

Korrosionsverhalten von modularen Verbindungen bei Hüftprothesen

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

MARKUS WINDLER

Dipl. Werkstoff-Ing. TU Berlin

geboren am 21.08.1960

von Schlattingen, TG

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. S. Virtanen, Referentin

Prof. Dr. M. Textor, Korreferent

2003

Zusammenfassung

Der Ersatz des natürlichen Hüftgelenkes durch ein sogenanntes Kunstgelenk, zur Erlangung von Schmerz- und Bewegungsfreiheit, ist in der heutigen Chirurgie zur Routineoperation geworden. Moderne Hüftprothesen sind modular aufgebaut um möglichst die anatomischen Verhältnisse des Patienten wieder herzustellen. Mittels konischer Steckverbindung kann der Arzt während der Operation den passenden Kugelkopf auf den Hüftschaft verankern. Durch die Modularität der Prothese hat der Chirurg die Möglichkeit verschiedene Werkstoffe wie Metalle und Keramiken miteinander zu kombinieren.

In dieser Arbeit wurden die Konusflächen von 155 explantierten CoCr-Kugelköpfen mit 12/14 Konus untersucht, welche bis zu 113 Monaten implantiert waren. Vorwiegend am Konuseingang zeigten 29,6% der Kugelkonen Korrosionsnarben, mit Ablagerungen von chromreichen Korrosionsprodukten. Bei 8 Kugelköpfen, mit erhöhter Konusrauheit konnte Fretting- und Lochkorrosion nachgewiesen werden. Mit zunehmender Implantationszeit erhöht sich die Auftretenswahrscheinlichkeit von Korrosionsphänomenen, und ab dem vierten Implantationsjahr konnte bei 50% der Kugelköpfe Korrosion nachgewiesen werden. Einen Einfluss der Halslänge (L vs. M vs. S) konnte nicht festgestellt werden. In 47 Fällen wurde der Hüftschaft ebenfalls revidiert und konnte in die Untersuchung mit einbezogen werden. Bei 16 von 39 Hüftschäften aus Titanlegierung war der Konus schwarz verfärbt, der Passivfilm war inhomogen und deutlich verdickt und lag als Gemisch aus TiO und TiO₂ vor.

In Laborversuchen wurde das Verhalten der konischen 12/14 Steckverbindung und mögliche Einflüsse auf Frettingkorrosion untersucht. Unter Einbezug verschiedener Fügebedingungen wurden die Konussysteme dynamisch bis 10 Millionen Zyklen belastet und die Frettingströme elektrochemisch gemessen. Nach Einschalten der mechanischen Belastung von 2000 N stiegen die Frettingströme sprunghaft an und stabilisierten sich anschliessend. Sowohl bei den Kurzzeitversuchen (< 5000 Zyklen) als auch bei den Langzeitversuchen (10 Millionen Zyklen) wiesen sogenannte

L-Kugeln höhere Frettingströme auf als S-Kugeln. Höhere Prüffrequenzen und höhere Lasten resultierten bei den untersuchten Konen in höheren Frettingströmen. Mit zunehmender Prüfzeit erhöhten sich die Frettingströme. Nach Versuchsende konnte an den Berührungsstellen der geprüften Konussysteme Frettingkorrosion nachgewiesen werden, welche aus den Mikrobewegungen der Komponenten zueinander resultierten.

Die Untersuchungen der Konussysteme zeigten, dass die Resultate aus den Laborexperimenten mit den Beobachtungen an explantierten Implantatkomponenten nur bedingt vergleich- oder übertragbar sind. Mit den Laborversuche kann vorwiegend das mechanische Verhalten einer konischen Verbindung, unter kontrollierten Bedingungen, untersucht werden. Die dabei auftretenden Mikrobewegungen der Komponenten führen zu einer örtlichen Verletzung des Passivfilmes, mit charakteristischen Frettingströmen die gemessen werden können. Implantate verweilen hingegen über Jahre im Körper und erfüllen ihre Funktion bei jedem Schritt. Die zeitlichen Veränderungen an den Grenzflächen des untersuchten 12/14 Konus überwiegen dort im Vergleich zu den Veränderungen infolge mechanischer Belastung. Es ist erklärbar, dass korrosive Angriffe in Spalten der modularen Verbindungen stattfinden konnten ohne mechanische Belastung.

Summary

Replacement of the natural hip by a so-called artificial hip to eliminate pain and provide mobility has become a routine operation in current surgical practice. Modern hip replacements are modular in design so as to reconstruct the patient's anatomical structures as effectively as possible. Using a conical plug-in connection, the physician can anchor the appropriate ball head to the hip shaft during the operation. The modularity of the prosthesis enables the surgeon to combine various materials, such as metals and ceramics.

In this study, the cone surfaces of 155 explanted CoCr ball heads with a 12/14 cone that had been implanted for up to 113 months were examined. Primarily at the cone opening, 29.6% of the spherical cones exhibited corrosion scars, together with deposits of corrosion products containing high concentrations of chrome. Eight ball heads with elevated levels of cone roughness showed evidence of fretting and hole corrosion. The likelihood of occurrence of corrosion phenomena increases with the age of the implant, and there was evidence of corrosion in 50% of the ball heads beginning with the fourth implantation year. No evidence could be found to indicate that neck length (L vs. M vs. S) exerts any influence. In 47 cases, the hip shaft was also revised and could be included in the examination. In 16 of 39 hip shafts made of titanium alloy, the cone was discolored black; the passive film was inhomogeneous and noticeably thickened, and comprised a mixture of TiO and TiO₂.

The behavior of the conical 12/14 plug-in connection and possible effects on fretting corrosion were examined in laboratory experiments. Using various joining conditions, the cone systems were dynamically stressed for up to 10 million cycles, and the fretting currents were measured electrochemically. The fretting currents increased rapidly upon activation of a mechanical stress of 2000 N, and subsequently stabilized. During both short-term (< 5000 cycles) and long-term (10 million cycles) experiments, so-called L balls exhibited higher fretting currents than S balls. In the cones tested, higher test frequencies and greater loads resulted in higher fretting

currents. The fretting currents increased with the length of the testing period. At the conclusion of the experiment, fretting corrosion resulting from the micro-movements of the components relative to one another was found at the points of contact of the cone systems tested.

The analyses of the cone systems showed that the results of the laboratory experiments are only partially comparable with or transferable to observations of explanted implant components. Laboratory experiments serve primarily to study the mechanical behavior of a conical connection under controlled conditions. The resulting micro-movements of components cause localized damage to the passive film, together with characteristic, measurable fretting currents. In contrast, implants remain in the body for years and perform their function at each step. The changes over time in the interfaces of the 12/14 cone examined predominate in comparison to the changes caused by mechanical stress. It is explainable that corrosive attacks were able to occur in gaps in the modular connections without mechanical stress.