



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

O Impacto da Impressão 3D em ORL

Bernardo Tomás Ferreira

Maió'2019



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



FACULDADE DE
MEDICINA
LISBOA

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

O Impacto da Impressão 3D em ORL

Bernardo Tomás Ferreira

Orientado por:

Dr. Marco António Alveirinho Cabrita Simão

Maio'2019

Resumo

A utilização da impressão 3D no âmbito da medicina tem vindo a aumentar ao longo dos anos, não só pela sua utilidade demonstrada na criação de próteses personalizadas para cada indivíduo e no planeamento pré-cirúrgico, como também no ensino e formação de jovens profissionais e educação dos doentes.

A otorrinolaringologia é uma das especialidades que usufrui dos grandes benefícios deste avanço tecnológico, tratando-se de uma área que aborda uma ampla variedade de problemas, tanto numa vertente médica como cirúrgica.

A presente dissertação tem como finalidade reunir e expor as principais contribuições desta tecnologia para a otorrinolaringologia, aprofundando o seu impacto tanto na sua prática como no seu ensino.

Palavras Chave: Impressão; 3D; Modelos; Ensino; Otorrinolaringologia.

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FML

Abstract

The use of 3D printing within the field of medicine has been growing over the years, not only because of its demonstrated utility regarding the creation of custom prosthetic implants for each person and pre-operative planning, but also when it comes to the teaching and training of young professionals and the education of patients.

Otolaryngology is one of the medical specialties that benefits a lot from this technological advance, being an area that deals with a diverse multitude of problems, both from a medical and surgical standpoint.

The goal of this thesis is to gather and expose the main contributions of this technology towards otolaryngology, going in depth on the impact it has both in its practice and in its teaching.

Keywords: Printing; 3D; Models; Teaching; Otolaryngology.

Índice

Introdução	7
Impacto da Impressão 3D na Prática e na Educação de ORL	9
Otologia	9
Rinologia	11
Laringe e Traqueia	12
Maxilofacial	13
Educação	14
O Futuro da impressão 3D em ORL	17
Conclusão	19
Agradecimentos	20
Bibliografia	21

Introdução

A reconstrução de estruturas com base em imagens de cortes seriados é uma técnica utilizada desde há muitos anos. É exemplo a técnica de Born, utilizada no Instituto de Anatomia da Faculdade de Medicina de Lisboa (FML), na qual camadas de cera são sobrepostas de modo a reproduzir a imagem de um corte macroscópico ou histológico. Desta forma, consegue-se reconstruir anatomicamente uma estrutura de forma tridimensional. Com os avanços tecnológicos recentes em múltiplas áreas, estas ideias evoluíram para a impressão 3D computadorizada que vemos na atualidade.

Inventada por Charles Hull no início dos anos 80, a Impressão 3D foi inicialmente designada por estereolitografia e descrita como a impressão de várias camadas sobrepostas sequencialmente até à criação de um objeto tridimensional. (1) O processo através do qual se consegue fabricar este objeto, adaptado à medicina, consiste essencialmente em 5 passos: 1. Obtenção de dados a partir de um exame imagiológico (frequentemente ressonância magnética ou tomografia computadorizada); 2. Segmentação (seleção da região de interesse); 3. Transformação dessa informação numa imagem 3D digital; 4. Seleção e transferência da imagem 3D para uma impressora com capacidade para a suportar; 5. Escolha dos materiais em que se pretende imprimir o objeto. (2,3) Esta sequência aparece esquematizada na figura 1.



Fig. 1 - Passos necessários para a criação de um modelo 3D em medicina.

Desde então, existem já dezenas de processos de impressão 3D, usando diferentes impressoras, velocidades, resoluções e centenas de materiais, como plástico, metal, cerâmica,

pós, líquidos ou até mesmo células vivas. (4) Merece especial destaque o processo designado “Bioprinting”, uma extensão da engenharia de tecidos que utiliza células vivas impressas num padrão altamente preciso com a finalidade de recriar órgãos vivos. (5) Este processo tem sido o principal responsável pelo impacto desta tecnologia na área da medicina, sendo responsável pela criação de tecidos funcionais como o osso, a pele ou a cartilagem, capazes de proliferação, migração e diferenciação celular. (2,6)

A impressão 3D foi primeiro adotada pelas indústrias automóvel e aeroespacial, surgindo mais tarde produtos como joias, baterias e implantes médicos. (2) Estes últimos seriam o princípio desta revolução na medicina. Desde então, a comunidade médica tem vindo a aperceber-se da utilidade e potencial que a impressão 3D apresenta, incorporando-a numa grande maioria das suas áreas através não só de implantes, mas também próteses, modelos para aprendizagem e planeamento cirúrgico. (6)

Lidando com uma multiplicidade de patologias, que podem envolver tanto a vasta complexidade da cabeça e pescoço, como os detalhes minuciosos do ouvido ou das fossas nasais, a otorrinolaringologia (ORL) é uma das áreas que mais tem beneficiado desta tecnologia. Esta especialidade encara esta inovação como uma oportunidade de aumentar a taxa de sucesso de médicos e estudantes, preparando-os para as particularidades de cada entidade que possam vir a encarar.

Impacto da Impressão 3D na Prática e na Educação de ORL

Atualmente, as vantagens e possibilidades proporcionadas pela impressão 3D na medicina têm vindo a aumentar, de tal forma que muitos hospitais procuram ter pelo menos uma impressora 3D na sua posse. (2) Ainda que se possa considerar numa fase algo embrionária, existem já diversas formas de aproveitar esta tecnologia para a prática médica, como a impressão de órgãos, ossos ou até mesmo tumores, que ajudam os médicos no planeamento cirúrgico e no diagnóstico de casos mais complicados. (7) Tem também sido uma ferramenta complementar no avanço de áreas como a transplantação ou a investigação oncológica. (8,9) A literatura está repleta de situações em que a prática clínica e cirúrgica é melhorada pelo uso desta tecnologia.

Posto isto, é fácil perceber como uma área como a Otorrinolaringologia tem visto nesta ferramenta uma enorme oportunidade de evoluir e melhorar como especialidade em todas as suas vertentes. Em seguida serão abordadas as principais contribuições encontradas na literatura para cada uma destas.

Otologia

Em doenças crónicas do ouvido médio, sobretudo relacionadas com um processo infeccioso, 60% dos casos resultam num defeito da cadeia ossicular, levando a surdez de condução. Nestas situações eram utilizadas próteses dos ossículos em ossiculoplastias, o procedimento microcirúrgico dedicado especificamente à reconstrução desta cadeia, dada a sua biocompatibilidade e estabilidade. As limitações encontravam-se no facto destes ossículos serem estruturas complexas que variam de indivíduo para indivíduo, necessitando o molde de ser criado durante as cirurgias, o que aumentava o tempo e dificuldade das mesmas. Para além disto, existe associado a este procedimento um risco elevado de perfuração da membrana timpânica, atribuído não só a complicações tensionais pós-cirúrgicas, mas também à incapacidade dos novos moldes de se integrarem biologicamente na cadeia, corrigindo apenas o defeito mecânico. A impressão 3D e a técnica de Bioprinting vieram facilitar este processo e atenuar as suas complicações, não só permitindo criar estes moldes previamente à cirurgia de modo a evitar a manipulação e reconstrução dos ossículos intra-operatoriamente, mas também utilizando tecidos biológicos que se integrem melhor na cadeia e cuja capacidade superior de estabilização já está comprovada. Já foram mesmo realizadas experiências com ossículos capazes de libertar substâncias que induzem a osteogénese e promovem o crescimento de tecidos, contribuindo ainda mais para a integração biológica e estabilização futura. (6,10)

Outra utilidade dentro desta área é a produção de aparelhos auditivos, tanto intra como retro auriculares, sendo o primeiro mais caro e difícil de produzir uma vez que necessita ser modelado ao canal auditivo de cada doente. Este processo era complexo e exigia uma série de passos por parte de várias entidades, algo que acabava por consumir bastante tempo. Tal veio a ser facilitado com a impressão 3D, que apenas requer que uma imagem digital do ouvido pretendido seja enviada ao técnico da impressora. Resina é utilizada como o material de base, colocando-se posteriormente os dispositivos eletrónicos. (11) Atualmente existem já mais de 10 milhões destes aparelhos 3D que são mais confortáveis e económicos do que os que eram previamente fabricados. (12)

É ainda possível reconstruir totalmente o pavilhão auricular de forma consistente e sustentável, algo previamente difícil dada a complexidade do tecido cartilágneo. Uma publicação de 2014 relata a produção bem-sucedida destas próteses para 3 doentes com anotia, uma condição caracterizada pela ausência de pavilhão auricular. Na figura 2 observa-se um destes doentes antes e após a colocação da prótese impressa em 3D. Desde então, esta técnica já foi replicada com diversos materiais e propriedades, podendo vir a ser possível que estas próteses tenham alguma componente sensorial no futuro e ultrapassem a utilidade estética. (6,13,14)



Fig. 2 - Prótese em silicone de um pavilhão auricular que fica ancorado magneticamente em pilares metálicos osteo-integrados, num doente com uma malformação congénita (anotia). (13)

Finalmente, esta tecnologia é também aplicada na reconstrução da membrana timpânica. A perfuração crónica desta membrana é muitas vezes consequência de uma otite média crónica, uma doença que afeta mais de 30 milhões de indivíduos mundialmente por ano. A estrutura particular do tímpano foi sempre um obstáculo à sua reconstrução sintética, previamente conseguida através da utilização da fáschia temporalis, um tecido frágil e com potenciais defeitos intrínsecos que poderiam levar posteriormente a re-perfurações. Contudo, um estudo publicado em 2016 refere ter conseguido, através da impressão 3D multimaterial, reproduzir membranas que demonstraram ser mais resistentes e similares ao tecido timpânico original, chegando até mesmo a apresentar propriedades acústicas, o que representa de momento uma importante área de interesse para a otologia e necessita de mais investigação. (6,15)

Rinologia

Passando à rinologia, esta emprega já a impressão 3D em situações como a reconstrução do septo nasal em casos de perfuração ou rinoplastias. O tratamento das perfurações é preferencialmente cirúrgico, havendo, no entanto, alguma dificuldade quando estas são maiores e mais irregulares. Para estes casos, não indicados para cirurgia, pode optar-se por próteses sintéticas, sendo que cerca de 1/3 dos doentes acabam por remover a prótese devido ao desconforto causado. Contudo, um estudo de 2016 comparou a eficácia

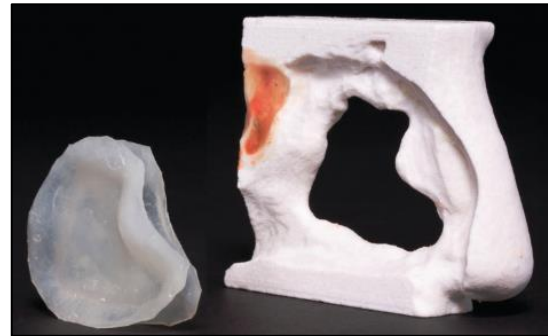


Fig. 3 - Através da impressão 3D foi reconstruída a perfuração do septo nasal e produzida uma prótese em silicone para encerrar essa perfuração num caso específico. (16)

entre próteses produzidas através de impressão 3D e as que eram fabricadas previamente, concluindo que as primeiras permitiam uma mais precisa correção dos defeitos e causavam menos desconforto, levando a uma maior tolerância a longo prazo por parte dos doentes. Uma destas próteses pode ser observada juntamente com a reconstrução da perfuração na figura 3. (16) No caso da rinoplastia, uma das cirurgias plásticas estéticas mais populares a nível mundial, esta vê na impressão 3D uma excelente ferramenta de progresso. Até 2017, não existia nenhum estudo que tivesse aplicado esta tecnologia em rinoplastias humanas, cingindo-se a investigações laboratoriais em animais. Nesse ano, uma equipa submeteu 7 pacientes a rinoplastias após ter desenvolvido uma tecnologia com base nos princípios da impressão 3D capaz de fabricar implantes personalizados de forma rápida, económica, intuitiva e fidedigna.

Com resultados positivos, concluiu-se que, embora ainda numa fase inicial, esta tecnologia pode vir a contribuir significativamente para este tipo de procedimentos. (17)

Laringe e Traqueia

A laringologia não é a que mais beneficia desta tecnologia, uma vez que a laringe é um órgão dinâmico e complexo, com múltiplas funções que a tornam difícil de replicar. (6) Ainda assim, a procura de meios capazes de modificar o tipo de voz que se começa a sentir na sociedade atual poderá vir a desenvolver a aplicação 3D nesta área.

Deste modo, a impressão 3D foca-se sobretudo nas reconstruções da traqueia. A traqueobroncomalácia é uma doença pediátrica das vias aéreas que ocorre sobretudo em recém-nascidos e se manifesta através de colapso das vias aéreas e insuficiência respiratória, apresentando-se como uma entidade difícil de tratar. Neste contexto, em 2013, uma equipa médica conseguiu salvar a vida a um recém-nascido com esta doença, criando através da tecnologia 3D um molde da sua via aérea e uma tala traqueal bioabsorvível de dimensões adequadas à lesão, que foi reabsorvida ao longo de 3 anos e permitiu à criança sobreviver até à data. O molde da via aérea deste doente com a tala impressa em 3D podem ser observados na figura 4. (18) Este método já foi utilizado desde então em mais 4 pacientes e é neste momento alvo de um estudo que procura comprovar a sua eficácia e levar à aprovação por parte das entidades responsáveis. (19)

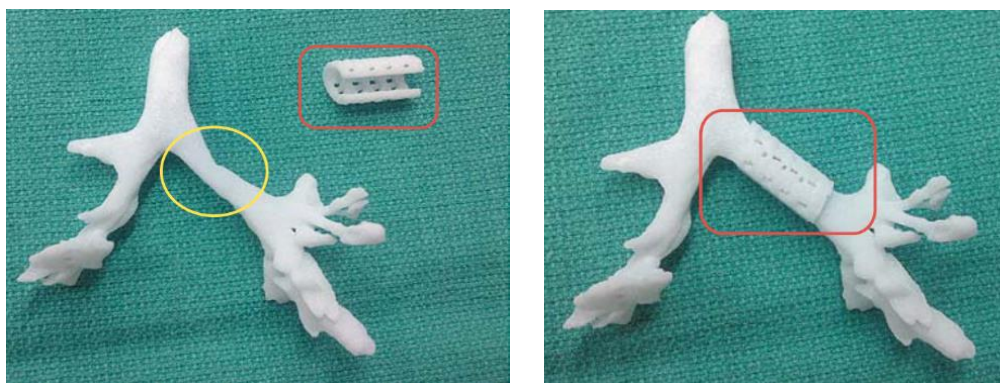


Fig. 4 - Molde 3D da via aérea de um paciente ao lado da tala (à esquerda) e mesmo molde com a tala no local pretendido (à direita). (18)

Estas inovações têm provado ser bastante positivas em situações como pequenas lesões e estenoses, sendo o panorama diferente no que toca a reconstruções de maiores dimensões da

traqueia. Quando é necessário remover mais de 6 cm da traqueia, não é possível realizar uma anastomose entre as duas extremidades uma vez que a tensão mecânica local seria enorme e levaria a complicações pós-operatórias, pelo que se pode optar pelo uso de enxertos de traqueias alogénicas. Esta opção obriga a uma imunossupressão prolongada que aumenta o risco de infeções, não sendo a ideal. Um método alternativo surge então na forma de segmentos impressos em 3D usando técnicas de bioprinting, idealmente capazes de recriar o tecido epitelial ciliado suportado por um tubo longitudinal rígido e flexível, com capacidade de regeneração, remodelação e revascularização. Isto também significaria uma forma mais rápida e económica de solucionar estas situações, com a vantagem acrescida de apenas ser necessária uma cirurgia. No entanto, estudos recentes têm demonstrado que este procedimento ainda está longe de ser o ideal, uma vez que a revascularização e a manutenção da função do segmento a longo prazo continuam a ser obstáculos significativos. Estes poderão vir a ser ultrapassados com avanços na área da angiogénese e com o desenvolvimento de tecidos mais sofisticados e capazes de recriar melhor a complexidade do tecido traqueal. (6,20)

Maxilofacial

Os implantes 3D têm grande utilidade nesta área em que a reconstrução dos diversos defeitos maxilofaciais sempre se apresentou como um desafio. Um dos principais problemas reside no tempo despendido a ajustar de forma extremamente precisa o contorno das placas de titânio usadas na junção de ossos adjacentes intra-operatoriamente, enquanto o doente está anestesiado.

Um exemplo específico nesta área são as cirurgias de reconstrução mandibular, nas quais este processo podia consumir até cerca de uma hora em casos mais complicados, sobretudo se na presença de invasão tumoral. Com a aplicação desta nova tecnologia, passa a ser possível contornar esta situação, criando e ajustando as placas previamente e reduzindo o tempo operatório, o que traz benefícios como a menor exposição à anestesia e a diminuição das perdas hemáticas. (2,21) As mesmas vantagens aplicam-se aos casos de reconstruções de defeitos maxilofaciais pós-traumáticos complexos. Estes doentes apresentam muitas vezes lesões fatais que obrigam ao adiamento da reconstrução facial até estarem estáveis, o que pode comprometer os resultados cirúrgicos. (22)

Outra utilidade surge no caso da primeira mandíbula personalizada através da tecnologia 3D a ser implantada com sucesso numa doente de 83 anos em 2012. Esta sofria de osteomielite progressiva em quase toda a extensão da mandíbula, após a cirurgia, para além da

recuperação estética, já era capaz de deglutir e falar normalmente. (23) Esta situação abriu as portas para que esta técnica fosse usada daqui para a frente, continuando a ser promissora até à data. (24,25)

Educação

A impressão 3D tem um impacto significativo no ensino e formação, tanto de médicos como doentes, apresentando-se como uma ferramenta essencial à melhor compreensão do que se pretende explorar. Um estudo de 2017 avaliou a aplicação de modelos 3D para combater as dificuldades existentes na visualização de imagens anatómicas bidimensionais. O que se concluiu foi que a capacidade de orientação espacial e visualização de profundidade, associada à possibilidade de manuseamento de determinado segmento anatómico contribuem para a clara vantagem dos modelos 3D, diminuindo o tempo de observação necessário e a disparidade entre os mais e os menos experientes. (26) Está já também documentado o caso de um neurocirurgião no Brasil que utiliza protótipos de colunas, em plástico, obtidos através de exames imagiológicos dos seus doentes para educar tanto alunos como pacientes. (7)

Dada a utilidade comprovada destes moldes, este tipo de abordagem pode e deve ser adotado por outras especialidades. Neste contexto, duas faculdades em Sydney proporcionam já aos seus alunos aulas de anatomia com o auxílio de ossos 3D, havendo perspectivas futuras para aplicação deste método noutras disciplinas e com outros órgãos. O sucesso deste modelo fez com que outras faculdades em vários países comesçassem a estudar esta abordagem. (7,27)

Perante tudo isto, a otorrinolaringologia é uma das áreas que tem vindo a investir nesta via, tendo bastante a ganhar com esta metodologia. É importante salientar que, embora não substitua a experiência clínica, a simulação em si apresenta um benefício comprovado no treino de qualquer médico, existindo já inúmeros modelos de simulação no mercado. (28) Foram já utilizados, por exemplo, modelos 3D da base do crânio e de seios perinasais na simulação de procedimentos endoscópicos e cirúrgicos, salientando-se o grande potencial aqui apresentado na educação cirúrgica e no treino dos menos experientes. Estes conseguem assim aperfeiçoar determinadas técnicas e adquirir capacidades psicomotoras, ao mesmo tempo que diminuem o risco associado à utilização de doentes para essa finalidade e eliminam a necessidade de dissecar cadáveres para obter as mesmas estruturas anatómicas. (21)

Estão também relatadas as vantagens desta tecnologia em situações como a recriação de ossos temporais para o ensino e treino cirúrgicos, a produção de um simulador cirúrgico do ouvido médio ou a impressão de tecido auricular cartilagíneo para simulação de reconstrução

auricular. (29–31) O que todos estes têm em comum é a constatação de que a impressão 3D proporciona modelos fiáveis, fáceis de reproduzir de forma económica e com vantagens significativas no que toca à formação inicial e treino direcionado de alunos e cirurgiões.

Além disto, um estudo comparou ainda ossos temporais de cadáveres reais com os modelos 3D correspondentes, concluindo que estes últimos eram altamente realistas e fidedignos e apoiando o seu papel como ferramenta educacional. (32) Desde então, a impressão de um osso temporal com várias cores e materiais é também uma realidade, sendo capaz de recriar melhor a estrutura original e simular não só tecido ósseo, mas também tecido mole, nervoso e vascular, mostrando-se preferível aos restantes métodos tradicionais de simulação cirúrgica. (33)

Neste contexto, o Instituto de Anatomia Humana da FML, que sempre utilizou ossos de cadáveres para o ensino da anatomia, possui já uma impressora 3D através da qual imprimiu vários modelos de ossos temporais com a mesma finalidade. Estes demonstraram ser extremamente realistas, inclusive quando submetidos à técnica de esvaziamento petro-mastoideu, que permitiu expor o interior do modelo e revelou a presença minuciosa das estruturas internas do temporal impresso, capazes de serem identificadas pelos estudantes. O sucesso impressionante destes modelos tornou possível a sua exposição no Curso de Introdução à Cirurgia ORL, no Annual International Medical Students (AIMS) Meeting 2018, motivo de grande orgulho para a instituição. Na figura 5 podem ser observados estes modelos, antes e depois da técnica referida anteriormente.



Fig. 5 – Osso temporal impresso em 3D no Instituto de Anatomia Humana da FML, antes e após a técnica de esvaziamento petro-mastoideu.

Finalmente, é importante não esquecer o ensino dos doentes. A compreensão por parte do doente da sua patologia e do seu tratamento pode ser fulcral para que este seja bem-sucedido e tolerado durante muito tempo. Assim, uma equipa desenvolveu em 2017 um modelo multimaterial em 3D dos seios perinasais para tentar comunicar melhor aos seus pacientes como era a sua anatomia, qual o estado da sua doença e quais as suas opções terapêuticas. O seu estudo concluiu que a impressão 3D era uma ótima ferramenta para este propósito e que os doentes demonstraram uma melhor compreensão da sua situação clínica, diminuição da ansiedade e uma maior disponibilidade para com o seu médico, mostrando-se mais recetivos e abertos a aceitar os procedimentos propostos. (34)

O Futuro da impressão 3D em ORL

Obviamente, uma tecnologia tão promissora não poderia existir sem as suas limitações, havendo um número considerável de obstáculos a ultrapassar que contrabalançam todos os benefícios que esta traz à ORL. Deste modo, a seguinte análise procura esclarecer até onde poderá chegar a impressão 3D num futuro próximo e quais as barreiras que atualmente o inviabilizam.

Em primeiro lugar, o benefício mais prevalente na literatura atual é o facto de esta ser uma ferramenta que permite diminuir o tempo no bloco operatório, quando é utilizada no planeamento pré-operatório ou para produzir próteses antes da cirurgia. Este pode ser, no entanto, contrabalançado pelo tempo despendido a preparar os modelos necessários, não tanto devido ao processo de impressão em si, mas à recolha e processamento dos dados imagiológicos. Ainda assim, em termos monetários, poucos minutos ganhos no bloco podem ter um valor equivalente a horas de preparação fora dele, o que faz com que este tempo valioso que se ganha compense não só o tempo que se requer de preparação, mas também os elevados custos da impressão 3D, uma das preocupações presentes desde que esta surgiu. Tal problema pode vir a atenuar-se no futuro à medida que esta tecnologia se torna mais fundamental na prática médica e se desenvolvam opções mais económicas. No entanto, o tempo e o dinheiro não são os únicos fatores a avaliar aquando da decisão de usar ou não este avanço tecnológico, existindo outros que merecem igual destaque, nomeadamente o grau de urgência ou o tipo de procedimento, o tempo de anestesia, o risco de infeção e o potencial gasto em antibióticos. (35–37)

Adicionalmente, outra vantagem importante é a capacidade de estudar mais aprofundadamente a anatomia específica de cada doente, permitindo aos cirurgiões antecipar eventuais complicações que poderiam surgir durante a cirurgia e melhorar assim os seus resultados. Contudo, os modelos em si podem ser tanto considerados uma vantagem como uma desvantagem, não sendo possível concretizar objetivamente se cada modelo produzido é suficientemente fiável ou não. Isto está dependente não só dos vários tipos de impressão (sendo ainda discutida a fiabilidade de cada um), mas também dos dados imagiológicos usados para a realizar, nomeadamente no que toca à resolução das imagens, e mais tarde do software utilizado durante o passo de segmentação. Embora muitos estudos defendam a qualidade dos moldes produzidos, esta não é possível ser quantificada, acabando por ser criticada por outros. (37)

Outra área de debate é a que concerne o manuseamento deste tipo de software, uma vez que, por enquanto, a maioria dos médicos e cirurgiões não apresenta qualificações suficientes para os operar, o que leva à necessidade de técnicos responsáveis para esse efeito. Este facto origina ainda algum receio por parte dos cirurgiões, que sentem poder vir a perder o total controlo que têm sobre o planeamento pré-operatório, salientando-se a extrema importância da cooperação e entendimento entre estes dois elementos. Uma situação que poderia vir a combater esta problemática seria o desenvolvimento de um software 3D mais acessível e universal, algo que já é reconhecido e projetado para breve. (35) Ainda assim, permanece o desafio de, caso os hospitais queiram produzir os seus próprios moldes ou implantes de forma independente, haver a necessidade de controlos de qualidade recorrentes por parte das autoridades de saúde. (37)

Com tudo isto, é importante não esquecer que, apesar destes desafios ainda por solucionar serem uma realidade, a impressão 3D apresenta um futuro promissor. Grande parte das utilidades mencionadas anteriormente têm espaço para melhorar, sendo necessária uma investigação mais aprofundada capaz de eliminar os potenciais efeitos colaterais que ainda persistam. No que toca aos implantes, embora se tenha referido como vantagem a sua produção antes das cirurgias, está já a ser estudada a possibilidade da sua impressão *in situ*, uma vez que esta seria rápida e não obrigaria a um aumento do tempo operatório. (5) Também se investiga a possibilidade de criar tecidos com capacidades regenerativas, capazes de reparar a cartilagem ao longo do tempo para superar o realismo dos modelos já conseguido. (38) Adicionalmente, existem também experiências viradas para a possibilidade de reparar as lesões dos nervos facial e laríngeo recorrente que muitas vezes acontecem no decorrer de cirurgias em ORL, utilizando técnicas de bioprinting. (6) Como já foi referido, não seria incorreto considerar que a impressão 3D se encontra ainda numa fase embrionária, apresentando um potencial imensurável que só o futuro irá ditar.

Conclusão

A impressão 3D apresenta-se atualmente como uma tecnologia de elevado potencial, sobretudo no campo da medicina, onde é aproveitada com múltiplas finalidades em diversas áreas. Uma destas é a ORL, uma área complexa e multifacetada que, como se pode ver, abraça fortemente este avanço tecnológico com inquestionável sucesso.

Com a utilização de modelos 3D, a produção de próteses é melhor e mais rápida, os procedimentos cirúrgicos são facilitados pelas inovações no seu planeamento e a aprendizagem da anatomia e de cada procedimento torna-se mais acessível e intuitiva. Sendo evidente que existem ainda alguns obstáculos a ultrapassar, sobretudo no que toca à sua disseminação e a eventuais barreiras tecnológicas, ambos poderão vir a atenuar-se em breve dada a atenção que esta tecnologia tem apresentado nos últimos anos.

Todas estas contribuições procuram melhorar a prática e o ensino de ORL, onde o seu impacto é já certamente sentido. O mundo está a caminhar em direção a um futuro onde esta tecnologia fará parte do dia a dia dos profissionais de saúde, merecendo então um enorme destaque. Sendo assim, é essencial considerar que as aplicações abordadas neste trabalho representam sem dúvida uma ponte para lá chegar.

Agradecimentos

Representando não só a fase final do curso que frequento, mas de um percurso escolar de cerca de 18 anos, este trabalho é o culminar de um caminho longo e duro. Deste modo, não poderia deixar de agradecer à minha família por todo o apoio que me deram desde o início, por tudo o que me proporcionaram e por terem estado lá nos altos e baixos. Gostaria especialmente de agradecer também aos meus pais e irmão, pelo pilar fundamental que representam, e à Ana, pelo seu incentivo, o seu apoio e a sua paciência infindável, sem os quais todo este caminho teria sido tão mais difícil.

Quero agradecer também aos meus amigos, que me acompanharam durante todo o percurso e com os quais sei que posso sempre contar. Por último, tenho de agradecer ao Dr. Marco Simão, por ter orientado esta dissertação de mestrado, e ao Prof. Óscar Dias, pela disponibilidade e acompanhamento que sempre demonstrou e que sem dúvida contribuíram para este resultado final.

Bibliografia

1. Schubert C, Van Langeveld MC, Donoso LA. Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs. *Br J Ophthalmol*. 2014;
2. Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. *Curr Probl Diagn Radiol*. 2016;
3. Garcia J, Yang Z, Mongrain R, Leask RL, Lachapelle K. 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*. 2017;
4. Ventola CL. Medical applications for 3D printing: Current and projected uses. *Pharm Ther*. 2014;
5. Ozbolat IT, Yu Y. Bioprinting Toward Organ Fabrication : Challenges and Future Trends. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2015;
6. Zhong N, Zhao X. 3D printing for clinical application in otorhinolaryngology. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2017;
7. Introdu R, Direct S, Regenerativa M, Humana E. Artigo Original Impressão 3D : Inovações No Campo Da Medicina. 2017;
8. Ozbolat IT. Bioprinting scale-up tissue and organ constructs for transplantation. *Trends Biotechnol [Internet]*. 2015;
9. Knowlton S, Onal S, Yu CH, Zhao JJ, Tasoglu S. Bioprinting for cancer research. *Trends Biotechnol [Internet]*. 2015;
10. Danti S, D'Alessandro D, Pietrabissa A, Petrini M, Berrettini S. Development of tissue-engineered substitutes of the ear ossicles: PORP-shaped poly(propylene fumarate)-based scaffolds cultured with human mesenchymal stromal cells. *J Biomed Mater Res - Part A*. 2010;
11. Sandström C. Adopting 3D Printing for manufacturing – The case of the hearing aid industry. *Adopt 3D Print Manuf – case Hear aid Ind*. 2015;
12. Kaye R, Goldstein T, Zeltsman D, Grande DA, Smith LP. Three dimensional printing:

- A review on the utility within medicine and otolaryngology. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* [Internet]. 2016;
13. Watson J, Hatamleh MM. Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2014;
 14. Suaste-Gómez E, Rodríguez-Roldán G, Reyes-Cruz H, Terán-Jiménez O. Developing an ear prosthesis fabricated in polyvinylidene fluoride by a 3D printer with sensory intrinsic properties of pressure and temperature. *Sensors (Switzerland)*. 2016;
 15. Kozin ED, Black NL, Cheng JT, Cotler MJ, McKenna MJ, Lee DJ, et al. Design, fabrication, and in vitro testing of novel three-dimensionally printed tympanic membrane grafts. *Hear Res* [Internet]. 2016;
 16. Altunay ZO, Bly JA, Edwards PK, Holmes DR, Hamilton GS, O'Brien EK, et al. Three-dimensional printing of large nasal septal perforations for optimal prosthetic closure. *Am J Rhinol Allergy*. 2016;
 17. Choi YD, Kim Y, Park E. Patient-Specific Augmentation Rhinoplasty Using a Three-Dimensional Simulation Program and Three-Dimensional Printing. *Aesthetic Surg J*. 2017;
 18. Zopf DA, Hollister SJ, Nelson ME, Ohye RG GG. Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer. *N Engl J Med*. 2013;
 19. Kuehn BM. Clinicians embrace 3D printers to solve unique clinical challenges. *JAMA - J Am Med Assoc*. 2016;
 20. Law JX, Liau LL, Aminuddin BS, Ruszymah BHI. Tissue-engineered trachea: A review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* [Internet]. 2016;
 21. Chan HHL, Siewerdsen JH, Vescan A, Daly MJ, Prisman E, Irish JC. 3D rapid prototyping for otolaryngology-head and neck surgery: Applications in image-guidance, surgical simulation and patient-specific modeling. *PLoS One*. 2015;
 22. Owusu JA, Boahene K. Update of patient-specific maxillofacial implant. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2015;
 23. Nickels L. World's first patient-specific jaw implant. *Met Powder Rep*. 2012;

24. Rachmiel A, Shilo D, Blanc O, Emodi O. Reconstruction of complex mandibular defects using integrated dental custom-made titanium implants. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2017;
25. Qassemyar Q, Assouly N, Temam S, Kolb F. Use of a three-dimensional custom-made porous titanium prosthesis for mandibular body reconstruction. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;
26. Marconi S, Pugliese L, Botti M, Peri A, Cavazzi E, Latteri S, et al. Value of 3D printing for the comprehension of surgical anatomy. *Surg Endosc.* 2017;
27. AbouHashem Y, Dayal M, Savanah S, Štrkalj G. The application of 3D printing in anatomy education. *Med Educ Online.* 2015;
28. Thone N, Winter M, García-Matte RJ, González C. Simulación en Otorrinolaringología: una herramienta de enseñanza y entrenamiento. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2017;
29. Suzuki M, Ogawa Y, Kawano A, Hagiwara A, Yamaguchi H, Ono H. Rapid prototyping of temporal bone for surgical training and medical education. *Acta Otolaryngol.* 2004;
30. Monfared A, Mitteramskogler G, Gruber S, Salisbury JK, Stampfl J, Blevins NH. High-fidelity, inexpensive surgical middle ear simulator. *Otol Neurotol.* 2012;
31. Berens AM, Newman S, Bhrany AD, Murakami C, Sie KCY, Zopf DA. Computer-Aided Design and 3D Printing to Produce a Costal Cartilage Model for Simulation of Auricular Reconstruction. *Otolaryngol - Head Neck Surg (United States).* 2016;
32. Hochman JB, Rhodes C, Wong D, Kraut J, Pisa J, Unger B. Comparison of cadaveric and isomorphic three-dimensional printed models in temporal bone education. *Laryngoscope.* 2015;
33. Rose AS, Kimbell JS, Webster CE, Harrysson OLA, Formeister EJ, Buchman CA. Multi-material 3D models for temporal bone surgical simulation. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2015;
34. Leevy W, Liepert D, Doney E, Sander I, Liepert T. Patient Education for Endoscopic Sinus Surgery: Preliminary Experience Using 3D-Printed Clinical Imaging Data. *J Funct Biomater.* 2017;

35. Fullerton JN, Frodsham GCM, Day RM. 3D printing for the many, not the few. *Nat Biotechnol.* 2014;
36. Defoe T, Folinsbee S, Belfiore ME. Implications for practice. *Read Work Literacies New Work.* 2004;
37. Martelli N, Serrano C, Van Den Brink H, Pineau J, Prognon P, Borget I, et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surg (United States).* 2016;
38. Park JY, Choi YJ, Shim JH, Park JH, Cho DW. Development of a 3D cell printed structure as an alternative to autologs cartilage for auricular reconstruction. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater.* 2017;