Intraoperative Messung der Knochenqualität – erste klinische Erfahrung in der Wirbelsäulenchirurgie

Lorin Michael Benneker[a], Ronald Schwyn[b]

[a] Departement für Orthopädie, Inselspital, Bern
[b] Biomechanical Services, AO Research Institute Davos

Altersfrakturen und osteoporosebedingte Komplikationen nach orthopädischen Eingriffen belasten die Ressourcen unseres Gesundheitssystems bereits beträchtlich, und angesichts der demographischen Entwicklung dürften die Folgen der Osteoporose in Zukunft noch weiter zunehmen [1]. Hauptsächlich betroffen sind die Wirbelsäule, das proximale Femur, der proximale Humerus und der distale Radius. Schraubenlockerungen bei operativen Behandlungen infolge schlechter Knochenqualität von bis zu 17% bei spinaler Chirurgie resp. bis zu 16% bei proximalen Femurfrakturen sind beschrieben.

Welche Knochenqualität liegt vor?

Ein Grossteil dieser Komplikationen könnte durch die Wahl von angepassten Implantaten oder mit einer Zementaugmentation der Schrauben vermieden werden, weshalb die Information über die Knochenqualität zum Zeitpunkt des Eingriffs von höchster Bedeutung ist. Gerade aber bei traumatischen Frakturen fehlt diese Information häufig, und eine adäquate Osteoporose-Abklärung ist präoperativ nicht immer möglich. Selbst wenn bereits eine Knochendichtemessung mittels DXA (Dual-Röntgen-Absorptiometrie) vorliegt, kann sich insbesondere an der Wirbelsäule die lokale Knochenfestigkeit von der gemessenen Subregion unterscheiden, da degenerative Veränderungen die Messwerte verfälschen. Ausserdem können andere Parameter, welche die Knochenfestigkeit bestimmen, wie Architektur und Dimension der Trabekel, Verteilung der Mineralisation und Knochen-Remodelling, nicht ohne Biopsie erfasst werden.
Vor diesem Hintergrund wurde in Kooperation mit dem Inselspital Bern und dem AO Forschungsinstitut Davos das DensiProbe™ Spine System entwickelt (Abb. 1 📷). Dieses Gerät ermöglicht die intraoperative Messung der Knochenqualität während dorsalen, transpedikulären Stabilisationen. Das DensiProbe™ Spine besteht aus einer adaptierten Pedikelvertiefungsahle («finder») und einem elektronischen Messmodul, das die Messung des Drehwiderstands des spongiösen Knochens des Wirbelkörpers ermöglicht, also genau an der Stelle, an welcher später die Pedikelschraube platziert wird.
In einem präklinischen Versuch an zehn humanen Kadaverwirbelkörpern wurde eine signifikante Korrelation des gemessenen Drehwiderstands zur Knochendichte gezeigt. Dabei war die Signifikanz der Korrelation höher, wenn gegen die lokale Knochendichte im Bereich der Schrauben (gemessen mit quantitativer Mikro-Computertomographie [qCT]) verglichen wurde als gegen die globale Knochendichte des ganzen Wirbels. Dies unterstreicht die Relevanz der regionalen Unterschiede der Knochenqualität. Weiter zeigten sich in den anschliessenden mechanischen Belastungstests, dass der Drehwiderstand der Spongiosa den höchsten prädiktiven Wert für eine Schraubenlockerung hat ($R^2 = 0{,}919$), gefolgt von der lokalen ($R^2 = 0{,}805$) und der regionalen ($R^2 = 0{,}604$) Knochendichte [2].

Lorin Michael Benneker

Klinische Messung der Knochendichte an Wirbelkörpern

In einer klinischen Studie mit einer prospektiv erfassten Kohorte von 30 Patienten wurde im Rahmen von dorsalen Stabilisierungsoperationen bei insgesamt 79 Wirbelkörpern eine DensiProbe™-Spine-Messung durchgeführt. Die Ergebnisse wurden wiederum gegen die Knochendichte verglichen, und das Handling und die Sicherheit des Instruments wurden evaluiert (Abb. 2 📷). Die Knochendichte wurde einerseits anhand von Biopsien des gleichen Wirbels mit qCT, andererseit mittels DXA-Messungen an verschiedenen Körperregionen bestimmt.
Ausser einer leichten Verlängerung der Operationszeit von weniger als zwei Minuten pro Level sind während der ganzen Beobachtungszeit von einem Jahr keine unerwünschten Ereignisse im Zusammenhang mit der Messung festgestellt worden. Auch unter klinischen Bedingungen war das Instrument einfach und zuverlässig anzuwenden, allerdings sind die Messungen oberhalb von Th10 aufgrund der geringeren Dimensionen von Pedikel und Wirbelkörper schwieriger (eine kleinere Messsonde müsste entwickelt werden). Auch in vivo konnte eine signifikante Korrelation des Drehwiderstands zur lokalen Knochendichte (qCT) gezeigt werden, die Korrelation zur regionalen Knochendichte (DXA) war erst nach Ausschluss der thorakalen Messungen signifikant. Bei insgesamt acht Patienten wurde vom verblindeten Operateur eine Zementaugmentation der Schrauben durchgeführt; bis auf einen Fall waren die Messwerte sowohl für das Drehmoment als auch der Knochendichte im untersten Drittel aller Werte. Bei einem Patienten (m, 45y) wurde eine Migration des Implantats festgestellt; in diesem Fall einer traumatisch erlittenen Fraktur war präoperativ keine Osteoporose vermutet worden. Sowohl die sehr tiefen Werte für den spongiösen Drehwiderstand als auch die verminderte Knochendichte in qCT und DXA bestätigten aber das Vorliegen einer Osteoporose, und eine entsprechende medikamentöse Therapie wurde eingeleitet.
Die ersten klinischen Resultate zeigen also, dass die intraoperative Messung der Knochenqualität mit dem Den-

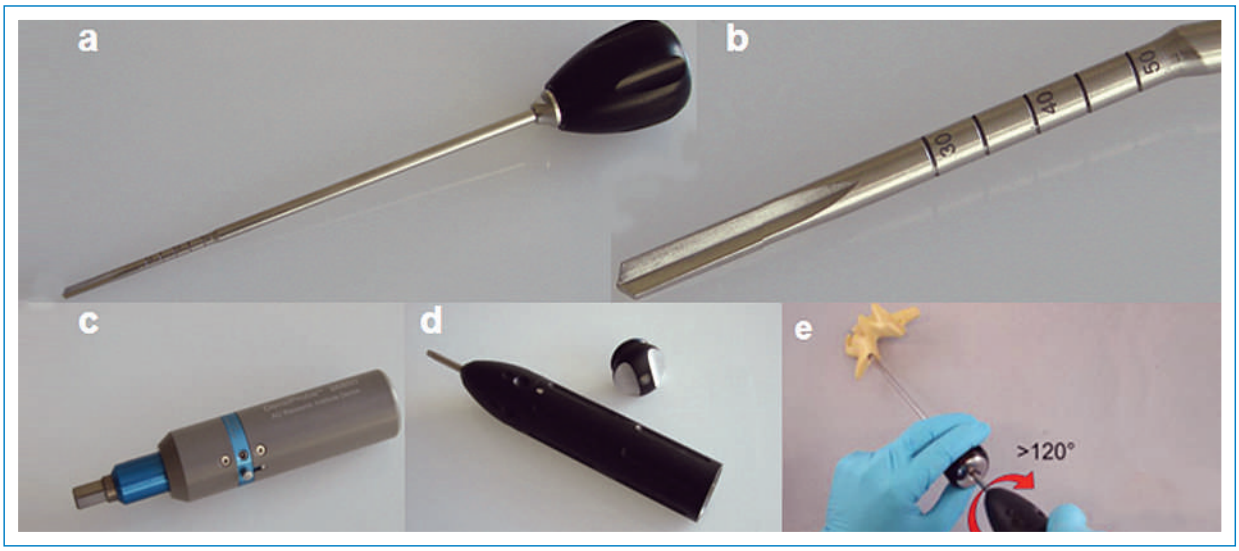

Abbildung 1
Das DensiProbe™ Spine besteht aus einem adaptierten Pedikel-«finder» **(a)** mit maximierter Oberfläche im Messbereich **(b)**, einem elektronischen Drehmomentmessmodul **(c)** und einem sterilisierbaren Griff mit LED-Anzeige.
Das Prinzip beruht auf der Messung des maximalen Drehwiderstands im spongiösen Knochen **(e)**.

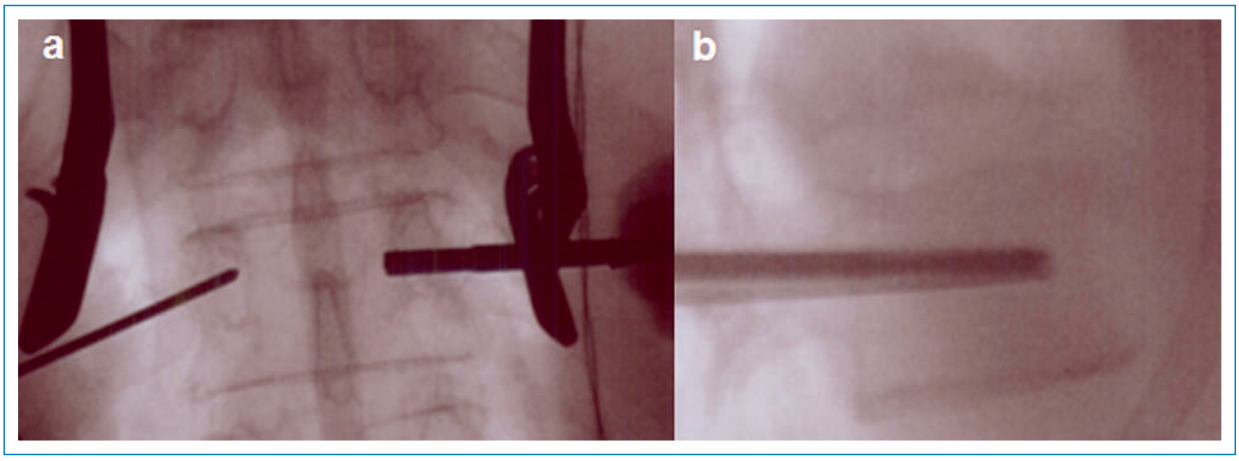

Abbildung 2
Transpedikuläre Platzierung der Messsonde (rechter Pedikel) unter biplanarer Röntgenkontrolle. Die Spitze des DensiProbe™ Spine wird im spongiösen Knochen platziert, ein Kontakt mit der Kortikalis der Wirbelvorderwand muss vermieden werden.
Auf der contralateralen Seite wurde jeweils eine Biopsie zur Messung der Knochendichte gewonnen.

siProbe™ Spine an der Wirbelsäule verlässlich und sicher ist. Die Ergebnisse zeigen weiter die lokalen Unterschiede der Knochendichte auf, die mit der regionalen DXA-Messung nicht präzise erfasst werden können und dadurch präoperativ nicht bekannt sind. Aktuell müssen in grossen Studienpopulationen die kritischen Grenzwerte ermittelt werden, ab wann zum Beispiel eine Zementaugmentation indiziert ist, um einen adäquaten Schraubenhalt zu gewährleisten.

Prinzipiell ist das DensiProbe™ überall dort sinnvoll, wo keine bikortikalen Schrauben verwendet werden können und der Schraubenhalt durch die Qualität des spongiösen Knochens bestimmt wird, zum Beispiel bei gelenksnahen Frakturen am proximalen Femur, Humerus, distalen Radius, Fersen- und Kreuzbein. Für den proximalen Femur und das Fersenbein wurden bereits DensiProbe™-Systeme entwickelt und bei Schenkelhalsfrakturen auch schon klinisch angewendet [3]. Die Methode erlaubt eine Ad-hoc-Beurteilung der lokalen Knochenfestigkeit im Operationsfeld, ist aber kein Ersatz für die heute etablierte Osteoporoseabklärung mittels DXA-Messung.

Korrespondenz:
PD Dr. med. Lorin Michael Benneker
Departement für Orthopädie
Inselspital Bern
Freiburgstrasse
CH-3010 Bern
lorinmichael.benneker[at]insel.ch

Literatur

1 Lippuner K, Grifone S, Schwenkglenks M, Schwab P, Popp AW, Senn C, Perrelet R. Comparative trends in hospitalizations for osteoporotic fractures and other frequent diseases between 2000 and 2008. Osteoporos Int. 2012;23(3):829–39. Epub 2011 May 28.
2 Deckelmann S, Schwyn R, Van der Pol B, Windolf M, Heini PF, Benneker LM. DensiProbe Spine: A Novel Instrument for Intraoperative Measurement of Bone Density in Transpedicular Screw Fixation. Spine (Phila Pa 1976). 2010 Feb 26.
3 Suhm N, Haenni M, Schwyn R, Hirschmann M, Müller AM. Quantification of bone strength by intraoperative torque measurement: a technical note. Arch Orthop Trauma Surg. 2008;128(6):613–20. Epub 2008 Feb 23.