

Application Report

Benetzungsverhalten von Zahnimplantaten

Application report: AR266d
Industry section: medicine, dentistry
Author: CBK
Date: 11 / 2009



Drop Shape Analyzer – DSA100M

Method: 

Keywords: medicine, dentistry, teeth, contact angle, microdosing, biocompatibility, wetting

Charakterisierung mikroskopisch kleiner Oberflächen von Zahnimplantaten mit Hilfe von Kontaktwinkelmessungen mit Pikolitertropfen

Abstract

Bei Zahnimplantatoberflächen bestimmt die Benetzbarkeit den Grad des Kontakts mit der physiologischen Umgebung und kann damit – neben anderen Einflussfaktoren – ein Maß für die Biokompatibilität des Materials sein. In der vorliegenden Untersuchung wurde das Benetzungsverhalten von Titan-Zahnimplantaten gegenüber Wasser anhand des Wasserkontaktwinkels untersucht. Die besondere Herausforderung der gestellten Aufgabe bestand darin, kleine Tropfen in die Implantatgewinde zu dosieren und deren Kontaktwinkel zu messen. Möglich sind solche Messungen mit dem optischen Kontaktwinkelmesssystem Drop Shape Analyzer – DSA100M, mit dem sehr kleine Tropfen bis hinunter zu wenigen Pikolitern genau dosiert und analysiert werden können – auch in Vertiefungen.

Hintergrund

Die heute verwendeten Zahnimplantate sind in der Regel rotationsymmetrische, mit einem Schraubgewinde versehene Stifte, die direkt in den Kieferknochen geschraubt werden (s. Abb.1).

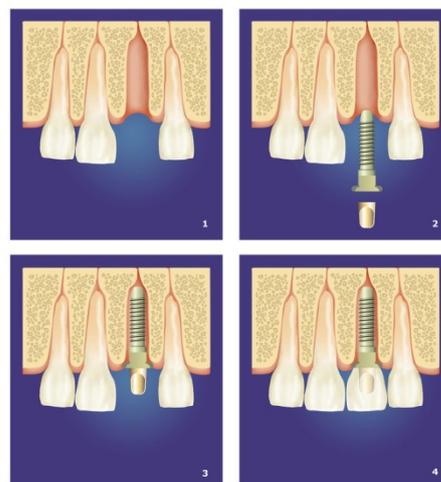


Abb.1: Einsetzen eines Zahnimplantats

Das verwendete Material sollte möglichst schnell eine möglichst feste Verbindung mit dem Knochen eingehen. Deshalb findet Titan aufgrund seiner hohen Biokompatibilität vielfältig Verwendung als Implantatmaterial.

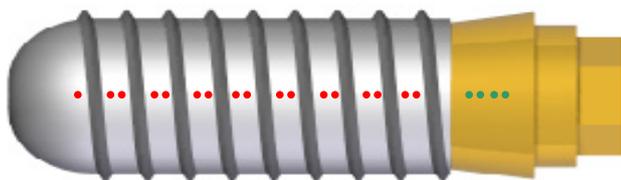
Die Oberflächentopographie des Titans und die oberflächenchemische Struktur beeinflussen sowohl die Hydrophilie der Implantatoberflächen als auch die periimplantäre Knochenanlagerung an den Implantaten. Anfänglich waren die für Implantate verwendeten mikrostrukturierten Titanoberflächen (sandgestrahlt und säuregeätzt) aufgrund der in der Sauerstoff-Atmosphäre ablaufenden Passivierung hydrophob [1], [2]. Untersuchungen haben gezeigt, dass hydrophile Oberflächen die Wechselwirkung von Proteinen und Zellen mit der implantierten Oberfläche verbessern – sie erleichtern das Anwachsen von Knochenzellen an das Implantat und beschleunigen die feste Anheftung (Osseointegration) [3]. Um die Benetzbarkeit zu verbessern, werden von den Herstellern für gewöhnlich Oberflächenmodifikationen des Materials durchgeführt.

Zur Erfolgskontrolle der Hydrophilierung kann der Wasserkontaktwinkel herangezogen werden, der die Benetzbarkeit der Implantate durch Wasser und daher den Grad des Kontakts mit der hydrophilen Umgebung quantifizierbar macht. Aufgrund der Windungen des für den Knochenkontakt vorgesehenen Bereichs eines Implantats wird eine Messtechnik benötigt, die Kontaktwinkel mikroskopisch kleiner Tropfen in Vertiefungen messen kann.

Experimenteller Teil

Das eingesetzte Messgerät DSA100M wird für Kontaktwinkelmessungen von Tropfen im Pikoliterbereich auf mikroskopisch kleinen Oberflächen verwendet.

Fünf unmittelbar vor der Messung aus der Verpackung entnommene, unterschiedlich vorbehandelte Implantatproben wurden mittels eines Probenhalters auf dem Messgerät befestigt. Tropfen von je etwa 100 pl reinem Wasser wurden bei einer Temperatur von $26 \pm 1^\circ\text{C}$ zuerst auf dem zylindrischen Bereich und dann in die Vertiefungen der Windungen platziert (s. Abb. 2).



- Tropfen im Inneren der Windungen
- Tropfen im zylindrischen Bereich

Abb. 2: Schema der Tropfenplatzierung auf einer Implantat-Probe

Unmittelbar nach dem Dosieren wurde jeweils das Verhalten der Tropfen mit der Kamera des Messgerätes gefilmt. Um den Prozess der Anfangsbenetzung möglichst gut zu erfassen, wurde mit einer Kamerageschwindigkeit von 260 Bildern pro Sekunde gearbeitet. Aus der Analyse der Videos resultierten die Kontaktwinkel der Tropfen. Die folgenden Abbildungen 3 und 4 stellen die Oberfläche der Windungen und einen im Inneren einer Windung platzierten Tropfen dar.

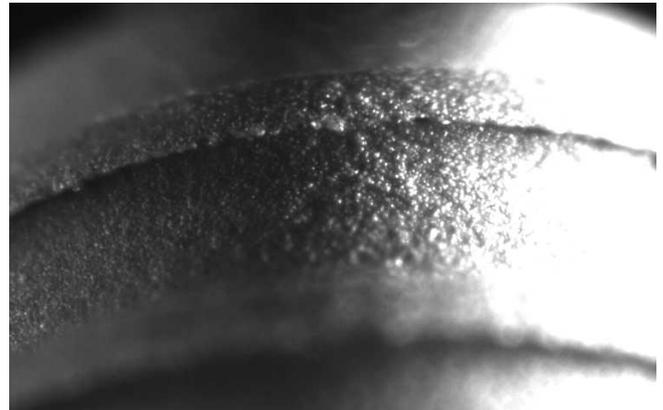


Abb. 3: Oberfläche der Windungen eines Implantats

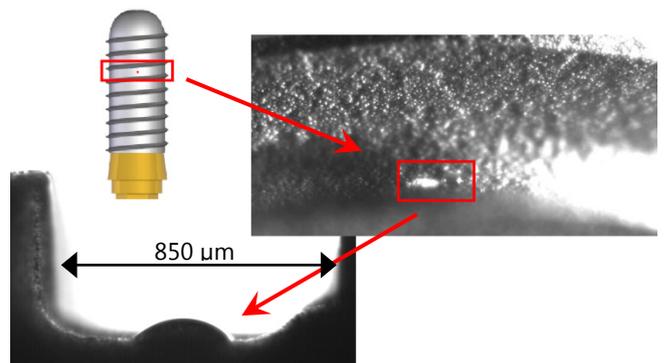


Abb. 4: Wassertropfen im Inneren einer Windung

Ergebnisse und Diskussion

Anhand der Kontaktwinkelmessung wurde das unterschiedliche Benetzungsverhalten der Implantatproben sichtbar. Die Abbildungen 5 - 8 zeigen Beispielbilder von Wassertropfen, die auf verschiedenen Proben in den mikroskopisch kleinen Vertiefungen der Implantatgewinde (Breite etwa $850 \mu\text{m}$, Tiefe etwa $450 \mu\text{m}$) unterschiedlich große Kontaktwinkel ausbilden.

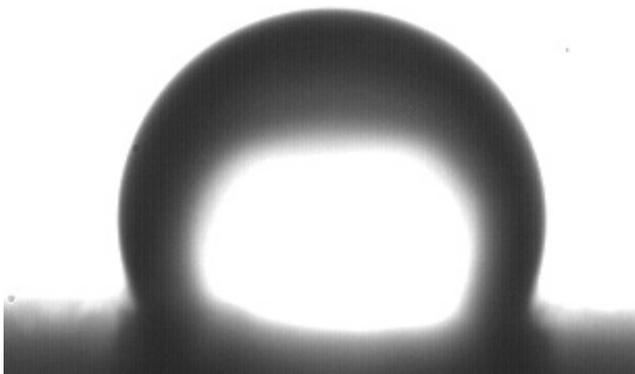


Abb. 5: Tropfen in der Gewindevertiefung der Probe A

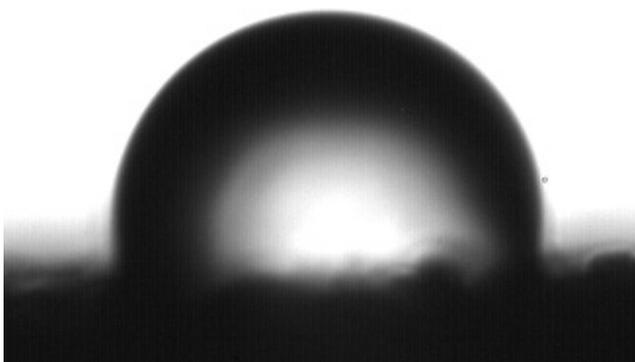


Abb. 6: Tropfen in der Gewindevertiefung der Probe B

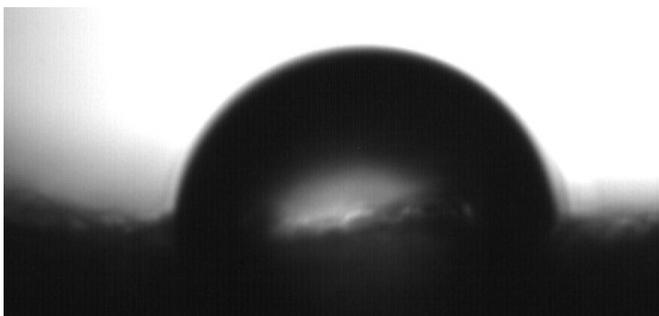


Abb. 7: Tropfen in der Gewindevertiefung der Probe D



Abb. 8: Tropfen in der Gewindevertiefung der Probe E

Tabelle 1 enthält die Kontaktwinkelmittelwerte $KW_{\text{mittl.}}$ für die Vertiefungen und die zylindrischen Bereiche bei den fünf mit den Buchstaben A bis E identifizierten Proben.

Probe	$KW_{\text{mittl.}}$ / Vertiefung	$KW_{\text{mittl.}}$ / zylindrische Fläche
A	116.5°	116.2°
B	103.0°	103.7°
C	99.5°	105.9°
D	77.2°	84.5°
E	19.3°	37.6°

Tab. 1: Kontaktwinkel (Mittelwerte) von Wassertropfen auf Implantatproben

Der Grenzwert für die Benetzbarkeit liegt bei einem Kontaktwinkel von 90°; bei Wasserkontaktwinkeln über 90° handelt es sich um eine hydrophobe Festkörperoberfläche; unterhalb von 90° bis hin zu 0° sind Oberflächen zunehmend hydrophil. Bei drei der fünf untersuchten Proben wurde der Grenzwert von 90° überschritten, und zwar sowohl auf dem zylindrischen Bereich als auch innerhalb der Vertiefungen. Proben D und E weisen hingegen ein zunehmend hydrophileres Verhalten auf. Nach dem Modell von Baier [4], das für den Kontakt mit Blut und Biomaterial entwickelt wurde, besteht ein Zusammenhang zwischen Biokompatibilität, Bioadhäsion und dem Benetzungswinkel. Demzufolge verfügt eine hydrophile Oberfläche mit einem Kontaktwinkel im Bereich von 0 – 30° über eine sehr starke Bioadhäsion. Basierend auf ihrer hohen Hydrophilizität ließe die Probe E diesem Modell zufolge die höchste Biokompatibilität der untersuchten Proben erwarten.

Die Daten aus Tab. 1 deuten außerdem darauf hin, dass bei geringerer Benetzbarkeit die Ergebnisse für den zylindrischen Bereich und für den Gewindebereich übereinstimmen, während bei den hydrophilen Proben zunehmend größere Unterschiede zwischen den beiden Bereichen auftreten. Aus diesem Ergebnis wird ersichtlich, dass die Untersuchung der leichter zu charakterisierenden Zylinderfläche allein nicht hinreichend ist, sondern dass die für intensiven Gewebekontakt vorgesehene Gewindeoberfläche gesondert untersucht werden muss.

Zusammenfassung

Mikrotropfenmessungen mit geeigneter Dosierung, Optik, Kamertechnik und Konturanalysesoftware ermöglichen Benetzbarkeitsuntersuchungen auf mikroskopisch kleinen Flächen und in Vertiefungen. Mit dem Kontaktwinkelmesssystem DSA100M konnten die hydrophilen bzw. hydrophoben Eigenschaften des zylindrischen Bereichs von Zahnimplantaten bestimmt werden. Darüber hinaus war es möglich, in den Vertiefungen des in den Knochen zu schraubenden Gewindes der Implantate zu messen. Auf diese Weise konnte das Benetzungsverhalten von fünf Implantatproben nicht nur qualitativ (Benetzung oder Nicht-Benetzung), sondern auch quantitativ anhand des gemessenen Kontaktwinkels bestimmt werden. Gemäß [4] liefern solche Messwerte wertvolle Hinweise auf die zu erwartende Biokompatibilität des Materials.

Literatur

1] H.P. Boehm, "Acidic and basic properties of hydroxylated metal oxide surfaces", Discussions Faraday Society, 1971, 52, 264-275.

[2] J. Martin, Z. Schwartz, T.W. Hummert, D.M. Schraub, J. Simpson, J. Lankford: "Effect of titanium surface roughness on proliferation, differentiation and protein synthesis of human osteoblast-like cells", J. Biomed. Mater. Res. 1995, 29, 389-401.

[3] F. Schwarz, M. Herten, M. Wieland, M. Dard, J. Becker: „Chemically modified, ultra-hydrophilic titanium implant surfaces“, Oral and Maxillofacial Surgery, 2007, 11, 11-17.

[4] Baier, "The role of surface energy in thrombogenesis", Bull. N.Y. Acad. Med. 1972, 48, 257-272.

Auf unserer Webseite finden Sie viele weitere interessante Applikationsberichte und Technical Notes unter

<https://www.kruss.de/de/service/schulung-theorie/literatur/applikationsberichte/>