



- 1 REM-Aufnahme eines Hydroxylapatit-Schaums.
- 2 Kollagen I-Nachweis auf Hydroxylapatit-Schaum.
- 3 HAp-ZrO₂-Hybridschaum.
- 4 Gefriereschäumtes Daumenknochenreplikate aus Hydroxylapatit.

KERAMIK ALS KNOCHEN-ERSATZMATERIAL

Schaumverfahren und Produkte

Die hier vorgestellten Hydroxylapatit (HAp)-Keramikschaume wurden über die sogenannte Gefrier-Direktschäumung hergestellt. Dies ist ein Verfahren, bei dem der Umgebungsdruck um eine wässrige, keramische Suspension in einem Gefrier Trockner abgesenkt wird und infolge dessen ein Schaum entsteht. Als physikalische Gegebenheit erstarrt bei Unterschreiten des Tripelpunktes Wasser zu Eis. Der entstandene Schaum wird so schlagartig eingefroren. Über Sublimation wird die Struktur anschließend getrocknet. Nach der für keramische Werkstoffe üblichen Wärmebehandlung resultiert ein fester keramischer Schaum, welcher als potenzielles Knochenersatzmaterial dienen kann (Bild 4). Übliche gefriereschäumte Biomaterial-Strukturen weisen eine überwiegend offene Porosität zwischen 70 und 90 %, Porengrößen im Bereich von Mikro/Meso (0,1–20 µm) bis Makroporen (100–1000 µm) und Interkonnektivität auf.

Die porenverbindenden Stege sind ausgefüllt und gleichzeitig mikroporös und tragen damit zur Stabilisierung der hochporösen Struktur bei (Bild 1). Zur Verifizierung der Biokompatibilität und -verträglichkeit werden in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBMT Lebend-/Totfärbungen mit Fluoresceindiacetat von murinen Fibroblastzellen durchgeführt. Ein erster Hinweis auf eine einsetzende Differenzierung von humanen mesenchymalen Stammzellen (hMSC) gelingt mit Alkaliner Phosphatase. Der Nachweis von immunzytochemischer Kollagen I-Färbung in und auf den porösen Strukturen bestätigt eine aktive Stoffwechselreaktion. Die hMSC differenzieren, d. h. sie sind in der Lage, sich eigenständig in unterschiedliche Zell-/Gewebetypen zu entwickeln (Bild 2). In weiteren Versuchen und bei bestimmter Mischung mit ZrO₂-Pulver (Bild 3) gelingt eine Druckfestigkeitssteigerung auf 40 MPa (70 % Porosität) bei Erhalt der Biokompatibilität.

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Winterbergstraße 28
01277 Dresden

Ansprechpartner

Matthias Ahlhelm
Telefon 0351 2553-7572
matthias.ahlhelm@ikts.fraunhofer.de

www.ikts.fraunhofer.de



- 1 SEM images of a hydroxyapatite foam.
- 2 Collagen I-proof on a hydroxyapatite foam.
- 3 HAp-ZrO₂ hybrid foam.
- 4 Freeze-foamed thumb bone replica made of hydroxyapatite.

CERAMICS AS BONE REPLACEMENT MATERIAL

Foaming process and products

Freeze foaming – this technique comprises the reduction of the ambient pressure around an aqueous, ceramic suspension in a freeze dryer. In doing so, the suspension inflates forming a foam structure. As a physical condition, water turns to ice when the triple point is being crossed. Thus, the generated foam is stabilized. Subsequently, via sublimation, the so-called freeze-drying process, the structure dries. So after the thermal treatment, as usual for ceramics, a solid ceramic foam is achieved which could serve as potential bone replacement material (Figure 4).

Generally, typical freeze-foamed biomaterial structures exhibit a mainly open porosity between 70 und 90 %, pore sizes in the range of micro/meso (0.1–20 µm) to macropores (100–1000 µm) and interconnectivity. The pore-connecting struts are filled, but microporous. In that way they

contribute to the structure's stability (Figure 1). Together with the Fraunhofer Institute for Biomedical Engineering IBMT, St. Ingbert) live /dead staining tests with fluorescein diacetate were carried out on murine (mouse) fibroblasts to verify the biocompatibility. A first clue of a beginning osteogenic differentiation of human mesenchymal stem cells (hMSC) of bone marrow origin succeeds with alkaline phosphatase. The detection of immunocytochemical collagen I-staining in and on the porous structures confirms proliferation. The hMSC differentiate, i.e. they are able to evolve into different types of cell/tissue (Figure 2). Furthermore, specific amounts of ZrO₂ were added to enhance the compressive strength of said foams. After reaching the percolation threshold (Figure 3) the compressive strength was increased up to 40 MPa (70 % porosity) whilst maintaining biocompatibility.

Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS

Winterbergstrasse 28
01277 Dresden, Germany

Contact

Matthias Ahlhelm
Phone +49 351 2553-7572
matthias.ahlhelm@ikts.fraunhofer.de

www.ikts.fraunhofer.de