden soll [1, 7]. Die Analyse der entstehenden Fettmaxima verdeutlicht, wie wichtig eine sorgfältige Markraumpräparation, Zementapplikation und Schaftimplantation bei der Verwendung von Knochenzement ist.

Essentiell zur Fettembolieprophylaxe und mittlerweile als Standard zu for-

dern ist die Anwendung der Jetlavage, um schon vor Einbringen des Zements und (als Konsequenz dieser Studie) auch des Zementrestriktors die Menge an Fett im Markraum zu reduzieren [7, 9]. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines expandierbaren Zementrestriktors, der theoretisch eine verminderte Menge an Fett und Debris beim Einbringen vor sich herschiebt [20]. Des Weiteren kann bei suffizienter Markraumdrainage im Rahmen der Zementapplikation unter Vakuum [6, 14] das Fettembolierisiko reduziert werden [33, 34].

Vor allem bei Risikopatienten sollten risikovermindernde Verfahren zur Anwendung kommen, die den intramedullären Druck und damit auch die freigesetzte Menge an Fett und Knochenmarkdebris reduzieren.

Fazit für die Praxis

Es besteht ein signifikanter Unterschied im Ausmaß der Fetteinschwemmung in die Blutbahn bei der zementierten im Vergleich zur zementfreien Schaftverankerung. Die Markraumpräparation scheint bei der zementfreien Implantation von untergeordneter Bedeutung zu sein, obwohl auch hier ein Risiko für thrombembolische Komplikationen besteht. Da die zementierte Hüftprothesenimplantation ein deutlich höheres Risiko für thrombembolische Komplikationen birgt als die zementfreie Verankerung, sollte hier die Zementrestriktor-, Zement- und Prothesenapplikation mit besonderer Sorgfalt erfolgen. Die Knochen-spülung mittels Jetlavage sollte bereits vor Zementrestriktorimplantation und in jedem Fall vor Zementeinbringung erfolgen.

Literatur

1. Bannister GC, Miles AW (1988) The influence of cementing technique and blood on the strength of the bone-cement interface. *Engl Med* 17: 131–133
2. Barron DW (1979) Intramedullary pressure patterns. *Clin Orthop* 145: 183–186
3. Böttner F, Sculco TP, Sharrock NE, Westrich GH, Steinbeck J (2001) Thromboseprophylaxe in der Hüftendoprothetik. *Orthopade* 30: 890–896
4. Breed AL (1974) Experimental production of vascular hypotension, and bone marrow and fat embolism with Methylmethacrylate cement. *Clin Orthop* 102: 227–244

5. Breusch SJ, Aldinger PR, Thomsen M, Ewerbeck V, Lukoschek M (2000) Verankerungsprinzipien in der Hüftendoprothetik, Teil 1: Prothesenstiel. *Unfallchirurg* 103: 918–931
6. Breusch SJ, Draenert K (1997) Vacuum application of bone cement in total hip arthroplasty. *Hip Int* 7: 137–152
7. Breusch SJ, Lukoschek M, Schneider U, Ewerbeck V (2000) „State of the art“ der zementierten Hüftendoprothetik. *Dtsch Ärztebl B* 97: 1723–1726
8. Breusch SJ, Heisel C, Müller J, Borchers T, Man H (2002) Influence of cement viscosity on cement interdigitation and venous fat content under in vivo conditions. *Acta Orthop Scand* 73: 409–415
9. Breusch SJ, Reitzel T, Schneider U, Volkmann M, Ewerbeck V, Lukoschek M (2000) Zementierte Hüftendoprothetik: Verminderung des Fettembolierisikos in der zementierten Hüftendoprothetik mittels gepulster Druckspülung. *Orthopade* 29: 578–586
10. Britton AR, Murray DW, Bulstrode CJ, McPherson K, Denham RA (1996) Long-term comparison of Charnley and Stanmore design total hip replacements. *J Bone Joint Surg Br* 78: 802–808
11. Byrick RJ, Bell RS, Kay JC, Waddell JP, Mullen JB (1989) High-volume, high-pressure pulsatile lavage during cemented arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 71: 1331–1336
12. Christie J, Burnett R, Potts HR, Pell AC (1994) Echocardiography of transatrial embolism during cemented and uncemented hemiarthroplasty of the hip. *J Bone Joint Surg Br* 76: 409–412
13. Churchill DL, Incavo SJ, Uroskie JA, Beynonn BD (2001) Femoral stem insertion generates high bone cement pressurization. *Clin Orthop* 393: 335–344
14. Draenert K (1989) Modern cementing techniques. An experimental study of vacuum insertion of bone cement. *Acta Orthop Belg* 55: 273–293
15. Fallon KM, Fuller JG, Morley-Foster P (2001) Fat embolization and fatal cardiac arrest during hip arthroplasty with methylmethacrylate. *Can J Anaesth* 48: 618–621
16. Halawa M, Lee AJC, Ling RSM, Vangala SS (1978) The shear strength of trabecular bone from the femur and some factors affecting the shear strength of the cement-bone interface. *Arch Orthop Trauma Surg* 92: 19–30
17. Harris WH, McCarthy JC, O'Neil DA (1982) Femoral component loosening using contemporary techniques of femoral cement fixation. *J Bone Joint Surg Am* 64: 1063–1067
18. Havelin LI, Engsaeter LB, Espehaug B, Furnes O, Lie SA, Vollset SE (2000) The Norwegian Arthroplasty Register. 11 years and 73,000 arthroplasties. *Acta Orthop Scand* 71: 337–353
19. Heisel C, Clarius M, Schneider U, Breusch SJ (2001) Thromboembolische Komplikationen bei der Verwendung von Knochenzement in der Hüftendoprothetik – Pathogenese und Prophylaxe. *Z Orthop* 139: 221–228

20. Heisel C, Norman TL, Rupp R, Mau H, Breusch SJ (2002) Stabilität und Okklusionsverhalten sechs verschiedener femoraler Markraumstopper. *Orthopäde* (im Druck)
21. Hofmann S, Hopf R, Hümer G, Kratochwill C, Koller-Strametz J, Schlag G, Salzer M (1995) Modifizierte Operationstechniken zur Reduzierung der Knochenmarksausschüttung in der zementfreien Hüftendoprothetik. *Orthopäde* 24: 130–137
22. Hofmann S, Hopf R, Mayr G, Schlag G, Salzer M (1999) In vivo femoral intramedullary pressure during uncemented hip arthroplasty. *Clin Orthop* 360: 136–146
23. Inadome T, Wall MC, Smith CL, Whiteside LA (1998–1999) Femoral intramedullary pressure during in vitro cemented and cementless total hip arthroplasty. *Orthop Trans* 22: 154–155
24. Johnson R, Green JR, Charnley J (1977) Pulmonary embolism and its prophylaxis following the Charnley total hip replacement. *Clin Orthop* 127: 123–132
25. Kallos T, Enis JE, Gollan F, Davis JH (1974) Intramedullary pressure and pulmonary embolism of femoral medullary contents in dogs during insertion of bone cement and a prosthesis. *J Bone Joint Surg Am* 56: 1363–1367
26. Lee AJC, Ling RSM (1981) Improved cementing techniques. *Instr Course Lect* 30: 407–413
27. Malchau H, Herberts P, Söderman P, Odén A (2000) Prognosis of total hip replacement. Update and validation from the Swedish National Hip Arthroplasty Registry 1979–1998. Präsentiert auf dem 67. Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 15.–19. März, Orlando, USA
28. Markolf KL, Amstutz HC (1976) In vitro measurement of bone-acrylic interface pressure during femoral component insertion. *Clin Orthop* 121: 60–66
29. Maxeiner H (1988) Tödliche, intraoperative Lungenembolie bei Endoprothese des Hüftgelenkes. *Beitr Gerichtl Med* 47: 415–427
30. McCaskie AW, Barnes MR, Lin E, Harper WM, Gregg PJ (1997) Cement pressurisation during hip replacement. *J Bone Joint Surg Br* 79: 379–384
31. Murray DW, Britton AR, Bulstrode CJK (1996) Thromboprophylaxis and death after total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br* 78: 863–870
32. Orsini EC, Byrick RJ, Mullen JB, Kay JC, Waddell JP (1987) Cardiopulmonary function and pulmonary microemboli during arthroplasty using cemented or non-cemented components. The role of intramedullary pressure. *J Bone Joint Surg Am* 69: 822–832
33. Pitto RC, Hamer H, Fabiani R, Radespiel-Troeger M, Koessler M (2002) Prophylaxis against fat and bone-marrow embolism during total hip arthroplasty reduces the incidence of postoperative deep-vein thrombosis. *J Bone Joint Surg Am* 84: 39–48
34. Pitto RP, Koessler M, Draenert K (1998) The John Charnley Award: Prophylaxis of fat and bone marrow embolism in cemented total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 355: 23–34
35. Puolakka TJS, Pajamäki KJJ, Halonen PJ, Pulkkinen PO, Paavolaainen P, Nevalainen JK (2001) The Finnish Arthroplasty Register. Report of the hip register. *Acta Orthop Scand* 72: 433–441
36. Song Y, Goodman SB, Jaffe RA (1994) An in vitro of femoral intramedullary pressures during hip replacement using modern cementing technique. *Clin Orthop* 302: 297–304
37. Wenda K, Degreif J, Runkel M, Ritter G (1993) Pathogenesis and prophylaxis of circulatory reactions during total hip replacement. *Arch Orthop Trauma Surg* 112: 260–265
38. Wenda K, Lauer K, Boor S, Runkel M, Kreitner KF (1995) Gibt es in der Endoprothetik einen Zusammenhang zwischen intramedullärer Druckerhöhung, Knochenmarkseinschwemmungen und tiefen Beinvenenthrombosen? *Orthopäde* 24: 114–122
39. Yee AJ, Binnington AG, Hearn T, Protzner K, Fornasier VL, Davey JR (1999) Use of a Polyglycolide Lactide cement plug restrictor in total hip arthroplasty. *Clin Orthop* 364: 254–266

S.M. Schnürer · U. Gopp · K.-D. Kühn · S.J. Breusch

Knochenersatzwerkstoffe

Orthopäde (2003) 32:2-10

Zum unserem Bedauern sind im o.g. Beitrag durch einen technischen Fehler auf den Seiten 4 und 5 die Abb. 2 und 3 vertauscht worden (die Abbildungslegenden und die Hinweise im Text sind korrekt). Wir bitten den Fehler zu entschuldigen.

Die Redaktion