

MODELO FÍSICO DE CURVA CIFOESCOLIÓTICA PRODUZIDO POR IMPRESSÃO 3D PARA PLANEJAMENTO DE CIRURGIA DA COLUNA VERTEBRAL: UM ESTUDO DE CASO

Physical model of cifoscoliotic curve manufactured by 3D printing for spinal surgical planning: a case study

RESUMO

Introdução: O planejamento cirúrgico é essencial para melhorar os resultados em intervenções cirúrgicas complexas, uma vez que evita desperdício de tempo, a instalação inadequada de instrumentação e reduz o risco relacionado ao procedimento. As cirurgias da coluna vertebral são extremamente delicadas pela proximidade a estruturas importantes do Sistema Nervoso. Durante as últimas décadas, várias ferramentas de diagnóstico por imagem foram desenvolvidas para auxiliar os cirurgiões na visualização pré-operatória da anatomia patológica e, atualmente, destacam-se os esforços para construir modelos 3D físicos, em escala real, proporcionando melhor planejamento e orientação acerca da cirurgia. **Objetivo:** O objetivo deste trabalho foi criar um modelo tridimensional, por manufatura aditiva, da anatomia patológica de um paciente com **severa cifoescoliose neurogênica** para **facilitar o planejamento e** a execução do procedimento cirúrgico. **Método:** Com base nos exames de imagem (Tomografia computadorizada) a região e sistema de interesse foi segmentada por meio do software livre Invesalius. A região segmentada compreendeu o sistema esquelético com deformidade. Após a geração de um arquivo STL do modelo da coluna vertebral do paciente, o mesmo foi impresso por manufatura aditiva. **Conclusão:** O cirurgião foi capaz de identificar as estruturas em risco, planejar a ressecção ideal e contar com uma melhor orientação intraoperatória. A utilização do modelo 3D em escala real mostrou ser uma ferramenta poderosa para planejamento cirúrgico, poupando tempo, auxiliando na compreensão adequada da anatomia e diminuindo o risco cirúrgico para o paciente, ao aumentar a precisão e confiança da equipe cirúrgica durante a operação.

Descritores: Coluna Vertebral; Processamento de Imagem Assistida por Computador; Impressão Tridimensional.

Keyword: Spine; Computer-Assisted Image Processing; Three-Dimensional Printing

INTRODUÇÃO

O planejamento cirúrgico, de modo especial para intervenções complexas, como a correção de deformidades congênitas vertebrais, por exemplo, desempenha papel fundamental na prevenção de falhas e risco de morbidade (Mobbs *et al*, 2017). O recurso às tecnologias de imagem para o planejamento pré-operatório é útil para melhorar os resultados dessas intervenções (Jacobs *et al*, 2007).

As técnicas de visualização de patologias via imagens sofreram um dramático avanço durante as últimas décadas. A evolução experimentada pela Tomografia Computadorizada e a Ressonância Magnética, em especial, tornaram o diagnóstico radiológico menos invasivo e mais informativo (Rengier *et al*, 2010). Não obstante seja possível a visualização tridimensional das anatomias anômalas com tais tecnologias, essa é restrita a telas bidimensionais, o que constitui uma limitação que, se sanada, poderia facilitar a execução do planejamento cirúrgico.

Como ferramenta possível para confecção de réplicas tridimensionais da anatomia humana, a prototipagem rápida apresenta-se como solução tecnicamente viável por meio da impressão 3D. Mobbs (Mobbs *et al*, 2017) considera que a aplicação da impressão 3D na medicina e na cirurgia pode oferecer diversos benefícios, incluindo customização de produtos médicos e implantes, melhora do planejamento pré-operatório, redução do tempo de operação e complexidade cirúrgica, além de posicionamento acurado de próteses e implantes e aprimoramento da produtividade. Lin (Lin *et al*, 2018) vê a possibilidade de produção de modelos anatômicos por impressão 3D utilizando dados de imagens tomográficas como um recurso com impacto positivo na avaliação pré-operatória, planejamento cirúrgico e orientação intraoperativa. Ayoub (Ayoub *et al*, 2013) reitera a utilidade desse recurso, afirmando ser desejo de longo tempo para cirurgias bucomaxilofaciais conduzir um planejamento preventivo para cirurgia ortognática, de posse de um modelo físico que replique com precisão o crânio, ossos mandibulares e dentição. O uso de modelos anatômicos prototipados em impressoras 3D de estruturas craniais e faciais a partir de dados tomográficos, segundo o autor, pode constituir a chave para previsões na cirurgia ortognática.

No entanto, mesmo com o reconhecimento da comunidade científica das vantagens do uso do modelo físico 3D no planejamento cirúrgico, a sua utilização continua sendo, muitas vezes, negligenciada, seja por falta de recursos ou de tempo, por se tratar de uma técnica de alta personalização condicionada a cada caso e infraestrutura do local onde a cirurgia será realizada.

Deste modo o objetivo do presente trabalho é criar um modelo físico tridimensional, por impressão 3D, da anatomia patológica da coluna vertebral de um paciente com severa cifoescoliose decorrente de neurofibromatose, a partir de arquivos de tomografia computadorizada, para auxiliar no planejamento cirúrgico e orientação intraoperatória.

Trata-se de uma pesquisa pioneira por tratar do emprego de modelo físico impresso em 3D, em tamanho real, da coluna vertebral.

Uma vez que as cirurgias da coluna vertebral apresentam elevado risco cirúrgico, pela proximidade com estruturas nervosas e vasculares, a impressão 3D de modelos anatômicos tem se revelado recurso facilitador do processo de planejamento cirúrgico, resultando em diminuição dos riscos envolvidos em intervenções dessa natureza e otimização de uso dos recursos demandados pela intervenção cirúrgica. Fazem-se necessários novos estudos que analisem e quantifiquem seus benefícios nessas cirurgias para ambos, médicos e pacientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostra

Este estudo consta de um Relato de Caso de um adolescente de 15 anos de idade, sexo masculino, com severa cifoescoliose, decorrente da Doença de Von Recklinghausen (neurofibromatose), evoluindo com sinais neurológicos de paresia e espasticidade em membros inferiores e limitações funcionais, com iminência de paraplegia.

A doença de Von Recklinghausen é uma doença genética caracterizada por tumores no sistema nervoso central e deformidades esqueléticas graves e raras (Oliveira *et al*, 2012). No caso aqui tratado, a deformidade consistiu em uma cifoescoliose com desalinhamento biomecânico concentrado na décima primeira vértebra torácica (Figura 1). As demais deformidades são dessa consequência e constituem uma busca do corpo por compensação (Figura 2). Havia, por conta da deformação, estiramento agudo da medula. A escoliose é classificada como de ângulo curto, envolvendo cinco vértebras e resultando numa deformidade pontiaguda severa local. Deformidades dessa natureza são, em geral, consequência de condições congênitas ou autossômicas, como a neurofibromatose, caso em que a angulação aguda e de segmento curto é comum. Essas correspondem às escolioses realmente perigosas para a segurança neurológica do paciente, oferecendo risco de paraplegia, o qual se dá em virtude do estiramento da medula, consequente da agudeza da deformação (Muniz *et al*, 2006).



Figura 1 - Modelo tridimensional tomográfico da coluna do paciente

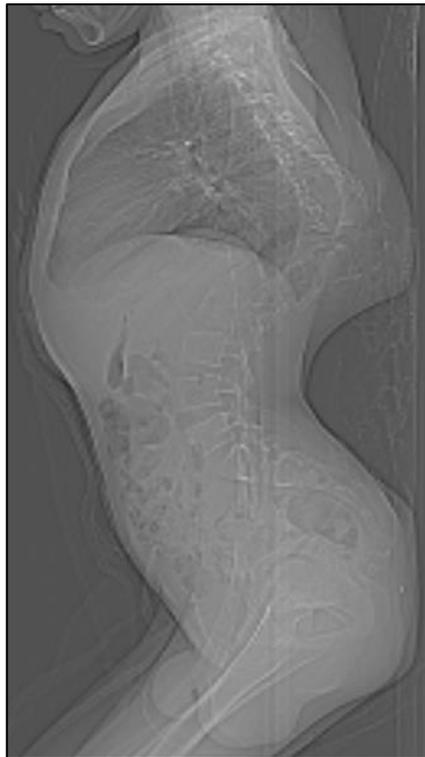


Figura 2 - Vista lateral, em raio X, do tronco do paciente

O paciente já havia sido examinado por diversos cirurgiões, não havendo consenso na tomada de decisão acerca da intervenção cirúrgica, em decorrência do risco e da dificuldade de visualização da anatomia da deformidade apenas pelos exames de imagem, a qual é essencial para a escolha dos procedimentos adequados.

Os sinais de comprometimento neurológico foram agravando-se rapidamente, repercutindo no parecer cirúrgico. Contudo, a complexidade e severidade da deformidade levaram a equipe médica a buscar por mais recursos de planejamento cirúrgico, em especial, o modelo físico 3D, em escala real.

Aquisição de dados

A confecção de modelos anatômicos tridimensionais a partir de tecnologias de diagnóstico por imagem se fundamenta, geralmente, na reprodução de uma região de interesse a partir de um conjunto de imagens geradas por radiação X. Diferentemente do processo de aquisição de imagens por radiologia tradicional, que projeta a imagem em um só plano, a Tomografia Computadorizada (TC) evidencia as relações estruturais em profundidade, apresentando a seção anatômica em coordenadas tridimensionais.

Para a confecção do modelo de estudo deste trabalho utilizou-se 1041 imagens radiográficas, armazenadas em matrizes de 512x512 pixels, com espaçamento padrão de 0.5 mm de espessura entre as seções de reconstrução. O isolamento da região óssea de interesse se deu a partir da definição de visualização do modelo no intervalo de 500 a 1830 em escala de unidade Hounsfield (HU), conforme Figura 3.

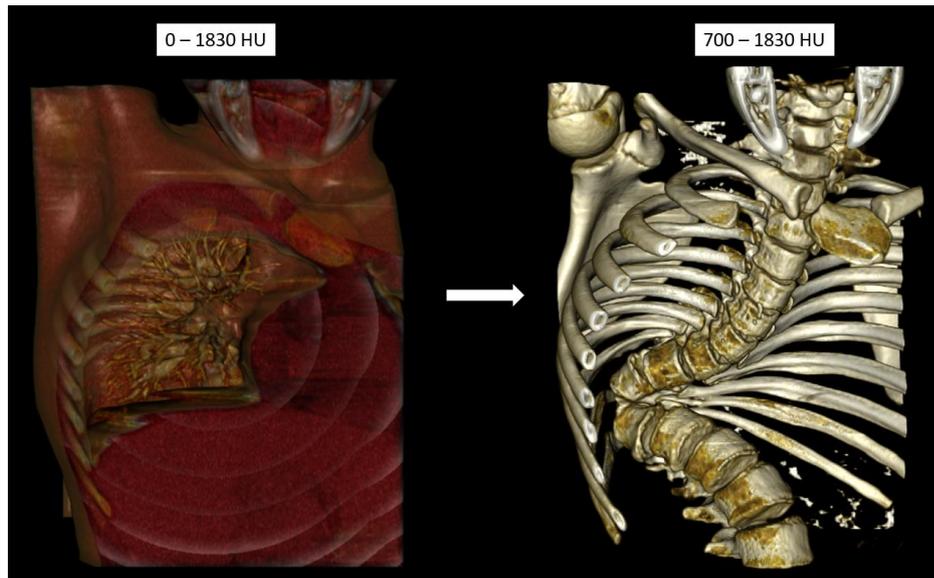


Figura 3 – definição da região de interesse do modelo de estudo

Após a confecção do modelo tridimensional virtual, a próxima etapa fundamentou-se no pós-processamento do objeto de estudo. Tal etapa foi realizada pelo software MeshMixer, da estadunidense Autodesk, e consistiu da eliminação de ruídos e conversão do modelo para o formato STL (*Stereolithography*), compatível com a máquina de Prototipagem Rápida.

Impressão 3D do modelo físico da coluna vertebral

Após a estruturação tridimensional da coluna virtual, o pós-processamento e a conversão do objeto para o formato STL, o modelo foi importado para a máquina de Prototipagem Rápida para a prototipagem.

O processo utilizado para a manufatura do modelo físico da coluna foi a Sinterização Seletiva à Laser (*Selective Laser Sintering - SLS*), que se fundamenta na construção de modelos físicos, camada por camada, a partir da sinterização de partículas de pó. Nessa técnica, um laser de alta potência é utilizado para fundir partículas de polímeros, metais ou cerâmicas em uma determinada camada pré-definida do objeto. O conjunto das camadas sinterizadas forma o objeto físico final.

Para a confecção do modelo físico da coluna utilizou-se a máquina de prototipagem rápida ProX500, do fabricante estadunidense 3D System. O material utilizado para a fabricação

consistiu de uma combinação de nylon 12 e polipropileno. Durante o processo de fabricação, a configuração de espaçamento entre as camadas para a sinterização foi de 0.15mm, totalizando 2.000 camadas de construto para o objeto final.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como intervenção cirúrgica, optou-se por uma vertebrectomia estagiada, cujo objetivo é conter e estabilizar a evolução dos problemas ocasionados pela doença, vez que a reversão é impossibilitada pelas deformidades que se estruturaram *a posteriori* e que já se encontravam estáveis para a idade do paciente, com crescimento já em final de processo. Durante a intervenção cirúrgica, a eliminação da curvatura aguda foi prioritária e intervenções corretivas de maior magnitude foram evitadas com vistas a diminuir o risco cirúrgico. Procedeu-se a uma ressecção da 11ª vértebra, vértice da deformidade, com consequente alívio de tensão na medula, cuja monitorização foi realizada durante todo o procedimento por um neurologista, por meio do estímulo do cérebro e membros inferiores. Mais vértebras eram passíveis de remoção, visando maior correção do desalinhamento biomecânico da coluna. O risco ao sistema nervoso e ao sistema circulatório adjacentes, contudo, tornou tal procedimento não compensatório, optando-se, assim, pela priorização do alívio do estiramento da medula. O estagiamento estendeu-se por dois dias, correspondendo o primeiro à etapa de planejamento cirúrgico e dimensionamento da instrumentação. O segundo dia foi dedicado à vertebrectomia *in situ*. Durante o procedimento, o paciente foi traçado, percebendo-se com isso melhora do quadro neurológico pela diminuição da estricção de seção da medula. Hastes e conectores destinados às manobras de correção do desalinhamento biomecânico precisaram ser adaptados em virtude da raridade da deformidade.

O cirurgião responsável pela intervenção relatou uma melhor e mais rápida cristalização do modelo mental da coluna em virtude da presença do modelo impresso tridimensional (Figura 3), o que resultou em maior segurança dos cirurgiões durante as etapas da intervenção. Um modelo do trecho em torno da décima primeira vértebra foi também impresso em escala 2:1 e mostrou-se fundamental para visualização de estruturas menores, contribuindo, assim, para a identificação de deformidades cuja anatomia distancia-se notavelmente da anatomia usual da coluna saudável, em geral utilizada pelos cirurgiões para treino operatório.



Figura 3 – Protótipo da coluna do paciente impresso em SLS

O cirurgião responsável frisou que ter à disposição apenas chapas tomográficas bidimensionais não seria suficiente para diferenciar apropriadamente cortes tomográficos de realidade anatômica. A continuidade geométrica propiciada pelo modelo impresso foi essencial para o entendimento das deformidades. Ademais, para além da parte óssea, há ligamentos que não são representados adequadamente pela tomografia em virtude de calcificação e que puderam ser mais facilmente diferenciados pela presença do protótipo.

Para além dos ganhos em visualização anatômica, a presença do modelo impresso impactou o planejamento quando da **escolha da instrumentação**. Usualmente, a passagem de parafusos é feita a mão livre: marcos anatômicos visualizados nas radiografias e tomografias são estabelecidos e, então, com a incisão já feita no paciente, decide-se, após apalpação, **o local mais adequado para a instalação dos parafusos**. Com o protótipo disponível, pôde-se, de antemão, fazer as escolhas apropriadas e, além, fora da sala de cirurgia, em transmissão remota, contar com um membro da equipe cirúrgica manipulando-o já com os marcos anatômicos estabelecidos, o que contribuiu para um melhor fechamento da malha de controle mental dos cirurgiões, evitando erros na tomada de decisão sobre o local de instalação e direcionamento dos parafusos, tornando as intervenções mais acuradas.

A visualização, no modelo, da face da coluna ocultada por músculos e outros tecidos no do paciente também contribuiu para uma melhor tomada de decisão durante a intervenção

cirúrgica. Pela espessura e geometria do osso visível, pôde-se saber antecipadamente quão próximo ou longe se estava da face não visível durante a apalpação. A maior segurança e acurácia evitou interrupções do procedimento para realização de radiografias. O aumento de previsibilidade do processo refletiu na confiança e tranquilidade da equipe cirúrgica. A disponibilidade do modelo impresso permitiu a escolha e planejamento apropriados do instrumental para a execução da cirurgia: quais, quantos e onde os componentes deveriam ser instalados para uma correção eficaz, o que evitou a necessidade de tomar esse tipo de decisão durante o ato cirúrgico.

CONCLUSÕES

O cirurgião responsável enxergou o uso do modelo impresso como recurso facilitador do planejamento pré-operatório e orientação intraoperatória para o procedimento cirúrgico executado, para cirurgias de mesmo nível de complexidade e, além, para planejamento de cirurgias de menor nível de complexidade, mas em anatomias de geometria intrincada, como, por exemplo, o osso da pelve. A utilização do modelo 3D em escala real mostrou-se uma ferramenta poderosa para planejamento cirúrgico, poupando tempo, auxiliando na compreensão adequada da anatomia e diminuindo o risco cirúrgico para o paciente, ao aumentar a precisão e confiança da equipe cirúrgica durante a operação. O modelo foi visto como um ganho substancial para quaisquer cirurgias ortopédicas em que a anatomia patológica a sofrer a intervenção seja peculiar, ou seja, distancie-se significativamente da anatomia ordinária esperada pelo cirurgião.

REFERÊNCIAS

1. Arnoff, E. (2017). A LITERATURE REVIEW ON by, 3(8), 14–22.
2. Prajogo, D. I. (2004). Inside Continuous Improvement - a Literature Review. *Jurnal Teknik Industri*, 2(2), 65–71.
3. Ronald Moen. (2009). Foundation and History of the PDSA Cycle. *Associates in Process Improvement-Detroit (USA)*, 2–10. Retrieved from https://www.deming.org/sites/default/files/pdf/2015/PDSA_History_Ron_Moen.pdf
4. Ayoub, A. F., Rehab, M., O'Neil, M., Khambay, B., Ju, X., Barbenel, J., & Naudi, K. (2014). A novel approach for planning orthognathic surgery: The integration of dental

- casts into three-dimensional printed mandibular models. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 43(4), 454–459. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2013.08.016>
5. Lin, H. H., Lonic, D., & Lo, L. J. (2018). 3D printing in orthognathic surgery – A literature review. *Journal of the Formosan Medical Association*, 117(7), 547–558. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2018.01.008>
 6. Mobbs, R. J., Coughlan, M., Thompson, R., Sutterlin, C. E., & Phan, K. (2017). The utility of 3D printing for surgical planning and patient-specific implant design for complex spinal pathologies: case report. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 26(4), 513–518. <https://doi.org/10.3171/2016.9.SPINE16371>
 7. Tam, M. D., Laycock, S. D., Bell, D. G., & Chojnowski, A. (2012). 3-D printout of a DICOM file to aid surgical planning in a 6 year old patient with a large scapular osteochondroma complicating congenital diaphyseal aclasia. *Journal of Radiology Case Reports*, 6(1), 31–37. <https://doi.org/10.3941/jrcr.v6i1.889>
 8. Van Assche, N., Van Steenberghe, D., Guerrero, M. E., Hirsch, E., Schutyser, F., Quirynen, M., & Jacobs, R. (2007). Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: A pilot study. *Journal of Clinical Periodontology*, 34(9), 816–821. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2007.01111>.

