

3D-gedruckte Modelle mit Herzfehlern

Kathetertraining mit pulsierenden Kinderherzen

Um bei der interventionellen Therapie von angeborenen Herzfehlern ein besonders realistisches, beliebig wiederholbares Kathetertraining zu ermöglichen, entwickelte die Abteilung für Kinderkardiologie des Klinikums der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in München 3D-gedruckte Modelle von Kinderherzen mit Herzfehlern. Die neueste Generation kann sogar wie ein Herz schlagen. Für die Entwicklung und Modifizierung der Herzmodelle nutzte das Klinikteam das Softwarepaket Mimics Innovation Suite von Materialise.



Test mit einem pulsierenden Herzmodell am LMU Klinikum. © Carina Hopfner, LMU

Die Diagnose und interventionelle Behandlung angeborener Herzfehler bei Kindern mittels Kathedertechnik ist anspruchsvoll. Sie erfordert nicht nur eine detaillierte Kenntnis der Anatomie sowie der möglichen Probleme und jeweiligen Gegenmaßnahmen, sondern insbesondere ein enormes Fingerspitzengefühl bei der Handhabung des Katheters. Das Instrument muss extrem feinfühlig durch kleinste Räume geführt werden, jeder Eingriff muss sitzen. Bis heute gibt es jedoch keinen realistischen

Simulationstrainingaufbau – weder für Kinderherzen noch für angeborene Herzfehler. Anders als bei Erwachsenenherzen, wo es zumindest Virtual-Reality-Simulationssysteme für die Behebung typischer Erwachsenenkrankheiten gibt, findet die Aus- und Weiterbildung daher noch immer fast ausschließlich nach entsprechender Assistenz am Menschen statt.

Für Prof. Dr. med. Nikolaus Haas, Direktor der Abteilung für Kinderkardiologie und Pädiatrische Intensivmedizin

des LMU Klinikums, ist das ein Zustand, den es zu verbessern gilt: „Der bisherige Ansatz des Lehrlingsmodells ist nicht nur zeitaufwendig und von der Motivation des Ausbilders abhängig, sondern auch von den Krankheitsbildern, den Verfahren und der Technologie, die Auszubildenden während ihrer Ausbildungszeit präsentiert werden. Zudem werden Methoden und Instrumente ständig weiterentwickelt.“ Praktizierende Ärzte kämen dadurch immer wieder in die Verlegenheit, bestimmte Verfahren und neue Instrumente nicht so sicher zu beherrschen, wie es im Sinne maximaler Patientensicherheit wünschenswert wäre.

„Darüber hinaus“, so Haas ergänzend, „werden wir gelegentlich nicht unserer Weiterbildungsfunktion gerecht, da junge, engagierte Kolleginnen und Kollegen nicht in ausreichender Weise die Möglichkeit haben, eigenständig Katheterbehandlungen durchzuführen, obwohl unsere Weiterbildungsrichtlinien dies eigentlich vorschreiben.“

Mehrfach nutzbare Universalmodelle

Auch bisher vereinzelt eingesetzte Behelfsobjekte wie Tierherzen oder selbstgebaute Szenarien aus Labormaterialien wie Schläuchen und Ballons sind problematisch und wenig zufriedenstellend. Dem Einsatz im Tierversuch muss die Ethikkommission zustimmen. Zudem sind die Organe in der Regel gesund und bieten daher nicht die Möglichkeit, die

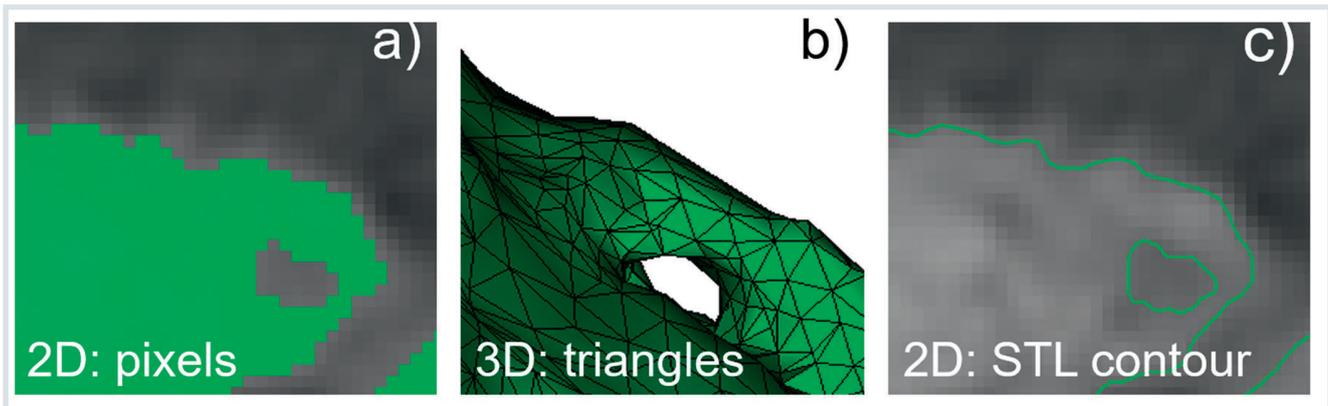


Bild 1. Aus den 2D-Daten (a) wurde eine STL-Datei erstellt (b), deren Konturen sich mit dem 2D-Bildstapel vergleichen ließen (c). © Carina Hopfner, LMU

Interventionen für angeborene Herzfehler zu üben. Die selbstgebaute Szenarien sind dagegen für ein gutes Training viel zu unrealistisch und können nur einer ersten, groben Schulung dienen.

Vor diesem Hintergrund entstand am LMU Klinikum die Idee, zusätzlich zu patientenspezifischen Herzdarstellungen für die präoperative Planung auch universelle 3D-gedruckte Modelle von Kinderherzen mit Herzfehlern speziell für Trainingszwecke zu erzeugen. Solche universellen Nachbildungen bieten Ärzten die Möglichkeit, die Behandlung typischer Krankheitsbilder sowie neuer Instrumente und Verfahren immer wieder zu üben und so risikolos an Sicherheit zu gewinnen. Da die Universalmodelle mehrfach nutzbar sind und nicht für jedes Herzmodell ein neuer Patientenscan nötig ist, besitzen sie langfristig einen Kostenvorteil gegenüber patientenspezifischen Darstellungen. Zugleich bewahren sie junge Patienten vor unnötigen Belastungen durch Strahlung und Beruhigungsmittel (Sedierung), da zur Herstellung der Modelle durch die Methode der digitalen Modellierung keine Patientenscans nötig sind.

Vom groben Modell zum schlagenden Kunstherz

Der Weg zu den pulsierenden Kinderherzmodellen führte über mehrere Modellgenerationen. Für die allerersten 3D-gedruckten Schulungsmodelle fügte das Klinikteam zunächst Silikonschläuche und -platten so zusammen, dass eine dreidimensionale vereinfachte Darstellung des Herzens mit seinen Hauptstrukturen entstand. „Von dieser Baugruppe erzeugten wir mittels Computertomo-

graphie einen 2D-Bildstapel und rekonstruierten daraus anschließend ein 3D-druckbares Modell“, erläutert Carina Hopfner, verantwortliche Ingenieurin für 3D-Druck am LMU Klinikum, die Entstehungsgeschichte (**Bild 1**). „Für die Umwandlung der Bilddaten in ein 3D-Modell nutzten wir die Mimics Innovation Suite von Materialise. Mit dieser Lösung konnten wir die Nachbildung anschließend auch noch virtuell vervollständigen. Unter anderem skalierten, glätteten und schlossen wir damit Oberflächendefekte.“ Schließlich wurde das vereinfachte Herzmodell additiv in einem Stück aus einem flexiblen, gewebeähnlichen Material auf Silikonbasis gefertigt.

Um realistischere Nachbildungen des menschlichen Herzens zu schaffen, rekonstruierte das Klinikteam die nächste Generation von Kinderherzmodellen aus anonymisierten CT- oder Magnetresonanztomographie-Scans (MRI) echter Patienten. Dazu wurden kontrastmittelverstärkte Blutbahnen in den 2D-Bildern markiert und dann in ein 3D-Volumen übersetzt, das die innere Oberfläche des Herzens beschreibt. Auch hier kam die Software von Materialise zum Einsatz. Indem ein Mantel von gleichmäßiger Dicke um das Blutvolumen herum erzeugt wurde, entstand ein wirklichkeitsnahes Herzmodell mit den typischen Hohlräumen und Gefäßstrukturen.

Carina Hopfner: „Das virtuelle Herz haben wir anschließend auf verschiedene Größen von Kinderherzen gebracht und mit verschiedenen angeborenen Fehlern versehen – darunter Löcher in der Herzscheidewand, Gefäßverengungen oder verformte Strukturen. Dazu verwendeten wir vor allem Werkzeuge des Designmoduls in Materialise 3-matic.

Mit der 3D-Druck-Software, die Teil der Mimics Innovation Suite ist, lassen sich die gesamte Einheit sowie einzelne Elemente des Modells skalieren und Oberflächen, Formen und die Wanddicke flexibel und hochpräzise in gewünschter Weise verändern.“ In Zusammenarbeit zwischen Medizinern und Ingenieuren wurden die Eigenschaften der Modelle schrittweise immer realistischer gestaltet. Die CT- oder MRT-basierten Modelle des Herzens und der großen Gefäße wurden abschließend in dem flexiblen Material 3D-geduckt, das auch für die Modelle der ersten Generation zum Einsatz kam.

Umwandlung medizinischer Bilddaten in 3D-druckbare Modelle

Der letzte Schritt auf dem Weg zur Imitation eines echten menschlichen Herzens bestand schließlich darin, das künstliche Herz zum Schlagen zu bringen. Dazu integrierte das Klinikteam mit dem Designmodul in 3-matic als erstes eine Herzklappe in die vorhandenen statischen Modelle (**Bild 2**). Da Herzklappen bei CT-Untersuchungen nur ungenau erfasst werden können, hatten diese in den Modellen zunächst gefehlt. Die »

Info

Text

Frank Küchelmann ist Marketing Manager der Materialise GmbH, Bremen.

Digitalversion

Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv



Bild 2. Detailansicht der mit 3-matic eingefügten Herzklappen.

© Carina Hopfner, LMU



Bild 3. Die 3D-gedruckten Herzmodelle des LMU Klinikums.

© Carina Hopfner, LMU

dann nochmals optimierten, 3D-gedruckten Herzmodelle (**Bild 3**) verbanden die beteiligten Mitarbeiter anschließend mit einem geschlossenen System aus mit Wasser gefüllten Silikonschläuchen (**Bild 4**). Eine anschließbare Antriebseinheit sorgt in Schulungssituationen für die Simulation des Herzschlags.

„Die Mimics Innovation Suite war bei der Umsetzung des Projekts von ungeheurem Nutzen“, so Ingenieurin Hopfner, um sogleich fortzufahren: „Das Softwarepaket ist ohnehin schon die Standardlösung bei der Umwandlung medizinischer Bilddaten in 3D-druckbare Modelle, gerade auch bei der Erstellung patientenspezifischer Herzmodelle. Insbesondere die darin enthaltene 3-matic-Software hilft mit ihren zahlreichen automatisierten und teilautomatisierten Funktionen, vorhandene dreidimensionale Modelle auch auf der Netzdarstellungsebene effizient zu verändern. Die Möglichkeiten sind wirklich beeindruckend. Ohne die Materialise-Lösungen wäre die Realisierung der Herzmodelle sehr viel schwieriger geworden.“

Positive Rückmeldungen nach Tests in realen klinischen Umgebungen

Sowohl die statischen als auch die pulsierenden Kinderherzmodelle mit den verschiedenen virtuell eingebauten Fehlbildungen wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts in der Ausbildungspraxis in verschiedenen realen klinischen Umgebungen in Deutschland und Österreich getestet – unter anderem am LMU Klinikum sowie im Pädiatrischen Herz-

zentrum der Medizinischen Universität Wien. Außerhalb Europas fanden ausgiebige Praxistests mit den statischen Nachbildungen am Ayder Referral Hospital der Universität Mekelle in Äthiopien statt. Mit seinen technologisch und personell schwierigen Ausbildungsbedingungen ist die Einrichtung ein guter Gradmesser für die universelle, einfache Nutzbarkeit der Herzmodelle.

„Die Rückmeldungen aus den bisher durchgeführten Workshops für Studenten, Assistenzärzte und erfahrene Kinderkardiologen mit den 3D-gedruckten Herzmodellen waren durchweg positiv“, so Prof. Dr. Haas. „Die erfahrenen Akteure betonten unter anderem den realistischen Charakter der Nachbildungen einschließlich der haptischen und anatomischen Replikation sowie der prozeduralen Simulation der Eingriffe. Auch ich kann diese positive Erkenntnis bestätigen. Ganze Interventionsteams gewinnen so unter wirklichkeitsnahen Bedingungen an Sicherheit bei der Katheteranwendung.“

Univ.-Prof. Dr. Ina Michel-Behnke vom Pädiatrischen Herzzentrum Wien konkretisiert die Vorteile: „Wir schulten unsere Studenten und auch Postgraduierte, die nicht regelmäßig an Interventionen beteiligt sind, vor Ort in den Katheterlaboren, und konnten eine schnelle Verbesserung der Handhabungsfähigkeiten sowie eine Verkürzung der Dauer des Eingriffs und der Bestrahlung feststellen. Die angehenden Kinderkardiologen fühlten sich bei ihren ersten Patientenfällen viel wohler, nachdem sie durch dieses Modul der interventionellen Ausbildung

eingeführt worden waren, und waren sehr erleichtert, die Strahlendosis für ihre Patienten gering halten zu können.“

Bald fester Bestandteil der Ausbildung?

Haas hält die neuen Herzmodelle für wegweisend: „Aufgrund der zahlreichen mit solchen 3D-Druck-Modellen verbundenen Vorteile bin ich der Meinung, dass Schulungen daran fester Bestandteil der kinder-kardiologischen Ausbildung sein sollten. Das Training daran lässt sich ohne großen finanziellen und technologischen Aufwand in jedem mit Herz-



Bild 4. Röntgenaufnahme des Katheters im mit Wasser gefüllten und pulsierenden Herzen.

© Carina Hopfner, LMU

kathetern ausgestatteten Krankenhaus regelmäßig durchführen. Handgriffe und Prozesse werden so schneller und besser verinnerlicht.“ ■