

Modelos 3D do osso temporal – uma abordagem inovadora no treino cirúrgico otológico

Artigo Original

Autores

Sofia Sousa Teles

Ana Claro

Lília Ferraria

Mariana Neto

Rafael Pires

Leonor Oliveira

Joana Dias

Ana Miguel Couto

Ricardo Nelas

João Totxi

David Marcelo

Luís Antunes

Unidade Local de Saúde Almada-Seixal, Portugal

Eduardo Simões

Rodolfo Peralta

Centro de Experimentação Operacional de Veículos Não-Tripulados (CEOV) da Marinha Portuguesa, Portugal

Daniel Nunes

Universidade do Algarve, Fundação Champalimaud, Portugal

Correspondência:

Sofia Sousa Teles

hssteles@gmail.com

Artigo recebido a 8 de Maio de 2025.

Aceite para publicação a 5 de Novembro de 2025.

Resumo

Introdução: A cirurgia do osso temporal exige elevada precisão, dada a complexidade da sua anatomia. O treino cirúrgico tradicional com cadáveres apresenta limitações como escassez de material, variabilidade anatómica e custos elevados. Este estudo explora a utilização de modelos 3D personalizados do osso temporal de doentes propostos para cirurgia otológica, como ferramenta inovadora de treino.

Material e Métodos: Foram criados modelos 3D personalizados a partir da TC de alta resolução do ouvido de cada doente e impressos em resina (White V4, impressora Formlabs 3+). O treino cirúrgico foi realizado antes da cirurgia in vivo. Posteriormente, os cirurgiões preencheram um questionário adaptado da Michigan Standard Simulation Experience Scale (MiSSES) para classificar a utilidade do modelo para treino cirúrgico.

Resultados: Foram utilizados oito modelos, abrangendo procedimentos como implante coclear, canalplastia e timpanomastoidectomia. Todos os inquiridos consideraram o treino útil, relatando maior confiança cirúrgica e potencial redução da taxa de complicações. Destacaram ainda o realismo da brocagem e a utilidade para treino de coordenação mão-olho.

Conclusão: Os modelos 3D do osso temporal representam uma ferramenta pedagógica promissora no treino cirúrgico otológico.

Palavras-chave: Otologia; treino cirúrgico; impressão 3D; manufatura aditiva; modelos 3D; osso temporal; simulação cirúrgica; planeamento cirúrgico

Introdução

A cirurgia otológica exige elevada precisão e conhecimento anatómico, dada a complexidade da região e a proximidade de estruturas nobres como o nervo facial, o labirinto, o *tegmen tympani* e o seio sigmoide¹.

Tradicionalmente, a formação cirúrgica em Otologia assenta na disseção de ossos temporais de cadáver, considerada o padrão-

ouro do treino otológico por permitir uma experiência anatómica e tátil fidedigna². No entanto, este modelo formativo apresenta limitações importantes: a escassez crescente de espécimes, o risco biológico associado ao manuseamento de material humano, os custos logísticos e laboratoriais elevados, a degradação progressiva dos tecidos, e a variabilidade anatómica (ausência de patologia otológica, dificuldade no treino pediátrico), que reduz a abrangência da experiência formativa^{3,4}.

O uso de modelos tridimensionais (3D) no ensino de técnicas cirúrgicas tem ganho destaque nas diferentes especialidades⁴⁻⁷, com a integração progressiva de simuladores e modelos impressos em 3D como complemento ao treino tradicional, contribuindo para a aceleração da curva de aprendizagem e melhoria das competências técnico-cirúrgicas dos internos⁴, resultando em melhor desempenho intraoperatório e potencial redução de erros⁸.

A otologia cirúrgica, com especial ênfase na mastoidectomia, apresenta uma curva de aprendizagem lenta devido à anatomia complexa da região e morbilidade potencial, associada a riscos como lesão do nervo facial^{9,10}, cofose por dano labiríntico¹¹ e meningite¹².

O treino por simulação com realidade virtual revelou-se eficaz em melhorar a destreza dos internos e a sua confiança, mas está limitado pela falta de *feedback* háptico (sensibilidade tátil) e realismo anatómico¹³. Assim, os modelos físicos 3D do osso temporal surgem como alternativa promissora: reproduzem com elevada fidelidade a anatomia óssea e estruturas críticas¹⁴, são acessíveis, não acarretam risco biológico e permitem treino repetido sem necessidade de assepsia e sem risco para o doente^{3,15-21}.

Diversos estudos demonstram elevada aceitação dos modelos 3D por parte de formadores e formandos^{15,18,19,22}, embora a evidência robusta de impacto no desempenho cirúrgico real ainda seja limitada¹⁴. Por outro lado, tanto os ossos cadavéricos como os modelos 3D comerciais apresentam uma limitação comum: a sua anatomia não é

personalizada, pelo que não contemplam variantes anatómicas individuais ou alterações provocadas por patologia ou cirurgia prévia.

Embora altamente variável tendo em conta o material e impressora utilizados, Frithioff et al¹⁹ estima que cada modelo impresso tem um custo aproximado de 15.4 USD, ao passo que o custo estimado de um osso temporal de cadáver para treino cirúrgico se encontre entre os 400-700 USD³. Além do custo associado ao modelo em si, a utilização destes modelos implica também menores custos associados à logística de laboratório (instalações adequadas, conservação dos modelos em formol/congelamento, protocolos de esterilização e segurança biológica), ao passo que os modelos 3D podem ser armazenados ou descartados facilmente e sem necessidade de cuidados específicos de limpeza após a sua utilização^{3,4,6,19}.

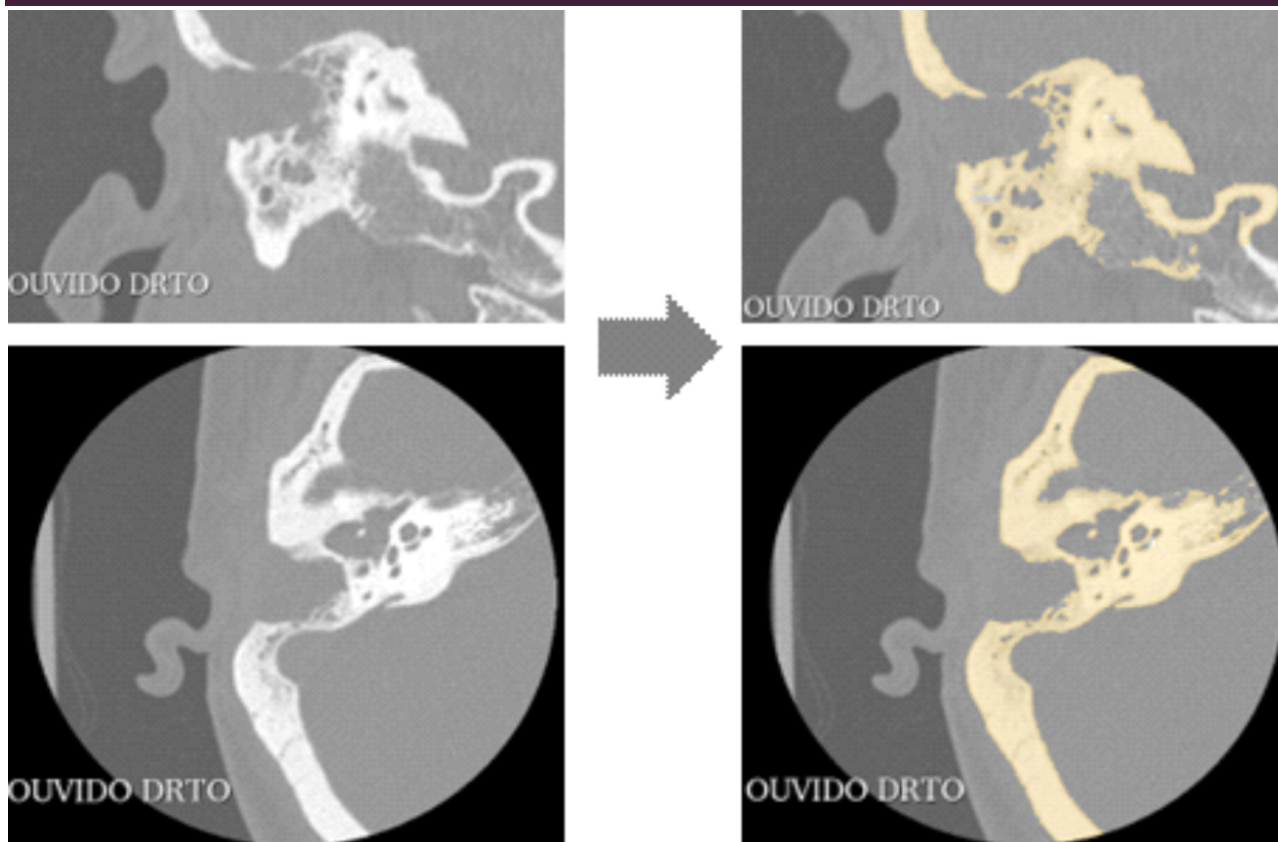
Assim, decidimos realizar um estudo com o objetivo de analisar a utilidade prática do treino cirúrgico com modelos 3D personalizados, gerados a partir de tomografia computadorizada do próprio doente, e assim adaptado à anatomia individual e ao procedimento planeado.

Material e Métodos

Foram utilizados exames de tomografia computadorizada (TC) de alta resolução do osso temporal previamente realizados no contexto clínico habitual, prescritos na consulta de Otorrinolaringologia pelos médicos assistentes dos doentes propostos para cirurgia otológica. A partir destas imagens, procedeu-se à criação dos modelos tridimensionais (3D) virtuais através de segmentação no *software 3D Slicer* (versão 5.8.1).

As fases de modelação e impressão contaram com a colaboração da Célula de Experimentação Operacional de Veículos Não-Tripulados (CEOV) da Marinha Portuguesa. A modulação dos modelos foi realizada utilizando o *software AutoDesk Fusion 360*. Após experimentação de diferentes materiais, optou-se pela resina *White V4*, pela sua coloração e realismo durante a brocagem.

Figura 1
Processo de segmentação



A impressão foi realizada numa impressora *Formlabs 3+*, com resolução de camada de 0,050 mm. O modelo é impresso inicialmente com finos suportes que são facilmente removidos com o auxílio de um gancho de cerúmen ou outro instrumento semelhante, como é visível nas figuras 2 e 3.

Figura 2
Modelo 3D após impressão (previamente à remoção de suportes)

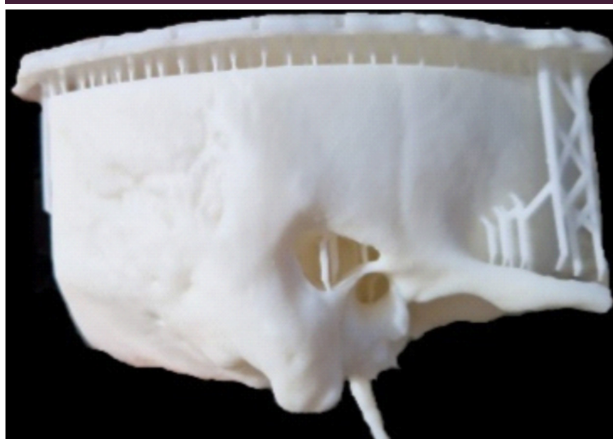
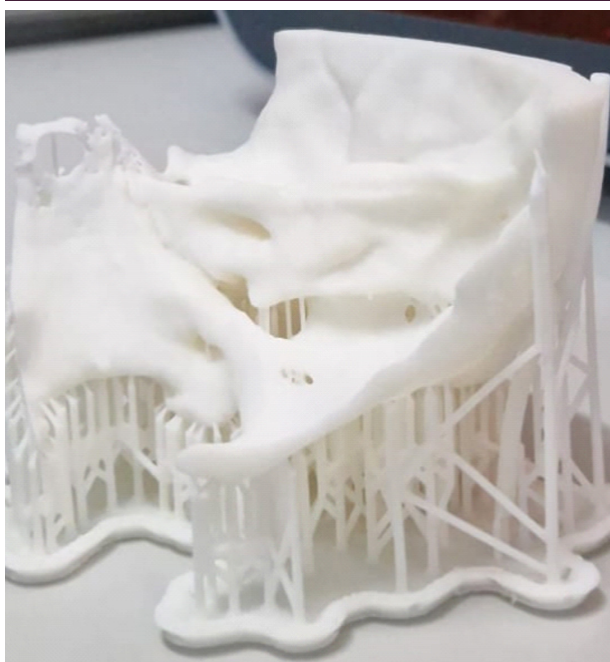


Figura 3
Modelo 3D após impressão (previamente à remoção de suportes)



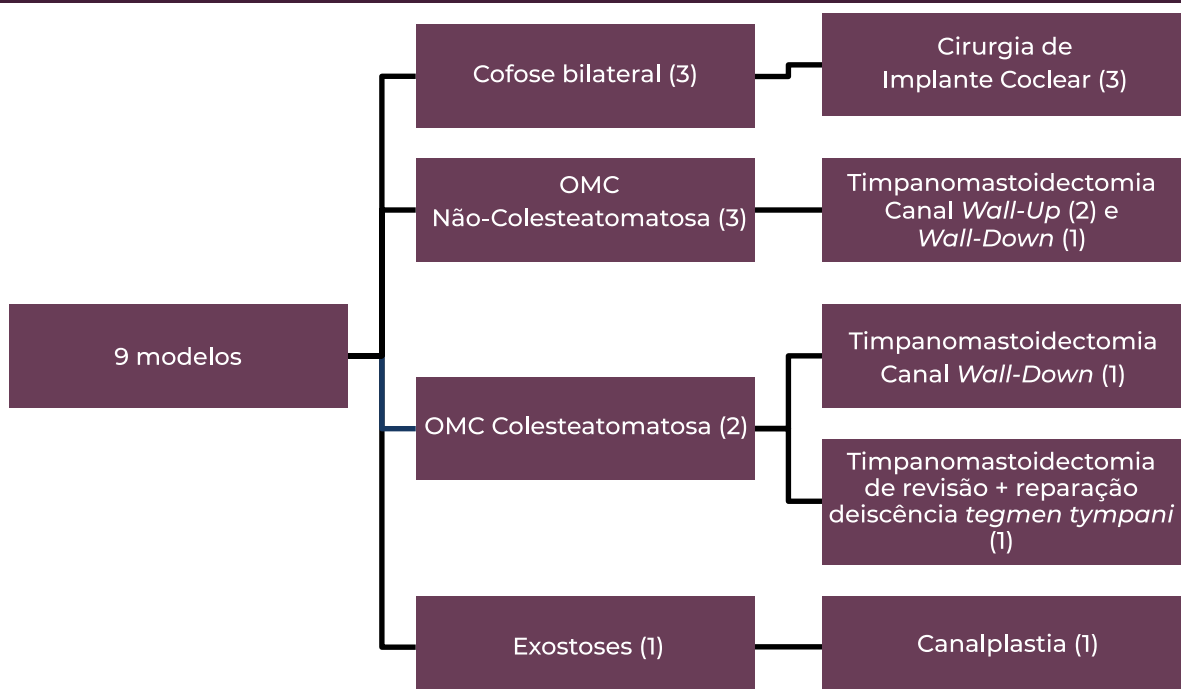
Os modelos foram posteriormente utilizados em contexto de treino cirúrgico no laboratório de disseção do serviço de Otorrinolaringologia da Unidade Local de Saúde Almada-Seixal. Cada modelo foi utilizado para replicar a técnica cirúrgica planeada para o respetivo doente, sendo o treino realizado na mesma semana da cirurgia *in vivo*, sempre antes da cirurgia. O treino cirúrgico foi realizado em horário à escolha do cirurgião assistente, tendo sido utilizado um microscópio otológico, uma peça de mão e brocas de tamanho variável (4mm, 3mm, 2mm), cortantes e diamantadas, e material microcirúrgico habitualmente empregue em bloco operatório.

Para avaliação da utilidade dos modelos 3D no treino cirúrgico, foi desenvolvido um questionário baseado numa versão adaptada da *Michigan Standard Simulation Experience Scale* (MiSSES)²³, o qual foi preenchido pelos cirurgiões após o treino e realização do procedimento cirúrgico real. A análise estatística foi realizada através do Software IBM SPSS® 29.0.0.0.

Resultados

Foram criados nove modelos 3D personalizados do osso temporal, a partir de tomografias computadorizadas de alta resolução de doentes propostos para cirurgia otológica. O treino cirúrgico foi realizado em oito desses modelos, tendo um sido excluído antes da cirurgia por perda da indicação operatória. Entre os doentes incluídos, três apresentavam cofose bilateral, com proposta de implante coclear. Em dois destes casos, foi realizado treino cirúrgico no respetivo modelo (uma doente foi excluída por ter perdido indicação cirúrgica). Três doentes apresentavam otite média crónica (OMC) não colesteatomatosa, dos quais dois foram propostos para timpanomastoidectomia tipo canal *wall-up* e um para canal *wall-down*. Dois doentes apresentavam OMC colesteatomatosa: um em contexto de primeira cirurgia e outro para revisão cirúrgica, com necessidade adicional de reparação de deiscência do *tegmen tympani*. Por fim, um doente apresentava exostoses do canal auditivo externo, com indicação para canalplastia. A distribuição dos modelos por tipo de patologia e cirurgia proposta encontra-se representada na Figura 4.

Figura 4
Indicações clínicas e procedimentos cirúrgicos propostos



O treino cirúrgico foi realizado no laboratório de dissecação da Unidade Local de Saúde Almada-Seixal, replicando no modelo a técnica cirúrgica planeada para cada doente, sem necessidade de cuidados de assepsia. Os procedimentos foram realizados pelos cirurgiões responsáveis pela intervenção *in vivo*, utilizando o mesmo material microcirúrgico e microscópio cirúrgico habitualmente empregues em bloco operatório. A brocagem foi realizada com brocas de 4 mm, 3 mm e 2 mm, variando conforme a fase da dissecação e a proximidade de estruturas críticas. O treino decorreu na mesma semana da cirurgia real, imediatamente antes da mesma, permitindo familiarização prévia com a anatomia específica de cada caso.

Todos os doentes (à exceção da doente previamente referida que perdeu indicação cirúrgica) foram posteriormente submetidos à cirurgia otológica planeada, realizada pelos

mesmos cirurgiões que efetuaram o treino no modelo correspondente.

Após a realização da cirurgia, os cirurgiões preencheram um questionário desenvolvido com base numa versão adaptada da *Michigan Standard Simulation Experience Scale* (MiSSES), complementado com a recolha de dados demográficos. O objetivo foi avaliar a utilidade percebida do treino cirúrgico com os modelos 3D personalizados, nomeadamente em termos de realismo anatómico, aplicabilidade prática, utilidade no planeamento cirúrgico e impacto na confiança do cirurgião.

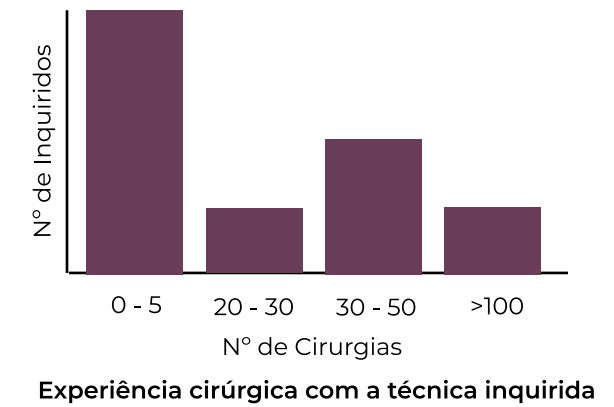
Figura 5
Treino cirúrgico no modelo



Figura 6
Treino cirúrgico de mastoidectomia no modelo



Figura 7
Experiência cirúrgica dos participantes



Experiência cirúrgica com a técnica inquirida

Foram inquiridos oito cirurgiões, com idades compreendidas entre os 27 e os 64 anos, com 75% do género feminino e 25% do género masculino. Do total, cinco eram especialistas em Otorrinolaringologia — incluindo uma com subespecialização formal em Otologia — e três eram internos de formação específica (um do 2.º ano, um do 3.º e um do 5.º). Cada cirurgião testou apenas um modelo e preencheu o questionário apenas uma vez. A experiência clínica prévia na técnica cirúrgica correspondente variava entre os participantes, abrangendo desde menos de cinco procedimentos realizados até mais de uma centena. Para avaliar a satisfação geral, foram analisadas as respostas a cinco questões-chave do questionário, que abordam desde a recomendação do modelo a outros profissionais até a comparação direta com

métodos tradicionais de treino, como o uso de ossos de cadáver. Os resultados mostram que todos os participantes recomendariam o treino cirúrgico com este modelo 3D a outros cirurgiões ou internos, evidenciando um elevado grau de satisfação e confiança na utilidade educativa do método. De igual modo, as médias para as questões relacionadas com o aumento da confiança na realização de procedimentos cirúrgicos (4.5) e a necessidade de incorporar o treino com modelos 3D no currículo de formação específica em otorrinolaringologia (4.5) foram bastante elevadas, com baixa dispersão das respostas. No que diz respeito à transferência das habilidades desenvolvidas durante a simulação para o bloco operatório, a média foi de 4.25, indicando que a maioria dos cirurgiões considera que o treino com modelos 3D tem impacto positivo na prática clínica real.

Por outro lado, a comparação direta com o treino tradicional em ossos de cadáver revelou uma média mais moderada (3.375), com maior variabilidade nas respostas. Este resultado sugere que, embora o modelo 3D seja altamente valorizado, os cirurgiões reconhecem vantagens específicas no método tradicional, ou consideram o treino cirúrgico em modelo 3D útil apenas como forma complementar ao treino tradicional com ossos temporais de cadáver.

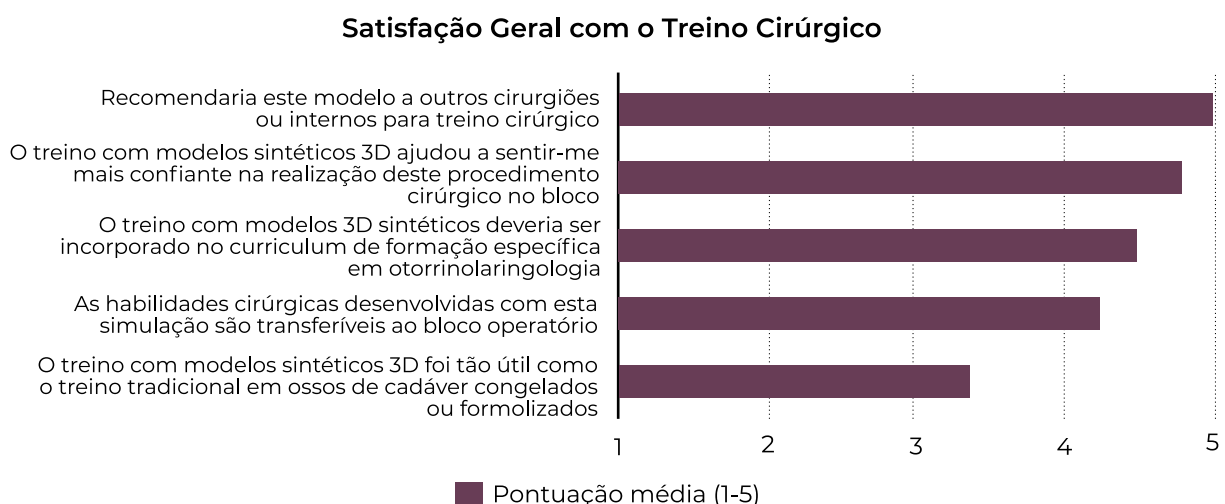
A relação entre experiência prévia em cirurgia e satisfação com o treino em modelos 3D revela uma correlação negativa forte ($r=-0,82$, $p=0,04$ no teste de correlação de Pearson) ou seja, quanto maior a experiência prévia, menor tende a ser a satisfação média com o modelo 3D, sendo esta relação estatisticamente significativa, apesar do baixo número de respostas. A recomendação do modelo recebeu nota máxima (média 5,0, sem variação), indicando unanimidade entre os participantes. O aumento da confiança, incorporação no currículo e transferência de habilidades para o ambiente de bloco operatório também foram muito bem avaliados, com médias entre 4,25 e 4,5 e desvios padrão relativamente baixos, mostrando consenso positivo.

A comparação com o treino tradicional em ossos de cadáver teve a menor média (3,38) e o maior desvio padrão (1,51), sugerindo opiniões mais divididas sobre esse aspeto.

Estes resultados sugerem que o impacto positivo do modelo 3D é mais sentido por quem está em fases iniciais de aprendizagem, enquanto cirurgiões mais experientes podem obter menos valor adicional, possivelmente por já dominarem as técnicas avaliadas. Todos (100% dos inquiridos) recomendariam a sua utilização por outros cirurgiões, o que reforça o papel dos modelos 3D como ferramenta especialmente útil para formação

Figura 8

Gráfico ilustrativo da média de concordância com as afirmações que analisam a satisfação global no questionário MiSSES, sendo 1 (Discordo fortemente) e 5 (Concordo fortemente)



e desenvolvimento de habilidades em profissionais em início de carreira. De uma forma geral, verificou-se existir uma tendência decrescente da satisfação conforme aumenta a especificidade da aplicação (da recomendação geral à comparação com cadáver), com aumento progressivo do desvio-padrão nas questões, indicando maior divergência de opiniões nas questões mais específicas. A comparação com o cadáver é o item que apresenta maior variabilidade de resposta, sugerindo que há ainda espaço para melhoria técnica nestes modelos que aproxime mais a experiência de treino cirúrgico com modelos com a experiência do treino em cadáver ou da cirurgia no doente real. Em relação às sugestões de melhoria, destacam-se a necessidade de melhoria da definição da cadeia ossicular, janelas redonda e oval (limitadas por esta técnica devido à dificuldade de individualização destas estruturas na TC de Ouvido), inclusão e diferenciação de tecidos moles (estruturas e patologia) e melhoria da relação entre cores e contraste no modelo.

Discussão

Este estudo demonstrou que o uso de modelos 3D personalizados do osso temporal, desenvolvidos a partir da tomografia computadorizada de doentes reais, é viável, bem aceite pelos cirurgiões e útil como ferramenta de treino cirúrgico pré-operatório. A elevada perceção de utilidade, particularmente entre os internos, e o aumento reportado de confiança na realização da cirurgia otológica sugerem um papel relevante destes modelos na formação médica especializada.

Estes resultados estão em concordância com trabalhos prévios que reportam elevada aceitação dos modelos 3D na prática otológica e reconhecem o seu valor formativo^{3,15,18,24}. A tendência observada de maior benefício entre cirurgiões em fases iniciais de aprendizagem reforça as conclusões de Frithioff *et al.*²⁴ e Iannella *et al.*¹⁵, que indicam que os modelos impressos têm um impacto formativo mais significativo em aprendizes com menor

experiência prévia. Embora os participantes mais experientes tenham atribuído uma menor pontuação de satisfação, todos recomendaram o uso dos modelos a outros profissionais, reforçando o seu valor formativo. Um dos principais pontos fortes deste estudo reside no carácter personalizado dos modelos utilizados, adaptados à anatomia específica de cada doente e técnica cirúrgica planeada. Esta abordagem representa um avanço face à maioria dos estudos anteriores, baseados em modelos genéricos ou provenientes de doadores cadavéricos. A integração prática do treino no modelo com a cirurgia subsequente, no mesmo doente, confere também uma robustez acrescida à avaliação do impacto percebido. Entre as limitações do presente estudo, destaca-se o número reduzido de participantes e a ausência de um grupo controlo que permitisse comparar o treino com modelos 3D ao treino com ossos de cadáver ou a ausência de qualquer treino cirúrgico. Adicionalmente, a avaliação baseou-se em medidas subjetivas de satisfação e confiança, não sendo incluídas métricas objetivas de desempenho cirúrgico. Foram também reportadas limitações técnicas no modelo, como a definição insuficiente da cadeia ossicular e das janelas redonda e oval. A qualidade da imagem de base (TC de alta resolução) condiciona a definição anatómica, especialmente de estruturas finas como a cadeia ossicular ou as janelas oval e redonda^{14,16}. A criação do modelo implica uma curva de aprendizagem técnica acentuada e está sujeita a erro humano, nomeadamente nas fases de segmentação e modulação¹⁴. O material escolhido para impressão influencia diretamente o realismo tátil: resinas demasiado rígidas ou frágeis podem comprometer a simulação da brocagem¹⁹. A maioria das impressoras permite apenas a utilização de um único material por impressão, inviabilizando a diferenciação entre tecidos duros e moles. Acresce a ausência de feedback biomecânico e a impossibilidade de simular propriedades fisiológicas, como resistência variável ou hemorragia, o que limita o treino

sensorial²². Finalmente, os custos de impressão, a necessidade de *software* especializado e a necessidade de montagem manual pós-impressão em modelos multicomponentes podem representar barreiras adicionais à sua adoção generalizada.

Apesar destas limitações, os resultados obtidos sugerem que os modelos 3D personalizados poderão representar uma ferramenta pedagógica com elevado potencial na formação otológica. A sua integração no currículo de formação específica em Otorrinolaringologia, particularmente em fases iniciais de aprendizagem, poderá contribuir para um treino mais seguro, eficiente e centrado no doente. Estudos futuros deverão incluir amostras maiores, grupos controlo e instrumentos de avaliação objetiva para validar o impacto real destes modelos na performance cirúrgica. A evolução dos materiais e técnicas de impressão, assim como a possível integração com tecnologias de realidade aumentada e feedback háptico, representam caminhos promissores para o aperfeiçoamento desta abordagem.

Conclusão

A utilização de modelos 3D personalizados do osso temporal do próprio doente representa uma inovação promissora no treino cirúrgico otológico. A sua utilização permite um treino pré-operatório realista, centrado na anatomia individual de cada caso, com impacto positivo na confiança dos cirurgiões e no desempenho cirúrgico. Apesar de existirem limitações técnicas associadas ao processo de criação e ao próprio material utilizado, os modelos foram bem aceites pelos profissionais, sobretudo nas fases iniciais de formação. A sua integração progressiva no currículo da formação específica poderá representar um avanço na formação cirúrgica, contribuindo para uma prática mais segura, eficiente e personalizada. São necessários estudos adicionais, com maior amostra e avaliação objetiva de desempenho, para validar o impacto real destes modelos na prática clínica.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à Célula de Experimentação Operacional de Veículos Não-tripulados (CEOV) da Marinha Portuguesa que contribuiu com apoio técnico e suportou os custos financeiros da impressão dos modelos.

Conflito de Interesses

Os autores declaram que não têm qualquer conflito de interesse relativo a este artigo.

Confidencialidade dos dados

Os autores declaram que seguiram os protocolos do seu trabalho na publicação dos dados de pacientes.

Proteção de pessoas e animais

Os autores declaram que os procedimentos seguidos estão de acordo com os regulamentos estabelecidos pelos diretores da Comissão para Investigação Clínica e Ética e de acordo com a Declaração de Helsínquia da Associação Médica Mundial.

Política de privacidade, consentimento informado e Autorização do Comité de Ética

Os autores declaram que têm o consentimento por escrito para o uso de fotografias dos cirurgiões inquiridos neste artigo.

Financiamento

Os custos financeiros da impressão dos modelos foram suportados pela Célula de Experimentação Operacional de Veículos Não-tripulados (CEOV) da Marinha Portuguesa.

Disponibilidade dos Dados científicos

Não existem conjuntos de dados disponíveis publicamente relacionados com este trabalho.

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de redação

Durante a preparação deste trabalho, os autores utilizaram [ChatGPT 4.0] para [resumo do texto, melhoria da linguagem e legibilidade, redução das citações para incluir apenas as 25 permitidas]. Após a utilização desta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) reviu(ram) e editou(aram)

o conteúdo conforme necessário e assume(m) total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

Referências Bibliográficas

1. Zagzoog N, Yang VXD. State of robotic mastoidectomy: literature review. *World Neurosurg.* 2018 Aug;116:347-351. doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.194.
2. Hu M, Wattchow D, de Fontgalland D. From ancient to avant-garde: a review of traditional and modern multimodal approaches to surgical anatomy education. *ANZ J Surg.* 2018 Mar;88(3):146-151. doi: 10.1111/ans.14189.
3. Rose AS, Webster CE, Harrysson OL, Formeister EJ, Rawal RB, Iseli CE. Pre-operative simulation of pediatric mastoid surgery with 3D-printed temporal bone models. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2015 May;79(5):740-4. doi: 10.1016/j.ijporl.2015.03.004.
4. Jiang Y, Jiang H, Yang Z, Li Y. The current application of 3D printing simulator in surgical training. *Front Med (Lausanne).* 2024 Aug 29;11:1443024. doi: 10.3389/fmed.2024.1443024.
5. Sun Z. Patient-specific 3D-Printed models in pediatric congenital heart disease. *Children (Basel).* 2023 Feb 7;10(2):319. doi: 10.3390/children10020319.
6. Saemann A, De Rosa A, Zubizarreta Oteiza J, Sharma N, Thieringer FM, Soleman J. et al. Innovating neurosurgical training: a comprehensive evaluation of a 3D-printed intraventricular neuroendoscopy simulator and systematic review of the literature. *Front Surg.* 2024 Nov 5;11:1446067. doi: 10.3389/fsurg.2024.1446067.
7. Yan M, Huang J, Ding M, Wang J, Song D. 3D-printed model is a useful addition in orthopedic resident education for the understanding of tibial plateau fractures. *Sci Rep.* 2024 Oct 22;14(1):24880. doi: 10.1038/s41598-024-76217-z.
8. Hunter SE, Freiburger JJ, Dear GdeL, Stolp BW, Moon R. A descriptive analysis of middle ear barotrauma in patients undergoing hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med.* 2001;28(27).
9. Gurgel RK, Dogru S, Amdur RL, Monfared A. Facial nerve outcomes after surgery for large vestibular schwannomas: do surgical approach and extent of resection matter? *Neurosurg Focus.* 2012 Sep;33(3):E16. doi: 10.3171/2012.7.FOCUS12199.
10. Huang X, Xu J, Xu M, Chen M, Ji K, Ren J. et al. Functional outcome and complications after the microsurgical removal of giant vestibular schwannomas via the retrosigmoid approach: a retrospective review of 16-year experience in a single hospital. *BMC Neurol.* 2017 Jan 31;17(1):18. doi: 10.1186/s12883-017-0805-6.
11. Al Anazy FH, Alobaid FA, Alshiha WS. Sensorineural hearing loss following tympanoplasty surgery: a prospective cohort study. *Egypt J Otolaryngol.* 2016;32(2):93-97. doi:10.4103/1012-5574.181083
12. Gowrishankar SV, Fleet A, Tomasoni M, Durham R, Umeria R, Merchant SA. et al. The risk of meningitis after cochlear implantation: a systematic review and meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2023 Sep;169(3):467-481. doi: 10.1002/ohn.309.
13. Batsaikhan T, Seo YJ. Virtual reality simulators for temporal bone dissection: overcoming limitations of previous models. *Res Vestib Sci.* 2024;23(1):1-10. doi:10.21790/rvs.2024.002.
14. Frithioff A, Frendø M, Pedersen DB, Sørensen MS, Wuyts Andersen SA. 3D-printed models for temporal bone surgical training: a systematic review. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2021 Nov;165(5):617-625. doi: 10.1177/0194599821993384.
15. Iannella G, Pace A, Mucchino A, Greco A, De Virgilio A, Lechien JR. et al. A new 3D-printed temporal bone: 'the SAPIENS'—specific anatomical printed-3D-model in education and new surgical simulations. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2024 Sep;281(9):4617-4626. doi: 10.1007/s00405-024-08645-6.
16. Bento RF, Rocha BA, Freitas EL, Balsalobre FA. Otobone®: Three-dimensional printed temporal bone biomodel for simulation of surgical procedures. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2019 Oct;23(4):e451-e454. doi: 10.1055/s-0039-1688924.
17. Bartling ML, Rohani SA, Ladak HM, Agrawal SK. Micro-CT of the human ossicular chain: Statistical shape modeling and implications for otologic surgery. *J Anat.* 2021 Oct;239(4):771-781. doi: 10.1111/joa.13457.
18. Molinari G, Emiliani N, Cerenelli L, Bortolani B, D'Azzeo R, Burato A. et al. A novel 3D printed multi-material simulator for endoscopic stapes surgery: the "3D Stapes Trainer." *Laryngoscope.* 2025 Apr 7. doi: 10.1002/lary.32168.
19. Frithioff A, Weiss K, Frendø M, Senn P, Mikkelsen PT, Sieber D. et al. 3D-printing a cost-effective model for mastoidectomy training. *3D Print Med.* 2023 Apr 17;9(1):12. doi: 10.1186/s41205-023-00174-y.
20. Frithioff A, Weiss K, Senn P, Mikkelsen PT, Sørensen MS, Pedersen DB. et al. 3D-printed temporal bone models for training: does material transparency matter? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2024 Sep;184:112059. doi: 10.1016/j.ijporl.2024.112059.
21. Bakhos D, Velut S, Robier A, Al zahrani M, Lescanne E. Three-dimensional modeling of the temporal bone for surgical training. *Otol Neurotol.* 2010 Feb;31(2):328-34. doi: 10.1097/MAO.0b013e3181c0e655.
22. Chien WW, da Cruz MJ, Francis HW. Validation of a 3D-printed human temporal bone model for otology surgical skill training. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg.* 2021 Jan 14;7(2):88-93. doi: 10.1016/j.wjorl.2020.12.004.
23. Seagull FJ, Rooney DM. Filling a void: Developing a standard subjective assessment tool for surgical simulation through focused review of current practices. *Surgery.* 2014 Sep;156(3):718-22. doi: 10.1016/j.surg.2014.04.048.
24. Frithioff A. 3D-printed models for training temporal bone surgery [Thesis on the Internet]. [Copenhagen]: University of Copenhagen; Faculty of Health and Medical Science. 91 p. Available from: https://otonet.dk/AndreasFrithioff_thesis.pdf