

Menschliche Ersatzteile aus dem 3-D-Drucker



Nicht nur dentale Rekonstruktionen sind zunehmend per additiver Fertigung möglich, auch die Herstellung von Implantaten zur Rekonstruktion von Knochendefekten spielt eine immer größere Rolle. PD Dr. Florian Thieringer und Dr. Neha Sharma vom Universitätsspital Basel geben einen Einblick in den Stand der Forschung und der klinischen Anwendung.

Tumorerkrankungen, schwere Unfälle und Infektionen können ausgedehnte Substanzdefekte im Kopf-Halsbereich zur Folge haben. Wiederherstellende Operationen in dieser sensiblen anatomischen Region sind aufgrund der Komplexität und Einzigartigkeit für Chirurgen und Chirurginnen weiterhin eine große Herausforderung. Innovative patientenzentrierte digitale Technologien wie die additive Fertigung helfen im Krankenhausumfeld auch bei komplizierten Operationen, die Versorgungsqualität zu erhöhen und Eingriffszeiten zu verkürzen.

Die Behandlung von großen Knochendefekten erfordert einen multidisziplinären Ansatz und stellen einen der anspruchsvollsten Bereiche der rekonstruktiven Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (MKG-Chirurgie) dar. In dieser haben daher in den vergangenen Jahren vorgefertigte, an die Anatomie der Patientinnen und Patienten angepasste Implantate einen wichtigen Stellenwert erlangt. Diese Implantate werden immer

häufiger mithilfe neuer, innovativer Fertigungsverfahren hergestellt. Mit sogenannten patientenspezifischen Implantaten (PSI) lassen sich rekonstruktive Eingriffe vereinfachen und verkürzen.

Das Behandlungsteam kann in einem digitalen Workflow am Computer schon vor der Operation sehr exakt das Vorgehen planen und mit individuellen, exakt auf den Patienten angepassten Implantaten die verletzte oder erkrankte Gesichtsregion wiederherstellen. Bisher mussten Standard-Implantate während der Operation individualisiert werden. Ein Vorgehen, das nicht nur technisch anspruchsvoll, sondern auch zeitaufwendig sein kann. Im Vergleich dazu bietet der intraoperative Einsatz von PSI eine höhere Präzision, eine bessere Anpassungsfähigkeit an die jeweilige anatomische Region und in der Regel kürzere Operationszeiten.

Eine für den Bereich der individuellen Implantate sehr wichtige MedTech Innovation ist neben der Computertomografie (CT) die additive Fertigung (AM), auch bekannt als dreidimensionaler (3-D)-Druck. 3-D-Druck ist seit Mitte der 1980er Jahre verfügbar und gewinnt in der Medizin immer mehr Bedeutung. Die Technologie hat das Potenzial, die heutige Ära der personalisierten Medizin maßgeblich zu verändern.

Vorteile des 3-D-Drucks

Im Gegensatz zur subtraktiven Fertigung (bei der 3-D-Objekte durch Schneiden, Bohren, CNC-Fräsen und maschinelle Be-

arbeitung geformt werden und bei denen Material abgetragen wird) ist die wichtigste Triebkraft für den 3-D-Druck die Fähigkeit, komplexe geometrische Formen mit einem hohen Maß an Funktionalität zu schaffen. Ein weiterer Vorteil der additiven Fertigung ist die Möglichkeit, hochgradig individuelle Lösungen für Patientinnen und Patienten zu entwickeln, die mit keiner anderen Fertigungstechnik realisiert werden könnten.

Mit der Verfügbarkeit kostengünstiger Desktop-3-D-Drucker und preiswerter Materialien hat die krankenhausinterne oder Point-of-Care (POC)-Fertigung in der personalisierten Medizin große Bedeutung im Gesundheitswesen erlangt. 3-D-Druck von thermoplastischen Polymeren bei niedrigen Temperaturen auf der Basis von Materialeextrusion [Fused Filament Fabrication (FFF)] ist die in Krankenhäusern am häufigsten verwendete 3-D-Drucktechnologie. Viele der kostengünstigen FFF-Drucker sind benutzerfreundlich und können direkt von Ärztinnen und Ärzten bedient werden. Diese 3-D-Drucktechnologie ist in den überwiegenden Fällen auf die Herstellung von anatomischen Biomodellen (Anschauungsmodelle), chirurgischen Säge- und Bohrschablonen und prothetischen Hilfsmitteln beschränkt und wurde noch nicht in die Herstellung von patientenspezifischen Implantaten aufgenommen.

Neue Anwendungsfelder

Mit der Akzeptanz und den Fortschritten bei den 3-D-Drucksystemen haben

sich jedoch auch neue Perspektiven für maßgeschneiderte additiv gefertigte chirurgische Implantate ergeben. Das Universitätsspital Basel richtete 2016 sein erstes POC-3D-Drucklabor ein; darüber hinaus besteht eine enge Partnerschaft zwischen der Forschungsgruppe Medical Additive Manufacturing (Swiss MAM) am Departement für Biomedizinische Technik (Universität Basel, Schweiz) und dem Universitätsspital Basel (USB, Basel, Schweiz), dem Kantonsspital Aarau (KSA, Aarau, Schweiz) und dem Kantonsspital Liestal (KSBL, Liestal, Schweiz). Das 3-D-Drucklabor im Krankenhaus wurde mit dem Ziel gegründet, Forschungsergebnisse und Fortschritte aus dem Labor zum Wohle der Patientinnen und Patienten in die klinische Anwendung zu bringen und in den Behandlungsprozessen zu etablieren (Abb. 1).

Polyetheretherketon (PEEK), ein thermoplastischer Hochleistungskunststoff, wird vor allem in der rekonstruktiven Chirurgie als zuverlässige Alternative zu anderen alloplastischen Materialien für die Herstellung maßgeschneiderter Implantate verwendet. Am Universitätsspital Basel werden klinische Erfahrung und ingenieurwissenschaftliche Prinzipien kombiniert, um einen technischen, digitalen Arbeitsablauf zu etablieren. Dieser reicht von präoperativen radiologischen Bild-daten (meist Computertomografiedaten) über die virtuelle chirurgische Operationsplanung, computergestützte Designmodelle verschiedener Implantatvarianten bis hin zur Herstellung von PEEK-Implantaten mit der FFF-3-D-Drucktechnologie. Ein maßgeschneidertes Implantat kann auf diese Weise innerhalb weniger Stunden im 3-D-Druckverfahren hergestellt werden.

Abb. 1 Darstellung eines transparenten und eines farb-codierten anatomischen Biomodells für die Behandlung eines Kiefergelenktumors im Operationssaal. Die Modelle wurden im 3-D-Print-Lab am Universitätsspital Basel hergestellt.



Die Integration der additiven Fertigung von PEEK-Implantaten in die Krankenhausprozesse bringt zahlreiche Vorteile mit sich. Dazu zählen ein hochgradiger, interdisziplinärer Austausch der beteiligten Berufsgruppen, eine schnellere Durchlaufzeit bei der Herstellung der Implantate, Unterstützung bei der präoperativen und intraoperativen Planung, verbesserte Behandlungsergebnisse und mittelfristig geringere Gesamtkosten im Gesundheitswesen. Wir glauben, dass der FFF-3-D-Druck von patientenspezifischen PEEK-Implantaten ein fester Bestandteil größerer Krankenhäuser werden könnte und Potenzial für zahlreiche rekonstruktive chirurgische Anwendungen bietet.

Die Integration der additiven Fertigung von PEEK-Implantaten in die Kran-



PD Dr. mult. Florian Thieringer

Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Universitätsspital Basel
Spitalstrasse 2
4031 Basel
Schweiz
und
Medical Additive Manufacturing Research Group (Swiss MAM)
Department of Biomedical Engineering
Universität Basel
4123 Allschwil
Schweiz
E-Mail: Florian.Thieringer@usb.ch



Dr. Neha Sharma

Medical Additive Manufacturing Research Group (Swiss MAM)
(Adresse siehe links)