

# **Realidade Estendida em Cirurgia Cardiotorácica: Aplicações atuais e futuras**

**Hugo Miguel Lopes Gouveia**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Medicina**  
(mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor Miguel Castelo-Branco

**maio de 2024**

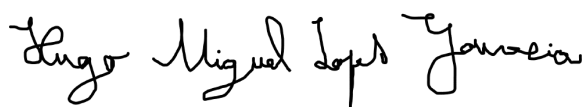


## **Declaração de Integridade**

Eu, Hugo Miguel Lopes Gouveia, que abaixo assino, estudante com o número de inscrio 41407 do curso de Medicina da Faculdade de Ciências da Saúde, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Acadmica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi  exigida refernciao de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 30 / 05 / 2024



(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)



## **Dedicatória**

Gostava de dedicar aos meu avós, que se orgulham bastante do meu percurso. De uma forma mais especial e carinhosa, à minha avó Marinha, que não quer ir para o Céu antes de me ver médico formado.



## **Agradecimentos**

Queria começar por agradecer aos meus pais, que sempre apoiaram a minha jornada, não são na faculdade, mas também desde que entrei para a escola. Acreditaram sempre em mim e fizeram sempre de todos os possíveis para que conseguisse alcançar os meus sonhos, mesmo durante alguns momentos difíceis. Penso que ao terminar, finalmente, este curso de elevada dificuldade os deixarei ainda mais orgulhosos do que já se encontram.

Gostaria de agradecer ainda aos amigos que fui formando durante toda esta experiência na Covilhã, que me foram ajudando em momentos cruciais ao longo do curso, e que certamente gratificaram a minha vida estes 6 anos.

Para terminar, deixar ainda uma nota para os meus amigos de longa data (alguns deles conheço desde o infantário), da minha primeira casa, o Porto. Mesmo depois de ter vindo para esta nova cidade, nunca cortaram relações comigo, mesmo só os vendo de ms a mês, em alguns anos nem isso. Sempre tiveram a preocupação de manter contacto comigo, pelo que agradeço as suas amizades.



## **Resumo**

A inovação tecnológica encontra-se cada vez mais presente em diferentes aspectos da sociedade atual. O interesse da sua aplicabilidade em medicina tem, também, aumentado, consecutivamente, de uma forma exponencial. Uma das áreas de maior potencial é a realidade estendida (XR). A realidade estendida (XR) é a combinação entre dois diferentes mundos, o físico e o digital, que se juntam para possibilitar experiências mais imersivas, alterando a percepção individual e criando novas formas de interatividade e aprendizagem. Este termo “guarda-chuva” engloba diferentes graus de imersão, tais como: realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR) e realidade mista (MR). Nesta monografia irá ser abordada a implementação destas tecnologias inovadoras em contexto cirúrgico, particularmente, nas áreas da cirurgia cardíaca e da cirurgia torácica. Assim, a dissertação tem como objetivo fornecer uma visão geral das suas aplicações atuais e futuras, sejam elas a nível pré-operatório, intra-operatório, pós-operatório ou até mesmo a nível de ensino de médicos internos das especialidades durante a residência.

## **Palavras-chave**

Realidade Estendida; Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Realidade Mista; Pré-operativo; Intra-operativo; Pós-operativo; Cirurgia Cardiotorácica; Cirurgia Torácica; Cirurgia Cardíaca.



## **Abstract**

Technological innovation is increasingly present in different aspects of today's society. The interest in its applicability in medicine has also increased exponentially consecutively. One of the areas with the greatest potential is extended reality (XR). Extended reality (XR) is the combination of two different worlds, the physical and the digital, which come together to enable more immersive experiences, changing individual perception and creating new forms of interactivity and learning. This “umbrella” term encompasses different degrees of immersion, such as: virtual reality (VR), augmented reality (AR) and mixed reality (MR). This monograph will address the implementation of these innovative technologies in a surgical context, particularly in the areas of cardiac surgery and thoracic surgery. Thus, the dissertation aims to provide an overview of its current and future applications, whether at the preoperative, intraoperative, postoperative level or even at the level of teaching interns in specialties during residency.

## **Keywords**

Extended Reality; Virtual Reality; Augmented Reality; Mixed Reality; Preoperative; Intraoperative; Postoperative; Cardiothoracic Surgery; Thoracic Surgery; Cardiac Surgery.



# Índice

Declaração de Integridade	iii
Dedicatória	v
Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Palavras-chave	ix
Abstract	xi
Keywords	xi
Índice	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Acrónimos	xviii
1 Introdução e Metodologia	1
1.1 Introdução	1
1.2 Metodologia	6
2 Cirurgia Cardiotorácica	7
2.1 Cirurgia Torácica	7
2.2 Cirurgia Cardíaca	8
3 Pré-operatório	9
3.1 Cirurgia Torácica	11
3.2 Cirurgia Cardíaca	19
4 Intra-operatório	38
4.1 Cirurgia Torácica	39
4.2 Cirurgia Cardíaca	43
5 Pós-operatório	46
5.1 Cirurgia Torácica	47
5.2 Cirurgia Cardíaca	49
6 Treino e Ensino	51
6.1 Cirurgia Torácica	53
6.2 Cirurgia Cardíaca	55
7 Futuro	57
7.1 Cirurgia Torácica	58
7.2 Cirurgia Cardíaca	62
8 Conclusão	65
9 Referências Bibliográficas	67



## Lista de Figuras

Figura 1 – Realidade Virtual (VR) vs. Realidade Aumentada (AR) vs. Realidade Mista (MR). Exemplos práticos de cada modalidade XR, no âmbito da cirurgia cardiorádica. (2) .....	3
Figura 2 – Possíveis aplicações da realidade estendida (XR) nas diferentes fases da cirurgia cardiorádica. (2) .....	4
Figura 3 – Cirurgião equipado com um HMD de realidade virtual (VR), para aceder ao ambiente digital 3D, durante a simulação pré-operativa de uma segmentectomia. (5) .....	13
Figura 4 – Representação esquemática dos passos envolvidos na obtenção de reconstruções anatómicas 3D, através de tomografias computadorizadas (TC), para visualização em realidade virtual (VR), durante o planeamento pré-operativo. (9) .....	16
Figura 5 – Visualização, em realidade mista (MR), da reconstrução 3D torádica, com auxílio do Microsoft HoloLens. A utilizadora é, ainda, capaz de interagir com o modelo 3D, através de gestos manuais. (11) .....	18
Figura 6 – Conjunto de reconstruções 3D da caixa torádica, com especial relevância para estruturas anatómicas cardíacas, usadas para visualização em realidade virtual (VR), no contexto do planeamento pré-operativo. (12) .....	20
Figura 7 – Processo sequencial da obtenção de modelos 3D, através de tomografias computadorizadas (TC), para o planeamento pré-operativo da cirurgia cardíaca, em ambiente de realidade virtual (VR). (12) .....	21
Figura 8 – Cardiologistas e cirurgiões cardíacos utilizam o Microsoft HoloLens para o planeamento pré-operativo da cirurgia cardíaca congénita, numa reunião de equipa multidisciplinar. (14) .....	23
Figura 9 – Cirurgião a visualizar um holograma cardíaco, construído com base em renderização cinemática, através do uso do Microsoft HoloLens. (15) .....	24
Figura 10 – Planeamento pré-operativo da cirurgia a largos defeitos do septo interventricular, recorrendo à realidade virtual (VR). (16) .....	25
Figura 11 – Uma imagem tridimensional (3D), baseada numa ecocardiografia, exibida em realidade virtual (VR). O dispositivo manual permite o controlo do modelo 3D durante a sua visualização. (17) .....	26
Figura 12 – Duração média do processo de criação de modelos 3D, com base em tomografias computadorizadas (TC). O tempo total, por tomografia computadorizada, fica entre 15 e 20 minutos. (18) .....	27
Figura 13 – Visualização de reconstruções 3D, num ambiente de realidade virtual (VR), de tomografias computadorizadas (TC) segmentadas. (19) .....	29

Figura 14 – Projeção holográfica de um modelo 3D do coração, num ambiente de realidade mista (MR), usando o Microsoft HoloLens 2. A manipulação da reconstrução 3D é possível através de gestos manuais, permitindo aumentar, diminuir, rodar e modificar o plano de corte. (22) .....	31
Figura 15 – Vista partilhada da mesma projeção holográfica cardíaca, por médicos em ângulos diferentes, em realidade mista (MR), durante uma reunião multidisciplinar. Um cirurgião controla a reconstrução, enquanto o outro observa. (26) .....	34
Figura 16 – Projeções holográficas da anatomia pulmonar, aplicadas intra-operativamente, no contexto da segmentectomia, por VATS. (4) .....	39
Figura 17 – Várias aplicações das tecnologias de realidade estendida (XR) nas diferentes fases cirúrgicas, com especial ênfase para o auxílio da realidade mista (MR) na localização de vasos anormais aorta-pulmonares colaterais, intra-operativamente, ao coincidir a reconstrução cardíaca virtual com o coração real do paciente, durante a operação, através do uso do Microsoft HoloLens. (37) .....	45
Figura 18 – Cirurgia cardíaca simulada em realidade estendida (XR), para o treino de médicos internos de especialidades cirúrgicas. O conceito mostra, ainda, as ferramentas necessárias à sua realização, como o HMD e os controladores manuais. (2) .....	52
Figura 19 – Esquema visual do sistema de realidade aumentada (AR) personalizado desenvolvido por Lee S. e colegas. (46) .....	59
Figura 20 – Planeamento pré-operativo de procedimentos cirúrgicos com o auxílio da realidade virtual (VR), através do Oculus VR. (2) .....	66



## Lista de Acrónimos

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
XR	<i>Extended Reality</i> / Realidade Estendida
VR	<i>Virtual Reality</i> / Realidade Virtual
AR	<i>Augmented Reality</i> / Realidade Aumentada
MR	<i>Mixed Reality</i> / Realidade Mista
CGI	<i>Computer-Generated Imagery</i> / Imagens Criadas por Computador
HMD	<i>Head-Mounted or Helmet-Mounted Display</i> / Ecrã de Visualização (Monitor) Montado na Cabeça ou no Capacete
VATS	<i>Video-Assisted Thoracoscopic Surgery</i> / Cirurgia Torácica Videoassistida
RATS	<i>Robotic-Assisted Thoracoscopic Surgery</i> / Cirurgia Torácica Roboticamente Assistida
CDI	Cardioversores-Desfibriladores Implantáveis
TC	Tomografia Computadorizada
RM	Ressonância Magnética
NPS	Nódulos Pulmonares Solitários
MCP	Malformação Congénita Pulmonar
MCVA	Malformação Congénita das Vias Aéreas Pulmonares
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
IA	Inteligência Artificial
AAE	Apêndice Auricular Esquerdo
AVC	Acidente Vascular Cerebral
APK	<i>Android Application Pack</i>
ATC	Angiografia por Tomografia Computadorizada
ESTS	<i>European Society of Thoracic Surgeons</i>
NIR	<i>Near-Infrared</i> / Próximo ao Infravermelho
ICG	<i>Indocyanine Green</i> / Verde de Indocianina
VR-D	<i>Virtual Reality - Distraction</i> / Realidade Virtual - Distração
VR-GR	<i>Virtual Reality - Guided Relaxation</i> / Realidade Virtual - Relaxamento Guiado



# Capítulo 1 – Introdução e Metodologia

## 1.1 Introdução

Nas últimas décadas a tecnologia tem evoluído a uma velocidade vertiginosa, com perspectivas de evoluir ainda mais rapidamente no futuro. A sua utilidade em diversas áreas, tais como os jogos de vídeo, o cinema, o desporto e até o ensino, faz com que o seu interesse, pela sociedade, aumente, levando consecutivamente a uma maior aposta na mesma. O aparecimento de novas tecnologias, tais como a inteligência artificial, a realidade virtual, o 3D, entre outros, fizeram despertar a curiosidade da comunidade científica sobre possíveis aplicações na área de medicina. (1)

É consensual que estas tecnologias digitais emergentes terão um impacto definitivo na medicina nos próximos anos, em especial na área cirúrgica em que a minuciosidade, a delicadeza e a clareza das intervenções é, sem dúvida, uma necessidade. (2)

De facto, a cirurgia moderna, nos últimos anos, tem explorado diferentes formas de aplicar estas novas tecnologias, em procedimentos decorrentes desta área, de forma a torná-los cada vez mais eficazes e eficientes e a melhorar a segurança do doente. (1)

Uma das técnicas que tem ganho relevância neste campo e que tem sido estudada quanto à sua aplicabilidade é a Realidade Estendida (XR). A Realidade Estendida (XR) refere-se a todas as tecnologias imersivas que combinam o mundo virtual com o mundo real, permitindo assim, ao seu utilizador, visualizar (AR) e/ou interagir (MR) com objetos virtuais, criados computacionalmente em 3D, no mundo “real” ou num ambiente totalmente virtual (VR), baseado na realidade e, também ele, sintetizado num computador. Esta técnica origina assim uma interface homem-máquina, com o auxílio a *wearables* e a controladores remotos. (2,3)

Desta forma, a realidade estendida (XR) tem como finalidade a exibição de imagens 3D, criadas por um computador (CGI), no campo de visão do utilizador, numa escala em que pode ir de ter como plano de fundo a vida real (sem aumento digital) até à realidade virtual (VR), em que a visão do mundo físico por parte do utilizador é completamente ocluída, permitindo ser completamente imersivo. Assim, tem, como objetivo principal, possibilitar a projeção de objetos e imagens complexas e a simulação de procedimentos, levando a um amplo espectro de aplicações clínicas. (1,2)

Realidade Estendida (XR) é um termo “guarda-chuva”, usado para definir o conjunto de diferentes subtécnicas, que englobam diferentes graus de imersão, sendo

elas a Realidade Virtual (VR), a Realidade Aumentada (AR) e a Realidade Mista (MR).  
(2)

Na realidade virtual (VR), ao contrário da realidade aumentada (AR), os utilizadores ficam totalmente imersos num ambiente digital simulado, baseado em imagens derivadas da realidade. Os utilizadores devem colocar auscultadores VR ou um head-mounted display (HMD), ecrãs de visualização (monitores) montados em capacetes, para adquirir uma visão em 360 graus de um mundo artificial que ilude o cérebro a acreditar que está, por exemplo, a andar em Marte, a nadar no oceano ou a presenciar todo um mundo novo criado por programadores de VR. Dispositivos hápticos, como controladores, com rastreação de posição, e luvas de captura de movimento (HaptX, Seattle, WA), são usados para interagir com modelos 3D e, ao mesmo tempo, explorar o ambiente simulado, em tempo real, usando os sentidos e movimentos naturais. Apesar da indústria de jogos e entretenimento ser uma das pioneiras nesta tecnologia, empresas de diversos setores, como a saúde, a engenharia, a construção e outros, começaram a demonstrar interesse pela utilidade que a mesma pode ter para as suas áreas. (2,3)

A realidade virtual (VR) evoluiu exponencialmente nas últimas décadas de forma a permitir que os utilizadores pudessem visualizar, explorar e interagir com diferentes ambientes 3D, sintetizados num contexto computacional, com elevado grau de semelhança à vida real, tornando-a assim a subtécnica de realidade estendida (XR) mais reconhecida pela população. (3) (Figura 1)

Na realidade aumentada (AR), conteúdo digital e objetos virtuais são superimpostos ao mundo real que observamos. Por outras palavras, esta subtécnica melhora o mundo físico através de detalhes digitais sobrepostos ao campo de visão do utilizador, como imagens 2D ou 3D, textos e animações, sem ocultá-lo na totalidade. O indivíduo, em questão, pode interagir com esta tecnologia através de óculos AR ou de tablets e telemóveis. Por conseguinte os utilizadores não se isolam do mundo físico, pois continuam a poder ver e a interagir com o que está a acontecer à sua volta. As aplicações mais populares baseadas na realidade aumentada (AR) são o jogo de telemóvel Pokémon GO, que sobrepõe criaturas digitais 3D no mundo real, ou filtros de redes sociais, tais como o Instagram e o Facebook, que colocam objetos digitais 3D, como perucas ou óculos, na cabeça do utilizador. (2,3) (Figura 1)

Na realidade mista (MR), também conhecida por muitos como “realidade aumentada 2.0”, um sistema computacional sincroniza a realidade e as construções de modelos 3D, levando a uma possível coexistência e interação entre os objetos digitais e o mundo físico, em tempo real. É a subtécnica mais recente da realidade estendida (XR) e, no fundo, corresponde a uma mistura entre a realidade virtual (VR) e a

realidade aumentada (AR), por ir buscar as melhores qualidades de ambos, sendo por isso uma tecnologia hbrida, com base em duas jรก pré-existentes. Por consequência, esta subtécnica exige mais poder de processamento do que a realidade virtual (VR) e a realidade aumentada (AR). (2) (Figura 1)

O HoloLens da Microsoft é o melhor exemplo atual, em que esta tecnologia é aplicada, ao permitir colocar objetos digitais na sala, onde o utilizador se encontra, e d -lhe a capacidade de interagir com o objeto digital de qualquer forma possível, podendo girá-lo, aument -lo, diminui -lo, movê-lo, entre outras aplicações.

A realidade mista (MR) permite aos cirurgiões combinar a visão real do campo cirúrgico   visualização de modelos e imagens 3D, construídos pr -operativamente, do próprio caso cirúrgico. Fornece, assim, uma interação com os alvos cirúrgicos nos mundos físico e virtual. (2)

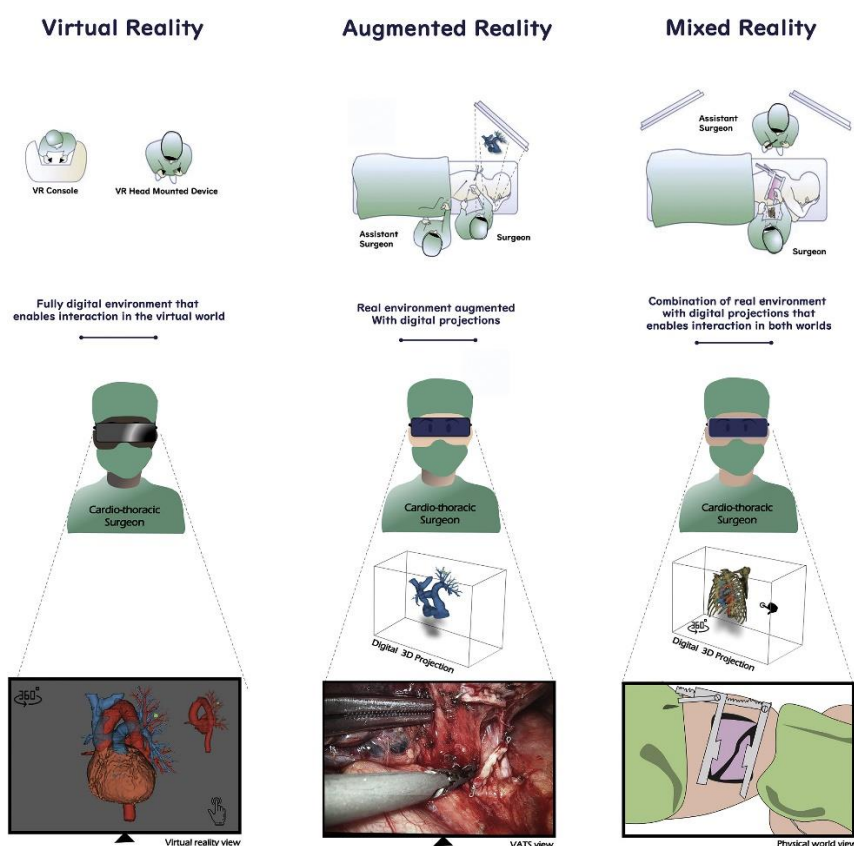


Figura 1. Realidade Virtual (VR) vs. Realidade Aumentada (AR) vs. Realidade Mista (MR). Exemplos práticos de cada modalidade XR, no âmbito da cirurgia cardiorádica. (2)

A realidade estendida (XR) e o desenvolvimento acelerado de novos dispositivos, de interesse para esta técnica, tecnologicamente avançados, tais como o Oculus Rift (Oculus VR, Irvine, CA), o HoloLens (Microsoft, Redmond, WA) e o Apple Vision Pro (Apple, Cupertino, CA), demonstram o enorme potencial e o sentido

oportunistico desta tecnologia para implementação da mesma em diferentes aplicações clínicas que, ao mesmo tempo, podem beneficiar os pacientes e a equipa médica, na área de cirurgia cardiotorácica. (2)

Diversos artigos e estudos científicos realçam a potencialidade que a utilização destas tecnologias tem em diferentes aspetos do processo cirúrgico. Esta técnica fornece a possibilidade de desenvolvimento de interfaces humano-máquina digitais interativas, totalmente imersivas (VR) ou não (AR e MR), de modo a possibilitar um melhor planeamento pré-operatório de cirurgias e de biópsias, em formato 3D, específico do paciente, uma visualização e navegação intraoperatória otimizada, em particular durante a navegação em torno de anatomia complexa e de difícil acesso, e uma gestão pós-operatória mais benéfica. Além disso, oferece a possibilidade de proporcionar educação ao paciente, assim como ensino e treino cirúrgico aos médicos internos das especialidades cirúrgicas, durante a residência, através de simulações altamente realistas de procedimentos cirúrgicos. Outras vantagens como a assistência remota, o uso de hologramas no teatro cirúrgico, a avaliação anatómica e até a reunião multidisciplinar da equipa médica num ambiente totalmente virtual, demonstram a quantidade de benefícios que esta tecnologia apresenta. (Figura 2)

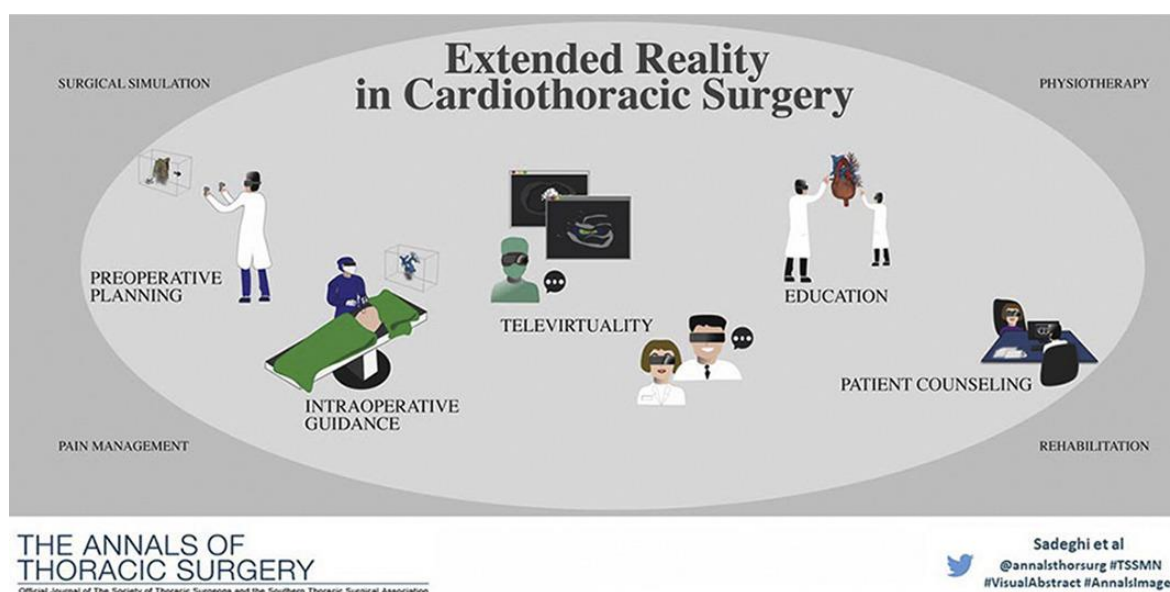


Figura 2. Possíveis aplicações da realidade estendida (XR) nas diferentes fases da cirurgia cardiotorácica. (2)

As tecnologias AR, VR e MR têm sido cada vez mais aceites dentro da comunidade científica e no mundo da cirurgia, tornando-se cada vez mais possível a sua utilização na prática clínica e cirúrgica. Observou-se uma repentina aceleração no

desenvolvimento destas tecnologias durante a pandemia COVID-19, tendo-se solidificado como algo essencial e vantajoso, próximo de se tornar o novo “normal” dentro da prática médica. Ainda que já bastante desenvolvidas e avançadas, as tecnologias XR necessitam de maior exploração e estudo na cirurgia cardiorádica, em comparação com outras especialidades, devido à fraca adesão que ainda se observa nesta área face às outras. Ainda assim, a eventual implementação da realidade estendida (XR) nesta especialidade cirúrgica complexa poderia oferecer prática a cirurgiões com pouca experiência, aumentar a eficiência do procedimento, encurtar o tempo na tomada de decisões cirúrgicas, melhorar a segurança do paciente, reduzir a ansiedade perioperatória, entre outros benefícios. (1,3)

Com esta monografia, o objetivo é compilar os desenvolvimentos mais recentes destas tecnologias, nas áreas da cirurgia cardíaca e da cirurgia torádica. O propósito é analisar as suas aplicações atuais e perspectivas futuras, dando um *overview* dos seus benefícios face aos procedimentos pré-definidos *gold-standart*, com base na literatura atual, e às suas limitações, que ainda precisam de ser superadas.

Em específico, a tese irá abordar as aplicações da realidade virtual, realidade aumentada e realidade mista no planeamento cirúrgico pré-operatório, na navegação intraoperatória, na gestão pós-operatória e no treino de médicos internos das especialidades, durante a residência, em cada uma das cirurgias, terminando finalmente com uma visão futura da evolução das subtécnicas para a área em questão.

## 1.2 Metodologia

A pesquisa de artigos para esta monografia foi feita na base de dados do Pubmed.

Foram usados os resultados obtidos nos últimos 5 anos, tendo a consulta sido efetuada desde fevereiro de 2019 a fevereiro de 2024.

Os artigos encontram-se em inglês.

As palavras-chave utilizadas durante pesquisa bibliográfica foram “Extended Reality”, “Virtual Reality”, “Augmented Reality”, “Mixed Reality”, “Preoperative”, “Intraoperative”, “Postoperative”, “Cardiothoracic Surgery”, “Thoracic Surgery”, “Cardiac Surgery”, entre outras.

## Capítulo 2 – Cirurgia Cardiotorácica

### 2.1 Cirurgia Torácica

A cirurgia torácica dedica-se ao diagnóstico e tratamento cirúrgico das patologias torácicas, incluindo o cancro do pulmão, as deformidades da parede torácica, os tumores do mediastino, as anomalias diafragmáticas, entre outros.

Desta forma, a cirurgia torácica envolve, na sua maioria, os órgãos do tórax, mas também pode abranger o esófago, a traqueia (parte das vias aéreas) e a parede torácica (caixa torácica e esterno).

Algumas das cirurgias e procedimentos pelos quais é responsável são:

- Simpatectomia torácica (hiperhidrose das mãos e axilas);
- Transplante pulmonar;
- Cirurgia ao cancro do pulmão e às metástases pulmonares;
- Lobectomia (Aberta, VATS ou RATS);
- Segmentectomia;
- Esofagectomia;
- Cirurgia das deformidades da parede torácica anterior (pectus excavatum);
- Cirurgia por toracoscopia ou toracotomia;
- Cirurgia da traqueia;
- Broncoscopia;
- Ressecção da parede torácica;
- Cirurgia por Mediastinoscopia ou Mediastinotomia;
- Entre outras.

## 2.2 Cirurgia Cardíaca

A Cirurgia Cardíaca é a especialidade cirúrgica que se dedica ao diagnóstico e tratamento cirúrgico das doenças e deformidades do coração e de certos vasos, em específico das artérias coronárias, da aorta, das válvulas cardíacas e das anomalias cardíacas congénitas.

Algumas das cirurgias e procedimentos pelos quais é responsável são:

- Bypass coronário (ou pontagem coronária);
- Cirurgia (Reparação ou Substituição) das válvulas cardíacas (semilunares (aórtica e pulmonar) e aurículo-ventriculares (mitral e tricúspide));
- Colocação de *pacemakers* e desfibriladores cardíacos (Cardioversores-desfibriladores implantáveis (CDI));
- Cirurgia de tumores cardíacos;
- Cirurgia de doenças cardíacas congénitas;
- Transplante de coração;
- Entre outras.

## Capítulo 3 – Pré-operatório

Na fase cirúrgica pré-operatória, a utilização da realidade estendida (XR) parece ser benéfica para as tomadas de decisão multidisciplinares e o planeamento de procedimentos cardíacos e torácicos, tendo essas mesmas vantagens sido identificadas em vários estudos. (2,3)

Apesar das técnicas convencionais de imagem 2D ainda serem o *gold-standart* para o diagnóstico e planeamento pré-cirúrgico, tais como a tomografia computadorizada (TC), a ressonância magnética (RM), a ecocardiografia e a broncoscopia, a tecnologia XR, em comparação, consegue oferecer um modelo anatómico 3D da cavidade torácica e da anatomia pulmonar e cardíaca mais representativo, que conseqüentemente torna a visualização do alvo cirúrgico mais realista e precisa, aumentando assim a eficácia dos procedimentos e a confiança do médico durante a cirurgia. (2,3)

Diferentes aplicações têm sido encontradas para as tecnologias VR, MR e AR, no entanto, a subtécnica mais explorada nesta fase tem sido a realidade virtual (VR).

A tecnologia imersiva da realidade virtual (VR) parece melhorar a percepção do cirurgião sobre as estruturas anatómicas de maior interesse, através de uma reconstrução 3D pré-operatória mais concisa, nomeadamente no que diz respeito à vasculatura, uma vez que permite uma compreensão espacial superior, o que leva a uma gestão otimizada dos vasos sanguíneos durante os procedimentos cirúrgicos. Para além disso, parece também beneficiar uma localização mais exata da principal área lesionada (tumor) que necessita de ser retirada, permitindo uma melhor identificação da separação entre o tumor e o tecido saudável, sendo especialmente útil no caso das ressecções segmentares do pulmão, em que é relevante tomar conhecimento se de facto um tumor se encontra dentro das bordas anatómicas de um segmento específico. (1,2)

No caso da realidade aumentada (AR), a mesma proporciona um entendimento mais detalhado das diferentes variações anatómicas entre os pacientes, que podem, por vezes, não ser captadas em técnicas de imagem 2D convencionais, em especial no caso das anomalias raras, que podem condicionar o decorrer de um procedimento cirúrgico. (1,2)

Relativamente ao uso da realidade mista (MR), o usuário passa a poder interagir, analisar e editar as reconstruções 3D virtuais de modelos anatómicos sem ocultar completamente a visão do mundo real. (2)

A redução da ansiedade e do stress, pré-operativamente, é outra das vantagens que a tecnologia XR tem para oferecer a pacientes submetidos a cirurgias cardíacas e

pulmonares de grande complexidade. A realidade estendida (XR), nomeadamente a realidade virtual (VR), consegue proporcionar novos recursos de aprendizagem interativos e imersivos ao paciente. A diminuição destes parâmetros e a melhor compreensão do paciente sobre a cirurgia, a que vai ser submetido, permite uma interação aprimorada com a equipa médica, responsável pelo mesmo. (1,2)

Tudo isto contribui para uma subtração do tempo operatório, uma redução de dano colateral a anatomia contígua, uma diminuição das perda sanguíneas e a uma menor duração do internamento hospitalar pós-operatório. (1)

### 3.1 Cirurgia Torádica

No contexto do cancro do pulmão, o mesmo tornou-se uma das principais causas de morte no mundo. Com a otimização dos métodos de rastreio tem sido detetado cada vez mais casos e precocemente, em especial nódulos pulmonares solitários (NPS). Uma das principais formas de tratamentos deste tipo de cancros nalguns casos é a cirurgia, tendo crescido nos últimos o uso da ressecção sublobar, incluindo a segmentectomia, por cirurgia toracoscópica vídeo-assistida minimamente invasiva (VATS), em vez da lobectomia, para o seu tratamento. No entanto a mesma técnica é consequentemente mais complexa, devido a enormes variações da anatomia broncovascular, pelo que por vezes poderão ocorrer acidentes intraoperatórios, como hemorragia vascular e/ou dano de tecido estrutural saudável adjacente, causado por uma perceção e visão mais limitada da anatomia. Por estas razões, torna-se imperial uma localização precisa dos nódulos pulmonares e um planeamento operatório mais bem preparado, pelo que uma visualização mais clara da anatomia em questão, pré-operativamente, é necessária. A utilização da realidade virtual, mais em concreto, o uso de simuladores VR permitiriam ao cirurgião simular os procedimentos, verificando os seus possíveis resultados, levando-os a definir, como consequência, melhores planos cirúrgicos, que fossem mais seguros e específicos. Os médicos passariam a poder avaliar mais intuitivamente as lesões pulmonares e estruturas anatómicas contíguas, em modelos 3D em vez de 2D, melhorando a sua perceção espacial, que por sua vez diminuiriam os riscos cirúrgicos. (4)

Ainda no âmbito do tratamento do cancro do pulmão, métodos minimamente invasivos, como a cirurgia toracoscópica roboticamente assistida (RATS) e a cirurgia toracoscópica assistida por vídeo (VATS), têm ganho cada vez mais interesse, mas a falta de visão estereoscópica e um feedback tátil reduzido têm levado a complicações intra-operatórias, sendo elas possíveis de serem colmatadas através de um planeamento pré-operatório mais otimizado e claro. (5,6) Nesse sentido Ujiie H. e colegas quiseram testar o potencial que a simulação VR teria nesta fase operatória, pelo que utilizaram um software, BananaVision, desenvolvido por investigadores da universidade do estado do Colorado, nos Estados Unidos da América. Este software é capaz de criar reconstruções 3D de alta-fidelidade, que posteriormente são enviados para um dispositivo HMD onde podem ser manipulados e explorados pelo cirurgião, com a ajuda de um controlador. HMD, ou *head-mounted displays*, são dispositivos VR montados na cabeça que fornecem uma experiência imersiva ao substituírem todo o campo de visão do utilizador por um ambiente virtual e digital. (Figura 3) De facto, estes dispositivos ao exibir imagens diferentes para cada olho providenciam um efeito

estereoscópico, ou seja, a imagem torna-se tridimensional (3D), dando a sensação de profundidade, levando a que a visualização dos modelos seja mais realista. Os seus resultados mostraram que, ao poderem ver o modelo pulmonar de qualquer orientação em relação ao toracoscópico e aos instrumentos, o planeamento pré-operatório tornou-se mais descomplicado, possibilitando, por exemplo, uma identificação mais fácil de vasos pulmonares anormais, pelo que a formulação de um plano com este método aumentava a confiança do cirurgião para a realização da cirurgia VATS. (6) Alguns anos mais tarde, a mesma equipa desenvolveu o seu próprio software, *Perspectus VR Education*, um criador de reconstruções 3D pulmonares de grande resolução altamente específicos a um determinado paciente. Posteriormente estes modelos anatómicos seriam enviados para dispositivos VR, montados na cabeça (HMD), para serem visualizados, e permitiriam ao cirurgião avaliar pré-operativamente estruturas anatómicas (o tamanho e a localização do tumor, tecido saudável adjacente) de uma forma mais eficaz, levando a uma melhor compreensão por parte do médico sobre a anatomia pulmonar complexa e aumentando a eficácia dos procedimentos cirúrgicos. Diferentes estudos recentes mostram que a utilização de modelos 3D proporciona uma diminuição da perda de sangue intra-operatório, assim como uma redução do tempo operatório e de internamento pós-cirúrgico hospitalar. Os autores descobriram ainda que planos pré-operatórios de ressecções pulmonares derivados de simulações 3D-VR podem ser compativelmente integrados à abordagem RATS, dado as funcionalidades 3D já praticadas por esta tecnologia. Outra vantagem que esta plataforma VR dispõe é o facto de a mesma ser multi-usuária, oferecendo a possibilidade de vários médicos colaborarem e discutirem o caso, em tempo real, no mesmo ambiente virtual onde se encontram expostos os modelos 3D criados, assegurando assim um reunião multidisciplinar de vários especialistas e uma interação mais considerável com as imagens médicas. Este tipo de simuladores normalmente costuma ser dispendioso, no entanto o uso desta plataforma de simulação, através do software *Perspectus VR Education*, providencia uma opção mais acessível e económica, uma vez que necessita apenas de equipamentos já disponibilizados comercialmente. (5)



Figura 3. Cirurgião equipado com um HMD de realidade virtual (VR), para aceder ao ambiente digital 3D, durante a simulação pré-operativa de uma segmentectomia. (5)

Num estudo recente, Pelizzo G. e colegas decidiram implementar o uso realidade virtual (VR) no procedimento VATS de forma a melhorar a eficácia do tratamento das malformações congénitas pulmonares (MCP). As malformações congénitas pulmonares (MCP) englobam um conjunto de distúrbios que ocorrem durante o desenvolvimento dos pulmões, que levam a um comprometimento da formação dos alvéolos e da ramificação pulmonar, sendo alguns deles os quistos broncogénicos, o enfisema lobar congénito, a atresia brônquica, a malformação congénita das vias aéreas pulmonares (MCVA), entre outros. Eles acreditavam que o uso de VR poderia tornar uma ressecção pulmonar mais segura nas crianças, consequentemente melhorando a sua qualidade de vida. Eles começavam por exportar tomografias computadorizadas (TC) feitas aos pacientes em formato DICOM e inseriam

no 3D Slicer, um software grátis que permite a segmentação das imagens, isto é, identificação e separação das várias estruturas anatómicas num imagem médica. Elas, posteriormente, eram usadas para obter modelos 3D da anatomia e malformações pulmonares. Finalmente, as reconstruções eram transferidas para uma HMD para que a equipa cirúrgica tivesse uma visualização imersiva dos modelos 3D. O HMD usado neste estudo foi o Oculus Quest v. 1 (META Inc., Menlo Park, CA, USA). Durante o planeamento pré-operatório VR o cirurgião colocava o HMD, escolhia a reconstrução correspondente ao paciente que ia operar e explorava-a. Para interagir com os modelos 3D, utilizava controladores sem fios, que permitiam mover, aumentar, diminuir e rodar as reconstruções. A aplicação possibilitava ainda a opção de focar numa determinada estrutura, tornando transparente o que estava à volta. Tudo isto proporcionava, ao cirurgião, a capacidade de avaliar as relações entre as estruturas e decidir os melhores passos cirúrgicos. O resto da equipa médica poderia ainda ver o ponto de vista do utilizador usando uma aplicação no computador, num formato 2D, o que encorajava uma discussão multidisciplinar sobre a melhor abordagem procedimental. Deste modo, a simulação VR ofereceu uma análise mais profunda dos vários aspetos cirúrgicos, assim com a oportunidade de rever vezes sem conta os procedimentos, de forma a prever e evitar erros intra-operatórios. Por conseguinte, os cirurgiões, que lidam em poucas ocasiões com este tipo de casos, poderiam diminuir a curva de aprendizagem na forma como orientam este tipo de malformações e tornarem-se mais confiantes e experientes no seu controlo. No entanto, o estudo apresentou algumas limitações, uma vez que a sua utilização não era tão viável nas crianças como nos adultos, devido a reconstruções com menos qualidade, resultado das estruturas anatómicas menos desenvolvidas das crianças. A falta de simulação do processo inflação/deflação do pulmão (atualmente é um modelo estático) é algo mencionado a ter em atenção no futuro. (7)

Indo um passo mais longe, Bakhuis W. e colegas (8) e Sadeghi A. e colegas (9), ambos pertencentes ao mesmo departamento hospitalar, decidiram experimentar usar uma abordagem híbrida entre a inteligência artificial (IA) e a realidade virtual (VR) para a visualização imersiva 3D da anatomia pulmonar das crianças, em dois diferentes estudos, envolvendo as malformações congénitas pulmonares (MCP) (8) e o cancro do pulmão em estágio inicial (9), procurando também se as mesmas ferramentas poderiam auxiliar no planeamento pré-operativo de uma eventual segmentectomia. A lobectomia costuma ser normalmente a primeira linha de tratamento, por toracotomia ou por VATS, quando uma ressecção pulmonar está indicada, no entanto o procedimento ideal deve ser curativo, mas ao mesmo tempo também deve tentar preservar o máximo possível de tecido saudável, de modo a melhorar a longo prazo a

função pulmonar, pelo que a segmentectomia deveria ser preferível. Estudos recentes demonstraram que esta última técnica é viável e efetiva em casos específicos. (8,9) Por conseguinte, os autores destes estudos desenvolveram uma plataforma (PulmoVR) com a potencialidade de auxiliar no planeamento pré-operativo da segmentectomia do pulmão (9) e identificar quais as crianças com MCP se qualificariam para uma eventual segmentectomia, preservando desta forma tecido pulmonar saudável (8). PulmoVR, um software que permite a visualização VR, foi criado pelos autores em cooperação com MedicalVR (Amsterdão, Países Baixos), Thirona (Nimega, Países Baixos) e Fysicon (Oss, Países Baixos). Os investigadores primeiramente começavam por transferir ficheiros DICOM (TC) para o Thirona, onde a inteligência artificial (LungQ) fazia uma segmentação semi-automática (identificação e coloração seletiva da estrutura anatómica) das artérias, veias e brônquios, eliminando a necessidade de uma segmentação manual extensiva, diminuindo possíveis erros humanos, reduzindo custos e facilitando uma análise mais rápida das tomografias computadorizadas (TC) dos pacientes, e de seguida transferiam para o PulmoVR. O PulmoVR oferecia a opção de exibir tanto as imagens TC como os modelos 3D (segmentados por IA) no espaço virtual. (Figura 4) A visualização 3D-VR evitava o processamento mental de converter imagens 2D em imagens 3D, para além de oferecer opções de interação com os modelos através de controladores VR, e a segmentação realizada por IA, ao determinar as fronteiras segmentais no modelo 3D, oferecia ao cirurgião uma ajuda em localizar o segmento onde se encontrava a lesão. (8,9) No estudo realizado por Bakhuis W. e colegas, a visualização 3D-VR permitiu um maior acordo, entre radiologistas e cirurgiões, quanto à extensão da malformação pulmonar, para além de redefinir a maior parte dos planos cirúrgicos, previamente estabelecidos com imagens 2D de TC, o que levou a uma melhor seleção dos casos para a segmentectomia. Apesar da segmentação ter sido semi-automática o processo consumiu algum tempo, pelo que torná-lo mais automatizado no futuro é um objetivo. (8) Em relação ao estudo por Sadeghi A. e colegas, PulmoVR forneceu um melhor e mais realístico entendimento das estruturas anatómicas e a relação entre elas, nomeadamente no que diz respeito às margens do tumor e à anatomia vascular circundante, assim como na identificação dos segmentos pulmonares. Além disso mostraram que a ferramenta é relativamente simples de usar, podendo ser instalada num computador fixo ou portátil, com capacidade de processamento suficiente. (9) Mais estudos serão necessários, especialmente para avaliar o seu custo-efetividade na prática clínica e cirúrgica. Limitações como a falta de simulação VR da inflação e deflação do pulmão e do processo de ressecção existem, mas poderão ser resolvidos nos próximos anos. (8,9)

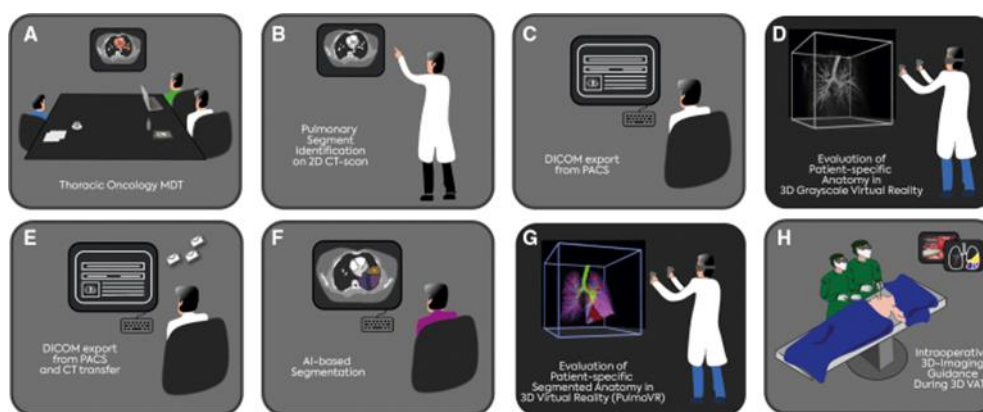


Figura 4. Representação esquemática dos passos envolvidos na obtenção de reconstruções anatômicas 3D, através de tomografias computadorizadas (TC), para visualização em realidade virtual (VR), durante o planejamento pré-operatório. (9)

Também foram descobertas aplicações da realidade virtual (VR) no planejamento das ressecções da parede torácica, por Thumerel M. e colegas, que no presente estudo compararam o uso da visualização 3D-VR a tomografias computadorizadas de duas dimensões (2D-TC) em relação ao planejamento pré-operatório do tratamento de um Carcinoma de grandes células do pulmão que invadiu a parede torácica. Por serem cirurgias raras e difíceis de planejar, as ressecções da parede torácica normalmente são muito complexas, e mesmo os cirurgiões mais experientes por vezes têm pouca prática na sua execução. Aquando do planejamento deste tipo de cirurgias é necessário tentar minimizar a variabilidade preditiva do número de costelas envolvidas e da extensão do tumor, para além de tentar aferir de antemão quais os materiais necessários para a substituição torácica durante a operação. Os autores deste estudo usaram, para o efeito, um HMD VR para a exibição dos modelos 3D, através de um software ainda não disponível comercialmente (AW Virtual Reality prototype; GE Healthcare, Buc, França). Os utilizadores podiam-se mover livremente e interagir com os modelos através de controladores. Um plano de corte da reconstrução também era uma ferramenta específica que eles possuíam neste software. Desta forma, os especialistas conseguiam observar mais precisamente a extensão da invasão extracostal, intercostal, esternal e/ou das costelas do tumor. Os resultados do estudo sugerem um desempenho superior da visualização 3D-VR para a predição da ressecção, tendo beneficiado mais os médicos internos do que os especialistas, potencialmente por serem mais jovens e por isso terem mais afinidade à tecnologia. O 3D-VR também ofereceu uma melhor representação espacial, levando a uma predição aprimorada relativamente à escolha de materiais de substituição. Para além disso, os

participantes reportaram terem achado muito conveniente a mobilidade livre e infinita no ambiente virtual 3D durante o planeamento. (10)

Durante a cirurgia torádica minimamente invasiva, por RATS ou VATS, pode ser especialmente difícil localizar nódulos pulmonares. Nesse contexto, o estudo realizado por Perkins S. e colegas aborda a utilização de uma ferramenta de realidade mista (MR), capaz de exibir um modelo 3D, com origem numa tomografia computadorizada (TC), de uma forma rápida e custo-efetiva, com a finalidade de auxiliar pré-operativamente o cirurgião na localização dos nódulos pulmonares e no planeamento da sua respetiva ressecção. Os cirurgiões utilizam normalmente imagens 2D-TC no planeamento destas ressecções, o que leva a que tenham de construir mentalmente um modelo 3D do pulmão, o que pode ser desafiante. Existem várias técnicas usadas na localização dos nódulos pré-operativamente, como agulhas, bobinas ou fios, que se podem desalojar antes da operação, ou através da injeção de corantes, que, por difundir ao longo do tempo, podem não mostrar corretamente a lesão pulmonar durante a cirurgia. Para além de serem invasivos, nem sempre são confiáveis. O mapeamento pulmonar virtual assistido é uma opção, no entanto continua a necessitar de um corante para identificar a lesão. Nesse sentido, a visualização 3D, utilizando a realidade mista (MR), torna-se uma potencial alternativa, uma vez que é um procedimento não invasivo capaz de dar uma perspetiva 3D da localização do nódulo, permitindo uma interação flexível e dinâmica com os modelos 3D e até mesmo alinhar a reconstrução 3D diretamente com o paciente. Por conseguinte, os autores deste estudo desenvolveram um protótipo MR que possibilita a visualização de tomografias computadorizadas (TC) processadas em modelos 3D digitais, com o auxílio de um software personalizado e do Microsoft HoloLens (Microsoft Corp, Redmond, WA), um *headset* comercialmente disponível. O *headset wireless* HoloLens oferece ao utilizador a possibilidade de observar diretamente o mundo real com imagens digitais superimpostas. (Figura 5) Pode ser controlado pelo reconhecimento da voz ou por gestos manuais, pelo que torna plausível a sua utilização na sala cirúrgica, uma vez que não compromete o protocolo cirúrgico de segurança do doente (contaminação) e de higiene. (Figura 5) A ferramenta MR criada pelos investigadores apresenta ainda a vantagem de mostrar uma simulação da deflação do pulmão assim como uma simulação do posicionamento dos instrumentos cirúrgicos. Apesar da promessa desta tecnologia, a curva de aprendizagem para a sua utilização e a demorada segmentação precisa das TC constituem uma desvantagem à sua implementação. Perkins et al pretendem no futuro implementar esta técnica na fase intra-operativa, bem como no ensino de médicos internos e estudantes de medicina. (11)

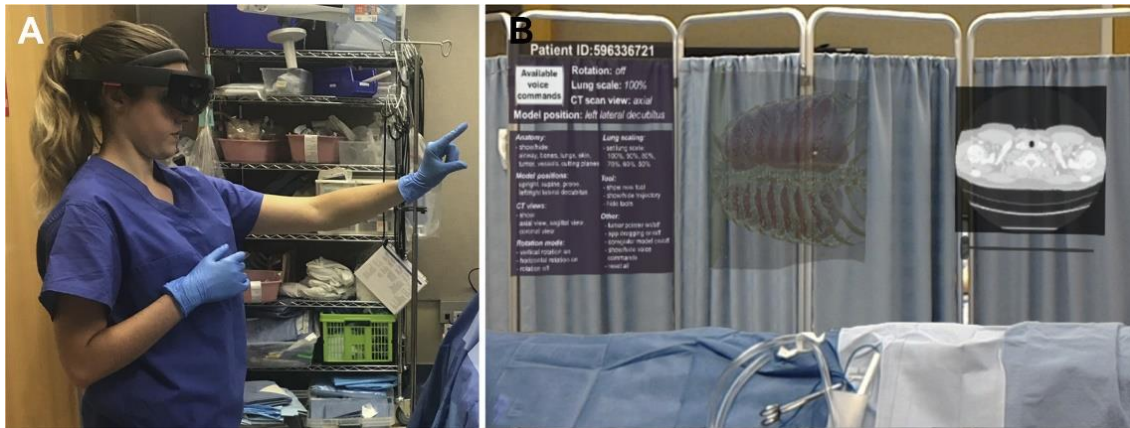


Figura 5. Visualização, em realidade mista (MR), da reconstrução 3D torácica, com auxílio do Microsoft HoloLens. A utilizadora é, ainda, capaz de interagir com o modelo 3D, através de gestos manuais. (11)

## 3.2 Cirurgia Cardíaca

Compreensão pré-operativa da anatomia normal e anormal é crucial em cirurgias complexas e cirurgias minimamente invasivas cardíacas, uma vez que, por vezes, a visualização direta das estruturas não é possível. Atualmente, as técnicas *gold-standart* para o planeamento pré-operativo são a tomografia computadorizada (TC) e a ecocardiografia, no entanto, o cirurgião continua a precisar de reconstruir mentalmente uma imagem 3D da anatomia, pelo que pode levar a informações pouco precisas. Por conseguinte, com o surgimento de novas tecnologias de realidade estendida (XR), capazes de explorar mais imersivamente as relações espaciais entre as estruturas anatómicas, opções alternativas de tratamento apareceram. Sadeghi A e colegas decidiram então implementar a realidade virtual (VR) no planeamento cirúrgico das cirurgias cardíacas, com o recurso a uma nova plataforma VR, o CardioVR, desenvolvida pelos autores, em colaboração com o MedicalVR B.V. (Amsterdão, Países Baixos). CardioVR é um software, construído à base de Unity Software, capaz de renderizar tomografias computadorizadas (TC) em modelos tridimensionais (3D), permitindo ainda destacar certas estruturas, através da coloração, ou ainda apagar outras. Esta nova tecnologia VR permite, desta forma, rápidas visualizações 3D de tomografias computadorizadas (TC), <15 minutos, levando a um planeamento cirúrgico mais útil e eficaz. (Figura 6) Os resultados da experiência demonstraram que os utilizadores (cirurgiões) do dispositivo VR classificaram esta ferramenta como fácil de usar para visualizar imersivamente as tomografias computadorizadas (TC). Sadeghi A. e colegas apoiam ainda a criação de uma equipa cirúrgica multidisciplinar, capaz de lidar com o sistema 3D-VR e os respetivos hardware e software. Não obstante, a visualização dos modelos 3D, em formato VR, através do uso de HMDs, no teatro operatório, constitui uma limitação, pelo que o desenvolvimento de dispositivos de realidade aumentada (AR) para uso intra-operatório deve ser um foco no futuro. (12)

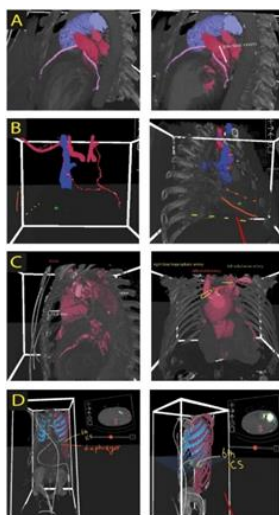


Figura 6. Conjunto de reconstruções 3D da caixa torácica, com especial relevância para estruturas anatómicas cardíacas, usadas para visualização em realidade virtual (VR), no contexto do planeamento pré-operativo. (12)

A cirurgia cardíaca à aorta é considerada complexa e desafiante, pelo que um bom planeamento pré-operativo é essencial para reduzir a quantidade de erros intra-operatórios e a necessidade de intervenções adicionais, como a paragem circulatória com hipotermia profunda, que contribui para um aumento das complicações. Estudos realizados previamente demonstraram a eficácia da realidade virtual (VR) em compreender a anatomia do paciente, reduzindo, conseqüentemente, o número de erros cirúrgicos. Neste caso em particular, a vantagem que a realidade virtual (VR) possui na visualização da anatomia complexa da aorta ascendente e do arco, em formato 3D, pode possibilitar a diminuição da duração da cirurgia e assegurar melhores resultados operativos. Nesse sentido, Abjigitova D. e colegas decidiram avaliar a utilidade e validade da VR no planeamento pré-operativo da cirurgia da aorta ascendente, nomeadamente na escolha entre a anastomose aórtica distal aberta ou por clamp, com pinça. Ficheiros DICOM e segmentações 3D eram, então, transferidas para a ferramenta CardioVR. De seguida, os modelos 3D eram enviados para um HMD, neste caso, Oculus Rift S (Oculus VR, Irvine, CA, USA) e explorados, com o auxílio a controladores manuais. (Figura 7) Os resultados deste estudo mostraram que há, de facto, potencial na utilização do CardioVR no planeamento pré-operativo. Ainda que não tenha havido diferença significativa na eficácia entre uso de 2D-TC e 3D-VR, a maior parte dos cirurgiões relataram sentirem-se mais bem preparados com o uso de 3D-VR, tendo em dois casos mudado o plano cirúrgico previamente estabelecido com o recurso a 2D-TC, realizando uma anastomose distal por clamp, em vez de aberta, o que levou à eliminação da necessidade de uma paragem cardíaca por hipotermia profunda.

Assim sendo o novo método 3D-VR tem o potencial de aumentar o entendimento anatómico da aorta ascendente e do arco aórtico, o que aprimora a capacidade de o cirurgião planejar a extensão da ressecção e de escolher o procedimento mais otimizado para cada situação, seja uma anastomose aórtica distal aberta ou por clamp, com pinça, evitando paragens cardíacas por hipotermia profunda desnecessárias. Apesar do hardware inicial, necessário à implementação desta plataforma, ser de um custo relativamente elevado (aproximadamente entre €4.000 e €6.000), após a compra dos componentes, a renderização e reconstrução de modelos 3D, através de tomografias computadorizadas (TC), excetuando a segmentação manual, tem um custo baixo. Esta plataforma VR apresenta como limitação a obtenção de modelos 3D apenas com base em TC, pelo que no futuro pretende-se aumentar o seu espectro a ressonâncias magnéticas (RM) e a ecografias. Para além disso, a segmentação das imagens teve de ser feita em colaboração com especialistas tecnológicos, pelo que o desenvolvimento de uma segmentação (semi)automática poderá automatizar este passo e, consequentemente, diminuir os custos e o tempo gasto. (13)

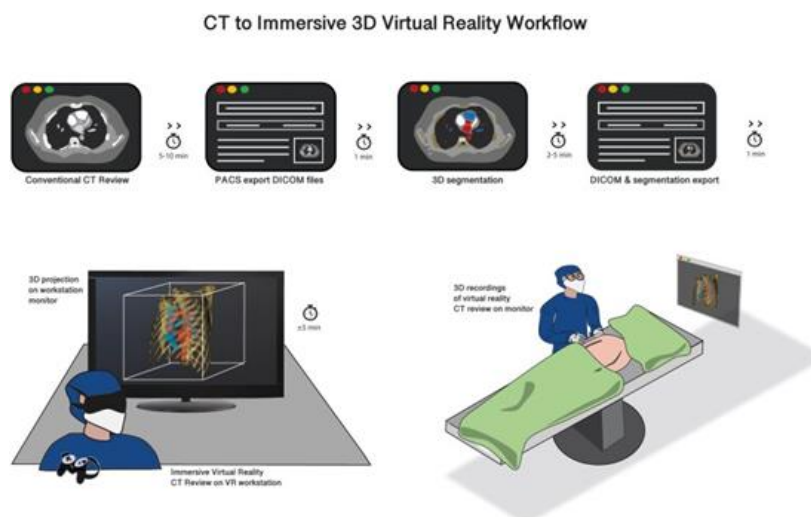


Figura 7. Conjunto de reconstruções 3D da caixa torácica, com especial relevância para estruturas anatómicas cardíacas, usadas para visualização em realidade virtual (VR), no contexto do planeamento pré-operativo. (12)

Nos tempos atuais, o uso da ressonância magnética (RM) e das tomografias computadorizadas (TC) são as formas convencionais de planejar uma operação. Porém, a visualização destas imagens 2D em ecrãs planos, apresenta diversas limitações, podendo não transmitir a informação de uma forma eficiente, devido à falta de perceção de profundidade, pelo que o recurso a novas tecnologias capazes de permitir uma visualização de modelos 3D das estruturas anatómicas, num ambiente imersivo,

poderá trazer melhores resultados cirúrgicos. A realidade mista (MR), capaz de combinar o mundo real com o mundo virtual, emergiu como uma potencial alternativa, dentro destas novas tecnologias. O HoloLens (Microsoft® HoloLens™) foi o primeiro dispositivo com a capacidade de implementar esta técnica, a um nível comercial. Este dispositivo possibilita a visualização de modelos 3D em simultâneo com objetos reais, através do mapeamento do espaço físico real e posterior projeção, permitindo, ainda, ao utilizador caminhar à volta do modelo e interagir com ele, pelo meio de comandos de voz, do rastreamento dos movimentos da cabeça e do olhar e de gestos manuais. O som espacial do HoloLens consegue transmitir, também, a sensação de distância do som e de que direção vem. A sua portabilidade torna possível o seu transporte para todo lado, incluindo dentro de uma sala operatória. Por conseguinte, Kumar R. et al decidiram averiguar a sua utilidade na cirurgia cardíaca. Além das ferramentas básicas que o dispositivo MR já tinha, os autores deste estudo incorporaram ferramentas extras customizadas ao seu respetivo uso no planeamento pré-operatório da cirurgia, tais como a possibilidade de mover, rodar e aumentar ou diminuir a reconstrução, colocar marcadores em pontos de interesse, que pudessem ser vistos por todos os utilizadores numa visão partilhada e a visualização, em simultâneo, de imagens RM ou TC. Para além disso, ainda acrescentaram a opção de visualizar as estruturas internas do coração, através do uso de um cubo, que quando intercetado com as partes externas do modelo tornava-as transparentes. As imagens 2D das TC e RM começavam por ser convertidas em imagens volumétricas (15-60 minutos), sendo de seguida segmentadas semi-automaticamente (30 minutos a 6 horas). Finalmente, modelos 3D eram, então, criados, demorando, este processo, alguns segundos. Após a sua criação, as reconstruções 3D eram transferidas para um servidor, onde o HoloLens tinha acesso. Em conexões de internet de alta-velocidade, as transferências computador-servidor e servidor-HoloLens também apenas precisavam de alguns segundos para serem completadas. Como vários dispositivos HoloLens conseguiam aceder ao mesmo modelo 3D, ao mesmo tempo, esta vantagem permitiu uma reunião multidisciplinar entre vários clínicos, no espaço virtual, o que potenciou a melhor tomada de decisão relativamente ao tratamento do paciente. (Figura 8) Os resultados mostraram que esta mesma ferramenta ajudou na localização e na definição do tamanho da lesão/defeito, em relação a estruturas importantes, tais como os músculos papilares e as artérias coronárias, o que alterou, em certos casos, o método operativo e a forma do curso de acesso. Os participantes relataram, ainda, que o uso do HoloLens não obstruía a visão, possibilitando aos médicos mover-se livremente à volta do modelo virtual do coração, sem irem contra objetos reais, vantagem essa que os dispositivos VR, tais como o Oculus Rift ou o Google Glass, não possuem. Ainda assim, esta nova tecnologia

continua a ter algumas desvantagens, já que se encontra limitada pela habilidade dos utilizadores em interagir com as suas funcionalidades, nomeadamente em relação às técnicas gestuais. O estudo, também, permitiu concluir que o HoloLens ainda não se encontra capaz de ser usado por longos períodos de tempo, devido à sua confortabilidade limitada. Estas e outras questões poderão ter sido resolvidas com o desenvolvido, e já lançado, HoloLens 2, mas mais estudos ainda serão necessários. Apesar disso, os participantes entenderam que o valor do HoloLens era superior quando comparado às técnicas correntes de planeamento pré-operativo. Esta tecnologia possui, ainda, potencial intra-operativo, pois, devido à eliminação de rato e teclado para controlar a imagem, as suas aplicações gestuais e de livre movimento providenciam uma possível implementação em ambientes estéreis, em específico na sala operatória. (14)

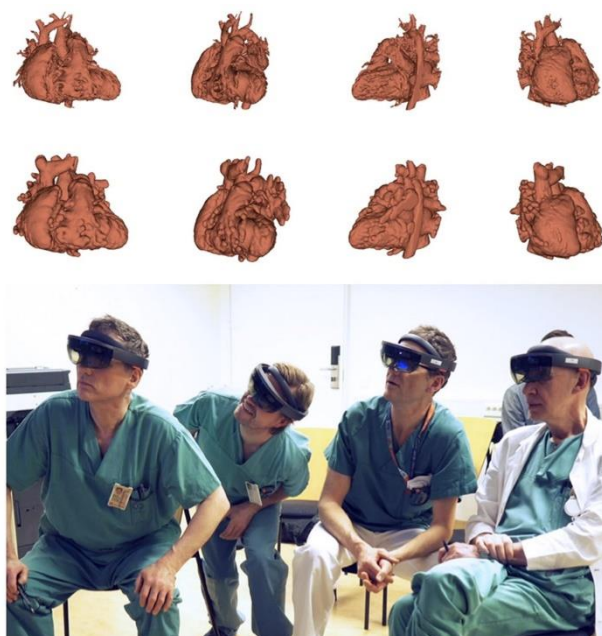


Figura 8. Cardiologistas e cirurgiões cardíacos utilizam o Microsoft HoloLens para o planeamento pré-operativo da cirurgia cardíaca congénita, numa reunião de equipa multidisciplinar. (14)

Num estudo similar envolvendo a realidade mista (MR), Gehrsitz P. e colegas quiseram inovar na forma como os modelos 3D eram criados, a partir de imagens 2D, provenientes de tomografias computadorizadas (TC) e de ressonâncias magnéticas (RM). Atualmente, existem dois métodos, ou através da segmentação manual ou automática de estruturas de interesse, ou através do cálculo automático, à base de algoritmos de renderização. Por conseguinte, os autores deste estudo decidiram aplicar a renderização cinemática à obtenção dos modelos 3D. A renderização cinemática,

desenvolvida por Siemens Healthineers, é capaz de gerar reconstruções 3D mais foto-realistas que os dois métodos anteriormente descritos, pelo facto de imitarem as interações das luzes naturais com os objetos. Estudos anteriores demonstraram a sua capacidade em definir melhor a forma dos objetos 3D e em providenciar uma superior percepção de profundidade. Assim sendo, Gehrsitz P. et al exploraram a combinação entre a realidade mista (MR) e o uso de reconstruções 3D, à base de renderização cinemática, no contexto da cirurgia cardíaca pediátrica. Ficheiros DICOM de TC e RM eram exportados para o software avançado de visualização de imagens, syngo.via (Version VB30A; Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Alemanha), onde a aplicação “Realidade Cinemática” permitia criar um holograma renderizado cinematicamente, que posteriormente era transferido para o HoloLens R (Microsoft, Redmond, USA), onde poderia ser observado e interagido. (Figura 9) Os resultados mostraram que o planeamento pré-operativo, através de hologramas, à base de renderização cinemática, levaram a uma redução da duração da preparação intra-operatória. Este acontecimento pôde justificar-se pela correspondência semelhante do holograma à textura do tecido encontrado intra-operativamente, familiar aos cirurgiões, o que levou a um reconhecimento mais rápido das estruturas exteriores cardíacas. Consequentemente, como já pré-estabelecido na literatura científica, diminuir o tempo da cirurgia é um fator importante que influencia positivamente o resultado pós-operativo da cirurgia. (15)



Figura 9. Cirurgião a visualizar um holograma cardíaco, construído com base em renderização cinemática, através do uso do Microsoft HoloLens. (15)

A complexidade do defeito do septo interventricular, por vezes, pode levar a que diferentes especialistas tenham dúvidas na forma como se deve proceder à sua correção, especialmente porque técnicas de imagem atuais, que auxiliam no planeamento pré-operativo, nem sempre são muito claras e precisas na percepção de toda a estrutura do septo interventricular e da relação deste com as estruturas cardíacas

adjacentes. Mendez A. e colegas, num caso reportado, experimentaram a implementação da realidade virtual (VR) no planeamento pré-operativo, explorando modelos virtuais 3D criados com base em ressonâncias magnéticas (RM). O seu uso permitiu o movimento, a rotação, o aumento e a diminuição da reconstrução 3D, de forma a melhorar a análise das estruturas cardíacas. A avaliação da simulação concluiu que um fechamento do defeito do septo interventricular era possível e a verificação das estruturas encontradas intra-operativamente correspondiam precisamente aos modelos 3D criados. (Figura 10) (16)

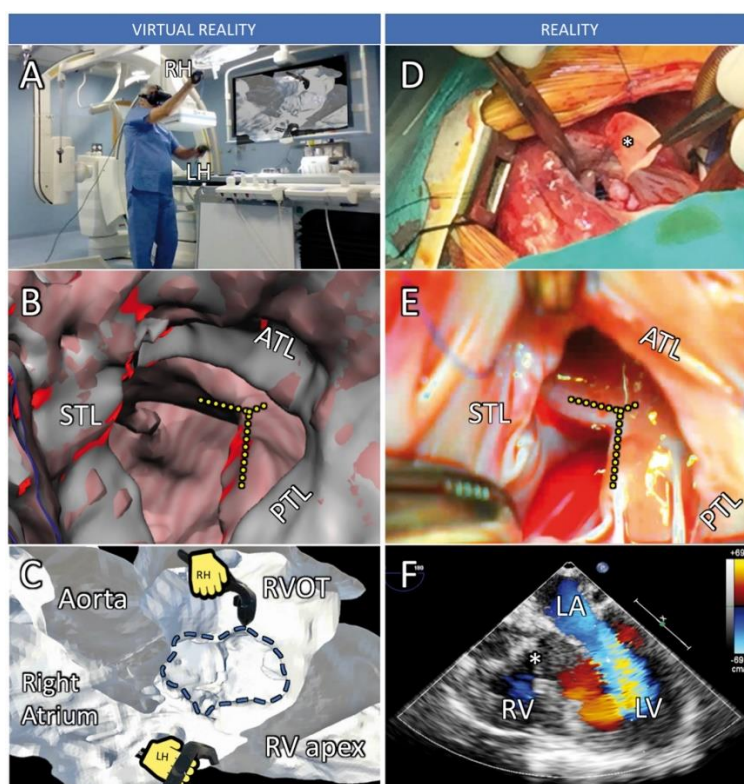


Figura 10. Planeamento pré-operativo da cirurgia a largos defeitos do septo interventricular, recorrendo à realidade virtual (VR). (16)

A doença congénita e pediátrica das válvulas auriculoventriculares apresenta um enorme desafio para a cirurgia cardíaca, devido à ampla variabilidade de diferenças anatómicas entre os pacientes, nomeadamente quanto à natureza e à extensão do defeito a reparar. A ecocardiografia é o *gold-standart* no planeamento pré-operativo, no entanto, a sua exibição num ecrã plano 2D, limita a perceção de profundidade. Assim sendo, Pushparajah K. e colegas estudaram a aplicação da realidade virtual (VR) na visualização 3D das ecocardiografias, investigando o seu impacto na perceção das estruturas anatómicas e na escolha do curso cirúrgico de tratamento. Por conseguinte, desenvolveram um sistema imersivo VR, com o auxílio do Unity (uma plataforma de

vídeo jogos) e do Visualization Toolkit (uma biblioteca de visualizações, desenhada especificamente para imagens médicas). A plataforma permitiria uma visualização imersiva dos modelos 3D criados, baseados em ecocardiografias, no qual o utilizador poderia mover-se livremente e orientar o modelo em qualquer direção. Posteriormente, implementaram este sistema no dispositivo HTC Vive VR Headset. (Figura 11) Os dados obtidos mostraram que o uso do VR teve pequenas e grandes influências na maior parte dos casos, quanto à definição da melhor aproximação cirúrgica. Os participantes relataram que o sistema VR proporcionou uma melhor visualização anatómica, uma movimentação dos folhetos das válvulas e a oportunidade de interagir com o modelo, de forma a orientá-lo para melhor avaliação cirúrgica. Os cirurgiões participantes consideraram ainda que a plataforma VR poderia reduzir a duração da operação e que teria o potencial de no futuro se tornar uma ferramenta rotineira. Alguns dos médicos admitiram a possibilidade de o sistema diminuir as complicações operatórias. Apesar da utilização deste tipo de dispositivos possuir uma elevada curva de aprendizagem, a sua superação poderá aumentar ainda mais o valor no planeamento pré-operativo, com a experiência e familiarização com o dispositivo. Os autores do estudo propõem, ainda, no futuro, a sua integração com a inteligência artificial (IA), com o intuito de automatizar a melhor orientação da reconstrução 3D, consoante cada caso específico e segundo as preferências do utilizador. (17)

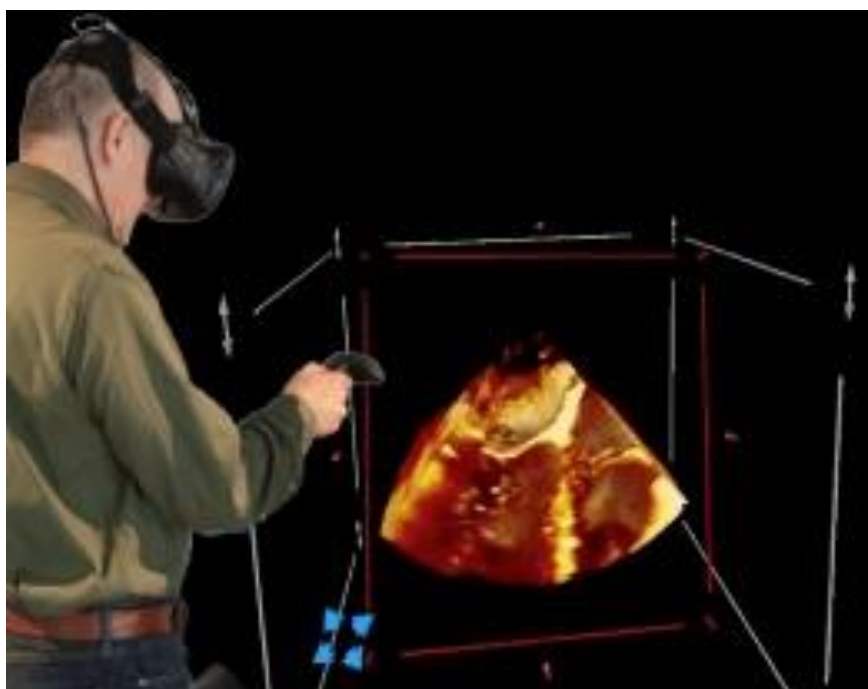


Figura 11. Uma imagem tridimensional (3D), baseada numa ecocardiografia, exibida em realidade virtual (VR). O dispositivo manual permite o controlo do modelo 3D durante a sua visualização. (17)

Nos últimos anos, o uso de dispositivos na oclusão do apêndice auricular esquerdo (AAE) tem sido cada vez mais praticado, nomeadamente através do AtriClip (AtriCure, Mason, OH, USA). A oclusão deste apêndice é uma alternativa viável a anticoagulantes orais, para a prevenção do acidente vascular cerebral (AVC), com origem em fibrilações auriculares. Vários estudos feitos previamente mostraram a segurança e a eficácia do AtriClip, no entanto, ainda que haja uma taxa reduzida de complicações, a má aplicação deste dispositivo pode levar a esses resultados negativos. Sobrestimar o tamanho do clipe pode levar a uma compressão ou lesão dos vasos sanguíneos circundantes e subestimar o seu tamanho pode levar ao dano da artéria circumflexa esquerda ou à má oclusão do apêndice, pelo que o cálculo preciso das medidas do apêndice é necessário. Por conseguinte, Schaagen F. et al, confiantes de que o uso da realidade virtual tridimensional (3D-VR) aumentaria a eficácia da medição do apêndice, decidiram realizar um estudo de forma a provar a sua viabilidade, para além de compararem o seu uso, retrospectivamente, a casos onde se tinha aplicado o método convencional da medição. A plataforma escolhida pelos autores, para a conversão de tomografias computadorizadas (TC) em reconstruções 3D, foi o MedicalVR (Amsterdão, Países Baixos). (Figura 12) Os resultados demonstraram que o uso de 3D-VR providenciou um tamanho do AtriClip mais aproximado ao tamanho realmente necessário, em comparação com o uso do 2D-CT, mas, ainda assim, afastado do tamanho calculado e usado intra-operativamente. Perante estes resultados, os autores do estudo levantaram a hipótese de que, de facto, em quase todos os casos que eles analisaram, foram usados tamanhos sobrestimados de AtriClip para a oclusão do apêndice, devido a medições intra-operativas pouco precisas. Alguns argumentos podem explicar este acontecimento como o batimento cardíaco e o espaço limitado, durante a medição. Assim sendo, Schaagen F. e colegas concluem o estudo dizendo que é possível que as medições proporcionadas pelo 3D-VR sejam ainda mais realistas que as medições realizadas intra-operativamente. (18)

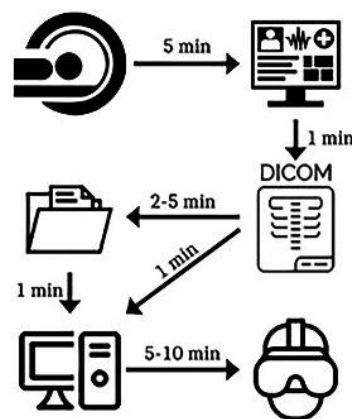


Figura 12. Duração média do processo de criação de modelos 3D, com base em tomografias computadorizadas (TC). O tempo total, por tomografia computadorizada, fica entre 15 e 20 minutos. (18)

Outro estudo realizado que demonstrou a viabilidade da técnica da realidade virtual tridimensional (3D-VR) no contexto da cirurgia cardíaca teve origem por Woestijne P. e colegas. A sua aplicação inseriu-se no planeamento pré-operativo da melhor abordagem da correção cirúrgica de vasos sanguíneos anormais que surgem da aorta e que irrigam com sangue oxigenado o parênquima pulmonar, no contexto da atresia pulmonar com defeito do septo interventricular. Devido ao desenvolvimento específico e diferente do sistema pulmonar arterial e ao número variável de vasos anormais, de cada paciente, várias opções cirúrgicas complexas são possíveis, no entanto o objetivo final é criar uma circulação biventricular com um adequado sistema pulmonar arterial. Completa reparação, com o número mais reduzido possível de intervenções, requer uma ótima visualização pré-operativa da anatomia pulmonar arterial e dos vasos anormais, pelo que Woestijne P. et al decidiram implementar a utilização da plataforma de realidade virtual (VR) CardioVR (MedicalVR, Amsterdão, Países Baixos), capaz de converter tomografias computadorizadas (TC) em modelos tridimensionais (3D). (Figura 13) O estudo mostrou que o uso de reconstruções 3D-VR, ainda que tenha consumido algum tempo, foi viável no planeamento pré-operativo, apresentando-se como uma técnica complementar, que possibilita a visualização e um entendimento mais aprofundado de certas estruturas de interesse e de detalhes específicos dos pacientes, que auxiliam na escolha do melhor procedimento cirúrgico. A plataforma VR foi relatada pelos participantes cirurgiões como fácil de utilizar e proporcionou um valor acrescentado na análise da origem, do número e do trajeto dos vasos anormais, o que possivelmente pode contribuir, em operações futuras, para uma maior percentagem de reparações completas. Os autores do artigo estimaram que a incorporação desta plataforma VR, computador com bom processamento e HMD, ambos comercialmente disponíveis, poderia custar entre 1500 e 2500 euros. No futuro, os investigadores pretendem verificar a aplicação do 3D-VR em outras doenças cardíacas congénitas e adicionar outras modalidades de imagem à forma como se obtêm modelos 3D, como por exemplo, através da angiografia coronária ou da angiografia por ressonância magnética. (19)

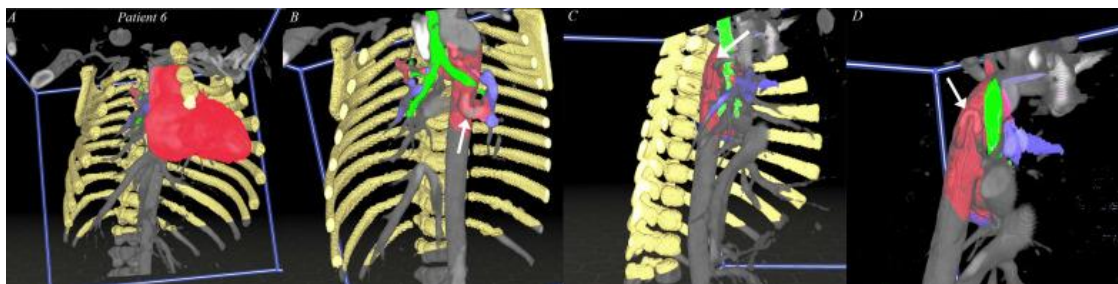


Figura 13. Visualização de reconstruções 3D, num ambiente de realidade virtual (VR), de tomografias computadorizadas (TC) segmentadas. (19)

Num caso extremamente raro de um mixoma ventricular, Qiu H. colegas experimentaram usar a realidade virtual para o planeamento pré-operativo da sua remoção. Tumores primários cardíacos nas crianças são raros e o mixoma localizado no ventricular esquerdo ainda mais raro é. A sua ressecção cirúrgica é complexa e desafiante, devido ao espaço pequeno e limitado para operar. Para além disso, o seu tamanho e localização é altamente variável entre pacientes. O facto destes tumores serem raros também não providencia grandes oportunidades de os cirurgiões ganharem experiência no seu planeamento e ressecção. A plataforma de realidade virtual tridimensional (3D-VR), ao converter tomografias computadorizadas (TC) em modelos 3D, torna a visualização das imagens mais intuitiva e aprofundada, o que pode ser especialmente útil, nestes casos raros e complexos, onde as modalidades de imagens convencionais podem não ser suficientes para um planeamento pré-operatório preciso e claro. Neste caso em particular, a reconstrução 3D proporcionou um entendimento e percepção anatómica das estruturas cardíacas, internas e externas, superiores às imagens convencionais, tendo a plataforma VR sido desenvolvida pela própria equipa. A aplicação deste sistema envolveu uma equipa multidisciplinar, incluindo radiologistas, cirurgiões e engenheiros, especificamente dedicados à criação de modelos virtuais 3D. (20)

As doenças cardíacas congénitas são umas das patologias mais complexas e desafiantes, nomeadamente do ponto de vista da resolução cirúrgica, logo uma completa compreensão anatómica das estruturas anormais ou defeituosas é necessária para um preciso planeamento pré-operatório. No entanto, as atuais ferramentas de imagens, como a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM), não possuem percepção de profundidade, por se encontrarem limitadas a uma visualização 2D, pelo que levam a uma falta de realismo. Por causa disso, a interpretação morfológica do coração continua a depender parcialmente da conversão 2D em 3D, na mente do cirurgião. (21,22) Assim sendo, Lau I. e colegas compararam, em dois estudos semelhantes, a utilização da realidade virtual (21) e da realidade mista

(22) ao uso da impressão 3D, de modelos do coração, e ao uso de técnicas convencionais de imagem no planejamento pré-operativo das doenças cardíacas congênitas. (21,22) As tomografias computadorizadas (TC) eram transferidas para o Mimics Innovation Suite (Materialise HQ, Lovaina, Bélgica), para processamento e segmentação, sendo, posteriormente, polidas pelo 3-Matic, um software que acompanha o Mimics Innovation Suite. O modelo do coração demorava cerca de 30 minutos a ser criado. (21,22) No caso da realidade virtual (VR), após a transferência do modelo digital do coração, em formato OBJ, para o Unity 3D (Unity Technologies, São Francisco, Califórnia, USA), a plataforma então convertia a reconstrução num projeto VR, que era, em seguida, exportada, num formato android (APK) para o Oculus Quest 2 (Facebook Technologies, LLC, Irvine, Califórnia, Estados Unidos da América). O projeto VR poderia ser agarrado, rodado e visto de perto pelos utilizadores, com o auxílio a controladores de mão, num ambiente completamente imersivo. Várias reconstruções cardíacas poderiam ainda ser colocadas no mesmo projeto VR. (21) Já no caso da realidade mista (MR), os modelos digitais eram enviados, em formato OBJ, para o Blender (V2.91.0, Blender Foundation, Amsterdão, Países Baixos), para otimização do ficheiro durante a visualização holográfica, no Microsoft HoloLens 2 (Microsoft Corp., Redmond, DC, USA). A aplicação MR que permitia a exibição do projeto no HoloLens foi construída com a ajuda do Unity engine (V2020.3.13f1, Unity Technologies ApS., São Francisco, CA, USA), do Microsoft OpenXR Plugin, do Mixed Reality Toolkit (MRTK) (Version 2.7.0, Redmond, DC, USA), e do Microsoft Visual Studio 2019 (Version 16.11.9, Microsoft Corp., Redmond, DC, USA). Os utilizadores desta plataforma conseguiam manipular o modelo 3D do coração usando diferentes gestos manuais, podendo aumentar e diminuir o modelo, rodá-lo e mudar o plano de corte. (22) (Figura 14) Os resultados dos estudos mostraram que tanto a impressão 3D, como o VR e o MR, foram superiores, no geral, em termos de experiência da visualização anatómica, do que as imagens convencionais. Apesar da investigação ter demonstrado que a impressão 3D era melhor no entendimento anatómico e patológico da doença cardíaca, a realidade virtual (VR) e a realidade mista (MR) apresentaram-se como as melhores técnicas para o planejamento pré-operativo, isto porque a VR e a MR foram capazes de exibir com mais qualidade os defeitos cardíacos, a percepção de profundidade e a relação espacial das estruturas anatómicas. A maior limitação da aplicação da impressão 3D é seu custo e o seu tempo de produção, o que torna difícil a sua implementação, especialmente em situações de emergência. Já a VR e a MR, neste aspeto, tem uma aplicação muito mais rápida, para além de serem mais custo-efetivas. (21,22) Não obstante, tanto a realidade virtual (VR) como a realidade mista (MR) apresentam desvantagens. O uso de HMDs volumosos na realidade virtual (VR) leva a

uma diminuição da confortabilidade do cirurgião. (21) Relativamente à realidade mista (MR), a curva de aprendizagem é mais elevada, pelo que a sua utilização requer mais tempo de treino. (22) Enjoos também acabam por ser uma consequência secundária ao uso deste tipo de dispositivos. (21,22) No futuro, os autores deste estudo pretendem que a aplicação das tecnologias de realidade estendida (XR) se expande a outras doenças cardíacas, como o aneurisma da aorta e a dissecção da aorta. Para além disso, planeiam desenvolver, ainda, mais funções interativas para este tipo de dispositivos, como medir e esconder certas estruturas anatómicas. (21,22)

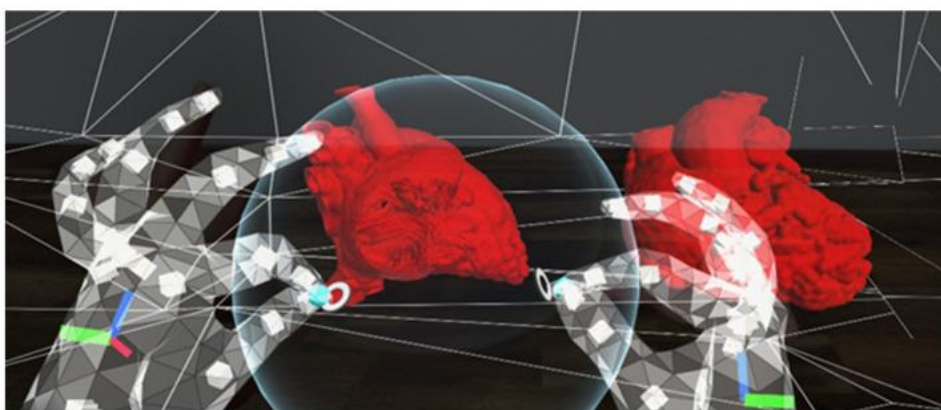


Figura 14. Projeção holográfica de um modelo 3D do coração, num ambiente de realidade mista (MR), usando o Microsoft HoloLens 2. A manipulação da reconstrução 3D é possível através de gestos manuais, permitindo aumentar, diminuir, rodar e modificar o plano de corte. (22)

Contudo, o uso clínico e cirúrgico destas novas tecnologias apresenta certas limitações. O elevado custo da sua aplicação e a necessidade de profissionais, especializados em 3D, para manipular estas plataformas diminui a probabilidade da sua implementação nos serviços hospitalares. A possível simplificação do processo de obtenção de modelos virtuais poderá corrigir esta situação. Nesse contexto, Bertelli F. et al decidiram experimentar a utilização do DIVA software (Data Integration and Visualization in Augmented and Virtual Environments, Institut Pasteur, Paris) na obtenção de reconstruções 3D, no planeamento pré-operativo das doenças cardíacas congénitas. O DIVA software é uma tecnologia VR de fácil manuseio capaz de criar modelos cardíacos virtuais 3D de uma forma mais rápida e simples. A plataforma foi desenvolvida com o recurso ao Unity e incorpora dois modos de utilização, visualização num computador ou num dispositivo de realidade virtual (VR), com o auxílio a um HMD VR. As reconstruções 3D foram feitas com base em ressonâncias magnéticas (RM). Todos os participantes recriaram os modelos cardíacos em pouco tempo, com boa qualidade, mantendo com precisão os detalhes anatómicos. Portanto, este estudo

demonstrou, o potencial uso do DIVA software, para cirurgias sem ou com pouca experiência a lidar com estas tecnologias, aumentando, ainda, a qualidade da sua utilização, por parte dos participantes, ao longo do tempo, após algumas reconstruções. Embora o seu custo inicial ainda seja um pouco elevado (computador com bom processamento e HMD com controladores), o seu custo com profissionais especializados desaparece, passando os cirurgias a também poder fazer este trabalho. (23)

A saída dupla do ventrículo direito é uma doença cardíaca congênita complexa, onde a artéria pulmonar e a artéria aorta originam parcialmente ou completamente do ventrículo direito. A escolha do procedimento cirúrgico ideal e o seu planeamento dependem de uma avaliação profunda e precisa das estruturas anatómicas e da relação entre elas. No entanto, o planeamento pré-operativo é difícil, devido às características anatómicas variadas de cada paciente. Atualmente, no planeamento é usado a ecografia, o que se revela insuficiente, por vezes, na visualização de certas partes da anatomia. Assim sendo, tomografias computadorizadas (TC) e ressonâncias magnéticas (RM) poderão ser também usadas. Porém todas estas modalidades de imagem são exibidas, em formato 2D, num ecrã, pelo que reconstruções 3D têm de ser feitas pelos cirurgias mentalmente, o que depende da experiência e conhecimento de cada médico. Peek J. e colegas realizaram, então, um estudo retrospectivo a comparar o uso da realidade virtual (VR) com as modalidades *gold-standart* de imagem 2D, no planeamento pré-operativo desta doença cardíaca. A segmentação semi-automática das tomografias computadorizadas (TC) foi feita com o recurso ao 3D Slicer software e a sua, posterior, visualização através do MedicalVR (MedicalVR, Amsterdão, Países Baixos). Na plataforma de realidade virtual (VR) os modelos virtuais 3D poderiam ser movidos e visualizados de diferentes ângulos, com o auxílio a controladores manuais, o que levava a uma maior interatividade com as estruturas intra e extra-cardíacas. Os resultados demonstraram a utilidade do 3D-VR no planeamento pré-operativo desta doença, causada por uma compreensão mais aprofundada das relações espaciais entre as diferentes estruturas anatómicas. Os cirurgias sentiram-se mais confiantes na sua proposta cirúrgica após a utilização do 3D-VR. Os planos cirúrgicos propostos pelos participantes, com base no 3D-VR, corresponderam em maior quantidade ao ocorrido intra-operativamente, quando comparado às imagens convencionais 2D. Esta vantagem pode diminuir o tempo gasto pelos cirurgias na exploração intra-operativa, o que, por sua vez, pode levar a uma redução da duração da operação, a diminuir a quantidade de cortes desnecessários, com comorbilidades associadas, e a melhores resultados cirúrgicos. No futuro, pretende-se a aplicação de mais modalidades de imagem na obtenção das reconstruções 3D, para além da tomografia computadorizada.

A implementação desta tecnologia noutras doenças cardíacas congénitas é, também, um objetivo. (24)

Na reparação biventricular da saída dupla do ventrículo direito, o planeamento pré-operativo do potencial caminho ocupado pelo defletor (*Baffle*, em inglês) é essencial. Um defletor é um túnel ou paredes criadas operativamente, dentro do coração ou nos principais vasos sanguíneos, de forma a redirecionar o fluxo sanguíneo. Na criação de modelos digitais virtuais, para visualização em realidade virtual (VR), durante a fase de segmentação da imagens, é possível a simulação da colocação de um defletor, no entanto, este processo é trabalhoso, complexo e demorado, tendo a segmentação manual de ser feita por um especialista, pelo que a formação de várias simulações de diferentes opções de defletores e a sua alteração, em tempo-real, com base no feedback dos cirurgiões, é difícil. Por conseguinte, Vigil C. e colegas, na tentativa de solucionar este problema, desenvolveram um novo método de rápida criação e alteração de defletores simulados, durante a fase de segmentação das imagens convencionais 2D. Os autores começavam por realizar a segmentação de ressonâncias magnéticas no Mimics segmentation software (Materialise, Bélgica). De seguida, através da implementação de um módulo de planeamento de defletor customizado no 3D Slicer, ele conseguiam criar diferentes defletores, que eram, posteriormente, exibidos no HTC Vive Headset (HTC, Taoyan City, Taiwan), com o auxílio ao Slice VR. Esta ferramenta permitia um criação mais rápida e mais simples de defletores, em comparação com os atuais métodos, tendo demorado o seu posicionamento, em média 2 minutos. A ferramenta proporcionava ainda uma fácil alteração dos mesmos, após a sua criação. Também se verificou que os utilizadores não precisavam de tanta experiência para manipular esta tecnologia. Os defletores simulados poderiam ser vistos tanto em ecrãs de computadores, como em dispositivos de realidade virtual (VR). Este novo software é de fonte aberta, o que significa que qualquer pessoa pode utilizar, sem custos adicionais. A funcionalidade foi implementada na extensão SlicerHeart, disponível no gestor 3D Slicer Extension. (25)

Nos últimos anos, para além da realidade virtual (VR), também a realidade mista (MR) surgiu como uma opção alternativa às imagens convencionais 2D, no planeamento pré-operativo da saída dupla do ventrículo direito. Brun H. e colegas, foram pioneiros neste assunto, ao mostraram a sua viabilidade e utilidade num estudo em que usaram hologramas, à base de realidade mista (MR), para o planeamento do tratamento desta doença. No sistema desenvolvido por eles, angiografias por tomografia computadorizada (ATC) eram segmentadas e processadas, através do ITKsnap 3X e do 3Matic (Materialise, Lovaina, Bélgica), de forma a criar modelos 3D digitais do coração. Posteriormente, eram transferidos para o Microsoft HoloLens, para

visualização holográfica. Nesta plataforma MR, os participantes poderiam mover, aumentar, diminuir, rodar e cortar, em vários planos, a reconstrução 3D do coração. Para além disso, benefícios como a independência do ângulo de inclinação, a alta capacidade de mobilização e o controlo por gestos manuais, aumentaram o potencial da sua utilização. Os resultados deste estudo em particular demonstraram a viabilidade desta nova técnica, tendo a mesma sido altamente classificada pelos participantes cirurgiões, que experienciaram este método pela primeira vez, nomeadamente pelas classes etárias mais jovens e pelas pessoas do sexo feminino. Os participantes relataram ainda que esta nova tecnologia permitia uma compreensão mais aprofundada dos defeitos cardíacos complexos. O estudo também revelou a necessidade de melhorar as ferramentas de manipulação dos modelos 3D, neste caso, os controlos gestuais. Ainda que não tenha sido experimentada nesta investigação, esta plataforma MR também proporciona a possibilidade de mais do que um utilizador visualizarem e interagirem com o mesmo modelo 3D, numa sessão partilhada, mesmo sendo visto de diferentes ângulos. (Figura 15) Por se tratar de realidade mista (MR), a capacidade comunicativa verbal e não-verbal também se mantém preservada. Esta função é bastante promissora, especialmente quando aplicada em reuniões multidisciplinares. Quando comparada a outras técnicas, como a impressão 3D, a visualização holográfica é uma opção mais rápida e barata, após o seu custo inicial. De momento, esta tecnologia não consegue representar os folhetos das válvulas, por usar apenas ATC, pelo que implementação de ecocardiografias, na criação de reconstruções 3D, pode resolver este assunto. Outra limitação é a falta de dinamismo associada às reconstruções cardíacas, sendo o objetivo, no futuro, construir hologramas que apresentem todo o ciclo cardíaco, no entanto, mais poder computacional é necessário. (26)



Figura 15. Vista partilhada da mesma projeção holográfica cardíaca, por médicos em ângulos diferentes, em realidade mista (MR), durante uma reunião multidisciplinar. Um cirurgião controla a reconstrução, enquanto o outro observa. (26)

Num estudo semelhante ao supramencionado, também foi demonstrado por Ye W. et al a viabilidade e as vantagens da utilização da realidade mista (MR) na mesma doença. Com a ligeira diferença de que as angiografias por tomografia computadorizada (ATC) foram segmentadas pelo 3D slicer software (StarSource Medical Image Workstation, Visual3D, Pequim, China) e renderizadas pelo StarAtlas Holographic Medical Image System (Visual3D, Pequim, China), também as reconstruções 3D foram visualizadas no dispositivo HoloLens (developer's edition, Microsoft, Redmond, WA, USA). Os resultados mostraram que a utilização dos hologramas 3D, possibilitou a diminuição da duração do planeamento pré-operativo e o aumento na eficácia do diagnóstico das malformações, presentes na saída dupla do ventrículo direito de cada paciente. Para além disso, a consistência do planeamento pré-operativo com os procedimentos feitos realmente intra-operativamente também foi maior na visualização holográfica, o que levou a que os procedimentos cirúrgicos fossem menos modificados durante a operação. Neste estudo, por outro lado, a funcionalidade de visualização multi-utilizador, em sessões partilhadas, já foi posta em prática, em reuniões multidisciplinares, para obter o melhor curso cirúrgico. (27)

Novas aplicações da realidade virtual na redução da ansiedade pré-operatória, de pacientes submetidos a cirurgias cardíacas, foram também descobertas por Grab M. et al. (28) Uma cirurgia cardíaca constitui, na vida de um paciente, um grande evento, pelo que o medo da morte e a falta de conhecimento da forma como se realizam os procedimentos cirúrgicos e o cuidado pós-operativo, leva a que o doente adquira um alto nível de ansiedade, o que, por sua vez, pode ter consequências negativas no resultado pós-operatório e na duração do internamento hospitalar. (28,29) Isto porque, a ansiedade pode levar a uma redução da cicatrização da ferida, a um aumento do risco infeccioso, a uma diminuição da resposta imunitária e a alterações do balanço de eletrólitos, assim como dos padrões de sono. Logo um relaxamento do paciente pré-operativamente é benéfico para a sua experiência geral da situação, trazendo consequências positivas. Uma das formas mais comuns para reduzir a ansiedade é através do uso de medicação, no entanto, a sua utilização provoca efeitos secundários, tais como a sonolência e a supressão do sistema imunitário, podendo mesmo resultar em efeitos adversos. Consequentemente, este facto originou uma procura por alternativas não-farmacológicas com menos efeitos secundários e menos arriscadas para os pacientes. (29) Um método não-farmacológico, com elevado potencial para lidar com esta ansiedade, é através da educação do paciente, convencionalmente feita

por uma conversa com o doente, com o recurso ou não a impressões ou a vídeos 2D, das imagens médicas e/ou dos procedimentos. O uso de melhores estratégias de visualização, com o auxílio a tecnologias hápticas, poderá aprimorar a educação do paciente e, conseqüentemente, reduzir ainda mais a ansiedade e aumentar a satisfação do doente, como, por exemplo, através de impressões 3D ou da realidade virtual tridimensional (3D-VR). Nesse sentido, os autores deste estudo fizeram uma análise comparativa entre a impressão 3D, os modelos virtuais 3D e as técnicas convencionais, avaliando a sua influência na redução da ansiedade do paciente. As cirurgias incluídas, nesta investigação, foram o bypass coronário, o aneurisma da aorta torácica e a substituição da válvula aórtica. As tomografias computadorizadas eram segmentadas com o recurso ao Mimics Innovation Suite (Mimics 24.0, Materialise NV, Lovaina, Bélgica) e a sua otimização, para visualização e funcionalidade 3D em ambiente VR, era realizado pelo Blender e pelo Unity (Unity Technologies Inc., São Francisco, CA, USA). A aplicação VR customizada usada para a exibição dos modelos 3D foi desenvolvida por Grab M. e colegas, em cooperação com a empresa *start-up* vr-on (vr-on GmbH, Munique, Alemanha). O dispositivo HMD utilizado pelos participantes foi o Oculus Quest 2 (Meta Platforms Inc., Menlo Park, CA, USA). Este sistema permitia um movimento livre por parte dos participantes e um acesso multi-utilizador, em tempo-real. O médico, treinado em realidade virtual (VR), numa visualização, da reconstrução cardíaca 3D, partilhada com o paciente, guiava a exploração do último, mostrando isoladamente ou escondendo certas estruturas e ampliando ou reduzindo outras. Esta técnica proporcionava uma maior interação entre o cirurgião e o paciente e encorajava uma discussão educacional entre os dois. Os resultados mostraram que a visualização e a satisfação do paciente aumentaram com o uso da impressão 3D e do 3D-VR, especialmente este último, relativamente à compreensão anatómica e ao entendimento dos procedimentos cirúrgicos. Também revelaram que a redução da ansiedade foi superior usando a realidade virtual (VR), comparativamente tanto à impressão 3D como às técnicas convencionais. Ainda assim, a qualidade geral teve a sua melhor classificação na impressão 3D, sendo seguida pela realidade virtual (VR). Por conseguinte, a experiência geral dos pacientes, no que se refere à sua educação médica, melhorou com a utilização destas novas tecnologias. A existência de certas limitações como a falta de acesso ao Wi-Fi ou a existência de doenças, que impedem a interação dos pacientes com os dispositivos VR, como no parkinson, dificultam a implementação da tecnologia VR no meio clínico. No futuro, Grab M. et al pretendem averiguar os efeitos destas novas técnicas nos resultados pós-operatórios, nomeadamente na taxa de complicações e na duração do internamento hospitalar pós-cirúrgico. (28)

Os mesmos resultados foram obtidos em estudos semelhantes realizados por Amiri A. et al (29) e por Hendricks T. et al (30), demonstrando a aplicação da realidade virtual (VR) na redução da ansiedade pré-operatória da cirurgia aberta ao coração. Amiri A. e colegas, no seu estudo, usaram dois vídeos idênticos, gravados através de duas câmaras distintas (Nikon 360° e normal 2D), em que mostravam o espaço físico da sala de operações e que incluíam um cirurgião, que explicava os procedimentos e as ferramentas utilizadas no decorrer da cirurgia. O vídeo 2D era exibido num tablet iPad, enquanto o vídeo 360° era visualizado no HMD TSCO virtual reality glasses (model TVR 568), integrado com um telemóvel. O método de realidade virtual (VR) resultou numa diminuição mais significativa do stress, da depressão e da ansiedade do paciente, como verificado no estudo supramencionado, possivelmente explicado pelo desvio da atenção, devido à existência de estímulos externos e à imersão proporcionada pela realidade virtual (VR). Amiri A. e colegas também concluíram que vídeos educacionais e animados ajudavam na compreensão da mensagem a transmitir, devido aos estímulos audiovisuais, pelo que recomendaram a sua incorporação futura no controlo da ansiedade pré-operatória. (29) No entanto, ao invés da educação do paciente, Hendricks T. e colegas focaram-se na sua distração, com o auxílio a jogos de vídeo. Na sua experiência, o grupo não-VR jogava, no tablet, um jogo (Candy Crush), com estímulos tácticos audiovisuais, e o grupo VR jogava um jogo não-violento (Bear Blast), através do Samsung Gear Oculus (Ridgefield Park, NJ) integrado com um telemóvel Samsung Galaxy S7, no qual o paciente movia a sua cabeça para seleccionar os alvos a atingir, no mundo virtual. O seu estudo também demonstrou uma melhoria significativa da realidade virtual (VR) na redução da ansiedade, assim como no aumento do relaxamento e na diminuição do cansaço e da tensão sentida, comparativamente ao uso dos tablets. Por fim, a redução cada vez maior no custo de dispositivos VR imersivos e o desenvolvimento de estratégias cada vez mais simples de desinfeção e esterilização dos mesmos, após cada uso, potencia a implementação destas novas tecnologias nos serviços hospitalares. (30)

## Capítulo 4 – Intra-operatório

Atualmente, apesar de um grande desenvolvimento da realidade estendida (XR) na área cirúrgica, a maioria das tecnologias criadas destinam-se a um uso quase exclusivo no pré-operatório. No entanto, estudos começam também a explorar e a demonstrar a sua potencialidade na fase intra-operatória, nomeadamente através da realidade aumentada (AR) e da realidade mista (MR), devido ao aumento da disponibilidade de dispositivos com maior poder computacional, como o Microsoft HoloLens e os tablets (iPads). (1,2)

Normalmente, em casos de necessidade, um ecrã costuma transmitir informações visuais adicionais aos cirurgiões durante os procedimentos cirúrgicos. Porém, esta estratégia tem como desvantagem o facto de o médico ter de desviar o olhar do local de operação para visualizar a imagens. Com a conceção de novos dispositivos AR e MR, os cirurgiões já não necessitam de perder a sua linha de visão, havendo uma sobreposição de projeções virtuais 3D, construídas pré-operativamente através de tomografias computadorizadas ou de ressonâncias magnéticas, facilitando a orientação intra-operatória, fornecendo informações sobre as estruturas anatómicas mais detalhadas e precisas, levando a que os procedimentos se tornem mais eficazes e seguros. (1,2)

Outro benefício mostrado pelo uso destas tecnologias, é que ao criar modelos digitais 3D das estruturas anatómicas, a ausência de feedback tátil do cirurgião, como acontece em cirurgias torácicas realizadas por VATS ou RATS, consegue ser parcialmente colmatada, permitindo assim uma maior precisão cirúrgica e um melhor posicionamento dos dispositivos utilizados durante operação. (1,2)

Vários estudos demonstram que a utilização da realidade mista (MR) e da realidade aumentada (AR) aprimora a compreensão intra-operatória da anatomia, salientando assim a sua importância como uma opção alternativa promissora para a forma como são realizadas as cirurgias cardíacas e torácicas. (3)

## 4.1 Cirurgia Torádica

A utilização da realidade mista (MR), na fase intra-operatória, através da projeção holográfica, controlada por gestos pelos cirurgiões, poderia auxiliar na distinção entre as diferentes posições das artérias, veias e lesões, tendo como consequência uma menor quantidade de erros intra-operatórios. Outro estudo, também explorou a combinação da realidade mista (MR) com a impressão 3D para a localização de nódulos pulmonares, permitindo uma operação mais eficiente e precisa, devido a uma percepção espacial torádica aprimorada dos especialistas. (4)

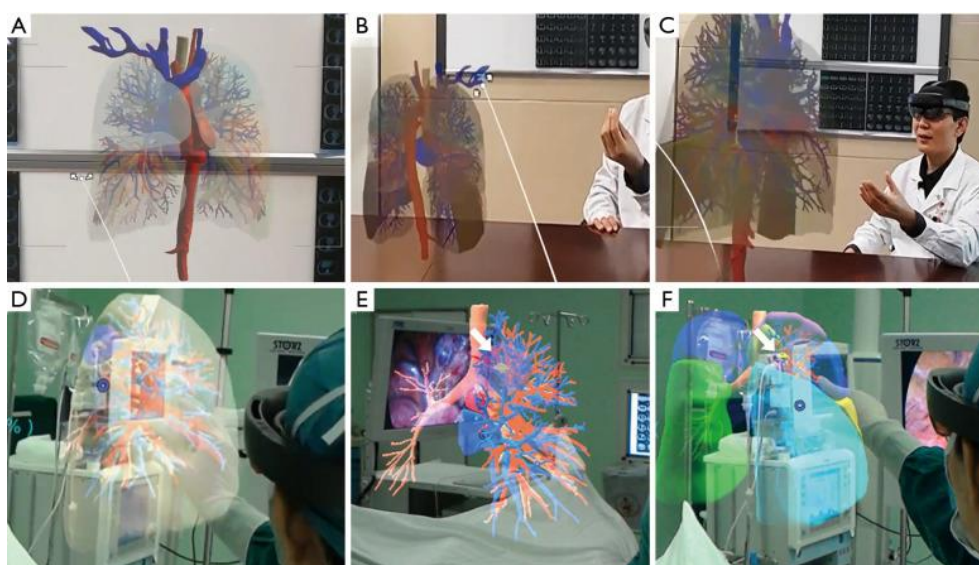


Figura 16. Projeções holográficas da anatomia pulmonar, aplicadas intra-operativamente, no contexto da segmentectomia, por VATS. (4)

Num estudo recente, realizado por Ujiie H. e colegas, explorou-se principalmente o uso do software *Perspectus VR Education*, criado por eles, como uma ferramenta de planeamento pré-operatório no tratamento do cancro do pulmão, via RATS. No entanto, chegaram à conclusão que o seu potencial ia além de apenas esta fase operatória, podendo auxiliar também na navegação intra-operatória em tempo-real, quando integrado com a plataforma *TilePro™*. Esta inovação impressionante permite a implementação do modelo 3D virtual criado na consola cirúrgica, durante o RATS, através de um sistema de imagem multimodal, proporcionado pelo *TilePro™*. A imagem virtual fica sobreposta à visão endoscópica, mostrando com precisão a localização do tumor, facilitando a tomada de decisão do cirurgião. Desta forma, as informações críticas sobre o paciente, obtidas pré-operativamente ficam à disposição do médico durante a operação, prevenindo potenciais erros intraoperatórios e

diminuindo complicações pós-operatórias, aprimorando a eficiência dos procedimentos cirúrgicos. (5)

A lobectomia tem sido o *gold-standart*, nos últimos anos, para o tratamento do Carcinoma de grandes células do pulmão, em estágios iniciais. No entanto, recentemente, a demanda para a realização de ressecções sublobares, nomeadamente a segmentectomia, como opção alternativa de tratamento, tem aumentado. Porém este procedimento também envolve riscos acrescidos, especialmente a nível intra-operatório. Riscos esses que podem ser colmatados pela realidade estendida (XR), particularmente através da realidade aumentada (AR). Um estudo explorou a sobreposição de modelos 3D sobre a exibição de uma imagem endoscópica, durante a ressecção sublobar toracoscópica, usando, ao mesmo tempo, óculos 3D, de forma a criar uma visão estereoscópica, auxiliando na navegação intra-operativa. Outro estudo reportou a utilização de VR na navegação cirúrgica, com a ajuda de um software, Banana Vision software (Colorado State University), e de um HMD. (31)

Ainda no tema das segmentectomias para tratamento do cancro do pulmão, Li C. et al decidiram investigar se a combinação da impressão 3D com a realidade aumentada (AR) conferia melhores resultados cirúrgicos que a exibição de imagens 3D em ecrãs 2D. Aquando da realização de uma segmentectomia, os médicos envolvidos necessitam de informação precisa e clara sobre as estruturas anatómicas do paciente que estão a operar, nomeadamente a nível de possíveis variações vasculares e brônquicas. Ainda que útil, a visualização de reconstruções 3D em ecrãs 2D é por vezes limitada, particularmente por não conseguir fornecer perceção de profundidade, para além de, por vezes, o tamanho da anatomia exibida não corresponder com o tamanho real, pelo que a complexidade da tarefa depende fortemente da experiência do cirurgião. Os autores exploraram então a utilização simultânea da impressão 3D com a visualização AR, na qual a impressão 3D permitia visualizar e pegar no modelo impresso do pulmão, de forma a poder inspecionar a peça de diferentes ângulos e avaliar o tamanho e a posição da lesão tumoral, e a visualização 3D sobrepunha os modelos 3D digitais pulmonares em cima do paciente, com o auxílio de óculos AR, quando necessário, obtendo orientação instantânea intra-operatória. Com estas novas tecnologias, os cirurgiões conseguiram identificar com uma maior rapidez o segmento pulmonar, onde a lesão tumoral se encontrava, assim como as respetivas veias intersegmentais. Os resultados do estudo mostraram que, de facto, esta combinação levou a uma duração operatória mais baixa, a uma perda de sangue intra-operatória mais reduzida, resultado de uma menor quantidade de lesões vasculares acidentais, e a um tempo de internamento pós-operatório mais diminuído. Não obstante, o custo e o tempo de preparação das impressões 3D apresentaram-se como fatores limitantes,

sendo alvos interessantes para futuros estudos. A impressão 3D também apresentou limitações na exibição de pequenas artérias, veias e brônquios. (32)

Com o aumento progressivo do rastreamento do cancro do pulmão, pequenos nódulos pulmonares tornaram-se mais facilmente detetáveis, sendo a cirurgia minimamente invasiva o novo *gold-standart* para a remoção dos mesmos. Durante a operação, na ressecção destes nódulos, é difícil e, por vezes, até frustrante tentar localizá-los por visualização direta ou palpação, pelo que, caso a tentativa de localização falhe, é necessário recorrer a uma toracotomia aberta. Por esta razão uma localização eficaz dos nódulos pulmonares, pré ou intra-operativamente é importante. Existem vários métodos para a localização dos nódulos a nível pré-operativo, tais como a injeção de corante, a rotulagem por bobina e colocação de fio de gancho, sendo este último o mais comumente utilizado, por ser a técnica mais fácil e com mais eficiência. No entanto possui várias limitações, pois prolonga o desconforto do paciente, uma vez que, por ser guiado por TC, leva a uma deslocação entre o departamento de radiologia e a sala de operações, para além da exposição à radiação, e possui o risco de haver um pneumotórax. Contudo, a localização intra-operativa elimina o desconforto do paciente, devido ao término da necessidade de transporte, e diminui a probabilidade de perder ou desalojar o localizador. Opções como a fluoroscopia tridimensional (3D) são possíveis, porém necessitam de uma sala operatória híbrida e equipamento médico caro, tendo como consequência a sua baixa aplicação na maior parte dos hospitais. Para tentar resolver este problema, Li C. et al desenvolveram, em conjunto com o Jedicare Medical Co., Ltd., uma nova ferramenta de localização intra-operativa de pequenos nódulos pulmonares, através do uso de um sistema de navegação, baseado em realidade aumentada (AR), e de um marcador pulmonar especializado. O sistema (JediVision; Jedicare Medical Co., Ltd, Xangai, China) funciona em simultâneo num computador, com Windows 10, e no Hololens (Microsoft, Redmond, Washington), podendo uma transmissão em vídeo ser obtida através da câmara embutida no Hololens. A localização é apenas feita por um cirurgião torácico, durante a administração de anestesia geral na sala de operações, através da implantação transtorácica de um marcador (LungBrella), após o qual a operação de ressecção do nódulo pulmonar decorre como planeado. O paciente apenas deve fazer uma tomografia computadorizada (TC) com marcadores na pele, antes da cirurgia. Este método de navegação AR intra-operatória, apresenta um tempo de localização e implantação do marcador inferior ao tempo necessário para a localização e marcação recorrendo a procedimentos guiados por TC intra-operatórios. Para além disso, ao contrário das outras opções intra-operativas, a navegação AR pode ser adaptada a qualquer *headset* AR comercialmente existente, diminuindo o custo da sua aplicação.

Esta tecnologia possibilita ainda no futuro a redução de custos associados a mais profissionais de saúde e equipamentos especializados. Comparativamente a métodos pré-operativos guiados por TC, esta nova tecnologia reduz o intervalo de tempo entre o procedimento de localização e a cirurgia. Ainda que surjam complicações como um pneumotórax ou uma hemorragia, a cirurgia ao ser feita imediatamente a seguir à localização, minimiza o impacto destas complicações. (33) Antes de ser estudada em humanos a sua aplicabilidade e viabilidade, esta técnica AR já tinha sido explorada, alguns anos antes, pelos mesmos autores deste artigo, em modelos caninos, tendo-se provada como uma técnica segura e efetiva. (34)

Dispositivos, capazes de exibir imagens médicas intra-operativamente que auxiliam na orientação e precisão dos procedimentos, são cada vez mais comuns no teatro cirúrgico. (35) Ainda que a informação seja bastante relevante para o sucesso operativo, os cirurgiões têm de desviar o seu olhar da mesa cirúrgica para poderem visualizar estas imagens, pelo que, a constante reorientação da posição do médico, cria no mesmo uma tensão adicional no sistema músculo-esquelético, originando uma alta quantidade de especialistas a relatar desenvolver dores no pescoço e nas costas. Esta desvantagem da utilização das imagens pode colocar em causa a rapidez e a eficácia da cirurgia, assim como a concentração dos médicos durante os procedimentos, para além de aumentar o mal-estar e a fadiga muscular do cirurgião no final da operação. (4,35) De forma a tentar resolver este problema Sakai D. e colegas decidiram implementar a utilização de realidade aumentada (AR), que permite a projeção superimposta de conteúdo digital, como imagens e modelos 3D, à visão que o utilizador tem do mundo físico, através do uso de dispositivos AR semelhantes a óculos. Por conseguinte, os cirurgiões, neste estudo, utilizaram óculos transparentes, AR Moverio BT 35E smart glasses (Seiko Epson Corp., Nagano, Japão), durante a realização da cirurgia, de modo a manter uma visão contínua e focada na mesa cirúrgica, sem a necessidade de olhar para monitores para conseguir visualizar as imagens intra-operatórias. Os resultados mostraram que a sua utilização reduziu a fadiga muscular e o cansaço geral do cirurgião, para além de ter melhorado a eficiência da operação. Os resultados também foram contra a sugestão de que este tipo de sistemas AR poderia aumentar a sobrecarga nos olhos e na capacidade mental. No entanto, mais estudos serão necessários para melhorar a integridade e a funcionalidade destes dispositivos, assim como para aumentar o conforto durante a sua utilização, focando em aspetos como comandos à base de gestos e de reconhecimento da voz. (35) Embora este artigo se tenha baseado na cirurgia à coluna, estudos semelhantes foram realizados para a cirurgia torácica, nomeadamente no que diz respeito à cirurgia minimamente invasiva vídeo-assistida (VATS), atingindo resultados idênticos. (4)

## 4.2 Cirurgia Cardíaca

A atresia pulmonar, com defeito do septo interventricular e com a existência de artérias aorta-pulmonares colaterais, é uma doença cardíaca congénita rara, que possui várias opções de tratamento, consoante as características variáveis da estrutura anatómica complexa. (36) A unifocalização, em um passo, é uma das estratégias usadas e consiste na confluência dos vasos anormais numa única artéria pulmonar, de forma a recrutar ao máximo a circulação de sangue aos pulmões, de diferentes segmentos. As artérias colaterais anormais têm diferentes origens e diferentes distribuições, pelo que o procedimento cirúrgico é bastante complexo e o atual uso desta técnica continua com um prognóstico pouco desejável, o que leva à sua fraca implementação rotineira em diversos centros. (36,37) É importante que os médicos tenham conhecimento de que forma os vasos pulmonares nativos comunicam com as artérias colaterais, assim como de que forma estas últimas se relacionam com as estruturas adjacentes, para que a unifocalização tenha sucesso. Consequentemente, um melhor entendimento da anatomia complexa contribui para um tratamento mais eficaz e para uma menor taxa de complicações intra e pós-operatórias. A visualização de imagens médicas, obtidas durante o diagnóstico e o planeamento pré-operativo, no decorrer da cirurgia, para auxílio da navegação intra-operatória, é feita num ecrã plano 2D, sendo as próprias imagens, tais como as tomografias computadorizadas (TC), as ressonâncias magnéticas (RM) e as ecocardiografias, também em duas dimensões, pelo que uma compreensão completa das estruturas anatómicas é dificilmente obtida, devido à falta de profundidade. Cen J. e colegas decidiram então avaliar os benefícios da visualização de hologramas, através da realidade mista (MR), na navegação intra-operatória da unifocalização, num estudo retrospectivo, de pacientes com estas alterações patológicas. (36) As reconstruções cardíacas 3D eram obtidas através de tomografias computadorizadas (TC), com o auxílio aos softwares ITKsnap 3X e 3Matic (Materialise, Lovaina, Bélgica). A plataforma escolhida para a exibição dos hologramas foi o Microsoft HoloLens (Microsoft, Washington, USA). (36,37) A utilização intra-operatória desta ferramenta forneceu aos cirurgiões um completo sentido de profundidade, ao sobrepor um modelo 3D sobre o campo cirúrgico real, podendo ser visto de diferentes ângulos e permitindo a sua interação, através de gestos manuais. A simulação dos procedimentos cirúrgicos na reconstrução 3D proporcionou não só uma compreensão anatómica das estruturas cardíacas, mas também ajudou na escolha da melhor abordagem cirúrgica. A aplicação dos modelos digitais 3D, de facto, resultou na diminuição do tempo de dissecação dos vasos sanguíneos anormais, por providenciar um melhor entendimento morfológico dos mesmos, o que permitiu que a cirurgia fosse

realizada através da abordagem pela linha média, sem danificar qualquer nervo ou vasos sanguíneos adjacentes. Ainda que esta plataforma holográfica possua uma curva de aprendizagem mais elevada, comparada à impressão 3D, e que o peso da mesma tenha causado alguns casos de tonturas nos participantes, a realidade mista (MR) facilitou o decorrer da cirurgia e possibilitou a oportunidade de médicos internos da especialidade operarem sozinhos. Para além disso, esta plataforma forneceu uma visualização cardíaca mais dinâmica do que a impressão 3D. Os autores deste estudo previram ainda que o uso combinado da impressão 3D com a realidade mista (MR) poderia ter um impacto mais significativo na resolução desta doença, uma vez que a impressão 3D é capaz de proporcionar melhores detalhes na anatomia extra-cardíaca e a realidade mista (MR) é capaz de facilitar melhor a exploração das estruturas intra-cardíacas. (36)

De facto, alguns anos mais tarde, a mesma equipa, orientada, desta vez, por Qiu H., decidiu então implementar as novas tecnologias 3D numa estratégia inovadora, para a realização da unifocalização, em um passo, na reparação da atresia pulmonar, analisando os seus benefícios e comparando-a à forma convencional (visualização 2D de tomografias computadorizadas (TC)). Esta nova estratégia desenvolvida por eles combinava a impressão 3D, a realidade virtual (VR) e a realidade mista (MR) no planeamento pré-operativo e na navegação intra-operatória. Nesta estratégia em particular, a realidade mista (MR) servia para localizar os vasos sanguíneos anormais, provenientes da aorta descendente, ao sobrepor o modelo cardíaco 3D com o coração real. (Figura 17) Os resultados demonstraram-se satisfatórios pois esta nova técnica ajudou a evitar a necessidade de uma toracotomia lateral e diminuiu o tempo de disseção dos vasos sanguíneos anormais. No entanto, uma vez que as imagens virtuais obstruíam parcialmente a visão do cirurgião e que o HMD do HoloLens era relativamente pesado, a sua utilização não podia ser feita durante todo o decorrer da cirurgia. Uma vez que estas novas tecnologias 3D não obrigam à realização de mais exames, por ser possível construir modelos 3D com tomografias computadorizadas (TC), ressonâncias magnéticas (RM) e ecocardiografias já feitas, a segurança do doente não fica comprometida. Para além disso, a visualização 3D de reconstruções anatómicas demonstra ser mais vantajosa para a compreensão da anatomia cardíaca complexa. As tecnologias 3D parecem ainda ser benéficas para cirurgiões novos, que ainda não possuem muita experiência cirúrgica. Contudo, elas ainda apresentam algumas limitações e desvantagens que precisam de ser resolvidas. O custo extra do hardware e software, necessário à sua aplicação, continua um pouco elevado e a demanda pela contratação de engenheiros especialistas em 3D, desde engenheiros de modelação 3D a engenheiros de impressão 3D, também se encontra aumentada, pela

fraca disponibilidade dos mesmos. Ainda assim, esta nova estratégia operativa 3D pode contribuir para reduzir a dificuldade da unifocalização, pela linha média, assim como aumentar a sua eficácia, e possibilitar a que no futuro este procedimento se torne rotineiro em mais centros de referência. (37)

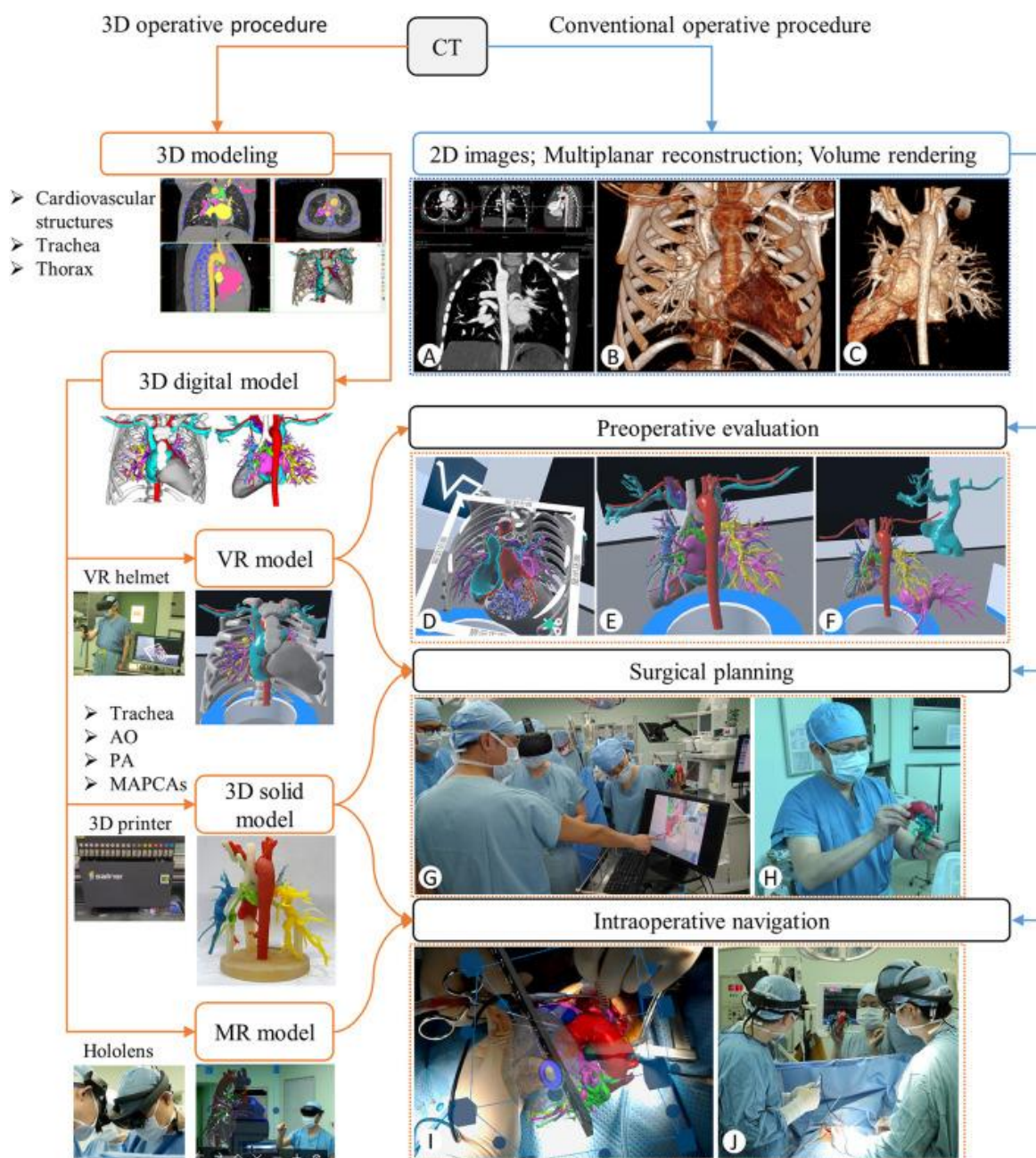


Figura 17. Várias aplicações das tecnologias de realidade estendida (XR) nas diferentes fases cirúrgicas, com especial ênfase para o auxílio da realidade mista (MR) na localização de vasos anormais aorta-pulmonares colaterais, intra-operativamente, ao coincidir a reconstrução cardíaca virtual com o coração real do paciente, durante a operação, através do uso do Microsoft HoloLens. (37)

## Capítulo 5 – Pós-operatório

A fase pós-operatória da cirurgia cardiotorácica ainda é muito pouco estudada relativamente à aplicabilidade da realidade estendida (XR), especialmente em comparação com as outras duas fases cirúrgicas, pré-operatória e intra-operatória.

Esta tecnologia tem sido amplamente aplicada em outros campos da medicina, devido à exibição da sua eficácia na gestão pós-operatória do doente, o que levou a um crescente interesse da sua aplicação a esta área, nomeadamente para o controlo da dor e na reabilitação. (2)

A realidade virtual (VR) tem sido a subtécnica mais explorada nesta fase, tendo como objetivo submeter o paciente a um estado imersivo, e por vezes meditativo, no decorrer de um ambiente pós-cirúrgico, através de dispositivos tecnológicos como o Microsoft Oculus Rift. (1,2)

A realidade virtual (VR), em diversos estudos, foi usada como uma ferramenta de distração imersiva, em situações stressantes, dolorosas ou até mesmo na reabilitação cardíaca e/ou pulmonar, no cenário dos cuidados pós-cirúrgicos. Desta forma, é usado como complemento para processos sedativos e de diminuição da dor. (1,2)

Os estudos demonstraram que a sua aplicação levou a uma redução da medicação do doente, diminuindo, conseqüentemente, os seus efeitos colaterais, e permitiu um maior envolvimento por parte do paciente nos seus próprios cuidados de saúde, o que por sua vez deu ao mesmo uma maior autonomia e confiança. (1)

## 5.1 Cirurgia Torácica

Complicações pulmonares pós-operativas são complicações respiratórias que podem ocorrer entre 48 e 72 horas após um cirurgia, tais como a pneumonia, a bronquite, a atelectasia, entre outras, tendo como consequência um aumento na mortalidade e morbidade, assim como um maior tempo de internamento hospitalar. Logo a reabilitação do paciente peri-operativamente é importante de forma a reduzir estas complicações. Por conseguinte, são recomendados vários tipos de exercícios, tanto a nível pré-operatório (exercício aeróbio e treino dos músculos inspiratórios), como a nível pós-operatório (exercícios de respiração profunda e espirometria incentivada), podendo os mesmos serem fornecidos e/ou orientados por panfletos educacionais, vídeos gravados, instrução verbal ou um profissional no local. No entanto, este tipo de métodos apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, a baixa retenção do conteúdo ensinado, a falta de supervisão na execução dos exercícios, um fraco interesse ou motivação por parte dos participantes, entre outras. Neste contexto e com o aparecimento de novas tecnologias, Wang P. e colegas decidiram desenvolver uma nova aplicação, baseada em realidade aumentada (AR), capaz de fornecer treino de resistência muscular, treino da respiração e treino de preparação operatória. As vantagens da sua utilização na reabilitação são diversas, uma vez que, para além de aumentar o interesse e a motivação do paciente, também previne o seu aborrecimento, devido à reduzida monotonia da sua utilização. Esta aplicação possibilita a introdução dos exercícios num ambiente imersivo com interface *gaming*, o que aumenta a sua interatividade. Além disso, o feedback audiovisual proporcionado pela aplicação cria a oportunidade de uma reabilitação mais rápida e segura, ao corrigir a postura e os movimentos dos doentes durante a execução dos exercícios. Por último, por se tratar de realidade aumentada (AR) e não de realidade virtual (VR), o paciente consegue continuar a observar, na mesma, o que se encontra à sua volta, tendo em conta que não é completamente imersiva, pelo que torna o uso da aplicação mais seguro. Neste estudo em particular, a aplicação era instalada num telemóvel e os dados da execução e do término de exercícios eram gravados na aplicação, pelo que podiam ser acedidos pelo médico na consulta seguinte. A *app* desenvolvida é grátis e encontra-se disponível para ambos os dispositivos androide e IOS. As intervenções reabilitacionais foram realizadas pré e pós-operativamente. Os resultados mostraram que, de facto, a função pulmonar, dado pelo fluxo inspiratório, foi superior na reabilitação AR face às intervenções convencionais. Ainda que estatisticamente não significativo, os níveis de confiança, de cooperação e de efeito educativo também aumentaram com este novo método, para além de ter diminuído a ansiedade. Esta

tecnologia mostrou-se, ainda, igualmente acessível para os idosos, comparando com os programas tradicionais. Concluindo, a aplicação AR, ao ser usada como terapia suplementar, pode ser uma promessa na redução dos custos e no aumento da eficácia da reabilitação. Os autores do estudo defendem ainda a realização de novos estudos focados numa implementação mais prematura e com maior duração pós-operatória, pois acreditam em resultados ainda mais benéficos. (38) Ainda que este artigo tenha sido feito no contexto da cirurgia ortopédica, as mesmas complicações ocorrem na cirurgia torácica, pelo que este método reabilitativo se torna vantajoso também para estes pacientes.

No âmbito do ensino do paciente, um caso-estudo reportado por Peek J. et al, utilizou a realidade virtual tridimensional (3D-VR) como método para a visualização e a aprendizagem da anatomia do paciente e dos procedimentos que foram realizados, revelando-se uma tecnologia útil e vantajosa na educação pré e pós-operativa do doente. (39)

## 5.2 Cirurgia Cardíaca

A cirurgia cardíaca é uma opção comum em muitos tratamentos de doenças cardiovasculares, cuja finalidade é minimizar os sintomas, otimizar a função cardíaca e aumentar a taxa de sobrevivência, no entanto, este procedimento é invasivo, pelo que possíveis consequências podem surgir no período intra e pós-hospitalar. Comorbidades e fatores de risco prévios, assim como procedimentos intra-operatórios, tais como a ventilação mecânica, o bypass cardiopulmonar, a duração da cirurgia e a anestesia, podem levar a complicações pós-operatórias e a um tempo de hospitalização maior. Condições físicas adquiridas durante o internamento, devido à imobilização, como a perda de força e de massa muscular, reduzem a capacidade funcional, e a condição física geral, do paciente e aumentam a necessidade de uma reabilitação mais prolongada. A literatura tem demonstrado que a mobilização precoce dos pacientes no período pós-operatório da cirurgia cardíaca, ou seja, nas primeiras horas após a intervenção cirúrgica, quando em condições físicas e psicológicas para isso, em doentes internados nos cuidados intensivos, tem um impacto positivo no seu condicionamento cardiovascular e ventilatório, resultando, conseqüentemente, numa melhoria da capacidade funcional, numa redução do tempo de hospitalização pós-operatória e numa diminuição da taxa de mortalidade, prevenindo, para além disso, a aquisição de condições negativas obtidas no internamento, como a fraqueza e a perda muscular e de força. Vários estudos têm desenvolvido diferentes protocolos, baseando os seus exercícios em treinos de resistência, em treinos aeróbios, na marcha, no cicloergómetro e, até mesmo, mais recentemente, nos jogos de vídeo, num ambiente de realidade virtual (VR). (40)

A cirurgia do bypass coronário pode levar a um descanso no leito prolongado e a uma imobilidade geral, pelo que consequências negativas podem surgir, tais como uma diminuição da capacidade funcional, a redução de massa muscular e alterações na modulação autónoma da frequência cardíaca. A modulação autónoma cardíaca é passível de ser avaliada pela variabilidade da frequência cardíaca, em que se mede, de uma forma não-invasiva, as oscilações nos intervalos entre batimentos cardíacos consecutivos. Enquanto uma variabilidade aumentada encontra-se associada a taxas de sobrevivência maiores, o seu oposto está associado a eventos cardíacos negativos, como a morte súbita. A diminuição da variabilidade, normalmente, indica uma redução da responsividade do sistema nervoso autónomo ou do nó sinoatrial a mudanças, pelo que resulta numa elevada taxa de mortalidade em pacientes com doença cardiovascular. O exercício contribui para o aumento da variabilidade. Neste caso em particular, a manipulação cirúrgica do coração e das estruturas adjacentes, a anestesia e a duração

da cardioplegia, durante a operação, são fatores que podem levar a uma diminuição da variabilidade. Sendo assim, exercício físico, nos cuidados intensivos, tais como exercícios de tronco, pernas e braços, deambulação precoce e exercícios de cicloergômetro, ajudam na prevenção de complicações pós-operatórias, como a disfunção autônoma, através da melhoria do estado funcional e do aumento da influência parassimpática, resultando numa redução do internamento hospitalar. Recentemente, treino à base de realidade virtual (VR) também tem sido implementado para aumentar a atividade motora, tornando a realização de exercício físico mais dinâmica e menos monótona. Por conseguinte, Ribeiro B. et al decidiram avaliar os efeitos de diferentes protocolos fisioterapêuticos na modulação autônoma da frequência cardíaca e na duração do internamento hospitalar, em pacientes submetidos a um bypass coronário. Os autores deste estudo dividiram os pacientes por três grupos: o grupo de controlo, em que realizavam fisioterapia respiratória e exercícios metabólicos, o grupo da mobilização precoce, em que praticavam exercícios de cicloergômetro e deambulação, e o grupo de realidade virtual (VR), em que executavam os mesmos exercícios do grupo anterior, para além de jogarem dois videogames, na Nintendo Wii, um de boxe para aumentar a força dos membros superiores e um de corrida para melhorar o condicionamento cardiovascular. Os protocolos eram efetuados nos primeiros três dias após a cirurgia. Os resultados mostraram que o grupo da realidade virtual (VR) apresentou uma superior modulação autônoma, quando comparada a outros grupos, o que levou a concluir que a fisioterapia motora praticada em jogos de realidade virtual (VR) é mais eficaz em melhorar a variabilidade da frequência cardíaca dos pacientes. Assim, o protocolo da realidade virtual (VR) demonstrou efeitos positivos na modulação autônoma cardíaca, e, conseqüentemente, na condição cardíaca, o que pode ser explicado pelo aumento da motivação, devido ao feedback externo, providenciado pela plataforma, e pela diminuição da dor, promovida pelo treino VR, que ao ser eliminada, eleva o compromisso dos pacientes para a terapia. A duração dos pacientes no internamento hospitalar pós-operatório também foi consideravelmente aprimorada no grupo da realidade virtual (VR), tendo a mesma reduzido, possivelmente pela melhoria na recuperação da capacidade funcional, como consequência da atenuação da dor e do aumento dos níveis de energia. Ademais, os resultados positivos apresentados pelo grupo de realidade virtual (VR), mostraram que protocolos de fisioterapia intensa podem ser seguros e eficazes nos cuidados intensivos.

(41)

## Capítulo 6 – Treino e Ensino

O treino cirúrgico de médicos internos de especialidades cirúrgicas, nos dias de hoje, é maioritariamente feito pela observação e cooperação com o médico especialista, durante a realização de cirurgias reais, com pacientes reais. Devido à preocupação crescente com a segurança do doente e com a diminuição das horas de trabalho em mente, perde-se tempo e experiência, crucial para o desenvolvimento e aprendizagem do médico interno. A juntar-se o facto de que procedimentos cirúrgicos complexos tenham um curva de aprendizagem acentuada, conclui-se que a forma de ensino destes médicos internos necessita de uma inovação, de maneira a combater estas dificuldades. (1)

Vários estudos publicados nos últimos anos sugerem a utilização de realidade estendida (XR) para fazer face a este problema. Eles demonstraram a sua enorme potencialidade e amplitude de aplicações, que terá tendência a aumentar com o desenvolvimento de novas tecnologias e a redução esperada do preço delas no mercado, aquando da passagem à fase de comercialização. (2,3)

A subtécnica mais explorada nesta matéria foi a realidade virtual (VR), no entanto avanços foram feitos também para a realidade aumentada (AR). As suas principais características em imitar a realidade leva a que as mesmas tenham ganho atenção, pela sua utilidade em simular cirurgias, no âmbito educacional, livres de problemas relacionados com a ética e a higiene operatória, oferecendo ao mesmo tempo uma panóplia de diferentes casos cirúrgicos a treinar, com possibilidade de mudar os níveis de dificuldade. (1,2,3) (Figura 18)

Com esta tecnologia, os médicos internos poderão ainda receber feedback ao vivo e imediato sobre o seu progresso, sem a necessidade opinativa de um médico especialista, pelo software do sistema tanto a nível audiovisual, como a nível tátil, conseguido pelo desenvolvimento de novos instrumentos de simulação VR, levando a que os formandos estejam mais preparados a iniciar a sua participação no teatro operatório. (2,3) (Figura 18)

Apesar do seu uso ser dedicado maioritariamente a médicos internos de especialidade, também a sua utilização poderá ser feita por médicos especialistas, de forma a não perderem a prática, a treinarem novas técnicas, que ainda não existiam no decorrer das suas residências, ou até mesmo a aperfeiçoar as suas técnicas já existentes. (2,3)

Importante mencionar também a vantagem educativa destas tecnologias para a aprendizagem de estudantes de medicina, em anos universitários, devido à suas

capacidades de proporcionar uma melhor compreensão de estruturas anatómicas e de procedimentos complexos, uma vez que as mesmas podem superar as ferramentas educativas 2D tradicionais, usadas pelas escolas médicas, levando a que os alunos fiquem mais bem preparados para os anos de internato de especialidade. (2)

### Cardiac Surgery Surgical Simulation In Extended Reality

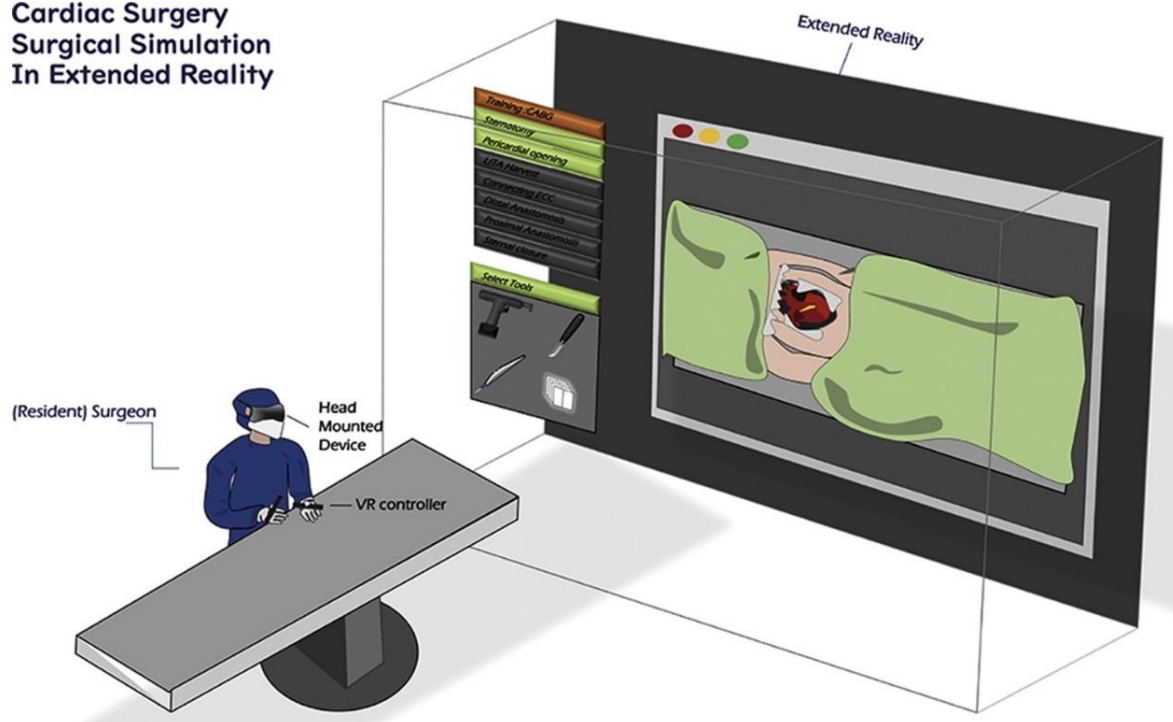


Figura 18. Cirurgia cardíaca simulada em realidade estendida (XR), para o treino de médicos internos de especialidades cirúrgicas. O conceito mostra, ainda, as ferramentas necessárias à sua realização, como o HMD e os controladores manuais. (2)

## 6.1 Cirurgia Torádica

Apesar de aplicado no âmbito do planeamento pré-operatório de cirurgias relativas ao tratamento do cancro do pulmão, por VATS ou RATS, o software *Perspectus VR Education* desenvolvido por Ujiie H. e colegas possui ainda um componente de treino cirúrgico. A reconstrução 3D exibida num simulador VR serve para que os médicos internos da especialidade cirúrgica consigam explorar e rever vezes sem conta os modelos 3D, permitindo que os mesmos se familiarizem com a anatomia básica torádica e se preparem melhor para cirurgias e casos complexos. (5) A funcionalidade multi-utilizador que o software propõe é mais uma vantagem que apresenta valor à componente educativa desta ferramenta, pois ela proporciona a oportunidade de tanto os médicos internos como os especialistas responsáveis residirem no mesmo espaço virtual 3D, facilitando a capacidade de ambos interagirem com os modelos 3D, levando a discussões mais interativas e a uma aprendizagem mais relevante, com feedback em tempo-real. Isto potencia a redução da curva de aprendizagem dos médicos internos, uma vez que possibilita a prática de *skills* técnicas complicadas e complexas, de forma mais realista e eficiente em termos de duração, protegendo a segurança do doente, aumentando a rapidez com que os mesmos adquirem as capacidades cirúrgicas e preparando, desta forma, os médicos internos para uma panóplia de procedimentos e de possíveis complicações intra-operatórias. (5,6)

Desde alguns anos a cirurgia torádica assistida por vídeo (VATS) tem sido cada vez mais utilizada, tornando-se, atualmente, o *gold-standart* no tratamento cirúrgico do cancro do pulmão em estádios iniciais. Comparada à toracotomia, a VATS leva a uma menor dor pós-operativa, a uma diminuição das complicações, a uma melhor qualidade de vida e a uma recuperação pós-operatória mais eficaz, com uma menor duração do internamento hospitalar. No entanto, o uso desta técnica mais complexa traz diferentes riscos associados, como, por exemplo, uma potencialidade maior de hemorragia intra-operatória, devido à perda de sensação tátil, à diminuição do espaço operatório e ao uso de uma câmara, por meio endoscópico, para ver o campo cirúrgico, em vez de uma visualização direta, pelo que os cirurgiões necessitam de converter mentalmente as imagens 2D em 3D. Por conseguinte, para minimizar a ocorrência destes erros cirúrgicos, uma boa preparação em VATS, por parte dos médicos internos da especialidade, é necessária, antes de uma eventual cirurgia num paciente real. Porém, a maior parte das oportunidades educativas, nos primeiros tempos, residem na atividade cirúrgica diária praticada pelos especialistas, tendo apenas um valor observacional. Uma solução de ensino opcional, proposta por diversos especialistas,

consiste na utilização de simuladores cirúrgicos para melhorar as *skills* procedimentais e cognitivas, num ambiente livre de riscos para os médicos internos das especialidades cirúrgicas e, principalmente, para os pacientes. Nesse prisma, simuladores de realidade virtual (VR) e de realidade aumentada (AR), capazes de simular hemorragias e variações anatómicas, têm sido estudados e desenvolvidos. Apesar do seu custo inicial ser um pouco dispendioso, vantagens como o feedback automático e diferentes módulos de ensino, cativam a sua aplicação. Uma das desvantagens do seu uso é falta de sensação háptica. Assim sendo, o software LapSim VR Simulator (Surgical Science, Gotemburgo, Suécia) foi uma das ferramentas que mais se destacou, tendo sido apresentada e testada no 22º Encontro Europeu de Cirurgias Torácicas (ESTS – Copenhaga, Dinamarca, 2014), onde se concluiu a sua validade como um simulador realista e útil. Mais recentemente um grupo de investigadores tentou implementar feedback háptico no LapSim VR Simulator. Outro simulador VR concebido para a cirurgia torácica foi o Lap Mentor Simulator (Symbionix Products, Surgical Science, Gotemburgo, Suécia), com o objetivo de se inserir, no currículo médico educativo, como um método de aprendizagem VATS. Simuladores baseados em realidade aumentada (AR), também foram estudados, tendo-se mostrado mais realistas do que simuladores VR, por proporcionarem uma experiência imersiva mais natural, em consequência da possibilidade da sobreposição da simulação no *background* do mundo físico. Ainda que a experiência clínica e cirúrgica real não possa ser substituída, treino à base de simuladores AR e VR exibe um enorme potencial enquanto uma ferramenta educativa suplementar, de forma a diminuir a curva de aprendizagem e a melhorar a gestão do teatro operatório, nomeadamente na eventualidade de crises, pelo que mais estudos para identificar os melhores modelos e o modo de integração ideal, no seu ensino, devem ser feitos. (42,43)

## 6.2 Cirurgia Cardíaca

O paradigma da educação cirúrgica do médico interno de especialidade tem sofrido mudanças na forma como o médico adquire as *skills* básicas dos procedimentos cirúrgicos, passando a ser em centros de treino de *skills*, ao invés da tradicional aprendizagem imediata no teatro operatório. Ainda que o mesmo não se aplique necessariamente em Portugal, vários países no mundo já estão a passar correntemente por esta mudança. Vários fatores têm proporcionado esta mudança, desde a diminuição das horas de trabalho, da reduzida disponibilidade de horário por parte do médico especialista para ensino do médico interno, até à crescente preocupação para com a segurança do doente. Para além disso, a complexidade da cirurgia cardíaca e a pertinência dos seus resultados operatórios apresenta-se como mais uma dificuldade no treino e ensino cirúrgico do médico interno. Neste contexto, a simulação cirúrgica surge como uma opção complementar válida e sólida no treino dos médicos internos, especialmente relativamente à avaliação da proficiência dos mesmos, à manutenção das suas certificações e à introdução de novas tecnologias. Em alguns centros, a simulação tornou-se uma parte integral da formação do médico interno, por providenciar, de uma forma imersiva, realística e segura, tanto para o médico interno como para o doente, a aprendizagem de *skills* cirúrgicas. Ademais, a simulação cirúrgica permite a repetição infinita dos mesmos procedimentos, até obter a sua perfeição, assim como aumentar gradualmente a dificuldade dos mesmos, de acordo com o nível de mestria do médico interno. Assim, este método oferece ao médico interno a oportunidade de auto-reflexão, pelo reconhecimento dos seus próprios erros, através de *feedback* imediato, em tempo real, e de um posterior *debriefing*/resumo com o simulador ou o especialista responsável. Estudos feitos nos últimos anos demonstram a fiabilidade desta ferramenta de aprendizagem cirúrgica na melhoria das *skills* técnicas, de comunicação e de desempenho em equipa. Os futuros cirurgiões cardíacos precisam de estar preparados para ambas as cirurgias abertas e as cirurgias minimamente invasivas, pelo que a educação baseada em simulação consegue auxiliar na aprendizagem híbrida de ambos os procedimentos. Vários tipos de simuladores têm emergindo, sendo alguns deles baseados em sistemas de realidade virtual (VR). Simuladores VR, como o Simantha (Medical Simulation Corporation, Denver, CO, USA) e o Sionix AngioMentor (Airport City, Israel), oferecem a simulação de procedimentos específicos na reparação endovascular do aneurisma de aorta abdominal e na implantação da válvula aórtica, por via transcatóter, com o objetivo de aprimorar a forma como se lida com o fio do catéter. Além disso, também, a empresa Orzone AB (Gotemburgo, Suécia) criou um laboratório híbrido, capaz de, não só ensinar *skills* baseadas em catéteres,

mas também de treinar a comunicação em equipa numa réplica da sala operatória estéril. É importante ressaltar que este tipo de ensino não substitui a aquisição de conhecimento e de prática adquirido diretamente no teatro operatório, sendo o mesmo imprescindível, mas tem como objetivo o seu complemento, de forma a diminuir a curva de aprendizagem do médico interno. A simulação VR cirúrgica também apresenta algumas limitações, nomeadamente devido ao custo de simuladores de alta-fidelidade, à necessidade de profissionais treinados em lidar com estas tecnologias, à disponibilização horária dedicada ao ensino de médicos internos por estes métodos, à falta de espaços físicos para o decorrer do treino e à falta de incorporação destas plataformas no currículo médico. A implementação dos mesmos no currículo médico requer recursos financeiros e a aceitação das instituições e da comunidade médica, para além do seu apoio. Ainda que o custo da simulação de alta-fidelidade seja elevado, certos componentes dos procedimentos cirúrgicos específicos podem ser simulados com outras ferramentas mais baratas. Embora esta área ainda esteja em desenvolvimento e estudos e investigações decorram atualmente, a perspetiva num futuro relativamente próximo é que estas simulações se tornem um pré-requisito antes da exposição do médico interno ao paciente, dada a capacidade adaptativa dos simuladores aos vários objetivos de aprendizagem na prática clínica e cirúrgica, assim como o potencial treino de complicações e adversidades intra-operatórias que possam aparecer, que, fora no contacto direto com os procedimentos no teatro operatório real, não seria possível. (44)

## Capítulo 7 – Futuro

O desenvolvimento progressivo de novo software e hardware relacionado com a realidade estendida (XR) tem evoluído a quantidade de aplicações que a mesma possui na cirurgia cardiorádica, que embora na atualidade ainda não sejam amplamente utilizadas, também pela reduzida quantidade e qualidade de estudos, já demonstram um enorme potencial no futuro da cirurgia cardiorádica para a sua aplicação no planeamento pré-operatório, na orientação intra-operatória, na gestão pós-operatória do paciente e no treino de médicos internos de especialidade.

Importa referir a necessidade de combater as atuais limitações ao uso destes dispositivos tecnológicos, procurando, ao mesmo tempo, direcionar e otimizar a sua utilização a esta área cirúrgica. Será premente no futuro um aumento do número de estudos, com um espectro mais alargado de participantes, tanto médicos como doentes, e que envolva um maior número de patologias com tratamento cirúrgico, de modo a obter uma amostra mais próxima à realidade.

Apesar disso, e com a rápida e constante evolução desta tecnologia, é expectável que num futuro próximo a mesma seja implementada como uma ferramenta verificada e útil, no auxílio ao tratamento cirúrgico de certas doenças, servindo de complemento ao que já existe ou tornando-se mesmo o novo *gold-standart* de alguns procedimentos.

## 7.1 Cirurgia Torácica

A biópsia do pulmão, rotineira no diagnóstico de algumas doenças pulmonares, apresenta uma taxa considerável de erros intra-operatórios, particularmente na manipulação cirúrgica, devido à força de punção excessiva, que pode causar dano irreparável ao tecido pulmonar. Tai Y. e colegas, no seu estudo, propuseram uma nova estratégia de orientação intra-operatória baseada em realidade aumentada (AR) háptica, de modo a concretizar biópsias ao pulmão com maior precisão e de uma forma mais confiável. O sistema combinaria a realidade aumentada (AR) e ferramentas cirúrgicas com capacidade háptica. Este novo método permitiria realizar cirurgias minimamente invasivas guiadas por imagem, através da realidade aumentada (AR), com feedback tátil (háptico), o que levaria a menos traumas ligeiros nos tecidos pulmonares e a um tempo de recuperação mais rápido. (45)

Por vezes é complexo separar o tecido saudável do tecido maligno, durante a ressecção de um tumor, pelo que a mesma poderá ficar incompleta ou levar à remoção desnecessária de tecido normal. Uma possível solução a este problema tem sido recentemente explorada através do uso da fluorescência, com o recurso a câmaras próximas a infravermelho (NIR), baseada em indocianina verde (ICG), que permite a visualização de vários tipos de cancro e de nódulos linfáticos, assim como a formação de vasos sanguíneos e a perfusão do sangue, tudo isto em tempo real, durante a cirurgia. No entanto, a imagem é exibida num monitor à parte, o que leva a que o cirurgião tenha de redirecionar o olhar, tendo como possíveis consequências a perda da atenção do mesmo, o aumento da probabilidade de erros operatórios e o aumento do tempo da cirurgia. HMDs óticos transparentes, baseados em realidade aumentada (AR), capazes de projetar imagens diretamente no campo de visão do utilizador sem ocultar a sua visibilidade, emergiram como uma opção alternativa à visualização de imagens 2D intra-operativamente. Porém o seu uso permanece com certas limitações, pois os sistemas existentes são volumosos e difíceis de utilizar, para além de não virem com câmaras NIR previamente instaladas pelo que as imagens fluorescentes devem ser gravadas à parte, numa diferente linha de visão, e posteriormente adulteradas num software para que igualem a linha de visão do utilizador, pelo que pode causar fadiga ocular no mesmo. Neste estudo em particular, Lee S. e colegas desenvolveram um sistema AR personalizado, através de óculos comerciais embutidos com divisores de feixe dicróicos, espelhos e câmaras NIR, que lhes permitia sincronizar a linha de visão do utilizador diretamente com a linha de visão da imagem fluorescente, da câmara NIR, de forma a reduzir os custos e melhorar a eficiência da aplicação da fluorescência, tendo eles experimentado a sua aplicação na ressecção de tumores pulmonares em

ratos e coelhos. Os feixes de luz, próximos ao infravermelho, poderiam desta forma ser refletidos, no espelho embutido, na direção das câmaras NIR, sendo por isso capturados. As imagens com fluorescência eram então enviadas para um computador onde ocorria o seu processamento, via Miracast, um programa que permite a transmissão de imagens sem fios. Posteriormente, essas imagens processadas eram projetadas de volta para os óculos AR, pela mesma via. (Figura 19) Assim, a visão ótica normal do utilizador misturava-se com as imagens fluorescentes obtidas na mesma linha de visão, evitando o uso de algoritmos complexos para a correspondência das imagens. Como o cirurgião, durante a operação, não consegue corrigir imediatamente a posição do hardware, o software permitia ainda o alinhamento manual da imagem fluorescente de modo a corresponder com o campo cirúrgico, através da redução, do aumento e da rotação da imagem. Os resultados da experiência demonstraram a correspondência consistente das imagens com as amostras cirúrgicas, pelo que o movimento da cabeça do cirurgião e a inclinação dos óculos, não alteraram o desempenho desta técnica. Para além disso, também evidenciaram a capacidade de orientar a ressecção completa dos tumores pulmonares dos ratos e dos coelhos. Desta maneira, este método apresenta uma enorme potencialidade em diminuir a duração da operação e a tornar os procedimentos cirúrgicos mais seguros, aprimorando a segurança do paciente. (46)

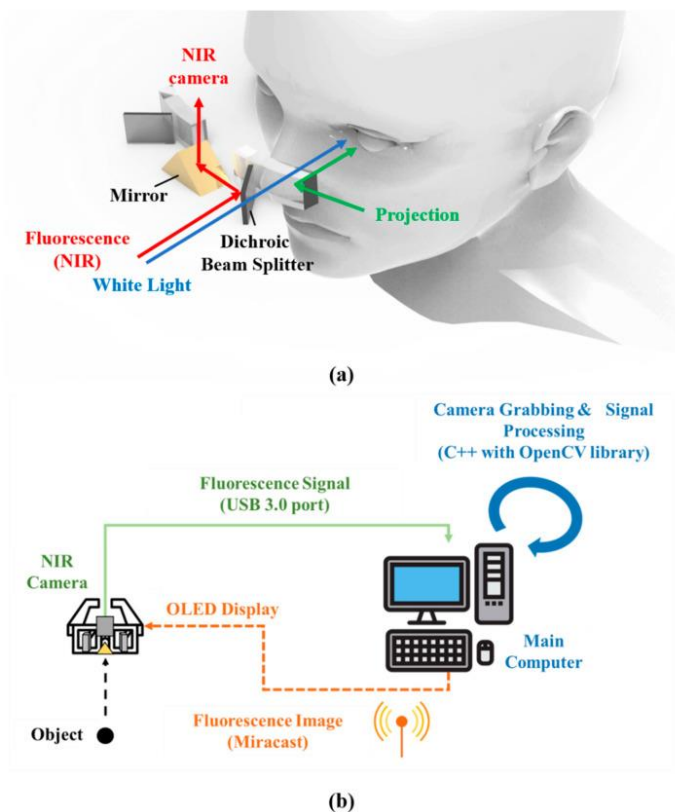


Figura 19. Esquema visual do sistema de realidade aumentada (AR) personalizado desenvolvido por Lee S. e colegas. (46)

Pectus excavatum, uma patologia do foro pediátrico, é uma depressão da parede torácica anterior. Normalmente, o tratamento consiste na reparação de Nuss, um procedimento minimamente invasivo onde uma barra é colocada por baixo do esterno e girada, de forma, a elevar a parede. Este procedimento costuma causar ao paciente pediátrico uma dor pós-operativa significativa, que, se for ineficazmente gerida, se encontra associada a um aumento da morbilidade e a um aumento do tempo de recuperação, levando a um maior custo relativo aos cuidados de saúde. Para além disso, o tratamento farmacológico da dor, na criança ou no adolescente, em questão, potencia o risco do abuso de opióides e conseqüentemente ao seu vício. Nesse sentido, o uso de várias técnicas multimodais não farmacológicas, seguras e efetivas, para reduzir a dor e o consumo de opióides, devem ser exploradas como possíveis alternativas. A realidade virtual (VR) tem-se revelado como um provável método terapêutico, capaz de providenciar um ambiente multissensorial, imersivo e tridimensional, que pode levar à redução da dor pelo redirecionamento da atenção, através da distração (VR-D). Ainda que útil a curto-prazo, estudos demonstraram que esta técnica (VR-D) não é suficiente no tratamento de dor aguda prolongada, uma vez que não consegue produzir uma resposta sustentada. Conseqüentemente, VR com relaxamento guiado (VR-GR), emergiu como uma possível alternativa, que, ao combinar técnicas de terapia mente-corpo, como a respiração lenta e o relaxamento, com um ambiente imersivo 3D, possibilita um controlo mais eficaz da dor prolongada e, por consequência, uma diminuição na probabilidade da contração do vício em opióides, devido ao aumento na adesão e na motivação dos pacientes. Nesse contexto, Olbrecht V. et al, num estudo ainda a decorrer, decidiram comparar o uso de um vídeo 360°, sem VR, ao VR distrativo (VR-D) e ao VR com relaxamento guiado (VR-GR), avaliando cada modalidade quanto à sua influência no impacto da intensidade da dor, assim como na ansiedade e no uso de benzodiazepinas e opióides. O estudo avalia, ainda, secundariamente, fatores psicológicos como a sensibilidade à ansiedade e a catastrofização da dor. No decorrer da experiência os pacientes recebem uma sessão de 10 minutos, por dia, nos 3 dias seguintes à cirurgia. O grupo de VR-GR utiliza a aplicação Aurora, que proporciona técnicas de relaxamento e de respiração lenta. O grupo VR-D joga uma das três seguintes opções, Space Pups, Pebbles the Penguin ou Wonderglade. O grupo do vídeo 360°, sem VR, assiste a um vídeo em 360°, em formato 2D, com o auxílio da aplicação aurora, sem instruções audiovisuais de relaxamento. O dispositivo VR e software empregue, nesta experiência, é o Starlight Xperience (Google Daydream) e o mesmo encontra-se comercialmente disponível. (47)

Correntemente na cirurgia torácica, devido ao aumento da quantidade de tomografias computadorizadas (TC) realizadas em estágios iniciais e do, conseqüente, aumento da incidência de pequenos nódulos pulmonares, a ressecção pulmonar sublobar, segmentectomia, emergiu como uma alternativa preterível à lobectomia. Apesar do uso *gold-standart* de imagens convencionais 2D no planeamento pré-operativo da ressecção, a utilização da realidade virtual (VR) e de imagens tridimensionais (3D) pode ultrapassar as limitações impostas pelas imagens 2D, tendo sido já demonstrado em estudos anteriores, onde o 3D-VR mudou os planos cirúrgicos previamente concebidos com imagens TC convencionais. Apesar das enormes contribuições do 3D e da realidade virtual (VR) no planeamento pré-operativo, a anatomia estática do modelo 3D continua a ter de ser memorizada e transformada num pulmão dinamizado e deformado, uma vez que não é possível a sua utilização durante a cirurgia. De forma a poder aplicar a tecnologia estendida (XR) intra-operativamente, Bakhuis W. pretendem desenvolver no futuro métodos baseados em realidade aumentada (AR), permitindo que a vista não fique completamente obstruída. Os autores deste artigo visam, ainda, explorar introduzir uma componente dinâmica aos modelos 3D estáticos já existentes, de forma a criar uma semelhança com a situação real do teatro operatório. A simulação 3D dinâmica do pulmão ambiciona incluir diferentes fases cirúrgicas, como o abrir de uma fissura e a dissecação de uma artéria. Estas tecnologias futuras poderão fornecer uma melhor perceção da anatomia e dos procedimentos operatórios à equipa cirúrgica. (48)

## 7.2 Cirurgia Cardíaca

Pacientes submetidos a cirurgias, normalmente, manifestam stress, ansiedade e medo, face ao risco potencialmente ameaçador, que o mesmo exerce nas suas vidas. Estes fatores contribuem para o aparecimento de complicações pré, intra e pós-operativas, que afetam o resultado da operação e prolongam o período de recuperação e internamento hospital. Desta forma, os profissionais de saúde procuram implementar uma diversidade de mecanismos e estratégias de *coping* nos pacientes, para evitar tais complicações. Apoio psicológico e educação do paciente têm-se destacado como métodos bastante eficazes no combate ao stress e à ansiedade. O fornecimento de informação relativo ao processo da sua cirurgia e o, conseqüente, empoderamento do paciente leva a que o mesmo se sinta encorajado a participar ativamente no controlo da sua situação, o que resulta numa satisfação, funcionalidade e melhor estado de saúde do doente. Avanços recentes na modalidade intervencional através de dispositivos tecnológicos digitais demonstram a sua capacidade no controlo da ansiedade e da dor e no fornecimento de conhecimento médico, pelo meio de sistemas imersivos, nomeadamente a realidade virtual (VR). A realidade virtual (VR) tem apresentado múltiplas aplicações, concretamente na redução de stress e da dor, na reabilitação física e psicológica e até no controlo da saúde mental, proporcionado pelas suas propriedades distrativas. No entanto, as aplicações VR disponíveis focam-se apenas na providência de conteúdo informativo, sem dar importância ao empoderamento do paciente, pela falta de personalização individual da estratégia aplicada. Nesse contexto, Kondylakis H. e colegas, num estudo ainda a decorrer, decidiram explorar a implementação de um novo tipo de intervenção de saúde digital avançado, chamado Adhera CARINAE Digital Program, capaz de proporcionar métodos de controlo peri-operativo do stress e da ansiedade e de alívio da dor, baseados em evidência e personalizados, assentando em ciência comportamental e em recursos de aprendizagem relevantes, com o objetivo de reduzir o stress, a ansiedade e a dor. As cirurgias cardíacas incluídas nesta investigação, foram o bypass coronário e cardiopulmonar e a substituição de válvulas cardíacas, não se encontrando limitado a este tipo de cirurgias. A intervenção criada pelos autores deste estudo baseia-se em vários aspetos: recomendações personalizadas para cada paciente, conteúdo educacional sobre a cirurgia e a recuperação pós-operatória, comunicação entre os profissionais de saúde e os pacientes, atividades para o bem-estar mental, de forma a reduzir o stress e a ansiedade, e mensagens motivacionais comportamentais, para melhorar o estilo de vida. Todos estes módulos foram desenhados para ser flexíveis e adaptados consoante as regras e as políticas institucionais, locais, regionais e nacionais. O conteúdo educacional foi concebido e

aprovado por uma equipa multidisciplinar, incluindo cirurgiões, psicólogos e enfermeiros, entre outros profissionais de saúde. O programa inclui o uso de uma aplicação de telemóvel, de uma aplicação clínica na internet e, essencialmente, de um dispositivo VR. Neste caso, o dispositivo VR providencia a educação do paciente, através de cenários semelhantes à interface de um jogo, proporcionando simulações, instruções e informações relativas à preparação do doente para a cirurgia e ao período pós-cirúrgico. Para além disso, a plataforma VR também fornece exercícios de saúde mental, tanto do corpo como da mente, para o controlo do stress peri-operativo e para o alívio da dor. O programa VR, CARINAE VR, responsável pelo processamento da imagem 3D virtual, é baseado em Unity 3D, sendo providenciado pelo ORAMA VR M.A.G.E.S. platform. O programa guia os pacientes com o auxílio a áudio e a texto, nas suas línguas nativas. O HMD Pico G2 4 K headset foi o dispositivo usado para a visualização 3D, por ser barato, fácil de usar e de alta qualidade, em comparação com as opções alternativas existentes no mercado, com o objetivo de motivar a sua incorporação pelas instituições de saúde. Os utilizadores são transportados para uma localização virtual calma e serena, onde praticam exercícios curtos e divertidos, de forma a direcionar o foco do utilizador, reduzindo o stress e distraíndo-os da dor, após a cirurgia. Os participantes recebem constante *feedback* sobre o seu desempenho e *coping skills*, sendo o mesmo adaptado com base no tipo de operação a que é submetido, nas preferências do paciente, nas suas necessidades e no seu histórico médico. Este protocolo aparece como uma nova potencial solução digital, capaz de oferecer uma combinação única e inovadora de diferentes dimensões do atual conhecimento da literatura. (49)

Asiri S. et al, num estudo semelhante ao supramencionado, também se encontram, atualmente, a avaliar a eficácia da tecnologia VR, no controlo peri-operativo da ansiedade, em pacientes submetidos a cirurgia. Outros parâmetros, ainda, avaliados incluem, a dor, o stress, a satisfação do paciente com o cuidado peri-operativo, a sua duração no hospital e efeitos adversos, relacionados com o uso de dispositivos VR. Neste estudo em particular, o HMD VR usado para a exibição de imagens digitais 3D é o Oculus Quest 2 Virtual Reality Headset™, equipado com dois controladores manuais e integrado com um telemóvel. A sua escolha deveu-se ao facto de o mesmo ser o HMD mais avançado comercialmente disponível. Nesta experiência, os participantes utilizam o dispositivo VR durante 10 min, considerado como o tempo ideal de uso pelo qual não ocorrem efeitos adversos, na sala de espera, antes da cirurgia, onde os níveis de ansiedade se encontram no máximo, segundo demonstra a evidência. A sua aplicação foca-se no relaxamento do paciente, podendo o mesmo escolher entre 9 cenários naturais, imersivamente construídos num ambiente virtual,

sendo acompanhados por sons ambiente e música. Durante este tempo, o investigador atenta em possíveis efeitos adversos, como cefaleias, náuseas, vômitos, sudorese, cansaço, sonolência, desorientação e apatia. Este novo tratamento não-farmacológico pode ainda ser administrado por enfermeiros ou, até mesmo, pelos próprios pacientes, oferecendo uma opção barata e simples para a redução peri-operativa da ansiedade. (50)

Para além da realidade mista (MR) ter sofrido avanços quanto ao seu uso intra-operativo, também a realidade aumentada (AR) tem provado a sua utilidade, na redução da dependência da interpretação pré-operativa de imagens médicas, ao superimpor reconstruções 3D virtuais idênticas dos pacientes sobre o seus corações reais, no espaço físico, durante a cirurgia. Recentemente tem sido estudado o uso de aplicações de realidade aumentada (AR) instaladas em telemóveis ou tablets para a visualização dos modelos 3D digitais intra-operativamente, no teatro operatório. (51)

A reparação cirúrgica de doenças cardíacas congénitas é, na maior parte das vezes, bastante complexa e desafiante. Infelizmente, no bypass cardiopulmonar, durante a implantação de enxertos vasculares, na cirurgia cardíaca, erros potenciais podem acontecer, devido à descompressão das estruturas anatómicas. Por conseguinte, e por causa de possíveis complicações pós-operatórias no desempenho hemodinâmico, ferramentas são necessárias para garantir a implantação precisa dos enxertos. A realidade aumentada (AR) também tem sido pensada como uma provável solução a este problema, no entanto mais estudos ainda terão de ser realizados. Apesar disso, estudos preliminares demonstraram o valor significativo dos hologramas 3D na compreensão da complexa morfologia anatómica. (52)

## Capítulo 8 – Conclusão

Na última década, o desenvolvimento de novos e avançados softwares e hardwares, na área da realidade estendida (XR), resultado de uma evolução cada vez mais rápida da tecnologia, proporcionou a sua aplicação no mundo da medicina, tanto a nível clínico como a nível cirúrgico. A realidade estendida (XR), cada vez mais válida e aceite na comunidade científica, mostrou possuir especial utilidade no ramo cirúrgico e o aparecimento de dispositivos XR cada vez mais acessíveis monetariamente e disponíveis comercialmente facilitou o alcance da sua investigação a um maior número de interessados, na comunidade científica.

Ainda que apenas numa fase prematura, diversos estudos demonstraram que a realidade estendida tem o potencial de revolucionar a forma como todo o processo cirúrgico se procede. Aplicações foram encontradas para as fases pré, intra e pós-operativas e mesmo no treino cirúrgico a realidade estendida também já encontrou a sua utilidade. Atualmente, o treino e ensino cirúrgico de médicos internos das especialidades, o planeamento pré-operativo e a gestão do paciente pós-operativamente são conseguidos, maioritariamente, pela utilização da realidade virtual (VR). No caso da realidade aumentada (AR) e da realidade mista (MR), o seu uso foi estudado mais aprofundadamente na navegação e orientação intra-operativa. (Figura 20)

No treino cirúrgico de médicos internos das especialidades cirúrgicas, a realidade estendida (XR) proporciona a oportunidade de o médico praticar as suas *skills* e os procedimentos cirúrgicos num ambiente virtual simulado, completamente realista, e livre de problemas éticos, especialmente no caso da segurança do doente. O *feedback*, em tempo real, e a possibilidade da repetição infinita dos procedimentos revela o seu potencial como uma técnica complementar na educação dos médicos internos, diminuindo a sua curva de aprendizagem e facilitando a sua introdução em teatros cirúrgicos reais.

Relativamente à fase pré-cirúrgica, a realidade estendida (XR) aumenta a compreensão da anatomia e das lesões a excisar ou a reparar, através da perceção de profundidade criada pela visualização de modelos 3D, ao invés da tradicional conversão mental feita pelo cirurgião de imagens 2D. Para além de tornar mais rápido o planeamento pré-operativo, o plano cirúrgico elaborado é mais preciso e claro, acabando por corresponder em maior percentagem aos achados intra-operatórios, encontrando-se mais bem preparados para os riscos intra-operatórios. A capacidade educativa e distrativa desta tecnologia também aufere, nesta fase, no paciente, uma redução da ansiedade, tanto pela distração como pela explicação procedimental da

cirurgia a que é submetido, pelo que resulta em menos complicações intra e pós-cirúrgicas.

Intra-operativamente, a realidade estendida (XR), ao reduzir a necessidade de memorização pré-operatória, torna a cirurgia significativamente mais rápida. Ademais, a possibilidade de sobreposição do modelo 3D com a anatomia real do paciente possibilita a existência de um menor número de complicações intra-operatórias, aumentando o desempenho cirúrgico dos cirurgiões.

Finalmente, ao nível pós-operatório, o potencial educativo e dinâmico das tecnologias de realidade estendida (XR) oferece ao paciente uma ferramenta alternativa à sua reabilitação física, pulmonar e cardíaca, levando a uma recuperação mais rápida e eficaz do mesmo e, por conseguinte, a uma diminuição do tempo de permanência hospitalar e da taxa de complicações pós-operatórias.

No futuro, um maior número de estudos será necessário, para avaliar a implementação segura desta nova tecnologia na prática cirúrgica regular do cirurgião. O aparecimento de novos dispositivos XR, para além dos já bastante estudados HTC Valve, Oculus Quest e Microsoft HoloLens, como é o exemplo do Apple Vision Pro, abre portas a novas e diferentes aplicações ou à melhoria das já desenvolvidas, pelo que um contínuo estudo será importante. A procura pelo aumento na confortabilidade do médico, durante o seu uso, e pela existência de menos efeitos adversos, como as tonturas, são outros aspetos relevantes a solucionar no futuro.

Ainda que em estágios iniciais, esta nova técnica é promissora e a probabilidade do surgimento de novos dispositivos XR cada vez mais relevantes, realistas e precisos é enorme.

Esta monografia procurou compilar os desenvolvimentos mais recentes, referentes à realidade estendida (XR), dos últimos 5 anos, delineando as suas vantagens e as limitações a necessitarem de ser ultrapassadas, assim como as suas futuras perspetivas.



Figura 20. Planeamento pré-operativo de procedimentos cirúrgicos com o auxílio da realidade virtual (VR), através do Oculus VR. (2)

## Capítulo 9 – Referências Bibliográficas

1. Zhang J, Lu V, Khanduja V. The impact of extended reality on surgery: A scoping review. *International Orthopaedics*. 2023 Jan 16;47(3):611–21. doi:10.1007/s00264-022-05663-z
2. Sadeghi AH, Mathari S el, Abjigitova D, Maat APW, Taverne YJH, Bogers AJJ, et al. Current and future applications of virtual, augmented, and mixed reality in cardiothoracic surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2022 Feb;113(2):681–91. doi:10.1016/j.athoracsur.2020.11.030
3. Arjomandi Rad A, Vardanyan R, Thavarajasingam SG, Zubarevich A, Van den Eynde J, Sá MP, et al. Extended, virtual and Augmented Reality in thoracic surgery: A systematic review. *Interactive CardioVascular and Thoracic Surgery*. 2021 Sept 20;34(2):201–11. doi:10.1093/icvts/ivab241
4. Chen Z, Zhang Y, Yan Z, Dong J, Cai W, Ma Y, et al. Artificial Intelligence assisted display in thoracic surgery: Development and possibilities. *Journal of Thoracic Disease*. 2021 Dec;13(12):6994–7005. doi:10.21037/jtd-21-1240
5. Ujiie H, Chiba R, Yamaguchi A, Nomura S, Shiiya H, Fujiwara-Kuroda A, et al. Developing a virtual reality simulation system for preoperative planning of robotic-assisted Thoracic Surgery. *Journal of Clinical Medicine*. 2024 Jan 21;13(2):611. doi:10.3390/jcm13020611
6. Ujiie H, Yamaguchi A, Gregor A, Chan H, Kato T, Hida Y, et al. Developing a virtual reality simulation system for preoperative planning of Thoracoscopic Thoracic surgery. *Journal of Thoracic Disease*. 2021 Feb;13(2):778–83. doi:10.21037/jtd-20-2197
7. Pelizzo G, Costanzo S, Roveri M, Lanfranchi G, Vertemati M, Milani P, et al. Developing virtual reality head mounted display (HMD) set-up for thoracoscopic surgery of complex congenital lung malformations in children. *Children*. 2022 Jan 3;9(1):50. doi:10.3390/children9010050
8. Bakhuis W, Kersten CM, Sadeghi AH, Mank QJ, Wijnen RM, Ciet P, et al. Preoperative visualization of congenital lung abnormalities: Hybridizing artificial intelligence and virtual reality. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2022 Dec 2;63(1). doi:10.1093/ejcts/ezado14
9. Sadeghi AH, Maat APW, Taverne YJH, Cornelissen R, Dingemans A-MC, Bogers AJJ, et al. Virtual reality and artificial intelligence for 3-dimensional planning of lung segmentectomies. *JTCVS Techniques*. 2021 Jun;7:309–21. doi:10.1016/j.xjtc.2021.03.016
10. Thumerel M, Belaroussi Y, Prisciandaro E, Chermat A, Zarrouki S, Chevalier B, et al. Immersive three-dimensional computed tomography to plan chest wall resection for lung cancer. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2022 Dec;114(6):2379–82. doi:10.1016/j.athoracsur.2022.06.059
11. Perkins SL, Krajancich B, Yang C-FJ, Hargreaves BA, Daniel BL, Berry MF. A patient-specific mixed-reality visualization tool for Thoracic Surgical Planning. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2020 Jul;110(1):290–5. doi:10.1016/j.athoracsur.2020.01.060
12. Sadeghi AH, Bakhuis W, Van Schaagen F, Oei FB, Bekkers JA, Maat AP, et al. Immersive 3D virtual reality imaging in planning minimally invasive and complex adult cardiac surgery. *European Heart Journal - Digital Health*. 2020 Nov 1;1(1):62–70. doi:10.1093/ehjdh/ztaa011

13. Abjigitova D, Sadeghi AH, Peek JJ, Bekkers JA, Bogers AJ, Mahtab EA. Virtual reality in the preoperative planning of adult aortic surgery: A feasibility study. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2022 Jan 18;9(2):31. doi:10.3390/jcdd9020031
14. Kumar RP, Pelanis E, Bugge R, Brun H, Palomar R, Aghayan DL, et al. Use of mixed reality for surgery planning: Assessment and Development Workflow. *Journal of Biomedical Informatics*. 2020;112:100077. doi:10.1016/j.yjbinx.2020.100077
15. Gehrsitz P, Rompel O, Schöber M, Cesnjevar R, Purbojo A, Uder M, et al. Cinematic rendering in mixed-reality holograms: A new 3D preoperative planning tool in pediatric heart surgery. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021 Feb 9;8. doi:10.3389/fcvm.2021.633611
16. Mendez A, Hussain T, Hosseinpour A-R, Valverde I. Virtual reality for preoperative planning in large ventricular septal defects. *European Heart Journal*. 2018 Oct 16;40(13):1092–1092. doi:10.1093/eurheartj/ehy685
17. Pushparajah K, Chu KY, Deng S, Wheeler G, Gomez A, Kabir S, et al. Virtual reality three-dimensional echocardiographic imaging for planning surgical atrioventricular valve repair. *JTCVS Techniques*. 2021 Jun;7:269–77. doi:10.1016/j.xjtc.2021.02.044
18. van Schaagen F, van Steenis YP, Sadeghi AH, Bogers AJJC, Taverne YJHJ. Immersive 3D virtual reality–based clip sizing for thoracoscopic left atrial appendage closure. *Innovations: Technology and Techniques in Cardiothoracic and Vascular Surgery*. 2022 Jul;17(4):304–9. doi:10.1177/15569845221114344
19. van de Woestijne PC, Bakhuis W, Sadeghi AH, Peek JJ, Taverne YJHJ, Bogers AJJC. 3D virtual reality imaging of major aortopulmonary collateral arteries: A novel diagnostic modality. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2021 Nov;12(6):765–72. doi:10.1177/21501351211045064
20. Qiu H, Huang M, Cen J, Chen J, Liu X, Li X, et al. VR and 3D printing for Preop planning of left ventricular myxoma in a child. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2022 Jun;113(6). doi:10.1016/j.athoracsur.2021.07.094
21. Lau I, Gupta A, Sun Z. Clinical value of virtual reality versus 3D printing in congenital heart disease. *Biomolecules*. 2021 Jun 14;11(6):884. doi:10.3390/biom11060884
22. Lau I, Gupta A, Ihdahid A, Sun Z. Clinical applications of mixed reality and 3D printing in congenital heart disease. *Biomolecules*. 2022 Oct 24;12(11):1548. doi:10.3390/biom12111548
23. Bertelli F, Raimondi F, Godard C, Bergonzoni E, Cattapan C, Gastino E, et al. Fast-track virtual reality software to facilitate 3-dimensional reconstruction in congenital heart disease. *Interdisciplinary CardioVascular and Thoracic Surgery*. 2023 Jun 1;36(6). doi:10.1093/icvts/ivado87
24. Peek JJ, Bakhuis W, Sadeghi AH, Veen KM, Roest AA, Bruining N, et al. Optimized preoperative planning of double outlet right ventricle patients by 3D printing and virtual reality: A pilot study. *Interdisciplinary CardioVascular and Thoracic Surgery*. 2023 May 18;37(2). doi:10.1093/icvts/ivado72
25. Vigil C, Lasso A, Ghosh RM, Pinter C, Cianciulli A, Nam HH, et al. Modeling tool for rapid virtual planning of the intracardiac baffle in double-outlet right ventricle. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2021 Jun;111(6):2078–83. doi:10.1016/j.athoracsur.2021.02.058
26. Brun H, Bugge RA, Suther LK, Birkeland S, Kumar R, Pelanis E, et al. Mixed reality holograms for heart surgery planning: First user experience in congenital

- heart disease. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2018 Dec 6;20(8):883–8. doi:10.1093/ehjci/jey184
27. Ye W, Zhang X, Li T, Luo C, Yang L. Mixed-reality hologram for diagnosis and surgical planning of double outlet of the right ventricle: A pilot study. *Clinical Radiology*. 2021 Mar;76(3). doi:10.1016/j.crad.2020.10.017
  28. Grab M, Hundertmark F, Thierfelder N, Fairchild M, Mela P, Hagl C, et al. New Perspectives in patient education for cardiac surgery using 3D-printing and virtual reality. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2023 Mar 3;10. doi:10.3389/fcvm.2023.1092007
  29. Amiri A, Jalali R, Salari N. The effect of using virtual reality technology on anxiety and vital signs before surgery in patients undergoing open heart surgery. *Perioperative Medicine*. 2023 Nov 24;12(1). doi:10.1186/s13741-023-00354-8
  30. Hendricks TM, Gutierrez CN, Stulak JM, Dearani JA, Miller JD. The use of virtual reality to reduce preoperative anxiety in first-time sternotomy patients: A randomized controlled pilot trial. *Mayo Clinic Proceedings*. 2020 Jun;95(6):1148–57. doi:10.1016/j.mayocp.2020.02.032
  31. Hamanaka K, Miura K, Eguchi T, Shimizu K. Harnessing 3D-CT simulation and planning for Enhanced Precision Surgery: A review of applications and advancements in lung cancer treatment. *Cancers*. 2023 Nov 14;15(22):5400. doi:10.3390/cancers15225400
  32. Li C, Zheng B, Yu Q, Yang B, Liang C, Liu Y. Augmented reality and 3-dimensional printing technologies for guiding complex thoracoscopic surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2021 Nov;112(5):1624–31. doi:10.1016/j.athoracsur.2020.10.037
  33. Li C, Ji A, Jian Z, Zheng Y, Feng X, Guo W, et al. Augmented reality navigation-guided intraoperative pulmonary nodule localization: A pilot study. *Translational Lung Cancer Research*. 2023 Aug;12(8):1728–37. doi:10.21037/tlcr-23-201
  34. Li C, Zheng Y, Yuan Y, Li H. Augmented reality navigation-guided pulmonary nodule localization in a canine model. *Translational Lung Cancer Research*. 2021 Dec;10(11):4152–60. doi:10.21037/tlcr-21-618
  35. Sakai D, Schol J, Kawachi A, Sako K, Hiyama A, Katoh H, et al. Adolescent idiopathic scoliotic deformity correction surgery assisted by smart glasses can enhance correction outcomes and accuracy and also improve surgeon fatigue. *World Neurosurgery*. 2023 Oct;178. doi:10.1016/j.wneu.2023.06.144
  36. Cen J, Liufu R, Wen S, Qiu H, Liu X, Chen X, et al. Three-dimensional printing, virtual reality and mixed reality for pulmonary atresia: Early Surgical Outcomes Evaluation. *Heart, Lung and Circulation*. 2021 Feb;30(2):296–302. doi:10.1016/j.hlc.2020.03.017
  37. Qiu H, Wen S, Ji E, Chen T, Liu X, Li X, et al. A novel 3D visualized operative procedure in the single-stage complete repair with unifocalization of pulmonary atresia with ventricular septal defect and major aortopulmonary collateral arteries. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2022 Apr 25;9. doi:10.3389/fcvm.2022.836200
  38. Wang P-H, Wang Y-J, Chen Y-W, Hsu P-T, Yang Y-Y. An augmented reality (AR) app enhances the pulmonary function and potency/feasibility of perioperative rehabilitation in patients undergoing orthopedic surgery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022 Dec 30;20(1):648. doi:10.3390/ijerph20010648

39. Peek JJ, Sadeghi AH, Maat APWM, Rothbarth J, Mureau MAM, Verhoef C, et al. Multidisciplinary virtual three-dimensional planning of a forequarter amputation with chest wall resection. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2022 Jan;113(1). doi:10.1016/j.athoracsur.2021.04.014
40. Borges MG, Borges DL, Ribeiro MO, Lima LS, Macedo KC, Nina VJ. Early mobilization prescription in patients undergoing cardiac surgery: Systematic review. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2022;37(2). doi:10.21470/1678-9741-2021-0140
41. Ribeiro BC, Poça JJ, Rocha AM, Cunha CN, Cunha K da, Falcão LF, et al. Different physiotherapy protocols after coronary artery bypass graft surgery: A randomized controlled trial. *Physiotherapy Research International*. 2020 Oct 25;26(1). doi:10.1002/pri.1882
42. Grossi S, Cattoni M, Rotolo N, Imperatori A. Video-assisted thoracoscopic surgery simulation and training: A comprehensive literature review. *BMC Medical Education*. 2023 Jul 27;23(1). doi:10.1186/s12909-023-04482-z
43. Onorati I, Radu DM, Martinod E. What's new in Minimally Invasive Thoracic Surgery? clinical application of augmented reality and learning opportunities in surgical simulation. *Frontiers in Surgery*. 2023 Nov 2;10. doi:10.3389/fsurg.2023.1254039
44. Villanueva C, Xiong J, Rajput S. Simulation-based surgical education in cardiothoracic training. *ANZ Journal of Surgery*. 2019 Dec 11;90(6):978–83. doi:10.1111/ans.15593
45. Tai Y, Qian K, Huang X, Zhang J, Jan MA, Yu Z. Intelligent intraoperative haptic-ar navigation for COVID-19 lung biopsy using deep hybrid model. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021 Sept;17(9):6519–27. doi:10.1109/tii.2021.3052788
46. Lee SH, Quan YH, Kim MS, Kwon KH, Choi BH, Kim HK, et al. Design and testing of augmented reality-based fluorescence imaging goggle for intraoperative imaging-guided surgery. *Diagnostics*. 2021 May 21;11(6):927. doi:10.3390/diagnostics11060927
47. Olbrecht VA, Williams SE, O'Connor KT, Boehmer CO, Marchant GW, Glynn SM, et al. Guided relaxation-based virtual reality versus distraction-based virtual reality or passive control for postoperative pain management in children and adolescents undergoing Nuss repair of pectus excavatum: Protocol for a prospective, randomised, controlled trial (FOREVR PEDS trial). *BMJ Open*. 2020 Dec;10(12). doi:10.1136/bmjopen-2020-040295
48. Bakhuis W, Max S, Nader M, Mank Q, Stoutjesdijk S, Maat A, et al. Video-assisted Thoracic Surgery S7 segmentectomy: Use of virtual reality surgical planning and simulated reality intraoperative modelling. *Multimedia Manual of Cardio-Thoracic Surgery*. 2023 Apr 28; doi:10.1510/mmcts.2023.023
49. Kondylakis H, Chicchi Giglioli IA, Katehakis DG, Aldemir H, Zikas P, Papagiannakis G, et al. A digital health intervention for stress and anxiety relief in perioperative care: Protocol for a feasibility randomized controlled trial. *JMIR Research Protocols*. 2022 Nov 29;11(11). doi:10.2196/38536
50. Asiri S, Guilhermino M, Duff J. The effectiveness of using virtual reality technology for perioperative anxiety among adults undergoing elective surgery: A randomised controlled trial protocol. *Trials*. 2022 Dec 2;23(1). doi:10.1186/s13063-022-06908-3
51. Cornejo J, Cornejo-Aguilar JA, Vargas M, Helguero CG, Milanezi de Andrade R, Torres-Montoya S, et al. Anatomical Engineering and 3D printing for surgery and Medical Devices: International Review and future Exponential Innovations.

- BioMed Research International. 2022 Mar 24;2022:1–28. doi:10.1155/2022/6797745
52. Contento J, Mass P, Cleveland V, Aslan S, Matsushita H, Hayashi H, et al. Location matters: Offset in tissue-engineered vascular graft implantation location affects wall shear stress in porcine models. JTCVS Open. 2022 Dec;12:355–63. doi:10.1016/j.xjon.2022.08.006