

Die Bedeutung der Implantatoberfläche

Titan stellt noch immer das bevorzugte Material zur Herstellung dentaler Implantate dar. Es zeichnet sich durch seine guten physikalischen und chemischen Eigenschaften und seine Biokompatibilität aus. Gleichzeitig jedoch sind Dentalimplantate aus Titan aufgrund ihrer bioinerten Oberflächeneigenschaften nur in geringem Ausmaß in der Lage, das Knochenwachstum im periimplantären Knochen von sich aus anzuregen und die Osteoblasten-Adhäsion auf der Implantatoberfläche günstig zu beeinflussen. Diese Eigenschaften treffen auch für Implantate aus Zirkonoxid zu. Daher wurden zahlreiche chemische und physikalische Verfahren zur Veränderung der Oberflächenstruktur entwickelt, um die Bioaktivität, d. h. die Fähigkeit der Implantatoberfläche in Interaktion mit den umliegenden Geweben zu treten, zu verbessern. Dabei haben die Oberflächenstrukturen auf Mikro- und Nanoebene, die Rauigkeit sowie die Benetzbarkeit bzw. die Hydrophilie der Oberfläche eine entscheidende Bedeutung für die Bioaktivierung von Dentalimplantaten. Hierzu werden ablativ Verfahren wie u. a. die Säureätzung, Sandstrahlung, Sandstrahlung/Säureätzung (SLA), Laserablation, zahlreiche physikalisch-chemische Beschichtungsverfahren, UV-Bestrahlungen sowie andere Funktionalisierungsverfahren mittels einer Beschichtung mit Proteinen, Peptiden, Medikamenten u. v. m. angewendet. Aufgrund der Effekte auf molekularer bzw. zellulärer Ebene sind In vitro-Studien der hauptsächlich vorzufindende Studientyp. Infolge der hohen Zahl an In vitro-Untersuchungen konnten nur die aktuellen Publikationen aus den Jahren 2020/2021 in der vorliegenden Literatursammlung berücksichtigt werden. In vielen dieser Untersuchungen wird auf den Einfluss nanoskalierter Oberflächen von Titanimplantaten auf die humorale bzw. immunologische Wirtsantwort hingewiesen. So kommt es beispielsweise beim Kontakt von Blut mit Oberflächen mit einem Nanotube-Design zu einer Hochregulierung von mRNAs, welche die Osteoblastenapposition und die Osseointegration fördern und beschleunigen [Bai, et al., 2021a]. Auch die Blutgerinnung sowie die Entzündungsreaktion im umliegenden Gewebe werden durch nanostrukturierte Oberflächen günstig beeinflusst, was sich positiv auf die Knochenneubildung und die Osseointegration der Implantate auswirkt [Bai, et al., 2021b]. Auf zellulärer Ebene kommt es durch die Oberflächenstrukturen zu einer sogenannten „Polarisierung“ der Makrophagen, welche als erste humorale Zellen in Kontakt mit der Implantatoberfläche treten. Makrophagen mit M2-Markern wirken sich dabei positiv auf das Verhalten von Osteoblasten aus und regen die Zellproliferation, die Zelladhäsion, die Phosphataseaktivität und die extrazelluläre Mineralisierung an, während sich die Aktivierung von M1-Makrophagen gegenteilig auswirkt [Chen, et al., 2020]. Zu einer solchen Stimulierung der M2-Makrophagen führen beispielsweise Femtosekunden-Laserbehandlungen und Sandstrahlungen [Liu, et al., 2021], Funktionalisierungen mit sogenannten Exosomen (Proteinkomplex, der beim Abbau von Ribonukleinsäuren aus Zellen ausgeschieden wird und u. a. zur Signalübertragung

dient) [Fan, et al., 2021] und hydrothermisch hergestellte Nanobeschichtungen aus Zink [Chen, et al., 2020]. Im Gegensatz dazu führen Ablagerungen von Nanopartikeln aus Titan auf Titanimplantatoberflächen zu einer Aktivierung des M1-Signalwegs bei Makrophagen sowie zu einer ebenfalls von Fibroblasten, Osteoblasten und Mesenchymzellen vermittelten Entzündungsreaktion, die zu einer Freisetzung von IL-6, IL-1 beta, TNF-alpha und Prostaglandin E2 führt [Messous, et al., 2021]. Mikro- und nanostrukturierte Oberflächen zeichnen sich auch durch eine erhöhte Hydrophilie aus, welche zu einer vermehrten Zelladhäsion, Zellproliferation und der osteogenen Differenzierung von Mesenchymzellen führt. Hydrophile Oberflächeneigenschaften können beispielsweise mittels Nanobeschichtungen aus Graphen [Li und Wang, 2020], hierarchischen mikro/nanostrukturierten Oberflächenmodifikationen nach Säureätzung und anodischer Oxidation [Ren, et al., 2021], UV-Bestrahlung [Kaneko, et al., 2020, Liddell, et al., 2020, Puisys, et al., 2020] sowie einer Sandstrahlung/Säureätzung (SLA) [Yang, et al., 2020] hergestellt werden. Die Oberflächenhydrophilie hierarchisch strukturierter Mikro/Nanooberflächen führt ihrerseits dazu, die bereits erwähnte Bildung von Exosomen aus mesenchymalen Zellen zu stimulieren, welche zu einer signifikanten Steigerung der Knochenneubildung und der Osseointegration beitragen [Zhang, et al., 2021]. Neben der positiven Beeinflussung der periimplantären Gewebereaktion hin zu einer erhöhten Zellaktivität und Knochenneubildungsrate sind vermehrt auch antibakterielle Eigenschaften nanostrukturierter Implantatoberflächen im Fokus wissenschaftlichen Interesses. So können beispielsweise mit Silber-Nanopartikeln angereicherte Kalziumphosphat-Beschichtungen auf Zirkonoxid-Implantaten neben einer Bioaktivierung der Oberfläche auch zur Etablierung antibakterieller Oberflächeneigenschaften führen [Goldschmidt, et al., 2021]. Weiterhin führt eine Atomlagenabscheidung von ZrO_2 auf die Oberfläche von Zirkonoxidimplantaten zu einer Verringerung der Bakterienadhäsion und somit der Biofilmbildung [Jo, et al., 2021]. Auch auf Titanoberflächen kann mittels Titanitrid- und Silberbeschichtungen – neben einer Steigerung der hydrophilen Oberflächeneigenschaften – ein antibakteriell wirksamer Effekt erzielt werden [Lai, et al., 2020]. Beschichtungen mit natürlich vorkommenden Substanzen wie z. B. Totarol (Extrakt einer Neuseeländischen Eibenart) führen sowohl zu einer verringerten Biofilmbildung als auch zu bakteriziden Effekten auf Titanoberflächen [Xu, et al., 2020]. Daher werden bioaktivierende Oberflächenmodifikationen auf der Mikro/Nanoebene verstärkt im Zusammenhang mit einer Periimplantitis-Prävention diskutiert [Jo, et al., 2021, Xu, et al., 2020]. Allerdings können aufgrund der eingeschränkten methodischen Qualität der derzeit verfügbaren Studien trotz der feststellbaren antibakteriellen Eigenschaften bestimmter Oberflächenbehandlungen/-beschichtungen noch keine eindeutigen Schlussfolgerungen in Bezug auf die klinische Relevanz der aktuellen Erkenntnisse gezogen werden [López-Valverde, et al., 2021].



In vitro

Bai L, Chen P, Tang B, Hang R, Xiao Y.
Correlation between LncRNA Profiles in the Blood Clot Formed on Nano-Scaled Implant Surfaces and Osseointegration.

Nanomaterials (Basel). 2021a Mar 9; 11(3):674.

(»Korrelation zwischen LncRNA-Profilen in Blutgerinnseln auf nano-skalierten Implantatoberflächen und Osseointegration.«)

Langkettige, nicht-kodierende (Lnc) RNAs regulieren zahlreiche biologische Prozesse im Knochen. Nanoskalierte Implantatoberflächen steuern die Blutgerinnung und den Abbau der Blutgerinnsel, welcher wiederum die zelluläre Antwort im Rahmen der frühen Phase der Osseointegration beeinflusst. Korrelationen zwischen der LncRNA aus den Zellen innerhalb von Blutgerinnseln und der Osseointegration waren bislang nicht Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen. Erstmals erfolgte die Sequenzanalyse von LncRNAs, die innerhalb der Gerinnsel exprimiert wurden, welche sich auf Titandioxid-Nanoröhrchen-Arrays (TNAs) mit unterschiedlichen nanoskalierten (TNA 15 von 15 nm, TNA 60 von 60 nm, TNA 120 von 120 nm) Titanoberflächen bildeten. Analysen zeigten, dass verschiedene nanoskalierte Oberflächen die biologischen Funktionen von Ziel-mRNAs im Gerinnsel regulieren können. Die LncRNAs LOC103346307, LOC108175175 und LOC108176660 regulierten mRNAs hoch, die mit dem Zellstoffwechsel und den Wnt-, TGF-beta- und VEGF-Signalwegen in TNA 15 im Vergleich zu P-Ti, TNA 60 bzw. TNA 120 in Verbindung stehen, wohingegen LOC103352121, LOC103348180 und LOC108176465 die mRNAs herunterregulierten, die mit einer Knochenresorption und einem Entzündungsgeschehen in Verbindung stehen. Die Ergebnisse wiesen darauf hin, dass die Eigenschaften der Oberfläche das Expressionsprofil der vom Blutgerinnsel stammenden LncRNAs signifikant beeinflussen können. Dies beeinflusst die Os-

seointegration durch mehrere Signalwege der anvisierten mRNAs und ebnet somit einen Weg für eine bessere Interpretation des Zusammenhangs zwischen den Eigenschaften eines auf der Nano-Oberfläche gebildeten Blutgerinnsels und der Denovo-Knochenbildung.

Bai L, Zhao Y, Chen P, Zhang X, Huang X, Du Z, Crawford R, Yao X, Tang B, Hang R, Xiao Y.

Targeting Early Healing Phase with Titania Nanotube Arrays on Tunable Diameters to Accelerate Bone Regeneration and Osseointegration.

Small. 2021b Jan;17(4):e2006287.

(»Zielgerichtete frühe Einheilung mittels Titan-Nanoröhrchen mit regelbaren Durchmessern zur Beschleunigung der Knochenregeneration und Osseointegration.«)

Nanostrukturierte Implantatoberflächen können die frühe Phase der Knochenregeneration und die Osseointegration maßgeblich beeinflussen. Um das Zusammenspiel zwischen Blutgerinnungseigenschaften und Entzündungsreaktionen auf nanostrukturierten Implantatoberflächen zu untersuchen, wurden Titandioxid-Nanoröhrchen-Arrays (TNAs) mit unterschiedlichen Durchmessern auf Titanoberflächen hergestellt. TNA mit einem Durchmesser von 15 nm (TNA 15) ermöglichten eine Aktivierung von Thrombozyten, was zu unterschiedlichen Gerinnungseigenschaften im Vergleich zu reinem Titan und TNA mit einem Durchmesser von 120 nm (TNA 120) sowie zu einer Reduktion der Entzündungsreaktion führte, welches wiederum einen positiven Effekt auf die Knochenneubildung und Osseointegration hatte. **Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass nanostrukturierte Oberflächen die Blutgerinnung, die Knochenregeneration und die Osseointegration günstig beeinflussen können.

Chen KC, Lee TM, Kuo NW, Liu C, Huang CL.

Nano/Micro Hierarchical Bioceramic Coatings for Bone Implant

Surface Treatments.

Materials (Basel). 2020 Mar 27; 13(7):1548.

(»Nano-/Mikrohierarchische bio-keramische Beschichtungen auf Dentalimplantaten.«)

Um den Einfluss nanostrukturierter Hydroxylapatits auf die Adhäsion von Osteoblastenzellen zu untersuchen, wurden mithilfe der Mikro-Lichtbogen-Technologie Oxidationsschichten und mittels hydrothormaler Verfahren hierarchische Nano-/Mikrostrukturen bei unterschiedlichen Temperaturen erzeugt. Nach einer hydrothermalen Behandlung für 24 Stunden begann CaTiO₃ bei 175 °C regelmäßig geformte Kristalle an der Oberfläche zu bilden. Um die CaTiO₃-Bildung zu verringern und die Apatitbildung zu erhöhen, war ein kürzeres Zeitintervall einer hydrothermalen Behandlung von zwei Stunden bei 175 °C erforderlich. **Schlussfolgerung:** Die vorliegende nano-/mikrohierarchische Struktur förderte die Zellproliferation und die Osteoblastendifferenzierung.

Chen B, You Y, Ma A, Song Y, Jiao J, Song L, Shi E, Zhong X, Li Y, Li C.

Zn-Incorporated TiO₂ Nanotube Surface Improves Osteogenesis Ability Through Influencing Immunomodulatory Function of Macrophages.

Int J Nanomedicine. 2020 Mar 27; 15:2095-2118. .

(»Zinkhaltige Titandioxid-Nanotube-Oberflächen verbessern die Knochenneubildung durch die Beeinflussung der immunmodulierenden Funktion von Makrophagen.«)

Zink (Zn) hat ausgezeichnete osteogene Fähigkeiten und moderate immunmodulatorische Eigenschaften. In der vorliegenden Studie wurde mittels Hydrothermie Titan mit Zn-haltigen TiO₂-Nanotubes (TNT) beschichtet. Anschließend wurde der Einfluss der Oberflächen-Nanotopografie auf das Verhalten von murinen RAW 264.7 Makrophagen untersucht. Makrophagen, die auf Zn-inkorporierten TNT-Oberflächen kultiviert wurden, zeigten eine erhöhte Gen- und Proteinexpression von regenerativen M2-Markern, während proinflammatori-

sche M1-Marker mäßig gehemmt waren. Osteoblasten, die in einem Medium aus den gewonnenen M2-Makrophagen auf Zn-inkorporierten TNTs kultiviert wurden, zeigten im Vergleich zu ihren TNT-Gegenstücken und der Ti-Gruppe eine verstärkte Zellproliferation, Adhäsion, Osteogenese, alkalische Phosphataseaktivität und extrazelluläre Mineralisierung.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass der Einsatz von Zn in TNT-Oberflächen zu einer Beschleunigung der Knochenneubildung beitragen kann.

Cruz MBD, Marques JF, Fernandes BF, Costa M, Miranda G, Mata ADSPD, Carames JMM, Silva FS.

Gingival fibroblasts behavior on bioactive zirconia and titanium dental implant surfaces produced by a functionally graded technique. J Appl Oral Sci. 2020;28:e20200100.

(»Das Verhalten von Gingivafibroblasten auf Titan- oder Zirkonoxid-Implantatoberflächen nach Bioaktivierung mittels einer funktionell abgestuften Technik randomisiert kontrollierten Studie.«)

Ziel der Studie war die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften von Implantaten aus Zirkonoxid und Titan nach Bioaktivierung mittels verschiedener Methoden und des Verhaltens menschlicher Gingivafibroblasten im Kontakt mit den bioaktivierten Implantatoberflächen. Zu diesem Zweck wurden sechs Untersuchungsgruppen gebildet: Titan (Ti6Al4V), Ti6Al4V mit 5,0 % Hydroxylapatit (HA) und 5,0 % Beta-Trikalziumphosphat (Beta-TCP), Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid (YTZP), YTZP mit 5,0 % HA und 5,0 % Beta-TCP. Nach 14-tägiger Kultivierung waren die Zellviabilität und -proliferation in der YTZP-Gruppe signifikant höher als in den anderen Gruppen. Obwohl die YTZP-Beta-TCP-Prüfkörper eine signifikant höhere Benetzbarkeit aufwiesen, konnte keine Verbesserung des Zellverhaltens in dieser Gruppe beobachtet werden. Allerdings war der Scherwiderstand des Ti6Al4V-Materials gegenüber den anderen Gruppen signifikant erhöht.

Schlussfolgerung: Die Zugabe von bioaktiven Materialien führte nicht zu einer erhöhten Zelladhäsion auf den Implantatoberflächen. Im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgruppen konnte in der Gruppe mit der unbehandelten Zirkonoxidoberfläche die beste Adhäsion, Überlebensfähigkeit und Proliferation von Fibroblasten beobachtet werden. Das Zellverhalten scheint dabei eher von der chemischen Zusammensetzung der Oberfläche als von der Oberflächenrauigkeit abhängig zu sein.

da Silva RA, da Silva Feltran G, Ferreira MR, Wood PF, Bezerra F, Zambuzzi WF.

The Impact of Bioactive Surfaces in the Early Stages of Osseointegration: An In Vitro Comparative Study Evaluating the HAnano and SLActive Super Hydrophilic Surfacesl. Biomed Res Int. 2020 Sep 13;2020:3026893.

(»Die Bedeutung bioaktiver Oberflächen auf die frühe Phase der Osseointegration: Eine vergleichende In vitro-Untersuchung von superhydrophilen HAnano- und SLActive-Oberflächen.«)

Nanostrukturierte kristalline Hydroxylapatit-Beschichtungen (HAnano) sollen dazu beitragen, die Osseointegration von Implantaten zu beschleunigen. Um das biologische Verhalten von Osteoblasten auf einer HAnano-Oberfläche im Vergleich zu konventionellen hydrophilen SLActive-Oberflächen zu untersuchen, wurden Osteoblasten auf beiden Oberflächen bis zu 72 Stunden kultiviert. Untersucht wurden die Parameter Zelladhäsion, Lebensfähigkeit und die Expression von Genen, die im Zusammenhang mit der Adhäsion, Proliferation und Differenzierung bestimmter Proteine stehen. Die Ergebnisse zeigten, dass zelluläre Adhäsionsmechanismen mit einer erhöhten Expression von Integrin beta 1, Fokaler Adhäsions Kinase (Fak) und dem Steroidalen Rezeptor Koaktivator (Src) einhergingen, was die Zelladhäsion begünstigte und die Zellzyklusprogression in Reaktion auf HAnano koppelte. Zusätzlich förderten beide bioaktiven Oberflächen die Osteoblastendifferenzierung, indem sie Runx2, Osterix

und Alkalische Phosphatase (Alp)-Gene aktivierten. Obwohl beide Oberflächen die Rankl-Genexpression förderten, war die Osteoprogenerin (Opg)-Genexpression bei SLActive höher, was sich im Rankl/Opg-Verhältnis widerspiegelte. Schließlich wurde das Caspase1-Gen (Cysteine-dependent Aspartate-specific Protease) durch die HAnano-Oberfläche signifikant hochreguliert, was auf eine Beteiligung des Inflammasom-Komplexes (Inflammasom: im Zellplasma gelöste Proteinkomplexe, welche die Aktivierung von Entzündungsreaktionen fördern) hindeutete.

Schlussfolgerung: Mit Nanohydroxylapatit beschichtete Oberflächen fördern die frühe Osteoblastendifferenzierung und eine Beschleunigung der Osseointegration von Implantaten.

Fan L, Guan P, Xiao C, Wen H, Wang Q, Liu C, Luo Y, Ma L, Tan G, Yu P, Zhou L, Ning C.

Exosome-functionalized polyetheretherketone-based implant with immunomodulatory property for enhancing osseointegration. Bioact Mater. 2021 Feb 15;6(9):2754-2766.

(»Funktionalisierung von Implantaten aus Polyetherketonketon mittels Exosomen mit immunmodulatorischen Eigenschaften zur Verbesserung der Osseointegration.«)

Von Knochenmarkstammzellen (BMSCs) stammende Exosome (Exos) enthalten mehrere Biosignalmoleküle und besitzen immunmodulatorische Eigenschaften. Das Ziel der Studie war der Einsatz von Exos zur Funktionalisierung einer Implantatoberfläche aus modifiziertem sulfoniertem Polyetheretherketon (SPEEK), um zu einer immunregulatorisch bedingten, beschleunigten Osseointegration beizutragen. Die-Ergebnisse zeigten, dass das mit Exos beschichtete SPEEK die M2-Polarisierung von Makrophagen über den NF-B-Signalweg förderte, was über dessen osteoimmunmodulatorische Wirkung zu einer verbesserten osteogenen Differenzierung von BMSCs, zu einer erhöhten Knochenneubildung und Osseointegration führte.

Fernandes BF, da Cruz MB, Marques JF, Madeira S, Carvalho Ó, Silva FS, da Mata ADSP, Caramês JMM, Hämmerle CHF, Jung RE.

Laser Nd:YAG patterning enhance human osteoblast behavior on zirconia implants.

Lasers Med Sci. 2020 Dec;35(9):2039-2048.

(»Eine Oberflächenstrukturierung mittels Laser-Nd:YAG-Irradiation verbessert das Verhalten humaner Osteoblasten auf Zirkonoxid-Implantaten.«)

Eine Nd:YAG-Laserbehandlung gilt als mögliche Strategie zur Verbesserung der Bioaktivität von Implantaten aus Zirkonoxid. Das Ziel der vorliegenden Studie war daher die Evaluierung des In vitro-Verhaltens humaner fetaler Osteoblasten im Kontakt mit lasertexturierten Zirkonoxid-Implantatoberflächen. Dabei sollten der Einfluss unterschiedlicher Texturmuster, die Abstände zwischen den Laserdurchgängen und die Anzahl der Laserdurchgänge auf das Verhalten der Osteoblasten untersucht werden. Untertexturierte, sandgestrahlte und säuregeätzte Zirkonoxid-Scheiben (SBAE) wurden als Kontrollen verwendet. Humane Osteoblasten (hFOB 1.19) wurden 14 Tage lang auf den Test- und Kontrollproben kultiviert. Die Zellviabilität und -proliferation stieg im Laufe der Zeit für alle Gruppen mit statistisch höheren Werten für die lasertexturierten Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe nach sieben und nach 14 Tagen an. Die Kollagen-Typ-I-Werte waren in den Untersuchungsgruppen signifikant erhöht. Für die Aktivitätswerte der Alkalischen Phosphatase wurden keine statistischen Unterschiede zwischen den Test- und Kontrollgruppen festgestellt.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse legen nahe, dass laserbehandelte Zirkonoxid-Implantatoberflächen die Osteoblastenreaktion begünstigen können. Die Art der Textur, die Abstände im Bereich von 25-35 µm und die Anzahl der Laserdurchgänge schienen keinen relevanten Einfluss auf das Verhalten der Osteoblasten zu haben.

Fu X, Liu P, Zhao D, Yuan B, Xiao Z, Zhou Y, Yang X, Zhu X, Tu C, Zhang X.
Effects of Nanotopography Regula-

tion and Silicon Doping on Angiogenic and Osteogenic Activities of Hydroxyapatite Coating on Titanium Implant.

Int J Nanomedicine. 2020 Jun 12; 15:4171-4189.

(»Die Auswirkungen der Nanotopografie und des Zusatzes von Silikon auf die angiogene und osteogene Aktivität von Hydroxylapatit-Beschichtungen auf Titanimplantaten.«)

Ziel dieser Studie war die Untersuchung, welche Auswirkungen die Oberflächen-Nanotopografie und die Beigabe von Silizium (Si) auf die angiogenen und osteogenen Eigenschaften von Hydroxylapatit (HA)-Beschichtungen im In vitro-Experiment haben. Dazu wurden Beschichtungen mit HA und HA-Si entweder mittels der Pulsstrom- (PC) oder der zyklischen Voltammetrie- (CV) Methode hergestellt. Die Beigabe von Si führte zur Ausbildung von blatt- bzw. stäbchenförmigen Nanostrukturen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Si-Gabe die Überlebensfähigkeit der Osteoblasten-Zelllinie MC3T3-E1 günstiger beeinflusste, während die Nanobeschichtung die Fläche für die Zelladhäsion vergrößerte. Von den vier Beschichtungen zeigte HS-PC mit Si-Zusatz und Nanoblatt-Topografie die beste Wirksamkeit in Bezug auf die Hochregulierung der osteogenen Gen-Expression (ALP, Col-I, OSX, OPN und OCN) in den MC3T3-E1-Zellen. Darüber hinaus förderten alle Proben der oberflächenbeschichteten Ti-Scheiben das Wachstum der HUVECs (Mesenchymzellen), wobei die HS-Proben eine bedeutendere Rolle bei der Förderung der Zellmigration und Röhrenbildung spielten als die HA-Proben.

Schlussfolgerung: Die Ergebnisse zeigen, dass der Si-Zusatz bei gleichzeitiger Nanotopografie der Beschichtung dazu beitragen kann, die Knochenregeneration und Vaskularisierung auf HA-beschichteten Ti-Implantaten zu verbessern.

Goldschmidt GM, Krok-Borkowicz M, Zybała R, Pamuła E, Telle R, Conrads G, Schickle K.

Biomimetic in situ precipitation of calcium phosphate containing

silver nanoparticles on zirconia ceramic materials for surface functionalization in terms of antimicrobial and osteoconductive properties.

Dent Mater. 2021 Jan;37(1):10-18.

(»Biomimetische in situ-Fällung von kalziumphosphathaltigen Silber-Nanopartikeln zur Oberflächenfunktionalisierung von Zirkonoxid-Keramik im Hinblick auf antimikrobielle und osteokonduktive Eigenschaften.«)

Zirkonoxid wird dank seiner hervorragenden mechanischen, biologischen und ästhetischen Eigenschaften häufig für die Herstellung von Dentalimplantaten verwendet. Seine bioinerten Oberflächeneigenschaften behindern jedoch die Bindung mit dem umgebenden biologischen Gewebe. Um die Osseointegration zu verbessern und Infektionsrisiken zu reduzieren, wurden Zirkonoxid-Oberflächen mit einer biomimetischen Kalziumphosphat-Beschichtung mit Silber-Nanopartikeln (Ag-NP) versehen, die der Schicht antibakterielle und bioaktive Eigenschaften verleihen sollten. Die Ergebnisse zeigten, dass diese Beschichtungen, je nach Konzentration der Ag-NP, antibakterielle Eigenschaften gegen *S. aureus* und *E. coli* haben. Nur Proben, die 0,05 Atom-% Ag-NPs enthielten, d.h. die in vertikaler Position in simulierter Körperflüssigkeit mit 0,01 g/L Ag-NPs inkubiert worden waren, erwiesen sich im direkten Kontakt mit MG63-Zellen als zytokompatibel.

Schlussfolgerung: Diese Methode könnte die Entwicklung einer völlig neuen Materialgruppe ermöglichen, die nicht nur eine, sondern mehrere biologische Eigenschaften aufweist, welche die Osseointegration verbessern und das Infektionsrisiko minimieren kann.

Guo L, Zou Z, Smeets R, Kluwe L, Hartjen P, Cacaci C, Gosau M, Henningsen A.

Time Dependency of Non-Thermal Oxygen Plasma and Ultraviolet Irradiation on Cellular Attachment and mRNA Expression of Growth Factors in Osteoblasts on Titanium and Zirconia Surfaces.

Int J Mol Sci. 2020 Nov 14;21(22):8598.

(»Zeitabhängigkeit der Vorbehandlung mit nicht-thermischem Sauerstoffplasma und ultravioletter Bestrahlung auf die Zellanlagerung und die mRNA-Expression von Wachstumsfaktoren in Osteoblasten auf Titan- und Zirkonoxid-Oberflächen.«)

Ultraviolettes (UV) Licht und nicht-thermisches Plasma (NTP) sind vielversprechende Oberflächenbehandlungsmethoden, welche die zeitabhängige Alterung von dentalen Implantatoberflächen verhindern können. Zu diesem Zweck wurden scheibenförmige Prüfkörper aus Titan- und Zirkonoxid mit UV-Licht und nicht-thermischem Sauerstoffplasma in aufsteigenden Zeitintervallen behandelt. Unbehandelte Scheiben dienten als Kontrollen. Auf den behandelten und unbehandelten Scheiben wurden anschließend murine osteoblastenähnliche Zellen (MC3T3-E1) kultiviert. Nach zwei und nach 24 Stunden Inkubationszeit wurde die Überlebensfähigkeit der Zellen auf den Oberflächen mit einem MTS-Assay bestimmt. Die Überlebensfähigkeit von MC3T3-E1-Zellen und relative VEGF-Expression war in den Gruppen signifikant erhöht, welche mit zwölf Minuten UV-Bestrahlung und einer Minute NTP behandelt worden waren.

Jo Y, Kim YT, Cho H, Ji MK, Heo J, Lim HP.

Atomic Layer Deposition of ZrO₂ on Titanium Inhibits Bacterial Adhesion and Enhances Osteoblast Viability.

Int J Nanomedicine. 2021 Feb 24;16:1509-1523.

(»Die Atomlagenabscheidung von ZrO₂ auf Titan hemmt die bakterielle Adhäsion und erhöht die Lebensfähigkeit von Osteoblasten.«)

Ziel der Studie war, mittels Atomlagenabscheidung (ALD: ein Verfahren zur Abscheidung extrem dünner Schichten) eine gleichmäßige Zirkonoxidschicht auf der Oberfläche komplexer Strukturen zu erzeugen, um dessen Einfluss auf die bakterielle Adhäsion und die Überlebensfähigkeit der Osteoblasten zu ermitteln. Titanscheiben wurden mittels eines Atomlagenabscheidungsreaktors

mit amorphem Zirkonoxid beschichtet. Die Proben wurden in drei Gruppen eingeteilt: 1) Kontrollgruppe ohne Oberflächenbehandlung, 2) Oberflächenbehandlung mit amorphem ALD-Zirkonoxid und 3) mit ALD und Wärmebehandlung. In den Gruppen 2 und 3 war eine signifikant geringere Adhäsion von *S. mutans* und *P. gingivalis* im Vergleich zur Kontrollgruppe messbar. Die Überlebensfähigkeit und Differenzierung von MC3T3-E1-Zellen waren in Gruppe 3 mit Wärmebehandlung im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant erhöht, während im Vergleich zur Gruppe 2 keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden konnten.

Schlussfolgerung: Im Vergleich zur Reintitangruppe zeigten die Gruppen mit einer Oberflächenbehandlung mittels ALD und Wärme eine verringerte bakterielle Adhäsion sowie eine Erhöhung der MC3T3-E1-Zellviabilität und -differenzierung. Die Ergebnisse weisen somit auf die Möglichkeiten hin, dass diese Form der Oberflächenvorbehandlung zu einer Reduktion des Periimplantitis-Risikos sowie zu einer Verbesserung Osseointegration beitragen kann.

Kodama K, Valanezhad A, Khodaei M, Safaee S, Jafarnia S, Nesabi M, Abe S, Watanabe I, Murata H.

A novel coating layer on zirconia using modified zinc phosphatizing method.

Dent Mater J. 2021 Mar 9. [Epub ahead of print]

(»Eine mittels der modifizierten Zinkphosphatierungsmethode hergestellte, neuartige Zirkonoxid-Beschichtung.«)

Yttriumoxid-stabilisiertes ZrO₂ wurde mit einer sauren Zinkphosphatierungslösung und einer hydrothermalen Behandlung beschichtet. Die In vitro-Zellstudien zeigten, dass die beschichteten Prüfkörper eine bessere Zellmorphologie und Proliferation aufwiesen. Der Biegefestigkeitstest zeigte, dass die Festigkeit der Zirkonoxid-Prüfkörper durch die hydrothermale Behandlung nicht beeinträchtigt wurde.

Lai Y, Xu Z, Chen J, Zhou R, Tian J, Cai Y.

Biofunctionalization of Micro-

groove Surfaces with Antibacterial Nanocoatings.

Biomed Res Int. 2020 Jun 17;2020:8387574.

(»Biofunktionalisierung mikrostrukturierter Oberflächen mittels antibakteriell wirksamer Nanobeschichtungen.«)

Titannitrid- (TiN) und Silber- (Ag) Beschichtungen wurden mittels Magnetron-sputtern auf glatte oder mikrostrukturierte Titanoberflächen gebracht. Unbehandelte glatte Titanoberflächen (Ti-S) wurden als Kontrollen verwendet. Die TiN-Beschichtung von mikrostrukturierten Oberflächen (TiN-MG) führte zu einer geringeren Nanorauigkeit und größeren Oberflächenhydrophilie als die Ag-Beschichtung auf glatten Oberflächen (Ag-S). Die Zellproliferation und die Expression von Vinculin waren auf der TiN-MG-Oberfläche höher als auf den Ag-beschichteten Oberflächen. Ag-beschichtete Oberflächen zeigten die stärkste antibakterielle Aktivität, gefolgt von TiN-beschichteten Oberflächen.

Schlussfolgerung: Die Nano-Ag-Beschichtung führte zu einer guten antimikrobiellen Aktivität, während der Effekt auf die Biokompatibilität fraglich war. Die TiN-Nanobeschichtung auf einer MG-Oberfläche zeigte antibakterielle Eigenschaften sowie eine gute Biokompatibilität.

Li Q, Wang Z.

Involvement of FAK/P38 Signaling Pathways in Mediating the Enhanced Osteogenesis Induced by Nano-Graphene Oxide Modification on Titanium Implant Surface.

Int J Nanomedicine. 2020 Jun 30;15:4659-4676.

(»Die Beteiligung von FAK/P38-Signalwegen zur Vermittlung einer verbesserten Knochenneubildung mittels Nano-Graphene-Oxid-Schicht modifizierter Oberflächen von Titanimplantaten.«)

Aufgrund dessen inerten Oberflächeneigenschaften ist die osteoinduktive Fähigkeit von Titan begrenzt, was in der Folge zu einer schlechten oder verzögerten Osseointegration führt. Graphenoxid (GO) scheint ein vielversprechendes Material zu sein, um die Biofunktionalisierung von Implantatoberflächen

herbeizuführen und um somit zu einer Verbesserung der osteoinduktiven Eigenschaften der Implantatoberflächen aus Titan beizutragen. Zu diesem Zweck erfolgte zunächst eine Sandstrahlung/Säureätzung (SLA) der Titanoberflächen. Anschließend wurde das Nano-GO mittels spezieller ultraschallgestützter Sprühverfahren auf der SLA-Oberfläche aufgebracht (Testgruppe). Die SLA-Oberflächen der Kontrollgruppe bleiben unbehandelt. Der Einfluss der jeweiligen Oberfläche auf die Osteoinduktivität wurde anhand von mesenchymalen Stammzellen (BMSCs) aus Rattenknochenmark untersucht. Mittels der GO-Beschichtung konnte auf der SLA-Oberfläche eine verbesserte Hydrophilie und Proteinadsorptionskapazität hergestellt werden. Im Vergleich zur SLA-Oberfläche begünstigte die GO-modifizierte Oberfläche die Zelladhäsion, die Zellproliferation und die osteogene Differenzierung von BMSCs in signifikanter Weise. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass die FAK/P38-Signalwege zu einer Verbesserung der osteogenen Differenzierung von BMSCs führten.

Schlussfolgerung: Die GO-Modifikation auf der Oberfläche von Titanimplantaten hat das Potenzial, durch die Vermittlung von FAK/P38-Signalwegen zu einer beschleunigten Osseointegration zu führen.

Liu Y, Rui Z, Cheng W, Song L, Xu Y, Li R, Zhang X.

Characterization and evaluation of a femtosecond laser-induced osseointegration and an anti-inflammatory structure generated on a titanium alloy.

Regen Biomater. 2021 Mar 13;8(2):rbab006.

(»Beschreibung und Untersuchung einer Femtolaser-induzierten Osseointegration und einer antiinflammatorisch wirksamen Oberfläche auf einer Titanlegierung.«)

In dieser Studie wurden Femtosekunden-Laserbehandlungen und Sandstrahlungen verwendet, um die Oberflächenmorphologie, die Rauheit und Benetzbarkeit einer Titanlegierung zu verändern. Es wurden vier Gruppen ge-

bildet: 1) Titanlegierung mit polierter Oberfläche (pTi) als Kontrolle, 2) hydrophile Titanlegierung (sandgestrahltes Ti (STi)), 3) hydrophobe nanostrukturierte Ti-Legierung (Femtosekundenlaser-behandeltes Ti (FTi)) und 4) eine hydrophile hierarchisch mikro-/nanostrukturierte hybride Ti-Legierung (Femtosekundenlaser-behandeltes und sandgestrahltes Ti (FSTi)). Die mit dem Femtosekundenlaser und Sandstrahlen behandelten Titanoberflächen zeigten eine höhere Biomineralisierungsaktivität und eine geringere Zytotoxizität in simulierten Körperflüssigkeits- und Laktatdehydrogenase-Tests. Im Vergleich zur Kontrolloberfläche induzierte die multifunktionale Titanoberfläche eine bessere Proliferation, Differenzierung, Mineralisierung und Kollagensekretion der Zellen. Zudem bewirkte sie eine antiinflammatorische Makrophagen-Polarisation.

Ren B, Wan Y, Liu C, Wang H, Yu M, Zhang X, Huang Y.

Improved osseointegration of 3D printed Ti-6Al-4V implant with a hierarchical micro/nano surface topography: An in vitro and in vivo study.

Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.

2021 Jan;118:111505.

(»Verbesserte Osseointegration eines 3D-gedruckten Ti6Al4V-Implantats mit einer hierarchischen Mikro-/Nano-Oberflächentopografie: Eine In vitro- und In vivo-Studie.«)

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung, wie die Bioaktivität und Osteogenese von 3D-gedruckten Ti6Al4V-Implantaten verbessert werden kann. Ti6Al4V-Implantate wurden mittels Elektronenstrahlschmelzverfahren (EBM) hergestellt. Anschließend erfolgte eine Oberflächenmodifikation mittels Säureätzung und anodischer Oxidation, um die Implantatoberflächen zu reinigen und Mikroporositäten zu erzeugen. Die Ergebnisse der In vitro-Experimente zeigten, dass die hierarchische mikro-/nanostrukturierte Oberfläche auf Ti6Al4V nach Säureätzung und anodischer Oxidation (AN) die Proliferation und

osteogene Differenzierung von Prä-Osteoblastenzellen (MC3T3-E1) durch die Erhöhung der Oberflächenhydrophilie und Bioaktivität im Vergleich zur polierten Ti-Oberfläche (P) förderte. Anhand der mikro-CT-rekonstruierten 3D-Modelle wurde zusätzlich eine Vergrößerung der Knochen-Implantat-Kontaktfläche festgestellt.

Rohr N, Bergemann C, Nebe JB, Fischer J.

Crystal structure of zirconia affects osteoblast behavior.

Dent Mater. 2020 Jul;36(7):905-913.

(»Die kristalline Struktur von Zirkonoxid beeinflusst das Verhalten von Osteoblasten.«)

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie sich die Oberflächenrauigkeit und das Verhältnis von monokliner zu tetragonaler Phase von Zirkonoxid auf das Zellverhalten humaner Osteoblasten auswirken. Zu diesem Zweck wurden Zirkonoxid-Scheiben mit fünf verschiedenen Oberflächenstrukturen hergestellt: 1) maschinell bearbeitet, 2) maschinell wärmebehandelt, 3) poliert, 4) poliert wärmebehandelt sowie 5) sandgestrahlt, geätzt und wärmebehandelt. Die Wärmebehandlung der Proben führte zu einer signifikanten Verbesserung der Oberflächenbenetzbarkeit. Mit zunehmender Oberflächenrauigkeit konnte eine zunehmende Zellreduktion festgestellt werden. Die Zellviabilität nach 24 Stunden korrelierte linear mit dem tetragonalen Phasenverhältnis der Proben.

Schlussfolgerung: Glatte Zirkonoxidoberflächen mit hohen tetragonalen Phasenverhältnissen zeigten die besten Oberflächenbedingungen für MG-63 Osteoblastenzellen und können für das Design des enossalen Teils von Zirkonoxid-Implantaten in Betracht gezogen werden.

Xu Z, Krajewski S, Weindl T, Loeffler R, Li P, Han X, Geis-Gerstorfer J, Wendel HP, Scheideler L, Rupp F.

Application of totarol as natural antibacterial coating on dental

implants for prevention of peri-implantitis.

Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2020 May;110:110701.

(»Die Beigabe von Totarol als natürliche, antibakteriell wirkende Beschichtung von Implantatoberflächen zur Prävention der Periimplantitis.«)

Die Plaquebildung auf Implantatoberflächen ist eine der wesentlichen Ursachen für die Entstehung einer Periimplantitis. In der vorliegenden Untersuchung wurde der natürliche antibakteriell wirkende Wirkstoff Totarol als Beschichtung auf experimentelle Siliziumscheiben- und Titanimplantatoberflächen aufgebracht und mit verschiedenen Bakterienarten (u. a. *S. gordonii*) in einem künstlichen Medium in Kontakt gebracht. Die Ergebnisse zeigten, dass Totarol-Beschichtungen einen bakteriziden und einen inhibitorischen Effekt auf die bakterielle Adhäsion haben.

Schlussfolgerung: Der Einsatz einer Totarol-Beschichtung auf Implantat- oder Abutmentoberflächen ist ein vielversprechender prophylaktischer Ansatz gegen Periimplantitis.

Yang Y, Zhang T, Jiang M, Yin X, Luo X, Sun H.

Effect of the immune responses induced by implants in a integrated three-dimensional micro-nano topography on osseointegration.

J Biomed Mater Res A. 2020 Nov 30:e37134. [Epub ahead of print]

(»Der Einfluss einer integrierten dreidimensionalen Mikro-/Nanotopografie auf die Immunantwort und die Osseointegration.«)

Um die Fähigkeiten einer integrierten dreidimensionalen Mikro-/Nanotopografie bei der Immunmodulation und Förderung der Knochenbildung zu untersuchen, wurden Titanprüfkörper sandgestrahlt, säuregeätzt (SLA) und mittels einer alkalischen thermischen Reaktion behandelt. Die Ergebnisse zeigten, dass die durch SLA und alkalische Wärmebehandlung hergestellte Mikro-/Nanotopografie die Hydrophilie verbessert und die Zellproliferation gefördert wurde. Darüber hinaus förderte sie die Polarisierung von RAW264.7-Zellen zum M2-Phänotyp,

was eine entzündungshemmende Wirkung zur Folge hatte. Dies erleichterte den Osteoblasten die Sekretion von Bone Morphogenetic Protein-2 (BMP2) und Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF).

Zhang Z, Xu R, Yang Y, Liang C, Yu X, Liu Y, Wang T, Yu Y, Deng F.

Micro/nano-textured hierarchical titanium topography promotes exosome biogenesis and secretion to improve osseointegration.

J Nanobiotechnology. 2021 Mar 19;19(1):78.

(»Hierarchische Mikro-/Nanotopografien begünstigen die Biogenese und Sekretion von Exosomen zur Verbesserung der Osseointegration.«)

Mesenchymale Stammzellen aus dem Knochenmark (BMSCs) und von BMSCs abgeleitete Exosomen spielen eine wichtige Rolle bei der Osseointegration von Titanimplantaten. Der Einfluss der Titanoberflächen-Topographie auf die von BMSCs abgeleitete Exosomensekretion ist noch unklar. In dieser Studie wurde untersucht, ob das Sekretionsverhalten von aus BMSCs stammenden Exosomen durch verschiedene Oberflächentopografien sowohl In vitro als auch In vivo unterschiedlich beeinflusst wird. Sowohl eine mikro-/nanotexturierte als auch eine mikro-/nanotubulär-texturierte hierarchische Titanopografie wiesen eine günstige Rauheit und Hydrophilie auf. Beide hierarchischen Topografien verbesserten die Adhäsion und Proliferation von BMSCs auf der Titanoberfläche im In vitro-Experiment. Im In vivo- und In vitro-Experiment verbesserte die mikro-/nano-texturierte hierarchische Titanopografie signifikant die Osseointegration und förderte die BMSCs bei der Synthese und dem Transport von Exosomen und ihrer anschließenden Freisetzung in die extrazelluläre Umgebung.

Schlussfolgerung: Diese Ergebnisse sind ein Hinweis darauf, dass die mikro-/nano-texturierte hierarchische Titanopografie die Exosomenbiogenese und die extrazelluläre Sekretion fördert und auf diese Weise die Osseointegration verbessert.



Tierexperimentelle Studien

Kaneko S, Yamamoto Y, Wada K, Kumagai G, Harada Y, Yamauchi R, Ishibashi Y.

Ultraviolet irradiation improves the hydrophilicity and osteo-conduction of hydroxyapatite.

J Orthop Surg Res. 2020 Sep 18;15(1):425.

(»Eine ultraviolette Bestrahlung führt zu einer Verbesserung der hydrophilen und osteokonduktiven Eigenschaften von Hydroxylapatit.«)

Während die Wirkung von UV-Licht auf Titanoberflächen für die Verbesserung des Zellwachstums und die Osseointegration bekannt ist, ist über die Wirkung von UV-Bestrahlung auf Hydroxylapatit (HA) wenig bekannt. Im Zuge dessen wurden HA-Implantate mit niedriger und hoher Porosität mit UV-Licht behandelt. Zunächst wurde anhand eines Wassertropfens der Kontaktwinkel gemessen. Anschließend wurden die Implantate in Ratten-Oberschenkelknochen inseriert. Nach der UV-Bestrahlung waren die Kontaktwinkel in beiden Implantatgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant reduziert. In Bezug auf das Knochenvolumen konnten zwischen den Test- und Kontrollimplantaten nach zwei bzw. vier Wochen keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Schlussfolgerung: Die UV-Bestrahlung führte zur Ausbildung hydrophiler Eigenschaften im Vergleich zu den Prüfkörpern ohne UV-Bestrahlung. Diese Fotofunktionalisierung beschleunigte den Anstieg der Knochenkontaktfläche im frühen Heilungsstadium.

Liddell RS, Liu ZM, Mendes VC, Davies JE.

Relative contributions of implant hydrophilicity and nanotopography to implant anchorage in bone at Early Time Points.

Clin Oral Implants Res. 2020 Jan;31(1):49-63.

(»Der relative Beitrag der Hydrophilie und Nanotopografie bei der frühen Osseointegration von Implantaten.«)

Die vorliegende Studie diente zur Bestimmung des Beitrags der Hydrophilie oder der Nanotopografie von Implantaten auf die frühe Osseointegration. Außerdem wurde die Auswirkung eines erhöhten Kalziumanteils auf die Knochenverankerung untersucht. Zu diesem Zweck wurden die Auswirkungen einer UV-Bestrahlung und/oder einer Natriumlactat-Vorbehandlung (SL) und der diskreten Ablagerung von Nanokristallen (DCD) auf die Osseointegration von zweifach säuregeätzten (AE) Titanlegierungen (Ti6Al4V) bzw. sandgestrahlten/geätzten (BAE) Titanimplantaten (CpTi) bewertet. Mit Natriumhydroxid (NaOH) behandelte CpTi-Implantate wurden in simulierte Körperflüssigkeit (SBF) getaucht, um den Kalziumanteil auf der Oberfläche zu erhöhen. Die Implantate wurden anschließend in den Oberschenkelknochen von Wistar-Ratten inseriert und Pull-out-Tests (BAE-Implantate: fünf, neun, 14 Tage) oder Zugtests (AE-Implantate: neun Tage; NaOH-Implantate: 28 Tage) unterzogen. Bei Ti6Al4V-AE-Implantaten mit DCD- und UV-behandelten Oberflächen war die Verankerung im Knochen im Vergleich zu unbehandelten Ti6Al4V-Implantaten signifikant erhöht. Pull-out-Tests von BAE-CpTi-Implantaten mit DCD-Behandlung zeigten im Vergleich zu Oberflächen ohne DCD-Behandlung nach fünf, neun und 14 Tagen um 4,1 N, 13,9 N bzw. 15,5 N erhöhte Bruchkraftwerte. UV-behandelte Implantate zeigten nach 14 Tagen einen Anstieg um 8,4 N. Es wurde kein Unterschied zwischen den Gruppen NaOH + SBF und NaOH + H₂O festgestellt.

Schlussfolgerung: Es wurde festgestellt, dass die Knochenverankerung von Implantaten durch die UV-Bestrahlung oder durch nanotopografische Oberflächen verbessert wird. Im Vergleich leistete die Implantat-Nanotopografie einen größeren Beitrag zur gesamten Knochenverankerung, auch zeigte sie sich im Vergleich zur zeitabhängigen Natur der UV-Behandlung konsistenter.

Jinno Y, Stocchero M, Galli S, Toia M, Becktor JP.

Impact of a hydrophilic dental implant surface on osseointegration: biomechanical results in rabbit.

J Oral Implantol. 2020 Jul 14. [Epub ahead of print]

(»Der Einfluss einer hydrophilen Implantatoberfläche auf die Osseointegration: Biomechanische Ergebnisse im Kaninchenmodell.«)

Um die Wirkung der Oberflächenhydrophilie auf die biomechanischen Aspekte der Osseointegration von Implantaten zu untersuchen, wurden 96 Titanimplantate (Kontrollgruppe) und 96 Implantate mit einer hydrophilen Oberfläche (Testgruppe) nach dem Zufallsprinzip beidseits in die Tibia und im Femur von 48 Kaninchen inseriert. Unmittelbar bei Insertion und während der Einheilungsphase erfolgten Messungen des Insertionstorques (ITQ), der Implantatstabilität (ISQ) und des Ausdrehmoments (RTQ) über einen achtwöchigen Zeitraum. Es wurde kein statistischer Unterschied für den ITQ, den ISQ und für den RTQ zwischen der Kontrollgruppe und der Testgruppe in der Tibia/dem Femur für alle Messzeitpunkte ermittelt.

Schlussfolgerung: Auf mäßig rauen Oberflächen hat die Hydrophilie keinen Einfluss auf die biomechanischen Eigenschaften von Implantaten.

Wang L, Gao Z, Su Y, Liu Q, Ge Y, Shan Z.

Osseointegration of a novel dental implant in canine.

Sci Rep. 2021 Feb 22;11(1):4317.

(»Osseointegration eines neuartigen Dentalimplantats im Hundemodell.«)

Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Osseointegration eines neuartigen Implantats in vivo. Zu diesem Zweck wurden 32 mittels Flusssäure und Anodisierung vorbehandelte Implantate und 16 Kontrollimplantate in den Unterkiefer von acht Beagles eingesetzt. Zwischen der zweiten und vierten Woche konnten signifikante Unterschiede in der trabekulären Dicke, dem Verhältnis von Knochenoberfläche/Knochenvolumen und dem Verhältnis von Knochenvolumen/Gesamtvolumen zwischen den beiden Gruppen ermittelt werden. Es gab jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nach zwei, vier, acht und zwölf Wochen in Bezug auf die Knochendichte oder dem BIC nach zwei und vier Wochen. Der BIC war bei den Kontrollimplantaten

nach acht und zwölf Wochen höher als bei den Testimplantaten. Die histologische Untersuchung ergab eine ähnlich gute Osseointegration in beiden Gruppen.



Puisys A, Schlee M, Linkevicius T, Petrakakis P, Tjaden A.

Photo-activated implants: a triple-blinded, split-mouth, randomized controlled clinical trial on the resistance to removal torque at various healing intervals.

Clin Oral Investig. 2020 May;24(5):1789-1799.

(»Fotoaktivierte Implantate: Eine dreifach verblindete, randomisiert kontrollierte, klinische Studie im Split Mouth-Design zum Widerstand gegenüber des Removal Torque nach unterschiedlichen Einheilintervallen.«)

Hydrophile Implantatoberflächen führen zu einer beschleunigten Osseointegration von Implantaten sowie zu einem höheren BIC. In Tier- und In vitro-Studien konnte nachgewiesen werden, dass eine UV-Bestrahlung von Titanimplantaten zu einer Wiederherstellung der hydrophilen Oberflächeneigenschaften führt. Ziel dieser RCT war es, das Ausdrehmoment (RT) zu ermitteln, das erforderlich ist, um oberflächenbehandelte Implantate (Testgruppe) im Vergleich zu unbehandelten Implantaten (Kontrollgruppe) zu verschiedenen Zeitpunkten aus dem Knochen-Implantatverbund zu lösen. Zu diesem Zweck wurden 180 teilbezahnte Patienten nach dem Zufallsprinzip sechs Gruppen zugeteilt. In einer einzeitigen Operation erhielt jeder Patient ein Test- und ein Kontrollimplantat. Kein Implantat ging verloren. Die RT-Werte waren bei den Testimplantaten nach zwei, drei, vier sowie nach acht Wochen statistisch signifikant höher als bei den Kontrollimplantaten.

Staehlke S, Springer A, Freitag T, Brief J, Nebe JB.

The Anchorage of Bone Cells onto

an Yttria-Stabilized Zirconia Surface with Mild Nano-Micro Curved Profiles.

Dent J (Basel). 2020 Nov 10;8(4):127.

(»Die Verankerung von Knochenzellen auf Yttrium stabilisierten Zirkonoxidoberflächen mit einem abgerundeten Nano-Mikro-Profil.«)

Die Osseointegration von Implantaten ist ein Erfolgskriterium und hängt entscheidend von der chemischen Struktur und Topografie der Implantatoberflächen ab. Die sandgestrahlten, säuregeätzten und wärmebehandelten Oberfläche aus Yttriumoxid-stabilisiertem Zirkonoxid (cer. face 14) wurden mittels Rasterelektronenmikroskopie und energie-dispersiver Röntgenstrahlung charakterisiert. Die cer.face 14 Oberfläche wies eine Oberfläche mit abgerundetem Profil auf, welche sich als geeignet für die Adhäsion von Zellen erwies.

Schlussfolgerung: Scharfkantige Mikropografien scheinen die Zellfunktion und Zellanlagerung zu beeinträchtigen. Daher sollten mikrostrukturierte Implantate, die in der zahnärztlichen Chirurgie eingesetzt werden, jede scharfkantige Topografie auf ihrer Oberfläche vermeiden.

Tallarico M, Baldini N, Gatti F, Marti-nolli M, Khanari E, Meloni SM, Gabriele C, Immacolata LA.

Role of New Hydrophilic Surfaces on Early Success Rate and Implant Stability: 1-Year Post-loading Results of a Multicenter, Split-Mouth, Randomized Controlled Trial.

Eur J Dent. 2021 Feb;15(1):1-7.

(»Der Einfluss hydrophiler Oberflächen auf die frühen Erfolgsraten und die Implantatstabilität: Ein-jahresergebnisse einer randomisiert kontrollierten Studie im Split Mouth-Design nach einem Jahr unter Belastung.«)

29 Patienten wurden nach dem Zufalls-

prinzip im Split Mouth-Design mit Implan-taten des gleichen Herstellers versorgt, die eine hydrophile (Testgruppe) oder eine sandgestrahlte/säuregeätzte Oberfläche (Kontrollgruppe) hatten. Im Rahmen der Nachuntersuchung ein Jahr nach der prothetischen Versorgung war keines der insgesamt 58 Implantate verloren gegangen und alle prothetischen Rekonstruktionen waren komplikationslos in situ. In der zweiten Woche nach Implantatinsertion konnten in der Testgruppe signifikant höhere Implantat-Stabilitätswerte (ISQ) im Oberkiefer ermittelt werden. Im Unterkiefer waren keine Unterschiede ersichtlich. Es konnte eine positive Korrelation zwischen einem hohen Insertionstorque und hohen ISQ-Werten ermittelt werden.

Velloso G, Moraschini V, Dos Santos Porto Barboza E.

Hydrophilic modification of sand-blasted and acid-etched implants improves stability during early healing: a human double-blind randomized controlled trial.

Int J Oral Maxillofac Surg. 2019 May;48(5):684-690.

(»Die hydrophile Modifikation von sandgestrahlten und säuregeätzten Implantaten führt zu einer Verbesserung der Stabilität während früher Einheilphasen: Eine doppel-blinde, randomisiert kontrollierte Humanstudie.«)

20 Probanden wurden nach dem Zufallsprinzip im Unterkiefer-Seitenzahnbereich mit je einem Implantat des gleichen Herstellers versorgt, welches entweder eine sandgestrahlte/säuregeätzte Oberfläche (Kontrollgruppe) oder eine chemisch modifizierte, hydrophile Oberfläche hatte. Während der sechswöchigen Nachuntersuchung wurde der ISQ ermittelt. In der Testgruppe konnte ein signifikant höherer ISQ als in der Kontrollgruppe ermittelt werden.



Al Mugeiren OM, Baseer MA.

Dental Implant Bioactive Surface Modifiers: An Update.

J Int Soc Prev Community Dent. 2019 Jan-Feb;9(1):1-4.

(»Bioaktive Modifier dentaler Implantatoberflächen: Ein Update.«)

Das Ziel der vorliegenden Übersichtsarbeit war ein Update zu verschiedenen Oberflächenbeschichtungen, welche zur Verbesserung der Oberflächenchemie von Dentalimplantaten beitragen. Zu diesem Zweck erfolgte eine Literaturrecherche in Online-Datenbanken wie Pubmed Medline, Google Scholar, Ebsco, Wiley Science Library und Saudi Digital Library. Die Recherche ergab, dass biomimetische Beschichtungen sehr viele Vorteile in mechanischer und biologischer Hinsicht gegenüber den klassischen Beschichtungen mittels Plasmaspray-Verfahren bieten.

Effects of Local Drug and Chemical Compound Delivery on Bone Regeneration Around Dental Implants in Animal Models: A Systematic Review and Meta-Analysis.

Int J Oral Maxillofac Implants. 2018 Jan/Feb;33(1):e1-e18.

(»Der Einfluss der Abgabe von Medikamenten und chemischen Stoffen auf die Knochenregeneration bei Dentalimplantaten im Tierversuch: Ein systematischer Review und eine Metaanalyse.«)

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Osseointegration von Implantaten ist die lokale Applikation von Wirkstoffen im Bereich der Implantatoberfläche. Ziel dieser

Alle bisher erschienenen Themen der Sektion kurz & schmerzlos finden Sie auf www.frag-pip.de auch zum direkten Download

Übersichtsarbeit war eine Sammlung der am häufigsten verwendeten Methoden zur lokalen Verabreichung von Medikamenten und chemischen Verbindungen und eine Beurteilung ihres Einflusses auf die Osseointegration. Zu diesem Zweck erfolgte eine elektronische Suche in den elektronischen Datenbanken PubMed, Scopus und Embase. Die Suche beschränkte sich auf Tierversuche mit Implantaten in Kombination mit lokalen Medikamenten-Verabreichungssystemen. 61 Studien erfüllten die Einschlusskriterien. Kalziumphosphat (CaP), Bisphosphonate (BPs) und knochenmorphogenetisches Protein (BMPs) waren die am häufigsten verwendeten chemischen Verbindungen. Die lokale Abgabe von Medikamenten erfolgte hauptsächlich 1) direkt von der Implantatoberfläche durch Beschichtungs- oder Immobilisierungstechniken und 2) die lokale Applikation von Medikamenten in die Insertionsstelle des Implantats. Mittels Beschichtungen oder lokaler Gabe von CaP und BMPs konnte im Vergleich zur Kontrollgruppe ein signifikant erhöhter BIC beobachtet werden.

Cervino G, Fiorillo L, Iannello G, Santonocito D, Risitano G, Cicciù M. **Sandblasted and Acid Etched Titanium Dental Implant Surfaces Systematic Review and Confocal Microscopy Evaluation.** Materials (Basel). 2019 May 30;12(11):1763.

(»Sandgestrahlte und säuregeätzte Implantatoberflächen aus Titan. Ein systematischer Review und eine konfokale mikroskopische Untersuchung.«)

Dank der Entwicklung neuartiger Oberflächen, welche die Osseointegration beschleunigen, ist es möglich, Implantate früher prothetisch zu versorgen. Um die Vorteile solcher Oberflächen zu ermitteln, erfolgte eine Literaturrecherche in den Datenbanken Pubmed, Embase und Elsevier. Anhand der Recherche wurden zehn Studien identifiziert und in die Untersuchung einbezogen. Dank der neuartigen Oberflächen ist es gelungen, die Osseointegration der Implantate zu beschleunigen und somit die Zeitspanne bis zum Erreichen der Sekundärstabilität zu verkürzen. Die Oberflächen führen zu einer verbesserten Zellanlagerung und

infolge der erhöhten Benetzbarkeit zu einem größeren BIC.

Dias Corpa Tardelli J, Lima da Costa Valente M, Theodoro de Oliveira T, Cândido Dos Reis A. **Influence of chemical composition on cell viability on titanium surfaces: A systematic review.**

J Prosthet Dent. 2021 Mar;125(3):421-425.

(»Der Einfluss der chemischen Zusammensetzung von Titanoberflächen auf die Überlebensfähigkeit von Zellen: Ein systematischer Review.«)

Ziel der systematischen Übersichtsarbeit war die Untersuchung des Einflusses der Oberfläche sowie der chemischen Komponenten von Titanlegierungen auf die Überlebensfähigkeit von Zellen. Dazu wurde eine Literaturrecherche in den Datenbanken PubMed, Lilacs, Cochrane und Science Direct durchgeführt. Insgesamt 27 Artikel wurden in die Analyse einbezogen. An Maßnahmen zur Oberflächenbehandlung wurden Verfahren wie Lichtbogenschweißen, elektronenstrahlgestützte physikalische Abscheidung, plasmalektrolytische Oxidation, Beschichtungen, Mikrolichtbogenoxidation, Anodisierung, thermochemische Verfahren, BMP-2-Immobilisierung, druckunterstütztes Sintern und alkalische Wärmebehandlungen identifiziert. Anhand der zur Verfügung stehenden Literatur konnte keine Überlegenheit einer bestimmten Oberflächenbehandlungsart in Bezug auf die Überlebensfähigkeit von Zellen festgestellt werden. Zytotoxische Einflüsse der chemischen Komponenten waren abhängig von den Parametern Dosis, Zeit, Größe, Temperatur und Zelltyp. Die Elemente Niobium, Tantal, Zirkon und Molybdän wurden bei der Entwicklung von weniger toxischen Ti-Legierungen mit niedrigerem Elastizitätsmodul und höherer Festigkeit am häufigsten hinzugefügt.

Dini C, Nagay BE, Magno MB, Maia LC, Barão VAR.

Photofunctionalization as a suitable approach to improve the osseointegration of implants in animal

models-A systematic review and meta-analysis.

Clin Oral Implants Res. 2020 Sep;31(9):785-802.

(»Die Fotofunktionalisierung als ein passender Ansatz zur Verbesserung der Osseointegration von Implantaten im Tierexperiment – Ein systematischer Review und eine Metaanalyse.«)

Ziel der vorliegenden Übersichtsarbeit war die Untersuchung des Einflusses einer Fotofunktionalisierung auf die Osseointegration von Implantaten im Tierexperiment. Mittels einer Literaturrecherche in acht Online-Literaturdatenbanken wurden zehn Publikationen identifiziert und in die Metaanalyse einbezogen. Mittels Fotofunktionalisierung war im Kaninchen-, Hunde- und Rattenmodell in den frühen Phasen der Osseointegration ein signifikant höherer BIC erzielbar. Nach einer Einheilzeit von zwölf Wochen hingegen war kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Testgruppe und den unbehandelten Implantaten der Kontrollgruppe mehr ermittelbar. Im Push out-Test zeigten Implantate der Testgruppe signifikant höhere Werte und somit einen höheren Grad an Osseointegration als Implantate der Kontrollgruppe.

Kreve S, Cândido Dos Reis A.

Influence of the electrostatic condition of the titanium surface on bacterial adhesion: A systematic review.

J Prosthet Dent. 2021 Mar;125(3):416-420.

(»Der Einfluss des elektrostatischen Zustands von Titanoberflächen auf die Bakterienanlagerung: Ein systematischer Review.«)

Ziel dieser systematischen Übersichtsarbeit war die Auswertung von Studien, die sich mit der antibakteriellen Wirkung bestimmter Faktoren von Titanoberflächen bzw. Titanlegierungen auseinandersetzten. Zu diesem Zweck erfolgte eine systematische Literaturrecherche in den Datenbanken Scopus, PubMed/Medline, Web of Science, Embase und Science Direct. Insgesamt 13 In vitro-Studien erfüllen die Einschlusskri-

terien. Die Analyse der Literatur ergab, dass die Parameter Hydrophilie, die Art der kristallinen Phase, die Oberflächen-topografie und die Ladung von Titanoberflächen zur Entfaltung antibakterieller Eigenschaften beitragen können.

López-Valverde N, Flores-Fraile J, Ramírez JM, Sousa BM, Herrero-Hernández S, López-Valverde A.
Bioactive Surfaces vs. Conventional Surfaces in Titanium Dental Implants: A Comparative Systematic Review.
J Clin Med. 2020 Jun 29;9(7):2047.
(»Bioaktive vs. konventionelle Oberflächen von Titanimplantaten: Ein vergleichender systematischer Review.«)

Aus tierexperimentellen Studien und derzeit noch in geringer Anzahl vorhandenen, klinischen Humanstudien ist erkennbar, dass bioaktive Oberflächen die Osseointegration von Dentalimplantaten verbessern könnten. Das Ziel dieser systematischen Übersichtsarbeit war die Untersuchung, inwieweit sich Titanimplantate mit bioaktiven Oberflächen von Titanimplantaten mit sandgestrahlten, grobkörnigen, säuregeätzten (SLA) oder ähnlichen Oberflächen in Bezug auf ihre Osseointegration unterscheiden. Zu diesem Zweck erfolgte eine elektronische Literaturrecherche in den Datenbanken Medline, Pubmed, Central und Web of Science. Drei klinische und 27 tierexperimentelle Studien erfüllten die Einschlusskriterien und wurden in die Analyse einbezogen. Die Osseointegration wurde mittels des Implantat-Stabilitätsquotienten (ISQ), des Ausdrehmoments, Zahnfilmen, mikrocomputertomografischen radiologischen Analysen, Schertests (SF) sowie anhand des Knochen-Implantat-Kontakts (BIC) bzw. des BIC und der Implantat-Knochenkontaktfläche (BA) gemessen. In allen tierexperimentellen Studien konnte bei bioaktiven Oberflächen ein signifikant besserer BIC im Vergleich zu Kontrollimplantaten mit einer Standardoberfläche ermittelt werden. Die besten Ergebnisse wurden in den Fällen beobachtet, in welchen mechanische und chemische Behandlungsmethoden kombiniert worden waren. Bioaktive

Oberflächen aus Hydroxylapatit und Kalzium-Phosphat wurden am häufigsten verwendet.

López-Valverde N, López-Valverde A, Ramírez JM.
Systematic Review of Effectiveness of Chitosan as a Biofunctionalizer of Titanium Implants.

Biology (Basel). 2021 Feb 1;10(2):102.

(»Systematischer Review zur Wirksamkeit von Chitosan als Biofunktionalisierer von Titanimplantaten.«)

Chitosan ist ein natürlich vorkommendes Polysaccharid, das aus der Schale von Krustentieren gewonnen werden kann. Bislang wurde es als Scaffold-Material vorgeschlagen. Um die Möglichkeiten seines Einsatzes als Beschichtungsmaterial zur Funktionalisierung von Titanimplantaten zu untersuchen, erfolgte eine Literaturrecherche in den elektronischen Datenbanken Medline, Central, Pubmed und Web of Science. Sieben Studien wurden in die Analyse einbezogen. Chitosan führte zu einer Verbesserung der Osseointegration im Vergleich zu unbehandelten Implantatoberflächen.

López-Valverde N, Macedo-de-Sousa B, López-Valverde A, Ramírez JM.
Effectiveness of Antibacterial Surfaces in Osseointegration of Titanium Dental Implants: A Systematic Review.

Antibiotics (Basel). 2021 Mar 28;10(4):360.

(»Der Einfluss antibakterieller Oberflächen auf die Osseointegration von Dentalimplantaten aus Titan: Ein systematischer Review.«)

Ziel der Übersichtsarbeit war die Untersuchung des Einflusses verschiedener antibakteriell wirksamer Oberflächenbeschichtungen auf die Osseointegration von Dentalimplantaten. Zu diesem Zweck erfolgte eine systematische Recherche in den Literaturdatenbanken Pubmed, Web of Science und Scopus. Sechs Studien erfüllten die Einschlusskriterien und wurden in die Analyse einbezogen.

Auch wenn die antibakteriell wirksamen Beschichtungen zu einer Verbesserung der Osseointegration der Implantate führten, war die methodische Qualität der Studien nicht dazu geeignet, eine eindeutige Schlussfolgerung aus den Ergebnissen zu ziehen.

López-Valverde N, Muriel-Fernández J, Gómez de Diego R, Ramírez JM, López-Valverde A.
Effect of Strontium-Coated Titanium Implants on Osseointegration in Animal Models: A Literature Systematic Review.

Int J Oral Maxillofac Implants. 2019 Jun;34(34):1389-1396.

(»Der Effekt einer Strontium-Beschichtung auf die Osseointegration von Titanimplantaten im Tierexperiment: Ein systematischer Literaturreview.«)

Um den Einfluss einer Strontiumbeschichtung auf die Osseointegration von Titanimplantaten im Tierexperiment bei Vorliegen/Nichtvorliegen einer Osteoporose zu untersuchen, erfolgte eine Literaturrecherche in den Datenbanken Medline/Pubmed, Wiley Library und Web of Science. Elf von 255 Publikationen wurden in die Analyse einbezogen. Die unterschiedlichen Beschichtungstechniken hatten einen signifikanten Einfluss auf den BIC, die Knochen-Kontaktfläche und die Knochenneubildung. Zusätzlich konnten die biomechanischen Eigenschaften der Implantate verbessert werden.

Martinez-Marquez D, Gulati K, Carty CP, Stewart RA, Ivanovski S.

Determining the relative importance of titania nanotubes characteristics on bone implant surface performance: A quality by design study with a fuzzy approach.

Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2020 Sep;114:110995.

(»Bestimmung der relativen Bedeutung der Eigenschaften von Titan-Nanotubes für die Knochen-Implantatoberfläche: Eine Quality-by-Design-Studie mit einem Fuzzy-Ansatz.«)

TiO₂-Nanotubes (TNTs) sind eine vielversprechende Strategie zur Oberflächenmodifikation und Steigerung der Bioaktivität von Implantaten. Unschärfen in Bezug auf das Verständnis des Einflusses verschiedener TNT-Eigenschaften auf die Funktionen von Titanimplantaten und die multifaktorielle Interdependenz solcher Eigenschaften erfordern jedoch eine eingehende Quality by Design (QbD)-Analyse zur Optimierung von TNT-modifizierten Implantaten. Zu diesem Zweck wurde eine umfangreiche systematische Literaturrecherche durchgeführt, um die verschiedenen TNT-Eigenschaften zu identifizieren, welche die Performance der Implantate beeinflussen können. Anschließend erfolgte eine Expertenbefragung, um den Beitrag verschiedener TNT-Eigenschaften auf die biologische, physikochemische und mechanische Leistung eines Implantats zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigten, dass der Porendurchmesser, der Abstand zwischen den Nanotubes und die Wanddicke die entscheidenden TNT-Merkmale für die Bioaktivität der Implantatoberfläche sind.

Messous R, Henriques B, Bousbaa H, Silva FS, Teughels W, Souza JCM. **Cytotoxic effects of submicron- and nano-scale titanium debris released from dental implants: an integrative review.** Clin Oral Investig. 2021 Apr;25(4):1627-1640.

(»Zytotoxische Effekte auf der Mikro- und Nanoebene durch Titanablagerungen auf Dentalimplantaten: Ein integrativer Review.«)

Um den zytotoxischen Einfluss von Titanpartikeln auf der Mikro- und Nanoebene auf das periimplantäre Gewebe zu untersuchen, erfolgte eine systematische Literaturrecherche in der Datenbank Pubmed. 14 Artikel erfüllten die Einschlusskriterien und wurden in die Analyse einbezogen. Titanpartikel führten zu Veränderungen der Zellreaktionen in der Zellkultur. Sie führten zu einer durch Makrophagen, Fibroblasten, Osteoblasten und Mesenchymzellen vermittelten Entzündungsreaktion, die eine Freisetzung von IL-6, IL-1 beta, TNF-alpha und Prostaglandin E2 bewirkte. Die Ausbildung von bioaktiven Kalzium-Phosphat-Komplexen

auf den Nanopartikeln aus Titan führte zu einer Förderung der Anbindung von Proteinen und in der Folge zu einer Aufnahme dieser Komplexe in die Zellen. Die Nanopartikel hatten einen mutagenen und karzinogenen Einfluss auf die betroffenen Zellen. **Schlussfolgerung:** Der zytotoxische Effekt von Titanablagerungen hängt von der Größe, der Konzentration und der chemischen Zusammensetzung der Partikel ab. Eine hohe Partikelkonzentration auf der Nanoebene erhöht die Entzündungsreaktion und das mutagene Potenzial der periimplantären Zellen.

Molaei M, Attarzadeh N, Fattah-Alhosseini A.

Tailoring the biological response of zirconium implants using zirconia bioceramic coatings: A systematic review.

J Trace Elem Med Biol. 2021 Apr 2;66:126756. [Epub ahead of print]

(»Beeinflussung der biologischen Reaktion mittels Zirkonoxid-Biokeramik-Beschichtungen auf Zirkonoxid-Implantaten.«)

Implantate aus Zirkonoxid neigen zur Korrosion und begünstigen die Anlagerung von Bakterien. Zudem ist Zirkonoxid bioinert und fördert nicht die biologische Integration mit dem umliegenden Gewebe. Daher erscheint die Überlegung, biokeramische Beschichtungen aus Zirkonoxid (ZrO₂) zur Oberflächenmodifikation zu verwenden, vorteilhaft. Um die biologischen Reaktionen für ZrO₂-Beschichtungen zu untersuchen, erfolgte eine elektronische Recherche in den Datenbanken Pubmed, Scopus und Web of Science. 25 Publikationen wurden in die Analyse einbezogen. Die mit ZrO₂ beschichteten Proben zeigten keine Zytotoxizität, eine hohe Zellviabilitätsrate und eine ausgezeichnete Biokompatibilität. Die Veränderung der Lösungszusammensetzung und der elektrischen Parameter während der Beschichtung führten zu signifikanten Veränderungen der In vitro-Reaktionen. So zeigte die ZrO₂-Beschichtung nach UV-Bestrahlung eine höhere Biokompatibilität. Aufgrund der schwachen Apatit-Bildungsfähigkeit zeigte reines Zirkonoxid in simulierter Körperflüssigkeit (SBF) eine geringe Bioaktivität. In den meisten Studien konnte gezeigt

werden, dass die spezifische Morphologie und die chemische Zusammensetzung der ZrO₂-Beschichtung die Apatit-Bildungsfähigkeit in SBF fördert. Eine Bioaktivierung des reinen Zirkonoxids konnte auch mittels UV-Bestrahlung, hydrothormaler und chemischer Behandlung, thermischer Verdampfung und kathodischer Polarisationsnachbehandlung erreicht werden. In Hank'scher Lösung indes konnte weder bei reinem noch bei beschichtetem Zirkonoxid eine Apatit-Bildung beobachtet werden. Aufgrund der porösen Oberflächenstruktur konnte mit beschichteten Zirkonoxid-Implantaten nach zwölf Wochen eine höhere periimplantäre Knochenneubildungsrate und eine höhere Scherfestigkeit der Implantate erreicht werden. Die UV-Nachbehandlung führte ebenso zu einer Beschleunigung der Knochenneubildung und einen besseren Knochen-Implantatverbindung. ZrO₂-Beschichtungen führten auch zu einer höheren antibakteriellen Wirkung als unbeschichtete Zirkonoxid-Implantate. Die antibakterielle Wirkung der ZrO₂-Beschichtungen konnte durch die Beigabe von Zink, Silber oder mittels thermischer Verdampfung erhöht werden.

Pesce P, Menini M, Santori G, Giovanni E, Bagnasco F, Canullo L.

Photo and Plasma Activation of Dental Implant Titanium Surfaces. A Systematic Review with Meta-Analysis of Pre-Clinical Studies.

J Clin Med. 2020 Aug 31;9(9):2817.

(»Foto- und Plasmaaktivierung der Oberflächen dentaler Implantate aus Titan. Ein systematischer Review und eine Metaanalyse präklinischer Studien.«)

Die Funktionalisierung von Oberflächen mittels UV-Bestrahlung oder nicht-thermischer Plasmabehandlung scheinen sich zur Verbesserung der Osseointegration von Implantaten zu eignen. Um die Wirksamkeit sowie Unterschiede der beiden Verfahren zu untersuchen, erfolgte eine systematische Literaturrecherche in den Datenbanken Pubmed/Medline, Scopus und der Cochrane Library. Zehn Publikationen wurden in die Analyse einbezogen. Beide Oberflächenbehandlungsarten können zu einer Verbesserung der Osseointegration von Implantaten beitragen. Die

Metaanalyse unter Einbeziehung von vier Studien zeigte eine signifikante Erhöhung des BIC im Kaninchenmodell.

Schünemann FH, Galárraga-Vinueza ME, Magini R, Fredel M, Silva F, Souza JCM, Zhang Y, Henriques B.

Zirconia surface modifications for implant dentistry.

Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2019 May;98:1294-1305.

(»Modifikationen von Zirkonoxidoberflächen in der dentalen Implantologie.«)

Zirkonoxid hat sich als ein Material herausgestellt, welches infolge seiner Eigenschaften zu geringeren periimplantären Entzündungsreaktionen sowie zu sehr guten ästhetischen Ergebnissen führt. Ziel des vorliegenden Reviews war die Untersuchung zum aktuellen Stand der Oberflächen-Vorbehandlungen von Zirkonoxid-Implantaten, welche zu einer Verbesserung der biologischen Eigenschaften und der Osseointegration beitragen sollen. Die systematische Pubmed-Literaturrecherche ergab, dass mittels Säureätzung, Sandstrahlung, Oberflächenbestrahlungen mittels Laser oder UV-Licht sowie chemischer oder physikalischer Verdampfung eine Verbesserung der Osseointegration herbeigeführt werden kann. Beschichtungsmethoden mittels Silizium, Magnesium, Graphene, Dopamin sowie bioaktiver Moleküle führten wiederum zu vielversprechenden mechanischen und biologischen Resultaten.

Shi J, Li Y, Gu Y, Qiao S, Zhang X, Lai H.
Effect of titanium implants with strontium incorporation on bone

apposition in animal models: A systematic review and meta-analysis.

Sci Rep. 2017 Nov 14;7(1):15563.

(»Der Einfluss von Strontium auf die Knochenanlagerung bei Titanimplantaten im Tierexperiment: Ein systematischer Review und eine Metaanalyse.«)

Um die Wirkung einer Strontium-Inkorporation auf die Osseointegration von Titanimplantaten im Tierexperiment zu ermitteln, erfolgte eine systematische Literaturrecherche in den Datenbanken Pubmed und Embase. Die Analyse der 17 einbezogenen Studien ergab, dass die Oberflächenmodifikation mittels Strontium zu einer statistisch signifikant erhöhten Knochenanlagerung und einer Verbesserung der Osseointegration von Titanimplantaten im Tierexperiment führte.

Wehner C, Lettner S, Moritz A, Andrukhov O, Rausch-Fan X.

Effect of bisphosphonate treatment of titanium surfaces on alkaline phosphatase activity in osteoblasts: a systematic review and meta-analysis.

BMC Oral Health. 2020 Apr 25;20(1):125.

(»Der Einfluss einer Bisphosphonat-Vorbehandlung von Titanoberflächen auf die alkalische Phosphatase-Aktivität bei Osteoblasten: Ein systematischer Review und eine Metaanalyse.«)

Bisphosphonat-Beschichtungen von Dentalimplantaten führen zu vielversprechenden Resultaten bei der Osseointegration und der klinischen Ergebnisse im Rahmen von Implantatbehandlungen. Der

biologische Effekt von Bisphosphonaten beruht erwiesenermaßen auf einer Osteoklasten-Inhibition, während deren Einfluss auf die Osteoblasten weitestgehend unklar ist. Zu diesem Zweck wurde eine systematische Literaturrecherche in den Datenbanken Pubmed/Medline, Scopus und ISI Web of Science durchgeführt. Die Metaanalyse der einbezogenen elf In vitro-Studien ergab, dass Bisphosphonat-Beschichtungen bereits nach drei Tagen zu einer Erhöhung der alkalischen Phosphatase-Aktivität bei Osteoblasten führen. Daher besteht Anlass zur Vermutung, dass Bisphosphonat-Beschichtungen auf Titanimplantaten einen positiven Einfluss auf die osteogene Potenz von Osteoblasten im In vitro-Experiment haben.

Yazdani J, Ahmadian E, Sharifi S, Shahi S, Maleki Dizaj S.

A short view on nanohydroxyapatite as coating of dental implants.

Biomed Pharmacother. 2018 Sep;105:553-557.

(»Ein kurzer Blick auf Nanohydroxylapatit zur Beschichtung von Dentalimplantaten.«)

Um den Einfluss von Nanopartikeln aus Hydroxylapatit auf die Osseointegration und Zelladhäsion zu untersuchen, erfolgte eine Literaturrecherche in verschiedenen elektronischen Datenbanken. Die Analyse der eingeschlossenen Studien ergab, dass Nanohydroxylapatit zu einer Vergrößerung der Implantatoberfläche und damit zur Entstehung einer biomimetischen Struktur und in der Folge einer erhöhten Reaktivität führt. Diese Oberflächenveränderungen haben eine erhöhte Osseointegration der Implantate zur Folge. ●

In der nächsten Ausgabe **pip** 4/2021: Hyaluronsäure in der oralen Regeneration

Wollen Sie mehr zu einer bestimmten Arbeit wissen?
Nutzen Sie unseren Volltext-Service auf www.frag-pip.de, senden Sie ein Fax an **08025-5583** oder eine E-Mail an leser@pipverlag.de. Wir recherchieren die Gesamtkosten bei den einzelnen Verlagen bzw. Textservices, Sie erhalten eine Gesamtkostenübersicht und können über uns bestellen.
Für **pip**-Abonnenten sind Recherche, Handling und Versand der Texte kostenlos!