

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Medicina
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Pneumológicas

Dissertação de Mestrado Acadêmico

Desenvolvimento de Modelo Tridimensional
Customizado de Via Aérea

Mateus Samuel Tonetto

Porto Alegre - RS
2020

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Medicina
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Pneumológicas**

Desenvolvimento de Modelo Tridimensional
Customizado de Via Aérea

Mateus Samuel Tonetto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciências Pneumológicas,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como
requisito parcial para o título
de mestre

Orientador: Tiago Severo Garcia

Porto Alegre - RS
2020

CIP - Catalogação na Publicação

Tonetto, Mateus Samuel
Desenvolvimento de Modelo Tridimensional
Customizado de Via Aérea / Mateus Samuel Tonetto. --
2020.
37 f.
Orientador: Tiago Severo Garcia.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Pneumológicas, Porto Alegre,
BR-RS, 2020.

1. Impressão 3D. 2. Vias Aéreas. 3. Manufatura
Aditiva. 4. TC de Tórax. I. Garcia, Tiago Severo,
orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Agradecimentos

Agradeço a minha família pela compreensão e suporte e ao Hospital de Clínicas de Porto Alegre pelas oportunidades e apoio à pesquisa.

Sumário

Capa.....	1
Folha de rosto.....	2
Folha de catalogação.....	3
Folha dos agradecimentos.....	4
Lista de abreviaturas e símbolos.....	6
Lista de tabelas.....	7
Lista de figuras.....	8
Resumo.....	9
Abstract.....	9
Introdução.....	10
Referencial teórico.....	12
Justificativa.....	16
Objetivos.....	16
Referências bibliográficas da introdução e do referencial teórico.....	17
Artigo.....	20
Conclusões.....	35
Considerações finais.....	35
Apêndices.....	36

Lista de abreviaturas e símbolos

FDM - Fused deposition modeling

DLP - Digital Light Processing

DLMS - Direct Metal Laser Sintering

SLM - Selective Laser Melting

DICOM - Digital Imaging and Communications in Medicine

TCMD - Tomografia Computadorizada de Múltiplos Detectores

MDCT - Multi-Detector Computed Tomography

RM - Ressonância Magnética

STL - Stereolithography

Lista de tabelas e gráficos

Tabela comparativa das medidas realizadas no paciente e no modelo.....	28
Gráfico das diferenças obtidas em cada local pelos observadores.....	28
Tabela do coeficiente de correlação intraclassa.....	29

Lista de figuras

Passo a passo simplificado do processo de impressão 3D.....	10
Divisões da árvore traqueobrônquica.....	11
Malha tridimensional das vias aéreas.....	24
Impressora B9 Core Series.....	24
Exemplo da aferição do calibre.....	26
Modelo 3D impresso das vias aéreas.....	27

Resumo

Objetivo: Desenvolver um modelo tridimensional customizado de via aérea baseado em imagens médicas, utilizando técnicas de manufatura aditiva, avaliando a fidedignidade das suas dimensões em relação às imagens obtidas por Tomografia Computadorizada de Múltiplos Detectores.

Material e Métodos: Foram selecionadas imagens das vias aéreas obtidas previamente por TCMD do tórax para criação da malha 3D utilizando software livre. O processo de impressão foi desenvolvido com a impressora B9 Core Series. Foi realizado posteriormente estudo de TCMD do modelo 3D impresso para comparação das suas dimensões em relação ao estudo original, realizada em 4 pontos pré-determinados.

Resultados: Nós desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas em tamanho real. As medianas das diferenças observadas nos 4 pontos foram de 0,4 mm ($p=0,686$), -1,3 mm ($p=0,138$), 0,7 mm ($p=0,141$) e 0,1 mm ($p=0,892$). O coeficiente de correlação intraclass entre as medidas realizadas no paciente e no modelo foi de 0,98 (IC95%:0,96-0,99), $P<0,001$.

Conclusão: Desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas baseado em imagens médicas. As diferenças de dimensões entre o modelo e as imagens originais estão de acordo com o observado em estudos prévios e possivelmente não representam relevância para a vasta maioria das aplicações.

Abstract

Objective: To develop a customized three-dimensional model of the airways based on medical images, using additive manufacturing techniques, to evaluate the reliability of its dimensions in relation to the images acquired by the Multiple detector computed tomography.

Material and Methods: Airway images previously obtained by chest MDCT were selected to create the 3D mesh using free software. The printing process was developed with the B9 Core Series printer. A MDCT study of the 3D printed model was subsequently performed to compare its dimensions in relation to the original study, performed at 4 predetermined points.

Results: We developed a three-dimensional real size model of the airways. The medians of the differences observed in the 4 points were 0.4 mm ($p = 0.686$), -1.3 mm ($p = 0.138$), 0.7 mm ($p = 0.141$) and 0.1 mm ($p = 0.892$). The intraclass correlation coefficient between the measurements made on the patient and on the model was 0.98 (95% CI: 0.96-0.99), $P < 0.001$.

Conclusion: We developed a three-dimensional model of the airways based on medical images. The differences in dimensions between the model and the original images are in line with what was observed in previous studies and possibly do not represent relevance for the vast majority of applications.

Introdução

A impressão tridimensional, também chamada de manufatura aditiva, é o nome atribuído a tecnologias distintas que apresentam em comum a manufatura de objetos por sobreposição de sucessivas camadas de determinado material (1).

Cada tecnologia disponível possui seus respectivos insumos (matéria-prima) que determinam as suas aplicações mais comuns. As tecnologias mais difundidas são: impressão por deposição de filamento (FDM), impressão por resina fotossensível (DLP), impressão por fusão de metal em pó (DLMS, SLM) e bioimpressão. Impressoras 3D não aceitam diretamente as imagens médicas, estas geralmente em formato DICOM, sendo necessário pós-processamento (figura 1).

As aplicações médicas da impressão 3D podem ser didaticamente divididas em quatro níveis de crescente complexidade técnica e investimento financeiro (2): desenvolvimento de modelos para planejamento cirúrgico e ensino, desenvolvimento de próteses personalizadas biocompatíveis, desenvolvimento de suportes biodegradáveis para enxertos biológicos e, por último, pesquisas em impressão direta de órgãos e tecidos vivos.

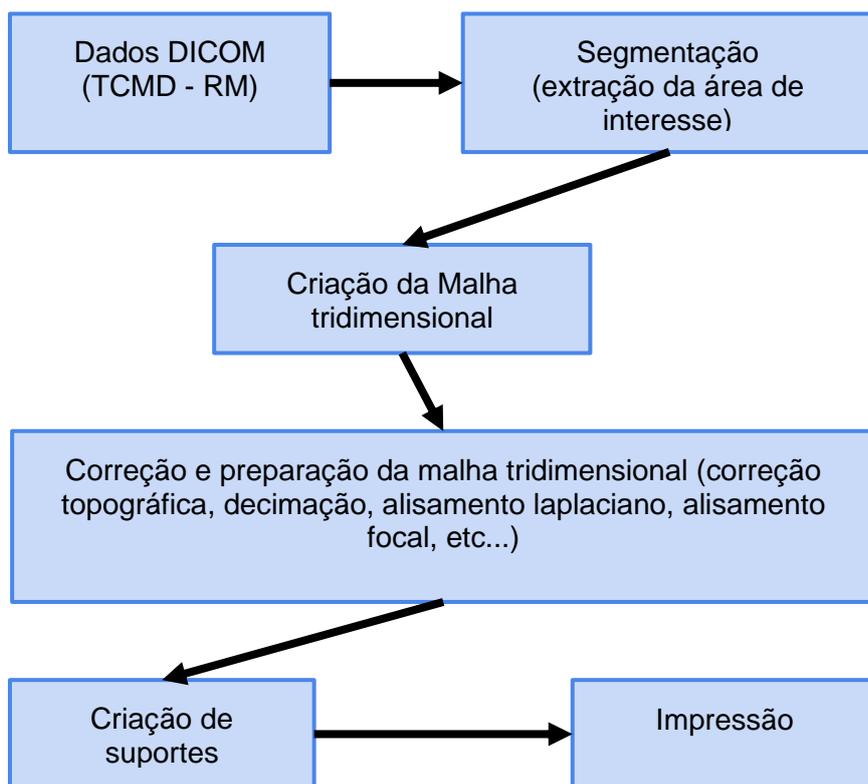


Figura 1. Passo a passo simplificado do processo de impressão 3D.

O escopo deste trabalho é a aplicação das técnicas de impressão 3D no estudo da via aérea inferior humana. É de grande importância o desenvolvimento no nosso meio de um modelo tridimensional para fins de treinamento, pois permite aprendizado da anatomia de maneira mais realística, a um custo menor que as opções comerciais disponíveis, ao mesmo tempo que propicia o domínio local da técnica de impressão 3D.

A via aérea inferior (3), também definida como árvore traqueobrônquica, é a árvore ramificada que se inicia na laringe e se estende inferiormente e perifericamente no interior dos pulmões. As divisões da árvore traqueobrônquica (figura 2), do centro para a periferia, são:

- Traqueia;
- Ramos principais (divisão primária) direito e esquerdo;
- Ramos lobares (divisão secundária);
- Ramos segmentares (divisão terciária);
- Muitas subdivisões (20 a 25 gerações) de calibre progressivamente menor que originam bronquíolos terminais, que dão origem a diversas gerações de bronquíolos respiratórios, que finalmente terminam nos alvéolos pulmonares.

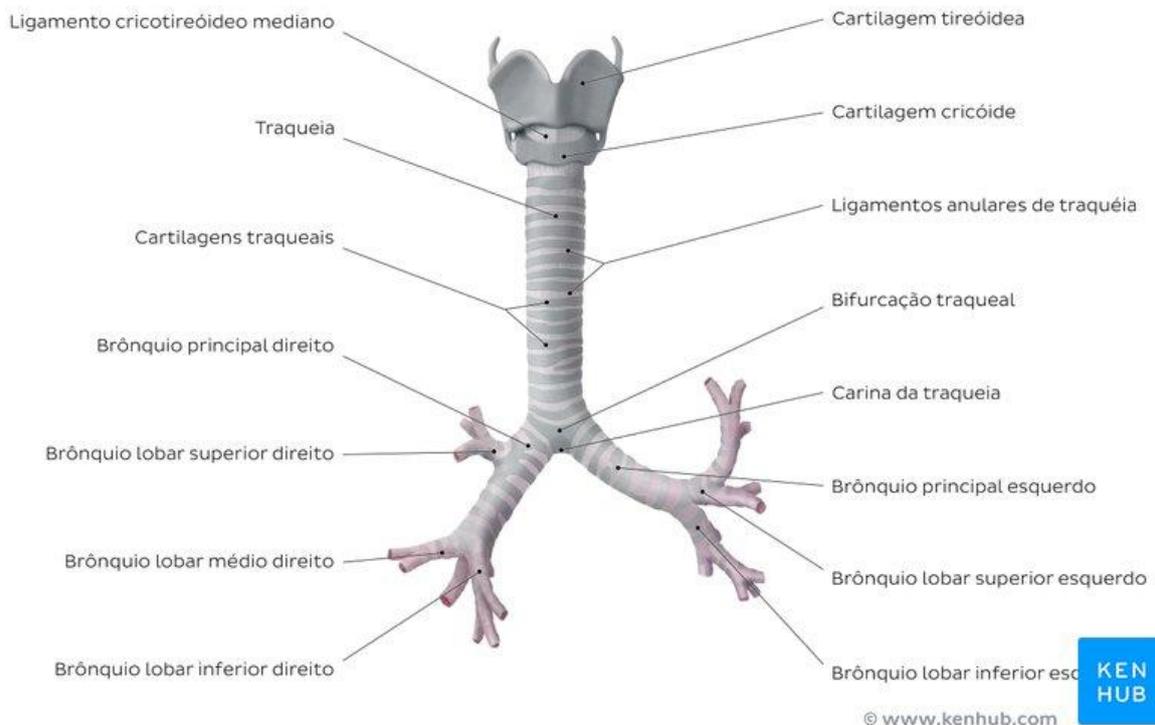


Figura 2. Retirado de <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/lungs-anatomy>

Referencial Teórico

As técnicas de impressão 3D já são amplamente utilizadas na indústria e recentemente foram reconhecidas como ferramentas com potencial valor para a área médica, com utilidade no ensino, planejamento pré-operatório e desenvolvimento de órteses e próteses(1, 4–6).

- Princípios da Impressão 3D:

As técnicas de impressão 3D foram criadas em 1986(1), com o princípio, presente até hoje, de utilizar um modelo digital para manufaturar um objeto sólido 3D por sobreposição de sucessivas camadas de determinado material. Podem ser considerados sinônimos: manufatura aditiva, prototipagem rápida e impressão 3D.

A impressão tridimensional na área médica se refere à fabricação de órgãos e estruturas representados nas imagens diagnósticas, obtidas geralmente por tomografia computadorizada ou ressonância magnética, armazenadas no formato DICOM. Entretanto, as impressoras 3D não trabalham com dados DICOM. As impressoras 3D utilizam um formato de dados que demonstra superfícies que envolvem uma região do espaço. O formato de arquivo padrão para definir essas superfícies é a linguagem padrão de triângulo - *stereolithography* (STL). O formato STL define superfícies como uma coleção de triângulos que se encaixam como um quebra-cabeça.

Para produzir um modelo em 3D a partir de uma imagem médica, é preciso segmentar estruturas ou órgãos de interesse nas imagens DICOM. Essas estruturas necessitam de novo pós-processamento para criação e correção da malha tridimensional - composta pela coleção de triângulos. Uma vez definidos no formato STL, podem ser impressos.

- Aplicações Médicas da Impressão 3D:

Dentre as especialidades médicas, a radiologia e diagnóstico por imagem desempenha um papel central nessa nova tecnologia, já que os modelos desenvolvidos pelas técnicas de manufatura aditiva são, com algumas poucas exceções, baseados em reconstruções tridimensionais de imagens seccionais, especificamente Tomografia Computadorizada de Múltiplos Detectores (TCMD) e Ressonância Magnética (MR)(1,6).

Em revisão sistemática, Langridge et al.(4) encontraram amplo potencial da impressão 3D em ensino anatômico e treinamento cirúrgico, em especial em neurocirurgia e otorrinolaringologia. Foram avaliados 49 estudos que incluíam análises qualitativas do modelo impresso, aferição do aprendizado adquirido em relação a técnicas tradicionais de ensino e também análise do impacto em desfechos clínicos. Concluem que há um campo de pesquisa crescente para avaliar a utilidade dos modelos tridimensionais. Apesar de muitos estudos avaliados fornecerem dados qualitativos de baixa qualidade, a literatura mostrou claramente que os participantes estão entusiasmados sobre os modelos tridimensionais, pois eles oferecem uma excelente maneira de compreender a anatomia cirúrgica, praticar habilidades cirúrgicas e melhorar a confiança na abordagem de casos na operação simulada.

As aplicações clínicas mais comuns da manufatura aditiva são a cirurgia bucomaxilofacial, neurocirurgia, pneumologia e cirurgia torácica, cirurgia cardiovascular, ortopedia, radioterapia e cirurgia abdominal(1,4–7).

Especificamente sobre as aplicações pneumológicas, são passíveis de impressão a via aérea, caixa torácica e coluna dorsal, pulmões e mediastino(7), destacando-se como áreas promissoras o treinamento da avaliação endoscópica da via aérea, a avaliação pré-operatória(8) e avaliação de próteses de via aérea(9).

O valor do treinamento simulado em broncoscopia está bem estabelecido e seu uso é recomendado por várias sociedades de especialistas(10), entretanto o alto custo dos manequins e equipamentos limita a sua utilização disseminada nos programas de treinamento. Nesse sentido, diferentes centros têm desenvolvido modelos tridimensionais de baixo custo, que simulam a via aérea para treinamento endoscópico(11–15), demonstrando resultados comparáveis aos equipamentos comerciais disponíveis, a um custo significativamente menor. Surgem também

grandes oportunidades para treinamento em casos específicos, gerando modelos customizados conforme a necessidade da equipe assistente.

- Acurácia e reprodutibilidade dos modelos 3D:

Com a introdução dos modelos tridimensionais na prática clínica, surge a necessidade de demonstrar e garantir a acurácia e reprodutibilidade dos modelos gerados. A acurácia e reprodutibilidade dos modelos tridimensionais são afetadas por uma soma de erros que podem ser introduzidos em qualquer passo da sua criação: aquisição da imagem, segmentação, criação do STL, pós-processamento, impressão propriamente dita e preparação / limpeza do modelo(16).

A acurácia pode ser avaliada pelo impacto direto que o modelo tridimensional determina no desfecho clínico-cirúrgico. Schweizer et al.(17) relatam um deslocamento residual médio de 7 ° para fraturas de escafoide reconstruídas com o uso de guias impressas em 3D, comparado com um deslocamento médio de 26 ° na abordagem à mão livre. Hu et al.(18) relataram que em 559 (96 %) dos 582 parafusos transpediculares torácicos colocados usando guias impressas em impressoras 3D não houve perfuração; comparado com taxas sem perfuração de 50 % a 94 % que são relatadas com o uso de técnicas de orientação à mão livre ou fluoroscópicas.

Outra abordagem é avaliar as dimensões do modelo impresso em relação às dimensões do objeto original. Em aplicações médicas, duas opções são possíveis: avaliar as dimensões do objeto impresso em relação a peças cadavéricas ou tecidos expostos cirurgicamente ou então correlacionar as dimensões do objeto impresso com as medidas obtidas em imagens médicas.

Muller et al.(19) demonstraram variação de dimensões de até 0,15 mm de diâmetro comparando modelo tridimensional de tíbia bovina com a peça anatômica original. Outros estudos também demonstram diferenças menores que 1 mm entre o modelo e a peça original cadavérica(20-25).

Em aplicações ortopédicas e bucomaxilofaciais, os estudos que correlacionaram as medidas dos modelos tridimensionais com suas imagens médicas de origem(26,27) também demonstraram acurácia semelhante aos estudos de correlação com peças cadavéricas ou anatomopatológicas. A correlação entre

modelos tridimensionais de partes moles, especialmente sistema cardiovascular, e suas imagens de origem também demonstrou diferenças inferiores a 1 mm(28). Entretanto, devido à dificuldade de segmentação dos tecidos moles - relacionada a menor diferença de atenuação em relação aos tecidos adjacentes - podem ser observadas diferenças de 4 mm ou mais(16).

A literatura(29-31) demonstra que a diferença de dimensões entre a estrutura anatômica e a sua imagem médica - TCMD ou RM - é significativamente menor do que a diferença de dimensões entre a imagem médica e o modelo tridimensional impresso, ou seja, a etapa mais suscetível à distorção da anatomia é o pós-processamento da imagem DICOM, especialmente a segmentação da imagem.

Justificativa

A criação de modelos customizados por manufatura aditiva, em especial da via aérea, tem potencial aplicação no ensino e planejamento terapêutico. Entretanto, faz-se necessária a validação do modelo gerado em relação ao original, particularmente em relação a fidedignidade e acurácia do mesmo.

Objetivo

Desenvolver um modelo tridimensional customizado de via aérea baseado em imagens médicas, utilizando técnicas de manufatura aditiva, avaliando a fidedignidade das suas dimensões em relação às imagens obtidas por TCMD.

Referências bibliográficas

1. Mitsouras D, Liacouras P, Imanzadeh A, Giannopoulos AA, Cai T, Kumamaru KK, et al. Medical 3D Printing for the Radiologist. *RadioGraphics* [Internet]. 2015;35(7):1965–88. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.2015140320>
2. Yan Q, Dong H, Su J, Han J, Song B, Wei Q, Shi Y. A Review of 3D Printing Technology for Medical Applications. *Engineering* 2018, 4(5): 729 -742 .
3. Keith L. Moore, Arthur F. Dalley, A. M. R. Agur. *Anatomia orientada para a clínica*. Quarta Edição. Guanabara Koogan 2001;
4. Langridge B, Momin S, Coumbe B, Woin E, Griffin M, Butler P. Systematic Review of the Use of 3-Dimensional Printing in Surgical Teaching and Assessment. *J Surg Educ*. Jan-Feb 2018;75(1):209-221.
5. Hoang D, Perrault D, Stevanovic M, Ghiassi A. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature & how to get started. *Ann Transl Med* [Internet]. 2016;4(23):456–456. Available from: <http://atm.amegroups.com/article/view/12912/13270>
6. Matsumoto JS, Morris JM, Foley TA, Williamson EE, Leng S, McGee KP, et al. Three-dimensional Physical Modeling: Applications and Experience at Mayo Clinic. *RadioGraphics* [Internet]. 2015;35(7):1989–2006. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.2015140260>
7. Giannopoulos AA, Steigner ML, George E, Barile M, Hunsaker AR, Rybicki FJ, et al. Cardiothoracic Applications of 3-dimensional Printing [Internet]. Vol. 31, *Journal of Thoracic Imaging*. 2016. 253-272 p. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00005382-201609000-00001>
8. Akiba T, Inagaki T, Nakada T. Three-dimensional printing model of anomalous bronchi before surgery. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;20:659–62.
9. Miyazaki T, Yamasaki N, Tsuchiya T, Matsumoto K, Takagi K, Nagayasu T. Airway stent insertion simulated with a three-dimensional printed airway model. *Ann Thorac Surg* [Internet]. Elsevier; 2015;99(1):e21–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.10.021>
10. Ernst A, Wahidi MM, Read CA, Buckley JD, Addrizzo-Harris DJ, Shah PL, et al. Adult bronchoscopy training: Current state and suggestions for the future: CHEST expert panel report. *Chest*. 2015;148(2):321–32.
11. Pedersen TH, Gysin J, Wegmann A, Osswald M, Ott SR, Theiler L, et al. A randomised, controlled trial evaluating a low cost, 3D-printed bronchoscopy simulator. *Anaesthesia*. 2017;72(8):1005–9.

12. Parotto M, Jansen JQ, AboTaiban A, loukhova S, Agzamov A, Cooper R, et al. Evaluation of a low cost, 3D-printed model for bronchoscopy training. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2017;49(3):189–97.
13. Bustamante S, Bose S, Bishop P, Klatte R, Norris F. Novel application of rapid prototyping for simulation of bronchoscopic anatomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. Elsevier; 2014;28(4):1122–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2013.08.015>
14. Al-Ramahi J, Luo H, Fang R, Chou A, Jiang J, Kille T. Development of an Innovative 3D Printed Rigid Bronchoscopy Training Model. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2016;125(12):965–9.
15. Byrne T, Yong SA, Steinfort DP. Development and Assessment of a Low-Cost 3D-printed Airway Model for Bronchoscopy Simulation Training. *J Bronchology Interv Pulmonol* [Internet]. 2016;23(3):251–4. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=01436970-201607000-00015>
16. George E, Liacouras P, Rybicki F, Mitsouras D. Measuring and Establishing the Accuracy and Reproducibility of 3D Printed Medical Models. *RadioGraphics* [Internet]. 2017;37:1424–50. Available from: <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/rq.2017160165>
17. Schweizer A, Mauler F, Vlachopoulos L, Nagy L, Fűrnstahl P. Computer-assisted 3-dimensional reconstructions of scaphoid fractures and nonunions with and without the use of patient-specific guides: early clinical outcomes and postoperative assessments of reconstruction accuracy. *J Hand Surg Am* 2016;41(1):59–69.
18. Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, et al. A comparative study on the accuracy of pedicle screw placement assisted by personalized rapid prototyping template between pre- and post-operation in patients with relatively normal mid-upper thoracic spine. *Eur Spine J* 2016;25(6):1706–1715.
19. Muller AF, Tonetto MS, Sanches PRS, Junior DPS, Tondin BR, Thomé PRO, Silva CK, Faccin CS, Torres FS. Avaliação Dimensional de Modelos 3D utilizando Tomografia computadorizada. Apresentado como pôster no XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica; 21-25 de outubro de 2018; Búzios, RJ.
20. Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, Wolff J, Mäkitie A. Accuracy of medical models made by additive manufacturing (rapid manufacturing). *J Craniomaxillofac Surg* 2013;41(7):603–609.
21. Taft RM, Kondor S, Grant GT. Accuracy of rapid prototype models for head and neck reconstruction. *J Prosthet Dent* 2011;106(6):399–408.
22. Petropolis C, Kozan D, Sigurdson L. Accuracy of medical models made by

- consumer-grade fused deposition modelling printers. *Plast Surg (Oakv)* 2015;23(2):91–94.
23. Barker TM, Earwaker WJ, Lisle DA. Accuracy of stereolithographic models of human anatomy. *Australas Radiol* 1994;38(2):106–111.
24. Ibrahim D, Broilo TL, Heitz C, et al. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy. *J Craniomaxillofac Surg* 2009;37(3):167–173.
25. Choi JY, Choi JH, Kim NK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31(1):23–32.
26. Frühwald J, Schicho KA, Figl M, Benesch T, Watzinger F, Kainberger F. Accuracy of craniofacial measurements: computed tomography and three-dimensional computed tomography compared with stereolithographic models. *J Craniofac Surg* 2008;19(1):22–26. 59.
27. Wu AM, Shao ZX, Wang JS, et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *PLoS One* 2015;10(4):e0124291.
28. Ionita CN, Mokin M, Varble N, et al. Challenges and limitations of patient-specific vascular phantom fabrication using 3D Polyjet printing. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng* 2014;9038:90380M.
29. Fourie Z, Damstra J, Schepers RH, Gerrits PO, Ren Y. Segmentation process significantly influences the accuracy of 3D surface models derived from cone beam computed tomography. *Eur J Radiol* 2012;81(4):e524–e530.
30. Santana RR, Lozada J, Kleinman A, Al-Ardah A, Herford A, Chen JW. Accuracy of cone beam computerized tomography and a three-dimensional stereolithographic model in identifying the anterior loop of the mental nerve: a study on cadavers. *J Oral Implantol* 2012;38(6):668–676.
31. Huotilainen E, Jaanimets R, Valášek J, et al. Inaccuracies in additive manufactured medical skull models caused by the DICOM to STL conversion process. *J Craniomaxillofac Surg* 2014;42(5):e259–e265.

Desenvolvimento de Modelo Tridimensional Customizado de Via Aérea

Development of a customized three-dimensional model of airways

Tonetto MS^{1,2}, Oliveira HG^{3,4}, Muller AF⁵, Sanches PRS⁵, Torres FS^{6,7}, Garcia TS^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência Pneumológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil; ²Serviço de Radiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil; ³Unidade de Endoscopia das Vias Aéreas do Serviço de Pneumologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil; ⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil; ⁵Serviço de Engenharia Biomédica do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brasil; ⁶Universidade de Toronto, Toronto, ON, Canadá; ⁷Divisão Cardiorácica do Hospital Geral de Toronto, Toronto, ON, Canadá.

Endereço para correspondência: Mateus S. Tonetto. Rua Ramiro Barcelos, 2350; Serviço de Radiologia; 2^o andar. Cep: 900035-003, Porto Alegre, RS, Brasil. Telefone: 55 51 3359 8000; e-mail: mtonetto@hcpa.edu.br

Resumo:

Objetivo: Desenvolver um modelo tridimensional customizado de via aérea baseado em imagens médicas, utilizando técnicas de manufatura aditiva, avaliando a fidedignidade das suas dimensões em relação às imagens obtidas por TCMD.

Material e Métodos: Foram selecionadas imagens das vias aérea obtidas previamente por TCMD do tórax para criação da malha 3D utilizando software livre. O processo de impressão foi desenvolvido com a impressora B9 Core Series. Foi realizado posteriormente estudo de TCMD do modelo 3D impresso para comparação das suas dimensões em relação ao estudo original, realizada em 4 pontos pré-determinados: 1,5 cm e 3,0 cm proximal à carina traqueal; 2 cm distal à origem do brônquio principal direito e 2 cm distal à origem do brônquio principal esquerdo.

Resultados: Nós desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas em tamanho real. As medianas das diferenças observadas nos 4 pontos foram de 0,4 mm ($p=0,686$), -1,3 mm ($p=0,138$), 0,7 mm ($p=0,141$) e 0,1 mm ($p=0,892$). O coeficiente de correlação intraclasses entre as medidas realizadas no paciente e no modelo foi de 0,98 (IC95%:0,96-0,99), $P<0,001$.

Conclusão: Desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas baseado em imagens médicas. As diferenças de dimensões entre o modelo e as imagens originais estão de acordo com o observado em estudos prévios e possivelmente não representam relevância para a vasta maioria das aplicações.

Palavras-chave: impressão 3D; manufatura aditiva; vias aéreas; TC de tórax

Abstract:

Objective: To develop a customized three-dimensional model of the airways based on medical images, using additive manufacturing techniques, to evaluate the reliability of its dimensions in relation to the images acquired by the MDCT.

Material and Methods: Airway images previously obtained by chest MDCT were selected to create the 3D mesh using free software. The printing process was developed with the B9 Core Series printer. A MDCT study of the 3D printed model was subsequently performed to compare its dimensions in relation to the original study, performed at 4 predetermined points: 1.5 cm and 3.0 cm proximal to the tracheal carina; 2 cm distal to the origin of the right main bronchus and 2 cm distal to the origin of the left main bronchus.

Results: We developed a three-dimensional real size model of the airways. The medians of the differences observed in the 4 points were 0.4 mm ($p = 0.686$), -1.3 mm ($p = 0.138$), 0.7 mm ($p = 0.141$) and 0.1 mm ($p = 0.892$). The intraclass correlation coefficient between the measurements made on the patient and on the model was 0.98 (95% CI: 0.96-0.99), $P < 0.001$.

Conclusion: We developed a three-dimensional model of the airways based on medical images. The differences in dimensions between the model and the original images are in line with what was observed in previous studies and possibly do not represent relevance for the vast majority of applications.

Keywords: 3D printing; additive manufacturing; airways; chest CT

Introdução

As técnicas de fabricação aditiva, comumente denominadas "impressão 3D", já são amplamente utilizadas na indústria e foram recentemente reconhecidas como ferramentas de valor potencial para a área médica, úteis no ensino, planejamento pré-operatório e desenvolvimento de órteses e próteses (1-4).

Entre as especialidades médicas, a radiologia e diagnóstico por imagem desempenha um papel central nessa nova tecnologia, uma vez que os modelos desenvolvidos pelas técnicas de fabricação aditiva são, com poucas exceções, baseados em reconstruções tridimensionais de imagens seccionais, especificamente Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética (3,4).

As aplicações clínicas mais comuns da manufatura aditiva são cirurgia bucomaxilofacial, neurocirurgia, pneumologia e cirurgia torácica, cirurgia cardiovascular, ortopedia, radioterapia e cirurgia abdominal (1-4).

Especificamente sobre as aplicações pneumológicas são passíveis de impressão as vias aéreas, cavidade torácica e coluna dorsal, pulmões e mediastino (5), destacando-se como áreas promissoras o treinamento da avaliação endoscópica da via aérea, a avaliação pré-operatória(6) e avaliação de próteses de via aérea (7).

O valor do treinamento simulado em broncoscopia está bem estabelecido (8) e seu uso é recomendado por várias sociedades especializadas (9), porém o alto custo de manequins e equipamentos limita seu uso generalizado em programas de treinamento. Nesse sentido, diferentes centros desenvolveram modelos tridimensionais de baixo custo que simulam as vias aéreas para treinamento endoscópico (10-14).

Entretanto, foram demonstradas potenciais limitações na fidedignidade dos modelos e, portanto, a validação e controle da acurácia é fundamental, particularmente nos casos de ensino, treinamento e planejamento terapêutico (15).

Objetivo

Desenvolver um modelo tridimensional customizado das vias aéreas baseado em imagens médicas, utilizando técnicas de manufatura aditiva, avaliando a fidedignidade de suas dimensões em relação às imagens obtidas por tomografia computadorizada de múltiplos detectores (TCMD).

Materiais e métodos

- Impressão do modelo 3D

Foram selecionadas imagens das vias aérea obtidas previamente por TCMD do tórax de um paciente masculino de 48 anos, realizada em tomógrafo Emotion (Siemens Healthcare, Erlanger, Alemanha), com 16 fileiras de detectores, utilizando tensão de tubo de 120 kVp, com controle automático de exposição (AEC). As imagens foram anonimizadas a partir do sistema de armazenamento de imagens da instituição. Posteriormente, a segmentação da coluna aérea (ar no interior das vias aéreas) e criação da malha tridimensional foram realizadas utilizando o software 3DSlicer® (<http://www.slicer.org/>) (figura 1). Após, a malha 3D foi pós-processada para criar o invólucro da coluna aérea – traqueia e brônquios principais – utilizando o software Meshmixer® (San Rafael, Califórnia, EUA). O processo de impressão foi desenvolvido com a impressora B9 Core Series (B9 Creations - Rapid City, SD) (figura 2) através da deposição de resina fotossensível, buscando maior maleabilidade, resistência, precisão e detalhamento mais confiáveis, o que representa adequadamente a anatomia da traqueia, brônquios principais, lobares e segmentares. O tempo médio para elaboração do modelo foi de aproximadamente 4 dias, sendo que a etapa mais longa foi a impressão propriamente dita: 2-3 dias. Os softwares utilizados no estudo são livres e de domínio público.

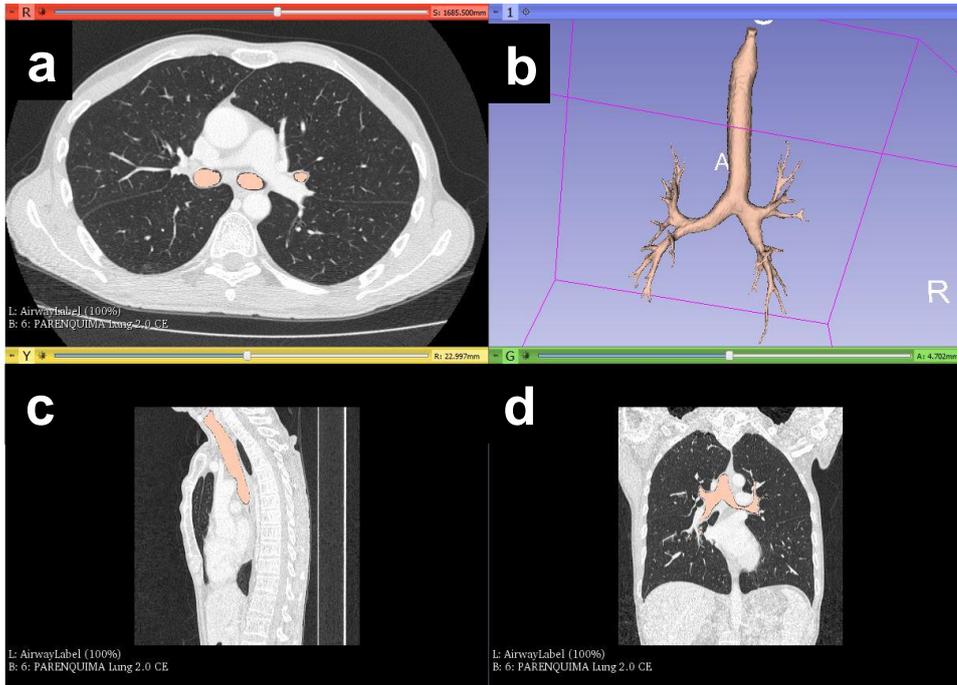


Figura 1. No sentido horário: a, b, c e d. Figura a: TCMD de tórax, corte axial. Figura b: Malha tridimensional das vias aéreas. Figura c: TCMD de tórax, corte sagital. Figura d: TCMD de tórax, corte coronal.



Figura 2. Impressora B9 Core Series.

· Avaliação da TC do tórax e do modelo 3D

Foi realizado estudo de TCMD do modelo 3D impresso em um tomógrafo Aquilion CXL (Canon Medical Systems, Ota City, Tóquio, Japão) de 64 fileiras de detectores, usando tensão de tubo de 80 kVp, corrente de tubo de 30 mA, reconstruído com a mesma espessura e intervalo das imagens tomográficas originais (1 mm e 0,5 mm, respectivamente). Ambos os estudos (TC do tórax e CT do modelo 3D impresso) foram analisados em uma estação de trabalho dedicada (IMPAX v. 6.6.1.3525, AGFA Healthcare, 2016), utilizando reconstruções multiplanares e tridimensionais.

Quatro imagens-chave foram criadas pelo pesquisador principal, tanto nas imagens do modelo 3D como nas imagens do paciente fonte, usando reconstruções multiplanares em locais predeterminados: 1) 1,5 cm e 3,0 cm proximal à carina traqueal; 2) 2 cm distal à origem do brônquio principal direito e do brônquio principal esquerdo, totalizando 4 medidas das vias aéreas em cada estudo (figura 3). Cinco observadores treinados (todos radiologistas torácicos da instituição) realizaram medições do perímetro das vias aéreas. As medidas foram realizadas com caliper livre, na interface entre a parede traqueal e o lúmen traqueal, sem incluir a espessura da parede, primeiro no modelo 3D e depois, com intervalo de 10 dias, no exame tomográfico original. Os observadores estavam cegos para os resultados das medições obtidas pelos outros observadores.

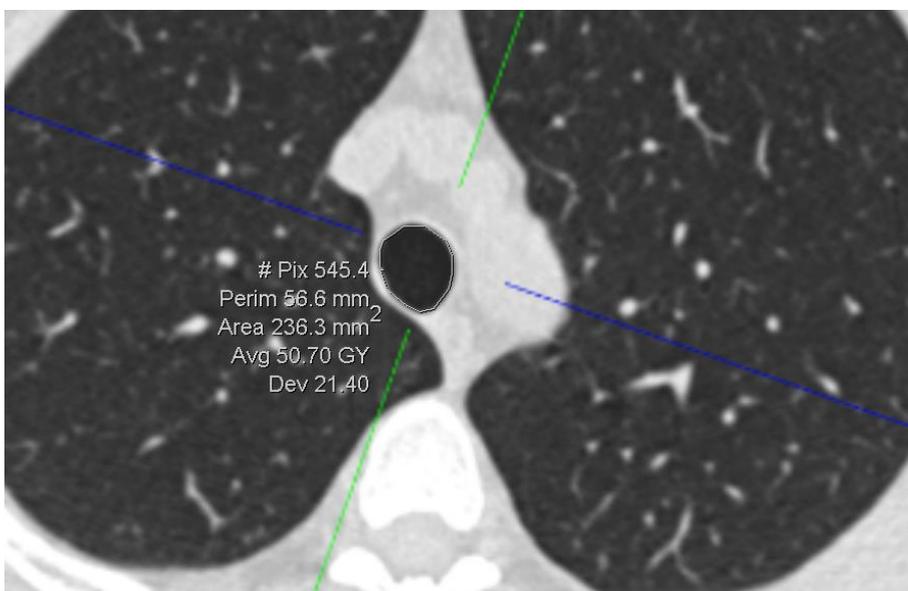


Figura 3. TCMD de Tórax no plano axial, ampliada. Exemplo da aferição do perímetro da via aérea.

· **Análise estatística**

A análise dos dados foi feita com o pacote estatístico SPSS versão 20.0 (IBM, Armonk, Nova York, EUA) e com a planilha eletrônica Microsoft Excel 2010.

Foram digitados os dados no programa Excel e posteriormente exportados para o programa SPSS v. 20.0 para análise estatística. Foram descritas as variáveis pela mediana, o mínimo e o máximo e comparadas pelo teste de Wilcoxon. Foi calculado o coeficiente de correlação intraclasse entre as medidas. Foi considerado um nível de significância de 5%.

Resultados

Foi desenvolvido um modelo tridimensional das vias aéreas em tamanho real (figura 4).

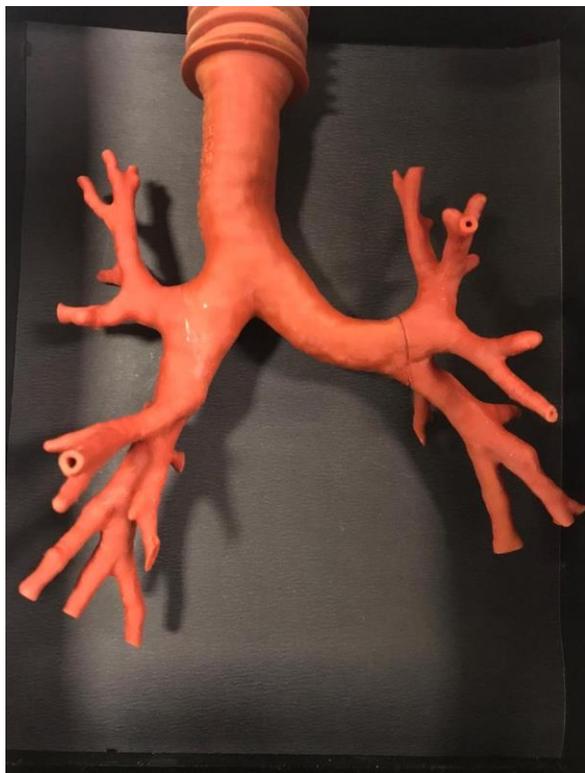


Figura 4. Modelo 3D impresso das vias aéreas.

O custo de elaboração do modelo foi de R\$ 470,00, referente a 80ml de resina fotossensível (R\$ 210,00) e à aquisição da caixa acrílica (R\$ 260,00).

Quando comparadas as medidas de perímetro obtidas no modelo e paciente não houve diferença estatisticamente significativa em nenhum dos locais (tabela 1).

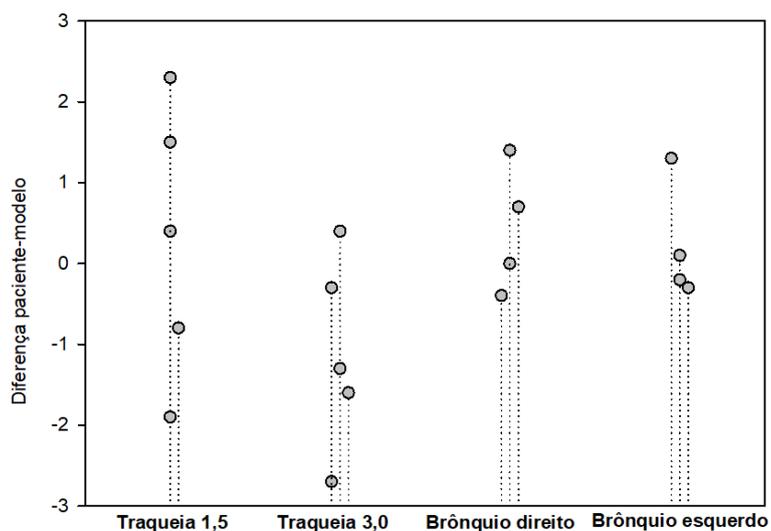
Tabela 1.-Tabela descritiva e comparativa das medidas realizadas no paciente e no modelo.

	Paciente	Modelo	Diferença	P
Traqueia 1,5 ¹	60,1 (56,7 – 61,5)	58,7 (57,5 – 60,0)	0,4 (-1,9 a 2,3)	0,686
Traqueia 3,0 ²	57,6 (55,4 – 59,2)	58,2 (58,1 – 59,5)	-1,3 (-2,7 a 0,4)	0,138
Brônquio direito	46,7 (44,9 – 47,5)	45,8 (45,3 – 46,1)	0,7 (-0,4 a 1,4)	0,141
Brônquio esquerdo	45,5 (44,1 – 47,3)	45,4 (44,4 – 46,0)	0,1 (-0,3 a 1,3)	0,892

Dados apresentados em milímetros pela mediana (mínimo - máximo) e comparados pelo teste de *Wilcoxon*.
 1- Aferição realizada na traquéia 1,5 cm proximal à carina. 2 - Aferição realizada na traquéia 3,0 cm proximal à carina.

No gráfico 1, são apresentadas as diferenças obtidas pelos observadores para cada local.

Gráfico 1.- Gráfico das diferenças obtidas em cada local pelos observadores. Valores em milímetros.



Traqueia 1,5: Aferição realizada na traquéia 1,5 cm proximal à carina. Traqueia 3,0: Aferição realizada na traquéia 3,0 cm proximal à carina.

O coeficiente de correlação intraclassa entre as medidas nos quatro pontos realizadas no paciente e no modelo pelos 5 avaliadores foi de 0,98 (IC95%:0,96-0,99), $P < 0,001$. Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de correlação intraclassa entre as medidas obtidas no paciente e no modelo em cada um dos pontos aferidos, que evidenciam correlações que não foram estatisticamente significativas com exceção da obtida para o brônquio esquerdo.

Tabela 2.- Tabela do coeficiente de correlação intraclassa entre as medidas obtidas no paciente e no modelo.

	CCI (IC 95%)
Traqueia 1,5 ¹	0,54 (-0,47 a 0,94)
Traqueia 3,0 ²	0,47 (-0,55 a 0,93)
Brônquio direito	0,45 (-0,57 a 0,92)
Brônquio esquerdo	0,76 (-0,14 a 0,97)

Discussão

Neste estudo, desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas baseado em imagens de tomografia computadorizada, utilizando técnicas de manufatura aditiva. Adicionalmente, demonstramos que a mediana da diferença do perímetro da via aérea entre o modelo 3D e a imagem original foi de no máximo 1,3 mm - sem significado estatístico – o que corresponde a uma diferença de 0,41 mm do calibre da via aérea. Nossos resultados estão de acordo com a literatura(15-23), que relata diferenças de diâmetro geralmente submilimétricas entre o modelo tridimensional e as imagens originais de TCMD.

Optamos pela aferição do perímetro da via aérea, apesar da literatura predominantemente referir diferenças aferidas pelo diâmetro das estruturas, devido a anatomia irregular da circunferência da via aérea, o que poderia agregar subjetividade às medidas obtidas do diâmetro.

Iniciamos nossa jornada na impressão 3D através de uma aproximação do Serviço de Radiologia com o Serviço de Engenharia Biomédica e a Unidade de Endoscopia das Vias Aéreas do Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Essa aproximação permitiu unir a aquisição e pós-processamento de imagens aos conhecimentos necessários para criação de modelos tridimensionais e também às equipes assistentes, que foram fundamentais para nortear os esforços para as aplicações que realmente teriam potencial impacto no cuidado do paciente e no ensino.

Para o desenvolvimento deste protótipo, o Serviço de Radiologia concentrou-se no pós-processamento das imagens (segmentação e criação da malha 3D) e posteriormente na avaliação da fidedignidade das dimensões do modelo. Ao Serviço de Engenharia Biomédica, coube a tarefa de correção da malha 3D, criação dos suportes para impressão, a impressão propriamente dita e a finalização da peça. A unidade de Endoscopia das Vias Aéreas atuou ativamente como consultora, avaliando cada um dos protótipos gerados até que o modelo final atingisse os níveis esperados de acabamento, cor e maleabilidade do material, avaliados subjetivamente.

Até que todo processo de impressão tridimensional fosse dominado pelos pesquisadores, transcorreram alguns meses e aproximadamente 10 modelos inicialmente criados foram rejeitados devido a falhas evidentes. A única etapa

realizada fora da instituição foi a aquisição de uma caixa acrílica para acomodar o modelo pronto, elaborada na cor preta, com dimensões internas de 205 mm x 235 mm x 125 mm (LxAxP) e espessura do acrílico de 5 mm.

Já é demonstrado o fato de que a etapa mais suscetível à distorção da anatomia e dimensões de uma estrutura é o pós-processamento(24), esta susceptibilidade é maior na segmentação dos tecidos não ósseos, devido a menor diferença de atenuação entre a estrutura em estudo e os tecidos adjacentes. Huotilainen e colaboradores(25) solicitaram a impressão das mesmas imagens de uma TCMD de crânio para três diferentes instituições e compararam as dimensões, peso e número de triângulos dos modelos e encontraram diferenças significativas entre os modelos, inclusive com um dos modelos apresentando volume 1,96 vezes o volume do menor. Este estudo demonstra a necessidade do controle de qualidade na elaboração dos modelos 3D e evidencia as discrepâncias que o processo pode inadvertidamente produzir.

A baixa correlação observada entre as medidas obtidas no paciente e no modelo em cada ponto isoladamente pode estar relacionada ao número reduzido de observadores, já que quando comparamos todas as medidas em conjunto no paciente e no modelo a correlação é muito alta. É importante ressaltar também que diferenças submilimétricas entre as medidas das vias aéreas, como as que encontramos em nosso estudo, podem ser explicadas por mínimas mudanças de posicionamento dos calipers nas imagens de TC nas diferentes sessões de leitura.

Considerando as medianas obtidas nos diferentes pontos - ou mesmo as diferenças máximas encontradas pelos observadores - os achados ainda são compatíveis com as diferenças observadas em estudos prévios que envolviam impressão de tecidos moles (15, 26), os quais relatam diferenças geralmente submilimétricas do diâmetro das estruturas, conforme demonstrado por Ionita et al. (26) em modelos impressos do polígono de Willis.

Também é importante ser destacado que diferenças de magnitude da ordem que foram observadas no nosso trabalho – a mediana das diferenças equivale a no máximo 2 % da mediana do calibre da via área – muito provavelmente não são relevantes, tanto para planejamento terapêutico como ensino.

Como limitações do nosso estudo destacamos o número de avaliadores, possíveis problemas de integração entre os diferentes softwares utilizados e o uso de apenas um único paciente como modelo. Também existem limitações relacionadas

ao método de impressão utilizado: teste com apenas uma impressora, tempo longo de impressão e um único tipo de material testado.

Conclusão

Desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas baseado em imagens médicas. As diferenças de dimensões entre o modelo e as imagens originais estão de acordo com o observado em estudos prévios e possivelmente não representam relevância para a vasta maioria das aplicações. Como perspectiva futura, desejamos avaliar nosso modelo como ferramenta de ensino e avaliação do aprendizado, comparando os resultados do treinamento nesse modelo com modelos já disponíveis.

Referências

1. Langridge B, Momin S, Coumbe B, Woin E, Griffin M, Butler P. Systematic Review of the Use of 3-Dimensional Printing in Surgical Teaching and Assessment. *J Surg Educ.* 2017;
2. Hoang D, Perrault D, Stevanovic M, Ghiassi A. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature & how to get started. *Ann Transl Med [Internet].* 2016;4(23):456–456. Available from: <http://atm.amegroups.com/article/view/12912/13270>
3. Mitsouras D, Liacouras P, Imanzadeh A, Giannopoulos AA, Cai T, Kumamaru KK, et al. Medical 3D Printing for the Radiologist. *RadioGraphics [Internet].* 2015;35(7):1965–88. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.2015140320>
4. Matsumoto JS, Morris JM, Foley TA, Williamson EE, Leng S, McGee KP, et al. Three-dimensional Physical Modeling: Applications and Experience at Mayo Clinic. *RadioGraphics [Internet].* 2015;35(7):1989–2006. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.2015140260>
5. Giannopoulos AA, Steigner ML, George E, Barile M, Hunsaker AR, Rybicki FJ, et al. Cardiothoracic Applications of 3-dimensional Printing [Internet]. Vol. 31,

- Journal of Thoracic Imaging. 2016. 253-272 p. Available from:
<http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00005382-201609000-00001>
6. Akiba T, Inagaki T, Nakada T. Three-dimensional printing model of anomalous bronchi before surgery. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;20:659–62.
 7. Miyazaki T, Yamasaki N, Tsuchiya T, Matsumoto K, Takagi K, Nagayasu T. Airway stent insertion simulated with a three-dimensional printed airway model. *Ann Thorac Surg* [Internet]. Elsevier; 2015;99(1):e21–3. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.10.021>
 8. Colt HG. Simulation in bronchoscopy training: Are we there yet? *Curr Respir Care Rep* [Internet]. 2013;2(1):61–8. Available from:
<http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed11&NEWS=N&AN=2013095182>
 9. Ernst A, Wahidi MM, Read CA, Buckley JD, Addrizzo-Harris DJ, Shah PL, et al. Adult bronchoscopy training: Current state and suggestions for the future: CHEST expert panel report. *Chest*. 2015;148(2):321–32.
 10. Pedersen TH, Gysin J, Wegmann A, Osswald M, Ott SR, Theiler L, et al. A randomised, controlled trial evaluating a low cost, 3D-printed bronchoscopy simulator. *Anaesthesia*. 2017;72(8):1005–9.
 11. Parotto M, Jansen JQ, AboTaiban A, Ioukhova S, Agzamov A, Cooper R, et al. Evaluation of a low cost, 3D-printed model for bronchoscopy training. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2017;49(3):189–97.
 12. Bustamante S, Bose S, Bishop P, Klatte R, Norris F. Novel application of rapid prototyping for simulation of bronchoscopic anatomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. Elsevier; 2014;28(4):1122–5. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2013.08.015>
 13. Al-Ramahi J, Luo H, Fang R, Chou A, Jiang J, Kille T. Development of an Innovative 3D Printed Rigid Bronchoscopy Training Model. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2016;125(12):965–9.
 14. Byrne T, Yong SA, Steinfort DP. Development and Assessment of a Low-Cost 3D-printed Airway Model for Bronchoscopy Simulation Training. *J Bronchology Interv Pulmonol* [Internet]. 2016;23(3):251–4. Available from:
<http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=01436970-201607000-00015>
 15. George E, Liacouras P, Rybicki F, Mitsouras D. Measuring and Establishing the Accuracy and Reproducibility of 3D Printed Medical Models. *RadioGraphics* [Internet]. 2017;37:1424–50. Available from:

<https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/rq.2017160165>

16. Salmi M, Paloheimo KS, Tuomi J, Wolff J, Mäkitie A. Accuracy of medical models made by additive manufacturing (rapid manufacturing). *J Craniomaxillofac Surg* 2013;41(7):603–609.
17. Taft RM, Kondor S, Grant GT. Accuracy of rapid prototype models for head and neck reconstruction. *J Prosthet Dent* 2011;106(6):399–408.
18. Petropolis C, Kozan D, Sigurdson L. Accuracy of medical models made by consumer-grade fused deposition modelling printers. *Plast Surg (Oakv)* 2015;23(2):91–94.
19. Barker TM, Earwaker WJ, Lisle DA. Accuracy of stereolithographic models of human anatomy. *Australas Radiol* 1994;38(2):106–111.
20. Ibrahim D, Broilo TL, Heitz C, et al. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy. *J Craniomaxillofac Surg* 2009;37(3):167–173.
21. Choi JY, Choi JH, Kim NK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31(1):23–32.
22. Frühwald J, Schicho KA, Figl M, Benesch T, Watzinger F, Kainberger F. Accuracy of craniofacial measurements: computed tomography and three-dimensional computed tomography compared with stereolithographic models. *J Craniofac Surg* 2008;19(1):22–26. 59.
23. Wu AM, Shao ZX, Wang JS, et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *PLoS One* 2015;10(4):e0124291.
24. Santana RR, Lozada J, Kleinman A, Al-Ardah A, Herford A, Chen JW. Accuracy of cone beam computerized tomography and a three-dimensional stereolithographic model in identifying the anterior loop of the mental nerve: a study on cadavers. *J Oral Implantol* 2012;38(6):668–676.
25. Huotilainen E, Jaanimets R, Valášek J, et al. Inaccuracies in additive manufactured medical skull models caused by the DICOM to STL conversion process. *J Craniomaxillofac Surg* 2014;42(5):e259–e265.
26. Ionita CN, Mokin M, Varble N, et al. Challenges and limitations of patient-specific vascular phantom fabrication using 3D Polyjet printing. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng* 2014;9038:90380M.

Conclusões:

Nosso trabalho apresentou a impressão 3D - princípios, métodos e etapas de elaboração - e discorreu sobre suas aplicações na área médica, com ênfase nas aplicações pneumológicas. Ressaltamos a necessidade de um controle de qualidade que ateste a fidedignidade dos modelos gerados. Nós desenvolvemos um modelo tridimensional das vias aéreas baseado em imagens médicas, com diferença de dimensões em relação às imagens originais de acordo com o relatado na literatura. Acreditamos no potencial dos modelos tridimensionais como ferramenta de ensino e avaliação do aprendizado.

Considerações finais:

A impressão 3D estará cada vez mais presente na assistência e ensino e a necessidade de controle de qualidade é inquestionável. Nosso trabalho demonstrou a capacidade de desenvolver um modelo localmente e garantir a sua fidedignidade em relação às imagens originais.

Entretanto, alguns outros desafios ainda persistem e limitam a disseminação dessa tecnologia. Até o presente momento, não está claro se haverá centros de impressão que atenderão diversas instituições ou se o processo de impressão será distribuído, com pequenos núcleos de impressão 3D em cada instituição. Mais nebuloso ainda é como ocorrerá o financiamento dos modelos, as opções são fundos de ensino e pesquisa, autofinanciamento pelas instituições, reembolso ou mesmo cobrança direta.

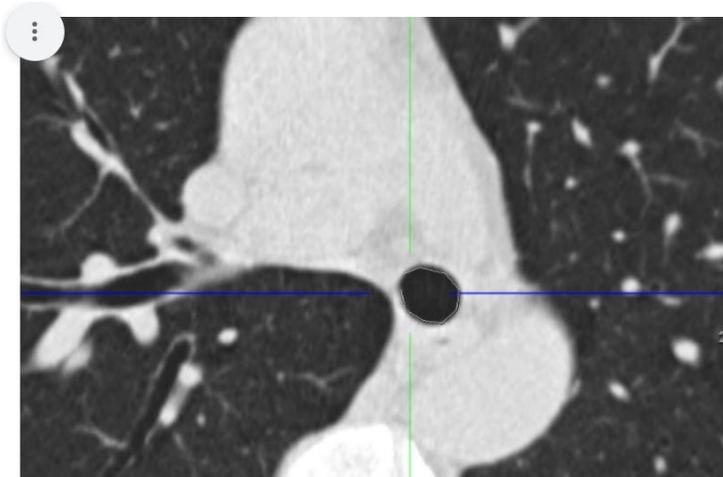
Aguardamos que em breve essa tecnologia esteja disponível a um maior contingente de pacientes, equipes assistentes e estudantes.

Apêndices:

Desenvolvimento de modelo tridimensional customizado de via aérea Mensuração do calibre da via aérea do paciente

Instruções:

1. Acessar a tomografia computadorizada do paciente através do IMPAX - Ferramenta de Procura: Número de acesso: 201912171639
2. Acessar a série de imagens Chave (são 4 imagens chave) - desconsiderar as instruções de menor eixo
3. Realizar a medida do PERÍMETRO da via aérea em cada uma das imagens na interface entre a parede da traqueia e o lúmen - não incluir a parede traqueal. Imagens explicativas em anexo.
4. Incluir as casas após a vírgula. Medidas em milímetros. Lembro que o formulário utiliza a notação americana: ponto"." ao invés de vírgula", "



Medidas:

- traqueia, 1,5cm proximal à carina: _____mm
- traqueia, 3,0cm proximal à carina traqueal: _____mm
- brônquio principal direito, 2,0cm distal à carina : _____mm
- brônquio principal esquerdo, 2,0cm distal à carina: _____mm

Avaliador: _____

Data: __/__/____

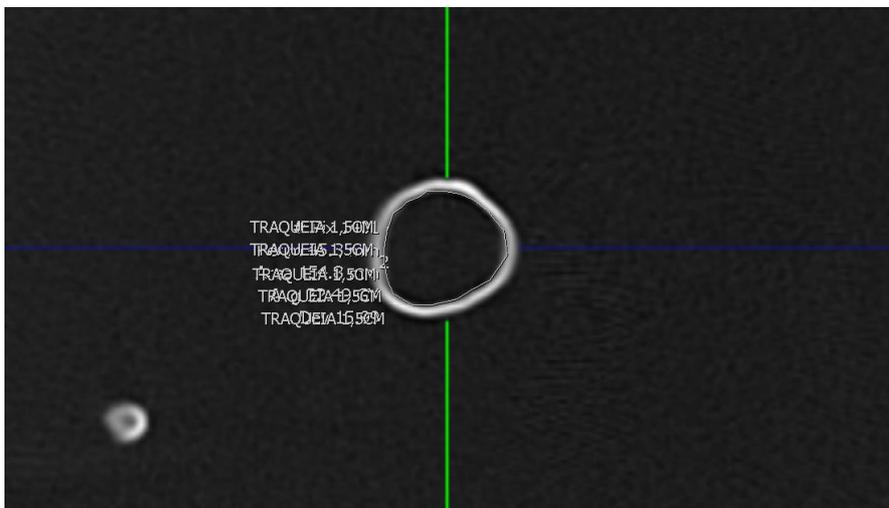
Desenvolvimento de modelo tridimensional customizado de via aérea

Mensuração do calibre da via aérea do modelo tridimensional

Instruções:

1. Acessar a tomografia computadorizada do modelo através do IMPAX - Ferramenta de Procura: Nome "MODELO HGO"; Data: 02/10/2019
2. Acessar a série de imagens Chave (são 4 imagens chave)
3. Realizar a medida do PERÍMETRO da via aérea em cada uma das imagens na interface entre a parede da traqueia e o lúmen - não incluir a parede traqueal. Imagens explicativas em anexo
4. Incluir as casas após a vírgula. Medidas em milímetros. Lembro que o formulário utiliza a notação americana: ponto"." ao invés de vírgula", "

Exemplo:



Medidas:

- traqueia, 1,5cm proximal à carina: _____mm
- traqueia, 3,0cm proximal à carina traqueal: _____mm
- brônquio principal direito, 2,0cm distal à carina : _____mm
- brônquio principal esquerdo, 2,0cm distal à carina: _____mm

Avaliador: _____

Data: __/__/____