

Anatomie «begreifen» – mit gedruckten Modellen aus dem 3D Print Lab des Unispitals Basel

«Comprendre» l'anatomie – grâce à des modèles fabriqués au Print Lab 3D de l'Hôpital Universitaire de Bâle

Dr. Philipp Brantner, Dr. Dr. Florian Thieringer

Seit mehr als zwei Jahren werden im 3D Print Lab am Universitätsspital Basel aus medizinischen Bilddaten realistische anatomische 3D-Modelle angefertigt. Die exakten Visualisierungshilfen unterstützen Chirurgen bei der Operationsplanung und werden in der Patientenaufklärung sowie in der Ausbildung eingesetzt.

Depuis plus de deux ans, des modèles anatomiques réalistes sont fabriqués au Print Lab 3D de l'Hôpital Universitaire de Bâle à partir de données d'imagerie médicale. Ces modèles aident par exemple les chirurgiens à visualiser de manière exacte la région à opérer lors de la planification d'une intervention. Ils sont également utilisés pour expliquer des pathologies aux patients ou aux étudiants.

3D-Druck

3D-Drucken ist die umgangssprachliche Kurzbezeichnung für additive Fertigungsverfahren. Aus einem am Computer erstellten virtuellen Modell wird mittels verschiedener Druckmethoden ein dreidimensionales Werkstück aufgebaut. 1983 druckte der amerikanische Ingenieur Chuck Hull zum ersten Mal dreidimensional. Seither gelangt die Technik vor allem in der Flugzeug- und Automobilindustrie zur Anwendung. Dort wird das Verfahren zur schnellen und präzisen Herstellung von Prototypen oder Werkstücken in geringer Auflage eingesetzt.

Eine gängige Methode ist die sogenannte Fused Filament Fabrication (FFF), die auch im Labor des Universitätsspitals Basel Verwendung findet. Ein schmelzfähiger Kunststoff wird über eine schmale Düse auf das Druckbett gepresst, wodurch das dreidimensionale Modell Schicht für Schicht aufgebaut wird. Es existieren aber auch zahlreiche weitere Verfahren, welche den Druck verschiedener Materialien bis hin zu Titan ermöglichen.

Ein ganzer Schädel, ein quer aufgeschnittenes Herz, ein Hüftgelenk mit komplizierter Fraktur, eine verkalkte Hauptschlagader – dreidimensionale medizinische Modelle sind nicht nur die greifbare Ausprägung der Bildgebung. Sie nehmen als informative visuelle Hilfsmittel einen wachsenden Stellenwert in der Klinik ein, erleichtern die Planung von medizinischen Eingriffen, z.B. von Operationen oder den Einsatz von Implantaten. Komplexe Pathologien verdeutlichen sie ebenso für Chirurgen wie für Patienten und Angehörige im Aufklärungsgespräch sowie für Studierende und Assistenzärzte in der Ausbildung.

Die am Universitätsspital Basel aufgrund radiologischer Datensätze erstellten 3D-Modelle konnten Klinikern schon oft wertvolle Unterstützung liefern: Z.B. werden in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie bei Gesichtsschädelfrakturen oder in der Orthopädie bei komplexen Frakturen des Beckens 3D-Modelle verwendet, um geeignete Osteosyntheseplatten bereits vor dem Eingriff auszuwählen und exakt an die Anatomie des Patienten anzu-

Les modèles anatomiques 3D ne sont pas seulement une manifestation tangible de l'imagerie; qu'il s'agisse du modèle d'un crâne entier, d'un cœur en coupe longitudinale, d'une fracture compliquée de l'articulation de la hanche ou d'une calcification de l'aorte. En tant que source d'information visuelle, ils prennent de plus en plus d'importance au niveau clinique et facilitent la planification d'interventions chirurgicales ou la pose d'implants. Ces modèles permettent de visualiser des pathologies complexes et sont utiles aussi bien aux chirurgiens, aux patients et à leurs proches qu'aux étudiants et médecins assistants en formation.

Les modèles 3D fabriqués à l'Hôpital Universitaire de Bâle sur la base de données radiologiques ont souvent apporté un soutien précieux aux cliniciens: p. ex. en chirurgie maxillo-faciale lors de fractures de la face ou en orthopédie lors de fractures complexes du bassin. Ces modèles 3D sont utilisés afin de choisir avant l'intervention les plaques d'ostéosynthèses les plus adaptées et correspondent exactement à l'anatomie du patient (voir

Impression 3D

Communément appelée impression 3D, ce processus désigne en fait la fabrication additive qui permet de créer une pièce en trois dimensions au moyen de diverses méthodes d'impression à partir d'un modèle virtuel élaboré sur ordinateur. C'est en 1983 que l'ingénieur américain Chuck Hull a réalisé la première impression 3D. Depuis lors, cette technologie s'est surtout développée dans les domaines de l'industrie aéronautique et automobile. Ce procédé est utilisé pour la production rapide et précise de prototypes et de pièces en nombre réduit.

La méthode la plus couramment utilisée se nomme Fused Filament Fabrication (FFF) ou impression 3D par dépôt de matière fondue, c'est d'ailleurs celle qui est utilisée dans les laboratoires de l'Hôpital Universitaire de Bâle. Comme son nom l'indique, l'imprimante déroule un filament de plastique, le chauffe à haute température et le dépose en couches successives afin de réaliser un modèle en trois dimensions. Il existe bien sûr un grand nombre d'autres procédés qui permettent de produire des modèles dans d'autres matières, même en titane.

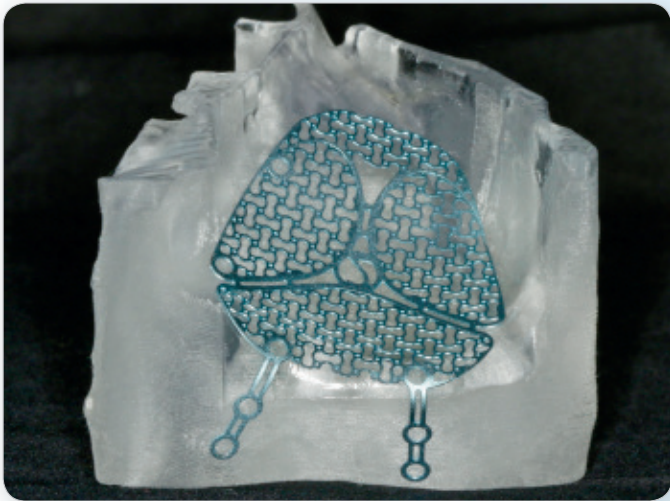


Abb. 1: 3D-Modell einer Orbitabodenfraktur mit präoperativ exakt angepasstem Titangitter zur Rekonstruktion

Fig. 1: Impression 3D d'une fracture du plancher orbitaire avec plaque d'ostéosynthèse parfaitement adaptée en phase préopératoire



Abb. 2: Gespiegeltes 3D Modell einer Acetabulumfraktur mit angepasster Osteosyntheseplatte

Fig. 2: modèle 3D en miroir d'une fracture acétabulaire avec plaque d'ostéosynthèse adaptée

passen (vgl. Abb. 1 und 2); hierdurch wird während der Operation wertvolle Zeit gespart und die Passgenauigkeit verbessert. Präoperative Modelle unterstützen indes auch Chirurgen bei der Planung von Herzoperationen. 3D-Modelle von Aneurysmen dienen mitunter zur Patientenaufklärung in der Gefäßchirurgie (vgl. Abb. 3). Sie helfen Ärzten, Patienten und Angehörigen komplexe Anatomie wie z.B. kongenitale Herzfehler (vgl. Abb. 4 und 5) besser zu verstehen. Einige der Modelle werden denn auch zur Ausbildung und zum Training von Eingriffen eingesetzt (Abb. 6).

Sinnvolle Erweiterung des radiologischen Spektrums

Für ein medizinisches 3D-Modell ist die Grundlage meistens eine Schnittbilduntersuchung (CT oder MRT), doch auch digitale Volumentomografien (DVT) oder 3D-Ultraschalldaten können verwendet werden. Die Radiologie ist daher prädestiniert, diese Dienstleistung – als Erweiterung zur Bildgebung – anzubieten. Die Bilddaten werden in eine spezielle Software exportiert, welche die ausgewählten Struktu-

ren in ein dreidimensionales Modell überführt (Segmentation). Bei Geweben von hohen Dichte- bzw. Signalunterschieden kann dies sehr schnell erfolgen, wobei die genaue Kenntnis von Anatomie und gewünschter Darstellungsart unabdingbar ist – insbesondere bei Weichteilsegmentationen. Hier eröffnet sich ein interessantes Betätigungsfeld auch für Radiologiefachpersonen, welche durch ihre Kenntnisse von Bildgebung und Anatomie an dieser Schnittstelle ein weiteres Betätigungsfeld finden könnten. Nach der Segmentierung wird das Modell geglättet, überprüft und nochmals grafisch über die Bilddaten gelegt, um die Genauigkeit des Modells zu sichern. Der Ausdruck dauert – je nach Komplexität – bei einem Volumen von 10 cm³ ca. 2 Stunden.

Erfolgreiche Kooperation mit der Chirurgie

Mehr und mehr radiologische Institute verfügen bereits über 3D-Drucker – in den USA haben bereits über 100 radiologische Departments 3D Labore eingerichtet. Am Universitäts-spital Basel hat die zuneh-

Fig. 1 et 2); cela permet de gagner un temps précieux durant l'intervention et améliore la précision d'ajustage.

Les modèles de planification pré-chirurgicale sont également utilisés en chirurgie cardiaque. Les modèles 3D d'anévrismes sont en outre utilisés en chirurgie vasculaire pour expliquer l'intervention aux patients (voir Fig. 3). Ils sont d'une aide précieuse pour les médecins, les patients et leurs proches afin de visualiser des structures anatomiques complexes et p. ex. à mieux comprendre une malformation cardiaque congénitale (voir Fig. 4 et 5). Certains modèles sont également utilisés pour la formation et permettent aux chirurgiens de s'entraîner de manière réaliste (Fig. 6).

Élargissement intéressant de l'éventail des prestations en radiologie

Pour l'élaboration d'un modèle 3D médical, on utilise la plupart du temps les données recueillies par scanner ou IRM mais il est également possible d'utiliser des données de tomographie volumique numérisée ou d'échographie 3D. La radiologie est de ce fait pré-

destinée à offrir ce type de prestations afin d'élargir son éventail. Les données d'imagerie sont exportées vers un logiciel spécial qui transforme les structures sélectionnées en un modèle tridimensionnel (segmentation). La réalisation est très rapide pour les tissus de haute densité, resp. qui présentent des différences de signal élevées, il faut néanmoins avoir des connaissances approfondies en anatomie et pouvoir se représenter le modèle souhaité avec exactitude – en particulier pour les segmentations des parties molles. Cette technique ouvre un champ d'activité intéressant pour les TRM qui, par leurs connaissances en matière d'imagerie et d'anatomie, pourraient trouver un nouveau débouché à leur activité.

Après la segmentation, la surface du modèle est lissée, contrôlée et à nouveau placée sur les données graphiques afin de s'assurer de l'exactitude du modèle. La durée de l'impression dépend de la complexité de l'objet et est d'environ 2 heures pour un volume d'environ 10 cm³.

Coopération réussie avec le département de chirurgie

De plus en plus d'instituts de

mende Nachfrage im Juni 2016 zur Gründung des 3D Print Lab geführt – in Kooperation mit der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Unser Labor verfügt derzeit über 20 semi-professionelle und professionelle Drucker an mehreren Standorten. Zudem haben wir einen Pulver-Drucker zur mehrfarbigen, hochrealistischen Visualisierung, auch von kleinsten anatomischen Strukturen. Zusätzlich verwenden wir Stereolithographie- und PolyJet-Drucker, welche eine besonders hohe Reproduktionsqualität und die Verwendung sterilisierbarer, medizinisch zertifizierter Kunststoffe ermöglichen. Damit können wir chirurgische Schnittschablonen anfertigen, die bei komplexen kiefer- und gesichtschirurgischen und orthopädischen Eingriffen im Operationsaal eingesetzt werden können. Diese Kooperation von Chirurgie und Radiologie ist aussergewöhnlich und eine höchst sinnvolle Summation von Kenntnissen. Die Radiologie besitzt das Knowhow zur Auswahl und Konfiguration des adäquaten Schnittbildverfahrens für die entsprechende Anatomie sowie der Nachverarbeitungs- und Präsentationsmethoden; die Chirurgen verfügen über ein profundes Wissen zum möglichen Anwendungszweck, den Operationstechniken und -methoden.

Über 100 kg Kunststoff für mehr als 1000 anatomische Modelle

Die Modelle dienen zahlreichen Anwendungszwecken:

- Zur präoperativen Planung in der Chirurgie: Heute wird eine zunehmende Anzahl der früher offen vorgenommenen Eingriffe minimal-invasiv durchgeführt, so dass dem Operateur mitunter kein umfassender anatomischer Überblick möglich ist. Unsere 3D-Modelle erleichtern die präoperative Planung und Orientierung, helfen den Chirurgen



Abb. 3: Aortendissektion Typ Stanford B zur präoperativen Aufklärung in der gefässchirurgischen Sprechstunde

Fig. 3: dissection aortique de type B permettant d'expliquer l'intervention en consultation de chirurgie vasculaire

und Chirurgen auch während der Operation.

- Zur verbesserten Frakturversorgung in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Traumatologie/Orthopädie: Die 3D-Modelle erfüllen eine doppelte Funktion. Präoperativ helfen sie dem Chirurgen, den Frakturver-

radiologie disponst déjà d'imprimantes 3D – aux États Unis, plus de 100 départements de radiologie ont aménagé des laboratoires d'impression 3D. La demande croissante dans ce domaine a amené l'Hôpital Universitaire de Bâle à créer le Print Lab 3D en juin 2016 – en coopération

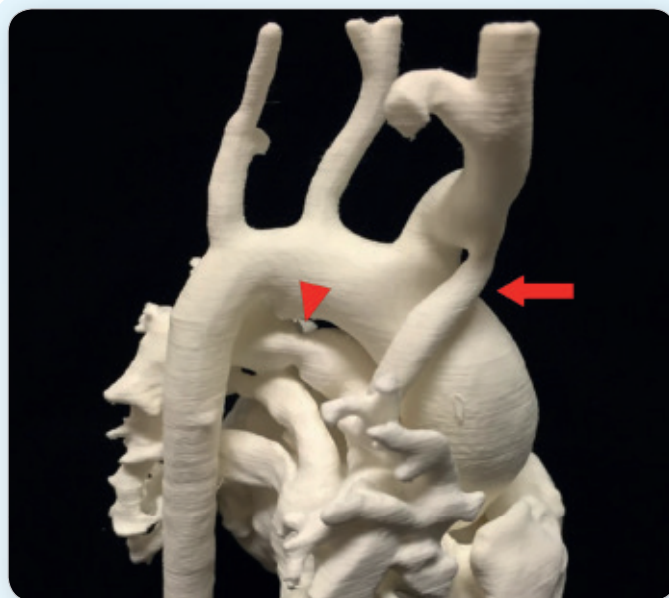


Abb. 4: Patientin mit kongenitalem Herzfehler (Transposition der grossen Arterien), protektivem Blalock-Taussig Shunt (Pfeil) und neuer Stenose der rechten Pulmonalarterie (Pfeilspitze)

Fig. 4: patiente souffrant d'une malformation cardiaque congénitale (transposition des gros vaisseaux), anastomose de Blalock-Taussig (flèche) et formation d'une nouvelle sténose au niveau de l'artère pulmonaire droite (pointe de la flèche)

avec la division de chirurgie orale et maxillo-faciale. Notre laboratoire dispose actuellement de 20 imprimantes semi-professionnelles et professionnelles dans divers endroits du site. De plus, nous avons une imprimante par liage de poudre permettant l'impression en plusieurs couleurs afin de visualiser des objets de manière hautement réaliste et ce même s'il s'agit de très petites structures anatomiques. De plus nous utilisons l'impression 3D par stéréolithographie et par PolyJet qui offrent une reproductibilité de haute précision et permettent d'utiliser des matières synthétiques stérilisables et certifiées médicalement. Il nous est ainsi possible de fabriquer des guides de coupe chirurgicaux qui peuvent être utilisés en salle d'opération pour des interventions chirurgicales maxillo-faciales complexes ou de la chirurgie orthopédique. Cette coopération entre la chirurgie et la radiologie bien qu'inhabituelle permet de cumuler de nombreuses connaissances. Les radiologues et TRM possèdent le savoir-faire leur permettant de choisir et de configurer les procédés d'imagerie adéquats pour le modèle anatomique demandé et maîtrisent les méthodes de post-traitement et de présentation; les chirurgiens ont une connaissance approfondie des possibles applications dans leur domaine et maîtrisent les techniques et méthodes opératoires.

Plus de 100 kg de matière synthétique pour plus de 1000 modèles anatomique

Il est possible d'utiliser ces modèles de différentes manières:

- Pour la planification préopératoire en chirurgie: aujourd'hui, un nombre croissant d'interventions se pratiquent de manière mini-invasive contrairement aux opérations «à ciel ouvert» que l'on réalisait il y a

lauf richtig einzuschätzen und somit die beste Operationsmethode zu wählen. Osteosyntheseplatten können am 3D-Modell vorbereitet und angepasst werden. Im Operationssaal kann somit Zeit gespart und die Präzision des Eingriffs erhöht werden.

- Zum Training in der interventionellen Radiologie und der Gefässchirurgie: Minimalinvasive Gefässeingriffe (Angiografien) sind komplexe Eingriffe. Für Patienten bedeuten sie weniger Komplikationen als konventio-

schwer vermittelbar sind, helfen dreidimensionale Modelle, etwa von kongenitalen Herzfehlern, diese besser zu verstehen. Auch fokal betonte Hirnvolumenminderungen als Korrelat für spezielle Demenzformen können dank 3D-Modellen besser verstanden werden.

- Für passgenaue Kunststoffprothesen in der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie: Heute werden bei grossen Tumor-Resektionen im Mund-Kiefer-Bereich passgenaue

quelque temps. Cependant, cette technique ne permet plus au chirurgien d'avoir une vue d'ensemble de la région anatomique qu'il opère. Nos modèles 3D facilitent la planification préopératoire et l'orientation dans l'espace et sont également une aide pour les chirurgiennes et les chirurgiens pendant l'intervention.

- Pour améliorer le traitement des fractures dans la région orale et maxillo-faciale et en traumatologie/orthopédie: les modèles

- Pour la formation en radiologie interventionnelle et en chirurgie vasculaire: les interventions mini-invasives au niveau des vaisseaux (angiographies) sont des examens complexes. Pour les patients elles entraînent moins de complications que des opérations conventionnelles. Les modèles traditionnels proposés pour se former et se préparer à de telles interventions sont extrêmement coûteux. De plus ces modèles ne correspondent jamais à l'anatomie exacte du patient. Nous

Abb. 5: Patient mit grossvolumigem Shunt von Herzkranzgefäss in die obere Hohlvene (lila) und zusätzlichen Feedern aus der Aorta descendens (pink, nur partiell gedruckt)

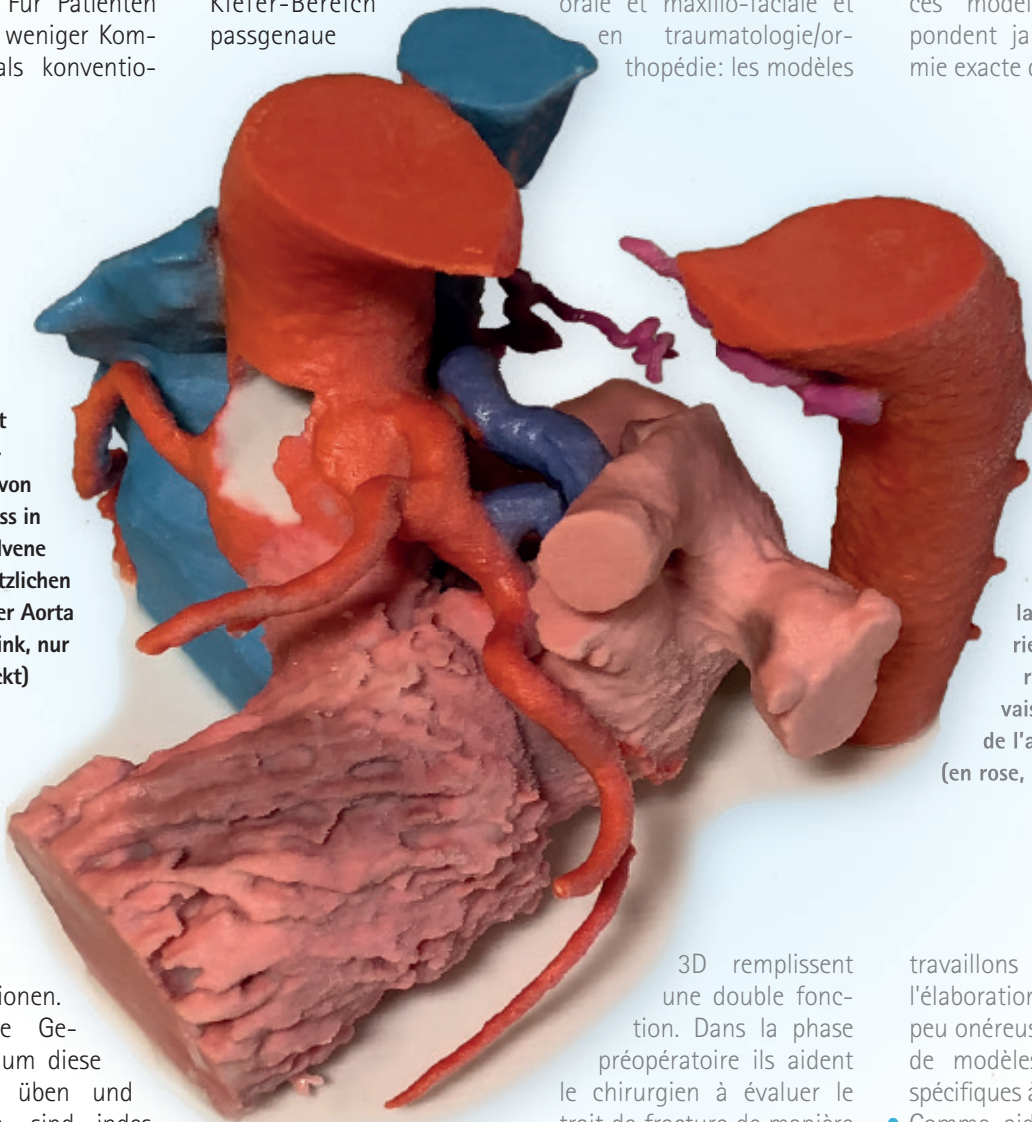


Abb. 5: modèle d'un patient avec shunt de gros calibre des vaisseaux cardiaques dans la veine cave supérieure (en violet) et représentation des vaisseaux nourriciers de l'aorte descendante (en rose, reconstitution 3D partielle)

nelle Operationen. Herkömmliche Gefässmodelle, um diese Eingriffe zu üben und vorzubereiten, sind indes enorm teuer. Zudem entsprechen sie nie der genauen Patientenanatomie. Aktuell arbeiten wir an einem günstigen Verfahren zur Erstellung patientenspezifischer Gefässmodelle.

- Als Anschauungsmittel für Assistenzärzte und Medizinstudenten: Da komplexe Erkrankungen häufig nur

Prothesen aus speziellen Kunststoffen gefräst und implantiert – mit entsprechend hohen Kosten. Diese werden in naher Zukunft ebenfalls mit einem speziellen Drucker kostengünstig dreidimensional gedruckt.

Seit der Gründung im Juni 2016 hat das 3D Print Lab bereits knapp 1000 Modelle er-

3D remplissent une double fonction. Dans la phase préopératoire ils aident le chirurgien à évaluer le trait de fracture de manière précise et lui permettent ainsi de choisir la meilleure méthode opératoire possible. Les plaques d'ostéosynthèse peuvent être préparées et adaptées au modèle 3D. Cela permet de gagner du temps en salle d'opération et d'augmenter le niveau de précision de l'intervention.

travillons actuellement à l'élaboration d'une méthode peu onéreuse de fabrication de modèles de vaisseaux spécifiques à chaque patient.

- Comme aide visuelle pour les médecins assistant-e-s et les étudiant-e-s en médecine : comme il est souvent difficile de se faire une idée précise de certaines maladies complexes par exemple les malformations cardiaques congénitales, les modèles en trois dimensions aident à mieux les comprendre. La réduction

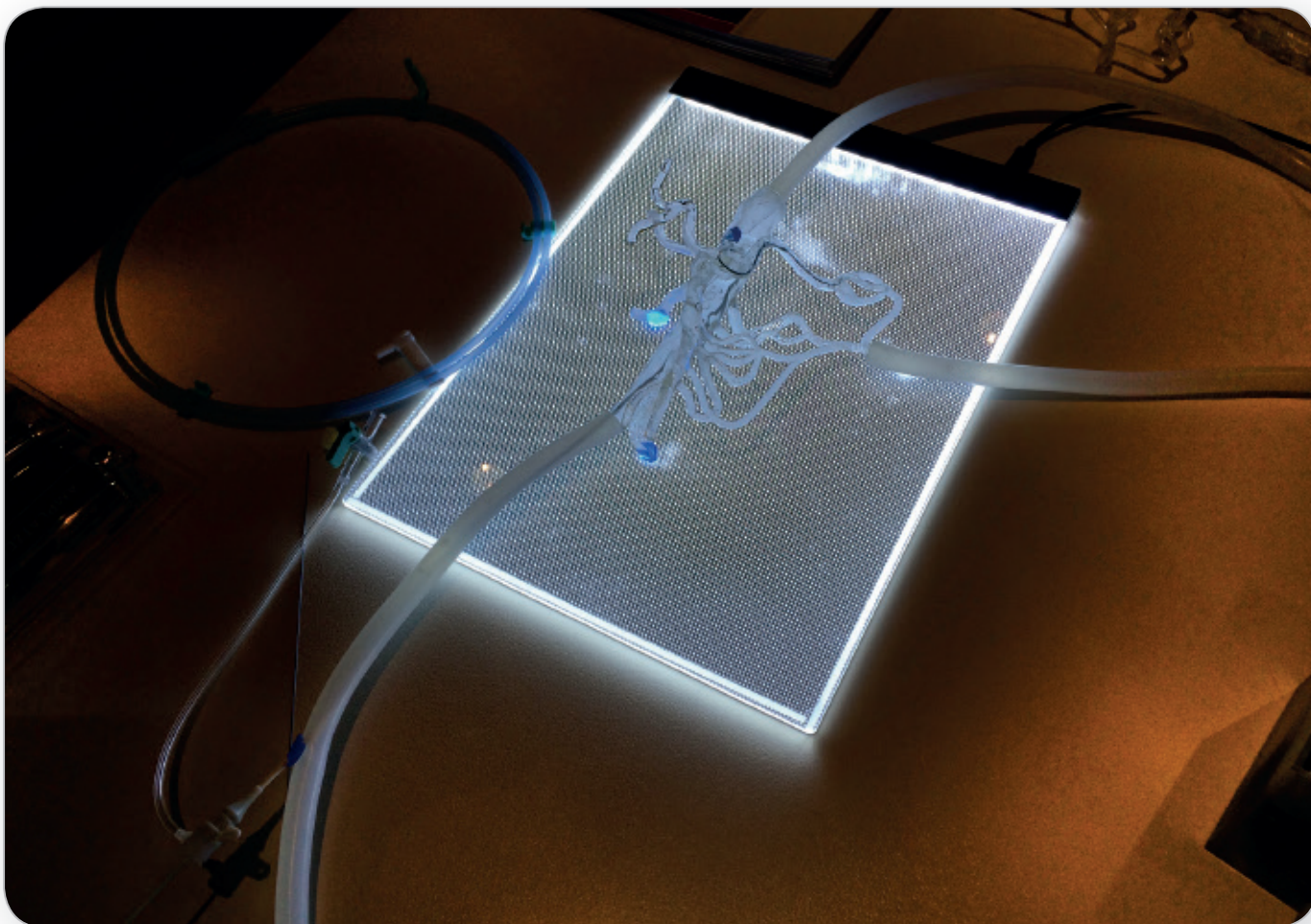


Abb. 6: Angiographie-Trainingsimulator; das 3D-gedruckte Modell der abdominalen Gefäße liegt auf einer LED-Platte, um den Verlauf des Katheters ähnlich einer Angiographie zu simulieren.

Fig. 6: simulateur de formation pour angiographie: le modèle en impression 3D des vaisseaux abdominaux est fixé à une plaque LED afin de simuler la trajectoire du cathéter comme pour une angiographie.

stellt. Über 100 kg Kunststoff wurden verarbeitet. In Zukunft möchten wir die Kooperation und Verzahnung innerhalb des Universitätsspitals stärken – aber auch die Zusammenarbeit mit anderen Kliniken in der Nordwestschweiz fördern um diese spannende und hilfreiche Technologie weiteren Spitälern zur Verfügung zu stellen.

Kontakt/Contact:

Dr. med. Philipp Brantner
Oberarzt kardiologie und thorakale Diagnostik
Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin
Universitätsspital Basel
Co-Leiter 3D Print Lab
philipp.brantner@usb.ch

Dr. med. Dr. med. dent. Florian Thieringer, MHBA
Kaderarzt, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Universitätsspital Basel
Co-Leiter 3D Print Lab
florian.thieringer@usb.ch

des aires du cerveau en corrélation avec certaines formes de démence peuvent être mieux comprises grâce aux modèles 3D.

- Pour la fabrication de prothèses en matière synthétique parfaitement ajustées en chirurgie orale et maxillo-faciale: il est aujourd'hui possible de réaliser des prothèses parfaitement ajustées, réalisées par fraisage dans une matière synthétique et de les implanter chez des patients qui ont subi une résection importante suite à une tumeur de grande taille – mais les coûts sont très élevés. Dans un proche avenir, il sera également possible de réaliser ces implants en 3D avec une imprimante spéciale ce qui réduira de beaucoup leur coût.

Depuis sa création en juin 2016, le Print Lab 3D a déjà fabriqué près de 1000 modèles. Pour ce faire, nous avons utilisé plus de 100 kg de matière synthétique. A l'avenir, nous aimerions intensifier la coopération et l'interaction au sein de l'Hôpital Universitaire – mais également la collaboration avec d'autres cliniques du nord-ouest de la Suisse afin de mettre cette technologie utile et passionnante à disposition d'autres hôpitaux.