



Abstract

Titel: Lockerungsdiagnostik von Endoprothesen per Vibrometrie

-

Experimentelle Studie zur Validierung der Methodik

Klinik/Institut: Department Orthopädie und Unfallchirurgie

UniversitätsKlinikum Heidelberg

Labor für Biomechanik und Implantatforschung

Autoren: Johannes S. Rieger, Sebastian Jäger, C. Schuld, Rudi G. Bitsch

Einleitung

Die Anzahl der Implantationen in der Hüft-Endoprothetik steigt mit der Erhöhung der Lebenserwartung in der Bevölkerung an. Somit nimmt auch die Problematik der Prothesenlockerung in der Orthopädie an Bedeutung zu. Die sichere Diagnose sowie die Lokalisationsbestimmung einer solchen Lockerung gestalten sich im Frühstadium mit konventionellen Diagnosetechniken oft schwierig. Das Standardverfahren, die radiologische Untersuchung, erfordert engmaschige Kontrolluntersuchungen mit entsprechender Strahlenexposition für den Patienten. Die Lockerungsdiagnostik mittels Schwingungsanalyse, auch Vibrometrie genannt, stellt einen neuen Diagnoseansatz dar.

In diesem Projekt soll die primäre Frage geklärt werden, ob die Lockerung einer Hüft-Endoprothese mittels Schwingungsanalyse detektiert und gegebenenfalls lokalisiert werden kann.

Material und Methoden

Bei dieser Untersuchung wird das Knochen-Implantat-System am Condylus lateralis mittels eines elektro-magnetischen Schwingerregers angeregt. Die resultierenden Vibrationen werden mit Beschleunigungssensoren gemessen. Die Messpunkte werden an drei unterschiedlichen Lokalisationen gesetzt und deren Eignung untersucht: am Condylus medialis, am Trochanter major und an der Crista iliaca. Somit sollen sowohl femorale als auch pfannenseitige Lockerungen erkannt werden.

Im Versuch werden sechs artifizielle Hüftgelenke mit implantierter CLS™ Spotorno™ Schaftprothesen und Allofit™-Pfannen als Modell nachgestellt. Es werden jeweils vier Lockerungssituationen nachgebildet:

- Schaft fest - Pfanne fest
- Schaft locker - Pfanne fest
- Schaft locker - Pfanne locker
- Schaft fest - Pfanne locker

Die Resonanzspektren der Gelenkstruktur werden von 100 bis 2000 Hz aufgezeichnet und hinsichtlich der Resonanzverschiebungen und Resonanzamplituden analysiert. Des Weiteren werden nach monofrequenter Anregung in den Resonanzbereichen die Leistungsspektren aus den gemessenen Zeitsignalen berechnet. Diese werden nach zusätzlich auftretenden Frequenzspitzen untersucht, die auf nicht-Linearitäten im Gefüge rückzuführen sind. Es sollen charakteristische Differenzierungsmerkmale

zwischen lockeren und festen Implantatkomponenten erarbeitet werden. Zur Validierung wird ein Vergleich mit einem Laser-Scanning-Vibrometer durchgeführt.

Anschließend wird das Verfahren und die am Modell erarbeiteten Erkenntnisse an Humanpräparaten mit vorhandenen Weichteilen überprüft. Während der Untersuchung werden die einzelnen Implantatkomponenten standardisiert gelockert und die dem Modellversuch entsprechenden Lockerungszustände sukzessiv simuliert. Im Vergleich zu den Sawbone-Messungen wird insbesondere auf den Einfluss der Lagerung sowie auf die Weichteilproblematik bei der Applizierung des Anregungssignals und bei der Messung mit Beschleunigungssensoren eingegangen.

Ergebnisse

Die Analyse der im Modell gemessenen Spektren ergab einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Lockerungszustand und der Lage der Resonanzen. Der charakteristischste Resonanzfall ergab sich jeweils im Frequenzbereich um 200 Hz. Mit Hilfe der Laser-Vibrometrie konnte die Schwingungsart als 1. Femurbiegung klassifiziert werden.

In beiden Fällen, in denen eine Lockerung der Schaftprothese vorlag kam es zu einer signifikanten Verschiebung der Resonanzfrequenz im Vergleich zur Referenz in den niederfrequenten Bereich. Im Mittel lag diese Verschiebung bei 39,6 Hz (SD=23,3) bzw. 36,5 (SD=20,7). Dieser Frequenzshift konnte sowohl mit der Laser-Vibrometrie als auch mit den Beschleunigungsaufnehmern gemessen werden (24,3 Hz (SD=12,7) bzw. 25 Hz (SD=12,2)).

Bei der Analyse der Spektren nach monofrequenter Anregung zeigte sich nur in den beiden Fällen einer gelockerten Pfanne eine signifikant höhere Anzahl an Frequenzspitzen (gemessen an der Crista iliaca) im Vergleich zur Referenz.

Diskussion

Im Modellversuch konnte gezeigt werden, dass eine Lockerung des Implantatschaftes zu einer signifikant niedrigeren Resonanzlage im Bereich um 200 Hz (1. Femurbiegung) führt.

Bei gelockerten Pfannen kann eine signifikant höhere Anzahl an Frequenzspitzen an der Crista iliaca detektiert werden.

Aufbauend auf den Erkenntnissen des Modellversuchs soll in einer Präparatstudie die Vibrometrie in realistischer Umgebung hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit untersucht werden. Das langfristige Ziel ist es, die Vibrometrie für die Patienten-anwendung zu etablieren um die Osteointegration von Endoprothesen beurteilen zu können.