

Johannes Sebastian Rieger
Dr. sc. hum.

Die Lockerungsdiagnose von Hüftendoprothesen mittels Schwingungsanalyse: Beitrag zur Methodenerweiterung für die klinische Anwendung

Fach/Einrichtung: Orthopädie

Doktorvater: Priv.-Doz. Dr. med. Rudi Georg Bitsch

Jährlich werden in der Hüftendoprothetik bei der Primärversorgung steigende Implantationszahlen registriert. Dieser Trend ist ein Beleg für den anhaltenden Fortschritt im Bereich der Endoprothetik. Standzeiten der Implantate von ca. 95 % Prozent nach zehn Jahren sind reale Werte. Als Konsequenz aus der steigenden Implantationsrate zeichnet sich im Zusammenhang mit dem prognostizierten demographischen Wandel eine Zunahme der Revisionsoperationen ab. Häufigste Ursache für diese oft schwerwiegenden und komplexen Eingriffe sind aseptische Lockerungen.

Zur Bewertung der Implantatstabilität und als routinemäßiges Diagnostikum aseptischer Lockerungen dient heute die radiologische Verlaufskontrolle. Dieses Verfahren weist jedoch Unzulänglichkeiten in Bezug auf Sensitivität und Spezifität auf. Dies gilt insbesondere für Lockerungen im frühen Stadium. Bei einer späten Diagnose besteht durch Mikrobewegungen des Implantats das Risiko eines Knochensubstanzverlustes. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, sind neue methodische Konzepte erforderlich. Ein potenzieller Ansatz hierfür ist die Schwingungsanalyse.

In dieser Arbeit wurde die Eignung des Verfahrens an Hand eines Hüftmodells untersucht und eine innovative Weiterentwicklung der Methodik unter realitätsnahen Bedingungen am humanen Präparat getestet. Das Modell bestand aus einem künstlichen Femur und einem künstlichen Hüftbein. Als Gelenkersatz wurde ein CLS™ Spotorno™ Schaftimplantat, gepaart mit einer Allofit™ Hüftpfanne, verwendet. Es wurden sechs identische Modelle aufgebaut und vermessen. Die Implantatkomponenten wurden sukzessive hochgradig gelockert. Insgesamt wurden vier Implantatzustände unterschieden:

- Festzustand (Referenzzustand)
- Schaftlockerung
- Schaft-Pfannenlockerung
- Pfannenlockerung

Das Modell wurde mit einem elektromagnetischen *Shaker* zwischen 100 Hz und 2000 Hz angeregt. Die Schwingungen wurden mit zwei, auf unterschiedlichen Messprinzipien basierenden, Systemen erfasst. Mit einem Laser-Vibrometer wurde das Modell großflächig an 78 Messstellen optisch abgetastet. Daneben wurden drei *Accelerometer* am Kondylus medialis, am Trochanter major und an der Crista iliaca befestigt. Ausgewertet wurden sowohl die aufgezeichneten Resonanzspektren als auch die Frequenzantwort nach monofrequenter Anregung an den Resonanzen.

Lockerungen, insbesondere die der Schaftkomponente, bewirkten signifikante Resonanzverschiebungen in den niederfrequenteren Bereich. Am stärksten war diese Verschiebung bei der ersten Femur-Mode ausgeprägt. Sie lag im Bereich von 200 Hz. Die Integralwerte der Resonanzspektren reagierten ebenfalls sensitiv auf Schaftlockerungen. Bei einer Nebenfrequenzanalyse konnte im Falle einer Pfannenlockerung eine signifikant höhere Anzahl von Frequenzanteilen bestimmt werden.

Die Bestimmung des Lockerungszustandes war im *Sawbone*[®]-Modell demnach möglich. Durch die Kombination unterschiedlicher Auswertungsverfahren konnte zwischen den Lockerungen beider Komponenten differenziert werden. In einem nächsten Schritt mussten die größten Limitationen, denen der Modellversuch unterlag, beseitigt werden.

Ein erster Versuch am humanen Präparat zeigte, dass der direkte Methodentransfer aufgrund des Weichteilgewebes scheiterte. Des Weiteren stellte sich die liegende Lagerung, die in vergleichbaren Studien angewandt wurde, als ungeeignet heraus. Diese Erkenntnisse wurden in einem angepassten Studiendesign umgesetzt. Dabei wurden insbesondere zwei Modifikationen realisiert. Erstens wurde das Präparat für die Untersuchungen hängend gelagert. Zweitens wurden als innovatives Anregungskonzept extrakorporale Stoßwellen verwendet. Dabei wurden Druckwellen auf die Knochenoberfläche fokussiert. Durch Verschiebung des Fokuspunktes konnte diese Anregung an unterschiedliche Situationen des Weichteilgewebes adaptiert werden.

Insgesamt wurden bei drei humanen Präparaten, jeweils bestehend aus den beiden unteren Extremitäten sowie dem Becken, bilateral Hüft-Totalendoprothesen eingesetzt. Die Implantatauswahl und die Simulation der vier Lockerungszustände wurden analog zum Modellversuch durchgeführt. Die Anregung erfolgte an der lateralen Kondyle des Femurs, am Trochanter major und an der Crista iliaca. Die Schwingungen wurden mit drei *Accelerometern* gemessen, die mit Knochenpins in der Kortikalis befestigt waren.

Die Messwerte belegten, dass nach Anregungen mit extrakorporalen Stoßwellen eine suffiziente Anregung des Knochen-Implantat-Systems möglich war. Die am stärksten ausgeprägte Resonanz trat im Bereich zwischen 1500 Hz und 2500 Hz auf. Bei einer Schaftlockerung traten signifikante Verschiebungen in den niederfrequenten Bereich auf und konnte diagnostiziert werden.

Für die zukünftige Entwicklung bietet die Anregung mit extrakorporalen Stoßwellen die Möglichkeit, nicht-invasiv und unabhängig von den Bedingungen des Weichteilgewebes anzuregen. Darüber hinaus birgt das Verfahren das Potenzial einer direkten Prothesenanregung. Gepaart mit einer ebenfalls nicht-invasiven Sensorik, beispielsweise basierend auf dem Doppeler-Effekt, wird damit die Grundlage für die Entwicklung eines weiteren Diagnostikums für gelockerte Implantatkomponenten geschaffen. Langfristig könnte dem Kliniker ein schnell anwendbares Verfahren, ergänzend zur radiologischen Verlaufskontrolle, zur Verfügung stehen. Eine Revisionsoperation könnte dadurch früher indiziert und erleichtert werden.