

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Faculdade de Medicina

Audrey Beatriz Santos Araujo

**MODELO DE PLACENTA HUMANA PARA SIMULAÇÃO
DE MICROCIRURGIA E ULTRASSONOGRRAFIA
EM TUMORES CEREBRAIS**

Belo Horizonte

2017

Audrey Beatriz Santos Araujo

**MODELO DE PLACENTA HUMANA PARA SIMULAÇÃO
DE MICROCIURURGIA E ULTRASSONOGRRAFIA
EM TUMORES CEREBRAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do grau de Doutor em Medicina.

Área de concentração: Técnica Cirúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Magaldi de Oliveira.

Belo Horizonte
Faculdade de Medicina - UFMG
2017

Araujo, Audrey Beatriz Santos.
A663m Modelo de placenta humana para simulação de microcirurgia e ultrassonografia em tumores cerebrais [manuscrito]. / Audrey Beatriz Santos Araujo. - - Belo Horizonte: 2017.
101f.: il.
Orientador: Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira.
Área de concentração: Ciências Aplicadas à Cirurgia e Oftalmologia.
Tese (doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.

1. Neoplasias Encefálicas. 2. Microcirurgia. 3. Placenta/cirurgia. 4. Ultrassonografia de Intervenção. 5. Dissertações Acadêmicas. I. Oliveira, Marcelo Magaldi Ribeiro de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. III. Título.

NLM: WL 358

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Reitor: Prof. Jaime Arturo Ramírez

Vice-Reitora: Prof^a. Sandra Regina Goulart Almeida

Pró-Reitora de Pós-Graduação: Prof^a. Denise Maria Trombert de Oliveira

Pró-Reitor de Pesquisa: Prof. Ado Jório de Vasconcelos

Faculdade de Medicina

Diretor da Faculdade de Medicina: Prof. Tarcizo Afonso Nunes

Vice-Diretor da Faculdade de Medicina: Prof. Humberto José Alves

Coordenador do Centro de Pós-Graduação: Prof. Luiz Armando Cunha de Marco

Subcoordenador do Centro de Pós-Graduação: Prof. Selmo Geber

Departamento de Cirurgia

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia e Oftalmologia:

Prof. Tulio Pinho Navarro

Subcoordenadora do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia e

Oftalmologia: Prof^a. Vivian Resende

Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia e Oftalmologia

Agnaldo Soares Lima

Marco Aurélio Lana Peixoto

Marcio Bittar Nehemy

Renato Santiago Gomez

Vivian Resende

Taise Mirian Cruz Mosso Ramos



FOLHA DE APROVAÇÃO

Modelo de placenta humana como simulador de microcirurgia e ultrassonografia em tumores cerebrais

AUDREY BEATRIZ SANTOS ARAÚJO

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA, área de concentração ANATOMOFISIOPATOGENIA CIRÚRGICA, linha de pesquisa Correl. entre Imag. e Anat. Tridim. das Estrut. Cranioencef..

Aprovada em 17 de julho de 2017, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira - Orientador
UFMG

Prof. Aluizio Augusto Arantes Junior
UFMG

Prof. Augusto Barbosa Reis
UFMG

Prof. Jair Leopoldo Raso
UNIMED

Prof. José Augusto Malheiros dos Santos Filho
Hospital Felício Rocho

Belo Horizonte, 17 de julho de 2017.

...A minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Marcelo Magaldi, pelo generoso apoio e força. Sem seu empenho e trabalho árduo este sonho não estaria se realizando hoje. Obrigada ao Dr. Sebastião Gusmão, pelo auxílio desde o mestrado.

Aos acadêmicos que auxiliaram o preparo das peças estudadas, em particular à Pollyana Helena e à Marciléia Santos, minha atual residente.

Minha gratidão aos residentes, pelo apoio tecnológico, principalmente Tácito, Euler e Felipe Augusto. Reconhecimento aos ex-residentes, em especial Felipe Maluf, Orlandil Rocha e Bernardo Aramuni, que em meio à correria de suas vidas ainda encontraram tempo para me apoiar, seja me substituindo na minha ausência, seja se deslocando para realizar a parte prática do trabalho. E ao amigo Marcílio, pelo apoio nas fases iniciais do projeto e presença constante.

À minha amiga Andréa Pinho, por despertar em mim a vontade de retorno ao meio acadêmico e apoio logístico, sempre.

Ao grande amigo Evandro, que dispensou horas do seu tempo de descanso para me ajudar, sem se preocupar com recompensas.

Agradeço a meus pais, pelo exemplo, amor e amizade.

Às minhas irmãs, Cláudia e Gláucia, ponto de apoio constante em minha vida.

Aos meus tios e tias, sempre presentes em toda a minha vida.

Aos meus filhos, Bernardo e Beatriz, que iluminam meu caminho e ampliam o sentido da palavra amor ao infinito.

A meu esposo, pela presença constante e auxílio nos momentos mais difíceis.

E, enfim, a Deus, por colocar todas essas pessoas em minha vida, guiar meus passos e me acolher e proteger, mesmo sob linhas tortas.

*“[...] Que eu procure mais consolar que ser consolado,
compreender que ser compreendido,
amar que ser amado [...]”*

São Francisco de Assis.

RESUMO

Tumores cerebrais são lesões complexas, cuja remoção envolve treinamento microcirúrgico intensivo e utilização de diversas técnicas microcirúrgicas. Modelos de simulação para treinamento da remoção que apresentem realismo háptico e visual podem ser úteis na melhoria técnica bimanual de residentes e neurocirurgiões e potencialmente reduzir o risco de erros e melhorar a recuperação dos pacientes. **Objetivo:** descrever e validar um modelo de treinamento microcirúrgico para remoção de tumores cerebrais e ultrassonografia intervencionista, utilizando placenta humana como ferramenta para simulação cirúrgica, no ensino e avaliação do aprendizado. **Método:** o estudo utilizou 40 placentas humanas. Os remanescentes de sangue intravascular foram removidos pela irrigação com solução salina nos vasos do cordão umbilical. Tumores sólidos foram simulados pela injeção de silicone no estroma das placentas. Para simular lesão cística, fixou-se dedo de luva de látex contendo 5 mL de solução salina. A remoção tumoral foi simulada por oito neurocirurgiões e oito residentes de neurocirurgia; oito radiologistas intervencionistas e 30 neurocirurgiões utilizaram a ultrassonografia intervencionista para puncionar a lesão cística. Aplicaram-se os testes de validação “face e conteúdo”, baseados em uma escala de 5 pontos de Likert. Validação de “constructo” foi obtida pela diferença no desempenho entre os grupos de iniciantes, neurocirurgiões experientes e radiologistas. **Resultados:** o modelo de placenta humana permitiu a simulação de procedimentos para remoção de tumores cerebrais com alta fidelidade. Os resultados de “face e conteúdo” validaram o uso desse simulador e a validação de “constructo” foi demonstrada pela diferença estatística entre o desempenho dos grupos avaliados. O modelo de placenta humana demonstrou boa similaridade com os cenários reais (validação de “face”) e alta fidelidade nas tarefas parciais (validação de conteúdo”). **Conclusão:** placenta humana é um modelo háptico útil para simulação de remoção cirúrgica de tumores cerebrais e ultrassonografia intervencionista. Os resultados demonstraram validade nos testes “face, conteúdo e constructo”.

Palavras-chave: Tumor cerebral. Microcirurgia. Placenta. Simulação cirúrgica. Ultrassonografia intervencionista.

ABSTRACT

Background: Brain tumors are complex 3-dimensional lesions. Their resection involves training and the use of the multiple microsurgical techniques available for removal. Simulation models, with haptic and visual realism, may be useful for improving the bimanual technical skills of neurosurgical residents and neurosurgeons, potentially decreasing surgical errors and thus improving patient outcomes. **Objective:** To describe and assess an ex vivo placental model for brain tumor microsurgery and interventional ultrasonography using a simulation tool in neurosurgical psychomotor teaching and assessment. **Methods:** Forty placentas were used in this research project. Intravascular blood remnants were removed by continuous saline solution irrigation of the 2 placental arteries and placental vein. Brain tumors were simulated using silicone injections in the placental stroma. Eight neurosurgeons and 8 neurosurgical residents carried out the resection of simulated tumors. Eight interventional radiologists and 30 neurosurgeons performed interventional ultrasonography to evaluate deep cyst puncture. Face and content validity was assessed using a subjective evaluation based on a 5-point Likert scale. Construct validity was assessed by analyzing the surgical performance of the neurosurgeons, residents and radiologists groups. **Results:** The placenta model simulated brain tumor surgical procedures with high fidelity. Results showed face and content validity. Construct validity was demonstrated by statistically different surgical performances among the evaluated groups. The placenta ex vivo hybrid simulator showed very good similarity with real scenarios (Face validity), with high fidelity of all part tasks (Content validity). **Conclusion:** Human placentas are useful haptic models to simulate brain tumor microsurgical removal and cystic puncture guided by ultrasonography. Results using this model demonstrate face, content, and construct validity.

Keywords: Brain tumor. Microsurgery. Placenta. Surgical simulation. Interventional ultrasonography.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Validação de “face” para simulação de ressecção de tumor cerebral em modelo <i>ex vivo</i> de placenta humana.....	56
TABELA 2 - Validação de “conteúdo” para simulação de remoção de tumor cerebral em MPH.....	57
TABELA 3 - Validação de “constructo” para simulação de ressecção de tumor cerebral em modelo <i>ex vivo</i> de placenta humana.....	58
TABELA 4 - Validação de "face" para o modelo <i>ex vivo</i> de US intervencionista em placenta humana.....	60
TABELA 5 - Validação de "conteúdo" para o modelo <i>ex vivo</i> de US intervencionista em placenta humana: comparação com o procedimento real.....	60
TABELA 6 - Avaliação objetiva de 30 neurocirurgiões ao realizar procedimento de US intervencionista em simulador <i>ex vivo</i> de placenta humana.....	61
TABELA 7 - Avaliação de oito radiologistas intervencionistas na realização de US em modelo de simulação de lesão cística, <i>ex vivo</i> , de placenta humana.....	62
TABELA 8 - Diferenças estatísticas entre os escores subjetivos e objetivos dos NC na realização de US intervencionista em modelo de simulação de lesão cística, em placenta humana.....	62
TABELA 9 - Modelo de placenta comparado aos outros modelos de simulação de ressecção de tumor cerebral existentes em Neurocirurgia...	74
TABELA 10 - Dados de validação tipo "face e conteúdo", na simulação de remoção tumoral em modelo de placenta humana, <i>ex vivo</i>	81
TABELA 11 - Validação de "constructo" em MPH para ressecção microcirúrgica de tumores.....	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - <i>ImmersiveTouch</i> ^R system, desenvolvido pela Universidade de Chicago.....	27
FIGURA 2 - Componentes do NeuroTouch: estereoscópio.....	28
FIGURA 3 - Sistema Dextroscope: usado para determinar qual a via cirúrgica mais efetiva para determinado paciente.....	29
FIGURA 4 - Sistema dv-Trainer: auxilia o cirurgião a desenvolver destreza e habilidades necessárias para operar com sistemas robóticos reais.....	30
FIGURA 5 - Sistemas utilizados em simulações hápticas, com graus de liberdade de força variada.....	31
FIGURA 6 - Exemplos de modelos de simulação: fotográfico, anatômico, virtual e háptico.....	32
FIGURA 7 - Simulação física de partículas deformáveis de fluidos.....	33
FIGURA 8 - Modelo de simulação sintético.....	34
FIGURA 9 - Modelo de anastomose vascular, em ratos.....	35
FIGURA 10 - Modelo de placenta humana para simulação de microcirurgia em aneurismas.....	37
FIGURA 11 - Visão microscópica do eletrocautério em pinça bipolar (1) sendo utilizado para identificar o limite entre o tumor e o estroma placentário.....	41
FIGURA 12 - Abertura da membrana alantóidea, utilizando microtesoura e microaspirador, na simulação de remoção de tumor cerebral com modelo de placenta humana.....	45
FIGURA 13 - Ressecção de tumor cerebral usando simulação microcirúrgica, pela qual o tumor pode ser visto com coloração verde e com pontos de aderência à placenta.....	46
FIGURA 14 - Simulação da cauterização vascular utilizando coagulador bipolar, sob visão microscópica.....	47
FIGURA 15 - A- Visão microscópica de simulação de lesão vascular com sangramento associado. B- Simulação do reparo da lesão vascular, utilizando sutura com agulha e fio Nylon 9.0.....	48

FIGURA 16 - Aparelho de US utilizado no estudo, marca SonoSite, M-Turbo.....	51
FIGURA 17 - Exemplo de imagem obtida na simulação de lesão cística intracerebral.....	51
FIGURA 18 - Simulação de lesão cística com um dedo de luva, preenchido por água e fixado à placenta humana.....	52
FIGURA 19 - Simulação de perfusão, na placenta inferior.....	52
FIGURA 20 - Placenta sendo instalada na caixa de papelão.....	53
FIGURA 21 - Fechamento da caixa de papelão, simulando uma área de craniotomia.....	53
FIGURA 22 - Simulação de punção de lesão cística profunda guiada por US.....	59
FIGURA 23 - Doppler do US usado para identificar vasos ao redor do cisto simulado.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
DP	Desvio-padrão
EXP	Experiente
INI	Iniciante
IQR	Intervalo interquartil
MANOVA	Análise multivariada de variância
MHz	Megahertz
mmHg	Milímetro de mercúrio
MPH	Modelo de placenta humana
RI	Radiologista intervencionista
RM	Ressonância magnética
RV	Realidade virtual
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
US	Ultrassonografia

SUMÁRIO¹

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	20
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	21
3.1 Modelos virtuais.....	26
3.1.1 <i>Treinamento de tarefas parciais (específicas)</i>	26
3.1.2 <i>Simuladores virtuais de procedimento</i>	27
3.1.3 <i>Plataformas de ensaio cirúrgico</i>	28
3.1.4 <i>Neurocirurgia robótica</i>	29
3.1.5 <i>Visualização e computação gráfica</i>	30
3.1.6 <i>Interfaces hápticas e renderização</i>	32
3.1.7 <i>Simuladores físicos</i>	32
3.2 Modelos sintéticos (modelos anatômicos).....	33
3.3 Modelos biológicos.....	35
3.3.1 <i>Animais vivos</i>	35
3.3.2 <i>Modelos cadavéricos</i>	36
3.3.3 <i>Modelo ex vivo</i>	36
3.4 Modelos híbridos.....	37
3.5 Ultrassonografia intervencionista.....	37
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1 Preparação da placenta.....	40
4.2 Modelo de tumor cerebral.....	42
4.3 Cenários de simulação.....	42
4.3.1 <i>Simulação da abertura da aracnoide, pia-máter e cortical: dissecção da membrana alantóideia</i>	43
4.3.2 <i>Utilização do aspirador</i>	44

¹ Este trabalho foi revisado de acordo com as novas regras ortográficas aprovadas pelo Acordo Ortográfico assinado entre os países que integram a Comunidade de Países de Língua Portuguesa (CPLP), em vigor no Brasil desde 2009. E foi formatado de acordo com a ABNT NBR 14724 de 17.04.2015.

4.3.3 Utilização de microtesouras.....	44
4.3.4 Simulação do esvaziamento e remoção tumoral.....	45
4.3.5 Simulação da cauterização vascular, utilizando eletrocautério em pinça bipolar.....	46
4.3.6 Simulação de sutura vascular sob microscopia.....	47
4.4 Método de validação.....	48
4.4.1 Validação do modelo placentário para simulação de ressecção de tumores cerebrais.....	49
4.5 Placenta humana como modelo para US intervencionista.....	49
4.6 Análise estatística.....	54
5 RESULTADOS.....	56
5.1 Simulação de intervenção guiada por ultrassonografia.....	58
6 DISCUSSÃO.....	64
6.1 Pontos fortes e limitação.....	70
7 CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS.....	76
ANEXO E APÊNDICES.....	81

1 INTRODUÇÃO

São necessários anos de treinamento do neurocirurgião para obter as habilidades bimanuais necessárias ao adequado manuseio dos diversos instrumentos envolvidos na ressecção de diferentes lesões cerebrais (GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013; NEAL, 1994). Classicamente, a maior parte do aprendizado (90%) é realizada na sala cirúrgica, porém esse sistema de treinamento reduz a eficiência do cirurgião e aumenta o tempo de utilização da sala de cirurgia em até 35%, elevando custos associados ao reduzir o número de procedimentos por sala e prolongar cirurgias (DELORME *et al.*, 2012).

A simulação cirúrgica utilizando uma variedade de técnicas de realidade virtual (RV) tem sido explorada no treinamento e aquisição de habilidades dos residentes de Neurocirurgia, nas cirurgias de remoção de tumores cerebrais (ALOTAIBI *et al.*, 2015a; AZARNOUSH *et al.*, 2015; CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012). As técnicas de simulação promovem múltiplas oportunidades de aprendizado prático, em ambiente seguro, no qual o aprendiz pode adquirir o desempenho desejado (GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013; KSHETTRY *et al.*, 2014). Considera-se que componentes essenciais de uma proposta de treinamento neurocirúrgico intracraniano por imersão devem incluir procedimentos desafiadores. As atividades propostas devem permitir simulação da manipulação bimanual de um “cérebro” virtual, incluindo estimulação, tração e corte, para treinamento da utilização de instrumentos neurocirúrgicos específicos (DELORME *et al.*, 2012).

Questões legais no Brasil e no mundo, como aumento de divulgação e punição de erros médicos, discussões sobre cirurgia segura e implantação de linhas de cuidado, por exemplo, e restrição do horário de trabalho do residente, que atualmente é regulado em 60 horas semanais e com direito a descanso pós-plantão, pela legislação brasileira, são fatores contribuintes que têm forçado os departamentos de Neurocirurgia a procurar técnicas de simulação. Essas mudanças visam a melhorar o cuidado dos pacientes, minimizar complicações e

mudar o paradigma de aprendizado na aquisição de habilidades técnicas (CHOUDHURY *et al.*, 2013; GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013; KSHETTRY *et al.*, 2014).

Simuladores utilizando técnicas de RV, com percepção háptica, podem ser complementares aos modelos biológicos e úteis para avaliar o treinamento da ressecção de tumores cerebrais (ALOTAIBI *et al.*, 2015b; AZARNOUSH *et al.*, 2015; BANERJEE *et al.*, 2007; CHAN *et al.*, 2013; CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012). Embora a técnica cirúrgica possa ser avaliada em modelos de simulação virtual, os modelos biológicos que propiciem alta fidelidade ao tecido e aspecto mais realístico, como sangramento ativo, aumentariam substancialmente o campo de treinamento para aquisição de habilidades cirúrgicas.

Modelos de animais vivos utilizados no ensino de habilidades microcirúrgicas não incluem cenários de ressecção específica de tumores cerebrais. No Brasil, a utilização de cadáveres humanos ou animais vem enfrentando dificuldades éticas para autorização e necessitam de laboratórios avançados e bem equipados para manutenção e utilização das peças anatômicas.

A proposta do presente estudo foi desenvolver o modelo de treinamento de cirurgias de tumores cerebrais utilizando placenta humana, validar esse modelo a partir do método de "face, conteúdo e constructo" e, então, propor exercícios de treinamento microneurocirúrgicos.

Num segundo momento, estudamos a utilidade do modelo biológico *ex vivo* de placenta humana no treinamento para realização de ultrassonografia intervencionista com doppler, em lesões cisticotumorais simuladas, avaliando a habilidade de neurocirurgiões nesse tipo de intervenção.

A ultrassonografia (US) é uma ferramenta diagnóstica amplamente utilizada para guiar procedimentos intervencionistas, como drenagem de lesões císticas, biópsias e punções vasculares. Sua utilização e aplicação técnica são bem determinadas como subespecialidade na radiologia (FASANO *et al.*, 1983;

MURSCH *et al.*, 2017). Em neurocirurgia, a ultrassonografia pode ser utilizada para guiar o acesso a lesões subcorticais ou profundas (KOIVUKANGAS; KELLY, 1986; UNSGAARD *et al.*, 2002; VASIL'EV *et al.*, 2010). Unsgaard *et al.* (2002) ressaltaram a capacidade de geração de imagem em tempo real da US, promovendo aumento da ressecção tumoral e servindo como alternativa à realização de ressonância magnética (RM) peroperatória. Obtiveram ainda sucesso no delineamento dos tumores e aumento das chances de ressecção macroscópica completa da lesão. Não identificamos artigo descrevendo a habilidade de neurocirurgiões na utilização intraoperatória de US e não existe descrição de modelo de simulação de US craniana na literatura.

Assim como no treinamento cirúrgico, a realização de intervenções guiadas por ultrassonografia exige uma curva de aprendizado e repetição de atividades para minimizar complicações e erros médicos. Por esse motivo, nesta etapa do estudo objetivamos descrever a placenta como modelo de simulação de US intervencionista e validar, nos critérios de "face, conteúdo e constructo", esse modelo para treinamento háptico na aquisição de habilidades em ultrassonografia, além de avaliar se os neurocirurgiões estão habilitados a proceder a intervenções invasivas guiadas por US.

2 OBJETIVOS

- a) Descrever a placenta humana como modelo biológico, ex vivo, de treinamento microcirúrgico e de ultrassonografia intervencionista, que pode ser usado para simular a remoção e punção de tumores cerebrais.
- b) Validar, nos critérios de “face, conteúdo e constructo”, o modelo descrito.
- c) Identificar a habilidade de neurocirurgiões em relação à ultrassonografia intervencionista, utilizando o modelo de placenta humana como simulador.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Diariamente, neurocirurgiões se deparam com o desafio de conhecer, planejar e realizar procedimentos cirúrgicos de alto grau de complexidade e pouca margem para erros (CHAN *et al.*, 2013). Tanto o paciente quanto a sociedade esperam alto grau de competência cirúrgica do neurocirurgião, ao optarem pela abordagem de uma lesão cerebral (GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013). Ainda não foi determinada uma definição precisa de experiência em Neurocirurgia. A literatura utiliza mais o termo “competência” que “experiência” (KSHETTRY *et al.*, 2014).

As definições de competência usualmente envolvem dois aspectos: critérios de habilidade técnica e “outras habilidades”, que incluem profissionalismo, facilidade de comunicação e experiência médica. Uma definição atualmente aceita de competência postula que a competência cirúrgica engloba conhecimento e habilidades técnicas e sociais na resolução de situações novas e familiares, a fim de promover cuidado adequado ao paciente (KSHETTRY *et al.*, 2014). Essa definição foca “adequado” cuidado ao paciente, em vez de “excelente”, como objetivo primordial (GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013).

O treinamento de habilidades técnicas em Neurocirurgia classicamente é realizado principalmente na sala de cirurgia, onde os residentes aprendem os procedimentos ao assistir e auxiliar cirurgiões em centenas de operações e vão adquirindo progressivamente contato com procedimentos de complexidade variada (CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012). Esse tipo de treinamento segue o programa criado por Halsted, em 1889, para jovens cirurgiões. Baseava-se no aprendizado a partir de dedicação integral aos pacientes, defendendo a teoria de que a cirurgia deveria ser aprendida a partir do treinamento prático em um programa hierárquico. Um dos residentes mais famosos de Halsted nessa época foi Harvey Cushing, considerado “pai” da Neurocirurgia.

A aquisição de habilidades técnicas é componente essencial da competência cirúrgica. Porém, questões legais relacionadas à redução de erros médicos e restrição do horário de trabalho do residente a 60 horas semanais têm limitado o tempo de treinamento na sala de cirurgia (CHOUDHURY *et al.*, 2013; KIRKMAN *et al.*, 2014; KSHETTRY *et al.*, 2014). Além disso, a evolução das linhas de cuidado em saúde visando a segurança do paciente e redução de riscos tem reduzido a autonomia dos residentes dentro da sala de cirurgia (KSHETTRY *et al.*, 2014). Os hospitais, por outro lado, têm incentivado a redução do tempo de uso das salas de cirurgia e a redução de gastos, o que pode afetar as oportunidades dos residentes em treinamento microcirúrgico (KSHETTRY *et al.*, 2014). A repetição de atividades em ambientes de treinamento desafiadores e que nos permitem certa margem de erro, com relativa segurança, é ideal para o crescimento do conhecimento e a aquisição de habilidades do residente (CHAN *et al.*, 2013).

Novos paradigmas educacionais têm encorajado o desenvolvimento de métodos originais de treinamento cirúrgico. Simulação pode ajudar a responder algumas dessas necessidades, pois oferece alternativa custo-efetiva ao modelo tradicional de treinamento (CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012). A simulação cirúrgica tem sido descrita como uma solução potencial para o desafio de promover treinamento apropriado em menos tempo. Representa uma medida de substituição ou complemento ao modelo baseado exclusivamente na aquisição de conhecimento a partir da observação do desempenho de neurocirurgiões experientes (KIRKMAN *et al.*, 2014).

Em experimento duplo-cego comparando o aprendizado com e sem simulador virtual, residentes treinados em realizar colecistectomia laparoscópica virtual em simulador completaram a intervenção com 29% menos tempo e cinco vezes menos lesão do paciente. Outro estudo determinou que uma hora de treinamento virtual nesse tipo de cirurgia era equivalente a 2,28 horas gastas no treinamento em sala de cirurgia. Concluem que a simulação virtual promove avaliação objetiva da eficiência e aquisição de habilidades cirúrgicas (DELORME *et al.*, 2012; JAKIMOWICZ; CUSCHIERI, 2005; THIJSSSEN; SCHIJVEN, 2010).

Seguindo o modelo de treinamento adotado para pilotos de avião, simuladores virtuais para treinamento médico foram desenvolvidos nas duas últimas décadas e estão atualmente disponíveis para procedimentos cirúrgicos minimamente invasivos baseados em endoscopia, intervenções endovasculares e outros procedimentos especializados (CHAN *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012).

Em Neurocirurgia, a necessidade de treinamento virtual para redução de erros técnicos ficou mais evidente a partir do surgimento da Neuroendoscopia, que introduziu desafios e aumentou o potencial de erros devido à visão indireta, uso de instrumentais cirúrgicos elaborados e espaço de trabalho confinado (DELORME *et al.*, 2012). Sendo assim, a utilização de modelos de simulação nessa especialidade tem ganhado atenção nos últimos anos. Exposição regular à prática de procedimentos cirúrgicos complexos pode ajudar o neurocirurgião a evitar erros técnicos que aumentam a morbidade e mortalidade do paciente (OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014).

Modelos clássicos de treinamento em laboratório incluem dissecação de cadáveres e cirurgias em animais. Cadáveres podem ser úteis no aprendizado de anatomia cirúrgica, mas perdem propriedades dinâmicas como sangramento e pulsação. São descritos problemas de toxicidade potencial das substâncias químicas utilizadas para fixação e limitações logísticas relacionadas à preservação, armazenamento e tempo viável para utilização dos espécimes (COELHO; ZANON; WARF, 2014). Nas cirurgias em animais, a anatomia é diferente da anatomia humana. Portanto, essas atividades não substituem a variabilidade anatômica e patológica vista na sala cirúrgica (D'AMICO; KENNEDY; BRUCE, 2014; CHOUDHURY *et al.*, 2013). Além disso, não identificamos na literatura modelo animal de treinamento que replique os achados cirúrgicos ou que tenha sido desenvolvido de modo específico para tumores cerebrais.

A simulação cirúrgica virtual tem surgido como uma resposta potencial a esse problema. Como benefícios da RV, incluem-se a complementação do treinamento da sala de cirurgia e a possibilidade de promover um parecer com escores do desempenho do aprendiz, permitindo autonomia, podendo incorporar diferentes técnicas, anatomias e patologias em diversas especialidades cirúrgicas. Pode

simular de modo dinâmico e realístico o comportamento tecidual (CHOUDHURY *et al.*, 2013). Ambientes de RV têm maior potencial de experiências de treinamento flexível a ampla gama de usuários. Iniciantes podem explorar tanto a anatomia normal quanto alterações presentes na vigência de doenças e cirurgiões podem rever procedimentos pouco usuais e anatomias desafiadoras, em ambiente simulado seguro. Mesmo os experientes podem planejar e ensaiar vias complexas e avaliar o mérito dos vários acessos numa representação virtual da anatomia específica de determinado paciente (CHAN *et al.*, 2013). Entretanto, modelos virtuais são muito artificiais, baseados em imagens, com alto custo de produção e comercialização, o que limita seu uso em países em desenvolvimento (AVILA-GUERRA, 2014; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014). Não promovem treinamento tátil ou outras qualidades físicas que os classifiquem como ferramenta apropriada ou indispensável para aquisição de habilidades técnicas necessárias numa cirurgia real (OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014).

Poucas descrições de simuladores para treinamento de intervenções baseadas em craniotomias são encontradas na literatura (DELORME *et al.*, 2012). Um exemplo é o ambiente virtual de planejamento de procedimentos de craniotomia, Dextroscope^R, desenvolvido por Kockro *et al.* Embora possa ser utilizado para ensino de anatomia e de estratégias cirúrgicas, falha na capacidade de manipulação virtual de tecidos em tempo real, o que é indispensável aos simuladores para ensino de habilidades técnicas (DELORME *et al.*, 2012; KOCKRO *et al.*, 2000).

Criado com o objetivo de facilitar o desenvolvimento e permitir avaliação de habilidades para procedimentos baseados em craniotomias, visando ao refinamento do programa curricular do residente, o NeuroTouch^R é um simulador de RV desenvolvido pelo *National Research Council* no Canadá. Propõe uma variedade de tarefas (exercícios orientados e objetivos, curtos) envolvendo manipulação cirúrgica, cada uma em um estágio do procedimento e aumentando os níveis de dificuldade, promovendo um parecer ao realizador sobre seu desempenho e ocorrência de erros, além de percepção tátil e visual. Treina uso de aspirador, aspirador ultrassônico, eletrocautério bipolar e microtesouras. Faz a representação virtual dos campos cirúrgicos (Drape), pele, crânio, dura-máter e

ganchos (apenas expostos, na tela). Descreveram inicialmente dois cenários de ressecção tumoral cerebral, com tarefas para esvaziamento e cauterização tumoral, simulando a ressecção de um meningioma frontal e de um oligoastrocitoma frontal, respectivamente (ALOTAIBI *et al.*, 2015b; CHAN *et al.*, 2013; CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012; GÉLINAS-PHANEUF *et al.*, 2014). Posteriormente, expandiram a utilização para outros tipos de tumor, como glioblastoma, em que modificam a coloração da lesão e observam comparativamente o desempenho de estudantes de Medicina e residentes de Neurocirurgia na ressecção das lesões simuladas (ALOTAIBI *et al.*, 2015b).

Em 2007, Banerjee *et al.* descreveram a utilização do *ImmersiveTouch*^R software para medida de acurácia na instalação simulada de cateter de ventriculostomia. Recriaram uma cabeça humana baseados em um paciente real e mediram o desempenho de 78 residentes na realização do procedimento proposto. Concluíram que o *ImmersiveTouch* cria um ambiente de realidade virtual que reproduz a canulação do ventrículo lateral com um cateter ventricular virtual.

Gélinas-Phaneuf *et al.* (2014) sugerem que a expansão das técnicas dos simuladores de RV pode ter importante papel no futuro da Neurocirurgia (ALARAJ, *et al.*, 2011; GÉLINAS-PHANEUF *et al.*, 2014; MALONE *et al.*, 2010). Estes poderiam permitir pesquisas focadas nas pistas visuais, táteis ou outras que são usadas pelo neurocirurgião durante diversos procedimentos, ajudando a compreensão de como os neurocirurgiões realmente realizam as cirurgias (GÉLINAS-PHANEUF *et al.*, 2014).

Modelos sintéticos têm sido amplamente estudados, em especial para treinamento prático de Neuroendoscopia. Seguem os princípios da prática no bloco cirúrgico, incluindo proporcionalidade, profundidade, angulação, imobilidade da câmera para visão panorâmica e visão em espelho. Promovem informações necessárias para aquisição de habilidades básicas para rápida e adequada tomada de decisão, em um evento adverso no procedimento real (COELHO *et al.*, 2015).

Chan *et al.* Resumiram, em 2012, os principais simuladores descritos para uso em Neurocirurgia. Em 2014, Kirkman *et al.* publicaram revisão sistemática a esse respeito. Os modelos de simulação podem ser divididos em três classes: biológica, virtual e sintética. Os dados dos principais simuladores abordados são compilados a seguir (ALOTAIBI *et al.*, 2015b; ANDREWS; BRINGAS, 1993; CHAN *et al.*, 2013; KIRKMAN *et al.*, 2014).

3.1 Modelos virtuais

3.1.1 Treinamento de tarefas parciais (específicas)

Característica: foca na replicação de um aspecto particular do procedimento (uma tarefa técnica isolada).

Objetivo: auxiliar aquisição de habilidades técnicas, psicomotoras e de procedimento isoladas.

Benefícios: *software* e *hardware* customizados. Validação simplificada. Aquisição da habilidade rapidamente.

Limitações: limitado a uma única fase do procedimento.

Exemplo: treinamento de instalação de cateter ventricular. *Display* estereoscópico na mão do usuário. *ImmersiveTouch^R system*, desenvolvido pela Universidade de Chicago.

FIGURA 1 - *ImmersiveTouch^R* system, desenvolvido pela Universidade de Chicago



À esquerda: O sistema em operação. À direita: Inserção simulada do cateter de ventriculostomia.
Fonte: Kirkman *et al.* (2014).

3.1.2 Simuladores virtuais de procedimento

Característica: réplica múltiplos passos sequenciais que são encontrados dentro da sala de cirurgia.

Objetivo: raciocínio cognitivo para realização de intervenção cirúrgica, incorporando respostas fisiológicas e achados anatômicos, que podem influenciar nas decisões intraoperatórias.

Benefícios: permite simular situações variadas com desfechos imprevisíveis; integra percepção háptica com um sistema de rastreamento da mão e da cabeça; foi validado para ventriculostomia e para treinamento de ressecção de tumores cerebrais.

Limitações: utilização restrita de instrumentais como eletrocautério bipolar, aspirador e microtesoura. Alto custo. Uso limitado a grandes centros de treinamento.

Exemplo: NeuroTouch, desenvolvido pelo *National Research Council* (Canadá) associado ao Centro de Pesquisa e Treinamento em Simulação Neurocirúrgica no Hospital e Instituto Neurológico de Montreal.

FIGURA 2 - Componentes do NeuroTouch



Estereoscópio (a), sistemas hápticos (b), suplementos de energia e amplificadores para os sistemas hápticos (c), computador (d)
Fonte: Delorme *et al.* (2012).

3.1.3 Plataformas de ensaio cirúrgico

Característica: utilização de imagens holográficas.

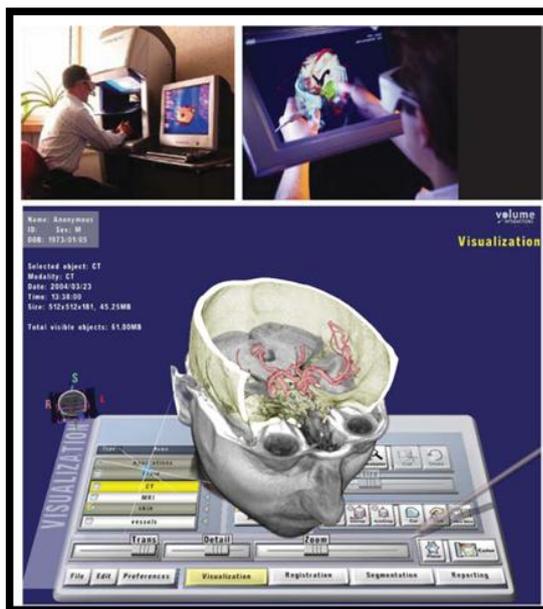
Objetivo: auxiliar na determinação do acesso cirúrgico mais efetivo para cada caso.

Benefícios: capacidade de fusão de dados de imagens multimodais. Apresenta informações em visualizações cirúrgicas interativas em terceira dimensão (3D). Permite experimentar diferentes acessos e avaliar riscos potenciais, em 3D. Inclui um sistema de planejamento chamado VIVIAN.

Limitações: não possibilita vivência em tempo real de situações extremas, como hemorragias. Não treina habilidades hápticas, nem uso de instrumentais cirúrgicos. Não permite manipulação do tecido cerebral.

Exemplo: Dextroscope (Bracco AMT, Princeton, New Jersey).

FIGURA 3 – Sistema Dextroscope: usado para determinar qual a via cirúrgica mais efetiva para determinado paciente



Acima à esquerda: console e computador. Acima à direita: detalhe da imagem gerada em 3D. Abaixo: visão da fusão de imagens de um paciente específico. Fonte: Chan *et al.* (2013).

3.1.4 Neurocirurgia robótica

Característica: treinamento do uso do "neuroArm", compatível com ressonância magnética, guiado por imagem. Robô neurocirúrgico teleguiado.

Objetivo: treinamento específico para Neurocirurgia Robótica.

Benefícios: ambiente virtual desenhado para uso no console master ou interface com o cirurgião, para cirurgia robótica.

Limitações: alto custo.

Exemplos: sistema daVinci *Surgical System* (Intuitive Surgical, Sunnyvale, California) e *dv-Trainer* (Mimic Technologies, Seattle, Washington)

FIGURA 4 - Sistema dv-Trainer: auxilia o cirurgião a desenvolver destreza e habilidades necessárias para operar com sistemas robóticos reais



A imagem mostra a plataforma de simulação de treinamento de tarefas e procedimentos para cirurgia robótica minimamente invasiva. À esquerda: cenário do procedimento. Centro: console. À direita acima: cenário de procedimento. À direita abaixo: detalhe das manetes de manipulação.
Fonte: Chan *et al.* (2013).

3.1.5 Visualização e computação gráfica

Característica: replicação fotográfica de imagens cirúrgicas em 3D, inseridas em simulador computadorizado.

Objetivo: ensino da compreensão visuoespacial e manipulação de ilustrações da anatomia e patologia.

Benefícios: realismo das imagens virtuais fotográficas, em 3D.

Limitações: alto custo, qualidade limitada dos ambientes virtuais criados até o momento.

Exemplo: digitalização fotográfica (FIG. 6)

3.1.6 Interfaces hápticas e renderização

Característica: dispositivos hápticos caracterizados por uma série de forças e formas de espaço de trabalho.

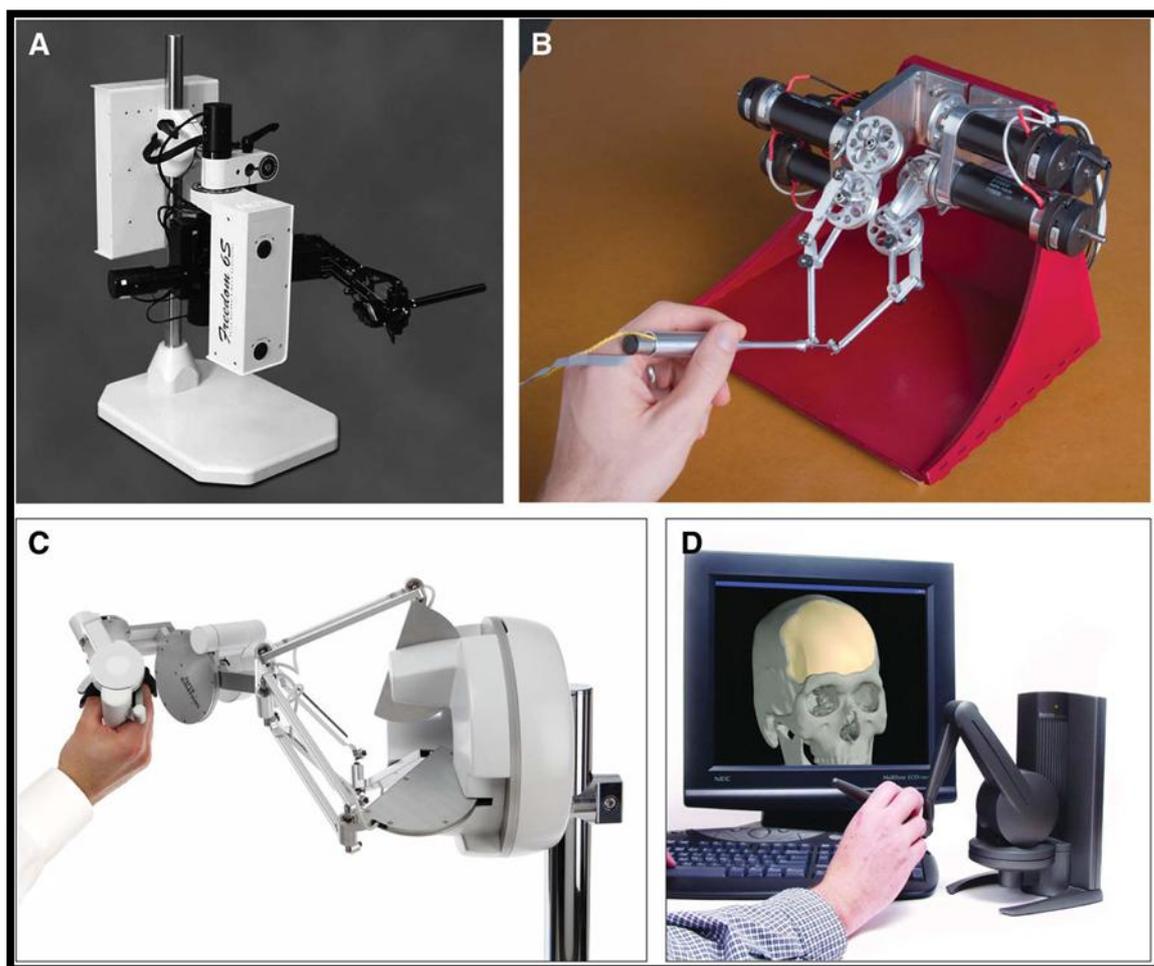
Objetivo: demonstrar a força física exercida nos objetos conectados entre o sistema de simulação e o operador do modelo.

Benefícios: pode simular vibrações de um *drill*.

Limitações: limitado grau de liberdade de movimento dentro do espaço de trabalho do sistema. Alto custo. Alta complexidade: desafio computacional. Utilização muito limitada.

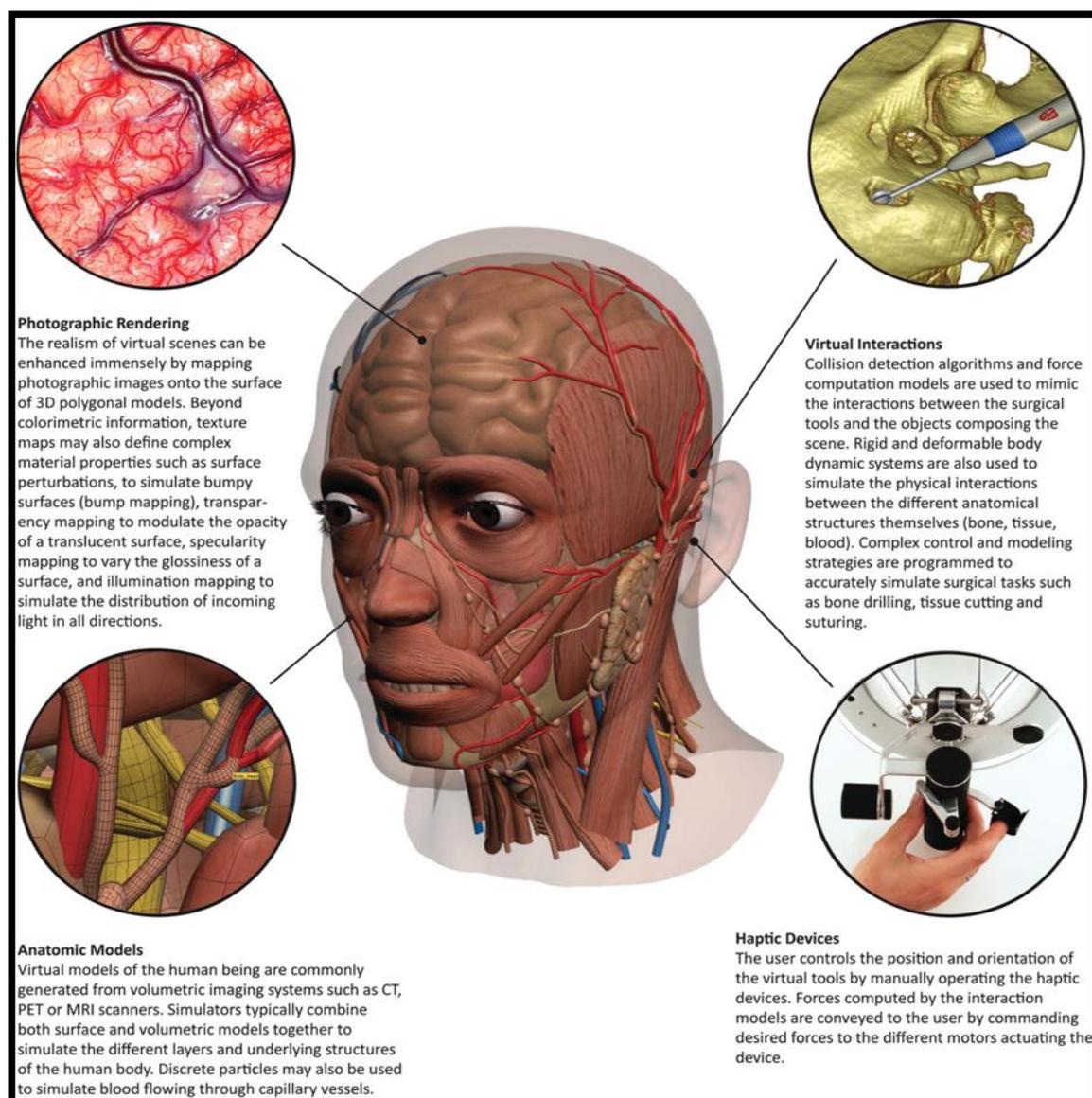
Exemplo: FIG. 5.

FIGURA 5 - Sistemas utilizados em simulações hápticas, com graus de liberdade de força variada



5A: Freedom6S (MPB). 5B: MicroDevice (Stanford University). 5C: Sigma.7 (Force Dimension). 5D Phantom (Sensable Technologies).
Fonte: Chan et al. (2013).

FIGURA 6 - Exemplos de modelos de simulação: fotográfico, anatômico, virtual e háptico



Fonte: Chan *et al.* (2013).

3.1.7 Simuladores físicos

Característica: simulação espacial de imagem em 3D.

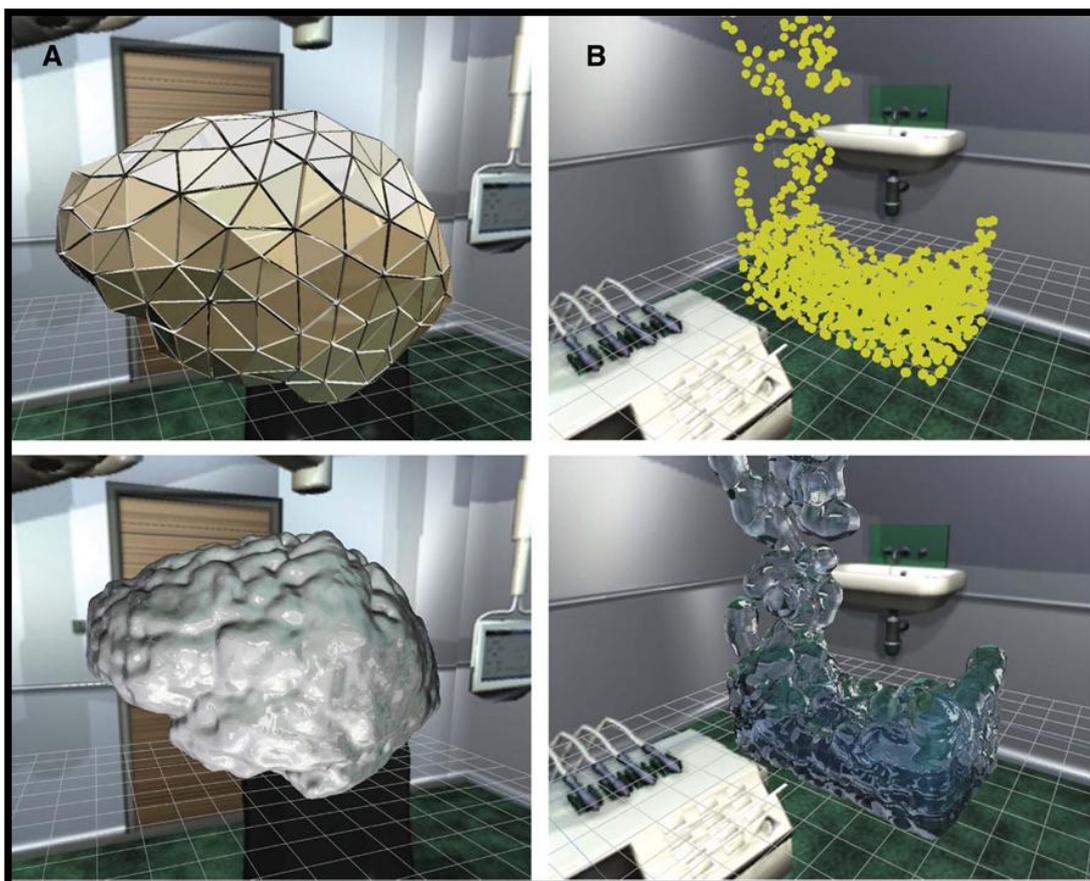
Objetivo: réplica à resposta biomecânica da anatomia em tempo real, como se manipulada pelo cirurgião e simulando o comportamento de fluidos, como irrigação e sangramento.

Benefícios: permite simulação com alta resolução de imagem.

Limitações: modelos detalhados e de alta fidelidade técnica usados para filmes de animação são pouco práticos para simulação interativa. As aproximações usadas em videogames são grosseiras para simulação cirúrgica. Propriedades de medidas biomecânicas não podem ser aplicadas prontamente aos modelos, o que torna difícil calibrá-los de modo a produzir resultado fisicamente plausível.

Exemplo: FIG. 7.

FIGURA 7 - Simulação física de partículas deformáveis de fluidos



7A: Simulação de elemento finito. 7B: simulação hidrodinâmica de tecido deformável e líquidos.
Fonte: Chan *et al.* (2013).

3.2 Modelos sintéticos (modelos anatômicos)

Característica: propriedades morfométricas, ópticas e físicas da anatomia podem ser medidas usando-se várias imagens, fotografias ou vias mecânicas ou serem trabalhadas por um artista técnico, similar aos ilustradores de livros-textos de anatomia.

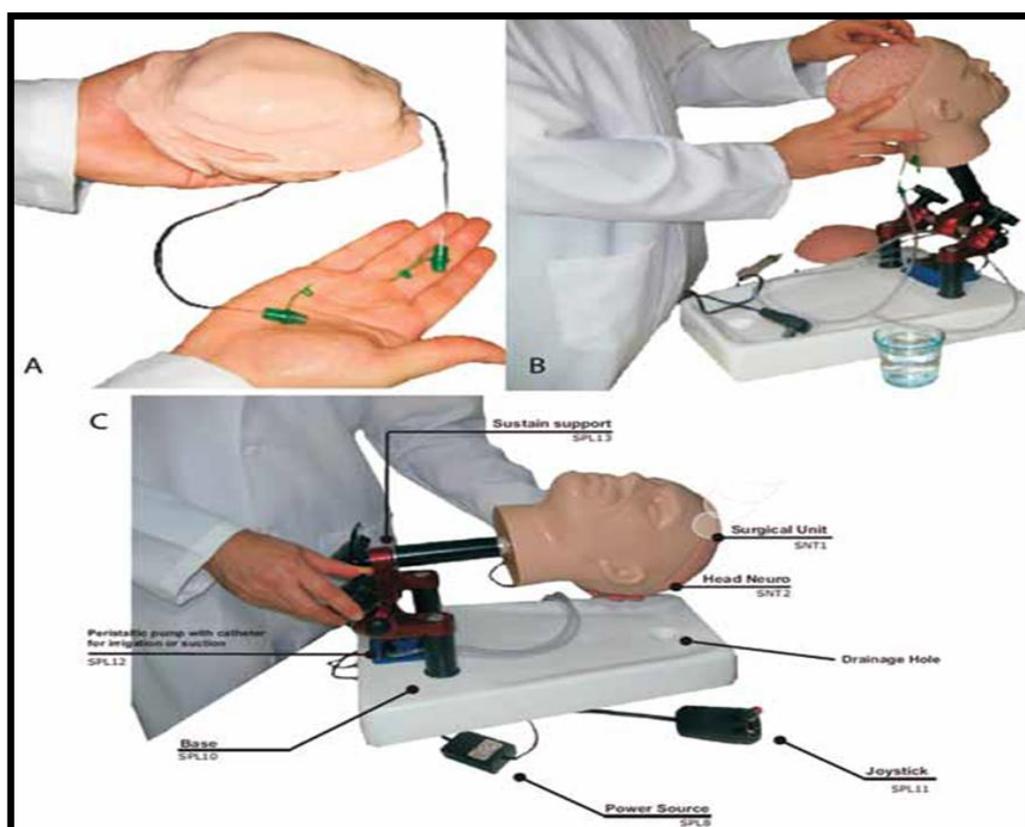
Objetivo: treinamento e melhoria da *performance* cirúrgica na remoção de tumores intraventriculares simulados e realização de terceiroventriculostomia. Simulam as diferentes estruturas e camadas do crânio, virtualmente ou com manequins.

Benefícios: OMeR mode I- modelo de cabeça, que recebeu parecer positivo no aprendizado de relações neuroanatômicas e despertou interesse neurocirúrgico em acadêmicos de Medicina.

Limitações: destacam-se as limitações na recriação de consistência e textura no modelo de tumor intraventricular (SIMONT). Modelos manufaturados manualmente são difíceis e consomem muito tempo para criar. Reprodução muito artificial da anatomia. Alto custo.

Exemplo: *Sinus Model Oto-Rhino Neuro Trainer* (SIMONT), o OMeR model (ONO & Co. Ltd.) é um elenco de sistema ventricular conhecido como *Model Magic* (Crayola).

FIGURA 8 - Modelo de simulação sintético



8A: Módulo de treinamento do neuroendoscópio. 8B: Crânio de fibra de vidro e camada de borracha. 8C: modelo pronto para uso - SIMONT.

Fonte: Vaz *et al.* (2011).

3.3 Modelos biológicos

3.3.1 Animais vivos

Característica: treinamento cirúrgico em animais vivos.

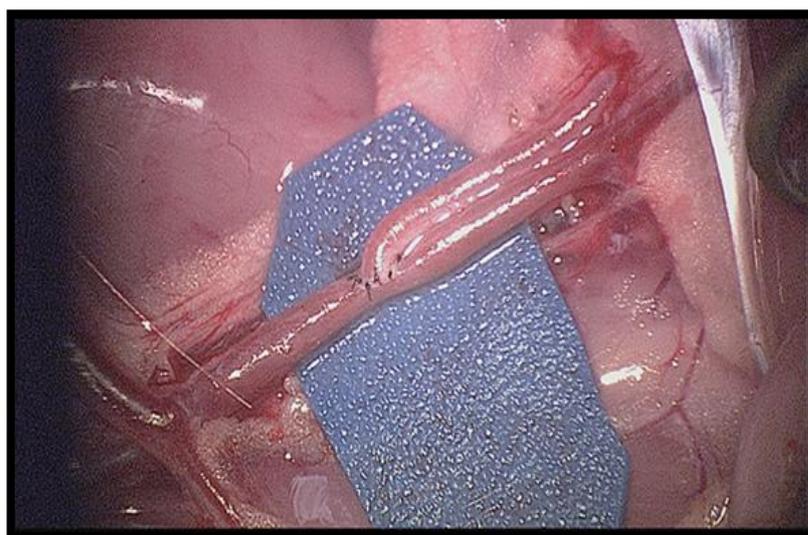
Objetivo: nos modelos vivos, procedimentos de reconstrução (anastomoses vasculares) e treinamento de craniotomias e lesões cerebrais traumáticas são descritos.

Benefícios: permite ocorrência e reconhecimento de erros precocemente, antes que o aprendiz inicie a prática cirúrgica em ambiente de bloco cirúrgico. Repetição de atividades melhora o desempenho cirúrgico. Permite recriar situações catastróficas, como sangramento ativo.

Limitações: restrições à utilização de animais vivos. Envolve aspectos éticos e dificuldade de liberação dos comitês de ética e pesquisa. Restrições financeiras à abertura e manutenção de laboratórios de alta complexidade tecnológica e adequação à criação de animais. Necessidade de procedimentos anestésicos e intubação e ventilação dos animais.

Exemplo: ratos e porcos.

FIGURA 9 - Modelo de anastomose vascular, em ratos



Fonte: Shurey *et al.* (2014).

3.3.2 Modelos cadavéricos

Característica: dissecação e manuseio em cadáveres humanos e animais.

Objetivo: os modelos animais não vivos visam à aquisição de conhecimentos básicos sobre manuseio do microscópio e de instrumental cirúrgico. Permite aprendizado de técnicas de sutura e anastomose microcirúrgica. Grande utilização em cadáveres humanos para treinamento de implante de instrumentais em coluna e crânio. Proporciona aprendizado de anatomia.

Benefícios: treinamento de acessos e implante de instrumentais cirúrgicos. Familiarização com a anatomia normal e com as relações entre as estruturas anatômicas.

Limitações: dificuldades de aquisição e manutenção de cadáveres humanos.

Exemplo: asas de frango ou peru. Modelos humanos. Modelos de cervo (crânio e coluna). Cadáveres suínos.

3.3.3 Modelo ex vivo

Característica: placenta humana demonstrou-se modelo *ex vivo* de alta fidelidade.

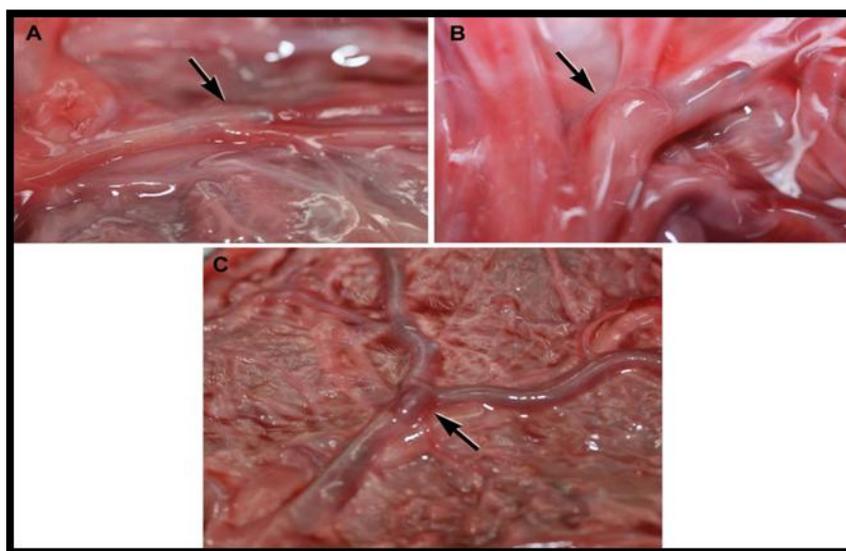
Objetivo: treinamento microcirúrgico do manuseio de instrumentais cirúrgicos. Permite simulação de sangramento ativo e treinamento do uso de eletrocautério bipolar.

Benefícios: baixo custo, facilidade de aquisição, alta reprodutibilidade.

Limitações: não permite uso de aspirador ultrassônico. Não permite simular microvasculatura. Risco de contaminação biológica.

Exemplo: placenta humana usada para treinamento em aneurismas e cirurgia endovascular.

FIGURA 10 - Modelo de placenta humana para simulação de microcirurgia em aneurismas



Fonte: Oliveira Magaldi *et al.* (2014).

3.4 Modelos híbridos

Características: representam a utilização de dois dos modelos anteriores num mesmo exercício de simulação.

Objetivo: treinamento de técnicas microcirúrgicas e estudo da anatomia.

Benefícios: consistente com a anatomia e utilização de dissectores e microtesouras, estudo anatômico preciso.

Limitações: não simula sangramento, risco de contaminação biológica.

Exemplo: cadáver humano submetido à injeção de polímero para simular tumor.

3.5 Ultrassonografia intervencionista

O uso de US transoperatório está bem estabelecido na literatura. Oferece valiosa informação em tempo real acerca da localização, tamanho, relações vasculares e com estruturas adjacentes no cérebro e medula espinhal, assim como em outros órgãos. Auxilia a realização de punções vasculares, venosas ou arteriais. Em Neurocirurgia, pode ser usado para ajustar o deslocamento cerebral e detectar

eventos intraoperatórios desagradáveis, como hemorragia e hidrocefalia. Facilita a identificação de margens críticas do tumor e permanência não intencional de resíduos tumorais. É disponível, conveniente, barato, rápido e fácil de usar, sendo uma alternativa mais prática que a RM peroperatória, que tem alto custo e disponibilidade limitada (KOIVUKANGAS; KELLY, 1986; UNSGAARD *et al.*, 2002). Por outro lado, apresenta algumas limitações: preocupações com a qualidade da imagem e orientação espacial no uso de US em duas dimensões (2D) plano.

Artefatos de imagem durante a ressecção podem comprometer a qualidade da imagem gerada, principalmente por hemorragia e manipulação tecidual, que reduzem a especificidade e o valor preditivo positivo da US. Não apresenta informação funcional nem eletrofisiológica. Resultados e interpretação são dependentes do manuseador do aparelho. Como benefícios, descrevem-se ser opção para melhorar a orientação intraoperatória em tempo real, versatilidade, baixo custo e a ausência de radiação, comparativamente a outras modalidades de imagem. Necessita de uma curva de aprendizado para orientação da imagem (D'AMICO; KENNEDY; BRUCE, 2014). Os sistemas de neuronavegação têm aplicações semelhantes às do US intervencionista, porém são de alto custo e não disponíveis em todos os locais que prestam atendimento neurocirúrgico (ROSELLI *et al.*, 1993; KOIVUKANGAS; KELLY, 1986; VAN VELTHOVEN; AUER, 1990).

A utilização de ultrassonografia intervencionista em Neurocirurgia tem ganhado espaço nas últimas décadas. Na década de 1970, o uso de imagens de US tornou-se comercialmente viável e esperava-se grande utilidade em Neurocirurgia, porém a qualidade técnica das imagens acabou por limitar seu uso (UNSGAARD *et al.*, 2002). Com o tempo e desenvolvimento de aparelhos de US de alta resolução, observou-se melhoria na qualidade de imagem, permitindo informações sobre a lesão em tempo real no pré, per e pós-operatório. Com isso, a US tornou-se ferramenta cada vez mais importante em Neurocirurgia. As principais aplicações consolidadas para seu uso em Neurocirurgia são guiar o implante de derivações ventriculares, biópsia não estereotáxica de tumores cerebrais e cirurgias na medula espinhal, além de drenagem de cistos e aspiração

de hematomas (CHANDLER; KNAKE, 1983; MERRITT; COULON; CONNOLLY, 1983).

Algumas subespecialidades da Neurocirurgia, como pediátrica e oncológica, utilizam-se da US intervencionista mais que outras (KOIVUKANGAS; KELLY, 1986; UNSGAARD *et al.*, 2002). A US peroperatória diminui taxas de complicação e morbidade, melhora o tempo de cirurgia e diminui o dano tecidual (UNSGAARD *et al.*, 2002). A ultrassonografia permite identificar a lesão no peroperatório, caracterizá-la, determinar seu tamanho, distância da superfície, melhorar o acesso à lesão, identificar relações anatômicas e definir vascularização (EPSTEIN; FARMER; SCHNEIDER, 1991; ROUX *et al.*, 1983). Atualmente, tem se mostrado como método especialmente efetivo e confiável no tratamento cirúrgico de tumores cerebrais (CHACKO *et al.*, 2003), infiltrativos ou não ao parênquima encefálico; de alto ou baixo grau de malignidade (FASANO *et al.*, 1983).

A US é uma técnica útil para definir as bordas entre o tumor e tecido cerebral normal, seja através da dura-máter ou da superfície cerebral, antes da ressecção, e consegue evidenciar lesão residual tão bem quanto a RM pós-operatória, assim como ajudar a definir melhor via de acesso, diminuindo o tamanho das craniotomias (GRODE; KOMAIKO, 1983; ROSELLI *et al.*, 1993). Representa grande ajuda quando a lesão não é visibilizada na superfície cerebral (KOIVUKANGAS; KELLY, 1986). A sensibilidade da US peroperatória para gliomas é de 80,1% e a especificidade de 69,8% (FASANO *et al.*, 1983). Permite alta acurácia (CHANDLER; KNAKE, 1983; ROSELLI *et al.*, 1993).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (ANEXO A).

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG, no período de junho de 2014 a fevereiro de 2017. O termo de consentimento autorizando a utilização da placenta para a prática microcirúrgica foi obtido das gestantes momentos antes do parto, sob supervisão do orientador da pesquisa (APÊNDICE B). Após a análise patológica da placenta e certificação da ausência de doenças infectocontagiosas da gestante, a placenta (oriunda de parto a termo) era encaminhada ao laboratório e armazenada no refrigerador, até ser processada para desenvolvimento da pesquisa.

Foram preparadas 40 placentas para uso como modelo de simulação *ex vivo* para tumores cerebrais; 16 na fase inicial do estudo, para avaliar o treinamento de habilidades microcirúrgicas. Na fase seguinte, 24 placentas foram utilizadas para simulação de aspiração de cisto, biópsia e canulação vascular, guiadas por US. Imediatamente após tratar as placentas, com limpeza e retirada de coágulos, foi injetada solução de silicone-catalisador. Esse procedimento não gastou mais do que 30 minutos (OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2015). Após o preparo, as placentas foram armazenadas sob refrigeração a 5°C, por 24 horas, o que permitiu o endurecimento do silicone, transformando-se de uma substância pastosa em uma massa sólida.

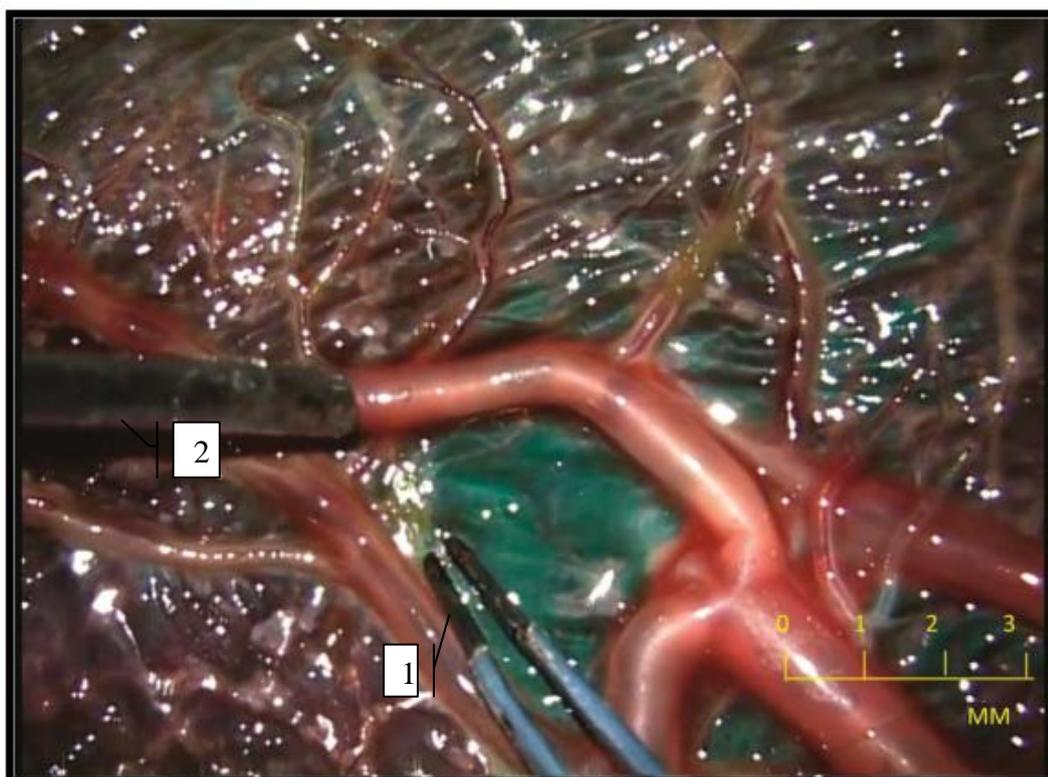
4.1 Preparação da placenta

A placenta possui duas artérias principais e uma veia que entram pelo cordão umbilical. O cordão umbilical pode ser central ou periférico, de acordo com a posição de entrada no parênquima placentário (MALHEIROS, 2015).

Após cateterização do cordão umbilical (cateter vesical de alívio, número 6F ou 8F) e fixação do cateter com fio de seda 0, pré-cortado, por amarradura simples, procedeu-se à lavagem dos vasos placentários com solução salina isotônica, durante 15 minutos, para remoção de sangue e coágulos. A pressão do fluxo de salina necessária para lavagem deve ser entre 70 e 90 mmHg, medida no esfinomanômetro (MALHEIROS, 2015; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2015). Fluxo para realização de doppler era conseguido pela compressão e relaxamento do esfinomanômetro a cada segundo (60 compressões por minuto), simulando pulsação.

A FIG. 11 mostra a aparência típica altamente vascularizada da membrana alantóidea que cobre o estroma dos modelos placentários. Esses numerosos vasos foram evitados durante a injeção de silicone no estroma placentário, visando produzir um tumor cerebral simulado. O silicone utilizado foi o *Dow Corning 3110 RTV Silicone Rubber* e o catalisador *Daltocat 60 N*.

FIGURA 11 - Visão microscópica do eletrocautério em pinça bipolar (1) sendo utilizado para identificar o limite entre o tumor e o estroma placentário



O número 2 identifica o aspirador. Note-se a membrana alantoidea altamente vascularizada.
Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

4.2 Modelo de tumor cerebral

Agulha hipodérmica 25x7 mm foi usada para injetar lentamente a solução de silicone (cerca de 1 mL a cada sete segundos), 2 mm abaixo da superfície do estroma placentário. Solução de silicone verde-catalisador em diluição de 7:1 foi usada para reproduzir uma massa tumoral endurecida e com limites bem definidos entre o tumor e o tecido adjacente. Os tumores simulados eram visibilizados sob a superfície placentária pela diferente coloração e as bordas tumorais eram facilmente percebidas sob iluminação microscópica (FIG. 11). A injeção de soluções com mais silicone e menos catalisador resulta em um tumor mais infiltrativo dentro do estroma placentário, em suas trabéculas e vasos, simulando tumores difusos do cérebro, sem bordas definidas. Soluções contendo mais catalisador e menos silicone tendem a formar um material de consistência mais sólida e compacta, resultando em uma lesão simulada com limites mais definidos e bordas mais precisas, como acontece nos tumores cerebrais benignos.

Após a injeção do silicone que produziu o tumor simulado, uma artéria do cordão umbilical foi canulada com sonda vesical de alívio 6F ou 8F, sendo perfundida continuamente pela infusão (bombeamento) de solução salina colorida com tinta tempera guache Acrilex PO, vermelho fogo 507, simulando sangue arterial - 5 gramas de tinta para cada litro de solução salina (OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014). Devido à alta vascularização do estroma placentário, todos os tumores simulados eram circundados por múltiplos vasos arteriais e venosos.

4.3 Cenários de simulação

Como cenário cirúrgico, era usada uma bancada contendo a placenta já preparada sobre um campo cirúrgico e os instrumentais necessários à microdissecção da lesão (microtesoura, microaspirador, pinças, eletrocautério bipolar), acoplada ao microscópio, marca DF Vasconcelos, com lente de foco 300 mm, com binóculo inclinável.

Foram avaliados três cenários neste estudo:

- a) Tempo necessário para ressecção microcirúrgica completa do tumor, em minutos;
- b) tempo necessário para cauterizar um vaso de 1,5 mm de espessura, advertidamente lesado para simular sangramento ativo, em minutos;
- c) tempo necessário para suturar uma parede lesionada de vaso de 2,0 mm, em minutos.

Nos cenários de ressecção de tumores cerebrais utilizando o modelo *ex vivo* em estudo, com placenta humana, foram propostos exercícios de simulação visando à aquisição de habilidades específicas, aprendizado de atividades definidas e avaliação do grau de dificuldade, utilizando estruturas placentárias específicas. Nosso objetivo era a reprodução da técnica microcirúrgica realizada em procedimentos reais, com utilização de instrumentos e microscópio idênticos aos disponíveis nas salas de cirurgia.

4.3.1 Simulação da abertura da aracnoide, pia-máter e cortical: dissecação da membrana alantóidea

Essa etapa inicial envolvia a manipulação de tecido normal. Visava à adaptação do aprendiz ao campo de treinamento e à definição de objetivos antes da abordagem da lesão simulada. O objetivo nesse momento foi a identificação da membrana alantóidea como simulador da abertura aracnoide-pia-cortical e adequação aos instrumentos e microscópio. Com a abertura dessa membrana, foi avaliada a aquisição de habilidades hápticas para utilização do eletrocautério em pinça bipolar, bisturi e tesouras microcirúrgicas, sob visão microscópica. Considera-se essa atividade com um grau de dificuldade moderado. A FIG. 12 ilustra essa atividade.

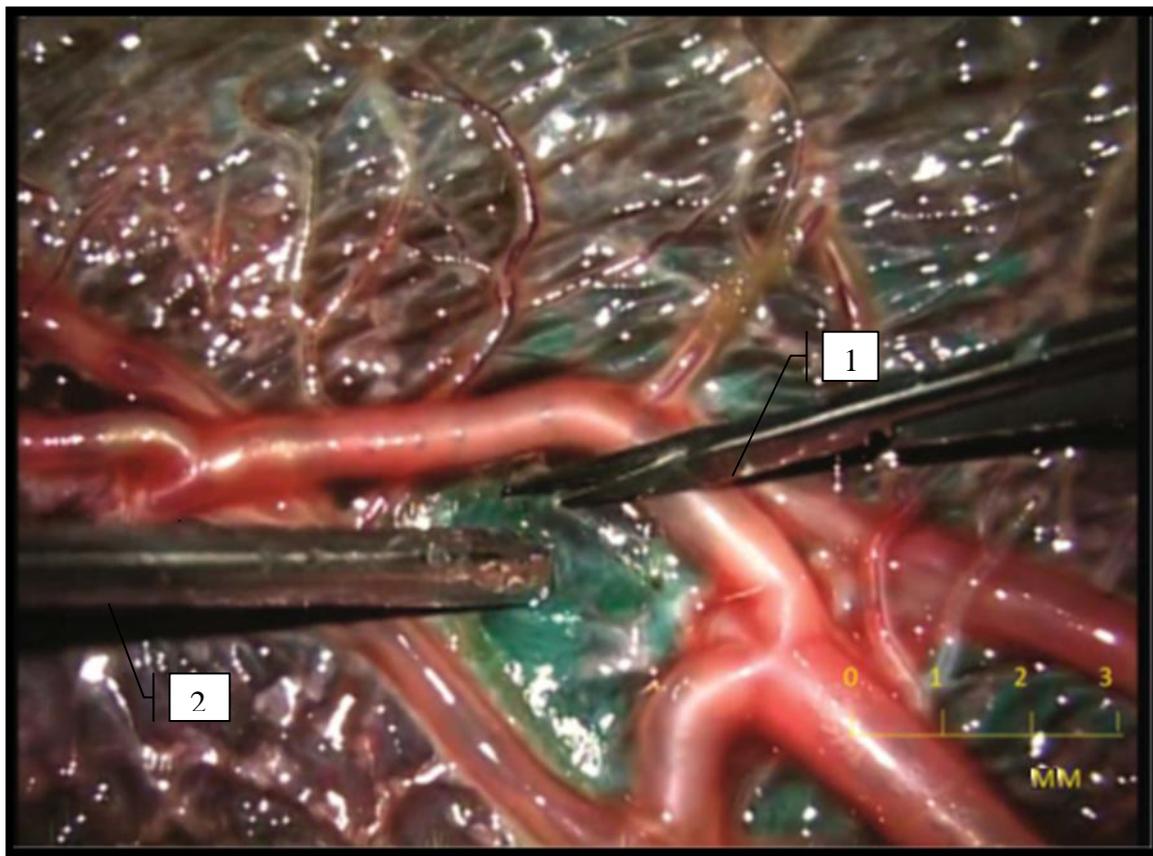
4.3.2 Utilização do aspirador

A utilização do aspirador visa ao aprendizado e à prática de seu manuseio, simulando sucção acidental de estruturas não desejadas durante a ressecção do tumor. Permite ao aprendiz perceber que a oclusão total ou parcial do orifício do aspirador promove diferentes graus de sucção. E possibilita-lhe familiarizar-se com seu uso, percebendo as forças e níveis de sensibilidade tátil necessárias à realização da sucção e aprendizado do controle da pressão de sucção, intercalando exercício de microdissecção com aspirador e sucção do sangue artificial (FIG. 12 e 14).

4.3.3 Utilização de microtesouras

Permite adequação ao peso e forma do instrumental e simulação de secção delicada de estruturas e treinamento do reparo vascular microcirúrgico (FIG. 12).

FIGURA 12 - Abertura da membrana alantóidea, utilizando microtesoura (1) e microaspirador (2), na simulação de remoção de tumor cerebral com modelo de placenta humana

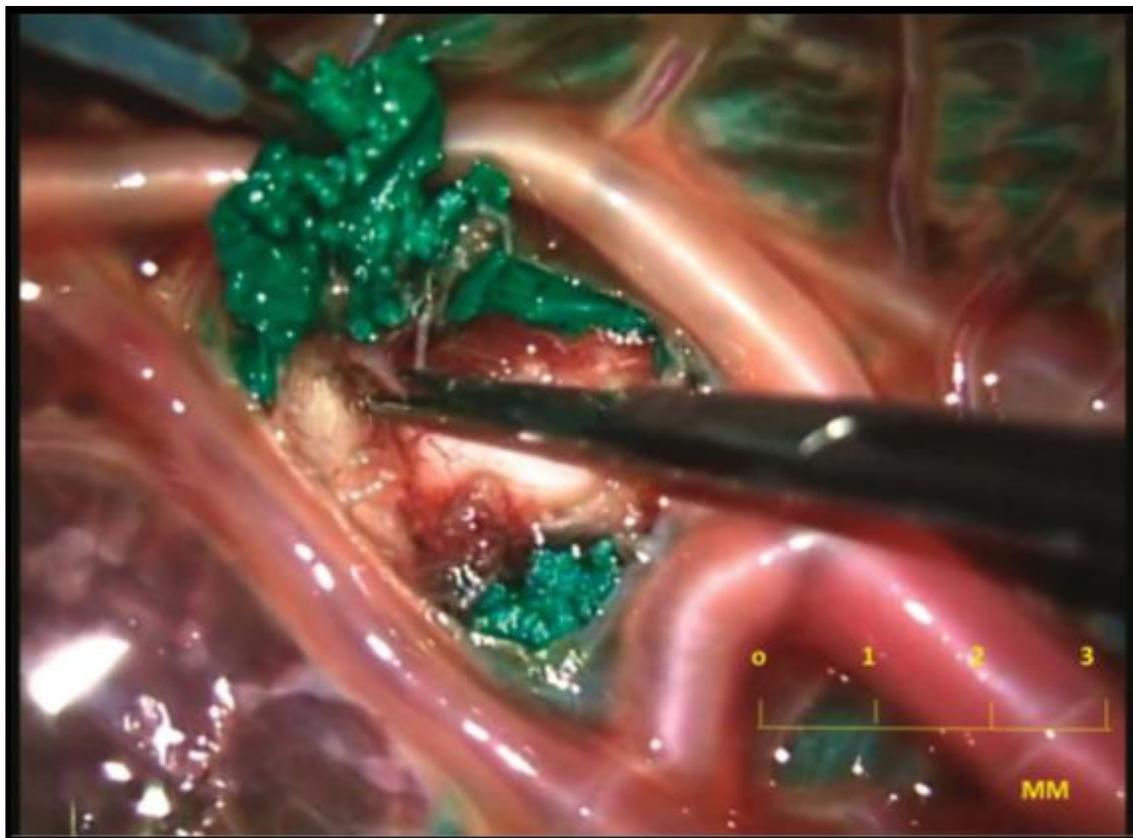


Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

4.3.4 Simulação do esvaziamento e remoção tumoral

Nessa etapa, considerada de alto grau de dificuldade, visou-se à realização de movimentos finos com instrumentos microcirúrgicos, com a ressecção do tumor criado pela injeção de silicone no estroma placentário. Todos os participantes treinaram o uso de espátulas e retratores tipo Leyla, para identificação de lesão de estruturas adjacentes ao tumor simulado e percepção da pressão e força que são exercidos pelos instrumentais, sobre o tecido normal. O tempo necessário para finalização da remoção tumoral foi contabilizado em minutos (FIG. 12 e 13).

FIGURA 13 - Ressecção de tumor cerebral usando simulação microcirúrgica, pela qual o tumor pode ser visto com coloração verde e com pontos de aderência à placenta



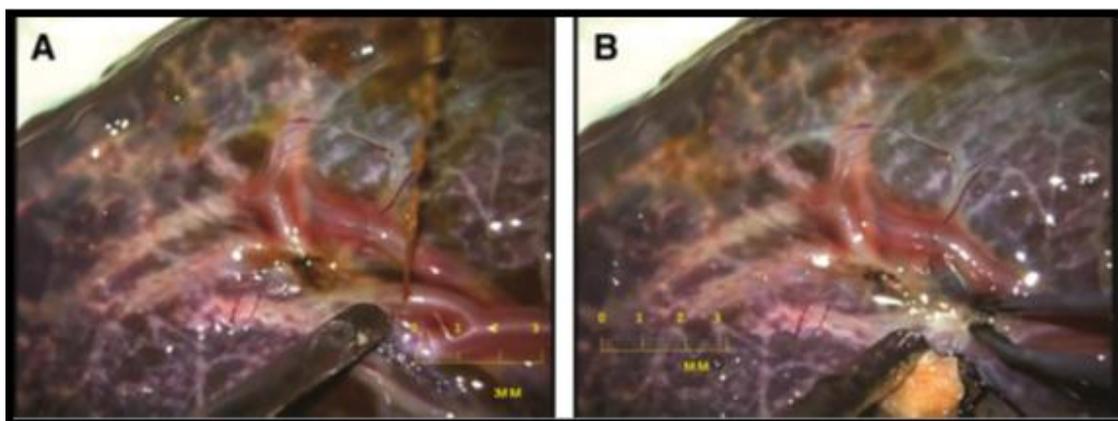
Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

4.3.5 Simulação da cauterização vascular, utilizando eletrocautério em pinça bipolar

Para essa fase do estudo, o estroma placentário e vasos da superfície foram perfundidos com soro fisiológico tingido em vermelho fogo (tinta tempera Acrilex PO, 507 - 5 g para cada litro de solução salina), para permitir a simulação de sangramento arterial. Através da artéria cateterizada com sonda vesical de alívio 6 FR ou 8 FR e preenchidas por soro, realizou-se o bombeamento do soro sob pressão (compressão pelo esfigmomanômetro) e provocou-se a lesão vascular (com microtesoura), com o intuito de medir o tempo necessário para coagulação vascular com bipolar. O aprendizado desejado é o manuseio delicado do eletrocautério em pinça bipolar sob visualização microscópica e considerou-se

essa atividade como grau moderado de dificuldade. Como se trata de modelo *ex vivo* de tecido humano, cauterização é possível, pois o eletrocautério promove a desidratação celular. A FIG. 14 ilustra o resultado da coagulação de um vaso placentário.

FIGURA 14 - Simulação da cauterização vascular utilizando coagulador bipolar, sob visão microscópica



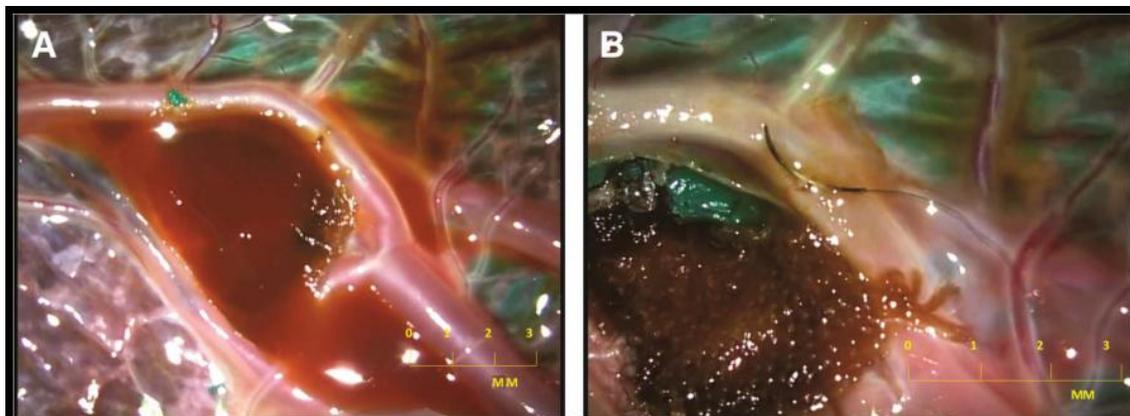
14A- sangramento simulado e uso de aspirador; 14B- resultado da cauterização do vaso placentário.

Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

4.3.6 Simulação de sutura vascular sob microscopia

Para esse último exercício, foram usados vasos placentários medindo 1 a 4 mm de espessura. Essa atividade exigia aptidão mais acurada e habilidades mais desenvolvidas, com alto grau de dificuldade. O objetivo é o controle de sangramento maciço, com a realização de microssutura, sob visão microscópica. Para fins de avaliação estatística, considerou-se o tempo gasto para sutura em vasos de 2 mm de espessura, conforme demonstrado na FIG. 15.

FIGURA 15 - A- Visão microscópica de simulação de lesão vascular com sangramento associado. B- Simulação do reparo da lesão vascular, utilizando sutura com agulha e fio nylon 9.0



Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

4.4 Método de validação

A validação de tipo “face” avalia a similaridade entre o simulador e o que se quer simular, ou seja, se a experiência com o simulador é semelhante à intervenção real. A de tipo “conteúdo” avalia a capacidade do simulador em realizar todas as etapas usualmente realizadas no procedimento em questão (cenário clínico-cirúrgico), ou seja, a utilidade da ferramenta de treinamento em alcançar seu objetivo. Por outro lado, o “constructo” mede a diferença estatística no tempo de execução da tarefa, entre iniciantes e experientes, ou seja, a habilidade do instrumento estudado em diferenciar o nível de experiência do cirurgião (CHOUDHURY *et al.*, 2013; GÉLINAS-PHANEUF *et al.*, 2014; HUNG *et al.*, 2011; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2015).

Outra ferramenta de validação descrita em simuladores cirúrgicos é o “concorrente”: objetiva demonstrar se as habilidades adquiridas no uso do simulador refletem-se no desempenho do cirurgião na sala de cirurgia (GÉLINAS-PHANEUF *et al.*, 2014).

4.4.1 Validação do modelo placentário para simulação de ressecção de tumores cerebrais

Recrutamos oito neurocirurgiões experientes e oito residentes para este estudo. Eram considerados experientes os neurocirurgiões que realizassem no mínimo duas ressecções tumorais ao mês nos últimos dois anos. Residentes novatos eram aqueles que nunca haviam ressecado um tumor cerebral utilizando técnica microcirúrgica. Cada participante usou técnicas padronizadas de microcirurgia para remover os tumores cerebrais simulados, coagular e/ou suturar vasos sanguíneos lesados.

Para estimar a validação de tipo “face e conteúdo”, cada neurocirurgião experiente avaliou as tarefas realizadas, utilizando uma escala de cinco pontos de tipo Likert (GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013; HUNG *et al.*, 2011; LIKERT, 1932). A pontuação varia de 1 a 5:

- 5- Exatamente como na cirurgia real;
- 4- muito similar;
- 3- similaridade razoável;
- 2- pouco similar;
- 1- não similar.

Validação de “constructo” foi realizada com base no tempo para completar cada tarefa, comparando o grupo de residentes com o grupo de neurocirurgiões.

Análise estatística nessa etapa foi realizada utilizando-se o teste Mann-Whitney U, com $p < 0,05$ considerado significativo.

4.5 Placenta humana como modelo para US intervencionista

Utilizou-se o aparelho de ultrassonografia e doppler portátil marca Sonosite M-turbo^R, com sonda 13-6 MHz (FIG. 16 e 17).

Nessa fase do estudo, realizada entre setembro de 2016 e fevereiro de 2017, analisou-se inicialmente a percepção subjetiva dos neurocirurgiões em relação à sua *performance* na realização de US intervencionista. Foram convidados 30 neurocirurgiões, de seis serviços diferentes, com experiência de dois a 25 anos na especialidade, a participar da avaliação subjetiva e objetiva de seu próprio desempenho na realização de US intervencionista. Além destes, oito radiologistas, de quatro diferentes serviços, participaram da avaliação objetiva e proporcionaram a validação de "face e conteúdo" (grupo-controle ou experientes). Todos os médicos envolvidos assinaram, voluntariamente, termo de consentimento autorizando a publicação de suas respostas e resultados de desempenho, sendo garantido sigilo quanto à identificação dos participantes (APÊNDICE B).

Em cada simulação empregou-se uma caixa de papelão (simulando o crânio aberto) e duas placentas humanas, entre as quais se escondia uma lesão cística simulada, que consistia de um dedo de luva de látex, preenchido com 5 mL de soro fisiológico. A placenta mais superficial servia para simular o córtex cerebral, enquanto a placenta mais profunda era perfundida com solução salina colorida, simulando tecido cerebral mais profundo vascularizado e com uma lesão delimitada entre elas (FIG. 18 e 19). O dedo de luva era suturado à placenta inferior por um ponto com Vicryl^R 3.0 (FIG. 20). Abriu-se um orifício de 6 cm² na caixa de papelão, por onde o participante aplicava o probe do US (FIG. 21). O ultrassom era aplicado à superfície da placenta superior, obtendo-se imagem da lesão e, em seguida, procedendo-se à sua punção, com um cateter de punção tipo Jelco número 14F.

FIGURA 16 - Aparelho de US utilizado no estudo, marca SonoSite, M-Turbo



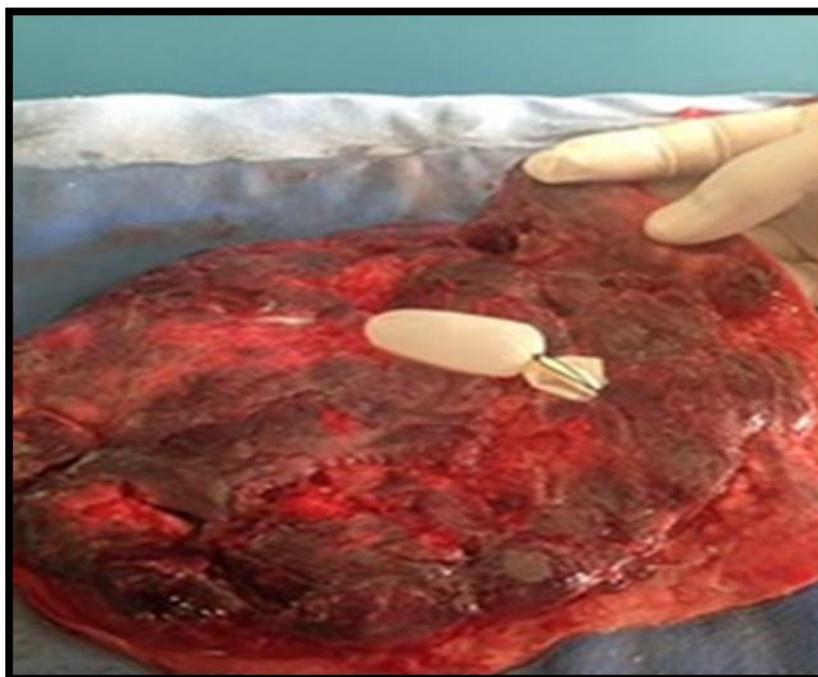
Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

FIGURA 17 - Exemplo de imagem obtida na simulação de lesão cística intracerebral



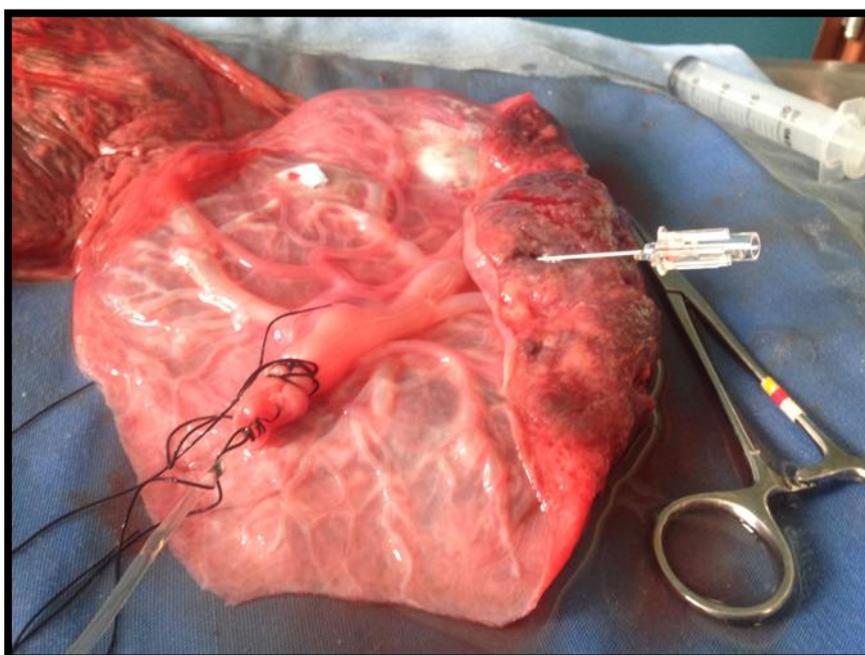
Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

FIGURA 18 - Simulação de lesão cística com um dedo de luva, preenchido por água e fixado à placenta humana



Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

FIGURA 19 - Simulação de perfusão, na placenta inferior



Cateter urinário instalado na artéria placentária.

Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

FIGURA 20 - Placenta sendo instalada na caixa de papelão



Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

FIGURA 21 - Fechamento da caixa de papelão, simulando uma área de craniotomia



Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

A validação de "face e conteúdo" foi realizada por oito radiologistas, com o propósito de avaliar o grau de similaridade entre a US no simulador *ex vivo* e em tecido vivo. Para validação tipo "face", responderam às questões estipuladas numa escala de cinco pontos de Likert. A avaliação de tipo "conteúdo" englobou os seguintes tópicos: manipulação do aparelho de US, achado da lesão com o US, achado de vaso próximo da lesão com o doppler US e acompanhamento da agulha de punção durante toda a simulação, até atingir o cisto.

Trinta neurocirurgiões responderam um questionário de avaliação subjetiva, em uma escala de cinco pontos de Likert, quanto a seu desempenho e habilidade em realizar procedimentos guiados por US. A graduação ia desde inapto a realizar US (um ponto), até experiente (cinco pontos). As seguintes perguntas foram realizadas: você utiliza a US de rotina em sua prática diária? Você se sente apto a realizar procedimentos guiados por US? Como classificaria seu desempenho ao realizar US intervencionista peroperatória?

A avaliação objetiva consistiu de realização de um procedimento de simulação no modelo proposto. O probe da US era coberto por uma luva de látex e gel era utilizado como condutor. Foram avaliadas cinco etapas nessa simulação: a) habilidade em manusear o aparelho de US (ligar, encaixe de fonte de energia, encaixe do probe); b) o achado da lesão e o tempo gasto nessa etapa; c) achado de um vaso próximo da lesão e o tempo gasto; d) habilidade em acompanhar a inserção da agulha de punção em todo o trajeto, até a lesão simulada; e) punção guiada da lesão cística. Todas as tarefas foram pontuadas como zero (se não executadas) ou um (tarefa executada).

4.6 Análise estatística

Foram obtidas medidas de média, desvio-padrão, mediana, intervalo interquartil e valores mínimo e máximo dos dados subjetivos e objetivos dos neurocirurgiões. Análise estatística foi realizada utilizando-se os testes *t* e Wilcoxon, respectivamente, para comparação de médias e medianas entre os escores subjetivos dos neurocirurgiões. Análise multivariada de variância (MANOVA) foi

conduzida para correlacionar os escores objetivos e itens específicos dos escores. Testes F e traço de Pillai foram usados para encontrar a percentagem de cada item do escore.

5 RESULTADOS

O modelo de placenta humana (MPH) na simulação de remoção tumoral foi avaliado pelos critérios de "face e conteúdo", por oito neurocirurgiões experientes e oito residentes. As tabelas com os dados individuais dos iniciantes e experientes testados estão no APÊNDICE A. Num primeiro momento, em 2015, publicamos artigo (APÊNDICE D) que contemplava os resultados comparativos entre iniciantes e experientes, nos critérios de validação de "face e conteúdo". Com o desenvolvimento desses critérios de validação, atualmente acreditamos que residentes com pouca experiência prática não seriam ideais para avaliar se o modelo de simulação é similar a um procedimento real e se contempla todas as etapas do procedimento. Por esse motivo, embora estejam descritos no artigo e seus dados tabulados na TAB. 10, os dados dos iniciantes não serão discutidos neste estudo, nas validações de "face e conteúdo". Serão apresentados apenas os resultados dos experientes para validação de "face e conteúdo" e os dados dos iniciantes serão utilizados apenas para a validação de "constructo", em que o objetivo é diferenciar o tempo de execução das tarefas e nível de experiência do cirurgião.

A similaridade do MPH com tumores cerebrais sólidos num procedimento real foi classificada por sete neurocirurgiões experientes como razoável e por um como muito similar (escala de Likert 3 a 4). Em relação à simulação da remoção tumoral e percepção das várias etapas envolvidas nesse processo, cinco classificaram como exatamente o vivenciado no procedimento real e três como muito similar. Esta análise permite a validação de "face" do MPH para remoção tumoral (TAB. 1 e 10).

TABELA 1 - Validação de "face" para simulação de ressecção de tumor cerebral em modelo *ex vivo* de placenta humana

Face	Similaridade do tumor em relação ao MPH	Similaridade da ressecção real em relação ao MPH
Experiente - mediana (Mín, Máx)	3 (3,4)	4 (4,5)

MPH: modelo de placenta humana. Escala de 5 pontos de Likert: 5-exatamente o mesmo, 4- muito similar, 3-similaridade razoável, 2- pouca similaridade, 1- não similar.

Para validação de "conteúdo" na avaliação da remoção tumoral, todos os oito neurocirurgiões experientes descreveram o MPH como não similar ao paciente na sala de cirurgia (escala de Likert 1). Na avaliação da similaridade com a abertura da aracnoide e corticectomia, seis avaliaram como muito similar (escala de Likert 4) e dois classificaram como exatamente o mesmo (escala de Likert 5). Ao pontuarem a similaridade à técnica de remoção cirúrgica de tumores cerebrais, quatro neurocirurgiões graduaram como muito similar e quatro como exatamente o mesmo (escala de Likert 4 e 5). Na avaliação da cauterização vascular, todos a classificaram como exatamente idêntica ao procedimento cirúrgico real.

TABELA 2 - Validação de "conteúdo" para simulação de remoção de tumor cerebral em MPH

Conteúdo	Similaridade ao ambiente cirúrgico	Similaridade do MPH à corticectomia real	Similaridade da remoção real em relação ao MPH	Similaridade da cauterização real em relação ao MPH
Experiente mediana (Mín, Máx)	1 (1,1)	4(4,5)	4(4,5)	5(5,5)

MPH: modelo de placenta humana. Escala de 5 pontos de Likert: 5-exatamente o mesmo, 4- muito similar, 3-similaridade razoável, 2- pouca similaridade, 1- não similar.

O tempo necessário para completar a remoção microcirúrgica do tumor simulado variou entre oito e 11 minutos para os neurocirurgiões experientes (mediana de nove minutos) e de 19 a 22 minutos para os residentes novatos (mediana de 20 minutos), com $p=0,001$ pelo teste de Mann-Whitney. O tempo necessário para cauterizar um vaso de 1,5 mm, sob visão microscópica, foi de um minuto para os experientes e variou entre dois e quatro minutos (mediana de três minutos) para os iniciantes ($p<0,001$). Para sutura microcirúrgica de um vaso advertidamente lesionado de 2,0 mm, a mediana foi de quatro minutos para os experientes (mínimo de três e máximo de cinco minutos) e de 11 minutos para os iniciantes (10 a 14 minutos), com $p=0,001$. Esses resultados mostram que o MPH permitiu diferenciar iniciantes de experientes em relação à remoção tumoral e controle de lesão vascular simulada, seja por cauterização com eletrocautério bipolar ou por meio de microssutura vascular (TAB. 3).

TABELA 3 - Validação de “constructo” para simulação de ressecção de tumor cerebral em modelo *ex vivo* de placenta humana

Constructo	Remoção simulada do tumor [#]	Cauterização vascular ^{&}	Sutura vascular ⁺
Experiente	9 (8-11)"	1 (1-1)"	4 (3-5)"
Iniciante	20 (19-22)"	3 (2-4)"	11 (10-14)"
Valor de p*	0,001	<0,001	0,001

"Mediana (mínimo-máximo).

Tempo necessário para completar a remoção simulada do tumor, sem tração**, em minutos.

& Tempo necessário para cauterizar um vaso de 1,5 mm sob visão microscópica, em minutos.

+ Tempo necessário para realizar a sutura microcirúrgica de uma parede vascular de 2 mm, lesada, em minutos.

*Teste de Mann-Whitney **Tração era observada pelo deslocamento do MPH sobre a plataforma de trabalho.

5.1 Simulação de intervenção guiada por ultrassonografia

Os 38 participantes dessa fase da pesquisa (30 neurocirurgiões e oito radiologistas) realizaram as tarefas propostas no simulador *ex vivo* de placenta humana para treinamento de punção guiada de lesão cística. Os dados individuais dos 30 neurocirurgiões estão apresentados na TAB. 6.

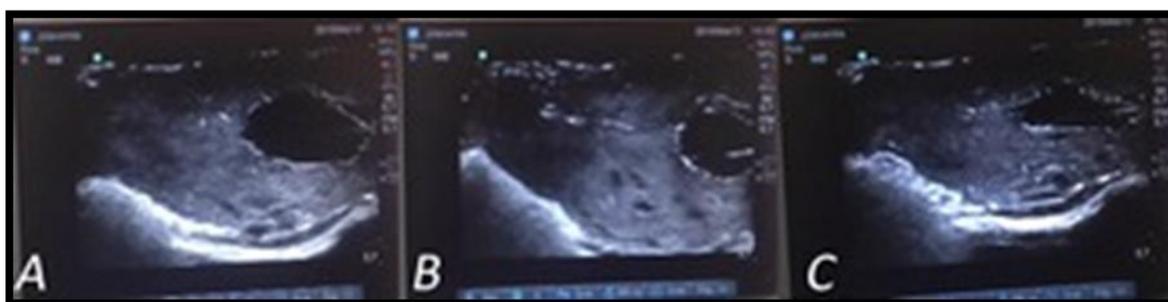
Os resultados da validação de "face e conteúdo" do grupo-controle estão descritos nas TAB. 4 e 5, respectivamente. Todos os RIs classificaram o simulador como boa similaridade aos cenários reais (face) e com alta fidelidade em todas as tarefas desempenhadas (conteúdo). A avaliação objetiva dos RIs durante a simulação mostrou adequado desempenho nas cinco tarefas propostas, que incluíram o manuseio do aparelho de US, a identificação e punção da lesão cística, a identificação vascular com doppler e o acompanhamento da agulha de punção durante todo o seu trajeto até a punção da lesão (TAB. 5).

Dos 30 neurocirurgiões que participaram da simulação de punção guiada por US no MPH proposto, na avaliação subjetiva inicial 11 se classificaram como tendo boa habilidade na realização da US, oito acreditavam ter habilidade razoável, dois acharam que seu desempenho seria ruim e nove acreditavam estar inaptos a realizar a US. Após a soma dos escores objetivos, essa avaliação inicial subjetiva foi coincidente em apenas 26,7% das respostas (oito, entre 30, apresentaram o mesmo desempenho em ambos os escores, subjetivo e objetivo).

No desempenho das tarefas de manuseio do aparelho de US e identificação da lesão, 86,7% (25 neurocirurgiões) conseguiram realizar a atividade proposta. Apenas 10 neurocirurgiões (33%) realizaram a punção guiada da lesão cística simulada, sob visão direta no aparelho de US, como demonstrado na FIG. 22.

Um único neurocirurgião foi capaz de identificar e puncionar um vaso profundo guiado pelo doppler do US (3,3%), enquanto outros dois puncionaram o vaso inadvertidamente (FIG. 23). Nenhum conseguiu visibilizar continuamente a agulha durante todo o trajeto até a punção da lesão cística simulada (TAB. 6).

FIGURA 22 - Simulação de punção de lesão cística profunda guiada por US



A) visão do cisto à US, B) agulha de punção perfurando o cisto, sob visão direta à US, C) esvaziamento do cisto.

Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

FIGURA 23 - Doppler do US usado para identificar vasos ao redor do cisto simulado



A) punção vascular acidental durante simulação, B) utilização do doppler, demonstrando fluxo sanguíneo simulado, C) Punção vascular durante simulação.

Fonte: Arquivo do autor - Laboratório de Microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG

Na avaliação estatística dos escores objetivos (a) manusear o aparelho de US; b) identificar a lesão; c) guiar a agulha em todo o trajeto, sob visão direta até a punção; d) puncionar a lesão cística simulada; e) puncionar um vaso, guiado pelo

doppler). A análise de variância demonstrou que apenas identificação e punção vascular guiada pelo doppler não explicava o escore objetivo final (TAB. 8). O manuseio do aparelho e identificação da lesão cística apresentou 64,2% de positividade nos escores de avaliação objetiva.

TABELA 4 - Validação de "face" para o modelo *ex vivo* de US intervencionista em placenta humana

	Semelhança ao cenário real	Fidelidade ao cenário real
RI 1	4 [#]	Sim
RI 2	4	Sim
RI 3	4	Sim
RI 4	4	Sim
RI 5	3	Sim
RI 6	4	Sim
RI 7	3	Sim
RI 8	4	Sim
MÉDIA (desvio-padrão)	3.8 (0.5)	
MEDIANA (intequartil)	4 (1)	

* RI: Radiologista intervencionista.

Resultados de acordo com a escala de Likert: 5 – exatamente o mesmo, 4 – muito similar, 3- razoavelmente similar, 2- pouco similar, 1 – não similar.

TABELA 5 - Validação de "conteúdo" para o modelo *ex vivo* de US intervencionista em placenta humana: comparação com o procedimento real

	Manipulação do aparelho de US	Identificação da lesão	Identificação vascular com o Doppler	Guiou a agulha em toda a trajetória	Punção guiada da lesão
RI*1	5 [#]	5	5	5	5
RI 2	5	5	5	5	5
RI 3	5	5	5	5	5
RI 4	5	5	5	5	5
RI 5	5	5	5	5	5
RI 6	5	5	5	5	5
RI 7	5	5	5	5	5
RI 8	5	5	5	5	5

* RI: radiologista intervencionista.

Resultados de acordo com a escala de Likert: 5- exatamente o mesmo, 4- muito similar, 3- razoavelmente similar, 2- pouco similar, 1- não similar

TABELA 6 - Avaliação objetiva de 30 neurocirurgiões ao realizar procedimento de US intervencionista em simulador *ex vivo* de placenta humana

Neurocirurgião	Avaliação subjetiva *	Avaliação objetiva #	Manuseio do US	Identificação da lesão cística	Identificação vascular com doppler US	Agulha guiada pelo US em toda a trajetória	Punção guiada por US
1	4	2	S	S	N	N	N
2	1	0	N	N	N	N	N
3	4	3	S	S	N	N	S
4	1	2	S	S	N	N	N
5 "	3	3	S	S	N	N	S
6	4	3	S	S	N	N	S
7	1	0	N	N	N	N	N
8	4	2	S	S	N	N	N
9	4	3	S	S	N	N	S
10	1	2	S	S	N	N	N
11	3	2	S	S	N	N	N
12 "	4	4	S	S	S	N	S
13	3	2	S	S	N	N	N
14 "	2	2	S	S	N	N	N
15	4	3	S	S	N	N	S
16	1	0	N	N	N	N	N
17	4	2	S	S	N	N	N
18	1	2	S	S	N	N	N
19 "	3	3	S	S	N	N	N
20	1	0	N	N	N	N	N
21	3	3	S	S	N	N	S
22	1	2	S	S	N	N	N
23	3	2	S	S	N	N	N
24	1	2	S	S	N	N	N
25 "	4	4	S	S	N	N	S
26 "	3	3	S	S	N	N	S
27 "	4	4	S	S	N	N	S
28 "	2	2	S	S	N	N	N
29	3	2	S	S	N	N	N
30	4	2	S	S	N	N	N
Min; Máx	1; 5	0; 5					
Média (DP)	2,7 (1,3)	2,2 (1,1)	--	--	--	--	--
Mediana (IQR)	3 (3)	2 (1)					
% de realização de tarefas	--	--	86,7	86,7	3,3	0	33,3

* Avaliação subjetiva, baseada em opinião própria do neurocirurgião, acerca de seu desempenho em US intervencionista, seguindo escala de 5 pontos, de Likert: 5- experiente, 4- bom, 3- razoável, 2-ruim, 1- inapto; DP – desvio-padrão; IQR – Intervalo interquartil.

Avaliação objetiva do desempenho do neurocirurgião na prática de 5: n° de tarefas finalizadas. Manuseio do aparelho de US, identificação da lesão, identificação de vasos profundos próximo da lesão, guiar agulha pelo US, sob visão direta, até o cisto e puncioná-lo guiado por US (escores de S se realizou a tarefa ou N, se não conseguiu realizar a tarefa proposta). US - ultrassonografia.

" Neurocirurgiões com respostas subjetiva e objetiva coincidentes.

TABELA 7 - Avaliação de oito radiologistas intervencionistas na realização de US em modelo de simulação de lesão cística, *ex vivo*, de placenta humana

Radiologista	Avaliação objetiva #	Manuseio do aparelho de US	Identificação da lesão	Identificação vascular com doppler US	Agulha guiada por US em todo o trajeto	Punção da lesão cística, guiada por US
1	5	1	1	1	1	1
2	5	1	1	1	1	1
3	5	1	1	1	1	1
4	5	1	1	1	1	1
5	5	1	1	1	1	1
6	5	1	1	1	1	1
7	5	1	1	1	1	1
8	5	1	1	1	1	1

Avaliação objetiva do desempenho do radiologista intervencionista na prática de 5 tarefas: manuseio do aparelho de US, identificação da lesão, identificação de vasos profundos próximo da lesão, guiar agulha pelo US, sob visão direta, até o cisto e puncioná-lo guiado por US (escores de 1 se realizou a tarefa ou 0, se não realizou). US - ultrassonografia.

TABELA 8 - Diferenças estatísticas entre os escores subjetivos e objetivos dos NC na realização de US intervencionista em modelo de simulação de lesão cística, em placenta humana

Item	F (1, 28)	Traço de Pillai	Porcentagem explicada pelo escore objetivo	p
Manuseio do US	50,19	0,6419	64,2%	<0,001
Identificação da lesão	50,19	0,6419	64,2%	<0,001
Identificação vascular com doppler US	2,98	0,0963	9,6%	0,095
Agulha guiada por US em todo o trajeto	6,98	0,1993	19,9%	0,018
Punção da lesão cística, guiada por US	30,52	0,5216	52,6%	<0,001

Observação: F (1, 28) corresponde ao cálculo de estatística F para os graus de liberdade f1=1; f2=28. US - ultrassonografia

Os resultados foram submetidos à publicação com os seguintes artigos:

- 1) Face, Content, and Construct Validity of Brain Tumor Microsurgery Simulation Using a Human Placenta Model. **Operative Neurosurgery**. 12(1):61-67, March 2016. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001030
Não está disponível no Pubmed até o momento, pois a indexação ocorrerá até o final de 2017 (a revista Operative Neurosurgery está em transição para separar-se da Neurosurgery). FI é de 3.4.

- 2) Intracranial interventional ultrasonography: evaluating neurosurgeon's performance - a simulation based study. Enviado para a revista Neurosurgery. Aguardando parecer.

6 DISCUSSÃO

No aprendizado neurocirúrgico, as habilidades são progressivamente adquiridas em um período específico de tempo gasto nas salas de cirurgia (entre cinco e sete anos), seguindo um programa de residência no modelo iniciante-experiente (AZARNOUSH *et al.*, 2015). Entretanto, o treinamento de residentes vem passando por alterações no contexto regulatório, clínico e educacional nas últimas décadas, modificando a visão do conceito educacional “em esponja”, em que se acredita que se o aprendiz gastar tempo suficiente dentro do hospital e sala cirúrgica, absorverá conhecimento e habilidade cirúrgica suficientes para atingir um limite técnico crítico necessário ao desempenho de sua atividade profissional (KSHETTRY *et al.*, 2014).

Percebe-se que a competência não está diretamente relacionada à extensa aquisição das habilidades técnicas necessárias para qualificar cirurgiões ou outros técnicos práticos em suas respectivas especialidades. Um levantamento com diretores dos programas de residência em Cirurgia Geral convergiu no reconhecimento da necessidade e favorecimento do treinamento fora da sala de cirurgia, para aumentar e complementar as experiências com pacientes reais (SCHIRMER; MOCCO; ELDER, 2013). Outras habilidades, como boa comunicação, profissionalismo e relacionamento com o paciente, são complementares ao desenvolvimento da competência médico-cirúrgica.

A utilização de simuladores de alta ou de baixa fidelidade, especialmente para procedimentos complexos que não são realizados regularmente, pode auxiliar na aquisição e manutenção de habilidades. Considerando-se que a Neurocirurgia moderna utiliza-se de diversas vias e técnicas, muitas vezes difíceis de se aprender e de grande variabilidade (coluna, hipófise, crânio, endoscopia), o treinamento fora de um programa de pós-graduação não é mais aceitável. Gallagher e Cates (2004) enfatizaram que o aprendizado exclusivo em pacientes é subótimo.

A avaliação é um elemento essencial para a evolução na aquisição de habilidades psicomotoras durante o treinamento cirúrgico. Treinamento baseado em proficiência e avaliação implica que o aprendiz deve adquirir uma série de critérios predefinidos, antes de evoluir para o próximo nível, em um ambiente seguro e controlável de aprendizado. Por esse princípio, um programa de treinamento baseado em proficiência assegura que critérios específicos sejam alcançados antes que o aprendiz mude de nível. Por outro lado, o treinamento cronológico não garante que o residente tenha adquirido certo grau de habilidade no cuidado cirúrgico do paciente (com competência), ao final do período de aprendizado (AZARNOUSH *et al.*, 2015).

Nas cirurgias de tumores intracranianos, o objetivo é remover o tumor cerebral com instrumentos, utilizando técnicas e aplicando forças que sejam suficientes para deslocar o tumor com dano mínimo aos tecidos cerebrais normais adjacentes. Os aspectos técnicos e cognitivos necessários para que o neurocirurgião experiente alcance esses objetivos não são completamente compreendidos (AZARNOUSH *et al.*, 2015).

O objetivo final de treinamento baseado em simulação é minimizar o risco ao paciente, associado ao aprendizado de habilidades técnicas cirúrgicas. Ele pode ser adquirido em ambiente seguro, com repetição dos procedimentos simulados e com avaliação apropriada do desempenho (KSHETTRY *et al.*, 2014). O modelo ideal de treinamento deveria ser barato, prontamente disponível e ter características hápticas similares às encontradas no campo cirúrgico real (OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2015).

Em revisão sistemática sobre o uso de simuladores em educação e treinamento neurocirúrgico, Kirkman *et al.* (2014) identificaram 4.101 artigos na literatura, selecionando 28 para seu estudo. Demonstraram benefícios qualitativos e quantitativos dos simuladores, embora os trabalhos apresentassem deficiências metodológicas e de desenho (KIRKMAN *et al.*, 2014). Sintetizaram os resultados, categorizando os simuladores em RV, modelos cadavéricos, modelos *in vivo*, modelos sintéticos, simuladores de paciente humano e modelos combinados (ou híbridos). Nesse trabalho comparam os diversos tipos de simuladores descritos e

sua utilização nas subespecialidades neurocirúrgicas, como Neuro-Oncologia, Neurovascular e Neuroendoscopia, por exemplo.

Cadáveres, modelos animais, modelos sintéticos, manequins e outros simuladores mecânicos são utilizados para fins de treinamento (EL AHMADIEH *et al.*, 2013; SHUREY *et al.*, 2014). Esses modelos possuem como desvantagens a falta de realismo, ausência de doença e de hemorragia. O campo de trabalho não se limita à exposição cirúrgica (KSHETTRY *et al.*, 2014).

Comparando-se o MPH descrito e os modelos sintéticos, destacam-se como vantagens do modelo biológico *ex vivo* mais realismo, possibilidade de simulação de sangramento ativo, baixo custo, alta fidelidade cirúrgica, possibilidade de reproduzir diferentes tarefas e facilidade de aquisição da placenta (necessário acesso a uma maternidade). Modelos sintéticos têm custo muito superior (alguns chegam a cerca de R\$ 100.000,00), são mais artificiais e de baixa reprodução háptica. Como desvantagens, evidenciam-se menos durabilidade do MPH (restrito a cerca de cinco a sete dias, armazenado a 5°C) e o risco aumentado de contaminação biológica.

Modelos cadavéricos, além de apresentarem risco biológico semelhante ao MPH, exigem mais rigor logístico para preservação e armazenamento dos espécimes, apresentam campos de trabalho de menos realismo e não permitem simulação de sangramento ativo. Como pontos positivos, apresentam realismo anatômico, alta fidelidade cirúrgica e boa reprodução háptica.

Modelos de treinamento cirúrgico em animais vivos para remoção de tumores cerebrais não foram extensivamente desenvolvidos (KEGELMAN *et al.*, 2014). Experiência exitosa com esse modelo foi descrita por Regelsberger *et al.*, em 2011, porém a replicação desse ambiente de treinamento é dispendiosa e trabalhosa. Além disso, envolve aspectos éticos relevantes que dificultam sua liberação pelos comitês de ética em pesquisa e manutenção de elaborada estrutura física e de cuidados dos animais. Frequentemente tem-se assistido a protestos e destruição de laboratórios por sociedades envolvidas com a proteção de animais.

Os simuladores de RV têm sido usados para avaliar tanto o impacto das características físicas do tumor simulado (como coloração, consistência e textura), quanto as habilidades psicomotoras bimanuais envolvidas na sua ressecção (ALOTAIBI *et al.*, 2015a; ALOTAIBI *et al.*, 2015b; AZARNOUSH *et al.*, 2015; BAJUNAID *et al.*, 2015; CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012; GÉLINAS-PHANEUF *et al.*, 2014). A plataforma NeuroTouch demonstrou diferenças significativas no desempenho psicomotor bimanual entre estudantes de Medicina, residentes e neurocirurgiões, baseados na complexidade do tumor e sangramento, com validação de tipo constructo (ALOTAIBI *et al.*, 2015b; BAJUNAID *et al.*, 2015; CHOUDHURY *et al.*, 2013).

Os modelos de RV estão continuamente melhorando o realismo anatômico, utilizando múltiplos novos cenários de simulação e são capazes de avaliar diretamente a função psicomotora do aprendiz (ALOTAIBI *et al.*, 2015a; BAJUNAID *et al.*, 2015; SCHIRMER; MOCCO; ELDER, 2013). A maior vantagem da placenta humana em comparação aos simuladores de RV é a reprodução fidedigna de eventos cirúrgicos, como lesão vascular, por exemplo. Sangramentos, arterial e venoso, podem ser simulados pela perfusão dos vasos placentários com líquidos tingidos, sob várias pressões. Uso de eletrocautérios bipolares e aspiradores pode ser fielmente reproduzido no modelo de placenta humana, assim como nos simuladores de RV. O custo e manutenção dos laboratórios de RV são os principais empecilhos à sua utilização, o que restringe seu uso a países mais desenvolvidos e ricos. Por outro lado, uma vantagem dos simuladores de RV é que podem ser utilizados dentro da sala cirúrgica.

Goldstein (1979) fez a primeira descrição do uso de placenta humana fresca para treinamento de sutura microcirúrgica. Em nosso estudo, a placenta humana constituiu-se em um modelo cirúrgico de alta fidelidade que se mostrou útil na simulação de ressecção de tumores cerebrais e treinamento de ultrassonografia intervencionista. A plataforma incorporando os cenários de simulação e as medidas de tempo para realização das tarefas para os iniciantes e experientes demonstrou validade nos testes de validação de “face, conteúdo e constructo”. Nossa pesquisa é a primeira a usar e validar o uso de placenta humana para treinamento microcirúrgico nas ressecções de tumores cerebrais e simulação de

punção em lesões císticas profundas, guiadas por ultrassonografia. Como o tecido humano foi utilizado apenas após sua expulsão do corpo e as pacientes prontamente consentiram na sua utilização para estudo, a aprovação pelos comitês de ética não foi difícil. O risco de contaminação do tecido é uma questão relevante (especialmente com agentes virais) e precauções apropriadas devem ser rigorosamente seguidas (AVILA-GUERRA, 2014; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2014; OLIVEIRA MAGALDI *et al.*, 2015).

Diferentes tipos de solução de silicone-catalisador foram testados, permitindo a produção de tumores simulados com grande variedade de densidades e cores. Neste estudo, utilizou-se exclusivamente silicone, mas outros compostos químicos talvez possam promover espécimes de simulação similares ou melhores.

O baixo custo, fácil acesso e ampla disponibilidade representam grande vantagem da US intervencionista em relação a outros métodos de imagem, como tomografia computadorizada e ressonância peroperatória e até mesmo a neuronavegação, não disponíveis na maioria dos hospitais nos países em desenvolvimento (CHANDLER, *et al.*, 1982; VASIL'EV *et al.*, 2010). O conceito de que a US intervencionista é um procedimento simples e acessível é amplamente difundido entre os neurocirurgiões na prática clínica. Essa foi a principal razão que nos levou a desenvolver essa fase do estudo, com o intuito de responder às seguintes questões: o neurocirurgião se sente apto a realizar um procedimento que não realiza frequentemente e aparentemente é simples? Como o neurocirurgião espera ser seu desempenho?

Amplio acesso à tecnologia não necessariamente corresponde a desempenho de qualidade, na prática. O desempenho na primeira execução de um novo procedimento é diferente do obtido por alguém mais experiente (MOORTHY *et al.*, 2006; PANDEY, *et al.*, 2008). Nossos resultados na avaliação objetiva de simulação de US intervencionista confirmam essa afirmativa. O desempenho de radiologistas experientes habituados a manusear aparelhos de US foi muito superior ao dos neurocirurgiões, mesmo dos que subjetivamente acreditavam ter facilidade na execução da US intervencionista.

Neuronavegadores, que compilam os dados individuais de cada paciente e produzem informações tridimensionais dos exames de imagem, são utilizados em cirurgias cranianas para guiar o acesso cirúrgico e evitar áreas de risco, como seios venosos e áreas eloquentes do cérebro (KOIVUKANGAS; KELLY, 1986; VAN VELTHOVEN; AUER, 1990; ROSELLI *et al.*, 1993). Sua utilização foi mencionada por metade dos neurocirurgiões participantes desta pesquisa como o motivo pelo qual não se utilizam da US rotineiramente. Por outro lado, o deslocamento cerebral durante o procedimento cirúrgico, que não pode ser acompanhado pelo neuronavegador, foi a principal razão para a utilização da US pelos neurocirurgiões que disseram utilizá-la frequentemente.

De nosso conhecimento, essa é a primeira vez que neurocirurgiões são avaliados em relação ao seu desempenho na condução de procedimentos envolvendo US intervencionista. O principal fator de dificuldade no experimento foi a incapacidade de visibilizar a agulha em todo o trajeto de punção da lesão cística simulada (nenhum neurocirurgião conseguiu). Apenas um terço dos neurocirurgiões realizou a punção da lesão sob visão direta da agulha, o que reduz a segurança na realização desse procedimento. A habilidade de identificar vasos próximos da lesão foi mínima, o que poderia se relacionar à hemorragia cerebral num procedimento real. A US intervencionista é subespecialidade da Radiologia, requerendo treinamento específico para sua ampla utilização (ALMOLLA; BALCONI, 2011). Todos os RIs (grupo-controle) que participaram da simulação obtiveram sucesso em todas as habilidades testadas, com facilidade.

Cabe ressaltar que o aprendizado de US intervencionista não faz parte do conteúdo regular dos programas de residência médica em Neurocirurgia. Entretanto, durante reuniões e congressos frequentemente se ouve discussões sobre o tema. E foi esse fato que nos levou a investigar o grau de familiaridade de neurocirurgiões com a US. Nossos resultados reforçam a necessidade de intenso treinamento e repetição de atividades em ambiente seguro, antes de introduzir novas metodologias no atendimento a pacientes no bloco cirúrgico.

6.1 Pontos fortes e limitações

Placentas humanas são facilmente adquiridas e podem ser utilizadas em diversos ambientes de pesquisa. A experiência em nosso laboratório demonstrou que, após cerca de uma semana de treinamento, a preparação de novas placentas para uso em procedimentos microcirúrgicos levava cerca de 30 minutos. Os instrumentos cirúrgicos utilizados nas dissecções dos modelos placentários são os mesmos disponíveis nas salas de cirurgia durante as ressecções de tumores cerebrais, promovendo realismo técnico-operatório aos procedimentos.

O modelo de ressecção de tumor em placenta humana, *ex vivo*, pode ser usado para simular situações de graus de dificuldade variada, encontradas na prática rotineira de neurocirurgias, ao realizar cirurgias reais em pacientes vivos. Destaca-se a possibilidade de simulação de lesão vascular, arterial ou venosa, com treinamento de controle do sangramento (FIG. 15; TAB. 3 e 4).

Embora o princípio da moderna cirurgia dos gliomas seja a máxima ressecção cirúrgica, sabe-se que excessiva retração tecidual deve ser evitada, para minimizar o dano ao tecido cerebral adjacente à lesão e reduzir os riscos de surgimento ou piora de déficits neurológicos, que podem ter extensão catastrófica (ANDREWS; BRINGAS, 1993; D'AMICO; KENNEDY; BRUCE, 2014). A segurança e a manutenção de qualidade de vida do paciente constituem prioridade. O modelo de placenta humana propicia visibilização monitorada e avaliação desse tipo de lesão, em tempo real. Talvez a percepção desse risco no momento do treinamento em laboratório durante a manipulação das placentas possa auxiliar os aprendizes a evitar essa situação no campo cirúrgico real.

O modelo placentário não reproduz todos os aspectos técnicos da moderna cirurgia de ressecção de tumores cerebrais. Alguns componentes específicos de procedimentos operatórios com placentas precisam ser melhorados, incluindo: a) o uso de aspirador ultrassônico e métodos de sucção de tecido tumoral não foram testados; b) desenvolvimento de modelos infiltrativos mais realísticos; c) o uso de cautério bipolar na microvasculatura e a soltura do tumor em relação ao tecido adjacente de modo mais realístico; d) manipulação do microscópio para criar

melhores ângulos de visão; e) prevenção do fechamento do corredor cirúrgico placentário, permitindo visualização e abordagem de tecido tumoral profundo; f) simulação de sangramento do tecido tumoral. Outra limitação do MPH descrito é não permitir treinamento da relação do tumor com estruturas ósseas cranianas.

Estudos de validação mostraram eficácia desse modelo como ferramenta de treinamento para residentes de Neurocirurgia iniciantes. Validação de “face e conteúdo” foi delineada pelos participantes quanto aos aspectos microcirúrgicos das cirurgias de ressecção de tumores cerebrais. Validação tipo “constructo” foi estabelecida pelas medidas do tempo gasto para completar as tarefas operatórias propostas pelos dois grupos investigados (iniciantes e experientes), em minutos.

Não foi realizado o teste de validação tipo “concorrente”, pois não se identificou modelo biológico de alta fidelidade para comparação. Apenas são disponíveis modelos virtuais, que não apresentam características semelhantes às do MPH que permitam uniformização de escores para verificação de semelhança ou diferença.

Como possibilidade para estudo futuro, a avaliação das curvas de aprendizado dos residentes e medidas de desempenho de proficiência poderão ser adotadas para grupos de residentes específicos (HOLLOWAY *et al.*, 2015). Comparar o desempenho peroperatório entre residentes que realizaram treinamento em laboratório com placenta humana e os que não realizaram, avaliando tempo para realizar o procedimento e desempenho técnico, pode ser factível no futuro: validação de tipo “preditiva”. No entanto, esse formato de estudo requer número substancial de participantes e envolvimento multicêntrico para validação. Criação de grupos de trabalho com estudantes de Medicina utilizando o modelo placentário de ressecção de tumores pode auxiliar na escolha da carreira médica, como visto no treinamento com RV.

Deve-se ter cautela na análise de nossos resultados no treinamento de remoção microcirúrgica de tumores simulados. Em primeiro lugar, o curto período de duração das tarefas e o nível de endurecimento, cor e limites (distinção) tumorais e vasculares e o grau de complexidade podem não discriminar adequadamente a

qualidade de desempenho entre nosso limitado número de participantes. Segundo, a avaliação de neurocirurgiões e residentes de formação acadêmica semelhante pode ter resultado na nossa inabilidade em encontrar diferenças mais significativas entre o grupo de neurocirurgiões seniores e o de residentes. Terceiro, a ausência de padrões métricos definidos, além do tempo para completar tarefas específicas, não permite quantificar a atividade psicomotora, que é bem estabelecida e avançada nos simuladores de realidade virtual, como o NeuroTouch (ALOTAIBI *et al.*, 2015a; ALOTAIBI *et al.*, 2015b; AZARNOUSH *et al.*, 2015; BAJUNAID *et al.*, 2015; CHOUDHURY *et al.*, 2013; DELORME *et al.*, 2012; GÉLINAS-PHANEUF; DEL MAESTRO, 2013; HOLLOWAY *et al.*, 2015).

Para maximizar a experiência de treinamento, esse modelo placentário pode ser um componente importante em um modelo híbrido (entre simuladores de RV e o paciente), permitindo aos participantes que obtiveram bom desempenho de proficiência em um simulador de RV, como o NeuroTouch, serem testados em um modelo biológico *ex vivo* antes de serem expostos e avaliados no desempenho peroperatório no campo cirúrgico em paciente vivo (ALZHRANI *et al.*, 2015). Por fim, embora este estudo seja focado na avaliação de desempenho entre grupos de iniciantes e experientes, é necessária a comprovação de que o treinamento em simulador biológico, como o modelo de placenta humana, melhora o desempenho do residente na sala de cirurgia (KIRKMAN *et al.*, 2014).

Nossos resultados nos testes de punção guiada por US intervencionista nas lesões císticas corroboram a necessidade de treinamento exaustivo e intensivo de novas técnicas, antes da aplicação em pacientes reais. A repetição de atividades de capacitação facilita o manuseio do aparelho de US e identificação de possíveis falhas e erros que poderiam ocorrer em uma situação real, melhorando e acelerando a correção destas.

A realidade dos países em desenvolvimento não permite a utilização de simuladores de RV, nem a manutenção de grandes e equipados laboratórios para treinamentos em animais vivos na maior parte dos serviços de Neurocirurgia formadores de residentes. Assim também a aquisição de modelos cadavéricos animais e humanos tem ficado cada vez mais restrita, por motivos éticos e

religiosos. O modelo de placenta humana vem agregar uma nova modalidade de simulação de treinamento microcirúrgico em Neurocirurgia, particularmente na remoção de tumores e realização de US intervencionista, demonstrando fácil aquisição, baixo custo e alta reprodutibilidade na realização das tarefas. Possibilita ainda lidar com situações catastróficas de sangramento ativo, trazendo segurança ao residente ao deparar-se com situação semelhante durante procedimentos reais.

Uso de modelos de alta fidelidade no ensino médico tem como uma das promissoras aplicações a revalidação do título de especialista nas áreas médicas, possibilitando avaliar habilidades manuais e desempenho técnico cirúrgico.

A TAB. 9 apresenta uma comparação entre o MPH descrito neste trabalho e os outros modelos de simulação disponíveis na literatura.

TABELA 9 – Modelo de placenta comparado aos outros modelos de simulação de ressecção de tumor cerebral existentes em Neurocirurgia

Características	Modelo de placenta humana	Modelos virtuais NeuroTouch e ROBO-SIM	Modelo sintético SIMONT	Modelo animal suíno vivo	Modelo híbrido (cadáver +polímero para simular tumor)
Custo	Baixo	Alto	Moderado	Alto	Moderado
Realismo	Alto	Alto	Baixo	Alto	Moderado
Simulação de sangramento	Boa	Artificial	Não	Boa	Não
Habilidades treinadas	Utilização do bipolar, dissectores, aspirador e microtesoura	Utilização do bipolar, aspirador e microtesoura	Consistência e textura inadequadas	Identificação de estruturas, uso de coaguladores e treinamento com instrumentais	Consistente com a anatomia e utilização de dissectores e microtesouras
Reprodução da anatomia	Não	Pode ser reproduzida por computadores	Reproduzida em modelagens, aspecto anatômico artificial	Sim, mas diferenças com a anatomia humana	Sim
Fidelidade cirúrgica	Alta	Baixa a média	Baixa	Alta	Alta
Reprodução háptica	Alta	Média a alta	Baixa	Alta	Média a alta
Contaminação biológica	Risco aumentado	Não	Não	Risco aumentado	Risco aumentado
Durabilidade do modelo	7 dias a 5° C	Longa, com atualização contínuo	Moderada a longa	Horas, durante o procedimento	Longa, com necessidade de conservação e cuidados
Disponibilidade	Fácil de conseguir e usar	Custos limitam disponibilidade	Moderada	Custos e aspectos éticos limitam disponibilidade	Limitada a centros universitários
Tipos de simulação	Pode reproduzir diferentes tarefas	Múltiplos cenários de tumor podem ser criados	Restrito a tumor intraventricular e terceiro ventriculostomia	Craniotomias, lesões traumáticas e tumores	Anatomia e tumores

Fonte: Alotaibi *et al.* (2015b); Chan *et al.* (2013); Andrews e Bringas (1993); Kirkman *et al.* (2014); Vaz *et al.* (2011).

7 CONCLUSÕES

- a) O modelo de placenta humana foi descrito de modo original para simulação e treinamento em microcirurgia de tumores e ultrassonografia intervencionista craniana. Mostrou-se exequível, de fácil obtenção, preparo e utilização.
- b) Os testes de validação de face e conteúdo demonstraram que a placenta humana apresenta alta fidelidade do conteúdo global e das tarefas parciais executadas em relação ao procedimento real. Os resultados estatísticos evidenciaram diferença entre principiantes e experientes, confirmando a validação de constructo.
- c) Os neurocirurgiões não têm habilidade prática em relação à ultrassonografia intervencionista, segundo os testes de validação do modelo de placenta humana. A avaliação dos radiologistas validou o MPH para treinamento de US intervencionista.

REFERÊNCIAS

ALARAJ, A. *et al.* Virtual reality training in neurosurgery: review of current status and future applications. **Surg Neurol Int**, v. 2, n. 1, p. 52, 2011. Doi:10.4103/2152-7806.80117.

ALMOLLA, J.; BALCONI. G. Interventional ultrasonography of the chest: Techniques and indications. **J Ultrasound**, v. 14, n. 1, p. 28-36, 2011 Mar.

ALOTAIBI, F. *et al.* Assessing bimanual performance in brain tumor resection using NeuroTouch, a virtual reality simulator. **Neurosurgery**, v. 11 (Suppl 2), p. 89-98, 2015a.

ALOTAIBI, F.E. *et al.* Neurosurgical assessment of metrics including judgement and dexterity using the virtual reality simulator NeuroTouch (NAJD). **Surg Innov**, Epub 2015b, Apr 7.

ALZHRANI, G. *et al.* Proficiency performance benchmarks for removal of simulated brain tumors using a virtual reality simulator Neuro-Touch. **J Surg Educ**, v. 72, n. 4, p. 685-696, 2015.

ANDREWS, R.J.; BRINGAS, J.R. A review of brain retraction and recommendations for minimizing intraoperative brain injury. **Neurosurgery**, v. 33, n. 6, p. 1052-1063, 1993.

AVILA-GUERRA, M. Simulation in developing countries. **Neurosurgery**, v. 74, n. 3, p. E343, 2014.

AZARNOUSH, H. *et al.* Neurosurgical virtual reality simulation, metrics to assess psychomotor skills during brain tumor resection. **Int J Comput Assist Radiol Surg**, v. 10, n. 5, p. 603-618, 2015.

BAJUNAID, K.M. *et al.* Acute stress impacts psychomotor bimanual performance during simulated tumor resection task. **J Neurosurg**, 2015. In press.

BANERJEE, P.P. *et al.* Accuracy of ventriculostomy catheter placement using a head-and hand-tracked high resolution virtual reality simulator with haptic feedback. **J Neurosurg**, v. 107, n. 3, p. 515-521, 2007.

CHACKO A.G. *et al.* Intraoperative ultrasound in determining the extent of resection of parenchymal brain tumours--a comparative study with computed tomography and histopathology. **Acta Neurochir (Wien)**, v. 145, n. 9, p. 743-8, 2003 Sep. Discussion p. 748.

CHAN, S. *et al.* Virtual reality simulation in neurosurgery technologies and evolution. **Neurosurgery**, v. 72, p. A154-A164, 2013.

CHANDLER, W.F. *et al.* Intraoperative use of real-time ultrasonography in neurosurgery. **J Neurosurg**, v. 57, n. 2, p. 157-63, 1982.

CHANDLER, W.F.; KNAKE, J.E. Intraoperative use of ultrasound in neurosurgery, **Clin Neurosurg**, v. 31, p. 550-63, 1983.

CHOUDHURY, N. *et al.* Fundamentals of neurosurgery: virtual reality tasks for training and evaluation of technical skills. **World Neurosurg**, v. 80, n. 5, p. e9-e19, 2013.

COELHO, G. *et al.* New anatomical simulator for pediatric neuroendoscopic practice. **Childs Nerv Syst**, v. 31, n. 2, p.213-9, 2015.

COELHO, G.; ZANON, N.; WARF, B. The role of simulation in neurosurgery. **Childs Nerv Syst**, v. 30, n. 12, p. 1997-2000, 2014. Doi: 10.1007/s00381-014-2548-7.

D'AMICO, R.S.; KENNEDY, B.C.; BRUCE, J.N. Neurosurgical oncology: advances inoperative technologies and adjuncts. **J Neurooncol**, v. 119, n. 3, p. 451-463, 2014.

DELORME, S. *et al.* NeuroTouch: a physics based virtual simulator for cranial microneurosurgery training. **Neurosurgery**, v. 71(1 suppl operative), p. 32-42, 2012.

EL AHMADIEH. T.Y. *et al.* A didactic and hands-on module enhances resident microsurgical knowledge and technical skill. **Neurosurgery**, v. 73(Suppl 1), p.51-56, 2013.

EPSTEIN, F.J.; FARMER, J.P.; SCHNEIDER, S.J. Intraoperative ultrasonography: an important surgical adjunct for intramedullary tumors. **J Neurosurg**, v. 74, n. 5, p. 729-33, 1991.

FASANO, V.A. *et al.* Preliminary experiences with "real-time" intraoperative ultrasonography associated to the laser and the ultrasonic aspirator in neurosurgery. **Surg Neurol**, v. 19, n. 4, p. 318-23, 1983.

GALLAGHER, A.G.; CATES, C.U. Approval of virtual reality training for carotid stenting: what this means for procedural-based medicine. **JAMA**, v. 292, n. 24, p. 3024-3026, 2004.

GÉLINAS-PHANEUF, N. *et al.* Assessing performance in brain tumor resection using a novel virtual reality simulator. **Int J Comput Assist Radiol Sur**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2014.

GÉLINAS-PHANEUF, N.; DEL MAESTRO, R.F. Surgical expertise in neurosurgery: integrating theory into practice. **Neurosurgery**, v. 73(suppl 1), p. 30-38, 2013.

GOLDSTEIN, M. Use of fresh human placenta for microsurgical training. **J Microsurg**, v. 1, n. 1, p. 70-71, 1979.

GRODE, M.L.; KOMAIKO, M.S. The role of intraoperative ultrasound in neurosurgery. **Neurosurgery**, v. 12, n. 6, p. 624-8, 1983 Jun.

HOLLOWAY, T. *et al.* Operator experience determines performance in a simulated computer-based brain tumor resection task. **Int J Comput Assist Radiol Surg**. Epub 2015 Mar 26. doi: 10.1007/s11548-015-1160-y.

HUNG, A.J. *et al.* Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. **J Urol**, v. 186, n. 3, p. 1019-1025, 2011.

JAKIMOWICZ, J.J.; CUSCHIERI, A. Time for evidence-based minimal access surgery training—simulate or sink. **Surg Endosc**. v.19, n.12, p.1521-1522, 2005.

KEGELMAN, T.P. *et al.* In vivo modeling of malignant glioma: the road to effective therapy. **Adv Cancer Res**, v. 121, p. 261-330, 2014.

KIRKMAN, M.A. *et al.* The use of simulation in neurosurgical education and training. **J Neurosurg**, v. 121, n. 2, p. 228-246, 2014.

KNAKE, J.E. *et al.* Intraoperative sonography in the nonstereotaxic biopsy and aspiration of subcortical brain lesions. **AJNR Am J Neuroradiol**, v. 4, n. 3, p. 672-4, 1983 May-Jun.

KOCKRO, R.A. *et al.* Planning and simulation of neurosurgery in a virtual reality environment. **Neurosurgery**, v. 46, n. 1, p. 118-135, 2000.

KOIVUKANGAS, J.; KELLY, P. J. Application of ultrasound imaging to stereotactic brain tumor surgery. **Ann Clin Res**, v. 18, n. 47, p. 25-32, 1986.

KSHETTRY, V.R. *et al.* The role of laboratory dissection training in neurosurgical residency: results of a national survey. **World Neurosurg**, v. 82, n. 5, p. 554-559, 2014.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Arch Psychol**, v. 140, p. 1-55, 1932.

MALHEIROS J.A. **Placenta humana como modelo de treinamento para cirurgias de aneurismas cerebrais**. Tese (Doutorado em Cirurgia) - Belo Horizonte, 2015.

MALONE, H.R. *et al.* Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications. **Neurosurgery**, v. 67, n. 4, p. 1105-1116, 2010. Doi:10.1227/NEU.0b013e3181ee46d0.

MERRITT, C.R.; COULON, R.; CONNOLLY, E. Intraoperative neurosurgical ultrasound: transdural and transfontanelle applications. **Radiology**, v. 148, n. 2, p. 513-7, 1983.

MOORTHY, K. *et al.* Self-assessment of performance among surgical trainees during simulated procedures in a simulated operating theater. **Am J Surg**, v. 192, n. 1, p. 114-8, 2006 Jul.

MURSCH, K. *et al.* The value of intraoperative ultrasonography during the resection of relapsed irradiated malignant gliomas in the brain. **Ultrasonography**, v. 36, n. 1, p. 60-65, 2017 Jan.

NEAL, J.H. **Brain tumors: A Comprehensive Text**. New York: Raven Press, v. 35, p. 339-340, 1994.

OLIVEIRA MAGALDI, M. *et al.* Face, content and construct validity of human placenta as a haptic training tool in neuro-interventional surgery. **J Neurosurg**, Out 9, 2015. Doi: 10.3171/2015.1.JNS141583.

OLIVEIRA MAGALDI, M. *et al.* Human placenta aneurysm model for training neurosurgeons in vascular microsurgery. **Neurosurgery**, v. 10 (suppl 4), p. 592-600, 2014.

PANDEY, V.A. *et al.* Self- assessment of technical skill in surgery: The need for expert feedback. **Ann R Coll Surg Engl**, v. 90, n. 4, p. 286-290, 2008 May.

REGELSBERGER, J. *et al.* Training microneurosurgery – four years experiences with an in vivo model. **Cent Eur Neurosurg**, v. 72, p. 192-195, 2011.

ROSELLI, R. *et al.* Intraoperative real-time ultrasonography in the microsurgical removal of subcortical or deep-seated brain tumor. **Acta Chir Belg**, v. 93, n. 4, p.185-7, 1993 Jul-Aug.

ROUX F.X. *et al.* Use of real time ultrasonography in neurosurgery. Perioperative value in adults. **Neurochirurgie**, v. 29, n. 1, p. 31-5, 1983.

SCHIRMER, C.M.; MOCCO, J.; ELDER, J. B. Evolving virtual reality simulation in neurosurgery. **Neurosurgery**, v. 73(suppl 1), p. S127-S137, 2013.

SHUREY, S. *et al.* The rat model in microsurgery education: classical exercises and new horizons. **Arch Plast Surg**, v. 41, n. 3, p. 201-208, 2014.

THIJSSSEN, A.S.; SCHIJVEN, M.P. Contemporary virtual reality laparoscopy simulators: quicksand or solid grounds for assessing surgical trainees? **Am J Surg**, v. 199, n. 4, p. 529-541, 2010.

UNSGAARD, G. *et al.* Brain operations guided by real-time two-dimensional ultrasound: new possibilities as a result of improved image quality. **Neurosurgery**, v. 51, n. 2, p. 402-11, 2002 Aug; discussion 411-2.

VAN VELTHOVEN, V.; AUER, L.M. Practical application of intraoperative ultrasound imaging. **Acta Neurochir (Wien)**, v. 105, n. 1-2, p.5-13, 1990.

VASIL'EV, S.A. *et al.* The use of intraoperative sonography in surgical treatment of brain tumors, **Khirurgiia (Mosk)**, v. 2, p. 38-43, 2010.

VAZ FILHO, F. *et al.* Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training. **Neurosurg Focus**, v. 30, n. 4, p. E17, 2011.

ANEXO E APÊNDICES

Anexo A - Protocolo de aprovação no Comitê de Ética em Pesquisa

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Parecer nº CAAE: 0364.0.203.000-11

Interessado(a): Prof. Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira
Departamento de Cirurgia
Faculdade de Medicina - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 17 de agosto de 2011, o projeto de pesquisa intitulado **"Placenta humana como modelo de treinamento neurocirúrgico microvascular e endovascular"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

Prof. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG

Apêndice A - Tabelas

TABELA 10 - Dados de validação tipo "face e conteúdo", na simulação de remoção tumoral em modelo de placenta humana, *ex vivo*

FACE	Similaridade do tumor em relação ao MPH	Similaridade da ressecção real em relação ao MPH	CONTEÚDO	Similaridade ao ambiente cirúrgico	Similaridade do MPH à corticectomia real	Similaridade da remoção real em relação ao MPH	Similaridade da cauterização real em relação ao MPH
Exp 1	3	4	Exp 1	1	4	5	5
Exp 2	3	4	Exp 2	1	4	5	5
Exp 3	3	5	Exp 3	1	4	5	5
Exp 4	3	5	Exp 4	1	4	4	5
Exp 5	3	5	Exp 5	1	5	4	5
Exp 6	4	5	Exp 6	1	5	4	5
Exp 7	3	4	Exp 7	1	4	5	5
Exp 8	3	5	Exp 8	1	4	4	5
Ini 1	4	5	Ini 1	2	5	5	5
Ini 2	4	5	Ini 2	2	5	5	5
Ini 3	5	5	Ini 3	2	5	5	5
Ini 4	4	5	Ini 4	1	5	5	5
Ini 5	5	5	Ini 5	2	5	5	5
Ini 6	4	5	Ini 6	2	5	5	5
Ini 7	4	5	Ini 7	1	5	5	5
Ini 8	5	5	Ini 8	2	4	5	5

MPH: modelo de placenta humana. Exp: experiente Ini: iniciante.

Escala de 5 pontos de Likert: 5-exatamente o mesmo,4- muito similar,3-similaridade razoável, 2-pouca similaridade, 1- não similar.

TABELA 11 - Validação de "constructo" em MPH para ressecção microcirúrgica de tumores

CONSTRUCTO	Remoção simulada do tumor[#]	Cauterização vascular^{&}	Sutura vascular⁺
Experiente 1	9	1	5
Experiente 2	9	1	4
Experiente 3	8	1	4
Experiente 4	11	1	3
Experiente 5	10	1	5
Experiente 6	10	1	4
Experiente 7	9	1	4
Experiente 8	8	1	4
Iniciante 1	22	3	12
Iniciante 2	20	3	13
Iniciante 3	19	2	11
Iniciante 4	20	4	10
Iniciante 5	21	3	11
Iniciante 6	20	2	14
Iniciante 7	22	3	11
Iniciante 8	21	3	12

Tempo necessário para completar a remoção simulada do tumor, sem tração*, em minutos.

& Tempo necessário para cauterizar um vaso de 1,5 mm sob visão microscópica, em minutos

+ Tempo necessário para realizar a sutura microcirúrgica de uma parede vascular de 2 mm, lesada, em minutos

* Tração era observada pelo deslocamento do MPH sobre a plataforma de trabalho

Apêndice B - Termos de consentimento livre e esclarecido

Termo de consentimento livre e esclarecido

O Departamento de Cirurgia da UFMG está desenvolvendo um estudo para criação de treinamento de técnicas de microcirurgia, em que utiliza placentas que seriam descartadas.

Você está sendo convidada a doar sua placenta após o parto, para que possa ser utilizada neste treinamento.

O objetivo do trabalho é que os cirurgiões, em fase de formação, aprendam os passos iniciais de diversas cirurgias no laboratório, antes de realizar procedimentos semelhantes num paciente real, no bloco cirúrgico.

Você não terá qualquer ganho financeiro ao doar sua placenta. Não estará submetida a algum risco diretamente pela doação da placenta, uma vez que ela é expulsa após o parto e só após o término do procedimento e separação da placenta para descarte é que um dos membros da pesquisa irá recolhê-la. Não será submetida a outro exame além dos habituais do pré-parto nem sofrerá alguma punição, caso não deseje doar a sua placenta.

Todo o seu tratamento, e do seu recém-nascido, seguirão os protocolos do Hospital da Clínicas da UFMG, seja você doadora ou não da placenta.

Após cinco dias, se utilizada na pesquisa, sua placenta seguirá para descarte, no mesmo fluxo das que forem descartadas diretamente, após o parto.

Em caso de dúvidas, o pesquisador principal, Dr. Marcelo Magaldi, poderá ser contatado pelo telefone do Centro de Pós-Graduação – 3409.9641.

Assinam este termo, com duas cópias, um dos pesquisadores e a parturiente.

Nome:

Pesquisador:

Data: / /

Termo de consentimento livre e esclarecido

A ultrassonografia intervencionista (US) tem sido utilizada rotineiramente, por diversas especialidades médicas. Radiologistas e anestesistas a utilizam para guiar punções de lesões e vasos. Sua utilidade em Neurocirurgia tem sido descrita na literatura, podendo ser usada para ajustar o deslocamento cerebral e detectar eventos intraoperatórios desagradáveis, como hemorragia e hidrocefalia. Facilita a identificação de margens críticas do tumor e permanência não intencional de resíduos tumorais. É disponível, conveniente, de custo acessível, rápido e fácil de usar. Porém, em diálogos com outros neurocirurgiões, percebemos que sua utilização é menos frequente do que a esperada.

Você, com experiência de dois a 25 anos na especialidade, é convidado(a) a participar da avaliação subjetiva e objetiva de seu próprio desempenho na realização de US intervencionista. Serão selecionados 30 neurocirurgiões e oito radiologistas, que serão nosso grupo-controle.

O estudo constará da sua própria avaliação subjetiva acerca de seus conhecimentos sobre US, baseando-se numa escala de cinco pontos, em que graduará sua habilidade de nenhuma a muito experiente. Num segundo momento, você será convocado(a) a realizar atividades no modelo de placenta humana, desenvolvido nos laboratórios da FM-UFMG. Então, faremos a análise dos dados subjetivos e objetivos obtidos.

Você não receberá apoio financeiro ao participar da pesquisa.

Como riscos, podemos descrever a possibilidade de lesões perfurocontusas mais os habituais para qualquer procedimento cirúrgico ao qual você se submete no dia a dia. Se os exames da parturiente detectarem alguma doença transmissível, sua placenta será descartada, não sendo utilizada na pesquisa.

O sigilo estará garantido e em nenhum momento os dados obtidos serão divulgados de modo a possibilitar sua identificação.

Em caso de dúvidas, o pesquisador principal, Dr. Marcelo Magaldi, poderá ser contatado pelo telefone do Centro de Pós-Graduação – 3409.9641.

Assinam este termo, com duas cópias, um dos pesquisadores e o médico voluntário.

Nome:

Pesquisador:

Data: / /

Apêndice C - Artigos publicados

ARTIGO 1

TECHNIQUE ASSESSMENT

Marcelo Magaldi Oliveira, MD,
PhD*‡§

Audrey Beatriz Araujo, MD,
MSc*

Arthur Nicolato, MD*

Andre Prosdocimi, MD*

Joao Victor Godinho, MD*

Ana Luiza Martins Valle, MD*

Marcilea Santos, MD*

Augusto Barbosa Reis, MD,
PhD*

Mauro Tostes Ferreira, MD,
PhD*

Abulrahman Sabbagh, MD‡¶¶

Sebastiao Gusmao, MD, PhD*

Rolando Del Maestro, MD,
PhD‡

*Microsurgical Laboratory, Department of Surgery, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil; ‡Neurosurgical Simulation Research and Training Centre, Department of Neurosurgery, Montreal Neurological Institute and Hospital, McGill University, Montreal, Quebec, Canada; §Surgical Skills Centre, Mount Sinai Hospital, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada; ¶National Neuroscience Institute, Department of Neurosurgery, King Fahad Medical City, Riyadh, Saudi Arabia

This work was supported by the Di Giovanni Foundation, the Montreal English School Board, the B-Strong Foundation, the Colannini Foundation, and the Montreal Neurological Institute and Hospital.

Correspondence:

Marcelo Magaldi Oliveira, MD, PhD,
Rua Montes Claros 1442,
101 Anchieta,
Belo Horizonte,
Minas Gerais,
Brazil 30310370.
E-mail: mmagaldi@hotmail.com

Received, March 1, 2015.

Accepted, August 5, 2015.

Copyright © 2015 by the
Congress of Neurological Surgeons.

Face, Content, and Construct Validity of Brain Tumor Microsurgery Simulation Using a Human Placenta Model

BACKGROUND: Brain tumors are complex 3-dimensional lesions. Their resection involves training and the use of the multiple microsurgical techniques available for removal. Simulation models, with haptic and visual realism, may be useful for improving the bimanual technical skills of neurosurgical residents and neurosurgeons, potentially decreasing surgical errors and thus improving patient outcomes.

OBJECTIVE: To describe and assess an ex vivo placental model for brain tumor microsurgery using a simulation tool in neurosurgical psychomotor teaching and assessment.

METHODS: Sixteen human placentas were used in this research project. Intravascular blood remnants were removed by continuous saline solution irrigation of the 2 placental arteries and placental vein. Brain tumors were simulated using silicone injections in the placental stroma. Eight neurosurgeons and 8 neurosurgical residents carried out the resection of simulated tumors using the same surgical instruments and bimanual microsurgical techniques used to perform human brain tumor operations. Face and content validity was assessed using a subjective evaluation based on a 5-point Likert scale. Construct validity was assessed by analyzing the surgical performance of the neurosurgeon and resident groups.

RESULTS: The placenta model simulated brain tumor surgical procedures with high fidelity. Results showed face and content validity. Construct validity was demonstrated by statistically different surgical performances among the evaluated groups.

CONCLUSION: Human placentas are useful haptic models to simulate brain tumor microsurgical removal. Results using this model demonstrate face, content, and construct validity.

KEY WORDS: Bipolar coagulation, Brain tumor, Microsurgery, NeuroTouch, Placenta, Virtual reality surgical simulation

Operative Neurosurgery 0:1–7, 2015

DOI: 10.1227/NEU.0000000000001030

A wide variety of benign and malignant central nervous system tumors are removed by neurosurgeons using a series of specific microsurgical techniques. These operative paradigms have been developed to maximize tumor resection while maintaining patient safety.¹ Years of resident training involving the resection

of large numbers of diverse lesions is a necessary prerequisite to acquire these specific “expert” bimanual skills.^{2,3} Surgical simulation using a variety of virtual reality (VR) technologies is being explored to aid in the assessment and training of neurosurgical residents in the removal of cerebral tumors.^{4–7} Simulation technology provides multiple opportunities for deliberate practice in safe learning environments in which learners achieve desired outcomes.^{3,8} Legal issues and working hour restrictions are contributing factors that are forcing neurosurgical departments to focus on simulation technologies to improve patient care, minimize complications, and change

ABBREVIATION: VR, virtual reality

Supplemental digital content is available for this article. Direct URL citations appear in the printed text and are provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (www.neurosurgery-online.com).



FIGURE 1. Microscopic view of bipolar forceps being used to outline the simulated tumor border seen with a green appearance under the allantoic membrane.

the paradigm of learning from a competent to an expertise level of skills acquisition.^{3,8}

Simulators using VR technologies with haptic feedback including ImmersiveTouch, developed at the University of Chicago, and NeuroTouch, developed by the National Research Council (Canada) working with the Neurosurgical Simulation Research and Training Centre at Montreal Neurological Institute and Hospital and other research groups, can complement biological models and may be useful to assess resection of cerebral tumors.^{4-7,9,10} Although microsurgery techniques can be assessed in simulation VR models, biological models providing high tissue fidelity along with more realistic bleeding would substantially augment the field of technical skills training. Animal models that are used to teach microsurgical skills do not include specific tumor resection scenarios.¹¹ Biological models specifically developed to study brain tumor resection with the ability to teach microsurgical haptic tool interaction for tumor removal and control of bleeding would advance the field of surgical simulation.

The purposes of this article are (1) to outline the human placenta as a biological, ex vivo, high-fidelity surgical model that

can be used to simulate brain tumor resection and (2) to evaluate face, content, and construct validity of this placental model.

METHODS

After approval from the Ethics Committee of the Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 16 human placentas were collected. Signed informed consent was obtained from expectant mothers and a predelivery infection screening was carried out.

Placental Tumor Model

The placentas used in this study were prepared at the Federal University of Minas Gerais microsurgical laboratory as previously described.^{12,13} The human placenta is highly vascularized with an allantois membrane covering the stroma. The variably sized arteries and veins need to be avoided when injecting silicone into the placental stroma to produce the simulated tumor (Dow Corning 3110 RTV Silicone Rubber and catalyzer DALTOCAT 60 N). A 25 × 7 needle was used to slowly inject the silicone solution (1 mL/7 s) 2 mm under the placenta stromal surface. A white silicone/catalyzer solution in a dilution of 7:1 was used to reproduce a tumor mass with a hard, well-defined tumor-tissue border interface. A green silicone/catalyzer solution dilution of 10:1 was used to simulate a less well-defined infiltrative-like tumor. The simulated tumors are visualized beneath the placenta surfaces secondary to the color differences, and the "tumor" borders are easily visualized under microscopic illumination (Figure 1). The 3 vessels of the umbilical cord were cannulated after tumor production and continuously perfused by an infusion pump using colored saline solutions simulating blood as previously described.^{12,13} Due to the high placenta stroma vascularization, all simulated tumors were surrounded by multiple arterial and venous vessels. Doppler ultrasound is useful for measuring intravascular flow in the vessels surrounding these simulated tumors.¹³

The simulated brain tumor resection scenarios using this placenta ex vivo brain tumor model are outlined in Table 1. The 3 scenarios assessed in this study were (1) time in minutes necessary for complete microsurgical tumor removal, (2) time in minutes necessary to coagulate a 1.5-mm vessel, and (3) time in minutes necessary to suture the lesioned wall of a 2.0-mm vessel. Eight "expert" neurosurgeons and 8 neurosurgical residents were recruited for this study. Experts were defined as neurosurgeons who performed at least 2 brain tumor microsurgical resections monthly for the previous 2 years. Novice residents had never performed a brain tumor microsurgical resection.

TABLE 1. Proposed Training Exercises				
Surgical Simulation Exercise	Learning Activity Proposed	Degree of Difficulty	Figure Illustrating the Activity	Placenta Structure Used
Arachnoid-pia-cortical opening	Bipolar, knife, and scissors microsurgical use under microscopic visualization	Medium	2	Allantois membrane
Tumor debulking and resection	Fine movements with microsurgical instruments	High	3	Created tumor in placenta stroma
Vessel coagulation using bipolar	Delicate use of bipolar under microscopic visualization	Medium	4B	Placenta stroma and surface vessels
Vessel suture	Control of massive bleeding: microsuture under microscopic visualization	High	5A	Placenta vessels from 1 mm to 4 mm

TABLE 2. Microsurgical Simulated Exercises and Related Complications			
Microsurgical Exercise	Catastrophe Simulation	Occurrence Frequency When Working in the Model	Surgical Maneuver to Practice Treating This Complication
Simulation of brain cortex coagulation	Normal tissue and vessel coagulation outside the excision area	Low	Definition of the target area before starting
Suction device use	Accidental suction of nondesired structure	Median	Learning and practice using the suction devices
Microscissors use	Artery and vein lesion	Median	Careful cutting and microsurgery vessel repair for larger vessels
Tumor resection	Retraction and lesion of surrounding structures	High	Tumor debulking and resection practice

Each participant used standardized microscopic techniques to remove these simulated tumors, coagulate, and/or suture the lesioned blood vessels. To assess face and content validity, each participant evaluated the tasks using a 5-point Likert scale questionnaire after task completion.^{3,14,15} Statistical analysis was performed using the Fisher exact test, and $P < .05$ was considered significant. Construct validity was assessed based on the time in minutes required to complete each task, comparing neurosurgeon and resident groups. Statistical analysis for construct validity was performed using the Mann-Whitney U test, and $P < .05$ was considered significant.

RESULTS

All 16 placentas were appropriate for use as simulated ex vivo models for brain tumor microsurgical resection. Placenta preparation and stromal silicone injection to initiate tumor formation was straightforward. Thirty minutes was sufficient for placental vessel cannulation and silicone injection.^{12,13} Placentas were used for the simulated tumor resections 24 hours after injection, which allowed the silicone to harden into a solid

mass. The silicone/catalyzer dilution injected into the placenta had physical properties depending on the concentration used. A less diluted solution resulted in harder simulated tumors with well-identified borders, whereas adding less silicone to the solution simulated softer infiltrated tumors.

Table 2 outlines some operative issues encountered while participants resected tumors in the simulation model. The opening of the allantois membrane simulates the arachnoid-pia-cortical opening during human tumor resection (Figure 2). The process of resection of a typical simulated brain tumor can be seen in Figure 3. A video demonstration of the resection task is shown in the **Video (Supplemental Digital Content 1, <http://links.lww.com/NEU/A782>**, which demonstrates microsurgical resection of simulated green tumor embedded in the placenta stroma). Figures 4A and 4B outline vessel bleeding and the use of suction and bipolar coagulation to control bleeding, and Figures 5A and 5B demonstrate vessel injury and the use of a suture to repair the vessel. These vessel complications occur during human brain tumor operations,



FIGURE 2. Human placenta stroma with the allantois membrane opening using microscissors simulating microscopic brain tumor surgery.

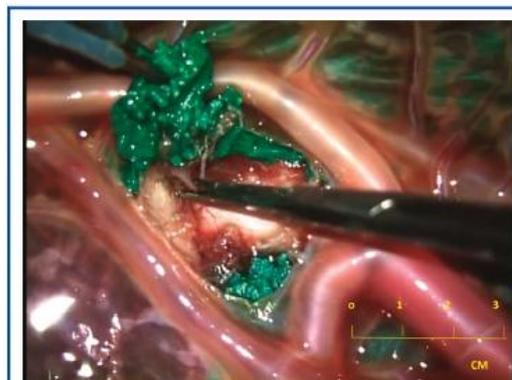
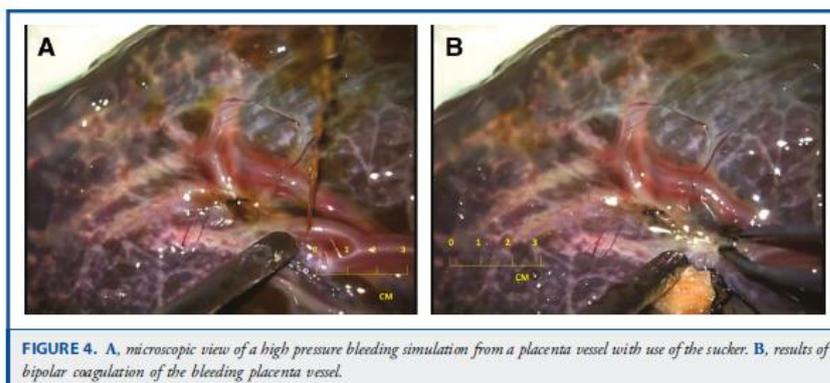


FIGURE 3. Brain tumor resection using microscopic simulation where the tumor is seen as a green color with attachments to the placenta stroma.



and these surgical simulation brain tumor resection scenarios provide opportunities to deal with these potential operative complications. The results of face, content, and construct validity are outlined in Tables 3 and 4.

DISCUSSION

The human placenta is a high-fidelity surgical model that can be used to simulate brain tumor resection. The platform incorporating the simulated scenarios and the time metric used differentiates novice from expert neurosurgical performance, demonstrating face, content, and construct validity. The use of human placenta was described for microsurgical suture training in 1979.¹⁶ Our study is the first to use and validate the use of human placentas as a training model for brain tumor microsurgical resection. Because human tissue was used only after its removal from the body and patients readily consented to its use, ethics committee approval should not be difficult. Biological contamination is an important issue, and appropriate precautions must be taken to avoid contamination.^{12,13,17}

VR simulators have been used to assess both the impact of the physical characteristics of the simulated tumor and the bimanual psychomotor metrics involved in tumor resection.^{4-7,18-20} The NeuroTouch platform has demonstrated significant differences in neurosurgical bimanual psychomotor performance of medical students, residents, and neurosurgeons based on simulated tumor complexity and bleeding, establishing construct validity.^{5,19,20} A comparison of some characteristics of NeuroTouch and the human placenta model are shown in Table 5. VR reality models are continually improving anatomic realism using multiple novel scenarios and can directly assess psychomotor function.¹⁹⁻²¹ The major advantage of the human placenta models is the high-fidelity reproduction of surgical events including vascular injury. Arterial and venous blood flow can be simulated by perfusing specific placental vessels with different liquids at various pressures. The use of patties, suture techniques, and hemostatic agents such as Surgicel (Ethicon, US) to control bleeding along with the ability to assess the role of varying vascular pressure cannot yet be modeled on VR simulators, but can be assessed in the placental model. The placenta ex vivo perfusion model also

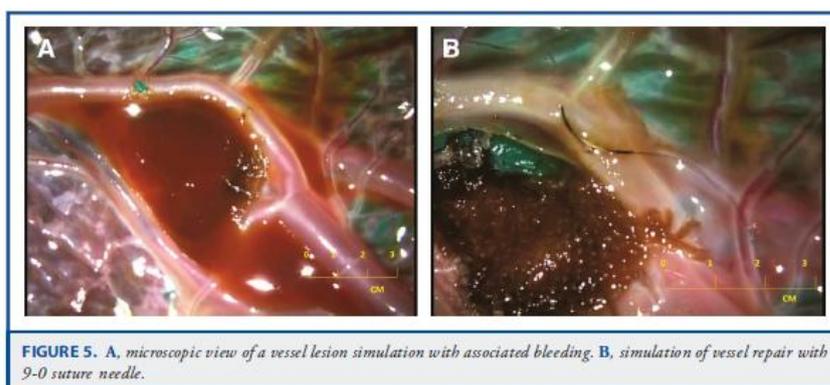


TABLE 3. Face and Content Validity ^a			
Face Validity	Is the HP Tumor Model Similar to Real Entire Surgery?		Is the HP Tumor Model Similar to Real Microsurgery Tumor Resection?
Expert (median)	3		4
Novice (median)	4		5
P value ^b	.20 ^c		.20

Content Validity	Is the HP Tumor Model Similar to Patient Setup in the Operating Room?	Is the HP Tumor Model Similar to Brain Corticectomy?	Is the HP Tumor Model Similar to Microsurgical Brain Tumor Removal Technique?	Is the HP Tumor Model Similar to Real Surgery Vessel Coagulation?
Expert (median)	1	3	4	5
Novice (median)	3	5	5	5
P value ^b	.007 ^c	.041 ^c	.077	1.0

^aHP, human placenta. Likert 5-point scale: 5, very similar; 4, similar; 3, some similarity; 2, little similarity; 1, not similar.

^bFisher exact test.

^cP value < .05.

has the potential to reproduce various aspects of the coagulation cascade depending on which blood products (different platelet and/or coagulation factors) are infused. The placental simulation model, along with NeuroTouch, can model bipolar and suction device use. Cost and maintenance are major concerns related to any virtual simulator laboratory setup.

Different types of silicone/catalyzer solutions were tested and allowed the production of simulated tumors with a wide variety of densities and colors. Injection of solutions with more silicone and less catalyzer resulted in an infiltrate into the placenta stroma into its trabeculae and vessels, simulating high-grade infiltrative tumors without defined borders. Solutions with more catalyzer and less silicone tended to form more solid and compact masses, resulting in a well-demarcated border simulating benign lesions. Silicone was used exclusively in this study, but other types of chemical compounds may provide better models for specific simulation.

Strengths and Limitations

Human placentas are readily available and can be used in multiple research environments. Experience in our laboratory

has demonstrated that after a week of training, the preparation of placentas for microsurgical procedure takes 30 minutes. The surgical instruments used in all neurosurgical operating rooms during the resection of brain tumors are those used in the placental model to enhance operative realism. Live animal surgical models for the training of microsurgical removal of cerebral tumors have not been extensively developed.²² The ex vivo human placenta tumor model can be used to simulate a variety of difficult situations encountered during human operations, particularly as related to vessel injury and control of bleeding, as shown in Table 2. Excessive brain tissue retraction should be avoided to minimize neurological complications after brain tumor removal.²³ The human placenta model allows this kind of injury to be visually monitored and assessed, perhaps allowing the trainees to avoid this situation in the operating room.

The placenta model does not reproduce all aspects of modern brain tumor resection. Specific components of placental operative procedures need to be improved, including (1) the use of cavitronic aspiration and suction of tumor tissue, (2) more realistic infiltrative models, (3) the use of bipolar cautery to cauterize microvasculature and the detachment of the tumor from its complex environment,

TABLE 4. Construct Validity			
Construct Validity	Time (min) Necessary to Complete Simulated Microsurgical Tumor Removal Without Traction ^a	Time (min) Necessary to Perform Bipolar Coagulation Under Microscopic Visualization of a 1.5-mm Vessel	Time (min) Necessary To Microsuture the Injured Wall of a 2-mm Vessel
Expert median (min-max)	9 (8-11)	1 (1-1)	4 (3-5)
Novice median (min-max)	20.5 (19-22)	3 (2-4)	11.5 (10-14)
Statistical analysis P value ^b	.001	<.001	.001

^aTraction was observed by displacement of the human placenta over the working platform.

^bMann-Whitney U test.

TABLE 5. Ex Vivo Biological Placental Brain Tumor Model Compared With a Virtual Reality Model Such as NeuroTouch

Characteristics	Human Placenta Model	Virtual Model
Cost	Low	High
Brain anatomy reproduction	None	Can be reproduced by a computer
Surgical fidelity	High	Low to medium
Haptic	High	Medium to high, related to tumor-incorporated haptics
Biological contamination	Increased risk	None
Durability of the model	7 days at 5°C	Long with continuous upgrades
Availability	Easy to set up and use	Cost limits availability
Ability to model different kinds of simulation	Can reproduce different surgical tasks	Multiple tumor scenarios can be modeled
Metrics	Limited to time for procedure	Multiple metrics available

(4) microscopic manipulation to create better viewing angles, and (5) prevention of closure of the placental surgical corridor to allow deep tumor tissue visualization.

Validation studies have shown the efficacy of this model as a training tool for “novice” neurosurgical residents. Face and content validity was outlined by the participants concerning the microsurgical aspect of brain tumor surgery. Construct validity was established as the time in minutes to complete a number of simulated operative tasks in the 2 groups studied. Further studies can assess resident learning curves, and proficiency performance benchmarks can be developed for individual resident groups.²⁴ Predictive and concurrent validity would require substantially larger numbers of participants using multiple centers. Medical student workshops using the brain tumor placenta model could aid in career choices. Haptic biological models could also be used to certify quality maintenance requirements by specialty boards.

Our study results need to be interpreted with caution. First, the short task duration and level of color, stiffness, tumor border distinctness and vessel type, and complexity may not adequately discriminate the quality of performance among our limited number of operators. Second, the use of neurosurgeons and residents from only 1 institution may have resulted in our inability to find more significant differences between the neurosurgeon and resident groups. Failure to incorporate more senior neurosurgical residents in this trial makes it difficult to generalize our data to this group. Serial tracking of residents during training and after graduation may be useful in understanding the sequence of technical skills acquisition during residency and modification of these skills after residents become neurosurgeons. Third, the lack of defined metrics outside of time to complete specific tasks does not allow for the quantization of psychomotor activity, which is rather advanced in VR simulators such as NeuroTouch.^{3-7,19,20,24}

To maximize expertise training, this placental model could play a very important role as a hybrid model (between VR simulators and the patient) by allowing participants who have obtained defined proficiency-based benchmarks on a VR simulator, such as NeuroTouch to be further tested on an ex vivo biological model before being assessed in operating room situations.²⁵ Fourth, although this study was focused on an assessment of performance of expert and novice groups, it is

clear that without the demonstration that biological simulators, such as the placenta model, enhance resident operating room performance, their use will be limited.²⁶

CONCLUSION

The human placental brain tumor microsurgical resection model is a high-fidelity training model that may have significant potential in the evaluation and training of neurosurgical residents. Our studies have demonstrated face, content, and construct validity, suggesting that this model deserves further exploration to assess its potential in neurosurgical teaching.

Disclosure

The authors have no personal, financial, or institutional interest in any of the drugs, materials, or devices described in this article.

REFERENCES

1. D’Amico RS, Kennedy BC, Bruce JN. Neurosurgical oncology: advances in operative technologies and adjuncts. *J Neurooncol*. 2014;119(3):451-463.
2. Neal JH. *Brain Tumors: A Comprehensive Text*. Vol 35. New York: Raven Press; 1994:339-340.
3. Gdinas-Phaneuf N, Del Maestro RF. Surgical expertise in neurosurgery: integrating theory into practice. *Neurosurgery*. 2013;73(suppl 1):30-38.
4. Delorme S, Laroche D, DiRaddo R, Del Maestro RF. NeuroTouch: a physics-based virtual simulator for cranial microneurosurgery training. *Neurosurgery*. 2012; 71(1 suppl operative):32-42.
5. Choudhury N, Gdinas-Phaneuf N, Delorme S, Del Maestro R. Fundamentals of neurosurgery: virtual reality tasks for training and evaluation of technical skills. *World Neurosurg*. 2013;80(5):e9-e19.
6. Azarnoush H, Alzhrani G, Winkler-Schwartz A, et al. Neurosurgical virtual reality simulation, metrics to assess psychomotor skills during brain tumor resection. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2015;10(5):603-618.
7. Alotaibi F, AlZhrani G, Mullah AS, et al. Assessing bimanual performance in brain tumor resection using NeuroTouch a virtual reality simulator. *Neurosurgery*. 2015; 11(suppl 2):89-98.
8. Kshetry VR, Mullin JP, Schlenk R, Recinos F, Benzel EC. The role of laboratory dissection training in neurosurgical residency: results of a national survey. *World Neurosurg*. 2014;82(5):554-559.
9. Chan S, Conti F, Salisbury K, Blevins NH. Virtual reality simulation in neurosurgery technologies and evolution. *Neurosurgery*. 2013;72:A154-A164.
10. Banerjee PP, Luciano CJ, Lemole GM Jr, Charbel FT, Oh MY. Accuracy of ventriculostomy catheter placement using a head-and hand-tracked high-resolution virtual reality simulator with haptic feedback. *J Neurosurg*. 2007;107(3):515-521.

11. Shurey S, Akelina Y, Legagneux J, Malzone G, Jiga L, Ghanem AM. The rat model in microsurgery education: classical exercises and new horizons. *Arch Plast Surg*. 2014;41(3):201-208.
12. Oliveira Magaldi M, Nicolato A, Godinho JV, et al. Human placenta aneurysm model for training neurosurgeons in vascular microsurgery. *Neurosurgery*. 2014;10(suppl 4):592-600.
13. Oliveira Magaldi M, Nicolato A, Santos M, et al. Face, content and construct validity of human placenta as a haptic training tool in neuro-interventional surgery. *J Neurosurg*. In press.
14. Hung AJ, Zehnder P, Patil MB, et al. Face, content and construct validity of a novel robotic surgery simulator. *J Urol*. 2011;186(3):1019-1025.
15. Likert R. A technique for the measurement of attitudes. *Arch Psychol*. 1932;140:1-55.
16. Goldstein M. Use of fresh human placenta for microsurgical training. *J Microsurg*. 1979;1(1):70-71.
17. Avila-Guerra M. Simulation in developing countries. *Neurosurgery*. 2014;74(3):E343.
18. Gélinas-Phaneuf N, Choudhury N, Al-Habib AR, et al. Assessing performance in brain tumor resection using a novel virtual reality simulator. *Int J Comput Assist Radiol Sur*. 2014;9(1):1-9.
19. Alotaibi FE, AlZhrani GA, Sabbagh AJ, Azarnoush H, Winkler-Schwartz A, Del Maestro RF. Neurosurgical assessment of metrics including judgement and dexterity using the virtual reality simulator NeuroTouch (NAJD). *Surg Innov*. Epub 2015 Apr 7.
20. Bajunaid KM, Mullah MA, Winkler-Schwartz A, et al. Acute stress impacts psychomotor bimanual performance during simulated tumor resection task. *J Neurosurg*. 2015. In press.
21. Schirmer CM, Mocco J, Elder JB. Evolving virtual reality simulation in neurosurgery. *Neurosurgery*. 2013;73(suppl 1):S127-S137.
22. Kegelman TP, Hu B, Emdad L, Das SK, Sarkar D, Fisher PB. In vivo modeling of malignant glioma: the road to effective therapy. *Adv Cancer Res*. 2014;121:261-330.
23. Andrews RJ, Bringas JR. A review of brain retraction and recommendations for minimizing intraoperative brain injury. *Neurosurgery*. 1993;33(6):1052-1063.
24. Holloway T, Lorsch ZS, Chary MA, et al. Operator experience determines performance in a simulated computer-based brain tumor resection task. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. Epub 2015 Mar 26. doi: 10.1007/s11548-015-1160-y.
25. AlZhrani G, Alotaibi F, Azamouh H, et al. Proficiency performance benchmarks for removal of simulated brain tumors using a virtual reality simulator NeuroTouch. *J Surg Educ*. 2015;72(4):685-696.
26. Kirkman MA, Ahmed M, Albert AF, et al. The use of simulation in neurosurgical education and training. *J Neurosurg*. 2014;121(2):228-246.

Supplemental digital content is available for this article. Direct URL citations appear in the printed text and are provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (www.neurosurgery-online.com).

ARTIGO 2

Intracranial interventional ultrasonography: evaluating neurosurgeon's performance - a simulation based study

Marcelo Magaldi Oliveira MD, PhD ^{1,3}; Audrey B Araujo, MD ¹, MSc; Pollyana HV Costa ¹; Pedro Henrique V Costa ¹; Carlos Eduardo Ferrarez, MD ¹; Luiza Mainart ¹; Maira Souza ¹; Bruna Gomes ¹; Breno Resende ¹; Camila Nobre ¹; Carla Machado, PhD ²; Eric Sauvageau, MD ³; Ricardo Hanel, MD, PhD ³

1 - Microsurgery Laboratory, Dep. of Surgery, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

2- Dep. of Preventive and Social Medicine, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

3 - Neurosurgery Res. Simulation Laboratory, Baptist Hospital, Jacksonville, USA

ABSTRACT

Introduction: Interventional ultrasonography (IU) is surgical therapeutic tool that has specific indications in neurosurgery. IU neurosurgeon's proficiency is not known. Our goal is to subjectively and objectively evaluate deep brain cyst puncture by neurosurgeons in a controlled environment. **Material and Methods:** Thirty neurosurgeons voluntarily joined the study, and answered a 5 points Likert scale regarding real self- performance in intracranial IU. Posteriorly, they were objectively evaluated while doing a simulated deep brain cystic puncture in an ex vivo hybrid simulator. This model was validated by 8 interventional ultrasonographers. Statistical analyses were performed using ttest, Wilcoxon signed-ranks test and MANOVA (Multivariate analysis of variance). **Results:** Intracranial IU ex vivo hybrid simulator showed very good similarity with real scenarios (Face validity), with high fidelity of all part tasks (Content validity). The mean and the median of subjective evaluation were significantly different ($p < 0.01$). Subjective and objective evaluation of the 30 neurosurgeons resulted in a score matching of 26.7%. US machine manipulation and finding the lesion was achieved by more than half of the participants. Lesion puncture under US vision was accomplished by 10 neurosurgeons (33%) and vessel finding with US Doppler by 1 (3.3%). US needle guidance through all the procedure was not achieved by any neurosurgeon. **Conclusion:** This is the first time a simulator is used in neurosurgery to evaluate IU performance. Statistical differences between subjective and objective neurosurgeons' performances concluded that neurosurgeons are out regarding IU proficiency. Specific IU training or always having an IU radiologist assisting the procedures is recommended.

KEYWORDS: ultrasonography, interventional ultrasonography, neurosurgical simulation, human placenta, ultra sound guided procedure, brain cyst puncture.

INTRODUCTION

Ultrasonography is a largely used medical diagnostic tool that is also well explored in guiding interventional procedures. Cyst drainage, biopsy and vessel puncture are the main indications for interventional ultrasonography (IU)^{1,2}.

In neurosurgery, IU can be used to guide deep or subcortical lesion intervention^{1,3,4}. Advantages and indications of this procedure have been reported¹. There is no study, to our knowledge, that aims to evaluate the competency of neurosurgeons regarding this kind of intervention.

Ultra sound (US) physics, technical utilization and applications are well determined as it is a radiology subspecialty^{5,6}. Some neurosurgical procedures that use the IU are done with the aid of a radiologist, but this facility is not present in all hospitals, neither at any time^{4,7}. As neurosurgery is a complex medical specialty that involves a reasonable number of emergency surgeries, some IU neurosurgical procedures can't be elective⁸.

We intend to explore subjective and objective evaluation methodology to define if neurosurgeons are able or not to conduct invasive procedures guided by ultra sound proficiently. What a neurosurgeon thinks he/she is able to do does not necessarily meet the reality^{9,10}. This was the raised question that led to this research methodology.

The purposes of the current study are: 1) describe and provide face and content validity of a human placenta IU hybrid simulator; 2) perform subjective and objective evaluation of neurosurgeons proficiency in IU deep cystic puncture.

MATERIAL AND METHODS

After approval by the local ethical committee, the research was conducted between September 2016 and February 2017. The study consisted in two parts: 1) subjective evaluation of IU performance by neurosurgeons self-rating, 2) description and validation of a high fidelity IU ex vivo simulator with objective evaluative metrics for neurosurgical and interventional radiologists performance.

Thirty neurosurgeons from 6 different departments with 2 to 25 years of independent practice were randomly chosen to participate in the subjective and objective performance evaluation. Eight IU specialized radiologists from 4 different departments did the face and content validity and joined the objective evaluation.

All doctors voluntarily signed a consent form authorizing the release of their answers and performance results.

Each simulator used a hard paper box to simulate the human cranium and two human placentas. An orifice of 6 squared centimeters was done at the simulated cranium box to place the ultrasound probe. Human placentas were obtained and prepared, as previously described^{11,12}, at the microsurgical laboratory of the Federal University of Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brazil. The top placenta simulated the brain cortex, with the lower placed placenta was perfused with colored sailing simulating the vascularized deeper brain area with lesion (Figure 1a,b).

Simulation of intra parenchymal cystic lesion was done using a latex finger glove filled with water and knot at the base. It was sutured to the bottom placenta with a Vycryl 3-0 (Figure 2). This placenta was folded over itself and placed inside the simulated cranium, underneath the top placenta. The puncture was done with a french gauge 14 cathater. The US apparatus used in this study was a Philips CX50 (Amsterdan, Netherlands).

Face and content validity methodology

Face validity compared the proposed simulator with real surgery to the dregree of similarity overall. Eight radiologists with at least two years of independent practice in IU answered the questions using a five points Likert scale (Table 1).

Content validity evaluated the following part tasks: manipulation of US machine, find the lesion with US, find a vessel close to the lesion with Doppler US, US needle guidance during entire simulation and US needle vision during cyst puncture (Table 2).

Subjective and objective evaluation of IU performance

Subjective evaluation used a five points Likert questionnaire that was answered by 30 neurosurgeons. They rated themselves from not being able to do a cranium IU procedure, to being an expert (Table 3)

Objective evaluation consisted of doing an IU procedure in an ex vivo hybrid simulator. Thirty neurosurgeons and eight interventional radiologists were rated according 5 part tasks: US machine manipulation, find the lesion, find vessel

close to lesion, US guiding the needle during all tissue insertion and US guiding the cyst puncture (Tables 3 and 4). All tasks were score from 0 to 1 (task not done and task executed, respectively).

Statistical Analysis

Means, standard deviations, medians and interquartile ranges, as well the minimum and the maximum of the neurosurgeons subjective and objective scores were obtained as needed. Also, the percentage of correct answers for each item was calculated. Statistical analyses were performed using *t*-test and Wilcoxon signed-ranks test, both for matched pairs. These tests were used, respectively, to compare the means and the medians of the neurosurgeons subjective and objective scores. MANOVA (Multivariate analysis of variance) was conducted in order to correlate the objective scores and specific items of the score; F tests and Pillai's trace statistic was used to find the percentage explained by each score items.

RESULTS

All 38 simulators (30 neurosurgeons and 8 interventional radiologists) were able to provide the complete IU proposed tasks. Face and content validity results are shown in Tables 1 and 2, respectively.

All 8 interventional radiologists experts rated the simulator as having very good similarity with real scenarios (Face validity), with high fidelity of all part tasks (Content validity). Their objective evaluation during simulation showed a perfect performance in the 5 proposed part tasks (Table 4).

The mean and the median of subjective evaluation were significantly different ($p < 0.01$). Subjective and objective evaluation of the 30 neurosurgeons resulted in a score matching of 26.7% (8 among 30 neurosurgeons matched on both scores). US machine manipulation and finding the lesion was achieved by more than half of the participants. Lesion puncture under US vision was accomplished by 10 neurosurgeons (33%) (Figure 3a, 3b, 3c). Vessel finding with US Doppler was done by 1 neurosurgeon (3.3%). Accidental vessel puncture lesion was observed in 2 cases (Figure 4a,b,c). Needle puncture guidance through all the procedure was not done by any neurosurgeon.

The results regarding objective evaluations were different between those who matched in subjective and objective evaluation and those who did not match. The mean of subjective evaluation of those who match was 3.1 (SD=0.8) as compared to the mean of those who did not match 1.8 (SD=1.0) ($p=0.020$). The median were also significantly different ($p=0.010$).

Findings also indicated that the ability to manipulate US, to find a lesion, to use US needle guidance in all trajectory, and to do US guided puncture were the items that were significantly associated to the objective score (Table 5). Ability to manipulate US and to find a lesion explained most of the variation of the objective scores (64.2%).

DISCUSSION

IU has been well described in neurosurgery. Indications are cyst drainage, hematoma evacuation, tumor biopsy and ventricle puncture. Some neurosurgical subspecialties, as pediatric and oncology neurosurgery, generally uses this image method more than others^{1,4}.

Neuro navigation can share the same indications of IU usage^{4,14,15}. It was mentioned by half of the participating neurosurgeons that this was the reason why they do not perform IU in daily practice. Despite of this, neuro shift found in the navigation method was the main reason that some of the neurosurgeons said they use IU. Usage of US correction in neuro navigation is reported¹³. Emergency neurosurgical interventions, where patients have done CT scan, due to hematoma or cystic lesion with brain shift can promptly benefit of IU.

Ventricular puncture, in the same scenario, is another indication for IU if a craniotomy has been done^{1,14}.

The great advantage of IU in neurosurgery is the method low cost and easy availability^{3,13}. The concept that IU is easily performed is shared by some neurosurgeons in daily dialogues. This was the main reason that led our group to develop this study methodology, with the question: Are you good in what you think to be in a procedure that you do not do frequently? Surgeons` self - assessment of a technical skill performance does not necessarily meets the performance quality. Novices` executing for the first times a new procedure correlates poorly with experts` opinion about that performance^{9,10}. In this study, the addition of a high

fidelity simulator with objective results confirmed that previous statement. The self-assessment evaluative method is not reliable accordingly to our results.

The human placenta simulator has been described in vascular and tumor neurosurgery^{11,12}. Placenta surface, stroma and vessels had similar images with the human brain when they were compared regarding ultra sound image appearance accordingly to neurosurgeons and radiologists enrolled in this study.

Constructing a hybrid simulator, simulating blood flow and creating a simulated lesion allowed the development of a high fidelity training model in IU, as confirmed with expert interventional ultrasonographers face and content validity. The positive validity simulator result led to the development of our objective methodology to grade IU neurosurgeons performance in a controlled scenario.

This is the first time, in our knowledge, that neurosurgeons were rated in IU procedures. The inability to conduct the puncture needle through the tissue with continuous US vision was the main fact that argued against inaccurate neurosurgeons performance in invasive sonography. Only 33.3% of neurosurgeons could puncture the cyst with direct needle vision, what makes the procedure unsafe. Ability to find vessels close to the lesion was minimal, what can cause major brain hemorrhage. IU is a radiology sub specialty and formal training is needed and required².

Neurosurgeons could cause harm to the patient while trying to treat a specific pathology with ultra sound guidance, as damaging a brain vessel or introducing the puncture needle to deep due to incapacity of full time guidance. This study reinforces that any intervention done in a human being needs specific training.

Neurosurgeons should always have an interventional sonographer do an IU in the brain or pass through formal IU training. All interventional sonographers that joined this study in a control group easily performed the simulation with high degree of proficiency in the previous select tasks, what was not achieved by any joining neurosurgeon.

CONCLUSION

This is the first time a simulator is used in neurosurgery to evaluate IU performance. The placenta hybrid model showed positive face and content validity results that reinforces its´ usage as a teaching tool in neurosurgery.

Statistical differences between subjective and objective neurosurgeon's performance concluded that neurosurgeons are out regarding IU proficiency. Specific IU training or always having an IU radiologist assisting the procedures is recommended.

REFERENCES

1. Unsgaard G, Gronningsaeter A, Ommedal S, Nagelhus Hernes TA. Department of Neurosurgery, University Hospital of Trondheim, Norway, Brain operations guided by real-time two-dimensional ultrasound: new possibilities as a result of improved image quality. *Neurosurgery*. 2002 Aug; 51(2):402-11; discussion 411-2.
2. Almolla J, Balconi G. Interventional ultrasonography of the chest: Techniques and indications *J Ultrasound*. 2011 Mar;14(1):28-36
3. Vasil'ev SA, Zuev AA, Fisenko EP, Vetsheva NN: The use of intraoperative sonography in surgical treatment of brain tumors, *Khirurgiia (Mosk)*. 2010;(2):38-43.
4. Koivukangas J, Kelly PJ: Application of ultrasound imaging to stereotactic brain tumor surgery, *Ann Clin Res*. 1986; 18 Suppl 47:25-32.
5. Fasano VA, Ponzio RM, Liboni W, De Mattei M: Preliminary experiences with "real-time" intraoperative ultrasonography associated to the laser and the ultrasonic aspirator in neurosurgery, *Surg Neurol*. 1983 Apr;19(4):318-23.
6. Mursch K, Scholz M, Brück W, Behnke-Mursch J. The value of intraoperative ultrasonography during the resection of relapsed irradiated malignant gliomas in the brain. *Ultrasonography*. 2017 Jan;36(1):60-65.
7. Grode ML, Komaiko MS: The role of intraoperative ultrasound in neurosurgery. *Neurosurgery*. 1983 Jun;12(6):624-8.
8. Chandler WF, Knake JE: Intraoperative use of ultrasound in neurosurgery, *Clin Neurosurg*. 1983; 31:550-63.
9. Pandey VA, Wolfe JHN, Black SA, Cairols M, Liapis CD, Bergqvist D. Self-Assessment of Technical Skill in Surgery: The Need for Expert Feedback. *Ann R Coll Surg Engl*. 2008 May; 90(4): 286–290.
10. Moorthy K, Munz Y, Adams S, Pandey V, Darzi A. Self-assessment of performance among surgical trainees during simulated procedures in a simulated operating theater. *Am J Surg*. 2006 Jul;192(1):114-8.
11. Oliveira MM, Araujo AB, Nicolato A, Prosdocimi A, Godinho JV, Valle AL, et al: Face, content, and construct validity of brain tumor microsurgery simulation using a human placenta model. *Oper Neurosurg* 12:61–67, 2016
12. Oliveira Magaldi M, Nicolato A, Godinho JV, Santos M, Prosdocimi A, Malheiros JA, et al: Human placenta aneurysm model for training neurosurgeons in vascular microsurgery. *Neurosurgery* 10 (Suppl 4):592–601, 2014.
13. Chandler WF, Knake JE, McGillicuddy JE, Lillehei KO, Silver TM: Intraoperative use of real-time ultrasonography in neurosurgery, *J Neurosurg*. 1982 Aug; 57(2):157-63.

14. Van Velthoven V, Auer LM, Department of Neurosurgery, University of Freiburg, Federal Republic of Germany. Practical application of intraoperative ultrasound imaging. *Acta Neurochir (Wien)*. 1990; 105(1-2):5-13.
15. Roselli R, Iacoangeli M, Pentimalli L, Prezioso A, Scerrati M, Rossi GF. Institute of Neurosurgery, Catholic University School of Medicine, Rome, Italy, Intraoperative real-time ultrasonography in the microsurgical removal of subcortical or deep-seated brain tumor. *Acta Chir Belg*. 1993 Jul-Aug; 93(4):185-7.

FIGURES



Figure 1a,b- Intracranial IU ex vivo hybrid simulator ready for usage: a - simulator and ultra sound machine, b- simulator vascularized surface and materials used.



Figure 2- Simulated cyst into the ex vivo model.



Figure 3 a,b,c- Simulated deep brain cyst puncture guided by US: a- cyst view by US, b – Puncture needle entering the cyst by US vision, c – cyst evacuation.



Figure 4 a,b,c- Doppler US used to find vessels around the cyst: a – accidental vessel puncture during simulation, b – Doppler US of a simulator vessel showing the simulated blood flow, c - vessel puncture in the simulator.

TABLES

Table 1- Interventional ultrasonography ex vivo hybrid model face validity

	Is the simulator similar to real scenario?	Do you think this is a high fidelity simulator?
IR 1	4 [#]	yes
IR 2	4	yes
IR 3	4	yes
IR 4	4	yes
IR 5	3	yes
IR 6	4	yes
IR 7	3	yes
IR 8	4	yes
Mean (SD)	3.8 (0.5)	
Median (IQR)	4 (1)	

- IR: interventional radiologist.

results given according to Likert scale: 5 – exactly like, 4 – very similar, 3- reasonably similar, 2- little similarity, 1 – not similar.

Table 2- Interventional ultrasonography ex vivo hybrid model content validity: comparison to real procedure

	US machine manipulation	Find lesion	Find vessel With US doppler	US needle guidance in all trajectory	US guided lesion puncture	US guided lesion puncture
IR 1	5 [#]	5	5	5	5	5
IR 2	5	5	5	5	5	5
IR 3	5	5	5	5	5	5
IR 4	5	5	5	5	5	5
IR 5	5	5	5	5	5	5
IR 6	5	5	5	5	5	5
IR 7	5	5	5	5	5	5
IR 8	5	5	5	5	5	5

* IR: interventional radiologist.

results given according to Likert scale comparing to real procedure:

5 – exactly like, 4 – very similar, 3- reasonably similar, 2- little similarity, 1 – not similar.

Table 3 - Objective evaluation of 30 neurosurgeons performing an interventional ultra sound procedure in an ex vivo hybrid simulator

Neurosurgeon	Subjective Evaluation *	Objective Evaluation #	Manipulate Ultra sound	Find lesion	Find vessel With Doppler US	US needle guidance in all trajectory	US guided puncture
1	4	2	1	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
3	4	3	1	1	0	0	1
4	1	2	1	1	0	0	0
5 -	3	3	1	1	0	0	1
6	4	3	1	1	0	0	1
7	1	0	0	0	0	0	0
8	4	2	1	1	0	0	0
9	4	3	1	1	0	0	1
10	1	2	1	1	0	0	0
11	3	2	1	1	0	0	0
12 -	4	4	1	1	1	0	1
13	3	2	1	1	0	0	0
14 -	2	2	1	1	0	0	0
15	4	3	1	1	0	0	1
16	1	0	0	0	0	0	0
17	4	2	1	1	0	0	0
18	1	2	1	1	0	0	0
19 -	3	3	1	1	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0
21	3	3	1	1	0	0	1
22	1	2	1	1	0	0	0
23	3	2	1	1	0	0	0
24	1	2	1	1	0	0	0
25 -	4	4	1	1	0	0	1
26 -	3	3	1	1	0	0	1
27 -	4	4	1	1	0	0	1
28 -	2	2	1	1	0	0	0
29	3	2	1	1	0	0	0
30	4	2	1	1	0	0	0
Min; Max	1; 4	0; 4	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1	0; 1
Mean (SD)	2,7 (1,3)	2,2 (1,1)	--	--	--	--	--
Median (IQR)	3 (3)	2 (1)					
% of tasks performed	--	--	86.7	86.7	3.3	0	33.3

* Subjective evaluation based on the neurosurgeon self opinion about performance in invasive ultrasound based on a 5 points Likert scale: 5 - Expert, 4- good, 3- reasonable, 2- poor, 1 - not able to do; SD – Standard Deviation; IQR – Interquartile Range.

Objective evaluation of neurosurgeon performance regarding invasive ultra sound used the hybrid ex vivo simulator sored in 5 part tasks: US machine manipulation, find the lesion, find vessel close to lesion, US guiding the needle during all tissue insertion and US guiding the puncture (scores 1 if did the task, score 0 if task not done)

Table 4 - Objective evaluation of 8 interventional radiologists performing an interventional ultra sound procedure in an ex vivo hybrid simulator

Interventional Radiologist	Objective evaluation #	US machine manipulation	Find lesion	Find vessel With Doppler US	US needle guidance in all trajectory	US guide lesion puncture
1	5	1	1	1	1	1
2	5	1	1	1	1	1
3	5	1	1	1	1	1
4	5	1	1	1	1	1
5	5	1	1	1	1	1
6	5	1	1	1	1	1
7	5	1	1	1	1	1
8	5	1	1	1	1	1

Objective evaluation of interventional radiologist performance regarding invasive ultra sound used the hybrid ex vivo simulator scored in 5 part tasks: US machine manipulation, find the lesion, find vessel close to lesion using Doppler US, US guiding the needle during all trajectory and US guiding the puncture (scores 1 if did the task, score 0 if task was not done)

Table 5- Statistical differences between subjective and objective scores

Item	F (1, 28)	Pillai's Trace	Percentage of the objective score explained	P-value
Manipulate US	50.19	0.6419	64.2%	<0.001
Find lesion	50.19	0.6419	64.2%	<0.001
Find vessel with Doppler US	2.98	0.0963	9.6%	0.095
US needle guidance in all trajectory	6.98	0.1993	19.9%	0.018
US guided puncture	30.52	0.5216	52.6%	<0.001

Note: F(1, 28) are the F statistics calculated for degrees of freedom f1=1; f2=28