

# Hüftkopfdurchblutung und Resurfacing

**Der Oberflächenersatz in der Hüftendoprothetik wird von einigen Autoren insbesondere bei jungen Patienten hoch gelobt, andere hingegen kritisieren dieser Technik, v. a. wegen der befürchteten Folgen einer iatrogenen Durchblutungsstörung des Femurkopfes. Die Durchblutung durch den chirurgischen Zugang, die Femurkopfpräparation oder beides geschädigt werden. Diese Arbeit fasst den heutigen Kenntnisstand zur Durchblutung des Femurkopfes zusammen und stellt ein Konzept vor, diese auch nach einem Oberflächenersatz zu erhalten.**

## Hintergrund

Mit Einführung der Metall-Metall-Gleitpaarung in der Oberflächenersatzprothetik der Hüfte schienen zunächst die Probleme der Metall-Polyethylen-Kombination gelöst, die v. a. in der frühen Abriebosteolyse gesehen wurden. Entsprechend ermutigend waren dann auch die Kurzzeitergebnisse mit einer Überlebensrate von 97–99% nach 4 bzw. 5 Jahren [1, 4, 17, 49]. Andererseits geben Schenkelhalsfrakturen und Lockerungszeichen der Femurkomponente immer mehr zu Diskussionen Anlass, wobei die Durchblutung des Restkopfes im Vordergrund steht. Dabei ist offensichtlich, dass der R. profundus der A. circumflexa femoris medialis und seine periphere Anastomose mit der A. glutea inferior bei dem am häufigsten für die Implantation einer Oberflächenersatzprothese verwendeten hinteren Zugang durchtrennt werden, womit die für die

Perfusion der Epiphyse wesentliche Blutzufuhr unterbrochen wird [6, 22, 41, 44, 47]. Dass es dennoch zu keiner Nekrose des Restkopfes unter der femoralen Kappe kommt, wurde v. a. mit einer im Zusammenhang mit der Arthrose auftretenden intraossären Gefäßanastomosierung von der Meta- zur Epiphyse erklärt [19, 51] und als Beweis der histologische Nachweis eines vitalen Knochens in der Kappe von entfernten Prothesen angeführt [12, 14, 25]. Jüngere Untersuchungen erbrachten dann allerdings sehr wohl den Nachweis von Knochennekrosen unter der Femurkappe [34]. Die Diskrepanz der Aussagen mag mit unterschiedlichen Operationszugängen und unterschiedlichen Entnahmestellen für die histologische Untersuchung zusammenhängen, die z. T. auch osteolysebedingt sind; als weitere Möglichkeit wurde die thermische Nekroseentstehung anlässlich der Zementierung der Kappe diskutiert [37].

Ziel dieses Berichts ist es, eine kritische Bestandaufnahme der verschiedenen Aspekte der Femurkopfgefäßversorgung im Zusammenhang mit der Oberflächenersatzprothetik der Hüfte zu erbringen.

## Topographische Anatomie der A. circumflexa femoris medialis

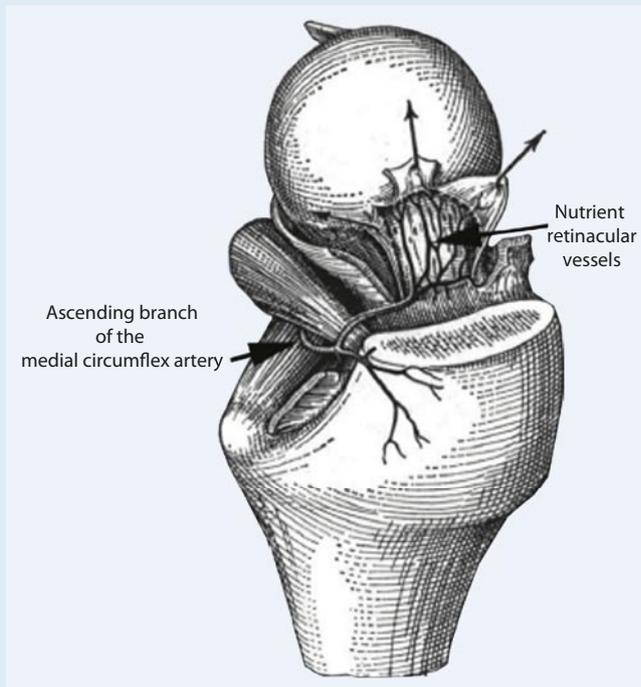
Es darf als gesichert gelten, dass die A. circumflexa femoris medialis allein den Hüftkopf, genauer den epiphysären Teil des Hüftkopfes genügend mit Blut versorgen kann und dass bei ihrer peripheren Unterbrechung die Perfusion des tragenden Kopfanteils nicht mehr gewährleistet ist [42, 44, 50]. Diesem Umstand wird aller-

dings in heute verwendeten Zugangsbüchern und Atlanten kaum Rechnung getragen, ja z. T. wird die Ligatur des Gefäßes zur sicheren Blutstillung ausdrücklich empfohlen. Selbst in gängigen Anatomiebüchern sind die zeichnerischen Darstellungen, insbesondere des chirurgisch wichtigen Verlaufs des R. profundus entlang der Außenrotatoren oft ungenau bis inkorrekt [22]. Wie gering das gesicherte Wissen der Hüftkopfvascularität war, zeigt die weit verbreitete Sorge mit einer chirurgischen Luxation der Hüfte grundsätzlich ein hohes Nekrosesrisiko einzugehen, aber auch der im Vorwort seines Buches über die Durchblutung der Knochen von Crock [16] ausgedrückte Wunsch nach einer Möglichkeit den Hüftkopf für therapeutische Zwecke gefahrlos luxieren zu können. Schließlich hat das mangelnde Wissen auch dazu beigetragen, dass bei Versagern mit der ersten Prothesengeneration eine Nekrose des Kopfstumpfes als Folge der chirurgischen Gelenkluxation angeschuldigt wurde [24, 26]. Offensichtlich hat es eines erneuten Anlaufs bedurft, die Gefäßanatomie der Hüfte aus chirurgischer Sicht zu studieren, d. h. mit der Absicht, die Erkenntnisse chirurgisch umsetzen zu können [22].

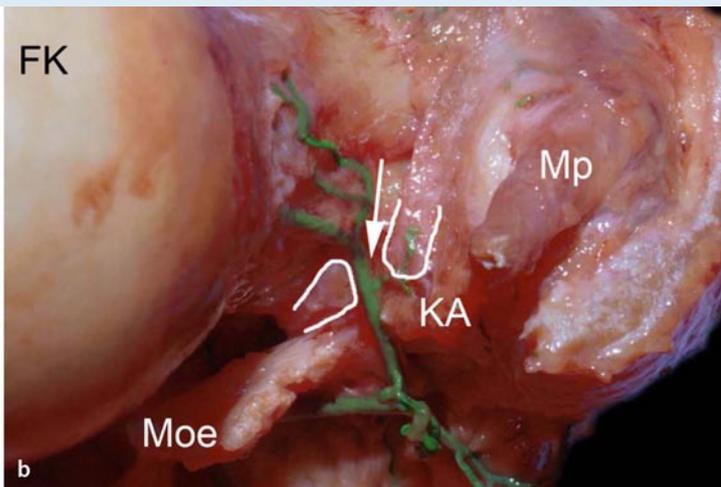
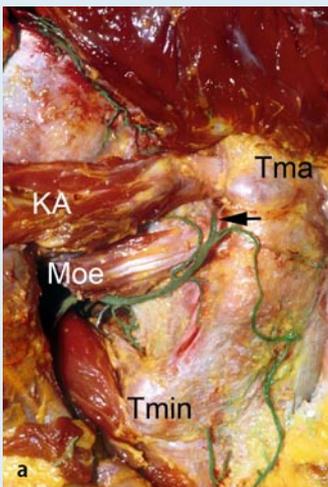
Nach Latexinjektionen wurde die extraossäre Anatomie der A. circumflexa femoris medialis an 24 frischen Leichenhöften disseziert. Dabei zeigten 20 Hüften einen Abgang von der A. profunda femoris und 4 von der A. femoralis superficialis (■ **Abb. 1**). Von den 5 konstanten Ästen der A. circumflexa femoris medialis ist in diesem Zusammenhang der R. profundus am wichtigsten. Er gelangt zwischen der



**Abb. 1** ▲ Subfasziale Darstellung eines ventralen Oberschenkels (rechts) mit Latexfüllung (grün) der A. femoralis superficialis (Afs) sowie der A. profunda femoris (Apf). In diesem Beispiel entspringt die A. circumflexa femoris medialis (Acfm) aus der Apf und zieht medial des M. iliopsoas (Mi) nach dorsal (Mrf). [7]



**Abb. 2** ▲ Der R. ascendens der A. circumflexa femoris medialis und dessen retinakuläre Endäste wie von Carlios et al. dargestellt. [15]



**Abb. 3** ▲ **a** Subfasziale Darstellung der Glutealregion nach Ablösen des M. gluteus maximus: Die latexgefüllte A. circumflexa femoris medialis (grün) folgt dem Unterrand des M. obturator externus (Moe) um anschließend (Pfeil) unter den kurzen Außenrotatoren (KA) die Gelenkkapsel zu perforieren. [7]. **b** Dorsokraniale Ansicht des proximalen Femurs mit belassenen Sehnenansätzen und Gelenkkapsel. Der M. obturator externus, die kurzen Außenrotatoren und der M. piriformis (Mp) sind reseziert. Der durch Latex grün angefarbte R. ascendens der A. circumflexa femoris medialis (Pfeil) perforiert die Kapsel und teilt sich in seine Endäste auf

Sehne des Iliopsoas lateral und dem Pectineus medial nach dorsal, umfährt knapp proximal des Trochanter minor den dorsomedialen Calcar femoris, um dann ent-

lang dem Unterrand des M. obturator externus nach lateral zu gelangen.

Kurz vor der Crista trochanterica biegt der R. profundus nach kranial ab und überkreuzt dabei die Sehne des M. obtu-

rator externus dorsal. Diese wichtige Höhe ist durch den auch intraoperativ immer gut darstellbaren trochantären Gefäßast klar gekennzeichnet, was eine gezielte Schonung erlaubt, selbst wenn die Außen-

rotatoren durchtrennt werden sollen. Diese Besonderheit des Verlaufs wurde bereits vor 40 Jahren von Carlizot et al. [15] in Zusammenhang mit der Behandlung der Epiphysiolysis capitis femoris hervor gehoben (▣ Abb. 2).

Der R. profundus setzt seinen Verlauf nach kranial fort, indem er jetzt ventral die Außenrotatoren M. gemellus inferior, M. obturator internus und M. gemellus superior kreuzt (▣ Abb. 3a), um dann kurz vor der Sehne des M. piriformis die Hüftkapsel schräg zu perforieren (▣ Abb. 3b). Innerhalb des Gelenkraums verzweigt sich der R. profundus in 2–4 Äste [1], die sich in der synovialen Falte des Retinaculum auffächern, dorsokrani al am Schenkelhals entlang ziehen und 2–5 mm vom knorpeligen Kopfrand entfernt in den Knochen perforieren.

Auf seinem Weg hat der R. profundus kleine Äste zur Versorgung von dorsaler Schenkelhalsbasis und Trochantermassiv abgegeben, die dorsale Schenkelhalsfläche bleibt allerdings immer frei von Gefäßästen, die zum Hüftkopf ziehen. Während in der Serie von 24 Hüften nur in 4 Fällen ein zusätzlicher posteroinferiorer Ast zum Hüftkopf nachgewiesen werden konnte, ließ sich dieser Gefäßast in einer neueren Serie von 11 Hüften regelmäßig in seinem Verlauf entlang dem Weitbrecht-Band identifizieren (▣ Abb. 4 [28]). Als Erklärung mag dienen, dass bei der neuen Serie ausschließlich wesentlich einfacher zu dissezierende Hüftpräparate von jungen Erwachsenen zur Verfügung standen. Bei dem genannten Gefäßast handelt es sich um das gleiche Gefäß, das bei einer der Injektionsserien von Sevitt u. Thompson [44] den kaudal-ventralen Teil des Hüftkopfes versorgt (▣ Abb. 5).

Die anatomischen Studien zur Hüftkopfdurchblutung erbrachten 2 weitere wichtige Erkenntnisse, nämlich dass die Integrität des M. obturator externus den R. profundus sicher vor Überdehnung oder gar Ruptur bei der Hüftluxation schützt und dass die konstante periphere Anastomose zwischen A. glutea inferior und R. profundus bei Unterbrechung des A.-circumflexa-femoris-medialis-Systems die Perfusion des Hüftkopfes u. U. gewährleisten kann [22, 41]. Zur Erhärtung dieser Beobachtung sind jedoch

Orthopäde 2008 · 37:659–666 DOI 10.1007/s00132-008-1300-y  
© Springer Medizin Verlag 2008

### P.E. Beaulé · R. Ganz · M. Leunig Hüftkopfdurchblutung und Resurfacing

#### Zusammenfassung

Mit der Einführung von Metall-Metall-Gleitpaarungen hat der Oberflächenersatz an der Hüfte eine Renaissance erlebt, da implantatverursachte Probleme, insbesondere abriebsbedingte Osteolysen, gelöst erscheinen. Nicht gelöst sind jedoch weiterhin die Probleme der Schenkelhalsfrakturen, Schenkelhalsschwund und Kappenlockerungen, deren Ursachen kontrovers diskutiert werden. In den letzten Jahren hat sich zunehmende Evidenz dafür ergeben, dass sowohl der häufig gebrauchte dorsale Zugang zum Hüftgelenk aber auch die Präparation des Epiphysenstumpfes die Durchblutung des Hüftkopfes kritisch schädigen und damit die Knochenbio-

logie kompromittieren können. Kommt mechanischer Stress (Impaktierung, Hitzeentwicklung beim Zementieren) während der Implantation hinzu, so kann dies vom präparierten Femurende nicht mehr kompensiert werden. Diese Arbeit fasst den heutigen Kenntnisstand zur Durchblutung des Femurkopfes zusammen und stellt ein Konzept vor diese auch nach einem Oberflächenersatz zu erhalten.

#### Schlüsselwörter

Hüfte · Arthrose · Femurkopf · Durchblutung · Oberflächenersatz

## Blood flow to the femoral head and hip resurfacing arthroplasty

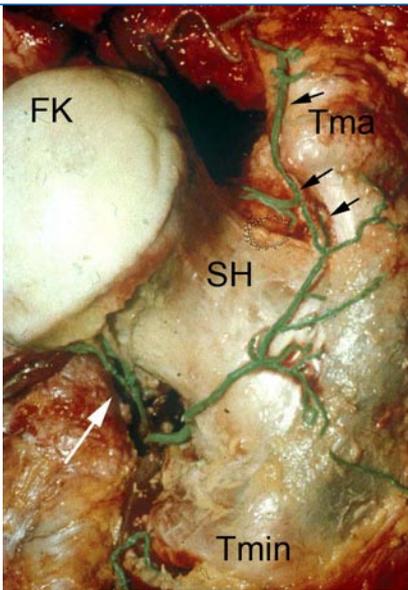
#### Abstract

After disastrous outcomes due to wear-induced osteolysis in the 1980s, hip resurfacing arthroplasty has undergone a renaissance, mainly because of the introduction of metal-on-metal bearings. However, there are still problems associated with this technique, such as femoral neck fractures, neck thinning, and aseptic loosening, and their causes are still being investigated. During the last years, increasing evidence has shown that both the frequently used posterior approach to the hip as well as preparation of the femoral epiphysis can impair blood supply to the femoral

head. In the presence of mechanical stresses (impaction, heat development during cement polymerization) during the implantation, the epiphysis might not be able to compensate for this. This paper summarizes the current understanding of the blood supply to the femoral head and proposes a way to preserve the viability after hip resurfacing.

#### Keywords

Hip · Osteoarthritis · Femoral head · Blood flow · Hip resurfacing

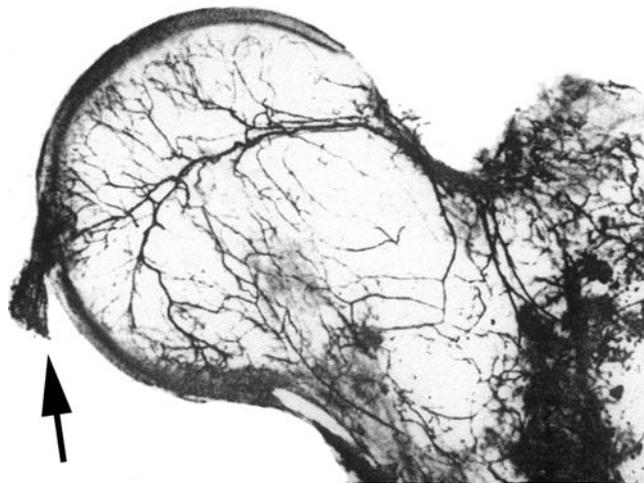


**Abb. 4** ▲ Dorsokaudale Ansicht des proximalen Femurs nach Ablösen der Weichteile: Die sich grün darstellende A. circumflexa femoris medialis gibt Äste (kleine schwarze Pfeile) an den Trochanter major (Tma) sowie den Schenkelhals ab. Der dorsale Schenkelhals (SH) ist frei von Gefäßen. Über das Weitbrecht-Ligament treten Gefäße (weißer Pfeil) auch von inferior in den Kopf ein. [7]

noch weitere gezielte Dissektionen notwendig.

Weitere Untersuchungen, die an 150 Knochenpräparaten erfolgten, galten der Verteilung der Gefäßforamina am Schenkelhals im Übergangsbereich zum Hüftkopf [30] (■ **Abb. 6**). Dabei fanden sich 80% der Eintrittsstellen im kranialen und dorsokraniellen Quadranten der Zirkumferenz des Schenkelhalses. Diese Erkenntnis ist relevant, weil die bei der Operation zum Oberflächenersatz verwendeten zylindrischen Fräsen die hier eintretenden Gefäßäste verletzen können [6, 35].

Der in der englischsprachigen Literatur häufig verwendete Begriff des „notching“, was eigentlich eindrücken oder einkerben bedeutet, dürfte in diesem Bereich weniger mechanisch [19, 35] als durchblutungsdynamisch zur Entstehung von früh-postoperativen Schenkelhalsfrakturen führen [6]. Für einen vaskulären Einfluss des „notching“ sprechen auch die Lockerungsraten, die bei entsprechenden Fällen 28,6% gegenüber 6,8% bei Hüften ohne „notching“ ausmachten, wobei jeweils keine Schenkelhalsfrakturen vorkamen [18]. Schenkelhalsfrakturen sind mit den



**Abb. 5** ◀ Injektionspräparat, welches die beiden zuführenden Gefäßachsen darstellt: Posterolateral und inferior führen Endäste der A. circumflexa femoris medialis Blut in den Femurkopf. [44]

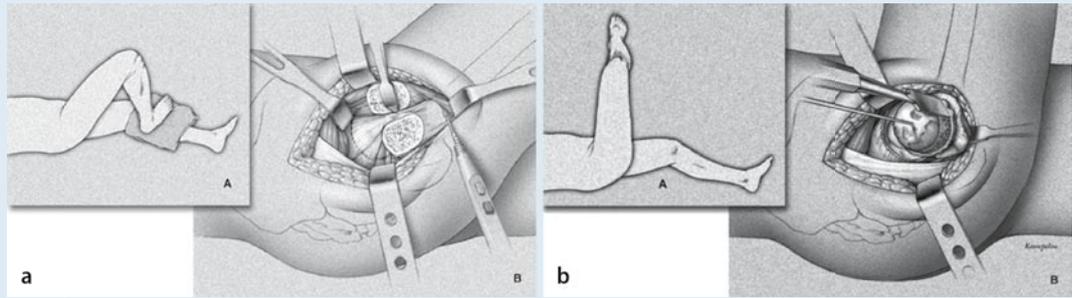


**Abb. 6** ▲ Getrocknete Femora ohne (a) und mit (b) Arthrosezeichen: Unabhängig, ob Arthrosezeichen vorlagen, fanden sich 80% der vaskulären Foramina im lateralen und posterolateralen Bereich. [7]

aktuell verwendeten Prothesen ohnehin selten geworden (<2%) [2, 45]. Das heutige Hauptproblem ist in der aseptischen Lockerung der femoralen Komponente zu suchen [1, 43]. Mit der vaskulären Erklärung der entsprechenden Vorgänge wird der mechanische Begriff „notching“ eigentlich eher irreführend und sollte deshalb zurückhaltend verwendet werden.

Die eigentliche Bedeutung der skizzierten Studien zur Gefäßanatomie der Hüfte liegt in der daraus folgenden Ent-

wicklung einer Technik mit der die Hüfte ohne Gefahr einer Kopfnekrose chirurgisch luxiert werden kann [20] und in der Entwicklung von intraartikulären Korrekturen nahe der Kopf-Hals-Verbindung [10, 21, 31, 33], die auch für eine präzise Platzierung der femoralen Prothese ohne Impingementgefahr von entscheidender Bedeutung sein können [41]. Die Studien zeigen, dass die Blutzufuhr zum Hüftkopf beim Resurfacing auf Höhe des R. profundus oder im Bereich des Retina-



**Abb. 7** ▲ Darstellung des chirurgischen Zugangs: **a** Nach Durchführung der der Trochanterosteotomie wird dieser in Flexion/Außenrotation nach anteromedial mobilisiert. **b** Anschließend wird der Femurkopf mittels Fräsen und Meißeln für die Implantation der Hüftkappe vorbereitet. [5]

culums verletzt werden kann, abgesehen von der Minderdurchblutung des Schenkelhalses durch den Ausfall der Gefäße zu Schenkelhalsbasis und trochantärem Bereich. Entsprechend wird ein Zugang, der den dorsalen Schenkelhals freilegt oder eine Operationstechnik, die das Retinaculum verletzt, das Risiko einer Durchblutungsstörung des Hüftkopfes erhöhen. Dies wird auch von einer jüngeren Studie unterstützt, die während der Oberflächenersatzoperation durch einen hinteren Zugang die Sauerstoffspannung im Hüftkopf gemessen hat und dabei in 8 von 10 Hüften einen Abfall von >60% fand [47]. In jüngster Zeit wurden diese Effekte des dorsalen Zugangs auf die Femurkopfdurchblutung mehrfach bestätigt [6, 7, 8, 29, 32, 46].

### Laserdopplerflussmessung im Hüftkopf

Die Laserdopplerflussmessung bestimmt den Blutfluss in sog. Fluxeinheiten, die sich als Produkt aus Konzentration und Fließgeschwindigkeit der Erythrozyten pro mm<sup>3</sup> Knochen um die Sonde darstellen. Beurteilt wird dann die prozentuale Änderung des Flusses. Laserdopplerflussmessungen wurden bereits verschiedentlich in der gelenkerhaltenden Hüftchirurgie am Femurkopf [11, 41] sowie bei periazetabulären Osteotomien im Pfannenfragment vorgenommen. Die Vorstellung, dass die metaepiphysäre Gefäßbarriere des gesunden Hüftkopfes [44] bei der fortgeschrittenen Koxarthrose durch eine intraossäre Gefäßanastomosierung überwunden wird, geht auf Freeman [19] zurück, der postulierte, dass osteophytäre Neuformationen entlang des Kopf-Hals-

Übergangs die retinakulären Gefäße komprimieren und damit die intraossäre Neubildung stimulieren können.

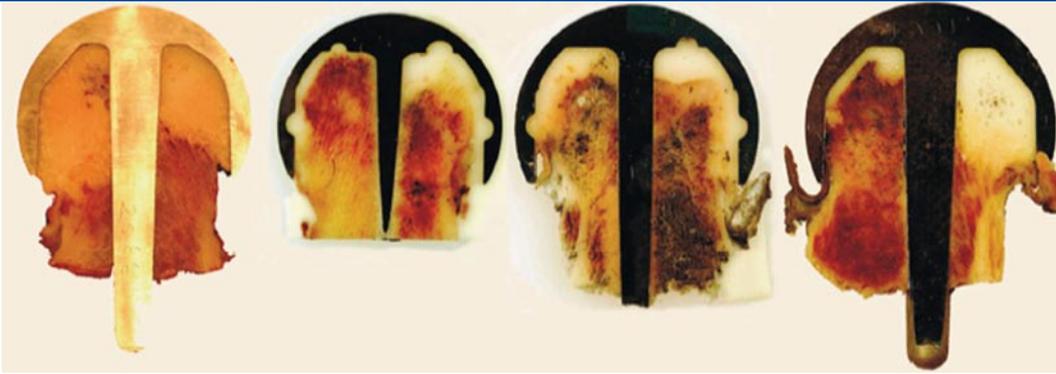
Whiteside et al. [51] haben diese Vorstellung im Tierexperiment untersucht, indem sie an Hunden mit und ohne Arthrose nach Ligatur der retinakulären Gefäße und Präparation des Kopfes Laserdopplerflussmessungen vornahmen. In 17 Hüften ohne Arthrose zeigten 14 keinen Fluss und die übrigen 3 wiesen nur einen langsamen Fluss auf. In den 6 Koxarthrosehüften führte gleiches Vorgehen nicht zu einem totalen Flussstopp, aber jeweils zu einem dramatischen Flussabfall. Entsprechend warnen die Autoren in ihrer Schlussfolgerung vor einer intraoperativen Schädigung der Retinakulumgefäße. Diese Studie stützt einerseits die Vorstellung von Freeman [19] andererseits bleibt unklar, wann, wie rasch und wie ausgedehnt sich dieser Anastomisierungsprozess im Rahmen der Koxarthrose entwickelt, um genutzt werden zu können. Immerhin weisen viele und gerade jüngere Patienten mit einer Indikation zum Oberflächenersatz keine seit langer Zeit bestehende und osteophytäre Arthrose auf.

Eine neuere Laserdopplerflussmessung an arthrotischen Hüften anlässlich einer klassischen Prothesenoperation zeigt keine Unterschiede im Perfusionsverhalten gegenüber der nicht arthrotischen Hüfte. Es ist auch nicht gesichert, ob der von Beaulé et al. [6] gemessene intraoperative Flussabfall von 50% kompensiert werden kann oder wie von Nishino et al. [39] untersucht, zur Nekrose führt, die ja eine bekannte Ursache für das Versagen des Oberflächenersatzes ist [2, 34].

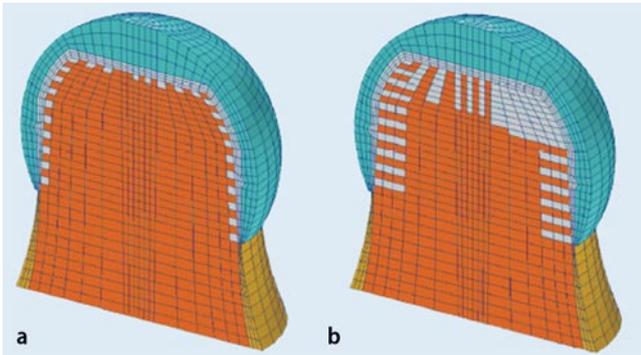
Gesamthaft gibt es 3 Erklärungen für eine vaskuläre Schädigung des Hüftkopfes:

Bei dem erwähnten „neck notching“ werden die allenfalls noch erhaltenen Retinakulumgefäße komprimiert bis abgedrückt. Bei Versagern ohne „neck notching“ [1, 2, 43, 49] ist ein vaskulärer Schaden durch die Verletzung des R. profundus anlässlich des hinteren Zugangs oder die Verletzung der Eintrittsstellen der Retinakulumgefäße am Kopf-Hals-Übergang anlässlich der Bearbeitung des Kopfes zu diskutieren [30]. Deshalb erschien es empfehlenswert, die Gefäßversorgung zum Hüftkopf über die A. circumflexa femoris medialis beim Resurfacing zu erhalten, wie dies bereits früher von Harty [23] und Stulberg [48] empfohlen und von Nork et al. [41] detailliert begründet wurde. Die zugrunde liegende, von Ganz et al. [20] beschriebene Technik der chirurgischen Hüftluxation mit gesicherter Erhaltung dieser Gefäßzufuhr zum Hüftkopf wurde jüngst von Beaulé et al. [8] erstmals bei der Operation zum Oberflächenersatz angewendet, um dabei Blutflussmessungen vor und nach der Vorbereitung des Hüftkopfes zur Aufnahme der Kappe durchzuführen.

Dieser Zugang, der auch wiederholt beschrieben wurde [5], erfolgt in Seitenlage mit einer sog. Trochanterfliposteotomie, bei der sowohl M. vastus lateralis, M. gluteus medius als auch die lange Sehne des M. gluteus minimus am osteotomierten Trochanteranteil verbleiben. Mit Flexion und Außenrotation wird das Trochanterfragment nach ventral umgedreht. Die Hüftgelenkkapsel wird zwischen dem Oberrand der Sehne des M. piriformis und dem Unterrand des M. gluteus minimus schrittweise dargestellt. Die Kapsel wird dann Z-förmig (rechte Seite) inzidiert (■ **Abb. 7**). Anschließend werden Fuß und Unterschenkel in einen ste-



**Abb. 8** ◀ Schnitte an verschiedenen revidierten Femurköpfen nach Oberflächenersatz, wobei die unterschiedliche Zementmanteldicke gut gesehen werden kann. [7]



**Abb. 9** ▲ Finite-Elemente-Modell von 2 Situationen unterschiedlicher Zementmanteldicke: **a** 1,5 mm der Zementpenetration. **b** 6-mm-Zementpenetration mit einer 2 cm<sup>3</sup> zementgefüllten Zyste. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied in der resultierenden Knochenerwärmung. [7]

rielen Sack auf der Gegenseite des Operationstisches gelegt. Die dabei entstehende Subluxation erlaubt eine in der Regel einfache Durchtrennung des Lig. capitis femoris und damit die vollständige Dislokation des Hüftkopfes nach ventral.

Mit entsprechenden Rotationen des Beins werden nahezu 360° des Hüftkopfes einsehbar, was eine Reihe gelenkerhaltender Operationen [10, 31], aber auch eine ungehinderte Durchführung einer Oberflächenersatzoperation erlaubt. Beaulé et al. [8] haben bei dieser Gelegenheit Laserdopplerflussmessungen an 10 arthrotischen Hüftköpfen vor und nach der Präparation des Kopfes mit einer zylindrischen Hohlfräse vorgenommen. Dabei ergab sich bei 9 der 10 Hüftköpfe ein Flussabfall von 70% nach dem Fräsakt und nur ein Kopf zeigte keine Änderung der Perfusion. Damit ist zunächst einmal auf die Gefährdung der Hüftkopfdurchblutung durch das Fräsen mit einer zylindrischen Fräse hingewiesen, aber auch auf die fragliche Bedeutung der Blutversorgung via intraossäre metaepiphysäre

Anastomosierung. Es stellt sich aber auch die Frage, warum dann nicht generell höhere Fehlerraten der Oberflächenersatzoperation beobachtet werden.

In der Reihe der Erklärungsversuche wird immer wieder angeführt dass die Präparation des Hüftkopfes, wenn überhaupt, nicht mehr viel Epiphyse zurücklässt, an welcher sich die Perfusionsstörung auswirken kann. Es wird auch als möglich angesehen, dass sich die Perfusion mit der Zeit erholen kann und dass sich eine Nekrose erst bei einem hohen Verletzungsausmaß der Blutversorgung einstellt [38]. In diesem Zusammenhang wird auch die thermische Wirkung des zur Verankerung der Kopfkappe verwendeten Zements diskutiert.

### Knochenvitalität und Zementpenetration

Die grundlegenden Aspekte der Zementierungstechnik wie Art der Vorbereitung des Knochenbettes, Zeit der Applikation, Verwendung von Druck bei der Applika-

tion und der Einfluss solcher Faktoren auf die Penetrationstiefe des Zements wurden ausführlich in Arbeiten zur klassischen Hüftprothetik diskutiert [40]. Andererseits wird die Penetration durch Blut in den Knochen trabekeln reduziert [27] und durch eine trockene Spongiosafläche erhöht [27]. Hier spielt auch die Verwendung eines Aspirationsystems (z. B. im Trochanter minor) eine wesentliche Rolle [17]. Bei den heute gängigen Oberflächenersatzprothesen wird mehrheitlich Zement mit unterschiedlichen Eigenschaften aber auch unterschiedlichen Applikationstechniken zur Fixation der femoralen Komponente verwendet – man kann also von wesentlichen Unterschieden der Manteldicke des Zements ausgehen [36].

Anlässlich einer Analyse von 98 Versagern von Metall-Metall-Oberflächenprothesen konnten Campbell et al. [13] eine große Varianz von Menge und Verteilung des Zements unter der Metallkappe nachweisen. Der prozentuale Zementausguss des Kopfknochens innerhalb der Kappe variierte von 11–89%.

Bei wegen Lockerung revidierten Prothesen fand sich signifikant mehr Zement als bei Revisionen wegen anderer Gründe und die Lücken zwischen Zement und Knochen waren breit und mit fibrösem Gewebe gefüllt. Andere Präparate zeigten das histologische Bild der Heilung einer thermischen Nekrose. Ein Drittel der eingesandten Prothesenpräparate mit Schenkelhalsfrakturen ließen histologische Folgen der Ischämie in Form von totalem Zellkernverlust von Knochen und Knochenmark ohne Heilungszeichen erkennen.

Basierend auf der Analyse von 10 entnommenen Femurköpfen nach Versagen einer Oberflächenersatzprothese wurde

ein Finite-Elemente-Modell entwickelt, um die Knochennekrose als Funktion von Zementpenetration und -menge besser zu erfassen (■ **Abb. 8, 9**). In Vorgaben mit 6 mm Penetrationstiefe allein, 6 mm Penetrationstiefe und einer zementgefüllten Zyste von 1 cm<sup>3</sup> sowie einer Penetrationstiefe von 6 mm und einer gefüllten Zyste von 2 cm<sup>3</sup> lagen die Spitzentemperaturen bei 55, 61 bzw. 66°C. Die Temperatur blieb >50°C während 37, 64 und 117 s. Die Temperatur blieb >50°C bis zu einer Tiefe von 0,50, 1,25 bzw. 2,00 mm.

Das Modell mag einen Erklärungsaspekt beisteuern, warum Hüftkopfsystem >1 cm<sup>3</sup> ein erhöhtes Risiko einer Frühlockerung der femoralen Komponente darstellen [1, 9]. Die maximal erreichte Temperatur an der Zementknochengrenze ist eine Funktion der Gesamtwärmeproduktion durch den Zement, der Geschwindigkeit der Wärmeentwicklung und der Fähigkeit von Knochen, Prothese und Zement diese Wärme wieder abzuleiten. Zwar sind die meisten dieser Faktoren im Modell berücksichtigt, dennoch ist festzuhalten, dass die Wärmeableitungsfähigkeit des Knochens auch von seiner Dichte und seiner funktionellen Durchblutung abhängt; gerade letzterer kann dabei, je nach chirurgischer Technik aber auch von Patient zu Patient sehr variieren.

Bei der Zementierung der femoralen Komponente sollte deshalb beachtet werden, dass einerseits ein Zementpenetration von 3–5 mm Dicke für eine gute dreidimensionale Verzahnung angestrebt wird [3, 40], andererseits sollte das Risiko einer thermalen Schädigung beachtet werden, so etwa bei Vorliegen von größeren Knochenzysten, die mit Vorteil durch eine autologe Spongiosaplastik aus dem resezierten Knochen gefüllt werden. Schließlich ist die sorgfältige Spülung und Kühlung der Metallkappe während dem Aushärtungsprozess des Zements zu empfehlen.

## Fazit für die Praxis

**Die Femurkopfdurchblutung wird bei der Applikation der heute gängigen Oberflächenprothesen gestört, wobei das Ausmaß vom Zugang und der Art abhängt, mit welcher der Kopf zur Aufnahme der Kappe gefräst wird. Während langfristi-**

**ge Folgen noch nicht überschaubar sind, lassen sich frühe Schenkelhalsfrakturen und postprimäre femorale Lockerungen (Schenkelhalschwund) zwanglos als Folge von dabei nachgewiesenen Knochennekrosen ansehen. Daraus lässt sich folgern, dass die Blutzufuhr zum Femurkopf so gut wie möglich zu erhalten ist, durch konsequente Schonung der Blutzufuhr entlang dem dorsalen und dorso-kranialen Schenkelhals oder durch Begrenzung einer thermischen Schädigung anlässlich der Zementierung. Schließlich ist festzuhalten, dass die Femurkopfvaskularität einen Faktor darstellt, dass aber ein Implantatversagen multifaktoriell ist, d. h. auch von Patientenauswahl, Operationstechnik und Implantatdesign abhängt.**

## Korrespondenzadresse

### Prof. P.E. Beaulé

Division of Orthopaedic Surgery, Head Adult Reconstruction Service, University of Ottawa, Ottawa Hospital – General Campus Critical Care Wing 1646, 501 Smyth Road, K1H 8L6 Ottawa Ontario Canada  
pbeaule@ottawahospital.on.ca

**Danksagung.** Die Abbildungen 1 und 3a basieren auf der Dissertation von Katharina Ganz und Nathalie Krügel.

**Interessenskonflikt.** Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehungen hin: Paul E. Beaulé ist Berater der Firma Wright Medical. Reinhold Ganz und Michael Leunig sind Berater der Firma Plus Orthopedics (heute Teil von Smith & Nephew). Trotz des möglichen Interessenkonflikts ist der Beitrag unabhängig und produktneutral.

## Literatur

- Amstutz HC, Beaulé PE, Dorey FJ et al. (2004) Metal-on-metal hybrid surface arthroplasty: two to six year follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 86: 28–39
- Amstutz HC, Le Duff MJ, Campbell PA (2004) Fracture of the neck of the femur after surface arthroplasty of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 86: 1874–1877
- Askew MJ, Streege JW, Lewis JL et al. (1984) Effect of cement pressure and bone strength on polymethylmethacrylate fixation. *J Orthop Res* 1: 412–420
- Back DL, Dalziel R, Young D, Shimmin A (2005) Early results of primary Birmingham Hip Resurfacings. An independent prospective study of the first 230 hips. *J Bone Joint Surg Br* 87: 324–329
- Beaulé PE (2004) A soft tissue sparing approach to surface arthroplasty of the hip. *Operat Techn Orthop* 14: 16–84

- Beaulé PE, Campbell PA, Hoke R, Dorey FJ (2006) Notching of the femoral neck during resurfacing arthroplasty of the hip. A vascular study. *J Bone Joint Surg Br* 88: 35–39
- Beaulé PE, Campbell PA, Lu Z et al. (2006) Vascularity of the arthritic femoral head and hip resurfacing. *J Bone Joint Surg Am* 88: 85–96
- Beaulé PE, Campbell PA, Shim P (2007) Femoral head blood flow during hip resurfacing. *Clin Orthop* 456: 148–152
- Beaulé PE, Dorey FJ, LeDuff MJ et al. (2004) Risk factors affecting outcome of metal on metal surface arthroplasty of the hip. *Clin Orthop* 418: 87–93
- Beck M, Leunig M, Parvizi J et al. (2004) Anterior femoroacetabular impingement. Part II. Midterm results of surgical treatment. *Clin Orthop* 418: 67–73
- Beck M, Siebenrock KA, Affolter B et al. (2004) Increased intraarticular pressure reduces blood flow to the femoral head. *Clin Orthop* 424: 149–152
- Bogoch ER, Fornasier VL, Capello WN (1982) The femoral head remnant in resurfacing arthroplasty. *Clin Orthop* 167: 92–105
- Campbell PA, Beaulé PE, Ebrahimzadeh E et al. (2006) The John Charnley Award: a study of implant failure in metal-on-metal surface arthroplasties. *Clin Orthop* 453: 35–46
- Campbell PA, Mirra J, Amstutz HC (2000) Viability of femoral head treated with resurfacing arthroplasty. *J Arthroplasty* 15: 120–122
- Carlioz H, Pous JG, Rey JC (1968) Les épiphysiolyses femorales supérieures. *Rev Chir Orthop Reparat Appar Mot* 54: 387–491
- Crock HV (1996) An atlas of vascular anatomy of the skeleton and spinal cord. *J Bone Joint Surg Br* 88: 35–39
- Daniel J, Pynsent PB, McMinn DJW (2004) Metal-on-metal resurfacing of the hip in patients under the age of 55 years with osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Br* 86: 177–184
- De Waal Malefijt MC, Huiskes R (1993) A clinical, radiological and biomechanical study of the TARA hip prosthesis. *Arch Orthop Trauma Surg* 112: 220–225
- Freeman MAR (1978) Some anatomical and mechanical considerations relevant to the surface replacement of the femoral head. *Clin Orthop* 134: 19–24
- Ganz R, Gill TJ, Gautier E et al. (2001) Surgical dislocation of the adult hip. A new technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. *J Bone Joint Surg Br* 83: 1119–1124
- Ganz R, Parvizi J, Leunig M, Siebenrock KA (2003) Femoroacetabular impingement: a cause for osteoarthritis of the hip. *Clin Orthop* 417: 112–120
- Gautier E, Ganz K, Krugel N et al. (2000) Anatomy of the medial circumflex artery and its surgical implications. *J Bone Joint Surg Br* 82: 679–683
- Harty M (1982) Surface replacement arthroplasty of the hip. Anatomic considerations. *Orthop Clin North Am* 13: 667–679
- Head WC (1981) Wagner surface replacement arthroplasty of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 63: 420–427
- Howie DW, Cornish BL, Vernon-Roberts B (1993) The viability of the femoral head after resurfacing hip arthroplasty in humans. *Clin Orthop* 291: 171–184
- Jolley MN, Salvati EA, Brown GC (1982) Early results and complications of surface replacement of the hip. *J Bone Joint Surg Am* 64: 366–377

27. Juliusson R, Flivik G, Nilsson J et al. (1995) Ciculating blood diminishes cement penetration into cancellous bone. In vitro studies of 21 arthrotic femoral heads. *Acta Othop Scand* 66: 234–238
28. Kalthor M, Beck M, Huff T, Ganz R (2008) Capsular and pericapsular contribution to acetabular and femoral head perfusion: Anatomical considerations and surgical implications. *J Bone Joint Surg Am* (accepted)
29. Khan A, Yates P, Lovering A et al. (2007) The effect of surgical approach on blood flow to the femoral head during resurfacing. *J Bone Joint Surg Br* 89: 25
30. Lavigne M, Kalthor M, Beck M et al. (2005) Distribution of vascular foramina around the femoral head and neck junction: relevance for conservative intracapsular procedures of the hip. *Orthop Clin North Am* 36: 171–176
31. Lavigne M, Parvizi J, Beck M et al. (2004) Anterior femoro-acetabular impingement. Part I: techniques of joint preserving surgery. *Clin Orthop* 418: 61–66
32. Leunig M, Ganz R (2007) Vascularity of the femoral head after Birmingham hip resurfacing. A technetium Tc 99m bone scan/single photon emission computed tomography study. *J Arthroplasty* 22: 784–785
33. Leunig M, Slongo T, Kleinschmidt M, Ganz R (2007) Subcapitale Korrekturosteotomie bei der Epiphysiolysis capitis femoris mittels chirurgischer Hüftluxation. *Operat Orthop Trauma* 19: 389–410
34. Little CP, Ruiz AL, Harding IJ et al. (2005) Osteonecrosis in retrieved femoral heads after failed resurfacing arthroplasty of the hip. *J Bone Joint Surg Br* 87: 320–323
35. Markolf KL, Amstutz HC (1980) Mechanical strength of the femur following resurfacing and conventional total hip replacement procedures. *Clin Orthop* 147: 170–180
36. McMinn DJW (2003) Development of metal/metal hip resurfacing. *Hip International* 13(Suppl 2): 41–53
37. Mjoberg B, Pettersson H, Rosenqvist R, Rydholm A (1984) Bone cement, thermal injury and the radiolucent zone. *Acta Othop Scand* 55: 597–600
38. Mont MA, Jones LC, Sotereanos DC et al. (2000) Understanding and treating osteonecrosis of the femoral head. In: Price CT (ed) *Instructional course lectures*. American Academy of Orthopaedic Surgeons, Rosemont, IL, pp 169–188
39. Nishino M, Matsumoto T, Nakamura T, Tomita K (1997) Pathological and hemodynamic study in a new model of femoral head necrosis following traumatic dislocation. *Arch Orthop Trauma Surg* 116: 259–262
40. Noble PC, Swarts E (1983) Penetration of acrylic bone cements into cancellous bone. *Acta Othop Scand* 54: 566–573
41. Nork SE, Schar M, Pfander G et al. (2005) Anatomic considerations for the choice of surgical approach for hip resurfacing arthroplasty. *Orthop Clin North Am* 36: 163–170
42. Notzli HP, Siebenrock KA, Hempfing A et al. (2002) Perfusion of the femoral head during surgical dislocation of the hip. Monitoring by laser Doppler flowmetry. *J Bone Joint Surg Br* 84: 300–304
43. Pollard TCB, Baker RP, Eastaugh-Waring SJ, Bannister GC (2006) Treatment of the young active patient with osteoarthritis of the hip. Two to seven year comparison of hybrid total hip arthroplasty and metal-on-metal resurfacing. *J Bone Joint Surg Br* 88: 592–600
44. Sevitt S, Thompson RC (1965) The distribution and anastomoses of arteries supplying the head and neck of the femur. *J Bone Joint Surg Br* 47: 560–573
45. Shimmmin A, Back D (2005) Femoral neck fractures following Birmingham hip resurfacing. A national review of 50 cases. *J Bone Joint Surg Br* 87: 463–464
46. Steffen R, O'Rourke K, Gill HS, Murray DW (2007) The anterolateral approach leads to less disruption of the femoral head-neck blood supply than the posterior approach during hip resurfacing. *J Bone Joint Surg Br* 89: 1293–1298
47. Steffen RT, Smith SR, Urban JP et al. (2005) The effect of hip resurfacing on oxygen concentration in the femoral head. *J Bone Joint Surg Br* 87: 1468–1474
48. Stulberg SD (1982) Surgical approaches for the performance of surface replacement arthroplasties. *Orthop Clin North Am* 13: 739–746
49. Treacy R, Pynsent P (2005) Birmingham hip resurfacing arthroplasty. A minimum follow-up of five years. *J Bone Joint Surg Br* 87: 167–170
50. Trueta J (1957) The normal vascular anatomy of the human femoral head during growth. *J Bone Joint Surg Br* 39: 358–394
51. Whiteside LA, Lange DR, Capello WN, Fraser B (1983) The Effects of surgical procedures on the blood supply to the femoral head. *J Bone Joint Surg Am* 65: 1127–1133

## Maßgeschneiderte Knochen aus Metallpulver

Fertigung von individuellen Knochenimplantaten durch Lasertechnik

Knochen sind besonders leicht jedoch enorm belastbar. Bei Knochenimplantaten gilt es diese Struktur nachzuahmen um maximale Funktionalität zu erreichen. Dies beinhaltet sowohl die Nachbildung des schwammigen Knocheninneren sowie die verschiedenen Stellen, an denen Knochen kompakt und fest oder porös beschaffen ist.

Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung in Bremen nahmen sich die Natur als Beispiel. Sie entwickelten ein Simulationsprogramm, das die innere Struktur und Dichteverteilung des Knochenmaterials berechnet. Weiterhin simuliert das Programm, wie die Struktur des künstlich angefertigten Materials beschaffen sein muss, um vorgegebenen Anforderungen zu genügen.

Die Umsetzung dieser Technik in die Praxis ist besonders für die Herstellung von Knochenimplantaten interessant. Durch ein Rapid-Prototyping-Verfahren können komplexe Bauteile gefertigt werden, die exakt die gewünschte Dichte und Festigkeit besitzen. Mit Hilfe von Lasern wird Metallpulver so präzise erhitzt, dass ein offenporiges aber auch sehr robustes Bauteil entsteht. So können individuelle Implantate, etwa für das Knie, gefertigt werden, die dem Knochen des Patienten stark gleichen.

Quelle:

Fraunhofer=Gesellschaft, München  
www.fraunhofer.de