GISELLE COELHO RESENDE CASELATO

**Uso de simuladores realísticos
em neurocirurgia pediátrica**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Ciências

Programa de Neurologia

Orientador: Prof. Dr. Manoel Jacobsen Teixeira

Coorientador: Prof. Dr. Eberval Gadelha Figueiredo

São Paulo

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Caselato, Giselle Coelho Resende
Uso de simuladores realísticos em neurocirurgia
pediátrica / Giselle Coelho Resende Caselato. --
São Paulo, 2019.
Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da
Universidade de São Paulo.
Programa de Neurologia.
Orientador: Manoel Jacobsen Teixeira.
Coorientador: Eberval Gadelha Figueiredo.

Descritores: 1.Neurocirurgia 2.Neuroendoscopia
3.Treinamento com simulação de alta fidelidade
4.Cranioossinostoses 5.Impressão tridimensional
6.Cirurgiões

USP/FM/DBD-057/19

Responsável: Erinalva da Conceição Batista, CRB-8 6755

*“Feliz aquele que transfere o que sabe
e aprende o que ensina. ”*

Cora Coralina

À minha mãe Leni, que me ensinou a acreditar nos sonhos, por mais impossíveis e inatingíveis que pudessem parecer.

Ao Tadeu, fonte de amor e incansável companheirismo em toda esta jornada.

Vocês me fizeram enxergar o real sentido da vida.

Dedico essa tese a vocês, com carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Manoel Jacobsen Teixeira, exemplo de competência, determinação e amor à profissão, pela concepção deste trabalho e transmissão de conhecimento. Muito obrigado por confiar em mim e ser o meu orientador no Doutorado.

Ao Prof. Dr. Eberval Gadelha Figueiredo, pelas oportunidades que têm sido dadas a mim, por toda a confiança e pela extrema dedicação no desenvolvimento deste projeto. Sou muito grata!

À Profa. Dra. Nelci Zanon amiga querida, a quem tive o privilégio do convívio diário. Pelos diversos ensinamentos que em muito ultrapassam os limites da medicina e pelo apoio irrestrito em todos os passos de minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. Benjamin Warf, grande amigo e um dos grandes responsáveis pela existência desta tese, pelos conselhos que me fizeram acreditar na idéia de desenvolver um bebê simulador e que me ajudaram na construção deste estudo.

Ao Prof. Dr. Dario Fernandes que me ajudou de maneira decisiva na obtenção dos dados e na análise estatística. Muito obrigada!

À Prof. Dra. Liana Beni, por participar ativamente da idealização do projeto quebra-cabeça e que mesmo à distância contribuiu enormemente para sua concretização.

Ao Prof. Dr. Fernando Pinto, por participar ativamente do projeto quebra-cabeça e por acreditar no seu potencial.

Ao Dr. Nicollas Rabello, parceria e gigantesca colaboração na execução deste trabalho.

À Carla Araújo e à Cecília Vergueiro, competentes instrumentadoras, que com notável dedicação, auxiliaram nas fases de validação científica deste estudo.

Ao Gustavo Zagatto, talentosíssimo designer gráfico, um amigo muito especial a quem devo meu mais exclusivo apreço. Criou cada simulador virtual de forma absolutamente precisa, estudando e reproduzindo detalhes ímpares de cada procedimento cirúrgico. Sua notável dedicação e compromisso resultaram no desenvolvimento de uma poderosa ferramenta de ensino. Muito obrigada!

Ao Fabiano Ribeiro de Souza Carvalho, por acreditar no estudo e pelo notável e extraordinário apoio à realização deste projeto. Meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Marcos Lyra e aos artistas plásticos Jair Lyra; Georgina Barretto e Josemi Fabricio da Silva por sua participação e dedicação notável no desenvolvimento da primeira fase dos simuladores físicos.

À Márcia Castro, talentosa e dedicada artista plástica pelo desenvolvimento com notável afinco da segunda fase e versão final dos simuladores físicos, atribuindo-lhes características e fisionomias peculiares.

Aos neurocirurgiões envolvidos na validação científica dos simuladores realísticos e virtuais pela confiança, paciência e imensurável colaboração durante todas as etapas de realização deste estudo.

Ao Instituto SIEDI[®] (Scientific Innovation Education Development Institute) pelo profissionalismo, hospitalidade e por todo o suporte técnico, científico e financeiro fornecido durante o desenvolvimento e validação científica dos simuladores.

Ao Instituto EDUCSIM[®] pelo apoio científico incondicional para criação e desenvolvimento dos simuladores na fase final do estudo.

A todas as pessoas que fazem parte das empresas Implamed[®], Aesculap[®], Storz[®], Medtronic[®] e Tech CD[®] da cidade de São Paulo pelo suporte técnico e educacional importantíssimos e fundamentais para existência deste projeto.

À Faculdade de Medicina da USP, em especial à Disciplina de Neurocirurgia/ Departamento de Neurologia, representados por mestres, colegas e funcionários, pela disponibilidade de assistência e facilitação às pesquisas para a realização deste trabalho.

À minha mãe e anjo da guarda Leni do Carmo Coelho Resende, exemplo de amor e dedicação, presente em todas as etapas da minha vida, exercendo brilhantemente o papel de mãe e melhor amiga.

Aos meus irmãos Maira Coelho e Vinícius Coelho sempre ao meu lado, com apoio incondicional e carinho imensurável diante das mais difíceis situações e decisões.

Ao Tadeu Mendes, meu amor, a quem agradeço pela compreensão e substancial ajuda, fundamentais para que esse trabalho pudesse existir. Fonte de amor e companheirismo, que me deu o privilégio de conhecer a verdadeira e genuína felicidade.

Aos pequenos pacientes, cujos olhares esperançosos foram a mola propulsora para a escolha do tema desta tese e renovação de meu juramento na profissão.

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3ª ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentações; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas e siglas	
Lista de figuras	
Lista de quadros	
Lista de gráficos	
Resumo	
Abstract	
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivos primários	11
2.2 Objetivo secundário	11
3 REVISÃO DA LITERATURA	12
3.1 História da simulação cirúrgica	13
3.2 Métodos de treinamento	16
3.3 Estado da arte em simulação cirúrgica	21
4 MÉTODOS	24
4.1 Tipo de estudo	25
4.2 Local da pesquisa	25
4.3 Material	25
4.3.1 Desenvolvimento dos Simuladores Pediátricos Realísticos ...	28
4.3.2 Desenvolvimento do modelo (quebra-cabeça)	30
4.3.3 Desenvolvimento dos Simuladores Virtuais	32
4.4 Validação Científica	33
4.5 Avaliação dos resultados e análise estatística	34
4.6 Financiamento	37
5 RESULTADOS	38
5.1 Desenvolvimento do Simulador de Neuroendoscopia	39
5.1.1 Desenvolvimento do simulador de cranioestenose	44
5.1.2 Simuladores virtuais: neuroendoscopia e cranioestenose.....	48
5.1.3 Quebra-cabeça	51
5.2 Validação científica	53
5.2.1 Neuroendoscopia: Simuladores Virtual e Realístico	53

5.2.2 Cranioestenose: Simuladores Virtual e Realístico	62
5.2.3 Modelo Quebra - Cabeça	68
Avaliação dos especialistas	68
Avaliação dos residentes em Neurocirurgia	70
6 DISCUSSÃO	71
7 CONCLUSÕES	80
8 ANEXOS	83
9 REFERÊNCIAS	87
APÊNDICES	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPC:	Coagulação do Plexo Coróide
DICOM:	Digital Imaging and Communications in Medicine
EDUCSIM:	Instituto Educar Simulando
FMUSP:	Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
LCR:	Líquido Cefalorraquidiano
RNM:	Ressonância Nuclear Magnética
SIEDI:	Scientific Innovation Education Development Institute
TC:	Tomografia Computadorizada
TVE:	Terceiroventriculostomia Endoscópica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Cópia de bronze “Lo Scorticato” exibida no Museu Nacional de Bargello em Florença/Itália.....	14
Figuras 2 e 3 -	Fotografias do ambiente de trabalho onde se realizam a atividade prática. Observa a reprodução do ambiente da “sala cirúrgica”, a paramentação e a organização do ambiente de trabalho	27
Figura 4 -	Reconstrução tridimensional do crânio e dos osteotomias de acordo com a técnica "H" de Renier baseadas no planejamento digital nas imagens da tomografia computadorizada	31
Figura 5 -	Impressão tridimensional do modelo quebra-cabeça em formato de crânio escafocefálico, evidenciando os locais das possibilidades de osteotomias. Molde para criação do simulador quebra-cabeça.....	31
Figura 6 -	A. Unidade cirúrgica com conector acrílico. B. Dois cateteres para preencher os ventrículos com solução salina. C. Simulador pronto para uso	40
Figura 7 -	A: Volumetria ventricular de um paciente real para simular com acurácia as dimensões no simulador. B: Medidas reais	41
Figura 8 -	A: Endoscópio rígido e o seu posicionamento no simulador. B-E: ilustra as imagens intraventriculares endoscópicas	42
Figura 9 -	Imagens de Tomografia Computadorizada mostrando ventriculomegalia com LCR hiperdenso, simulando o diagnóstico de hemorragia intraventricular	42
Figura 10 -	A. Terceiroventriculostomia. B. Artéria basilar e seus ramos (visão endoscópica através do assoalho do terceiro ventrículo). C. Coagulação do plexo coroide. D. Lesão intraventricular simulando glioma, sua ressecção endoscópica e efeito de sangramento	43
Figura 11 -	Simulador realístico para crânioestenose. A e B: Unidade Cirúrgica. C: Ponto de conexão entre a unidade cirúrgica (cabeça) e a base do simulador. D Simulador pronto para o uso	44

Figura 12 -	Tomografia Computadorizada do simulador realístico com reconstrução tridimensional (A-C). Imagens de TC com hiperdensidade do seio sagital superior.....	45
Figura 13 -	Simulador realístico de Cranioestenose de acordo com os planos da técnica “H” de Renier. A . Posicionamento do Doente; B . Incisão da pele; C-F : Dissecção por planos. G-H ; Osteotomias. I-J . Fratura Biparietal em “galho verde”. K-L . Reconstrução craniana com placas absorvíveis M-N . Sutura da pele.....	47
Figura 14 -	Simulador Virtual de Cranioestenose. A-C . Posicionamento do doente. Incisão da pele. Dissecção por planos; D-I . Definição dos locais de osteotomia; H . Técnica H de Renier; J .Fratura em galho verde; K. L . Remoção da barra sagital; M-N . uso de placas absorvíveis ...	49
Figura 15 -	Simulador Virtual de Neuroendoscopia. A.B . Demonstração da hidrocefalia; C.D . Acesso cirúrgico, ponto de entrada endoscópio; E . Forame de Monro; F . Assoalho do terceiro ventrículo; G-H . Terceiroventriculostomia Endoscópica. I . Coagulação de Plexo Coróide	50
Figura 16 -	Plataforma para utilização de óculos de realidade virtual (potencializa a noção de profundidade). A . Simulador Virtual de Cranioestenose. B . Simulador Virtual de Neuroendoscopia.....	51
Figura 17 -	Simulação de crânio escafocefálico, com várias osteotomias. A interface magnética das peças ósseas permite realizar as “osteotomias” e posterior remodelamento craniano ulterior, tanto da forma correta como da incorreta	52
Figura 18 -	Residentes em Neurocirurgia foram avaliados durante o treinamento com quebra-cabeça simulando a cirurgia para cranioestenose.....	69
Figura 19 -	Visualização tridimensional do passo a passo permitiu melhor compreensão da técnica cirúrgica H de Renier, pelos residentes.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise pelos experts das estruturas anatômicas do simulador de neuroendoscopia quanto à localização e ao tamanho	55
Tabela 2 -	Escala para análise da consistência do material do simulador realístico	56
Tabela 3 -	Escala para análise da resistência do material do simulador realístico	56
Tabela 4 -	Análise sobre os procedimentos realizados no simulador realístico de neuroendoscopia	57
Tabela 5 -	Análise após visualização dos procedimentos realizados no simulador virtual de neuroendoscopia.....	58
Tabela 6 -	Avaliação dos aspectos gerais do simulador realístico de cranioestenose.....	64
Tabelas 7, 8 e 9 -	Avaliação de todas as etapas do procedimento cirúrgico no simulador realístico de cranioestenose (uso da técnica H de Renier)	65
Tabela 10 -	Avaliação do aspecto observação multiangular no simulador virtual de cranioestenose.....	68
Tabela 1S	Simulador Realístico - Índice Geral de Simulação Realística	86
Tabela 2S.	Análise Simulador Virtual	86

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** - Questionário apresentado aos neurocirurgiões experientes depois de terem trabalhado com o simulador quebra-cabeça para correção cirúrgica de cranioestenose 35
- Quadro 2** - Questionário respondido pelos residentes em Neurocirurgia em treinamento com o simulador para correção da cranioestenose avaliados em seu aprendizado por cirurgiões experientes 36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Análise das características gerais do simulador realístico de neuroendoscopia.....	60
Gráfico 2 -	Análise dos aspectos gerais do simulador virtual de neuroendoscopia	61

RESUMO

Coelho GCR. *Uso de simuladores realísticos em neurocirurgia pediátrica* [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2019.

INTRODUÇÃO: A educação neurocirúrgica requer muitos anos de treinamento prático e supervisionado. O desenvolvimento de plataformas de simulação cirúrgica é, portanto, essencial para reduzir o risco de erros intraoperatórios potencialmente graves decorrentes da inexperiência. Este estudo considera o treinamento cirúrgico para tratamento de hidrocefalia e cranioestenose. **OBJETIVOS:** Propor uma nova ferramenta para a educação neurocirúrgica, associando à simulação virtual e realística (realidade mista), para a correção da cranioestenose (tipo escafocefalia) e treinamento neuroendoscópico. **MÉTODOS:** Os simuladores físicos foram confeccionados com um silicone emborrachado termorretrátil e termossensível. Para validar os modelos de neuroendoscopia e cranioestenose, cirurgiões experientes participaram deste estudo usando vídeos de reconstrução tridimensional desenvolvidos pelo programa 3DS Max. Questionários sobre o papel dos simuladores virtuais e realísticos foram aplicados aos neurocirurgiões em relação à aplicabilidade da simulação de realidade mista para ambos os treinamentos cirúrgicos. O modelo virtual craniano foi criado com a obtenção de imagens no formato DICOM. Esta informação foi então processada usando um algoritmo de computação para gerar um biomodelo tridimensional em resina. O modelo e suas possibilidades de treinamento também foram avaliados qualitativamente por uma equipe de neurocirurgiões. Posteriormente, os especialistas avaliaram a aplicação da ferramenta para residentes em neurocirurgia. **RESULTADOS:** Os cirurgiões experientes consideraram a simulação mista como uma ferramenta potencial para o treinamento de novos residentes em neurocirurgia. Mais de 94% deles julgaram os simuladores adequados considerando aspectos como peso, posicionamento cirúrgico, dissecação por planos e reconstrução craniana. Em relação à experiência do modelo, cinco neurocirurgiões especialistas e 12 residentes de neurocirurgia participaram da avaliação. Todos consideraram a ferramenta positiva para o treinamento proposto. Os especialistas comentaram sobre quão interessante o modelo pode ser, instigando a compreensão das razões de cada etapa cirúrgica e de como atuar nelas. Os residentes apresentaram melhor clareza na visualização tridimensional, auxiliando indiretamente na compreensão da técnica cirúrgica. Além disso, eles notaram uma notável redução de erros em cada tentativa de montar o modelo. Os residentes consideraram ser um método de ensino cuja avaliação é objetiva e clara. **CONCLUSÃO:** Uma mistura de simulação física e virtual fornece previamente as habilidades psicomotoras e cognitivas necessárias, que são adquiridas apenas durante a aprendizagem prática cirúrgica. Finalmente, o quebra-cabeça pode ser uma importante ferramenta complementar, permitindo graus variados de imersão e realismo. Forneceu uma noção de realidade física, oferecendo informações dinâmicas

simbólicas e geométricas, com rica visualização tridimensional. O uso de simuladores pode potencialmente melhorar e abreviar a curva de aprendizado dos cirurgiões.

Descritores: Neurocirurgia; neuroendoscopia; treinamento; simulação de alta fidelidade; cranioestenose; impressão tridimensional; cirurgiões.

ABSTRACT

Coelho GCR. *The use of realistic simulators in pediatric neurosurgery* [thesis]. São Paulo: "Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2019.

INTRODUCTION: The neurosurgical education is a long, laborious process, that requires many years of supervised hands-on training. The development of surgical simulation platforms is therefore essential to reducing the risk of potentially serious intraoperative errors arising from inexperience. This study considers the surgical training for hydrocephalus and craniosynostosis treatment. **OBJECTIVES:** To propose a new tool for neurosurgical education, associating virtual and realistic simulation (mixed reality), for craniosynostosis correction (scaphocephaly type) and neuroendoscopic training. In addition, we sought to develop a "puzzle" to simulate the scaphocephaly surgical correction using Renier's "H" technique and to evaluate the learning impact for neurosurgery residents. **METHODS:** Physical simulators were made with a synthetic thermo-retractile and thermo-sensible silicone rubber. In order to validate the neuroendoscopy and craniosynostosis models, experienced surgeons participated in this study using tridimensional reconstruction videos developed by 3DS Max program. Questionnaires regarding the role of virtual and realistic simulators were applied to experienced neurosurgeons regarding the applicability of the mixed reality simulation for both surgery training. The puzzle cranial model was created by obtaining images through a multi slice CT scan DICOM format. This information was then processed using a computing algorithm to generate a three-dimensional biomodel in resine. The puzzle and its training possibilities were also evaluated qualitatively by a team of expert neurosurgeons. Subsequently the experts evaluated the application of the tool for residents in neurosurgery and the residents also evaluated the experience. **RESULTS:** The experienced surgeons considered the mixed reality simulation as a potential tool for training new residents in neurosurgery. More than 94% found the simulators appropriate considering aspects such as weight, surgical positioning, dissection by planes, and cranial reconstruction. Regarding the puzzle experience, five experts neurosurgeons and 12 neurosurgery residents participated in the evaluation. All considered the tool positive for the proposed training. The experts have commented on how interesting the model may be by instigating the understanding of the reasons for each surgical step and how to act in them. Residents presented better clarity in the three-dimensional visualization of the step by step, indirectly aiding in the understanding of the surgical technique. In addition, they noted a notable reduction of errors with each attempt to assemble the puzzle. Residents considered it to be a teaching method that makes assessment objective and clear. **CONCLUSION:** A mixture of physical and virtual simulation provide the required psychomotor and cognitive skills previously acquired only during practical surgical

apprenticeship. Finally, puzzle in cranial shape may be an important complementary tool, allowing varying degrees of immersion and realism. It provided a notion of physical reality, offering symbolic, geometric and dynamic information, with rich tridimensional visualization. The simulators use may safely improve and abbreviate the surgeons learning curve.

Descriptors: Neurosurgery; neuroendoscopy; training; high fidelity simulation; craniosynostosis; 3D printing; surgeons.

1 INTRODUÇÃO

Recentemente paradigmas de treinamento alteraram dramaticamente o modelo de aprendizado tradicional de educação médica. A fim de aumentar a segurança do doente e melhorar os resultados do tratamento, várias estratégias como aprendizado baseado em problemas e exames clínicos estruturados promoveram o desenvolvimento de novos modelos de currículos na educação cirúrgica ¹⁻⁵.

A sociedade exige ambientes mais seguros para cuidar dos doentes, redução do número de erros evitáveis e decréscimo da ocorrência de complicações perioperatórias, preocupações que induziram dramáticas mudanças, e tornaram a tarefa dos educadores mais exigente. O número de procedimentos neurocirúrgicos que o residente em Neurocirurgia deve aprender aumentou marcadamente na última década, pois novas tecnologias foram desenvolvidas, tais como: neurointervencionismo, cirurgias endoscópicas, cirurgias da coluna vertebral minimamente invasivas, técnicas minimamente invasivas de instrumentação e de correção de deformidades espinhais, neuronavegação, etc.

A formação de um cirurgião, além do tempo, demanda significativa dedicação. Em um mundo crescentemente competitivo e dinâmico, o método atual de treinamento cirúrgico, apesar de bem estabelecido e aceito, vem sendo questionado ⁶⁻¹⁰. A prática neurocirúrgica requer alto nível de competência técnica e resulta em notáveis consequências quando há erro.

Entretanto, há poucas oportunidades para que jovens cirurgiões pratiquem operações em condições mais complexas ⁸.

Vários fatores favoreceram o uso crescente da simulação cirúrgica no treinamento durante a residência médica, a saber: as restrições das horas de trabalho; o aumento da supervisão; metas educacionais mais formalizadas e demanda crescente para aumentar a eficiência no hospital (com ênfase no doente e seus resultados) ¹¹. A demanda por novos paradigmas de treinamento e obtenção de habilidades cirúrgicas conduziu ao desenvolvimento de uma variedade de métodos de simulação que refinam a técnica enquanto avaliam objetivamente o desempenho do residente ¹²⁻¹⁴.

Neurocirurgiões enfrentam o desafio de aprender, planejar e executar procedimentos cirúrgicos altamente complexos nos quais há pequeno espaço para erro. A cirurgia requer uma elevada coordenação de movimentos dos olhos e das mãos e interações com o espaço tridimensional. Demonstrou-se que a simulação cirúrgica influencia resultados translacionais. Neurocirurgia é uma atividade complexa que requer julgamento, competência técnica e atenção meticulosa. Considerando que mais de 75% dos erros neurocirúrgicos são julgados como evitáveis e naturalmente técnicos, a simulação pode constituir elemento importantíssimo nesse contexto ¹⁵.

A simulação pode ser definida como um contexto de técnicas usadas em conjunto visando a recriar aspectos específicos do mundo real para que a experiência proporcionada apresente soluções com menos risco. Este

conceito foi muito difundido durante os últimos 20 anos e sua ampla aplicabilidade foi bastante exemplificada no treinamento neurocirúrgico ¹⁵.

Embora não haja substituição para experiências reais na sala de cirurgia, a simulação possibilita a orientação interpessoal, o treinamento durante a formação do residente e complementação do processo educacional. Para aperfeiçoar o exercício de aprendizagem é essencial apresentar novos modelos de treinamento, tanto com estímulos visuais como táteis, para simular a verdadeira experiência do mundo real. Visando a aumentar a segurança do doente e melhorar o resultado do tratamento, várias estratégias, como a aprendizagem baseada em problemas e os exames clínicos bem indicados e estruturados, promoveram o desenvolvimento de novos currículos em educação cirúrgica ^{3, 16, 17}.

Esta base reforça a necessidade do desenvolvimento do currículo, enquanto cria um ambiente de aprendizagem apropriado e objetivo, com avaliações das habilidades do cirurgião em treinamento. Todo este processo deve ser supervisionado por instrutores treinados ¹⁸.

O treinamento cirúrgico adjuvante pode ser agrupado em quatro grandes categorias:

1. treinamento com espécimes cadavéricos
2. treinamento com modelos animais
3. treinamento com modelos físicos sintéticos
4. treinamento com simuladores virtuais

A prática com cada um destes modelos de treinamento apresenta vantagens e desvantagens particulares que ainda estão sendo avaliados em

vários processos de validação. A escolha do modelo mais apropriado deve considerar, entre outras coisas, a eficácia, a validade custo-eficiência e a versatilidade ¹⁷. Como resultado deste interesse em melhorar a habilidade cirúrgica, o treinamento em laboratórios aumentou nos últimos anos; vários pesquisadores trabalham no desenvolvimento do modelo de simulação cirúrgica e métodos para avaliar a objetividade da habilidade técnica em cirurgia ^{12; 13; 19-22}.

Entretanto, esses simuladores cirúrgicos são escassos em Neurocirurgia Pediátrica. Habitualmente, os conhecimentos aplicados aos doentes neuropediátricos é translacionado do adquirido em modelos dos adultos. Há doenças muito frequentes e mais específicas da população pediátrica como, por exemplo, a hidrocefalia e a cranioestenose cujas modalidades de treinamento, até o momento, são limitadas, especialmente quando se refere às técnicas minimamente invasivas ¹⁵.

Como exemplo da aplicabilidade deste conceito, destaca-se a neuroendoscopia que ressurgiu como opção interessante no manejo de lesões intraventriculares em crianças e em adultos. Não há métodos padronizados para o ensino neuroendoscópico ou da avaliação de sua competência. Convencionalmente, o estudante adquire experiência em neuroendoscopia lendo textos sobre a técnica e participando como observador ou assistente na sala operatória. As limitações dessa metodologia de ensino são evidentes devido à imprevisível disponibilidade de material clínico e potencial risco de danos ao doente quando o aluno

aloca-se nas fases iniciais da curva de aprendizado para execução desta técnica.

A dissecação cadavérica ainda é considerada o padrão-ouro do treinamento cirúrgico. Entretanto, não proporciona replicação acurada da manipulação cirúrgica fina (presente em estruturas vasculares ou parenquimatosas *in vivo*) e não consegue simular situações específicas. Ademais, com a dificuldade crescente de se utilizar cadáveres para realizar a técnica endoscópica, o desenvolvimento de métodos alternativos torna-se cada vez mais necessária ¹⁸.

Desse modo, a prática pedagógica em neuroendoscopia não consiste apenas do uso de modelos anatômicos que podem simular doenças, mas também do uso de padrões educacionais unificados que permitem aumentar gradualmente as dificuldades com práticas específicas após o ensino teórico ²³.

Os treinamentos em neuroendoscopia devem seguir os princípios de práticas padronizadas. São eles: proporcionalidade, profundidade, angularidade, imobilidade da visão panorâmica da câmera, perspectiva em espelho e visão estereoscópica. Considerando-se esta alta complexidade e o fato de que os médicos residentes necessitam treinamento específico para adquirir habilidades manuais e refinamento de técnica operatória foram criados muitos simuladores de neuroendoscopia diferentes para o exercício mais rápido e mais eficiente do treinamento cirúrgico. Estes modelos também podem prover informações necessárias para a aquisição de

habilidades cirúrgicas básicas, ou seja, para tomada de decisões rápidas e apropriadas, especialmente em momentos críticos e delicados ²⁴⁻²⁶.

Há grande dificuldade para se ensinar o conhecimento técnico no tratamento cirúrgico para correção da cranioestenose, pois não há modo de se simular esta doença de modo satisfatório ¹⁴.

A cranioestenose, descrita inicialmente por Sommerring em 1791, refere-se ao fechamento prematuro das suturas cranianas e à instalação de deformidades da calvária ²⁷. Como consequência, há restrição do crescimento craniano e no sentido perpendicular à sutura acometida. O aumento do volume encefálico que promove o crescimento compensatório do crânio nas demais suturas patentes, causa deformidade progressiva paralela à sutura acometida (“lei de Virchow”) ²⁸.

Dentre as diversas técnicas para correção das escafocefalias, destaca-se a técnica “H” de Renier desenvolvida nos anos 1980 utilizada nos principais centros de referência mundiais. Consiste em craniotomias retrocoronal e pré-lambdóidea ²¹, fratura biparietal em “galho verde”, retirada de uma faixa óssea na linha média e remodelação fina com placas absorvíveis. A principal vantagem da técnica “H” de Renier é a grande amplitude da visão intraoperatória craniana, que permite a remoção segura da barra óssea sagital com a sutura acometida e controle preciso do seio sagital superior.

Entretanto, é importante ressaltar que as possibilidades de treinamento *In Loco* das técnicas em cranioestenoses são muito restritas,

sendo preferencialmente realizadas com muitas limitações em cabeças de ovelha.

Hicdonmez *et al.* desenvolveram um modelo de treinamento de residentes em Neurocirurgia e Cirurgia Plástica utilizando o crânio de ovelhas para a correção do processo de remodelação fronto-orbitária usado na correção cirúrgica de cranioestenose simples, como a plagiocefalia, trigonocefalia e braquicefalia. O modelo consistiu de três fases: disseções subperiosteal e subperiosteal; elevação do retalho ósseo bifrontal e barra supraorbital e a remodelação fronto-orbital.

Entretanto, por não representar a cranioestenose fidedignamente, bem como não representar as características anatômicas similares ao crânio humano, os autores concluíram que o treinamento em cadáveres de ovelhas não deve ser substituído por outros meios de formação, especialmente os baseados em treinamento com modelos animais vivos; devendo servir apenas como modelo de formação complementar à cirurgia de cranioestenose para os cirurgiões em treinamento ²⁹.

Não há, até o momento descrição de simuladores realísticos na literatura, para tratamento de cranioestenose. No processo de ensino cirúrgico, os vídeos e as ilustrações não veiculam suficiente e progressivo conhecimento sobre as relações tridimensionais complexas enquanto que os programas laboratoriais curriculares baseados na disseção anatômica reduzem a curva de aprendizado dos residentes em treinamento ³⁰.

Os simuladores podem aumentar a segurança do procedimento cirúrgico ao desenvolverem o senso de realidade física, pois proporcionam

informações dinâmicas, simbólicas, geométricas e sensoriais. Os médicos em fase de treinamento devem compreender as relações estruturais e desenvolver destreza manual e familiaridade com instrumentos cirúrgicos ¹⁸. O grande desafio neste processo é simular, de maneira acurada, as forças e sensações táteis experimentadas em Neurocirurgia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Primários

1. Desenvolver Simuladores Físicos e Virtuais pediátricos e descrever o passo a passo do acesso neuroendoscópico para tratar a hidrocefalia e da técnica “H” de Renier para cirurgia corretiva da escafocefalia.
2. Desenvolver uma plataforma de realidade virtual com possibilidade adicional de visualização com óculos.

2.2 Objetivo Secundário

1. Avaliar a utilidade dos simuladores para treinamento neuroendoscópico e para cirurgia visando à correção da escafocefalia, respectivamente, com o intuito de aplicá-los nos programas de treinamento complementar ao currículo de residência médica em Neurocirurgia.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 História da Simulação Cirúrgica

O conceito de simulação envolve o uso de recursos virtuais ou realísticos para reproduzir a experiência da vida real. Simuladores cirúrgicos foram descritos há mais de 2500 anos, quando foram utilizados para planejar procedimentos inovadores e proporcionar segurança dos doentes. Um dos primeiros exemplos registrados de simulação cirúrgica ocorreu por volta de 600 aC na Índia, quando se utilizaram modelos constituídos de folhas e barro para reproduzir a reconstrução nasal. Outros exemplos de simuladores para treinamento cirúrgico envolveram o uso de modelos de madeira, animais vivos e cadáveres humanos ³¹⁻³⁴.

Os trabalhos de Galeno (129-216), Leonardo da Vinci (1452-1519), Andreas Vesalius (1514-1564) – este último considerado o pai da anatomia moderna – dentre outros, forneceram importantes informações sobre o corpo humano ^{35,36}. Ludovico Cardi (1559-1613), pintor italiano conhecido como Cigoli, desenvolveu em 1598 o primeiro modelo anatômico em cera, o “Lo Scorticato”, exibido em uma cópia de bronze no Museu Nacional de Bargello, em Florença (Figura 1) ³⁷. Ambroise Paré (1510-1590), considerado um dos pais da cirurgia, transportava para sua casa cadáveres embalsamados para desenvolver novas técnicas operatórias ³⁸.

Figura 1 - Cópia de bronze “Lo Scorticato” exibida no Museu Nacional de Bargello em Florença/Itália ³⁷

Houve grande influência das especialidades de Ginecologia e Obstetrícia no desenvolvimento de modelos anatômicos na história da simulação. Em meados do século XVIII, modelos obstétricos foram criados para treinar cirurgiões e parteiras e reduzir as complicações que ocorriam nos partos. Em Bolonha, Itália, Giovanni Galli projetou um parto simulado a partir de um útero de vidro com uma pelve e um feto flexível ³⁷. Na Grã-Bretanha, um modelo ginecológico foi desenvolvido por Richard Manningham em 1739. Na França, a repercussão dos simuladores obstétricos foi bastante significativa; diversos cursos sobre o procedimento do parto foram desenvolvidos com base nos modelos ³⁷.

Entre 1770 e 1771, Marie Catherine Bihéron, anatomista francesa conhecida por fazer modelos de cera dissecáveis, desenvolveu um simulador que reproduzia exatamente todas as etapas e os mecanismos do parto, inclusive disponibilizando um cóccix móvel, um colo de útero que se movimentava sob demanda e fetos removíveis. Angelique Marguerite Le Boursier du Coudray (1712-1790), uma parteira, modernizou a pedagogia obstétrica com o uso de um manequim que incluía esponjas para liberar líquidos claros e vermelhos, simulando o líquido amniótico e o sangue nos vários momentos de parto. Entre os modelos históricos de maior repercussão incluem-se, os fetos construídos por William Smellie (1697-1763) que tinham grande semelhança com a realidade. Considerando-se esses marcos da história da simulação na educação médica, conclui-se que os modelos obstétricos foram a base para a simulação cirúrgica ³⁷.

Ocorreu, a seguir, grande avanço na simulação dos procedimentos cirúrgicos em meados do século XIX. Foram criados modelos para hemorragia por Howard em 1868, para cirurgias no globo ocular em modelos animais (porcos e ovelhas) e modelos sintéticos para o ensino da técnica de intubação orotraqueal por Sholossarek em 1894 ³⁷.

No século XX (principalmente a partir de 1920) os simuladores tornaram-se cada vez mais completos devido ao progresso tecnológico. Foi desenvolvido o primeiro manequim que permitiu a simulação de um ato médico completo, o “Manequim Ressusci Anne”, desenvolvido por

Peter Safar que possibilitava ensinar os princípios da ressuscitação cardiopulmonar³⁸. A inovação com maior potencial para ampliar o campo de simulação cirúrgica deveu-se à introdução da realidade virtual e dos modelos sintéticos nos anos 1990. De acordo com as novas tecnologias, foram criados simuladores virtuais e modelos anatômicos sintéticos que puderam reproduzir cenários mais próximos da realidade³⁹⁻⁴¹. A colecistectomia laparoscópica tornou-se o primeiro procedimento construído como simulador virtual³⁸.

3.2 Métodos de Treinamento

Durante os últimos 20 anos, a simulação foi difundida como importante ferramenta para a educação cirúrgica. O número de publicações relativas ao tema cresceu exponencialmente. O desenvolvimento de simuladores de voo e dos métodos de treinamento de pilotos na indústria aeroespacial estimularam a inovação em educação médica. A utilidade dos simuladores foi muito além dos limites da medicina cirúrgica. Diversos programas de reabilitação são baseados nessa tecnologia para incrementar e acelerar o processo de recuperação de enfermos com neuropatias crônicas progressivas ou não, como as sequelas neurológicas decorrentes do traumatismo crânio-encefálico, doenças desmielinizantes, acidentes vasculares encefálicos ou doenças não neurológicas⁵³⁻⁵⁵. Muitos educadores acreditam que tais métodos são a chave para apressar a aquisição de habilidades fundamentais e melhorar

o desempenho dos residentes atuando em Medicina Clínica e Cirúrgica. De acordo com um estudo da Universidade de Yale, o treinamento com simulador reduziu em 30% a duração do ato operatório e, em 85%, os erros ^{42, 43}.

Desde as primeiras escolas médicas, estudantes e residentes praticaram a dissecação em cadáveres, não apenas para aprender anatomia, mas também para familiarizar-se com os instrumentos básicos e suas aplicações apropriadas ^{39,43, 44}. Ulteriormente, o treinamento com animais anestesiados possibilitou o desenvolvimento de outros procedimentos, tais como intervenções cirúrgicas maiores (esplenectomia, nefrectomia e ressecções do intestino) e o treinamento de situações de emergência como, as hemorragias ^{39,45}. O uso de simuladores no treinamento médico intensificou-se na última década.

Os métodos de treinamento em cirurgia podem ser agrupados em quatro amplas categorias: treinamento com espécimes cadavéricos, treinamento com modelos animais, simuladores de realidade virtual e treinamento com modelos físicos (sintéticos).

Os simuladores podem também ser classificados como de baixa ou alta fidelidade. São considerados de baixa fidelidade os modelos que permitem apenas a prática das habilidades individuais ou algumas técnicas. São mais utilizados por cirurgiões em treinamento durante a prática das habilidades cirúrgicas básicas, como as que requerem apenas a coordenação dos olhos e das mãos. Os simuladores de alta fidelidade podem reproduzir uma cirurgia completa com alto grau de

realismo e possibilitar o treinamento de grande variedade de habilidades. A prática com cada um destes métodos apresenta vantagens e desvantagens que estão sendo esclarecidas em processos de validação. A escolha do modelo de treinamento mais apropriado deve considerar dentre outros, a eficácia, a validade, custo-efetividade e a versatilidade ⁴⁶⁻⁵⁰.

A dissecação de espécimes cadavéricos proporciona fidelidade anatômica e requer habilidades psicomotoras semelhantes às utilizadas na sala cirúrgica. Geralmente representam os tecidos de modo preciso. Entretanto, apresentam como desvantagens: alto custo, implicações éticas (são proibidos em vários países), necessidade de equipe especializada e de laboratório equipado, frequentemente não apresentam anormalidades para treinamento específico de certas lesões e não são reutilizáveis.

Muitas das pesquisas atuais são devotadas ao desenvolvimento e ao aprimoramento de simuladores de realidade virtual. Foi em 1993, que Richard Satava ⁵¹ estabeleceu as cinco características fundamentais da simulação virtual realística:

- 1) Fidelidade: a imagem gerada deve ter alto grau de resolução, a ponto de ser considerada real;
- 2) Propriedades dos objetos: os órgãos devem deformar-se quando pressionados e devem deslocar-se com a força da gravidade;
- 3) Interatividade: as mãos do cirurgião e os instrumentos cirúrgicos virtuais devem interagir de maneira realística com os órgãos;

- 4) Informações sensitivas: o cirurgião deve perceber informações táteis e proprioceptivas provenientes do simulador;
- 5) Reatividade: os órgãos devem apresentar reações apropriadas à manipulação, tais como sangramento ou vazamento de fluidos e secreções orgânicas.

Programas de computadores altamente sofisticados geram imagens que representam cenários do mundo real. Além disso, dispositivos que simulam instrumentos cirúrgicos permitem a interação do participante com o ambiente criado. Sensações táteis oriundas destes dispositivos tornam o treinamento mais enriquecedor ⁵².

Todavia, a utilidade destes simuladores vai muito além dos limites da medicina cirúrgica. Diversos programas de reabilitação têm usado esta tecnologia para incrementar e acelerar o processo de recuperação de crianças portadoras de encefalopatias crônicas não progressivas assim como de pacientes portadores de seqüelas neurológicas decorrentes de traumatismos crânio-encefálicos graves, doenças desmielinizantes ou acidentes vasculares encefálicos ⁵³⁻⁵⁵.

Neste contexto, a realidade virtual é reutilizável sem custo adicional e a simulação das doenças é possível. As desvantagens principais dos métodos de realidade virtual são: alto custo, manutenção técnica, subscrições dos programas de computação e resposta tátil pouco realística (por não permitir o uso de instrumentos reais) ^{35,37}.

Os modelos anatômicos sintéticos são portáteis e permitem a simulação de doenças. Algumas de suas desvantagens a escassez de representação tecidual (em alguns casos) e sua não reutilização^{39,56}.

Em especialidades altamente complexas, como a Neurocirurgia, é bastante evidente que a sala de cirurgia não é o local ideal para o aprendizado inicial. Portanto, há necessidade da utilização de métodos que possibilitem o aperfeiçoamento das habilidades técnicas para prevenir as mínimas possibilidades de falha. Para contemplar as necessidades, os simuladores em Neurocirurgia sofrem contínuo desenvolvimento para com o treinamento em cuidados neurocirúrgicos intensivos (com Musacchio) e procedimentos cirúrgicos eletivos ou de emergência, representados, por exemplo, pelos modelos de craniotomia e de traumatismo cranioencefálico produzidos pela *Uniformed Services University* (Bethesda, Maryland)⁵⁶.

A neurocirurgia vascular usufruiu grande avanço graças ao advento dos exames de imagem cerebrovasculares que possibilitaram a criação de modelos tridimensionais sintéticos que melhoram a compreensão das características dos vasos encefálicos e de suas anormalidades. No campo da Neurocirurgia Minimamente Invasiva, os simuladores são imprescindíveis, tanto para o aprendizado como para a execução do ato operatório. Diferentes modelos de endoscopia virtual foram desenvolvidos para familiarizar os estudantes e os cirurgiões com os instrumentos e técnicas minimamente invasivas, como o *Neurobot* (*Fokker Control Systems*, Schiphol, Holanda) e o *Vivendi* (Universidade

de Tübingen, Alemanha). Nas cirurgias destinadas à ressecção dos tumores encefálicos, disponibilizam-se o Dextroscópio (*Bracco AMT*, Princeton, Nova Jersey), descrito também para outras intervenções neurocirúrgicas, como descompressões teciduais anormalidades vasculares, tratamento da epilepsia, etc⁵⁶.

3.3 Estado da Arte em Simulação Cirúrgica

Todos os modos de simulação (espécimes cadavéricos, simuladores físicos e virtuais) são importantes nas diferentes fases do aprendizado e devem ser incorporados ao desenvolvimento dos programas educacionais baseados em simulação⁵⁷.

O treinamento em um modelo antes da cirurgia real proporciona mais segurança ao ato operatório e pode resultar em redução de duração dos procedimentos, prever de possíveis complicações e auxiliar na definição da melhor técnica, ou seja, pode melhorar o prognóstico do doente, reduzir a duração da internação, o risco de infecção, outras intercorrências e custos hospitalares (otimização do uso do material cirúrgico e redução do período de tempo de ocupação da sala de operação). Este somatório de vantagens é muito relevante quando se trata da Neurocirurgia e das suas diferentes subáreas. Quatro condições devem ser priorizadas em um currículo com simuladores cirúrgicos para maximizar sua utilidade: a participação obrigatória dos residentes e

aprendizes, o treinamento baseado em proficiência, a agenda para a simulação e o treinamento intensivo ^{31,36,39, 49,50,58,59}.

A comunidade neurocirúrgica reconheceu os benefícios potenciais da simulação e tornou-se líder em pesquisas dessa ferramenta de aprendizado ⁶⁰⁻⁶². Indubitavelmente, no futuro, os simuladores tornar-se-ão parte integrante do currículo da maioria dos programas de cirurgia. As seguintes considerações podem ser inferidas da literatura:

- 1) a simulação integrada na educação neurocirúrgica deve ser utilizada principalmente no ensino dos residentes ⁶³;
- 2) para o treinamento do residente é essencial a integração da simulação nos currículos formais ⁶¹;
- 3) a combinação de diferentes modalidades de simulação parece ser efetiva; residentes em níveis diferentes de treinamento que diversificam os tipos de simulação usufruem evidentes benefícios educacionais;
- 4) a distribuição da duração de prática permite a aquisição mais eficiente das habilidades quando se utiliza a simulação para propósitos educacionais ⁶⁴;
- 5) a realização de avaliações periódicas desempenho dos cirurgiões após a simulação é importante para se obter benefício máximo ⁶⁵.

O currículo com conceito de simulação foi projetado para melhorar a competência de estudantes e residentes, identificando problemas e corrigindo erros conceituais ou técnicos para cada procedimento.

Embora implementar a simulação no processo educacional possa requerer tempo e, inicialmente, possa apresentar alto custo, deve-se enfatizar que há inegável valor, mesmo que apenas um doente beneficie-se com esta modalidade adjuvante de treinamento.

Especialmente, quando se trata de simulação cirúrgica pediátrica, a restrição quanto à obtenção de cadáveres com reprodução dimensional e correlação anatômico-estrutural torna a neuroendoscopia e a correção da cranioestenose possibilidades de difícil treinamento prático.

Treinar e aperfeiçoar habilidades cirúrgicas em simuladores pode tornar a prática médica notavelmente mais segura, sem riscos para o doente. Entretanto, no treinamento neurocirúrgico, a simulação ainda é um campo de estudo relativamente novo e requer investigações adicionais e validações. Ainda são necessárias pesquisas científicas que adicionem mais informações sobre os benefícios dos vários tipos de simuladores, estabeleçam e usem medidas objetivas e reproduzíveis de avaliação e aperfeiçoem as estratégias de implementação da simulação nos currículos médicos.

Esta tese pode contribuir para melhorar a compreensão do relevante papel da simulação e de sua futura implementação no currículo das Escolas de Medicina, considerando-se principalmente especialidades de alta complexidade, como a Neurocirurgia.

4 MÉTODOS

4.1 Tipo de estudo

Tratou-se de um estudo qualitativo descritivo em que foram utilizados métodos quantitativos para a análise dos dados.

4.2 Local da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida na Disciplina de Neurocirurgia do Departamento de Neurologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), Instituto SIEDI, Instituto EDUCSIM e Hospital Santa Marcelina, todos localizados na cidade de São Paulo.

4.3 Material

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Casa de Saúde Santa Marcelina e da FMUSP de acordo com o Pareceres Consubstanciados de número 1.814.334. Os neurocirurgiões envolvidos na pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Além dos simuladores físicos, os equipamentos utilizados para a realização das simulações estão descritos abaixo.

1	Fonte de luz - Cold Light Fountain D-LIGHT C/ AF, modelo 20 1336 20-133	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
2	Unidade de câmera - TRICAM® SLII Câmera Control Unit, modelo 20 22 3020-1	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
3	Câmera de vídeo – TRICAM® PDD Three-chip câmera head, modelo 20 2211 37	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
4	Monitor	Storz Wide View™;
5	O neuroendoscópio propriamente dito. Foram utilizados os seguintes modelos:	
5.1	Neuroendoscópio rígido modelo GAAB com lente de 0°	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
5.2	Neuroendoscópio rígido modelo GAAB com lente angulada de 30°	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
5.3	Neuroendoscópio rígido modelo Decq com lente angulada de 30°	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
5.4	Neuroendoscópio rígido modelo LOTTA™ com lente angulada de 6°	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany);
5.5	Neuroendoscópio rígido modelo modelo OI HandyPro™ com lente de 0°	(Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany).
5.6	Neuroendoscópio do MINOP® com lente de 0° (anel verde) Diâmetro do eixo, 2,7 mm Comprimento do eixo, 180 mm	(Aesculap, Tuttlingen, Germany)
5.7	Neuroendoscópio do MINOP® com lente de 30° (anel vermelho) Diâmetro do eixo, 2,7 mm Comprimento do eixo, 180 mm	(Aesculap, Tuttlingen, Germany)
6	Kit de Placas e parafusos Inion® CPS 1,5	
7	Tela Inion® 14X14 furos 1,5	
8	Parafusos Inion® 1,5 X 4mm	
9	Sistema de Motor Clássico Medtronic Midas Legend® seus dispositivos de fixação e ferramentas de dissecação associados (01 ponteira angulada; 1 ponteira reta curta; 1 ponteira reta longa; 1 ponteira ad3 1000 rpm).	

O ambiente de trabalho foi cuidadosamente planejado (Figuras 2 e 3) de modo a assemelhar-se a uma sala cirúrgica real para tornar mais intensas as experiências vivenciadas no local do treinamento. Durante toda a atividade prática, os neurocirurgiões mantiveram-se adequadamente paramentados, utilizaram aventais cirúrgicos e protetores de sapatos. Deste

modo, o simulador tornou-se a peça fundamental, mas não a única do processo de simulação.

Figuras 2 e 3 - Fotografias do ambiente de trabalho onde se realizam a atividade prática. Observa a reprodução do ambiente da “sala cirúrgica”, a paramentação e a organização do ambiente de trabalho

Inicialmente foram desenvolvidos dois tipos de simuladores para Neurocirurgia Pediátrica: o modelo anatômico para treinamento em Neuroendoscopia e o do procedimento para tratar a Cranioestenose (especificamente a escafocefalia).

Além dos simuladores realísticos (ou físicos) também foram desenvolvidos simuladores virtuais que representaram tridimensionalmente a mesma sequência dos procedimentos realizados com os simuladores físicos recriando detalhadamente o ambiente da “sala cirúrgica”.

4.3.1 Desenvolvimento dos Simuladores Pediátricos Realísticos

Para a criação e desenvolvimento do modelo de simulador foi utilizado silicone emborrachado com propriedades termorretráteis e termossensíveis. O material foi composto por compostos de silicone líquido e platina com alto desempenho para contemplar várias finalidades incluindo-se a criação de efeitos da pele até a confecção de diferentes tecidos. Número infinito de efeitos de cores pode ser elaborado com a adição de pigmentos ou pó de silicone. A borracha curada também pode ser pintada. O material curado é seguro para a pele e certificado por um laboratório independente de acordo com a ISO 10993-10. A associação da borracha a vários polímeros permite a criação de 36 formulações diferentes e resulta em texturas e consistências semelhantes à dos tecidos humanos.

Para a criação do modelo neuroendoscópico adulto, de acordo com artigos já publicados ²⁶, foram utilizados moldes externos de silicone, estruturas em fibra de vidro e moldes internos de alumínio fundido com a forma dos ventrículos encefálicos. Com o uso da técnica especial foi possível a retirada dos moldes internos. Em seguida, um artista plástico adicionou o plexo coróide, vasos sanguíneos e outros elementos anormais como tumores e cistos no interior das cavidades ventriculares. Confeccionado com diferentes composições da borracha.

Na unidade de treinamento havia orifícios conectados a cateteres que possibilitaram a entrada e a saída de água e ar para permitir a irrigação e o enchimento completo do interior dos ventrículos encefálicos, similarmente ao

que ocorre na cavidade ventricular repleta de líquido cefalorraquidiano (LCR). Com o intuito de tornar o treinamento mais semelhante ao que ocorre nas cirurgias reais, foram produzidos dispositivos para causar “sangramentos artificiais”. Corantes não solúveis em borracha, uma vez em contato com o meio líquido, diluem-se e simulam hemorragias intraventriculares com intensidades variáveis. Tais características associadas a técnicas de moldagem de tumores e estruturas encefálicas, mimetizam as dificuldades encontradas durante as cirurgias e permite ao aluno realizar manobras similares àquelas realizadas na prática operatória. Dependendo das moldagens criadas pelos autores, o simulador pode proporcionar variadas opções de treinamento (desde a simples inspeção ventricular, à remoção de tumores mesmo, complexos ^{24,26}. De modo semelhante, com as mesmas técnicas de criação, foram desenvolvidos os simuladores realísticos pediátricos.

Entretanto, algumas considerações devem ser ressaltadas. Primeiramente, o desenvolvimento anatômico do modelo pediátrico neuroendoscópico foi baseado nas imagens de tomografia computadorizada (TC) de crânio de um doente com 6 meses de idade com diagnóstico de hidrocefalia. Ao contrário, do modelo adulto ²⁶, que apresenta a estrutura craniana (unidade cirúrgica) fixa a uma base, o simulador pediátrico apresentou estrutura corporal completa em que foi acoplado o crânio com macrocefalia secundária à hidrocefalia. Foi também desenvolvida a cavidade do quarto ventrículo com suas respectivas estruturas anatômicas (assoalho do IV ventrículo, plexo coróide, recesso lateral e aqueduto de Sylvius), para

tornar possível o acesso por via endoscópica rígida ou flexível desta cavidade. Finalmente, foi desenvolvido e incorporado o plexo coróide com estrutura física que permita a realização de sua coagulação.

O simulador para cranioestenose foi desenvolvido a partir das imagens tomográficas do crânio de um doente com 6 meses de idade com o diagnóstico de escafocefalia. A criação baseou-se no uso da borracha constituída de polímeros porém com enfoque no componente ósseo da caixa craniana e na possibilidade da realização da craniotomia e uso de materiais de síntese.

Ambos os simuladores apresentavam radiopacidade, para possibilitar a correlação radiológica com exames de TC e o uso da neuronavegação. Tal como obtida previamente no modelo adulto ²⁴.

4.3.2 Desenvolvimento do Modelo (Quebra-Cabeça)

O modelo do crânio foi criado com base em imagens da TC *multi slice* (camadas de 1 mm) no formato *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) (Figura 4). Essa informação foi processada com o uso de um algoritmo de computação para gerar um modelo tridimensional (3D) em resina desenvolvido com o processo de impressão em 3D (Figura 5).

Figura 4 - Reconstrução tridimensional do crânio e dos osteotomias de acordo com a técnica "H" de Renier baseadas no planejamento digital nas imagens da tomografia computadorizada

Figura 5 - Impressão tridimensional do modelo quebra-cabeça em formato de crânio escafocefálico, evidenciando os locais das possibilidades de osteotomias. Molde para criação do simulador quebra-cabeça

4.3.3 Desenvolvimento dos Simuladores Virtuais

Os vídeos 3D foram desenvolvidos por um desenhista gráfico atuando em parceria com uma equipe de neurocirurgiões. Os programas informatizados utilizados foram o *3DS Max*®, *ZBrush*®, *Photoshop*®, *After Effects*® e *Video Converter Ultimate* (Aiseesoft)®. Os vídeos foram desenvolvidos para serem assistidos em monitores comuns (2D) com também possibilidade de serem visibilizados em plataforma com óculos de realidade virtual. Entretanto, não apresentam interface de interatividade ou ação direta com os objetos virtuais. Os vídeos foram baseados na reprodução tridimensional da anatomia craniana, apresentaram as lesões selecionadas e os respectivos acessos cirúrgicos.

O objetivo principal da elaboração dos vídeos foi o de se verificar se as simulações virtuais poderiam fornecer o entendimento complementar prévio para o treinamento em plataforma física com simuladores realísticos.

Embora esses modelos virtuais sejam limitados quanto às suas interações em tempo real com o residente, o objetivo foi de estimular a capacidade de manipular mentalmente objetos em três dimensões, recriando o cenário intraoperatório essencial para a prática dessas cirurgias.

O modelo virtual foi desenvolvido e baseado em procedimentos cirúrgicos reais (perícia do cirurgião, imagens e vídeos) e na correspondência com os simuladores físicos e seus achados patológicos relevantes.

4.4 Validação Científica

Os simuladores foram analisados por neurocirurgiões experientes, compondo dois grupos distintos.

O primeiro foi composto por seis neurocirurgiões considerados internacionalmente experientes em neuroendoscopia pediátrica que avaliaram o modelo anatômico neuroendoscópico. Foi considerado experiente, o neurocirurgião que tivesse realizado no mínimo 100 procedimentos neuroendoscópicos em crianças.

O segundo grupo, composto por 18 neurocirurgiões experientes que avaliaram o simulador para o tratamento cirúrgico de cranioestenose. Foi considerado experiente o cirurgião que houvesse realizado no mínimo, 50 procedimentos cirúrgicos para corrigir a escafocefalia.

Os critérios adotados para selecionar os neurocirurgiões aos dois grupos, alicerçaram-se nos seus satisfatórios resultados cirúrgicos reconhecidos pela comunidade neurocirúrgica brasileira e americana e no histórico de ensino da neurocirurgia, na formação de neurocirurgiões e participação ativa e efetiva em programas de residência médica reconhecidas pelas Sociedades Brasileira e Americana de Neurocirurgia.

Após realizarem os procedimentos, os cirurgiões avaliaram os simuladores objetivamente de acordo com um questionário previamente estabelecido, sendo possível extrair dados quantitativos e qualitativos.

Os simuladores realísticos (neuroendoscopia e cranioestenose) foram avaliados considerando alguns aspectos como adequação à consistência e

resistência do material, interface radiológica, tamanho das estruturas e correlação interestrutural. Já os procedimentos foram avaliados considerando as etapas e a realização com feedback tátil de cada uma delas.

Os simuladores virtuais foram avaliados quanto à representação tridimensional das estruturas e dos procedimentos propostos, ressaltando a representação simbólica e geométrica e se poderiam agregar valor ao treinamento com simuladores físicos.

4.5 Avaliação dos resultados e análise estatística

Na segunda fase do projeto (validação com neurocirurgiões experientes), as variáveis contínuas ou quantitativas foram avaliadas de acordo com as médias e desvios padrões. Foi considerado aprovado o simulador que, após a avaliação dos neurocirurgiões experientes, atingiu pontuação superior a 50% de acordo com o índice geral de capacidade de simulação realística, ou seja, estava apto a ser aplicado em treinamento com neurocirurgiões não experientes.

Quando não se atingiu o valor mínimo para ser considerado apto para a aplicação aos médicos inexperientes ou residentes, o simulador sofreu as alterações no processo de desenvolvimento sugeridas pelos observadores e retestado antes de se progredir para a aplicação no treinamento.

O quebra-cabeça e suas possibilidades de treinamento também foram avaliados por uma equipe composta de neurocirurgiões previamente

selecionados. Ulteriormente, aplicado para avaliação pelos residentes e dos residentes pelos especialistas. As avaliações consistiram em um questionário apresentado aos neurocirurgiões experientes depois de terem trabalhado com o modelo (Quadro 1). Ulteriormente responderam outro questionário os residentes de e foram colhidas as impressões dos neurocirurgiões sobre o aprendizado dos residentes (Quadro 2).

Quadro 1 - Questionário apresentado aos neurocirurgiões experientes depois de terem trabalhado com o simulador *quebra –cabeça* para correção cirúrgica de crânioestenose

<p>1. O aluno conseguiu propor o diagnóstico apenas com a visualização do simulador?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>2. Após determinação da idade do paciente conseguiu definir a técnica cirúrgica mais adequada?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>3. Conseguiu definir corretamente a região que iniciaria a técnica?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>4. Quantas tentativas foram necessárias para realização da técnica?</p> <p>1 ☐</p> <p>2 ☐</p> <p>3 ☐</p> <p>Não conseguiu nas três tentativas ☐</p> <p>5. Quantos erros foram cometidos em cada tentativa?</p> <p>Tentativa 1: 1-3 ☐ 4-6 ☐ 7-10 ☐ >10 ☐</p> <p>Tentativa 2: 1-3 ☐ 4-6 ☐ 7-10 ☐ >10 ☐</p> <p>Tentativa 3: 1-3 ☐ 4-6 ☐ 7-10 ☐ >10 ☐</p> <p>6. Foi possível observar uma evolução no aprendizado com aumento no número de tentativas feitas?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>7. Após avaliação final, o tempo para cada tentativa foi adequando para este residente?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>8. Esse instrumento, de baixo custo e individualizado para cada paciente, contribuiu para redução da curva de aprendizado neste caso?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>9. Em sua opinião, este sistema deveria ser implementado na rotina de treinamento dos neurocirurgiões residentes?</p> <p>Sim ☐ Não ☐</p> <p>10. Qual a nota que você daria para o simulador, de zero (0) a dez (10)?</p> <p>Nota: _____</p>
--

Quadro 2 - Questionário respondido pelos residentes em Neurocirurgia em treinamento com o simulador para correção da cranioestenose avaliados em seu aprendizado por cirurgiões experientes

<p><u>DADOS PESSOAIS</u></p> <p>Aluno: _____</p> <p>Avaliador: _____</p> <p>Ano de residência: _____</p> <p>Idade: _____</p> <p>Instituição: _____</p> <p><u>OBSERVAÇÕES IMPORTANTES</u></p> <p>A) Tempo para cada tentativa: 5 minutos.</p> <p>B) Número máximo de tentativas: três.</p> <p>C) Dados complementares fornecidos após erro na primeira tentativa: Idade.</p> <p>D) Dados fornecidos após erro na segunda tentativa: Doença.</p> <p><u>PERGUNTAS</u></p> <p>1. Foi possível estimar o tipo de acometimento e traçar um diagnóstico a partir deste modelo de crânio? Sim ☐ Não ☐</p> <p>2. Quando comparado ao paciente real, este modelo realístico é adequado para treinamento? Sim ☐ Não ☐</p> <p>3. O número de tentativas permitidas foi suficiente para compreensão da doença? Sim ☐ Não ☐</p> <p>4. O tempo para cada tentativa, cinco minutos, foi adequado? Sim ☐ Não ☐</p> <p>5. Esse tipo de aprendizado, em ambiente menos estressante, facilitou o aprendizado? Sim ☐ Não ☐</p> <p>6. A reconstrução tridimensional foi fidedigna ao procedimento realizado no <u>intraoperatório</u>? Sim ☐ Não ☐</p> <p>7. Em sua opinião, este método de ensino na residência de Neurocirurgia pode abreviar a curva de aprendizado? Sim ☐ Não ☐</p> <p>8. Já tinha utilizado algum simulador tridimensional para este tipo de cirurgia? Sim ☐ Não ☐</p> <p>9. Os avaliadores explicaram de forma clara, objetiva e imparcial sobre o modelo e as etapas de avaliação? Sim ☐ Não ☐</p> <p>10. Qual a nota que você daria para o simulador, de zero (0) a dez (10)? Nota: _____</p> <p>_____ Assinatura Aluno</p> <p>_____ Assinatura Avaliador</p>

Foram realizadas análises qualitativas das respostas dadas, apresentadas em média, máximo e mínimo para as pontuações dos questionários propostos.

4.4 Financiamento

O presente estudo recebeu auxílio financeiro do Instituto SIEDI e do Instituto EDUCSIM para desenvolvimento dos simuladores realísticos e virtuais.

5 RESULTADOS

5.1 Desenvolvimento do Simulador de Neuroendoscopia

O simulador realístico foi desenvolvido em parceria com artistas plásticos brasileiros. Foi utilizada uma borracha siliconada sintética que, combinada com diferentes polímeros, produz mais de 30 fórmulas diferentes. Estas fórmulas apresentam texturas, consistências e resistência mecânica semelhantes a muitos tecidos humanos. Eles foram criados com base na prototipagem de imagens de TC de doentes com hidrocefalia, considerando o mesmo tamanho e características estruturais. O simulador apresentou interface radiológica, sendo possível realizar imagens de TC devido à radiopacidade e comparar as imagens pré com as pós-operatórias.

Este modelo foi projetado para permitir ao cirurgião explorar as cavidades ventriculares e realizar a terceiroventriculostomia endoscópica e a coagulação do plexo coróide (TVE / CPC). O módulo contém a cabeça (uma unidade cirúrgica, que apresenta as cavidades ventriculares) conectada ao corpo por uma estrutura com composição acrílica (Figura 6). Existem dois catéteres para preencher as cavidades intraventriculares com solução salina ou água com uma seringa, o que simula a presença do LCR. O simulador também pode apresentar sangramento que foi simulado pela adição de pigmentos solúveis em água. Neste caso, é possível simular a hemorragia intraventricular (Papile grau IV). A cabeça é unida ao corpo por uma conexão acrílica simples (a base do simulador). A partir desse ponto, o treinamento é

realizado como se fosse um procedimento endoscópico em um bebê real de 6 meses com hidrocefalia (Figura 6).

Figura 6 - A. Unidade cirúrgica com conector acrílico. B. Dois cateteres para preencher os ventrículos com solução salina. C. Simulador pronto para uso

A composição por resina especial e silício foi utilizada para adaptar a forma dos ventrículos cerebrais e constituíram a estrutura básica da unidade de treinamento neuroendoscópico. As dimensões das cavidades ventriculares foram estimadas a partir da volumetria das imagens ressonância magnética de uma criança de 6 meses com hidrocefalia (Figura 7). Um artista plástico elaborou manualmente as estruturas

intraventriculares, como a plexo coróide, os vasos sanguíneos e as lesões intraventriculares (o cistos e tumores).

Figura 7 - A: Volumetria ventricular de doente real para simular com acurácia as dimensões no simulador. **B:** Medidas reais

Foi possível observar o aspecto das imagens intraventriculares com o uso do endoscópio rígido (Figura 8). Os aspectos das imagens da TC do simulador foram muito similares às imagens dos doentes reais (Figura 9). A possibilidade aquisição de estudos de imagem pode permitir a integração do modelo com sistemas de neuronavegação que repercute aumentando a complexidade e refinando o treinamento.

Figura 8 - A: Endoscópio rígido e o seu posicionamento no simulador. B-E: Ilustra as imagens intraventriculares endoscópicas

Figura 9 - Imagens de Tomografia Computadorizada mostrando ventriculomegalia com LCR hiperdenso, simulando o diagnóstico de hemorragia intraventricular

Os procedimentos cirúrgicos realizados foram: navegação endoscópica para visualização e identificação das estruturas anatômicas (veias septal e talamostriada, forame de Monro, cornos temporais e IV ventrículo), realização da terceiroventriculostomia (TVE), visibilização da artéria basilar (Figura 10) e coagulação do plexo coróide. As lesões intraventriculares, simulando tumores, puderam ser ressecadas com sangramento.

Figura 10 - **A.** Terceiroventriculostomia. **B.** Artéria basilar e seus ramos (visão endoscópica através do assoalho do terceiro ventrículo). **C.** Coagulação do plexo coróide. **D.** Lesão intraventricular simulando glioma, sua ressecção endoscópica e efeito de sangramento

5.1.1 Desenvolvimento do Simulador de Cranioestenose

O simulador físico foi desenvolvido pelos mesmos artistas plásticos sob supervisão neurocirúrgica e com o mesmo material utilizado na criação do simulador de Neuroendoscopia (Figura 11 A-C).

Figura 11 - Simulador realístico para cranioestenose. **A** e **B**: Unidade Cirúrgica. **C**: Ponto de conexão entre a unidade cirúrgica (cabeça) e a base do simulador. **D** Simulador pronto para o uso

Os simuladores realísticos foram criados com base na prototipagem (proveniente da impressão 3D) após a reconstrução tridimensional das imagens da TC de doentes com escafocefalia, considerando o mesmo tamanho e características estruturais.

Foi possível realizar imagens de TC para todos os simuladores devido à radiopacidade e comparar as imagens pré e pós-operatórias (Figura 12 A-F).

Figura 12 - Tomografia Computadorizada do simulador realístico com reconstrução tridimensional (A-C). Imagens de TC com hiperdensidade do seio sagital superior (D-F)

Uma resina especial com formato do crânio escafocefálico constituiu a estrutura básica do simulador realístico. Nos mesmos moldes do simulador de neuroendoscopia, a unidade cirúrgica foi conectada ao corpo por uma composição acrílica que representou a coluna cervical.

O exame de TC foi realizado e permitiu satisfatória comparação entre imagens pré e pós-operatórias, com imagens muito semelhantes a de doentes reais. O seio sagital foi preenchido com solução com cor vermelha para simular quando lesado sangramento. A imagem tomográfica do sangue no leito “hemorrágico” foi também semelhante.

A técnica H de Renier foi selecionada para testar o simulador com intuito de avaliar sua aplicabilidade. Foi possível simular todos os aspectos da abordagem, desde o posicionamento do doente até a sutura da incisão (Figura 13A-N).

Figura 13 - Simulador realístico de Cranioestenose de acordo com os planos da técnica “H” de Renier. **A.** Posicionamento do Doente; **B.** Incisão da pele; **C-F:** Dissecção por planos. **G-H;** Osteotomias. **I-J.** Fratura Biparietal em “galho verde”. **K-L.** Reconstrução craniana com placas absorvíveis **M-N.** Sutura da pele

5.1.2 Simuladores Virtuais: Neuroendoscopia e Cranioestenose

Os vídeos 3D foram desenvolvidos por um designer gráfico e os programas de computação utilizados foram *3DS Max* ®; *ZBrush* ®; *Photoshop* ®; *After Effects* ® e *Video Converter Ultimate* ® (Aiseesoft).

O primeiro vídeo foi baseado na reprodução da anatomia tridimensional do crânio com formato escafocefálico (Figura 8 A-N) e o segundo vídeo na representação das cavidades ventriculares, com as patologias selecionadas e seus acessos cirúrgicos (Figura 14 A-I). O simulador virtual de neuroendoscopia representou a hidrocefalia seu tratamento e o procedimento passo a passo da terceiroventriculostomia e coagulação do plexo coróide (TVE e CPC) (Figura 15 A- I).

Figura 14 - Simulador Virtual de Cranioestenose. **A-C.** Posicionamento do doente. Incisão da pele. Dissecção por planos; **D-I.** Definição dos locais de osteotomia; **H.** Técnica H de Renier; **J.** Fratura em galho verde; **K. L.** Remoção da barra sagital; **M-N.** uso de placas absorvíveis

Figura 15 - Simulador Virtual de Neuroendoscopia. **A.B.** Demonstração da hidrocefalia; **C.D.** Acesso cirúrgico, ponto de entrada endoscópio; **E.** Forame de Monro; **F.** Assoalho do terceiro ventrículo; **G-H.** Terceiroventriculostomia Endoscópica. **I.** Coagulação de Plexo Coróide

Os vídeos foram desenvolvidos a partir de procedimentos cirúrgicos reais (baseados em imagens e vídeos), sendo realizada a correspondência com os simuladores físicos e os achados relevantes.

Importante ressaltar que esses vídeos foram desenvolvidos para serem assistidos em um monitor comum (2D) porém também apresentam a possibilidade de serem visualizados numa plataforma com óculos de realidade virtual (Figura 16). Entretanto, não possuem interface de interatividade ou ação direta com os objetos virtuais.

Figura 16 - Plataforma para utilização de óculos de realidade virtual (potencializa a noção de profundidade). **A.** Simulador Virtual de Cranioestenose; **B.** Simulador Virtual de Neuroendoscopia

5.1.3 Quebra-Cabeça

Após a criação do modelo do crânio a partir das imagens de TC *multi-slice* (1 mm) no formato *DICOM* e obtido um protótipo pelo processo de impressão 3D, foi realizada a adequação anatômica com reprodução artística manual (Figura 17). Ulteriormente, as craniotomias foram realizadas (com base no planejamento informatizado) e as peças de "osso" receberam ímãs. Os instrumentais foram criados para permitir a simulação cirúrgica pelo mesmo método (descrito anteriormente), incluindo placas e parafusos, com interface magnética. Portanto, foi possível praticar a técnica cirúrgica e simular a reconstrução craniana, passo a passo da técnica "H" de Renier.

Figura 17 - Simulação de crânio escafocefálico, com várias osteotomias. A interface magnética das peças ósseas permite realizar as “osteotomias” e posterior remodelamento craniano ulterior, tanto da forma correta como da incorreta

5.2 Validação Científica

5.2.1 Neuroendoscopia: Simuladores Virtual e Realístico

Cálculo do tamanho da amostra

O cálculo do tamanho da amostra foi realizado baseado no número de cirurgiões do estudo. No Estado de São Paulo há mais de 100 neurocirurgiões especialistas em cirurgia neuroendoscópica. A análise inicial foi realizada por seis profissionais com trabalho de abrangência internacional, considerados como representantes da especialidade de neuroendoscopia em neurocirurgia pediátrica.

Análise estatística

O alfa de Cronbach foi utilizado para verificar a consistência interna do questionário. O teste de igualdade de duas proporções (qui-quadrado) foi utilizado para comparar a proporção de respostas para duas variáveis específicas. Os dados foram apresentados como absolutos e percentuais. As diferenças foram consideradas significativas quando o valor de P foi $<0,05$.

Todos os simuladores físicos e virtuais foram submetidos a um processo de validação científica, que consistiu num questionário apresentado aos cirurgiões experientes após sua interação com os simuladores. As perguntas formuladas abordaram vários aspectos da experiência. Para a avaliação do modelo virtual, consideram-se a

representação geométrica e anatômica, a visão multiangular, e o modo de melhorar a compreensão do residente. Para a avaliação dos modelos realísticos, elaboram-se questões sobre consistência e resistência dos tecidos, tamanho, correspondência anatômica em relação ao doente real e interface radiológica (Material suplementar 1 em anexo). A análise dos dados, atingiu o valor alfa de Cronbach de 0,847.

Os simuladores (virtual e realístico) de Neuroendoscopia foram apresentados a seis renomados neurocirurgiões internacionais. Os simuladores virtual e realístico de neuroendoscopia foram apresentados a estes renomados neurocirurgiões internacionais, com grande experiência em cirurgia neuroendoscópica (cada um havia realizado mais de 100 procedimentos endoscópicos na população pediátrica), numa sala cirúrgica real. Primeiramente, foram convidados a assistir à apresentação virtual e posteriormente operaram o simulador físico usando o endoscópio rígido. Sequencialmente, foram convidados a compartilhar suas opiniões. Todos os neurocirurgiões consideraram os simuladores (virtual e realístico) como ferramentas importantes com grande possibilidade de melhorar a curva de aprendizado para neurocirurgiões jovens.

A análise dos simuladores neuroendoscópicos (realístico e virtual) pelos neurocirurgiões experts está descrita sequencialmente (Tabelas 1 a 5).

Tabela 1 - Análise pelos experts das estruturas anatômicas do simulador de neuroendoscopia quanto à localização e ao tamanho

Análise Experts - Simulador Realístico de Neuroendoscopia		
	Adequado	Inadequado
Forame de Monro (localização)	6/6	—
Forame de Monro (tamanho)	5/6	1/6
Veia Septal Anterior (localização)	6/6	—
Veia Septal Anterior (tamanho)	4/6	2/6
Veia Talamoestriada (localização)	6/6	—
Veia Talamoestriada (tamanho)	6/6	—
Plexo Coróide (localização)	6/6	—
Plexo Coróide (tamanho)	6/6	—
Assoalho Terceiro Ventrículo (localização)	5/6	1/6
Assoalho Terceiro Ventrículo (tamanho)	4/6	2/6
Corpos mamilares (localização)	6/6	—
Corpos mamilares (tamanho)	6/6	—

Foi criada uma escala para que pudesse ser analisada os diferentes graus de semelhança (quanto à consistência e resistência do material) com os procedimentos reais (Tabelas 2 e 3).

Importante ressaltar que os procedimentos (terceiroventriculostomia endoscópica; coagulação do plexo coróide e biópsia/ ressecção tumoral) permitiram analisar a consistência e resistência do material dos simuladores (Tabela 4).

Tabela 2 - Escala para análise da consistência do material do simulador realístico

Número	Consistência do Material
1	Amolecido quando comparado a um tecido normal
2	Endurecido quando comparado a um tecido normal
3	Alterado se comparado ao tecido normal, mas sem danos de simulação
4	Absolutamente semelhante ao tecido normal: sem sofrer modificação estrutural

Tabela 3 - Escala para análise da resistência do material do simulador realístico

Número	Resistência do Material
1	Ausência de resistência quando comparada com o tecido normal
2	Aumento da resistência quando comparado ao tecido normal
3	Redução da resistência quando comparada ao tecido normal
4	Alteração da resistência quando comparado ao tecido normal, mas sem prejuízo da simulação cirúrgica
5	Absolutamente semelhante ao tecido normal: sem sofrer modificações estruturais

Tabela 4 - Análise sobre os procedimentos realizados no simulador realístico de neuroendoscopia

Análise Experts sobre Procedimentos - Simulador Realístico de Neuroendoscopia		
	<i>Consistência Material</i>	<i>Resistência Material</i>
Terceiroventriculostomia (TVE)	Número 2: 5/6 Número 3: 1/6	Número 2: 4/6 Número 4: 1/6 Sem Resposta: 1/6
Coagulação Plexo Coróide	Número 2: 1/6 Número 3: 2/6 Número 4: 1/6 Sem Resposta: 2/6	Número 2: 2/6 Número 3: 1/6 Número 4: 1/6 Sem resposta: 2/6
Biópsia Tumor Cerebral – Ressecção	Número 3: 3/6 Número 4: 2/6 Sem resposta: 1/6	Número 3: 1/6 Número 4: 3/6 Número 5: 1/6 Sem resposta: 1/6

Tabela 5 - Análise após visualização dos procedimentos realizados no simulador virtual de neuroendoscopia

Análise dos Experts - Simulador Virtual		
	Adequado	Inadequado
Detalhe Anatômico – Hidrocefalia	6/6	—
Posicionamento Doente	6/6	—
Pontos Referência – Incisão da Pele	6/6	—
Dissecação por planos	5/6	1/6
Definição do local de craniotomia	5/6	1/6
Representação Procedimentos Endoscópicos	6/6	—
Descrição Terceiroventriculostomia	6/6	—
Representação da Coagulação do Plexo Coriárioideo*	4/6	2/6
Representação Arterial Fossa Interpeduncular	6/6	—
Observação Multiangular e Técnica Cirúrgica:		
1 - Não permitiu a observação multiangular, devendo ser reestruturada para treinamento com cirurgiões inexperientes.	—	—
2 - Permitiu observação multiangular, porém deve sofrer ajustes para treinamento com cirurgiões inexperientes.	4/6	2/6
3- Permitiu observação multiangular sem necessidade de ajustes, permitindo sua utilização para treinamento com cirurgiões inexperientes.	2/6	4/6

De acordo com o escore geral, 83% dos cirurgiões consideraram que o simulador realístico apresentou pequenas distorções quando comparado à estrutura anatômica real, porém está apto para utilização prática com cirurgiões inexperientes, sem prejuízo da análise (Material Suplementar 1). Além disso, 66% dos cirurgiões disseram que já haviam usado outros simuladores mais simples e também já haviam simulado em espécimes cadavéricos. Três neurocirurgiões (50%) disseram que o modelo físico apresentava alguns problemas (como resistência à introdução do endoscópio no cérebro para realização da terceiroventriculostomia) quando comparado à situação real, mas se encaixava na aplicação prática para os cirurgiões inexperientes, sem perda da análise. Todos os cirurgiões consideraram a interface radiológica excelente e enfatizaram as múltiplas aplicações que pareciam possíveis.

Observaram ainda as vantagens de se poder utilizar o módulo de treinamento com um endoscópio rígido ou flexível e poder realizar a aquedutoplastia, obtendo acesso endoscópico ao IV ventrículo. Todos comentaram a similaridade da consistência e textura das lesões intraventriculares quando comparadas à doença real, bem como o efeito da hemorragia durante a ressecção tumoral (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Análise das características gerais do simulador realístico de neuroendoscopia

Em relação ao simulador virtual, a pontuação geral com as respostas mostra que o modelo é adequado na maioria dos critérios abordados, necessitando de pequenos ajustes gráficos no momento da dissecação por planos, na definição do local da craniotomia e na descrição da coagulação do plexo coroide (Material Suplementar 1). Além disso, 66% dos neurocirurgiões afirmou que o simulador virtual permitiu as observações multiangulares, porém deveria sofrer ajustamento para melhorar o treinamento de cirurgiões inexperientes e 33% considerou observações multiangulares eram satisfatórias sem necessidade de ajustes; em ambos os

casos não houve prejuízo da análise quanto à utilização no treinamento dos neurocirurgiões inexperientes.

Finalmente, 66% dos neurocirurgiões consideraram que o simulador virtual apresentou pequenas distorções em relação à estrutura anatômica real e sua reconstrução tridimensional, mas deve ser considerado apto para aplicação no treinamento de neurocirurgiões inexperientes sem prejuízos à análise (Gráfico 2). Portanto, a pontuação geral para ambos os simuladores na fase de validação foi significativa, o que possibilita seu uso no treinamento neurocirúrgico.

Gráfico 2 - Análise dos aspectos gerais do simulador virtual de neuroendoscopia

5.2.2 Cranioestenose: Simuladores Virtual e Realístico

O cálculo do tamanho da amostra foi realizado para suportar o número de neurocirurgiões envolvidos no estudo. Em São Paulo existem cerca de 500 neurocirurgiões pediátricos. Desses, 100 neurocirurgiões são reconhecidos na literatura internacional pelo importante número de publicações com notável impacto na área. Por essa razão, foram convocados cerca de 20% dos neurocirurgiões pediátricos com destaque científico. Considerando-se o nível de confiança de 95% e poder de 80%, foi estabelecido que seriam necessários 18 neurocirurgiões especialistas para haver sensibilidade mensurável, assumindo uma taxa de perda e dispensa de 10%.

O alfa de Cronbach foi utilizado para verificar a consistência interna dos questionários. O teste de igualdade de duas proporções (qui-quadrado) foi utilizado como meio de comparação da proporção de respostas para duas variáveis específicas. Os dados são apresentados como absolutos e percentuais. As diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$.

A pesquisa consistiu de um estudo de apresentação e validação na primeira fase de um novo modelo de realidade mista para treinamento neurocirúrgico.

O alfa de Cronbach mostrou boa consistência interna e confiabilidade dos questionários (valor de 0,844 - Material suplementar 2 em anexo). Simultaneamente à simulação virtual foi apresentado o modelo físico de

treinamento para a prática do remodelamento biparietal utilizado na correção da escafocefalia.

Dezoito neurocirurgiões experientes participaram deste estudo. Os neurocirurgiões foram solicitados a responder um questionário para avaliar sua interação com os simuladores.

O questionário do simulador realístico foi desenhado considerando informações sobre o peso do simulador, posicionamento cirúrgico (decúbito ventral *versus* dorsal), identificação tátil das estruturas ósseas e tecidos moles, dissecação por planos, realização de osteotomias, fratura biparietal em "galho verde", reconstrução craniana (com uso de placas absorvíveis), correlação anatômica (análise visual pela TC do simulador) e escore geral de simulação realística.

As proporções de respostas às perguntas foram estimadas pelos intervalos de confiança. Ao final da avaliação, foi criado um índice para resumir todas as respostas, denominado escore geral de simulação realística.

Os neurocirurgiões experientes observaram que havia várias possibilidades para o treinamento da prática neurocirúrgica como: incisão cutânea, dissecação do tecido celular subcutânea e subperiosteal, osteotomias; remodelamento craniano com microplacas absorvíveis. A presença de seio sagital superior e seios transversais preenchidos com líquido, simularam adequadamente situações de emergência com sangramento (Tabelas 6 a 9).

Tabela 6 - Avaliação dos aspectos gerais do simulador realístico de crânioestenose

Aspectos Avaliados	Apropriado, n (%)	Inapropriado, n (%)
Peso	17 (94%)	1 (6%)
Posicionamento Cirúrgico – Supino	17 (94%)	1 (6%)
Posicionamento Cirúrgico – Decúbito Ventral	14 (78%)	4 (22%)
Identificação Tátil (osso e partes moles – Tamanho)	16 (89%)	2 (11%)
Identificação Tátil – Forma	18 (100%)	0 (0%)
Dissecação por planos – Tamanho das estruturas	17 (94%)	1 (6%)
Dissecação por planos – Forma	18 (100%)	0 (0%)
Reconstrução Craniana – Uso de placas e parafusos	17 (94%)	1 (6%)
Reconstrução Craniana – Manejo de Instrumentais	16 (89%)	2 (11%)
Imagem TC – Posicionamento de estruturas	18 (100%)	0 (0%)
Imagem TC – Escala Anatômica	18 (100%)	0 (0%)
Imagem – Radiopacidade	17 (94%)	1 (6%)
Imagem – Identificação da Doença	18 (100%)	0 (0%)
Imagem – Identificação seios venosos	18 (100%)	0 (0%)
Detalhe Anatômico – Escafocefalia	18 (100%)	0 (0%)
Posicionamento do Doente	14 (78%)	4 (22%)
Pontos de Referência	18 (100%)	0 (0%)
Dissecação por planos	14 (78%)	4 (22%)
Definição dos locais de osteotomies	16 (89%)	2 (11%)

Tabelas 7, 8 e 9 - Avaliação de todas as etapas do procedimento cirúrgico no simulador realístico de cranioestenose (uso da técnica H de Renier)

Identificação Tátil de Estruturas Ósseas e Partes Moles		
Aspectos Avaliados	Consistência nº (%)	Resistência nº (%)
1. Amolecida comparada ao tecido norma	3 (20%)	
2. Endurecido comparada ao tecido normal	0 (0%)	
3. Alterado quando comparad o ao tecido normal mas sem comprometer a simulação	12 (80%)	
4. Absolutamente similar ao tecido normal; sem neces- sidade de modificações adicionais	0 (0%)	
1. Ausência de resistência comparada ao tecido norma		0 (0%)
2. Resistência Aumentada quando comparada ao teci- do normal		3 (19%)
3. Resistência reduzida comparada ao tecido normal		2 (13%)
4. Resistência Alterada comparada ao tecido normal mas sem comprometer a simulação cirúrgica		11 (69%)
5. Absolutamente similar ao tecido normal; não requer alterações		0 (0%)
Dissecação Por Planos		
Aspectos Avaliados	Consistência nº (%)	Resistência nº (%)
1. Amolecida comparada ao tecido normal	5 (28%)	
2. Endurecido comparada ao tecido normal	2 (11%)	
3. Alterado quando comparad o ao tecido normal mas sem comprometer a simulação	1 (61%)	
4. Absolutamente similar ao tecido normal; sem neces- sidade de modificações adicionais	0 (0%)	
1. Ausência de resistência comparada ao tecido normal		0 (0%)
2. Resistência Aumentada comparada ao tecido nor- mal		7 (39%)
3. Resistência reduzida comparada ao tecido normal		0 (0%)
4. Resistência Alterada comparada ao tecido normal mas sem comprometer a simulação cirúrgica		11 (61%)
5. Absolutamente similar ao tecido normal; não requer alterações		0 (0%)

Tabela 8

<i>Realização das Osteotomias</i>		
Aspectos Avaliados	Consistência nº (%)	Resistência nº (%)
1. Amolecida comparada ao tecido normal	0 (0%)	
2. Endurecido comparada ao tecido normal	1 (6%)	
3. Alterado quando comparado ao tecido normal mas sem comprometer a simulação	9 (50%)	
4. Absolutamente similar ao tecido normal; sem necessidade de modificações adicionais	8 (44%)	
1. Ausência de resistência comparada ao tecido normal		0 (0%)
2. Resistência Aumentada quando comparada ao tecido normal		2 (12%)
3. Resistência reduzida comparada ao tecido normal		0 (0%)
4. Resistência Alterada comparada ao tecido normal mas sem comprometer a simulação cirúrgica		9 (53%)
5. Absolutamente similar ao tecido normal; não requer alterações		6 (35%)
<i>Fratura Biparietal em Galho Verde</i>		
Aspectos Avaliados	Consistência nº (%)	Resistência nº (%)
1. Amolecida comparada ao tecido normal	1 (6%)	
2. Endurecido comparada ao tecido normal	5 (29%)	
3. Alterado quando comparado ao tecido normal mas sem comprometer a simulação	7 (41%)	
4. Absolutamente similar ao tecido normal; sem necessidade de modificações adicionais	4 (24%)	
1. Ausência de resistência comparada ao tecido normal		0 (0%)
2. Resistência Aumentada comparada ao tecido normal		4 (22%)
3. Resistência reduzida comparada ao tecido normal		2 (11%)
4. Resistência Alterada comparada ao tecido normal mas sem comprometer a simulação cirúrgica		8 (44%)
5. Absolutamente similar ao tecido normal; não requer alterações		4 (22%)

Tabela 9

Reconstrução Craniana		
Aspectos Avaliados	Consistência nº (%)	Resistência nº (%)
1. Amolecida comparada ao tecido normal	0 (0%)	
2. Endurecido comparada ao tecido normal	0 (0%)	
3. Alterado quando comparado ao tecido normal mas sem comprometer a simulação	7 (39%)	
4. Absolutamente similar ao tecido normal; sem necessidade de modificações adicionais	11 (61%)	
1. Ausência de resistência comparada ao tecido normal		0 (0%)
2. Resistência Aumentada quando comparada ao tecido normal		0 (0%)
3. Resistência reduzida comparada ao tecido normal		0 (0%)
4. Resistência Alterada comparada ao tecido normal mas sem comprometer a simulação cirúrgica		9 (50%)
5. Absolutamente similar ao tecido normal; não requer alterações		9 (50%)
Fratura Biparietal em Galho Verde		
Aspectos Avaliados	Consistência nº (%)	Resistência nº (%)
1. Amolecida comparada ao tecido normal	1 (6%)	
2. Endurecido comparada ao tecido normal	5 (29%)	
3. Alterado quando comparado ao tecido normal mas sem comprometer a simulação	7 (41%)	
4. Absolutamente similar ao tecido normal; sem necessidade de modificações adicionais	4 (24%)	
1. Ausência de resistência comparada ao tecido normal		0 (0%)
2. Resistência Aumentada comparada ao tecido normal		4 (22%)
3. Resistência reduzida comparada ao tecido normal		2 (11%)
4. Resistência Alterada comparada ao tecido normal mas sem comprometer a simulação cirúrgica		8 (44%)
5. Absolutamente similar ao tecido normal; não requer alterações		4 (22%)

Mais de 50% dos neurocirurgiões consideraram o simulador com grande semelhança em relação ao tecido normal sem prejuízo da simulação (Material suplementar 2, Tabela 1).

Com relação ao simulador virtual de cranioestenose, o principal aspecto avaliado foi a possibilidade de se realizar a observação multiangular

do procedimento cirúrgico, associada à delimitação das regiões de osteotomias (Tabela 10).

Tabela 10 - Avaliação do aspecto observação multiangular no simulador virtual de cranioestenose

Simulador Virtual e Observação Multiangular	Neurocirurgiões Experientes	Porcentagem
Simulador Virtual não permite observação multiangular e deve ser reestruturado para aplicar no treinamento de cirurgiões inexperientes.	2	11%
Simulador Virtual permite observação multiangular mas deve ser ajustado para treinar cirurgiões inexperientes.	5	28%
Simulador Virtual permite observação multiangular sem necessitar de qualquer ajuste, permitindo seu uso para cirurgiões inexperientes.	11	61%

Os aspectos adicionais avaliados quanto à simulação realística e virtual estão apresentados em anexo (Material suplementar 2).

5.2.3 Modelo Quebra - Cabeça

Avaliação dos especialistas

Cinco neurocirurgiões especialistas participaram da avaliação. Todos consideraram esta ferramenta útil para a finalidade proposta, técnica cirúrgica, região inicial da cirurgia, evolução do aprendizado, tempo de duração e rotina de treinamento. Consideraram o modelo interessante por

instigar a compreensão dos porquês das etapas cirúrgicas e de como atuar em cada uma delas e ressaltaram que houve notável redução dos erros a cada tentativa de montagem do quebra-cabeça. De acordo com a percepção dos especialistas, os residentes apresentaram melhor clareza com a visualização tridimensional do passo a passo, indiretamente auxiliando na compreensão da técnica cirúrgica (Figura 18).

Figura 18 - Residentes em Neurocirurgia foram avaliados durante o treinamento com quebra-cabeça simulando a cirurgia para crânioestenose

Avaliação dos residentes em Neurocirurgia

Participaram da avaliação 12 residentes. Todos responderam ao questionário com avaliações positivas em relação ao diagnóstico, tentativa adequada, ambiente adequado e reconstrução 3D confiável. Consideraram tratar-se de um método de ensino que tornou a avaliação objetiva e clara. Dos entrevistados, a nota fornecida ao simulador teve média de 9,9. Os residentes descreveram qualitativamente que o modelo possibilitou ampliar a compreensão tridimensional da técnica proposta, bem como permitiu visualizar melhor a simetria durante a reconstrução craniana (Figura 19).

Figura 19 - Visualização tridimensional do passo a passo permitiu melhor compreensão da técnica cirúrgica H de Renier, pelos residentes

6 DISCUSSÃO

Muitos modelos foram criados como passos iniciais para a formação de residentes e neurocirurgiões para execução de procedimentos cirúrgicos. Podem ser classificados em modelos anatômicos e não-anatômicos e subdivididos como modelos cadavéricos, animais, artificiais e de realidade virtual ²¹. Cada um deles apresenta vantagens e desvantagens com acessibilidade variável.

Na maioria dos estudos utilizaram-se animais, espécimes cadavéricos humanos ou materiais sintéticos ^{36,39,58,59}. Alguns procedimentos neurocirúrgicos, como por exemplo, a suturectomia e a remodelação craniana, podem ser altamente complexos para serem simulados em sua totalidade ⁵⁹.

Atualmente, as técnicas neuroendoscópicas são opções valiosas para tratar a hidrocefalia e as lesões intraventriculares. No entanto, as taxas de complicações podem ser altas, particularmente quando as cirurgias são realizadas por neurocirurgiões inexperientes ^{66,67}. O uso de simuladores pode contribuir para a melhora do desempenho da prática cirúrgica necessária sem impor riscos ao doente. Essas capacidades podem ser melhores e mais rapidamente adquiridas com o uso desse modelo de treinamento ^{21; 66}.

A dissecação cadavérica ainda é considerada o padrão ouro para o treinamento cirúrgico, mas não reproduz com precisão as manipulações cirúrgicas sutis e não apresenta doenças específicas ⁶⁸. Além disso, há

implicações éticas para seu uso em muitos países e restrições no seu uso para a obtenção de exames de TC ou de ressonância magnética. A disponibilidade e a manutenção de cadáveres também são dispensiosas e aplicáveis apenas em poucos centros de treinamento ^{59,69}. Outro inconveniente é o fato de os encéfalos dos cadáveres terem ventrículos pequenos, difíceis de serem canulados o que torna a ventriculostomia endoscópica extremamente difícil e não representativa das circunstâncias reais do procedimento na prática cirúrgica. Apesar do demonstrativo de técnicas destinadas à dilatação ventricular induzida em um cadáver adulto, ainda há grandes limitações no treinamento rotineiro ²⁵. As mesmas limitações anatômicas quanto ao uso de espécimes cadavéricos podem ser citadas para outros tipos de treinamento como por exemplo em cirurgias de coluna e em cirurgias corretivas para cranioestenose.

Os modelos animais também são limitados por questões éticas, problemas da anestesia, falta de reprodutibilidade em relação aos seres humanos e custos elevados. Modelos adultos realísticos são muito úteis e com excelente potencial para simulação ^{26,59}. Nesta tese, descreveu-se o primeiro simulador realístico pediátrico e o primeiro simulador virtual para o treinamento de interessados em tratamento de cranioestenose. A possibilidade de se realizar estudos de imagem (TC e ressonância magnética) com estes simuladores físicos permitiu a integração com sistemas de neuronavegação, consequentemente, possibilitando outras modalidades de treinamento ²⁴.

Os modelos anatômicos descritos foram compostos de materiais atóxicos e de fácil utilização, e superaram as dificuldades inerentes aos modelos cadavéricos e animais, tornando-se desse modo, uma alternativa a eles. Esses simuladores físicos apresentam também como vantagens que podem ser mantidos sem nenhum tipo de preparação especial, e não requerem manutenção (tal como ocorre com os cadáveres ou modelos animais) e por sua vez não requerem anestesia. O modelo realístico de cranioestenose expressa as dimensões adequadas do crânio observadas em configurações reais e o modelo neuroendoscópico pediátrico apresenta as dimensões apropriadas do encéfalo e as observadas em doentes com diagnóstico de hidrocefalia. Desse modo, a identificação de marcos anatômicos e, mais importante, a percepção de profundidade são factíveis. Nesses simuladores físicos e virtuais incluem todas as etapas cirúrgicas necessárias de planejamento, desde o posicionamento até o fechamento da pele. Ao usuário também é permitido obter adequada manipulação dos instrumentos cirúrgicos para executar com precisão acessos complexos. A presença do "efeito de sangramento" dos seios sagital superior e transversos para este simulador proporcionou o manejo de situações de emergência e treinamento de habilidades críticas que devem ser dominadas. A possibilidade da aquisição de exames de imagem (TC e RNM) dos modelos criados, com a condição patológica permite avaliar comparativamente as alterações nos períodos pré e pós-operatórios. A reprodutibilidade é importante e possível para ambos os simuladores. Esse parâmetro é relevante tanto para estudos científicos quanto para o

aprendizado de habilidades cirúrgicas. Por fim, não há restrições éticas ao seu uso ou a necessidade de um local específico para trabalhar com esses simuladores.

O custo estimado desse simulador é de U\$ 1500.00, entretanto, o modelo está em fase de validação científica e ainda não é disponibilizado comercialmente.

Uma limitação quanto à criação de modelos físicos é que parte do processo é realizado manualmente, com o objetivo de se desenvolver um modelo que incorpore as características apropriadas (para representar adequadamente as propriedades dos tecidos e expressar as estruturas anatômicas com localização precisa), podendo ser um processo difícil e demorado, para ser executado.

A simulação com o uso da realidade virtual é alternativa promissora ao treinamento cirúrgico e à obtenção de habilidades técnicas. Fornece noção de realidade física, oferecendo informações simbólicas, geométricas e dinâmicas. No entanto, questões como a deformação tecidual e *feedback* tátil muitas vezes são difíceis de se reproduzir mas necessários para fornecer uma plataforma realista de treinamento. Além disso, os simuladores virtuais não permitem o uso de instrumentos reais e têm um custo elevado⁷⁰. No entanto, quando combinado com a simulação física, o seu potencial de ensino fortalece-se. A realidade virtual atua como ferramenta complementar, permitindo graus variados de imersão e realismo. Embora a simulação virtual descrita não forneça o *feedback* tátil, permite compreensão detalhada da relação anatômica, perspectivas multiangulares através de

tecidos não diretamente vibilizados durante a cirurgia real e simulação de todas as etapas cirúrgicas com rica inspeção tridimensional. Kahol et al. avaliaram a eficácia da simulação em realidade virtual em planejamentos pré-operatórios ⁷¹. Em cirurgia geral, há vários estudos randomizados controlados mostrando que a simulação virtual não é apenas um recurso eficiente de aprendizado, mas também pode diminuir erros iniciais e subsequentes na sala cirúrgica ⁷². Essas aquisições não só refletiram na redução do tempo, aumentando a precisão no desempenho das competências, mas também reduziu os erros durante a realização de um procedimento, melhorando assim a segurança dos doentes.

De acordo com um estudo prospectivo de 1108 neurocirurgias eletivas 78,5% dos erros poderiam ser evitáveis e que os erros mais frequentes eram de natureza técnica ⁷³. Como mostrado em publicações anteriores, o número de erros técnicos pode ser reduzido significativamente após o sexto procedimento realizado em simuladores físicos ²⁵. Neste contexto, a simulação mista pode potencializar de modo significativo a redução da curva de aprendizado.

Demonstrou-se, com nível de evidência I, que as habilidades técnicas adquiridas em modelos simulados traduzem-se diretamente no melhor desempenho em campo operatório, realçando a habilidade cognitiva esperada para o desempenho do neurocirurgião ⁷⁴.

Há necessidade do desenvolvimento de currículos cirúrgicos inovadores que incorporem ambientes de aprendizagem seguros e avaliações objetivas das habilidades devendo ser conduzidos por

educadores treinados ⁷⁵. O tradicional modelo de Halstedian de orientação cirúrgica pode limitar tanto a eficiência quanto a aquisição de habilidades cirúrgicas em uma era em que se espera que os residentes dominem um volume de conhecimentos sem precedentes ^{30,76,77}. A implementação sistemática de um currículo de simulação pode viabilizar-se favorável e exercer impacto positivo em aprendizes de todos os níveis (particularmente durante os primeiros três anos de treinamento). As disseções em cadáver e o uso de modelos físicos e simuladores virtuais em conjunto podem desempenhar um papel em fases diferentes do aprendizado. Portanto, todos estes métodos devem ser considerados no desenvolvimento do currículo.

Geralmente os simuladores físicos são melhores para treinamento em habilidades psicomotoras, enquanto simuladores virtuais atuam no reforço das habilidades cognitivas, proporcionando a visualização anatômica com representação geométrica tridimensional ³¹. Com o advento da impressão 3D, simuladores de alta fidelidade foram utilizados para recriar procedimentos complicados com precisão realística. A tecnologia 3D foi incorporada aos modelos de treinamento hiperrealísticos de laparoscopia, toracoscopia e outras cirurgias minimamente invasivas ⁷⁸. A impressão 3D passou a ser utilizada para criar modelos customizados de doentes durante o planejamento pré-operatório de procedimentos complexos ^{57, 78}. Essa tecnologia possibilita a simulação de alta fidelidade em modelos específicos de doentes para complementar o aprendizado cirúrgicos dos residentes.

Estudos prévios demonstraram que cirurgiões que os utilizam consideram modelos 3D fáceis de usar e superiores ao uso de imagens

tradicionais ⁷⁸. Várias metanálises demonstraram que ao associar simulação ao treinamento convencional melhoraram o desempenho, reduziram a duração da cirurgia e a taxa de erros e, conseqüentemente, melhoraram o resultado do tratamento ⁷⁸. Simuladores podem ser usados para facilitar a avaliação e fornecer medida objetiva do aprendizado através de conteúdos multidisciplinares ^{78,79}.

O desenvolvimento de simuladores cirúrgicos eficazes é um marco na evolução da educação cirúrgica. Simuladores realísticos fornecem um contexto de aprendizado seguro e não ameaçador que não apenas promove o desenvolvimento de habilidades, mas também permite um teste objetivo e isento de riscos das habilidades de um residente antes de entrar na sala de cirurgia.

Os neurocirurgiões experientes notaram que a consistência e a resistência do osso e de outros tecidos e a dissecação dos planos nos simuladores desenvolvidos foram muito similares aos encontrados na cirurgia ao vivo. Estas observações enfatizam a utilidade destes modelos como um complemento introdutório ao treinamento cirúrgico tradicional.

A simulação virtual fornece uma maneira altamente eficaz de trabalhar com dados 3D e aumenta significativamente o ensino de anatomia cirúrgica e estratégias operatórias no campo neurocirúrgico. Uma mistura de simulação física e virtual fornece os meios para obter habilidades psicomotoras e cognitivas adequadas, que, atualmente, são adquiridas apenas durante o aprendizado prático cirúrgico.

Portanto, existe potencial valioso para que modelos realísticos sejam regularmente utilizados no treinamento do residente para se atingir elevado grau de habilidade podendo ser mensurado objetivamente, antes que o mesmo seja considerado apto, a realizar o procedimento em um doente ⁵⁸.

Embora estudos prospectivos adicionais sejam necessários para validar a eficácia destas modalidades de treinamento, ressalta-se que a simulação realística mista para os modelos ora desenvolvidos pode melhorar as habilidades adquiridas durante o período de treinamento do neurocirurgião, incluindo habilidades cognitivas de reconhecimento anatômico e tomadas de decisão. Além disso, também possibilita a avaliação da competência básica do residente antes de conduzir um ato operatório.

7 CONCLUSÕES

1. Foram desenvolvidos dois modelos de simuladores físicos de baixo custo e fácil manuseio, dotados de características similares às dos envoltórios do crânio, caixa craniana, ventrículos encefálicos, sistema venoso sinusal intracraniano e plexo coróide, de dispositivos que mimetizam o sangramento intraoperatório e com características físicas que possibilitam a execução de exames de tomografia computadorizada para possibilitar, respectivamente, o treinamento médico para executar o acesso neuroendoscópico aos ventrículos encefálicos para inspeção ventricular e tratar anormalidades ventriculares e periventriculares e a execução da terceiroventriculostomia visando a tratar a hidrocefalia e também a execução da cirurgia corretiva da escafocefalia.
2. Foi desenvolvida uma plataforma complementar de realidade virtual.
3. Os simuladores para treinamento neuroendoscópico e para a correção da escafocefalia revelaram-se instrumentos úteis para a execução dos programas de treinamento de neurocirurgiões durante a residência de Neurocirurgia.

4. O uso de plataformas de treinamento virtual e realístico em modelos de cranioestenose e de hidrocefalia maximizou a transferência das habilidades, reduziu a ocorrência dos erros técnicos e abreviou a curva de aprendizado.
5. A simulação virtual é técnica altamente eficaz para se manipular os dados com visão tridimensional, proporciona melhora do ensino da anatomia cirúrgica, das estratégias operatórias em neuroendoscopia ventricular visando ao tratamento da hidrocefalia e da cranioestenose.
6. A associação das simulações física e virtual possibilitou a aquisição satisfatória das habilidades psicomotoras e cognitivas durante o aprendizado sobre o tratamento de afecções ventriculares e da hidrocefalia com o procedimento de neuroendoscopia assim como da cranioestenose.

8 ANEXOS

Material Suplementar 2- Neuroendoscopia

Simulador Realístico Sexo Feminino ; 6 meses

Peso: 6/6 Adequado

Posição Cirúrgica Decúbito Dorsal: 6/6 Adequado

Tamanho: 6/6 Adequado

Forma: 6/6 Adequado

Interface Radiológica – Tomografia Computadorizada

Posicionamento de estruturas:	5/6 Adequado	Sem Resposta: 1/6
Escala Anatômica:	5/6 Adequado	Sem Resposta: 1/6
Radiopacidade:	5/6 Adequado	Sem Resposta: 1/6
Identificação de Patologia:	5/6 Adequado	Sem Resposta: 1/6
Identificação de Seios Venosos:	5/6 Adequado	Sem resposta: 1/6

Índice Geral - Capacidade de Simulação Realística

1- O simulador apresenta grandes distorções (mais de 4 itens com pontuação mínima) quando comparado à estrutura anatômica real, necessitando de diversas modificações não sendo capaz de aplicação prática cirurgões inexperientes

2- O simulador apresenta pequenas distorções (até 4 itens com pontuação mínima) quando comparado à estrutura anatômica real, necessitando de modificações para ser capaz de aplicação prática com cirurgões inexperientes

3- O simulador apresenta distorções (menos de 2 itens com pontuação mínima) quando comparado à estrutura anatômica real, porém capaz de aplicação prática com cirurgões inexperientes, sem prejuízo da análise

4- Simulador muito similar quando comparado com a estrutura anatômica real e, portanto, capaz de aplicação prática com cirurgões inexperientes

Número 3: 5/6 **Número 4:** 1/6

Você usou a qualquer momento um modelo animal para treinamento de técnicas endoscópicas em hidrocefalia?

0- Não 1- Sim

Qual, se você tiver usado? _____

Não: 5/6 Sim: 1/6

Você já usou em qualquer momento um simulador realista para treinamento de técnicas endoscópicas em hidrocefalia?

1 – Sim 0 - Não

Qual, se você tiver usado? _____

Não: 2/6 Sim: 4/6

Simulador Virtual Hidrocefalia

Índice Geral - Capacidade de Simulação Virtual

1-Simulador apresenta grandes distorções quando comparado com a estrutura anatômica real e sua reconstrução tridimensional, necessitando de diversas modificações não sendo capaz para a aplicação prática cirurgias inexperientes

2-Simulador apresenta distorções quando comparado com a estrutura anatômica real e sua reconstrução tridimensional, mas capaz de aplicação prática com cirurgias inexperientes, sem danos à análise.

3- Simulador muito similar quando comparado com a estrutura anatômica real e sua reconstrução tridimensional, portanto, capaz de aplicação prática com cirurgias inexperientes

Número 2: 4/6 Número 3: 2/6

Você já usou simulador virtual em qualquer momento para o treinamento de técnicas endoscópicas em hidrocefalia?

1 - Sim 0 – Não

Qual, se você tiver? _____

Sim: 3/6 Não: 3/6

Material Suplementar 2- Cranioestenose

Tabela 1S. Simulador Realístico - Índice Geral de Simulação Realística

Questões	Votos, n	Percentual
Simulador Realístico apresenta grandes distorções (mais de 4 itens com mínima pontuação) comparado a anatomia real, requerendo grandes alterações para ser aplicado para cirurgias inexperientes.	0	0%
Simulador Realístico apresenta pequenas distorções (mais de 4 itens com pontuação mínima) quando comparado à anatomia real requerendo grandes alterações para ser aplicado para cirurgias inexperientes.	2	11%
Simulador Realístico mostra distorção (menos de 2 itens com pontuação mínima) quando comparado à anatomia real,mas pode ser aplicado na prática com cirurgias inexperientes, sem comprometer a análise.	10	56%
Simulador Realístico tem estrutura anatômica similar comparada a estruturas anatômicas reais, e portanto pode ser aplicado na prática com cirurgias.	6	33%
Total	18	100%

Tabela 2S. Análise Simulador Virtual

Simulador Virtual apresenta grandes distorções quando comparado à anatomia real e sua reconstrução tridimensional, requerendo várias modificações. Não está apto a ser aplicado para treinamento de cirurgias inexperientes.	2	11%
Simulador Virtual apresenta distorções quando comparado à anatomia real e sua reconstrução tridimensional,requer algumas modificações, mas está apto a para treinamento de cirurgias inexperientes, sem prejuízo da análise.	6	33%
Simulador Virtual é similar à anatomia real e sua reconstrução tridimensional.Apto a ser aplicado a cirurgias inexperientes.	10	56%
Total	18	100%

6 REFERÊNCIAS

1. Dunnington G, Reisner L, Witzke D, Fulginiti J. Structured single-observer methods of evaluation for the assessment of ward performance on the surgical clerkship. *Am J Surg.* 1990;159:423-6.
2. Ferenchick G, Simpson D, Blackman J, DaRosa D, Dunnington G. Strategies for efficient and effective teaching in the ambulatory care setting. *Acad Med.* 1997;72:277-80.
3. McGregor DB, Arcomano TR, Bjerke HS, Little AG. Problem orientation is a new approach to surgical education. *Am J Surg.* 1995;170:656-8.
4. Sloan DA, Donnelly MB, Johnson SB, Schwartz RW, Strodel WE: Use of an Objective Structured Clinical Examination (OSCE) to measure improvement in clinical competence during the surgical internship. *Surgery.* 1993;114:343-50.
5. Sloan DA, Donnelly MB, Schwartz RW, Strodel WE. The Objective Structured Clinical Examination. The new gold standard for evaluating postgraduate clinical performance. *Ann Surg.* 1995;222:735-42.
6. Dutta S, Krummel TM. Simulation: a new frontier in surgical education. *Adv Surg.* 2006;40:249-63.
7. Franzese CB, Stringer SP. The evolution of surgical training: perspectives on educational models from the past to the future. *Otolaryngol Clin North Am.* 2007;40:1227-35.
8. Pugh CM, Watson A, Bell RH, Jr., Brasel KJ, Jackson GP, Weber SM, Kao LS. Surgical education in the internet era. *J Surg Res.* 2009;156:177-82.
9. Richardson JD. Training of general surgical residents: what model is appropriate? *Am J Surg.* 2006;191:296-300.

10. Satava RM. Emerging trends that herald the future of surgical simulation. *Surg Clin North Am.* 2010;90:623-33.
11. Barnes RW, Lang NP, Whiteside MF. Halstedian technique revisited. Innovations in teaching surgical skills. *Ann Surg.* 1989;210:118-21.
12. Gorman PJ, Meier AH, Krummel TM. Simulation and virtual reality in surgical education: real or unreal? *Arch Surg.* 1999;134:1203-8.
13. Reznick RK. Teaching and testing technical skills. *Am J Surg.* 1993;165:358-61.
14. Lee BS, Hwang LS, Doumit GD, Wooley J, Papay FA, Luciano MG, Recinos VM. Management options of non-syndromic sagittal craniosynostosis. *J Clin Neurosci.* 2017;39:28-34.
15. McGaghie WC, Issenberg SB, Barsuk JH, Wayne DB. A critical review of simulation-based mastery learning with translational outcomes. *Med Educ.* 2014;48:375-85.
16. Ferenchick G, Simpson D, Blackman J, DaRosa D, Dunnington G. Strategies for efficient and effective teaching in the ambulatory care setting. *Acad Med.* 1997;72:277-80.
17. Zymberg ST, Cavaleiro S. Neuroendoscopia. A propósito de 30 casos. *Rev Neurociências.* 1996;4: 57-62.
18. Thomas WEG. The making of a surgeon. *Surgery.* 2008;26:400-2.
19. Barnes RW, Lang NP, Whiteside MF. Halstedian technique revisited. Innovations in teaching surgical skills. *Ann Surg.* 1989;210:118-21.
20. Sachdeva AK, Loiacono LA, Amiel GE, Blair PG, Friedman M, Roslyn JJ. Variability in the clinical skills of residents entering training programs in surgery. *Surgery.* 1995;118:300-8.

21. Walt AJ: The uniqueness of American surgical education and its preservation. *Bull Am Coll Surg.* 1994;79:8-20.
22. Winckel CP, Reznick RK, Cohen R, Taylor B. Reliability and construct validity of a structured technical skills assessment form. *Am J Surg.* 1994;167:423-7.
23. Cohen AR, Lohani S, Manjila S, Natsupakpong S, Brown N, Cavusoglu MC. Virtual reality simulation: basic concepts and use in endoscopic neurosurgery training. *Childs Nerv Syst.* 2013;29(8):1235-44.
24. Coelho G, Kondageski C, Vaz-Guimaraes Filho F, Ramina R, Hunhevicz SC, Daga F, Lyra MR, Cavaleiro S, Zymberg ST. Frameless image-guided neuroendoscopy training in real simulators. *Minim Invasive Neurosurg.* 2011;54:115-8.
25. Filho FV, Coelho G, Cavaleiro S, Lyra M, Zymberg ST. Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training. *Neurosurg Focus.* 2011;30:E17.
26. Zymberg S, Vaz-Guimaraes Filho F, Lyra M. Neuroendoscopic training: presentation of a new real simulator. *Minim Invasive Neurosurg.* 2010;53:44-6.
27. Morris LM. Nonsyndromic craniosynostosis and deformational head shape disorders. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2016;24(4):517-30.
28. Chummun S, McLean NR, Flapper WJ, David DJ. The management of nonsyndromic, isolated sagittal synostosis. *J Craniofac Surg.* 2016;27(2):299-304.
29. Hicdonmez T, Parsak T, Cobanoglu S. Simulation of surgery for craniosynostosis: a training model in a fresh cadaveric sheep cranium. Technical note. *J Neurosurg.* 2006;105(2 Suppl):150-2.
30. Bambakidis NC, Selman WR, Sloan AE. Surgical rehearsal platform: Potential uses in microsurgery. *Neurosurgery.* 2013;73(Suppl 1):122-6.

31. Cobb MI, Taekman JM, Zomorodi AR, Gonzalez LF, Turner DA. Simulation in Neurosurgery-A brief review and commentary. *World Neurosurg.* 2016;89:583-6.
32. Arora S, Aggarwal R, Sevdalis N, Moran A, Sirimanna P, Kneebone R, Darzi A. Development and validation of mental practice as a training strategy for laparoscopic surgery. *Surg Endosc.* 2010;24:179-87.
33. Arora S, Aggarwal R, Sirimanna P, Moran A, Grantcharov T, Kneebone R, Darzi A. Mental practice enhances surgical technical skills: a randomized controlled study. *Ann Surg.* 2011;253:265-70.
34. McGaghie WC, Issenberg SB, Barsuk JH, Wayne DB. A critical review of simulation-based mastery learning with translational outcomes. *Med Educ.* 2014;48:375-85.
35. Kunkler K. The role of medical simulation: an overview. *Int J Med Rob Comput Assisted Surg.* 2006;2:203-10.
36. Limbrick DD Jr, Dacey RG Jr. Simulation in neurosurgery: possibilities and practicalities: foreword. *Neurosurgery.* 2013;73(Suppl 1):1-3.
37. Owen H. Early use of simulation in medical education. *Simul Healthc.* 2012;7(2):102-16.
38. Kazan R, Cyr S, Hemmerling TM, Lin SJ, Gilardino MS. The Evolution of Surgical Simulation: The Current State and Future Avenues for Plastic Surgery Education. *Plast Reconstr Surg.* 2017;139(2):533e-43e.
39. Mattei TA, Frank C, Bailey J, Lesle E, Macuk A, Lesniak M, Patel A, Morris MJ, Nair K, Lin JJ. Design of a synthetic simulator for pediatric lumbar spine pathologies. *J Neurosurg Pediatr.* 2013;12(2):192-201.
40. Lee RA, van Zundert TC, van Koesveld JJ, van Zundert AA, Stolker RJ, Wieringa PA, Gatt SP. Evaluation of the Mediseus epidural simulator. *Anaesth Intensive Care.* 2012;40(2):311-8.

41. Price J, Naik V, Boodhwani M, Brandys T, Hendry P, Lam BK. A randomized evaluation of simulation training on performance of vascular anastomosis on a high-fidelity in vivo model: the role of deliberate practice. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2011;142:496-503.
42. Coelho G, Zanon N, Warf Benjamin. The role of simulation in neurosurgery. *Childs Nerv Syst*. 2014;30(12):1997-2000.
43. Nauck ET: On the anatomical, surgical and obstetrical schools excluding universities from the 16th to the 19th century 2nd part of review study. *Anat Anz*. 1965;116:202-16.
44. Palter VN, Grantcharov T, Harvey A, Macrae HM. Ex vivo technical skills training transfers to the operating room and enhances cognitive learning: a randomized controlled trial. *Ann Surg*. 2011;253:886-9.
45. Bova FJ, Rajon DA, Friedman WA, Murad GJ, Hoh DJ, Jacob RP, Lampotang S, Lizdas DE, Lombard G, Lister JR. Procedures Mixed-reality simulation for neurosurgical procedures. *Neurosurgery*. 2013;73 Suppl 1:138-45.
46. Ziv A, Wolpe PR, Small SD, Glick S. Simulation-based medical education: an ethical imperative. *Acad Med*. 2003;78(8):783-8.
47. Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, Lee Gordon D, Scalese RJ. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach*. 2005;27(1):10-28.
48. Ryan JR, Chen T, Nakaji P, Frakes DH, Gonzalez LF. Ventriculostomy simulation using patient-specific ventricular anatomy, 3D printing, and hydrogel casting. *World Neurosurg*. 2015;84:1333-9.
49. Parker E. Bohm and Paul M. Arnold. Simulation and resident education in spinal neurosurgery. *Surg Neurol Int*. 2015;6:33.
50. Rehder R, Abd-El-Barr M, Hooten K, Weinstock P, Madsen JR, Cohen AR. The role of simulation in neurosurgery. *Childs Nerv Syst*. 2016;32(1):43-54.

51. Satava RM. Virtual reality surgical simulator. *Surg Endosc.* 1993;7:203-5.
52. Malone H, Syed O, Downes M, D'Ambrosio AL, Quest DO, Kaiser MG. Simulation in neurosurgery: A review of computer-based simulation environments and their surgical application. *Neurosurgery.* 2010;67(4):1105-16.
53. Burdea GC. Virtual rehabilitation – benefits and challenges. *Methods Inf Med.* 2003;42(5):519-23.
54. Mumford N, Wilson PH. Virtual reality in acquired brain injury upper limb rehabilitation: evidence-based evaluation of clinical research. *Brain Inj.* 2009;23(3):179-91.
55. Galvin J, Levac D. Facilitating clinical decision-making about the use of virtual reality within paediatric motor rehabilitation: describing and classifying virtual reality systems. *Dev Neurorehabil.* 2011;14(2):112-22.
56. Satava RM. The future of surgical simulation and surgical robotics. *Bull Am Coll Surg.* 2007;92(3):13-9.
57. Green ML, Aagaard EM, Caverzagie KJ, Chick DA, Holmboe E, Kane G, Smith CD, Lobst W. Charting the road to competence: developmental milestones for internal medicine residency training. *J Grad Med Educ.* 2009;1:5-20.
58. Coelho G, Warf B, Lyra M, Zanon N. Anatomical pediatric model for craniosynostosis surgical training. *Childs Nerv Syst.* 2014;30(12):2009-14.
59. Coelho G, Zymberg S, Lyra M, Zanon N, Warf B. New anatomical simulator for pediatric neuroendoscopic practice. *Childs Nerv Syst.* 2015;31(2):213-9.
60. Chan S, Conti F, Salisbury K, Blevins NH. Virtual reality simulation in neurosurgery: Technologies and evolution. *Neurosurgery.* 2013;72(Suppl 1):154-64.

61. Kirkman MA, Ahmed M, Albert AF, Wilson MH, Nandi D, Sevdalis N. The use of simulation in neurosurgical education and training. *J Neurosurg.* 2014;121:228-46.
62. El Ahmadieh TY, El Tecle NE, Aoun SG, Yip BK, Ganju A, Bendok BR. How can simulation thrive as an educational tool? Just ask the residents. *Neurosurgery.* 2012;71(6):N18-9.
63. Gelinas-Phaneuf N, Del Maestro RF. Surgical expertise in neurosurgery: Integrating theory into practice. *Neurosurgery.* 2013;73(Suppl 1):30-8.
64. Stefanidis D, Heniford BT. The formula for a successful laparoscopic skills curriculum. *Arch Surg.* 2009;144(1):77-82.
65. Glavin RJ. Simulation: An Agenda for the 21st Century. *Simul Healthc.* 2007;2(2):835.
66. Warf BC. Endoscopic third ventriculostomy combined with choroid plexus cauterization for pediatric hydrocephalus. *Clin Neurol.* 2007;54:78-82.
67. Haji FA, Dubrowski A, Drake J, de Ribaupierre S. Needs assessment for simulation training in neuroendoscopy: a Canadian national survey. *J Neurosurg.* 2013;118(2):250-7.
68. Satava RM. The revolution in medical education-the role of simulation. *J Grad Med Educ.* 2009;1:172-5.
69. De Faria JW, Teixeira MJ, de Moura Sousa Júnior L, Otoch JP, Figueiredo EG. Virtual and stereoscopic anatomy: when virtual reality meets medical education. *J Neurosurg.* 2016;125:1105-11.
70. Lehmann KS, Ritz JP, Maass H, Cakmak HK, KuehnappelUG GCT et al. A prospective randomized study to test the transfer of basic psychomotor skills from virtual reality to physical reality in a comparable training setting. *Ann Surg.* 2005;241:442-9.

71. Kahol K, Satava RM, Ferrara J, Smith ML. Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the "preoperative warm-up" effect. *J Am Coll Surg*. 2009;208:255-68.
72. Stone S, Bernstein M. Prospective error recording in surgery: an analysis of 1108 elective neurosurgical cases. *Neurosurgery*. 2007;60:1075-80.
73. Rosser JC Jr, Gentile DA, Hanigan K, Danner O. The effect of video game "warm-up" on performance of laparoscopic surgery tasks. *JLS*. 2012;16:3-9.
- 74.. Birkmeyer JD, Finks JF, O'Reilly A, Oerline M, Carlin AM, Nunn AR, Dimick J, Banerjee M, Birkmeyer NJ; Michigan Bariatric Surgery Collaborative. Surgical skill and complication rates after bariatric surgery. *N Engl J Med*. 2013;369(15):1434-42.
75. Robinson AR 3rd, Gravenstein N, Cooper LA, Lizdas D, Luria I, Lampotang S. A mixed-reality part-task trainer for subclavian venous access. *Simul Healthc*. 2014;9(1):56-64.
76. Clarke DB, D'Arcy RC, Delorme S, Laroche D, Godin G, Hajra SG, et al. Virtual reality simulator: Demonstrated use in neurosurgical oncology. *Surg Innov*. 2013;20:190-7.
77. Kotsis SV, Chung KC. Application of the "see one, do one, teach one" concept in surgical training. *Plast Reconstr Surg*. 2013;131:1194-201.
78. Lampotang S, Lizdas D, Rajon D, Luria I, Gravenstein N, Bisht Y, Schwab W, Friedman W, Bova F, Robinson A. Mixed simulators: augmented physical simulators with virtual underlays. Orlando, FL: Proceedings of the IEEE Virtual Reality; 2.

79. Hicks PJ, Englander R, Schumacher DJ, Burke A, Benson BJ, Guralnick S, et al. Pediatrics milestone project: next steps toward meaningful outcomes assessment. J Grad Med Educ. 2010;2:577-84.

APÊNDICES

Apêndice I - Publicações

NCBI Resources How To

PubMed
US National Library of Medicine
National Institutes of Health

PubMed Advanced

Format: Abstract

Childs Nerv Syst. 2014 Dec;30(12):1997-2000. doi: 10.1007/s00381-014-2548-7. Epub 2014 Sep 24.

The role of simulation in neurosurgery.

Coelho G¹, Zanon N, Warf B.

Author information

PMID: 25249419 DOI: 10.1007/s00381-014-2548-7
[Indexed for MEDLINE]

PubMed US National Library of Medicine National Institutes of Health	PubMed <input type="text"/>	<input type="button" value="Advanced"/>
--	-----------------------------	---

Format: Abstract +

[Send to](#)

Childs Nerv Syst. 2014 Dec;30(12):2009-14. doi: 10.1007/s00381-014-2537-x. Epub 2014 Sep 3.

Anatomical pediatric model for craniosynostosis surgical training.

Coelho G¹, Warf B, Lyria M, Zanoni N.

[Author information](#)

Abstract

INTRODUCTION: Several surgical training simulators have been created to improve the learning curve of residents in neurosurgery and plastic surgery. Laboratory training is fundamental for acquiring familiarity with the techniques of surgery and the skill in handling instruments. The aim of this study is to present a novel simulator for training in the technique of craniosynostectomy, specifically for the scaphocephaly type.

DESCRIPTION OF THE SIMULATOR: This realistic simulator was built with a synthetic thermo-retractile and thermo-sensible rubber which, when combined with different polymers, produces more than 30 different formulas. These formulas present textures, consistencies, and mechanical resistance similar to many human tissues. Fiberglass molds in the shape of the skull constitute the basic structure of the craniosynostectomy training module. It has been possible to perform computerized tomography images due to the radiopacity of this simulator and to compare the pre- and postoperative images.

RESULTS: The authors present a training model to practice the biparietal remodeling used in scaphocephaly correction. All aspects of the procedure are simulated: the skin incision, the subcutaneous and subperiosteal dissection, the osteotomies, and finally, the skull remodeling with absorbable microplates. The presence of superior sagittal sinus can simulate emergency situations with bleeding.

CONCLUSION: The authors conclude that this training model can represent a fairly useful method to accustom trainees to the required surgical techniques and simulates well the steps of standard surgery for scaphocephaly. This training provides an alternative to the use of human cadavers and animal models. Furthermore, it can represent the anatomical alteration precisely as well as intraoperative emergency situations.

PMID: 25183390 DOI: 10.1007/s00381-014-2537-x

[Indexed for MEDLINE]

 PubMed

 Advanced

Format: Abstract Send to ▾

Childs Nerv Syst. 2015 Feb;31(2):213-9. doi: 10.1007/s00381-014-2538-9. Epub 2014 Sep 3.

New anatomical simulator for pediatric neuroendoscopic practice.

Coelho G¹, Zymlera S, Lyra M, Zanoni N, Warf B.

ⓘ Author information

Abstract

INTRODUCTION: The practice of neuroendoscopic procedures requires many years of training to obtain the adequate skills to perform these operations safely. In this study, we present a new pediatric neuroendoscopic simulator that facilitates training.

DESCRIPTION OF THE SIMULATOR: This realistic simulator was built with a synthetic thermo-retractile and thermo-sensible rubber called Neoderma® which, when combined with different polymers, produces more than 30 different formulae, which present textures, consistencies, and mechanical resistances similar to many human tissues. Silicon and fiberglass molds, in the shape of the cerebral ventricles, constitute the basic structure of the neuroendoscopic training module. The module offers the possibility for practicing many basic neuroendoscopic techniques such as: navigating the ventricular system to visualize important anatomic landmarks (e.g., septal and thalamostriate veins, foramen of Monro, temporal horns, aqueduct, and fourth ventricle), performing third ventriculostomy and choroid plexus cauterization, and resecting intraventricular "tumors" that bleed.

CONCLUSION: It is important to emphasize that it is possible to perform with this simulator not only the rigid but also the flexible endoscopy, with good correspondence to reality and no risks. Notable future perspectives can be considered regarding this new pediatric simulator, for example, to improve the learning curve for nonexperienced neurosurgeons and to spread the flexible endoscopy technique.

PMID: 25183391 DOI: 10.1007/s00381-014-2538-9
 [Indexed for MEDLINE]

História da simulação cirúrgica e sua aplicação em Neurocirurgia

History of surgical simulation and its application in Neurosurgery

Giselle Coelho^{1,2} , Thiago Vieira³

¹ Departamento de Neurocirurgia do Hospital Santa Marcelina, São Paulo, SP, Brasil.

² Scientific Innovation and Education Development Institute (SIEDI), São Paulo, SP, Brasil.

³ Faculdade de Medicina Nova Esperança (FAMENE), João Pessoa, PB, Brasil.

Como citar este artigo (How to cite this article):

Coelho G, Vieira T. História da simulação cirúrgica e sua aplicação em Neurocirurgia (*History of surgical simulation and its application in Neurosurgery*). Sci Med. 2018;28(1):ID29688. <http://doi.org/10.15448/1980-6108.2018.1.29688>

O papel da simulação na prática cirúrgica e a criação de uma nova ferramenta para treinamento neurocirúrgico

The role of simulation in surgical practice and the creation of a new tool for neurosurgical training

Giselle Coelho^{1,2} , Liana Beni Adami³, Nelci Zanon⁴

¹ Departamento de Neurocirurgia do Hospital Santa Marcelina, São Paulo, SP, Brasil.

² Scientific Innovation and Education Development Institute/ SIEDI, São Paulo, SP, Brasil.

³ Pediatric Neurosurgery and Spasticity Clinics, Assuta Medical Center, Tel-Aviv, Israel.

⁴ Centro de Neurocirurgia Pediátrica (CENEP), São Paulo, SP, Brasil.

Como citar este artigo (How to cite this article):

Coelho G, Adami LB, Zanon N. O papel da simulação na prática cirúrgica e a criação de uma nova ferramenta para treinamento neurocirúrgico (*The role of simulation in surgical practice and the creation of a new tool for neurosurgical training*). Sci Med. 2018;28(1):ID29129. <http://doi.org/10.15448/1980-6108.2018.1.29129>

Apêndice II - Livro Publicado - Editora Elsevier

Apêndice III –Congresso Internacional em que os simuladores foram utilizados para treinamento de residentes e jovens neurocirurgiões.

Congresso IFNE 2019 – Nápoles – Itália

Apêndice IV - Premiações

WFNS YOUNG NEUROSURGEON AWARD

This is to certify that the scientific work presented at the
XV WFNS Interim Meeting in Rome, Italy, September 2015

"The Role of Mixed Reality Simulation in Neurosurgical Education"

By **Giselle Coelho**

Has been recognized as one of the best contributions from the Young Neurosurgeons.

Yong-Kwang, Tu
President, WFNS

João Paulo Farias
Chairman, WFNS Committee on
Young Neurosurgeons Award

September 8-12, 2015, Rome, Italy

FALLING WALLS **LAB 2016** SAO PAULO

Guisele Coelho

has been awarded

3rd PLACE

for BREAKING THE WALL OF

Neurosurgical Education

at the Falling Walls Lab Sao Paulo, organised by A.T. Kearney and the German House of Science and Innovation Sao Paulo (DWIH-SP) and supported by the Falling Walls Foundation, A.T. Kearney and Festo on 19 September 2016.

[Signature]
Prof. Dr. Jürgen Weyers
Chairman of the Board of Directors
Falling Walls Foundation

[Signature]
Felix S. S. S. S.
Partner
A.T. Kearney

[Signature]
Marcel Weichert
Coordinator
DWIH Sao Paulo

[Signature]
Prof. Marcos Nogueira Martins
Director
Instituto de Física - USP

Apêndice V - Submissão Artigo Científico

Journal of Neurosurgery: Pediatrics

[Manuscript Home](#)
[Author Instructions](#)
[Reviewer Instructions](#)
[Help](#)
[Tips](#)
[Logout](#)
[JNSPG Website](#)

This is a revised manuscript.

Manuscript #	PEDS18-597-TR1
Current Revision #	1
Other Version	PEDS18-597-T
Submission Date	2019-02-06 18:21:57
Current Stage	Submitted
Title	Development and Validation of a New Pediatric Mixed Reality Model for Neurosurgical Training
Running Head	New pediatric Mixed Reality model
Manuscript Type	Laboratory Investigation
Special Sections	N/A
Category	Miscellaneous
Corresponding Author	Prof. Eberval Figueiredo (University of São Paulo Medical School)
Contributing Authors	Dr. Giselle Coelho (Pediatric Neurosurgery Center / CENEPE), Mr. Nicollas Rabelo (University of São Paulo Medical School, São Paulo, SP, Brazil), Prof. Manoel Teixeira (University of São Paulo, São Paulo, Brazil), Dr. Nelci Zanon (Pediatric Neurosurgery - Center/CENEPE - Beneficência Portuguesa Hospital, São Paulo, Brazil and Fetal and Perinatal Medicina Group - Samaritano Hospital, São Paulo, Brazil.)
Funding/Support and Role of Sponsor	'no suport'
Abstract	Background: Craniosynostosis is characterized by premature fusion of the cranial sutures and craniectomy is required to decrease cranial compression and to remodel the affected area ... View full abstract
Keywords	Craniosynostosis, Neurosurgery, Realistic, Simulation, Training, Virtual
Specialties	Pediatric
Conflict of Interest Form	<p>Please indicate below that you have read the JNSPG Policy on Conflict of Interest and indicate if any authors have a financial conflict of interest.</p> <p>No. Authors associated with this submission have no financial conflicts of interest to disclose.</p> <p>Enter the conflict of interest information below. Note: If any author has a disclosure(s), it must be listed below. If there are no conflicts for any of the authors, please put "N/A": no conflict</p>
Study Participant Confidentiality	No
Use of Materials Copyrighted by Others	Yes. My manuscript does contain one or more tables, figures, and/or video clips that were previously published, but I do not need to obtain specific permission to republish them because the terms of the original publication allow me to reuse them. I will submit proof of this to the JNSPG editorial office with my revised manuscript.
Human/Animal Approval	<p>If your submission describes a study involving human or animals subjects, you must provide the name of your local institutional review board (IRB)/ethics committee or institutional animal care and use committee (IACUC) and study approval number.: Study does not involve animal or human subjects.</p> <p>Enter the name of IRB/ethics committee or IACUC and authorization number below. If your study does not involve human or animal subjects, or if approval is not required from these committees for the type of study, please explain why: no involvement of animal and humans subject</p>
In Brief Statement	Physical and virtual simulation provided the required psychomotor and cognitive skills previously acquired only during practical surgical apprenticeship.
Copyright Release Date	Not Received
Electronic Forms	10 of 10 forms complete - View Electronic Forms Status

[Manuscript Items](#)