

Beitrag zur quantitativen Abriebbestimmung an Hüftgelenksexplantaten unter Berücksichtigung der Deformation

Einleitung und Problemstellung

Weltweit werden circa 1 Mio Hüftendoprothesen im Jahr implantiert. Der künstliche Hüftgelenkersatz soll die Funktionalität des Hüftgelenks wieder herstellen, die beispielsweise durch fortgeschrittene Athrose eingeschränkt war. Die Bewegung des künstlichen Gelenkes findet in der Gleitpaarung statt, die aus dem pfannenförmigen beckenseitigen Ersatz und dem kugelförmigen, im Oberschenkel befestigten Ersatz gebildet wird. Derzeit verbleiben mehr als 95% der Implantate mehr als 10 Jahre nach der Operation im Patienten und die Oberflächen der Gleitpaarung werden durch alltägliche Bewegungen beansprucht. Eine natürliche Folge der Belastung ist Abrieb in den Oberflächen der Gleitpaarung. Geringe Mengen von Abrieb werden als normal angesehen, jedoch kann übermäßiger Abrieb unter anderem zu Entzündungsreaktionen und zu Lockerungen der Endoprothese führen, was wiederum eine vorzeitige Explantation der Endoprothese nach sich zieht. Aus der Untersuchung von entnommenen Endoprothesen werden Rückschlüsse auf ihr in-vivo-Verhalten gezogen. Auf diese Weise können die Ursachen für vorzeitige Explantationen identifiziert und in Zukunft vermieden werden.

Ein Bestandteil der Untersuchung von entnommenen Endoprothesenkomponenten ist die Bestimmung des Abriebs in der Gleitfläche. Zu diesem Zweck wird die Oberfläche hochgenau geometrisch vermessen und aus den Messdaten der Abrieb bestimmt. Die Abriebbestimmung erfolgt häufig durch Vergleich der gemessenen Oberfläche mit einer idealen Kugeloberfläche, da die Fläche als solche geplant war. Abriebvolumen und Abriektiefe werden dann durch Differentiation quantifiziert. Diese Vorgehensweise berücksichtigt weder Fertigungsabweichungen noch Verformungen der Komponente, wodurch die Quantifizierung des Abriebs verfälscht wird. Zudem ist keinerlei Unterscheidung zwischen Abrieb und Deformation möglich.

Zielstellung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Quantifizierung des Abriebs in der Gleitfläche von explantierten Hüftendoprothesen anhand ihrer Geometrie. Diese Gleitfläche wird geometrisch vermessen und innerhalb der Messdaten soll der Abrieb unter Berücksichtigung von nicht auf Abrieb zurückzuführenden Formabweichungen der Endoprothese bestimmt werden. Dazu sollen sowohl Abriebgebiet als auch nicht-abgeriebene Geometrie aus den 3D-Messdaten abgeleitet werden. Entsprechend ist eine Methode zur Klassifikation der Messdaten nach abgeriebenem und nicht-abgeriebenem Bereich und eine Methode zu Rekonstruktion der nicht-abgeriebenen Geometrie aus den Messdaten des nicht-abgeriebenen Bereiches zu entwickeln. Mit dieser

Methode soll der Abrieb in der Gleitfläche hinreichend genau ermittelt werden können.

Vorgehensweise

Zur Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung des Materialabriebs in der Gleitfläche wurde der ein etabliertes Verfahren den neu-entwickelten Methoden gegenübergestellt. Mit beiden Verfahren wurden alle an diesem Prozess beteiligten Schritte untersucht: Die geometrische Vermessung, die Identifizierung des Abriebgebietes, die Rekonstruktion der nicht-abgeriebenen Fläche und die Quantifizierung des Abriebs.

Die geometrische Vermessung mit einem Koordinatenmessgerät dient der hochgenauen Aufnahme der 3D-Geometrie der Gleitfläche. Durch Analyse dieser Messdaten wird die Lage und die Form des Abriebgebietes identifiziert. Im etablierten Verfahren erfolgt dies abstands basiert unter Verwendung einer Regelgeometrie. Die gleiche Regelgeometrie wird auch zur parametrischen Beschreibung der nicht-abgeriebenen Gleitfläche verwendet.

Die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Methode hingegen basiert auf der Untersuchung der Krümmung in den Messdaten, da am Rand eines Abriebgebietes die Krümmung anders geartet ist als im nicht-abgeriebenen Bereich. Um die Krümmungsuntersuchung in Messdaten und die Feststellung signifikanter Änderungen zur Erkennung des Randes des Abriebgebietes wird eine Verteilung der Messdatenpunkte in Großkreisebenen anvisiert. Diese Datenpunktverteilung liegt ebenfalls der Rekonstruktion zu Grunde, bei der die Fläche ebenenweise aus Datenpunkten des nicht-abgeriebenen Bereiches abgeleitet wird. Diese Fläche wird als minimal gekrümmt unter Verwendung von Spline-Interpolationen rekonstruiert. Aus rekonstruierter Fläche über dem Abriebgebiet und der gemessenen Fläche des Abriebgebietes wird der Abrieb in den Parametern Tiefe und Volumen berechnet. Darüber hinaus werden Methoden zur Untersuchung der nicht-abgeriebenen Form beschrieben.

Die Validierung der Methoden zur Abriebbemimmung erfolgt anhand eines hochskalierten Probekörpers in einem Ringversuch. Dieser Probekörper aus Polyamid ist einem Hüftendoprothesenkopf nachempfunden und hat die Form einer Halbkugel mit einem Radius von 12,5 cm. Zur Vergleichbarkeit der Messdaten aus verschiedenen Messungen und mit unterschiedlichen Messgeräten wurde dieser Probekörper auf einer Grundplatte reversibel befestigt, die eine eindeutige Festlegung eines Koordinatensystems zulässt. Zu Beginn des Ringversuches erfolgt sowohl eine gravimetrische als auch eine flächenhaft geometrische Vermessung des Probekörpers. Dann wird ein Abriebgebiet in diesen durch Fräsen eingebracht und der bearbeitete Körper erneut vermessen. Auf diese Weise werden das Abriebgebiet in Form und Lage, die Fläche über der Abriebgebiet und der Materialabrieb dokumentiert und dienen den einzelnen Untersuchungen als Referenz.

Darauf aufbauend erfolgt die Validierung der Algorithmen an drei verschiedenen, mit einem Koordinatenmessgerät aufgenommen Messpunktanordnungen. In diesen Messdaten wird das Abriebgebiet sowohl abstands basiert als auch

unter Verwendung zwei verschiedener Krümmungsmaße identifiziert. Aus dem Vergleich der insgesamt neun identifizierten Abriebgebiete mit dem Referenz-Abriebgebiet wird die krümmungsbasierte Abriebidentifizierung bewertet. Weiterhin werden die regelgeometrische und die freiformflächige Rekonstruktion an demselben Probekörper durch Vergleich mit seiner Geometrie vor dem Fräsen des Abriebgebietes validiert. In jedem Versuch werden die Abriebparameter Lage und Form sowie Flächeninhalt des Abriebgebietes sowie Abriebtiefe und -volumen ermittelt. Zur Validierung der Anwendbarkeit für Explantatuntersuchungen werden die krümmungs- und abstands-basierte Abriebgebietidentifizierung sowie die regelgeometrische Rekonstruktion der nicht-abgeriebenen Geometrie außerdem auf einen explantierten Endoprothesenkopf angewendet.

Ergebnisse

Es zeigt sich, dass die Identifizierung der Abriebgebiete mit der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten krümmungsbasierten Methoden valide ist. Die Methode der freiformflächigen Rekonstruktion hat sich als ungeeignet erwiesen, die nicht-abgeriebene Geometrie allein aus den klassifizierten Messdaten zu generieren.

Somit kombiniert das entwickelte Verfahren den krümmungsbasierten Ansatz zur Identifizierung der Abriebgebiete mit einer regelgeometrischen Rekonstruktion. Mit den entwickelten Methoden konnte die Basis für die Entwicklung eines Standardverfahrens zur Quantifizierung von Abrieb in der Gleitfläche von Hüftendoprothesen geschaffen werden.