



Impressão em 3 Dimensões na cirurgia torácica

O que fizeram, fazem, fazemos e poderemos fazer

Leonardo Cesar Silva Oliveira

Hospital São Carlos - Fortaleza - Ceará - Brasil

Contato: leonardo@toracica.med.br - +55 85 99984-4077

INTRODUÇÃO

A impressão em 3 dimensões (I3D) é método recente com que permite transformar projetos computacionais em protótipos de maneira rápida em materiais que variam de plásticos, resinas, colágeno, chocolate e metais entre outros. As impressoras podem variar na tecnologia e no material utilizado, sendo as mais difundidas as de fabricação com filamento fundido (FDM ou FFF) e as de resina por esterolitografia (DLP e SLA). Outros modelos são as que usam Laser para fundir material, geralmente em pó (SLS e DMLS), criando impressões em nylon ou metal e mais raras as *PolyJet* que usam um jato de tinta em um fotopolímero, sendo essas as de custo mais alto.

Embora muitos materiais sejam difundidos como o PLA (Poliácido láctico) e o ABS (Estireno-butadieno-acrilonitrila) esses filamentos comuns não tem regulamentação para uso em dispositivos médicos (DM). Na América do Norte existe norma do FDA (*Food and Drug Administration*) que libera o PCL (policaprolactona), o PLA, o PLGA (copolímero de PLA com ácido poliglicólico), o PEEK (Poliéter-éter cetona) entre outros, além das resinas e metais para DM. O FDA já regulamenta o uso em medicina determinando os 3 Rs (*Regulate* – Regular; *Research* – Pesquisar; *Resource* – Recursos) para promover a I3D em DM.

O que FIZERAM e FAZEM

Inventada em 1983 por Charles W. Hull, também criador do formato STL (Stereolithography) e diretor fundador da atual da empresa 3D System, na época chamada de esterolitografia. No meio médico, as publicações são limitadas, sendo o termo “printing, three dimensional” adicionado ao MeSH (Medical Subject Headings) no ano de 2015. Uma pesquisa sistemática no PubMed na literatura retorna cerca de 185 artigos relacionados à I3D e cirurgia torácica. Desses apenas 36 artigos tratam exclusivamente do uso clínico em cirurgia torácica geral (**Tabela 1**).

A I3D já é utilizada na odontologia, cirurgia bucomaxilofacial, neurocirurgia e ortopedia recentemente e começou a ser utilizada em cirurgia torácica. A tecnologia modernizou-se na medicina com os avanços das técnicas de imagem.

FAZEMOS

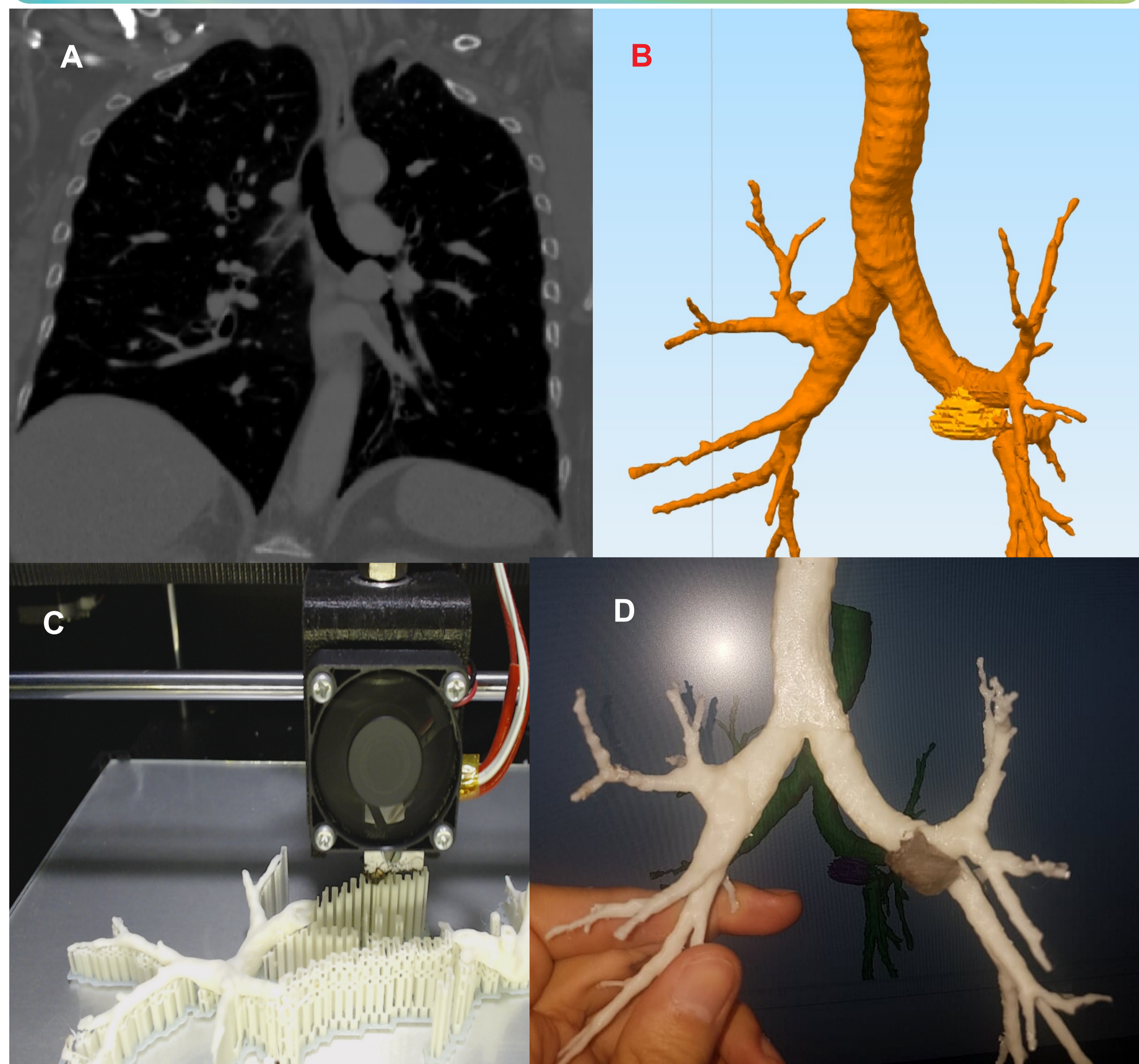


Figura 1 - Exemplo de planejamento cirúrgico para broncoplastia: (A) Tomografia; (B) Planejamento 3D; (C) Impressão das partes; (D) Modelo impresso simulando a broncoplastia

Tabela 1 - Publicações em Impressão em 3 dimensões e cirurgia torácica geral

Finalidade	Trabalhos
Ensino e Treinamento	Cheng, G. <i>et al.</i> , 2015; Bustamante e Shrvan Cheruku, 2016; Byrne <i>et al.</i> , 2016; Pedersen <i>et al.</i> , 2017; Parotto <i>et al.</i> , 2017; Morikawa <i>et al.</i> , 2017; Gauger <i>et al.</i> , 2018
Modelo para broncoscopia rígida	Al-Ramahi <i>et al.</i> , 2016
Guia para punção transtorácica	Zhang <i>et al.</i> , 2017
Planejamento em ressecção pulmonar	Nakada <i>et al.</i> , 2014; Kurenov <i>et al.</i> , 2015; Gillaspie <i>et al.</i> , 2016; George <i>et al.</i> , 2017; Matsumoto <i>et al.</i> , 2018; Sanchez-Sanchez <i>et al.</i> , 2018; Smelt <i>et al.</i> , 2019
Consentimento e orientação à pacientes	Yoon <i>et al.</i> , 2017
Planejamento cirúrgico em traqueia e broncoscopia	Tam <i>et al.</i> , 2013; Wilson <i>et al.</i> , 2015; Lu <i>et al.</i> , 2018; Fiorelli <i>et al.</i> , 2018
Planejamento defixação de fraturas costais	Chen <i>et al.</i> , 2018
Criação de cânula detraqueostomia customizada	De Kleijn <i>et al.</i> , 2018
Criação de tubo T customizado	Cheng, G. Z. <i>et al.</i> , 2015
Modelo em broncoscopia	Hornung <i>et al.</i> , 2017
Síntese de prótese implantável de parede	Wen <i>et al.</i> , 2018; Sharaf <i>et al.</i> , 2018; Dzian <i>et al.</i> , 2018; Wang <i>et al.</i> , 2019; Smelt <i>et al.</i> , 2019;
Pesquisa pré-clínica em broncoscopia e prótese em traqueia	Surakusumah <i>et al.</i> , 2014; Bustamante <i>et al.</i> , 2014; Kaye <i>et al.</i> , 2016; Jung <i>et al.</i> , 2016; Rehmani <i>et al.</i> , 2017; Bhora <i>et al.</i> , 2017; Kaye <i>et al.</i> , 2019
Estudo em segmentação para cirurgia torácica e pneumologia	Kitasaka <i>et al.</i> , 2002; Rebouças filho <i>et al.</i> , 2013; Cheng <i>et al.</i> , 2016; Chepelev <i>et al.</i> , 2017; Chepelev <i>et al.</i> , 2018
Planejamento em cirurgia para pectus excavatum pela técnica de NUSS	Lin <i>et al.</i> , 2018

Para os cirurgiões experientes as reconstruções e impressão 3D parecem óbvias. Acostumados a época que os cortes axiais eram a única imagem disponível rapidamente desenvolve-se a habilidade de imaginar e situar a anatomia 3D a partir das imagens 2D de uma tomografia. Mesmo assim as reconstruções e impressões podem acrescentar informações extras como localizações, irrigação e relação entre estruturas.

Com o uso do software Mimics (Materialize, Lovaina, Bélgica) as imagens DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) da tomografia de paciente com tumor de via aérea foram usadas para criação de um modelo que foi impresso em uma impressora de FDM (Figura 1). O modelo permite um melhor planejamento cirúrgico.

O desenho de instrumentos em cirurgia torácica também pode ser feito com uso do software Fusion 360 (Autodesk, São Rafael, Califórnia, EUA). Modelos anatômicos para ensino podem ser carregados da internet ou ainda segmentados através de softwares como o Mimics, InVesalius (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Campinas, Brasil), ITK-SNAP (Pensilvânia, EUA) e Slicer3D.

A criação de próteses customizáveis no Brasil ainda necessita de regulamentação. Atualmente utiliza-se padrões americanos. Uma grande limitação ao uso é a liberação de materiais para contato com tecidos vivos. Muitos materiais utilizados ainda não tem regulamentação podendo conter substâncias nocivas e tóxicas.

PODEREMOS FAZER

No futuro a I3D em cirurgia torácica pode ser ferramenta útil para, usando material bioimprimíveis (Chia e Wu, 2015) ser usada para criar até mesmo órgãos.

Atualmente, é possível a impressão de moldes em colágeno que podem ser usados para semear cultura de células em laboratório. Como órgãos são estruturas que contem diversos tipos de células a tecnologia existente ainda não permite sua criação. A I3D também pode ser alternativa para criação de instrumentos cirúrgicos, próteses e tecidos em regiões remotas, por exemplo em viagens de longa distância. Modelos poderiam ser comprados, baixados e impressos para uso em qualquer lugar.



AL-RAMAHI, J. et al. Development of an Innovative 3D Printed Rigid Bronchoscopy Training Model. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, v. 125, n. 12, p. 965-969, Dec 2016. ISSN 0003-4894. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0003489416667742>>.

BHORA, F. Y. et al. Circumferential Three-Dimensional-Printed Tracheal Grafts: Research Model Feasibility and Early Results. *Ann Thorac Surg*, v. 104, n. 3, p. 958-963, Sep 2017. ISSN 0003-4975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.03.064>>.

BUSTAMANTE, S. et al. Novel application of rapid prototyping for simulation of bronchoscopic anatomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, v. 28, n. 4, p. 1122-5, Aug 2014. ISSN 1053-0770. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2013.08.015>>.

BUSTAMANTE, S.; SHRAVAN CHERUKU, M. D. 3D Printing for Simulation in Thoracic Anesthesia. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, v. 30, n. 6, p. e61-e63, Dec 2016. ISSN 1053-0770. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2016.05.044>>.

BYRNE, T.; YONG, S. A.; STEINFORT, D. P. Development and Assessment of a Low-Cost 3D-printed Airway Model for Bronchoscopy Simulation Training. *J Bronchology Interv Pulmonol*, v. 23, n. 3, p. 251-4, Jul 2016. ISSN 1948-8270. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/lbr.0000000000000257>>.

CHEN, Y. Y. et al. The beneficial application of preoperative 3D printing for surgical stabilization of rib fractures. *PLoS One*, v. 13, n. 10, p. e0204652, 2018. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0204652>>.

CHENG, G. et al. A Comparison of 3D-Printed Airway Model Versus Standard Model for Bronchoscopy Training. *Chest*, v. 148, n. Meeting Abstracts, p. 458A, 2015.

CHENG, G. Z. et al. Three-dimensional modeled T-tube design and insertion in a patient with tracheal dehiscence. *Chest*, v. 148, n. 4, p. e106-e108, Oct 2015. ISSN 0012-3692. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1378/chest.15-0240>>.

CHENG, G. Z. et al. Three-dimensional Printing and 3D Slicer: Powerful Tools in Understanding and Treating Structural Lung Disease. *Chest*, v. 149, n. 5, p. 1136-42, May 2016. ISSN 0012-3692. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2016.03.001>>.

CHEPELEV, L. et al. Preoperative planning and tracheal stent design in thoracic surgery: a primer for the 2017 Radiological Society of North America (RSNA) hands-on course in 3D printing. *3D Print Med*, v. 3, n. 1, p. 14, 2017. ISSN 2365-6271. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s41205-017-0022-3>>.

CHEPELEV, L. et al. Radiological Society of North America (RSNA) 3D printing Special Interest Group (SIG): guidelines for medical 3D printing and appropriateness for clinical scenarios. *3D Print Med*, v. 4, n. 1, p. 11, Nov 21 2018. ISSN 2365-6271. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s41205-018-0030-y>>.

CHIA, H. N.; WU, B. M. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *J Biol Eng*, v. 9, p. 4, 2015. ISSN 1754-1611 (Print)1754-1611. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s13036-015-0001-4>>.

DE KLEIJN, B. J. et al. Virtual 3D planning of tracheostomy placement and clinical applicability of 3D cannula design: a three-step study. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, v. 275, n. 2, p. 451-457, Feb 2018. ISSN 0937-4477. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00405-017-4819-x>>.

DZIAN, A. et al. Implantation of a 3D-printed titanium sternum in a patient with a sternal tumor. *World J Surg Oncol*, v. 16, n. 1, p. 7, Jan 15 2018. ISSN 1477-7819. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s12957-018-1315-8>>.

FIORELLI, A. et al. Three-dimensional (3D) Printed Model to Plan the Endoscopic Treatment of Upper Airway Stenosis. *J Bronchology Interv Pulmonol*, v. 25, n. 4, p. 349-354, Oct 2018. ISSN 1948-8270. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/lbr.0000000000000504>>.

FREITAG, L. et al. Towards Individualized Tracheobronchial Stents: Technical, Practical and Legal Considerations. *Respiration*, v. 94, n. 5, p. 442-456, 2017. ISSN 0025-7931. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1159/000479164>>.

GANGULI, A. et al. 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review. *Biomed Microdevices*, v. 20, n. 3, p. 65, Aug 4 2018. ISSN 1387-2176. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10544-018-0301-9>>.

GAUGER, V. T. et al. A multidisciplinary international collaborative implementing low cost, high fidelity 3D printed airway models to enhance Ethiopian anesthesia resident emergency cricothyroidotomy skills. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, v. 114, p. 124-128, Nov 2018. ISSN 0165-5876. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.08.040>>.

GEORGE, E. et al. Utility and reproducibility of 3-dimensional printed models in pre-operative planning of complex thoracic tumors. *J Surg Oncol*, v. 116, n. 3, p. 407-415, Sep 2017. ISSN 0022-4790. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jso.24684>>.

GHIDINI, T. Regenerative medicine and 3D bioprinting for human space exploration and planet colonisation. *J Thorac Dis*, v. 10, n. Suppl 20, p. S2363-s2375, Jul 2018. ISSN 2072-1439 (Print)2072-1439. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21037/jtd.2018.03.19>>.

GIANOPOULOS, A. A. et al. Cardiothoracic Applications of 3-dimensional Printing. *J Thorac Imaging*, v. 31, n. 5, p. 253-72, Sep 2016. ISSN 0883-5993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1097/rli.0000000000000217>>.

GILLASPIE, E. A. et al. From 3-Dimensional Printing to 5-Dimensional Printing: Enhancing Thoracic Surgical Planning and Resection of Complex Tumors. *Ann Thorac Surg*, v. 101, n. 5, p. 1958-62, May 2016. ISSN 0003-4975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.12.075>>.

HORNUNG, A. et al. Realistic 3D-Printed Tracheobronchial Tree Model from a 1-Year-Old Girl for Pediatric Bronchoscopy Training. *Respiration*, v. 93, n. 4, p. 293-295, 2017. ISSN 0025-7931. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1159/000459631>>.

JÓZWICKA, J. et al. Chemical Purity of PLA Fibres for Medical Devices. *Institute of Biopolymers and Chemical Fibres, Physical-Chemical Laboratory*, v. 20, n. 6B, p. 135-141, 2012.

JUNG, S. Y. et al. 3D printed polyurethane prosthesis for partial tracheal reconstruction: a pilot animal study. *Biofabrication*, v. 8, n. 4, p. 045015, Oct 27 2016. ISSN 1758-5082. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1758-5090/8/4/045015>>.

KAYE, R. et al. Biomechanical Properties of the Ex Vivo Porcine Trachea: A Benchmark for 3-Dimensional Bioprinted Airway Replacements. *CHEST Annual Meeting*, 2016.

KAYE, R. et al. A 3-dimensional bioprinted tracheal segment implant pilot study: Rabbit tracheal resection with graft implantation. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, v. 117, p. 175-178, Feb 2019. ISSN 0165-5876. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.11.010>>.

KITASAKA, T. et al. A Method for Extraction of Bronchus Regions from 3D Chest X-ray CT Images by Analyzing Structural Features of the Bronchus. *Forma*, v. 17, n. 1, p. 321-338, 2002.

KURENOV, S. N. et al. Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*, v. 149, n. 4, p. 973-9.e1, Apr 2015. ISSN 0022-5223. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.12.059>>.

KWOK, J. K. S. et al. Multi-dimensional printing in thoracic surgery: current and future applications. *J Thorac Dis*, v. 10, n. Suppl 6, p. S756-s763, Apr 2018. ISSN 2072-1439 (Print)2072-1439. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21037/jtd.2018.02.91>>.

LIN, K. H. et al. The Role of Three-Dimensional Printing in the Nuss Procedure: Three-Dimensional Printed Model-Assisted Nuss Procedure. *Ann Thorac Surg*, v. 105, n. 2, p. 413-417, Feb 2018. ISSN 0003-4975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.09.031>>.

LU, D. et al. 3D-printing aided resection of intratracheal adenoid cystic carcinoma and mediastinal mature cystic teratoma in a 26-year-old female: a case report. *J Thorac Dis*, v. 10, n. 2, p. E134-e137, Feb 2018. ISSN 2072-1439 (Print)2072-1439. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21037/jtd.2018.01.62>>.

MATSUMOTO, K. et al. Three-dimensional (3D) bronchial tree model for bronchial resection with pulmonary segmentectomy. *J Thorac Dis*, v. 10, n. 3, p. E179-e182, 2018. ISSN 2072-1439 (Print)2072-1439 (Linking). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21037/jtd.2018.02.04>>.

MAURMANN, N. et al. MATRIZES 3D DE PCL COBERTAS POR NANOFIBRAS DE PLGAPARAA ENGENHARIA DE TECIDOS. 13º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2015.

MORIKAWA, T. et al. A step-by-step development of real-size chest model for simulation of thoracoscopic surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, v. 25, n. 2, p. 173-176, Aug 01 2017. ISSN 1569-9285. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/icvts/ivx110>>.

NAKADA, T. et al. Thoracoscopic anatomical subsegmentectomy of the right S2b + S3 using a 3D printing model with rapid prototyping. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, v. 19, n. 4, p. 696-8, Oct 2014. ISSN 1569-9285. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/icvts/ivu174>>.

PAROTTO, M. et al. Evaluation of a low-cost, 3D-printed model for bronchoscopy training. *Anaesthesiol Intensive Ther*, v. 49, n. 3, p. 189-197, 2017. ISSN 1642-5758. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5603/AIT.a2017.0035>>.

PEDERSEN, T. H. et al. A randomised, controlled trial evaluating a low cost, 3D-printed bronchoscopy simulator. *Anaesthesia*, v. 72, n. 8, p. 1005-1009, Aug 2017. ISSN 0003-2409. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/anae.13951>>.

REBOUÇAS FILHO, P. P.; CORTEZ, P. C.; ALBUQUERQUE, V. H. C. 3D segmentation and visualization of lung and its structures using CT images of the thorax. *J. Biomedical Science and Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1099-1108, 2013.

REHMANI, S. S. et al. Three-Dimensional-Printed Bioengineered Tracheal Grafts: Preclinical Results and Potential for Human Use. *Ann Thorac Surg*, v. 104, n. 3, p. 998-1004, Sep 2017. ISSN 0003-4975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.03.051>>.

SANCHEZ-SANCHEZ, A. et al. Three-Dimensional Printed Model and Virtual Reconstruction: An Extra Tool for Pediatric Solid Tumors Surgery. *European J Pediatr Surg Rep*, v. 6, n. 1, p. e70-e76, Jan 2018. ISSN 2194-7619 (Print)2194-7619. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1055/s-0038-1672165>>.

SCOPIGNO, R. et al. Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey. *Computer Graphics Forum*, v. 36, n. 1, p. 6-12, 2017.

SHARAF, B. et al. Virtual surgical planning and three-dimensional printing in multidisciplinary oncologic chest wall resection and reconstruction: A case report. *Int J Surg Case Rep*, v. 47, p. 52-56, 2018. ISSN 2210-2612 (Print)2210-2612. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijscr.2018.04.022>>.

SMELT, J. et al. Three-Dimensional Printing for Chest Wall Reconstruction in Thoracic Surgery: Building on Experience. *Thorac Cardiovasc Surg*, Feb 8 2019. ISSN 0171-6425. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1055/s-0039-1678611>>.

SMELT, J. L. C. et al. Operative Planning in Thoracic Surgery: A Pilot Study Comparing Imaging Techniques and Three-Dimensional Printing. *Ann Thorac Surg*, v. 107, n. 2, p. 401-406, Feb 2019. ISSN 0003-4975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.08.052>>.

SURAKUSUMAH, R. F. et al. Development of a Half Sphere Bending Soft Actuator for Flexible Bronchoscope Movement. 2014 IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation, v. 1, n. 1, p. 120-125, 2014.

TAM, M. D. et al. 3-D printouts of the tracheobronchial tree generated from CT images as an aid to management in a case of tracheobronchial chondromalacia caused by relapsing polychondritis. In: (Ed.). *J Radiol Case Rep*, v. 7, 2013. p. 34-43. ISBN 1943-0922 (Electronic).

WANG, L. et al. Three-Dimensional Printing PEEK Implant: A Novel Choice for the Reconstruction of Chest Wall Defect. *Ann Thorac Surg*, v. 107, n. 3, p. 921-928, Mar 2019. ISSN 0003-4975. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.09.044>>.

WEN, X. et al. Chest-wall reconstruction with a customized titanium-alloy prosthesis fabricated by 3D printing and rapid prototyping. *J Cardiothorac Surg*, v. 13, n. 1, p. 4, Jan 8 2018. ISSN 1749-8090. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s13019-017-0692-3>>.

WILSON, C. A. et al. Printed three-dimensional airway model assists planning of single-lung ventilation in a small child. *Br J Anaesth*, v. 115, n. 4, p. 616-20, Oct 2015. ISSN 0007-0912. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/bja/aev305>>.

WONG, J. Y.; PFAHNL, A. C. 3D printing of surgical instruments for long-duration space missions. *Aviat Space Environ Med*, v. 85, n. 7, p. 758-63, Jul 2014. ISSN 0095-6562 (Print)0095-6562. Disponível em: <<http://dx.doi.org/>>.

_____. 3D Printed Surgical Instruments Evaluated by a Simulated Crew of a Mars Mission. *Aerosp Med Hum Perform*, v. 87, n. 9, p. 806-10, Sep 2016. ISSN 2375-6314 (Print)2375-6314. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3357/amhp.4281.2016>>.

YOON, S. H. et al. Personalized 3D-Printed Model for Informed Consent for Stage I Lung Cancer: A Randomized Pilot Trial. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, Nov 7 2018. ISSN 1043-0679. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1053/j.semtcvs.2018.10.017>>.

ZHANG, L. et al. Three-dimensional printing of navigational template in localization of pulmonary nodule: A pilot study. *J Thorac Cardiovasc Surg*, v. 154, n. 6, p. 2113-2119.e7, Dec 2017. ISSN 0022-5223. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.08.065>>.