



Diamantähnliche Kohlenstoffschichten bringen Langzeitstabilität für Implantate

Dr. Marcus Kuhn
Dr. Claus Hammer

Die materialwissenschaftliche Entwicklung der letzten Jahrzehnte führte zu enormen Fortschritten in der Orthopädie und erlaubt heute den erfolgreichen Einsatz unterschiedlicher Gleitpaarungen in der Endoprothetik. Aufgrund der dort auftretenden hohen Belastungen sind teilweise jedoch immer noch verschleiß- oder allergiebedingte Lockerungen nach weniger als zehn bis 15 Jahren die Folge. Die moderne Beschichtungstechnik kann hier einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Langzeitstabilität leisten.

Die Oberfläche: der Schlüssel zum Erfolg

In der Rekonstruktion von Gelenken ist der dauerhafte Erfolg der Implantation von Endoprothesen neben der anatomisch möglichst korrekten und schmerzfreien Bewegung vor allem von der Biokompatibilität und Langzeitstabilität des Ersatzmaterials abhängig. Metallkontaktallergien können bereits nach kurzer Zeit auftreten. Die Sensibilisierungsraten gegenüber Nickel, Kobalt oder Chromionen, welche Bestandteil von marktüblichen Metallimplantaten sind und über deren Oberfläche im Körper austreten können, liegen in der Bevölkerung beispielsweise bei fünf bis zwölf Prozent [1]. Darüber hinaus können die bei Bewegung auftretenden hohen tribologischen Belastungen Abrieb- und Korrosionspartikel an der Oberfläche verursachen, die sich im menschlichen Gewebe ablagern und zusätzlich Abstoßreaktionen hervorrufen.

Der Verschleiß kann dabei nicht nur im Gelenk selbst, sondern auch im Kontakt von Implantat und Knochen beziehungsweise Implantat und Knochenzement auftreten. Trotz erfolgreichen Einwachsungsvorgangs mit oder ohne Zementierung kann es dort zu Relativbewegungen im Mikrometerbereich kommen, die beispielsweise bei Titanimplantaten auch die natürliche und biokompatible Titanoxidschicht aufreiben. Die erste Folge davon sind Abriebpartikel, die auf beiden Seiten der oben genannten Paarungen entstehen. Diese Partikel beinhalten zudem auch Metallanteile. Beides, sowohl Abriebmenge als auch Metallanteil, haben einen Einfluss auf die Abstoßungsreaktion und sind derzeit Gegenstand wissenschaftlicher Studien.

Eine weitere Folge des Durchbruchs der passivierenden Oxidschicht ist die daraufhin am Metall (Titan) einsetzende Korrosion. Dadurch werden weitere Titanionen im Körper freigesetzt. Entstehende lokale elektrische Felder an der Oberfläche können zudem Körperproteine beeinflussen und zu Abwehrreaktionen des Immunsystems führen. Die Gestaltung der Oberfläche ist damit ein wesentlicher Schlüssel zur Realisierung eines verträglichen und nachhaltigen Implantats.



Quelle: AxynTeC Dünnschichttechnik GmbH.

Innovative Beschichtungstechnologie: Plasmaimpax

An diesem Punkt sind moderne Beschichtungsverfahren gefordert, denn die steigenden Anforderungen an Biokompatibilität, Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit an der Oberfläche sowie an Stabilität und Duktilität des Grundkörpers können nur im Verbund von Substrat und Beschichtung gelöst werden. Mit Hilfe moderner Plasmatechniken wie dem Plasmaimpax-Verfahren können extrem reibarme und harte Beschichtungen auf Basis von diamantähnlichem Kohlenstoff oder Oberflächenmodifizierungen durch Ionenimplantation zur Steigerung der Biokompatibilität hergestellt werden.

Bei dem Plasmaimpax-Verfahren handelt es sich um eine Hybridtechnik aus plasmaaktiviertem, Niedertemperatur-CVD und Ionenimplantation. Bei den damit beispielsweise herstellbaren amorphen oder diamantähnlichen Kohlenstoffschichten (amorphous Carbon, a-C, oder Diamond-like Carbon, DLC) handelt es sich um eine Materialklasse mit hervorragenden mechanischen und chemischen Eigenschaften, die daher die Basis für eine breite industrielle Anwendung im Rennsport, Automobil- und Maschinenbau, der Luft- und Raumfahrt sowie in der Medizintechnik bieten. Diamantähnliche Kohlenstoffschichten weisen einen geringen Reibwert im Bereich von 0,05 bis 0,15 auf, was einer Reduzierung um den Faktor drei bis zehn gegenüber Implantatmetallen wie Titan, Kobaltchrom-Legierungen oder Edelstahl entspricht.

Auch der Abrieb im Gelenk auf der beschichteten wie auch unbeschichteten Seite der Gleitpaarung (zum Beispiel aus Titan oder ultrahochmolekularem Polyethylen) verringert sich deutlich, wie tribologische Tests zeigen. Verschleißtests im Bereich der Einwachszone (Hüftstiel), in denen der Titanstiel gegenüber Knochenzement bewegt wird, haben gezeigt, dass auch hier die Abriebmenge durch die Beschichtung insgesamt verringert wird, und sich vor allem auch der Metallanteil im Abrieb um bis zu 85 Prozent reduziert. Über die Verfahrenstechnologie ist es zudem möglich, sehr kompakte, dichte und somit korrosionsbeständige Verschleißschutzschichten mit geringsten Rauigkeiten abzuscheiden. Durch diese Kompaktheit bieten selbst dünne Schichten bereits eine sehr gute Barrierewirkung gegenüber der Absonderung allergieauslösender Ionen wie Nickel aus dem Grundmaterial. Das Schichtmaterial selbst ist dabei genauso biokompatibel wie die natürliche Titanoxid-Passivierung auf einer TiAl₆V₄-Legierung, wie die in-vitro-Tests zeigen. Die Beschichtung unterstützt dadurch positiv eine Proliferation und osteogene Differenzierung der menschlichen Knochenzellen.

Somit sind sämtliche Voraussetzungen für ein breites Anwendungsfeld in der Medizintechnik, wie dem langzeitstabilen Einsatz auf Humanimplantaten, gegeben. Für einige Spezial-einsätze befindet sich das Schichtsystem zurzeit noch in Studien oder Weiterentwicklungsstufen. Für eine Vielzahl von Anwendungen, auch im nichtmedizinischen Verschleißschutz, werden diamantähnliche Kohlenstoffschichten (Diamond-Like Carbon, DLC) bereits heute kommerziell angeboten.

Die AxynTeC Dünnschichttechnik GmbH stellt DLC-Schichten her. Auf Basis innovativer Beschichtungsverfahren bietet die Firma von der Beratung über die Entwicklung kundenspezifischer Beschichtungen bis hin zur Produktion und dem Verkauf von Anlagen alles aus einer Hand an.

AxynTeC Dünnschichttechnik GmbH, Augsburg
www.axyntec.de

Quellennachweis: [1] P. Thomas, Der Orthopäde 32 (2003), 60.