

Modellorgane für das Chirurgentraining

Projekthalt und Ziele

Modelle aus Kunststoff oder Latex sind ungeeignet für die chirurgische Intervention, wenn das Material elektrisch geschnitten oder genäht werden soll. Mit geeigneten Materialien auf Basis von Kollagen können dagegen realistische und funktionelle Modelle für das chirurgische Training von Medizinstudenten und erfahrenen Ärzten hergestellt werden. Die Ausgangsmaterialien sind für die Verarbeitung in formgebenden Verfahren wie Extrusion, Gießen und Beschichten geeignet und ermöglichen das Training der chirurgischen Grundfertigkeiten wie Schneiden, Nähen und Clippen. Durch die Funktionalisierung der Modelle können diese in einem Operationstorso sowohl für offene als auch für minimal-invasive Eingriffe implementiert werden.

Materialanforderungen

Für die Herstellung der Modellorgane müssen die anatomischen, optischen und haptischen Eigenschaften so wiedergegeben werden, wie sie *in vivo* tatsächlich vorliegen. Die Eigenschaften Optik und Haptik werden je nach Zustand *in vivo* (durchblutet), *in situ* (nach Exitus) und *ex situ* (nach Organentnahme) deutlich beeinflusst. Um an den Modellorganen chirurgische Interventionen durchführen zu können, müssen vor allem folgende funktionelle Anforderungen an das Material erfüllt sein:

- Nähen und Clippen
- Scharfes Schneiden
- Insufflation
- Schneiden und Koagulieren mit Elektrokauter
- Trennen und Bergen mit Schlinge
- Bildgebung

Für die kostengünstige Herstellung der Modelle müssen industrielle Verfahren zur Formgebung genutzt werden können.

Charakterisierung

Die mechanischen Eigenschaften einzelner Organe wurden mit Hilfe der Cutometrie erfasst. Dabei wird mit einer Sonde Unterdruck auf der Organoberfläche erzeugt und die Gewebeanwort optisch erfasst. Im Rahmen einer umfangreichen Organkartierung wurden die viskoelastischen Eigenschaften mit unterschiedlichen Belastungsarten in den unterschiedlichen Vitalitätszuständen untersucht [1, 2].

Die Erfassung rein mechanischer Kennwerte wie Festigkeit, Dehnung und Stichausreißfestigkeiten der Organproben erfolgte an einer Zugprüfmaschine. Die Ergebnisse dienen dann als Grundlage für die Rezepturenentwicklung, um die Eigenschaften am Modell möglichst präzise wiederzugeben.

Formenbau & Rezepturierung

Für die Herstellung der Modelle wurden Formen angefertigt, die es ermöglichen, schnell und kostengünstig Modelle in Kleinserie zu fertigen. Für Magen, Appendix, Leber und Galle wurden Daten aus CT-Aufnahmen generiert bzw. aus bestehenden CAD-Datensätzen so angepasst, dass sowohl die medizinischen als auch fertigungstechnischen Anforderungen für die Herstellung der Modelle vereinigt werden konnten. Die Funktionalisierung erfolgt direkt bei der Rezepturierung durch Salzzugabe, Faseradditive sowie die Vernetzung des Kollagens durch Aldehyde, wobei das Schmelzverhalten eingestellt werden kann. Wird

das Material vernetzt, kann es mit HF und anderen OP-Techniken geschnitten werden. Bleibt es unernetzt, können OP-typische Einschränkungen wie Flüssigkeitsaustritt und Rauchentwicklung erzeugt werden.

Herstellungsverfahren

Darm: Die mit Farbstoffen und Weichmachern abgemischte Masse aus thermoplastischem Kollagen [3, 4] wird über eine Ringschlitzdüse mit geringer Stützluft extrudiert. Durch die Geometrie der Düse wird das Material beim Austritt aus der Düse gefaltet und es entstehen die für den Darm typischen Falten und Täten. Mit dem angepassten Extrusionsverfahren kann das Material für das Darmmodell als Meterware gefertigt werden (Abb. 1).



Abb. 1: Darmmodell aus thermoplastischem Kollagen als Endlosware

Appendix: Durch Gießen in eine Multikokillenform werden faserverstärkte Modelle des Appendix aus einer Gelatinerezeptur hergestellt. Die Modelle werden dann in eine Öffnung des Darmmodells eingesteckt und mit der Peripherie des Trägertorsos verbunden. Damit wird ein Stromschluss erzeugt und der Appendix kann mit einer Schlinge gefasst und abgetrennt werden (Abb. 2). Die Bergung erfolgt mit Hilfe einer Zange oder einem Bergbeutel.

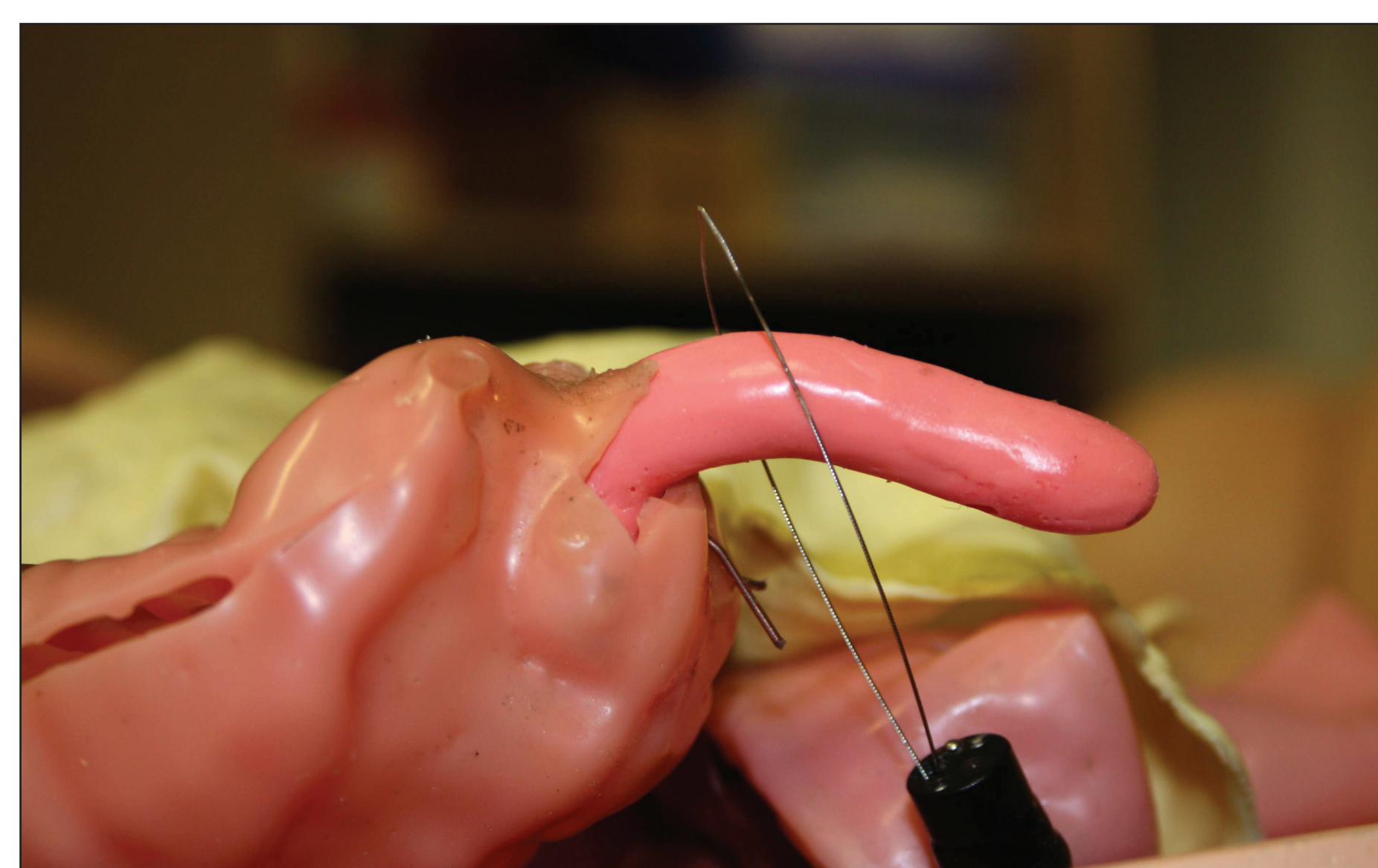


Abb. 2: Appendektomie mit elektrischer Schlinge

Das Modell für die Cholezystektomie (Abb. 4) wird aus einer gegossenen Leber und einem beschichteten Gallenkern zusammengesetzt. Die Herstellung eines Magens ist deutlich umfangreicher, kann aber durch Beschichten eines verlorenen Kernes realisiert werden. Dabei wird ein gegossener Kern mit einer geeigneten Rezeptur durch Tauchen beschichtet, mit einem Vlies verstärkt und in eine 2. Form einge-

legt und vergossen. Im Anschluss daran kann der Kern ausgeschmolzen werden und es entsteht ein Magen, der für die Sondierung insuffliert werden kann. Diese Technik ist auch für andere Modelle von Hohlorganen geeignet.

Bildgebung

Mit der speziellen Rezepturierung der Modelle können diese auch in der medizinischen Bildgebung (Abb. 3) dargestellt werden. Bei Bedarf können somit auch pathologische Befunde in die Modelle integriert werden.

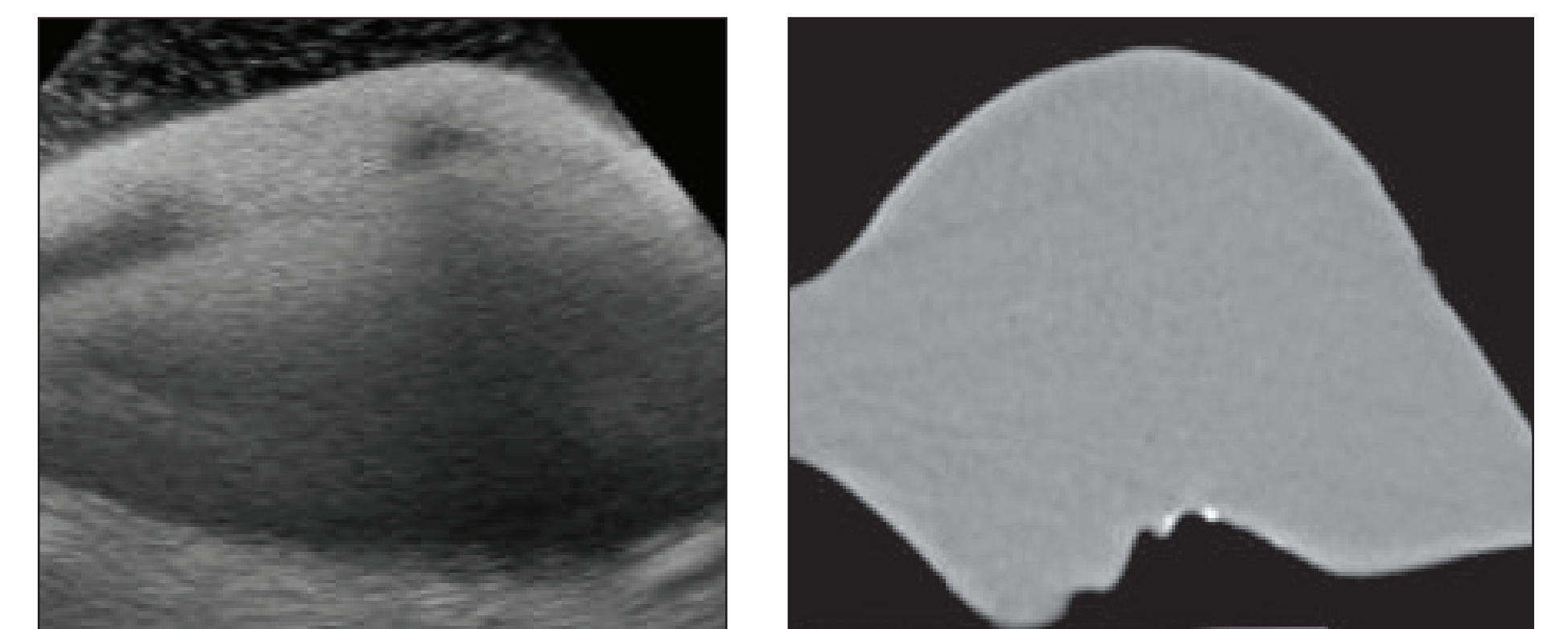


Abb. 3: Lebermodell im Ultraschall (links) und Röntgen (rechts)

Anwendungsmöglichkeiten

Mit den vorgestellten Materialien und Verfahren können Modellorgane hergestellt werden, die nicht nur die anatomischen, optischen und haptischen Eigenschaften wiedergeben, sondern die gleichzeitig hochfunktionell sind und in einem Operationstorso das Training folgender Eingriffe ermöglichen:

Appendektomie, Cholezystektomie, Gastroskopie, Endoskopie

Die Modellorgane können in einfachen Boxtrainern oder auch in hochimmersiven Operationstrainern [5] eingesetzt werden.

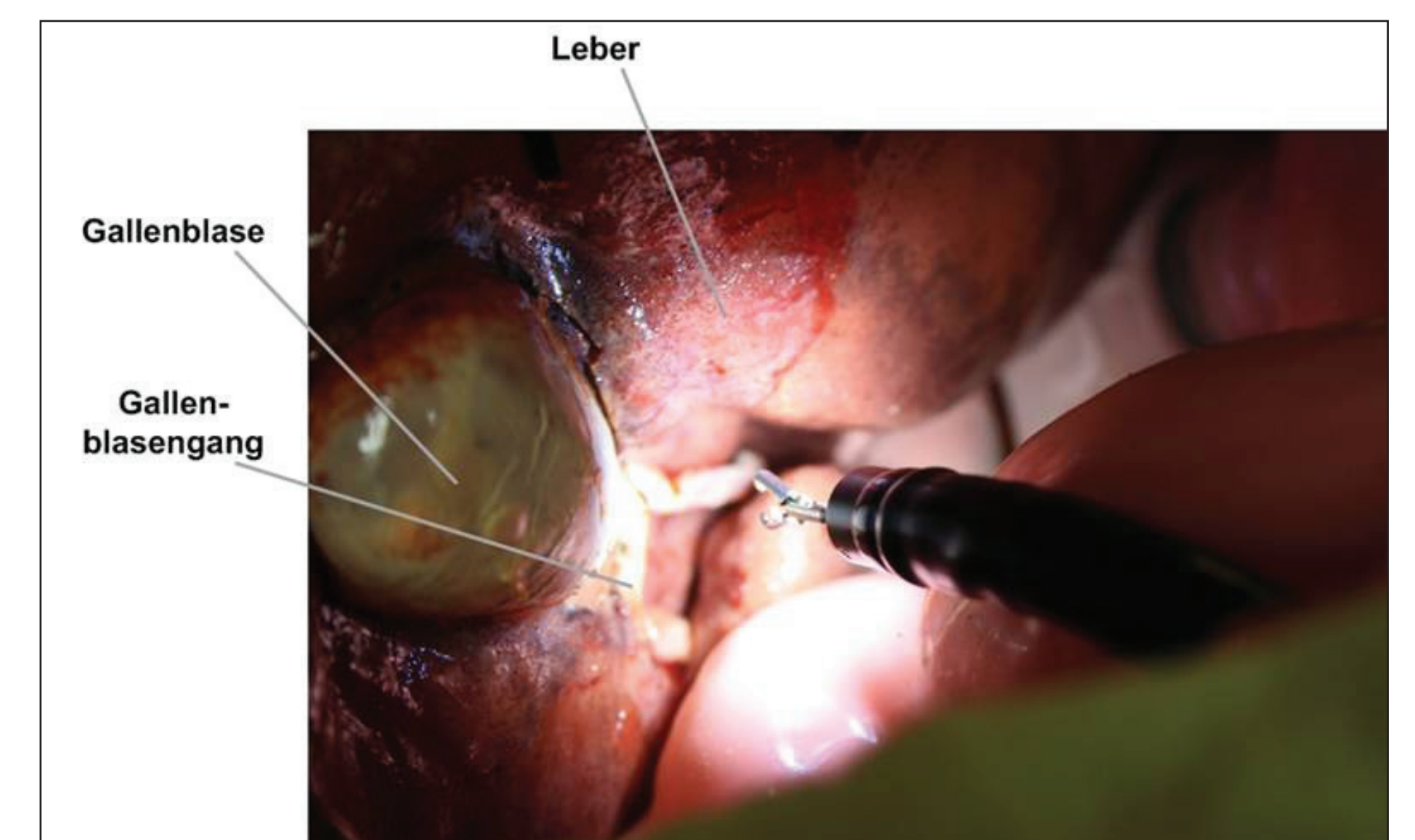


Abb. 4: Cholezystektomie via NOTES am Leber-Galle-Modell

Quellen

- [1] G. Śliwiński, S. Oeser, M. Wolf, I. Stachel et al.: Methodik zur vergleichenden Vermessung mechanischer Eigenschaften vitaler Organe und Gelatineblends für den Einsatz in der Medizintechnik. Dresdner Beiträge zur Medizintechnik, Band 6 (2008), S. 224 – 7
- [2] G. Śliwiński, A. Schneider, M. Schulz, M. Wolf, et al.: Physical Organ Phantoms for Training in Minimal Invasive Surgery (MIS). World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 7 to 12 September 2009, Munich, Germany
- [3] M. Meyer, R. Mühlbach, D. Harzer: Solubilisation of cattle hide collagen by thermo-mechanical treatment. Polymer Degradation and Stability, 2005 (87) p.137-142
- [4] E. Klüver, M. Meyer: Preparation, Processing, and Rheology of Thermoplastic Collagen. Journal of Applied Polymer Science (2013) January, S. 1-11
- [5] A. Fiolka, S. Gillen, A. Meinung, H. Feußner: ELITE: Ein neues hochimmersives Operationsphantom für NOTES. Endo heute, 2009, 22, 237-239