

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Medicina
Curso de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia

Carlos Eduardo Prata Fernandes Ferrarez

**VALIDAÇÃO DE MODELO HÍBRIDO DE PLACENTA HUMANA MODIFICADA
PARA TREINAMENTO DE ANASTOMOSE ENTRE ARTÉRIA
TEMPORAL SUPERFICIAL E ARTÉRIA CEREBRAL MÉDIA**

BELO HORIZONTE, MG

2023

Carlos Eduardo Prata Fernandes Ferrarez

**VALIDAÇÃO DE MODELO HÍBRIDO DE PLACENTA HUMANA MODIFICADA
PARA TREINAMENTO DE ANASTOMOSE ENTRE ARTÉRIA
TEMPORAL SUPERFICIAL E ARTÉRIA CEREBRAL MÉDIA**

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

Área de concentração: Cicatrização

Linha de Pesquisa: Modelos clínicos e experimentais em técnica cirúrgica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Magaldi
Ribeiro de Oliveira

BELO HORIZONTE, MG

2023

F374v Ferrarez, Carlos Eduardo Prata Fernandes.
Validação de modelo híbrido de placenta humana modificada para
Treinamento de Anastomose entre Artéria Temporal Superficial e Artéria
Cerebral Média [manuscrito]. / Carlos Eduardo Prata Fernandes Ferrarez. -
- Belo Horizonte: 2023.
55f.: il.

Orientador: Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira.
Área de concentração: Cicatrização.
Tese (doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de
Medicina.

1. Ponte de Artéria Coronária. 2. Neurocirurgia. 3. Treinamento por
Simulação. 4. Estudo de Validação. 5. Placenta. 6. Dissertação Acadêmica.
I. Oliveira, Marcelo Magaldi Ribeiro de. II. Universidade Federal de Minas
Gerais, Faculdade de Medicina. III. Título.

NLM: WQ 212

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE MEDICINA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA

ATA DA DEFESA DA TESE DO ALUNO/CARLOS EDUARDO PRATA FERNANDES FERRAREZ

Realizou-se, no dia 28 de abril de 2023, às 18:00 horas, apresentação on-line, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de tese, intitulada *VALIDAÇÃO DE MODELO HÍBRIDO DE PLACENTA HUMANA MODIFICADA PARA treinamento DE ANASTOMOSE ENTRE ARTÉRIA TEMPORAL SUPERFICIAL E ARTÉRIA CEREBRAL MÉDIA*, apresentada por CARLOS EDUARDO PRATA FERNANDES FERRAREZ, número de registro 2018698138, graduado no curso de MEDICINA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira - Orientador (UFMG), Prof(a). Aluizio Augusto Arantes Júnior (UFMG), Prof(a). Arthur Adolfo Nicolato (UFMG), Prof(a). Sebastião Nataniel Silva Gusmão (UFMG), Prof(a). José Alberto Landeiro (UFF).

A Comissão considerou a tese:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 28 de abril de 2023.

Prof(a). Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira (Doutor)

Prof(a). Aluizio Augusto Arantes Júnior (Doutor)

Prof(a). Arthur Adolfo Nicolato (Doutor)

Prof(a). Sebastião Nataniel Silva Gusmão (Doutor)

Prof(a). José Alberto Landeiro (Doutor)



Documento assinado eletronicamente por **Aluizio Augusto Arantes Junior, Professor do Magistério Superior**, em 04/05/2023, às 12:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tulio Pinho Navarro, Professor do Magistério Superior**, em 29/05/2023, às 16:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 01/06/2023, às 20:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Adolfo Nicolato, Professor do Magistério Superior**, em 06/06/2023, às 22:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Alberto Landeiro, Usuário Externo**, em 07/06/2023, às 19:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sebastião Nataniel Silva Gusmao, Professor Magistério Superior - Voluntário**, em 12/06/2023, às 08:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2267829** e o código CRC **0B69D27F**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Reitora

Profa. Sandra Regina Goulart Almeida

Pró-Reitor de Pós-Graduação

Prof. Fábio Alves da Silva Júnior

Pró-Reitor de Pesquisa

Prof. Mário Fernando Montenegro Campos

Diretor da Faculdade de Medicina

Prof. Humberto José Alves

Coordenador do Centro de Pós-Graduação

Prof. Tarcizo Afonso Nunes

Chefe do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina

Prof. Marco Antônio Gonçalves Rodrigues

Chefe do Departamento de Oftalmologia e Otorrinolaringologia

Profa. Helena Maria Gonçalves Becker

Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências aplicadas à Cirurgia e Oftalmologia

Profa. Vivian Resende (Coordenadora)

Prof. Túlio Pinho Navarro (Subcoordenador)

Prof. Sebastião Cronemberger Sobrinho

Prof. Marcio Bittar Nehemy

Prof. Marco Antônio Percope de Andrade

Artur William Caldeira Abreu Veloso – Representante discente

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcelo Magaldi, pela confiança e pela orientação na vida acadêmica e na vida profissional.

Ao professor Sebastião Gusmão, pelos ensinamentos, conselhos e convivência.

À professora Carla Machado, por se mostrar sempre disponível e atenciosa.

Aos meus preceptores e amigos, de Neurocirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG, pelo conhecimento, convívio e paciência.

À minha família, esposa e filhos, pela compreensão nos momentos de ausência e apoio nas horas difíceis.

À Pollyana “Polly Pri”, acadêmica do Laboratório de Microcirurgia, por todo seu empenho e dedicação, que foram essenciais na construção deste trabalho.

RESUMO

Introdução: Os procedimentos cirúrgicos de *bypass* cerebrovascular envolvem o uso de habilidades técnicas bimanuais, alta precisão e desenvoltura técnica. Para aquisição de tais habilidades os neurocirurgiões, usualmente, praticam no modelo de rato vivo. **Objetivo:** descrever e validar o uso de um simulador híbrido ex vivo que possui as principais etapas microcirúrgicas para a realização do *bypass* ATS-ACM. **Material e métodos:** Três placentas humanas e um crânio sintético, impresso em impressora 3D, compuseram um simulador híbrido. Seis neurocirurgiões cerebrovasculares (especialistas) e seis neurocirurgiões, não especialistas em cirurgia vascular, participaram do estudo, divididos em 2 grupos. A validação de face e de conteúdo utilizou um questionário respondido pelos especialistas sobre semelhanças do simulador com a cirurgia real (dissecção do vaso, abertura da fissura de Silviana, campo de trabalho profundo e estreito e anastomose término-lateral). A validação de construto comparou os dois grupos medindo o tempo total, a ocorrência de lesões nos vasos durante a dissecção e a patência do *bypass*. A análise estatística foi realizada. A validação concorrente confrontou características entre o modelo híbrido, modelos planos (rato vivo, asa de galinha, placenta humana e tubo sintético) e simuladores de cabeça de cadáver humano para microcirurgia de *bypass* ATS-ACM. **Resultados:** Todas as placentas humanas foram adequadas para simularem o *bypass* ATS-ACM. A validação de face e conteúdo mostrou alta fidelidade à cirurgia real. A validação de construto mostrou diferença estatística significativa entre especialistas e não especialistas ($p < 0,005$). A validação concorrente destacou que as principais tarefas do *bypass* ATS-ACM estão presentes no simulador híbrido, quando comparado aos modelos planos e cabeça de cadáver. **Conclusão:** O modelo híbrido de simulação tem forte validação de face, conteúdo, construto e concorrente e é o único simulador de *bypass* ATS-ACM que explora todas as principais etapas cirúrgicas. Encurtar a curva de aprendizado do *bypass*, trabalhando com o simulador híbrido, é uma proposta do modelo de treinamento, mas precisa de dados de validação preditiva para ser garantido.

Palavras-chave: *bypass* cerebrovascular; microneurocirurgia; simulação neurocirúrgica; *bypass* da artéria temporal superior-artéria cerebral média; validação de conteúdo; validação de construto; validação concorrente.

ABSTRACT

Introduction: Superficial temporal artery-to-middle cerebral artery bypass is a valuable revascularization technique for adult moyamoya disease, carotid artery occlusion that fails medical therapy, and complex aneurysms. Cerebrovascular bypass surgical procedures involve the use of significant technical bimanual skills. Neurosurgeons traditionally practice in the live rat model. The use of a hybrid ex-vivo simulator that has all ATS-ACM bypass microsurgery part tasks is explored. **Material and Methods:** Three human placentas and a synthetic skull composed one ex vivo hybrid simulator. Six cerebrovascular neurosurgeons (especialistas) and six general neurosurgeons participated in this study divided in 2 groups. Face and content validity used a questionnaire answered by especialistas regarding simulator similarities with real surgery (vessel dissection, Sylvian fissure opening, deep and narrow work field and end to side anastomosis). Construto validity compared both groups measuring total time, occurrence of vessel lesions during dissection and bypass patency. Statistical analysis was performed. Concurrent validity confronted characteristics between the ex vivo hybrid, flat models (live rat, chicken wing, human placenta and synthetic tube) and human cadaver head simulators for ATS-ACM bypass microsurgery. **Results:** All human placentas were suitable to simulate the ATS-ACM bypass. Face and content validity showed high fidelity to real surgery. Construto validity showed significant statistical difference between não especialista and especialistas ($p < .005$). Concurrent validity highlighted that all ATS-ACM part tasks are present in the ex-vivo hybrid simulator when compared to flat models and cadaver head. **Conclusion:** Ex vivo hybrid simulation model has strong face, content, construto and concurrent validity, and is the only ATS-ACM bypass simulator that explores all surgical part tasks. Shortening the bypass learning curve working with the hybrid simulator is a training model promise, but needs predictive validity data to be assured.

Key words: cerebrovascular by-pass; microneurosurgery; neurosurgical simulation; superior temporal artery-middle cerebral artery by-pass; content validation; construct validation; concurrent validation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Técnica de cirurgia de <i>bypass</i> cerebrovascular	20
Figura 1.2 – Técnica de cirurgia de <i>bypass</i> cerebrovascular	21
Figura 1.3 – Técnica de cirurgia de <i>bypass</i> cerebrovascular	22
Figura 2 – Verificação do fluxo pela ATS com sonda Doppler ou Videoangiografia Intraoperatória	23
Figura 3 – Reconstrução craniana em angiotomografia computadorizada	23
Figura 4 – Angiotomografia computadorizada de crânio pós-operatória	24
Figura 5 – Crânio produzido em impressora 3D.....	25
Figura 6 – Placenta superior e inferior dentro do crânio.....	26
Figura 7 – Materiais necessários para realizar a simulação do <i>bypass</i>	27
Figura 8 – Simulação com modelo híbrido para o <i>bypass</i> ATS-ACM com todas as 4 tarefas realizadas	27

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Validação de face e conteúdo do simulador híbrido em relação ao procedimento cirúrgico de <i>bypass</i> ATS-ACM.....	30
Tabela 2 – Validação de construto do simulador híbrido para o <i>bypass</i> ATS-ACM ..	31
Tabela 3 – Validação concorrente entre os simuladores de <i>bypass</i>	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACM - Artéria Cerebral Média
- ATS - Artéria Temporal Superficial
- COSS - Carotid Occlusion
- FM - Faculdade de Medicina
- HC - Hospital das Clínicas
- MCA - Middle Cerebral Artery
- STA - Superficial Temporal Artery
- TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
- UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 A técnica	19
2.2 Fechamento	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Metodologia da validação de face e conteúdo	28
3.2 Metodologia de validação de construto	28
3.3 Metodologia de validação concorrente	28
4 RESULTADOS	29
5 DISCUSSÃO	34
6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39
ANEXOS	44
APÊNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

A cirurgia de *bypass* cerebrovascular é considerada um dos procedimentos mais desafiadores do ponto de vista técnico na neurocirurgia. (1) Donaghy e Yasargil (2) descreveram o *bypass* da Artéria Temporal Superficial (ATS) para a Artéria Cerebral Média (ACM) (ATS-ACM) em 1969, para o tratamento da doença isquêmica cerebral.

O procedimento cirúrgico consiste na realização da anastomose entre a artéria temporal superficial – um dos ramos terminais da artéria carótida externa, cuja principal função é a de irrigar o músculo temporal e estruturas da face antero-lateral do escalpe – com a artéria cerebral média – um dos ramos terminais da artéria carótida interna, a qual é responsável pela irrigação de grande parte dos lobos frontal e temporal, em cada hemisfério cerebral.

Após alguns anos de descrédito, este procedimento ressurgiu recentemente como opção para o tratamento de aneurismas cerebrais complexos, Doença de Moyamoya e doença aterosclerótica isquêmica refratária ao tratamento médico ideal (3,8). A manutenção da habilidade microcirúrgica é fundamental para o sucesso do *bypass*, pois são procedimentos raros na maioria das instituições neurocirúrgicas (9,13). Os simuladores podem oferecer um conjunto de treinamento para *bypass* de ATS-ACM com possível redução da curva de aprendizado.

Vários modelos de treinamento estão disponíveis para o treinamento de microsuturas: sintético, realidade virtual, cadáver, animais vivos ou mortos (ratos, asa de galinha e pescoço de peru) e placenta humana (14,22). As características do simulador ideal são: possuir baixo custo de produção, ser eticamente aceito, possuir alta fidelidade, baixa tecnologia e ser capaz de simular as principais etapas microcirúrgicas (14) de um *bypass* ATS-ACM (dissecção do vaso, abertura da fissura Silviana, campo de trabalho profundo e estreito para anastomose término-lateral).

A metodologia de avaliação, dos modelos de simulação cirúrgica, geralmente usa validação de face, conteúdo, construto, concorrente e preditiva. Eles se referem, respectivamente, à capacidade de medir o que é proposto, à reprodutibilidade dos

passos fundamentais da cirurgia no simulador, à capacidade de diferenciar o desempenho entre especialistas e iniciantes no simulador, a comparação de novos e já descritos simuladores e a comprovação da eficácia de performance em cirurgia real, após treino com simulador. A aprovação definitiva dos simuladores cirúrgicos ocorre após a validação preditiva, sendo realizada por meio de estudos multicêntricos, com ampla amostragem e avaliação duplo cego (14).

1.1 Objetivo

Realizar a validação de face, conteúdo, construto e concorrente de um modelo híbrido, contendo placenta humana modificada e crânio sintético, impresso em impressora 3D para aprendizado e treinamento do *bypass* ATS-ACM.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A simulação cirúrgica é uma técnica educacional em que um iniciante interage com um ambiente que recria ou replica um cenário clínico, do mundo real, em uma atmosfera livre ou reduzida de riscos (28,30,37).

Os modelos de simulação para educação médica incluem cadáveres humanos e animais, modelos de animais vivos, modelos de bancada sintéticos/físicos e modelos de realidade virtual (VR) (21, 30). A simulação tem sido rapidamente utilizada em cirurgia, especialmente em países de alta renda.

Os modelos de simulação cirúrgica são ferramentas essenciais para treinar neurocirurgiões a realizarem procedimentos complexos, como a neurocirurgia microvascular. Eles podem fornecer ambiente seguro e controlado para os alunos praticarem técnicas e ganharem experiência, antes de realizarem cirurgias em pacientes. Vários tipos de modelos de simulação cirúrgica estão disponíveis para neurocirurgia microvascular, incluindo cadáveres humanos, modelos de realidade virtual, animais (asas de frango e peru), placentas humanas, modelos sintéticos e modelos híbridos.

Modelos de cadáveres humanos

Modelos de cadáveres humanos são frequentemente considerados o padrão-ouro para simulação cirúrgica porque fornecem a representação realista da anatomia humana. O uso de cadáveres para treinamento cirúrgico demonstrou melhorar a confiança e as habilidades técnicas do treinando (54). No entanto, o uso de cadáveres é limitado devido a questões éticas e logísticas, como disponibilidade, custo e necessidade de instalações especializadas.

Modelos de realidade virtual

Os modelos de realidade virtual usam gráficos gerados por computador para simular procedimentos cirúrgicos. Eles fornecem ambiente seguro e controlado para os treinandos praticarem procedimentos e podem fornecer *feedback* imediato sobre seu desempenho (55). Os modelos de realidade virtual demonstraram melhorar a

confiança e as habilidades técnicas do aluno (55). No entanto, o custo do equipamento de realidade virtual pode ser a barreira para a adoção generalizada.

Modelos animais

Modelos animais, como asas de frango e peru, são comumente usados para simulação cirúrgica. Esses modelos fornecem alternativa de baixo custo e prontamente disponível para cadáveres humanos. No entanto, a anatomia dos modelos animais pode diferir da dos humanos, limitando a sua utilidade para determinados procedimentos.

Modelos de placenta humana

Modelos de placenta humana têm sido usados como ferramenta de simulação cirúrgica para neurocirurgia microvascular devido à sua semelhança com a vasculatura cerebral humana (56). O uso de modelos de placenta demonstrou melhorar as habilidades técnicas do aluno e reduzir o tempo necessário para se tornar proficiente em neurocirurgia microvascular (57). No entanto, o uso de modelos de placenta é limitado devido a preceitos éticos.

Modelos sintéticos

Modelos sintéticos são frequentemente usados como alternativa de baixo custo para cadáveres humanos. Esses modelos podem ser personalizados para simular cenários cirúrgicos específicos e fornecer ambiente de treinamento consistente e reproduzível (58). Os modelos sintéticos demonstraram melhorar a confiança e as habilidades técnicas do aluno (59).

Modelos de ratos vivos

Ratos vivos também têm sido usados como modelo de simulação cirúrgica para neurocirurgia microvascular. Esses modelos fornecem a representação realista da anatomia e fisiologia do cérebro de ratos, tornando-os adequados para treinamento em certos aspectos da neurocirurgia microvascular. Por exemplo, modelos de ratos têm sido usados para praticar a anastomose da artéria e veia femoral de ratos, que é semelhante à anastomose realizada em vasos cerebrais humanos (60).

O uso de modelos animais vivos para simulação cirúrgica é controverso, e considerações éticas devem ser consideradas. O uso de modelos animais pode levantar preocupações em relação ao bem-estar animal e a adequação do uso de animais para treinamento médico. No entanto, os defensores dos modelos animais argumentam que eles podem fornecer valiosa experiência de aprendizado para os estagiários e melhorar a segurança e a eficácia dos procedimentos cirúrgicos realizados em pacientes humanos.

Modelos híbridos

Combinam elementos de vários modelos de simulação para fornecer experiência de treinamento mais abrangente. Por exemplo, um modelo híbrido pode usar o ambiente de realidade virtual para simular um procedimento cirúrgico em modelo sintético, que imita a anatomia humana (60). Os modelos híbridos têm o potencial de fornecer experiência de treinamento mais realista e eficaz que os modelos de simulação individuais sozinhos.

Existem vários tipos de modelos de simulação cirúrgica disponíveis para neurocirurgia microvascular, cada um com suas vantagens e limitações. A escolha do modelo dependerá de fatores como custo, disponibilidade, considerações éticas e necessidades específicas de treinamento do neurocirurgião.

O treinamento neurocirúrgico está, tradicionalmente, baseado em um modelo de Halstediano (“ver um, fazer um, ensinar um”) (9,16) e o aprendizado teórico e prático ocorre em salas de cirurgia. (28, 30). No entanto, os desafios associados a este sistema de aprendizagem, incluem restrições financeiras do sistema de saúde para implementação de plataformas de ensino em sala de cirurgia (40), as crescentes restrições na carga horária semanal de trabalho (14), o risco de piora dos resultados dos pacientes (52), exposição clínica e limitadas oportunidades de operação, devido ao aumento das preocupações com as implicações éticas e médico-legais (20,55).

Os neurocirurgiões realizam o número médio de 223 casos por ano, que são variados e únicos em competência técnica (23). Juntamente com as restrições de horas de treinamento os médicos, em habilitação, podem não encontrar procedimento semelhante com frequência, limitando as oportunidades de

treinamento cirúrgico. Durante a pandemia da COVID-19, houve piora deste cenário, marcado por redução acentuada de casos neurocirúrgicos eletivos, redistribuição de neurocirurgiões para a unidade de terapia intensiva, sobrecarregando até mesmo os sistemas de saúde de maiores recursos (26,56,60,67). Isso reduziu ainda mais as oportunidades de realizar procedimentos neurocirúrgicos, impactando diretamente a qualidade e eficiência do treinamento médico (10). Portanto, se tornou relevante estimular o desenvolvimento de modelos de simulação para permitir que os médicos em treinamento aprendam, desenvolvam e executem procedimentos em modelos de treinamento cirúrgicos validados.

A simulação médica serve como alternativa para a aquisição de habilidades específicas em menor tempo (2,21,22), buscando com isso a redução da curva de aprendizado, antes de prosseguir para a realização do tratamento no paciente. (2,21). Ao cometer erros em ambiente de treinamento cirúrgico simulado, os participantes podem desenvolver as habilidades necessárias para superar em menor tempo e com maior precisão, as habilidades e manobras cirúrgicas necessárias durante o procedimento real (17,21,30).

A eficácia da simulação na aquisição e desenvolvimento de habilidades técnicas é demonstrada pela melhoria das métricas de desempenho objetivas, quando as habilidades aprendidas no treinamento em simulador vão para a sala de cirurgia (16,17,21). No entanto, simulações médicas e cirúrgicas devem ser avaliadas como ferramentas educacionais.

A avaliação de modelos de simulação é baseada em validação subjetiva e/ou objetiva (60). Em pesquisas quantitativas, deve-se considerar a confiabilidade e a validade de seus métodos e medições. A validade demonstra a capacidade de precisão de um método medir algo. Se um método mede o que afirma medir e os resultados correspondem aos valores no mundo real, então pode ser considerado válido. Existem quatro tipos principais de validação: validação de face, conteúdo, construto e concorrente.

A validação de face e de conteúdo são tipos de validação subjetiva, avaliadas por questionários. A validade de face examina o realismo de um simulador e a

similaridade do nível de dificuldade, em comparação com tarefas de treinamento reais, enquanto a validade de conteúdo avalia a eficácia do modelo durante o treinamento de habilidades específicas, para melhorar as técnicas dos participantes (60). Embora estes sejam métodos subjetivos, a validade de construto é um método objetivo que considera a capacidade de um simulador para diferenciar níveis de competência de habilidade, enquanto a validação concorrente refere-se à validação comparativa com um modelo ou método previamente validado (22,47).

Revisões anteriores exploraram o desenvolvimento de treinamento baseado em simulação neurocirúrgica (16,30,49), discutindo os pontos fortes e as limitações de vários modelos de simulação. As simulações incluídas nas revisões também se limitam principalmente a simuladores de realidade física ou virtual, mostrando que há lacunas na literatura ao avaliar extensa variedade de tipos de simuladores. Além disso, o tipo de procedimentos neurocirúrgicos incluídos é aleatório, limitando a compreensão de qual habilidade ou procedimento neurocirúrgico pode ser melhor simulado, por um tipo específico de simulador. O objetivo final da simulação é garantir que as habilidades aprendidas no simulador possam ser transferidas para a sala de cirurgia, inadequadamente exploradas nessas revisões. Um trabalho importante em modelos de simulação está em andamento, mas os estudos atuais, examinando métodos de simulação cirúrgica, não têm abordagem abrangente para aplicar métodos de validação para avaliar modelos de simuladores. Embora haja uma causa precoce, para a simulação desenvolver habilidades cirúrgicas, há também lacunas na literatura em estabelecer o uso e quantificar o impacto da educação cirúrgica na aquisição e aprimoramento de habilidades cirúrgicas.

2.1 A técnica

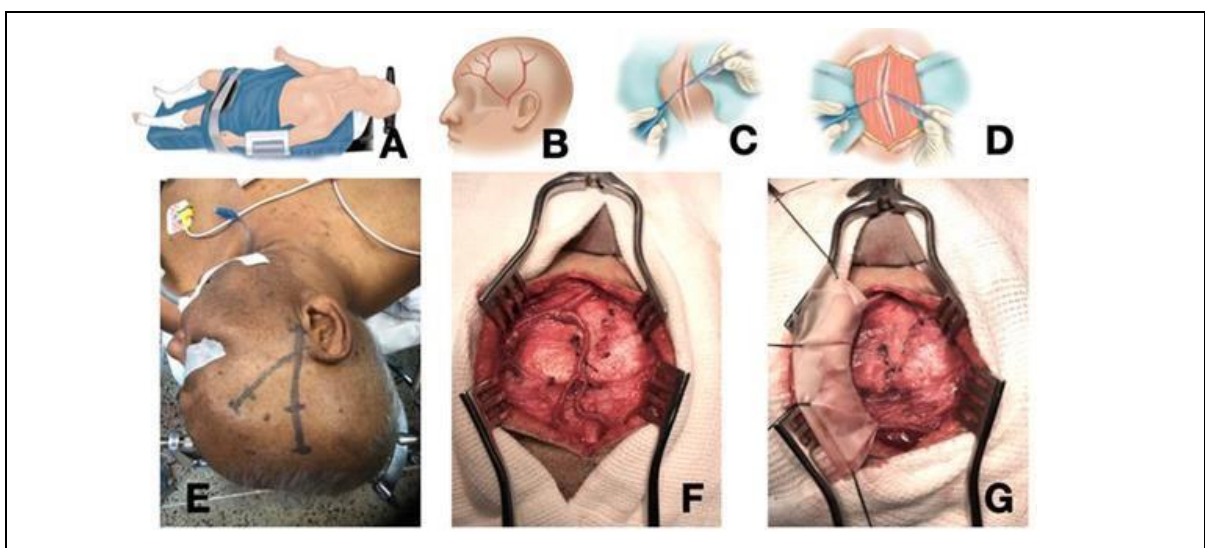
O paciente é colocado em decúbito dorsal e a cabeça girada 70 graus para o lado oposto (FIGURA 1.1). A angiografia é revisada. Pelo menos uma ramificação da ATS deve ser grande o suficiente para ser usada. O ramo temporoparietal geralmente é preferível ao ramo frontal, mas o ramo frontal pode ser usado se for o maior dos dois. A ATS é exposta por uma técnica de corte diretamente sobre seu trajeto (FIGURA 1.2). O curso do vaso é traçado por ultrassom Doppler e marcado no couro cabeludo. Trabalhando sob o microscópio cirúrgico a dissecação pode ser

iniciada distalmente ou proximalmente. A ATS situa-se superficialmente à gálea inicialmente e, em seguida, penetra na gálea para ficar apenas profundamente a ela cerca de 1 cm acima do zigoma. Um pequeno manguito de tecido conjuntivo é deixado ao redor da artéria. Esta manobra evita a manipulação direta da ATS prevenindo vasoespasm e torção da artéria após a conclusão do *bypass*. Pequenos ramos musculares são coagulados com cautério bipolar e seccionados. O vaso é deixado *in situ* até o procedimento de *bypass* (FIGURA 1.3). A artéria dissecada é envolta em um pedaço de luva cirúrgica e coberta com Gelfoam embebido em papaverina, para permitir a vasodilatação do vaso doador e proteção durante a craniotomia.

Uma incisão retilínea é feita no músculo temporal, na mesma direção da pele, para facilitar a dissecação do músculo. Ganchos cirúrgicos podem ser usados para retrain o músculo e a pele. Uma pequena craniotomia fronto-temporal é criada, usando único orifício de trepanação na parte inferior da craniotomia, que servirá como caminho para a passagem da ATS do compartimento extra para o intracraniano.

Concluída a craniotomia, deve-se obter criteriosa homeostase com cera óssea e elevação das bordas durais para evitar sangramento peridural.

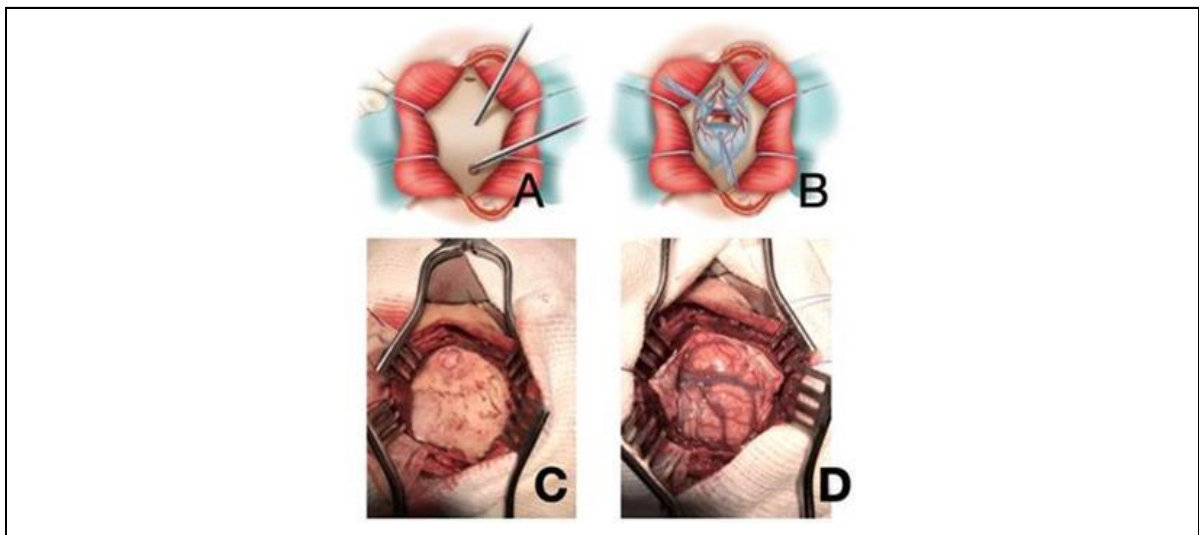
Figura 1.1 – Técnica de cirurgia de *bypass* cerebrovascular



Legenda: A: posição cirúrgica; B: ramos ATS frontal e parietal; C e D: dissecação da ATS; E: ATS mapeada; F: ramo parietal do ATS dissecado; G: cobertura de elástico e ATS retraída.

A dura-máter é aberta de forma cruciforme e as bordas durais elevadas, para hemostasia de vasos epidurais. Um ramo cortical da artéria cerebral média, na fissura Silvana (ramo M3), dando preferência para o maior ramo cortical temporal ou parietal relativamente livre de perfurantes, é então preparado para ser usado para anastomose. Idealmente, o vaso receptor deve ter 1 a 1,5 mm de diâmetro. O vaso receptor é dissecado circunferencialmente e um pequeno arcabouço de luva estéril é colocado sob a artéria. Um pequeno Gelfoam (Pfizer®), embebido em papaverina, é colocado sobre a artéria recipiente preparada. A extremidade distal do ramo preparado do ATS é seccionada e 1 cm distal do ATS é desnudado de sua membrana adventícia.

Figura 1.2 – Técnica de cirurgia de *bypass* cerebrovascular



Legenda: A: orifício de trepanação; B: craniotomia e durotomia em cruz; C e D: Igual a A e B, visão cirúrgica.

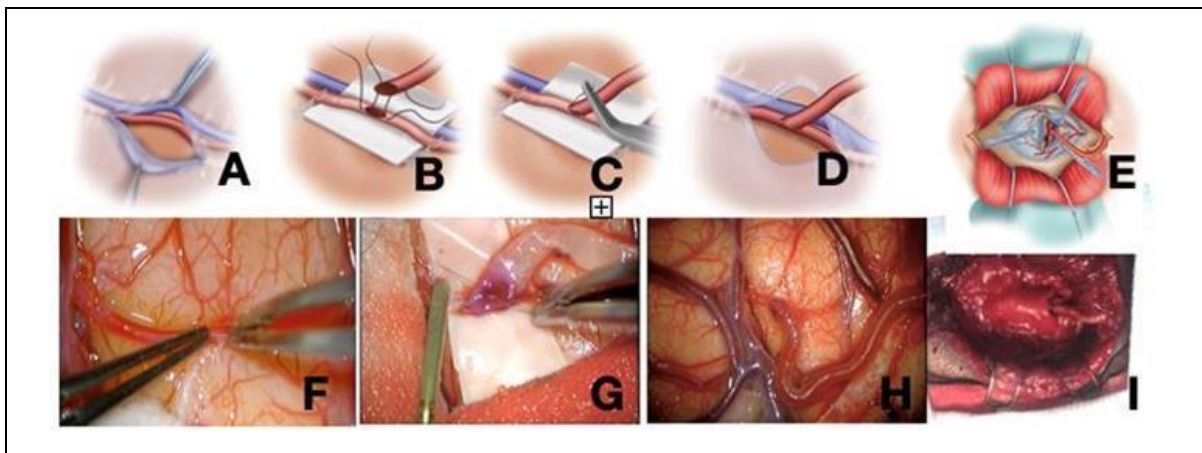
Fonte: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52381-3.00032-0>, 2020

Em seguida, a ATS é canulada e irrigada com 5-15ml de soro fisiológico heparinizado (solução contendo 250 ml de soro fisiológico associado a 5.000 unidades de heparina não fracionada); o clipe temporário da ATS é aberto e depois fechado, para preencher o segmento da artéria com solução salina heparinizada. Após o preparo, é realizada arteriotomia oblíqua no coto distal da ATS para aumentar o calibre distal do vaso doador, técnica conhecida como “boca de peixe”.

A sutura se inicia colocando as duas primeiras suturas: uma no “calcanhar” e outra no “dedo do pé” da anastomose. Em seguida, a parede posterior e a parede frontal podem ser suturadas com a técnica de sutura contínua ou suturas simples usando os fios Nylon (Ethicon®) 9-0 ou 10-0 (preferencialmente), de acordo com a preferência do cirurgião. Antes da última sutura ser amarrada, o lúmen é lavado com solução salina heparinizada e a sutura é finalizada.

Os cliques temporários no ramo ACM (distal seguido de proximal) são liberados primeiro, seguidos pelo clipe temporário no ATS. Pequenos sangramentos pela linha de sutura geralmente são controlados com pequenos fragmentos de Surgicel (Ethicon®) ou Gelfoam (Pfizer®). Todas as etapas estão representadas em figuras esquemáticas e cirúrgicas nas Figuras 1.1, 1.2 e 1.3.

Figura 1.3 – Técnica de cirurgia de *bypass* cerebrovascular

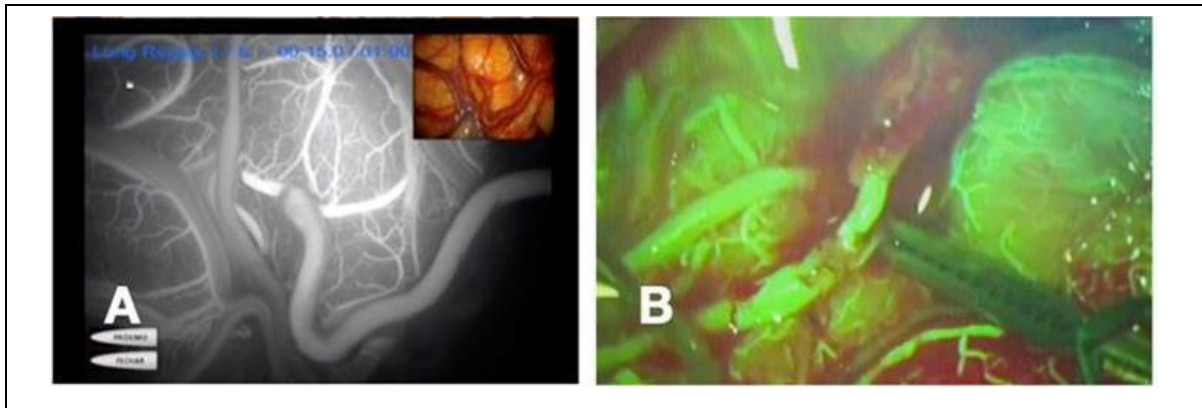


Legenda: A: preparação do ramo M3/M4 (vaso receptor); B: suturas do "calcanhar" e do "dedo do pé" para ancorar o vaso doador ao vaso receptor; C: suturas das paredes anterior e posterior; D: anastomose concluída; E: resultado final; F: (A) visão cirúrgica; G: (B) visão cirúrgica; H: (D) visão cirúrgica; (E) visão cirúrgica.

Fonte: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52381-3.00032-0>, 2020.

O fluxo pela ATS é verificado com uma sonda Doppler ou com Videoangiografia Intraoperatória (ICG ou Fluoresceína) (FIGURA 2). A alternativa ao vaso M3 é um ramo cortical M4 na região temporal ou parietal. O ramo ideal, para este tipo de anastomose, pode ser selecionado com base em uma angiotomografia pré-operatória. Um desvio duplo também pode ser criado usando ambos os ramos da STA, um no ramo frontoparietal e outro no ramo temporal.

Figura 2 – Verificação do fluxo pela ATS com sonda Doppler ou Videoangiografia Intraoperatória



Legenda: A: visão cirúrgica sob microscopia com filtro para visibilização de indocianina verde; B: visão cirúrgica sob microscopia com filtro para visibilização de fluoresceína.

Fonte: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52381-3.00032-0>, 2020.

2.2 Fechamento

Após a revascularização, a dura-máter é fechada por aproximação, com suturas de Prolene (Ethicon®) 4.0, permitindo espaço adequado para a entrada da ATS. O retalho ósseo é fixado com placas metálicas e parafusos de titânio, permitindo que o enxerto entre livremente. O fluxo da ATS deve ser verificado novamente com Doppler, após a fixação do flap ósseo (FIGURA 3).

Figura 3 – Reconstrução craniana em angiotomografia computadorizada



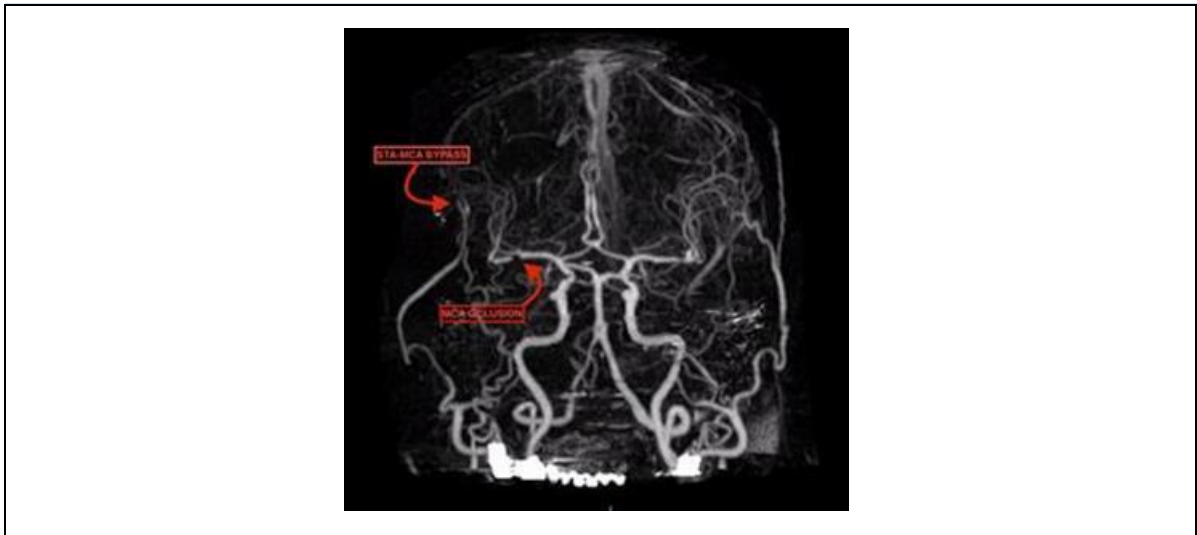
Fonte: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52381-3.00032-0>, 2020.

Nota: Com técnica de reconstrução ilustrando a presença da artéria temporal superficial penetrando falha óssea, sem sinais de compressões em seu trajeto.

Se houver dúvida ou algum problema com o fluxo do enxerto ou potenciais evocados, uma angiografia intraoperatória pode ser feita. Deve-se observar cuidadosamente a anastomose proximal e distal e a velocidade do fluxo da ATS em relação à circulação da artéria carótida externa. Uma anastomose, com bom funcionamento, deve preencher a circulação intracraniana mais rapidamente que o preenchimento da circulação extracraniana.

Na Figura 4 observa-se a angiotomografia computadorizada de crânio pós-operatória, evidenciando patência da anastomose entre a artéria temporal superficial e a artéria cerebral média.

Figura 4 – Angiotomografia computadorizada de crânio pós-operatória



Fonte: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52381-3.00032-0>, 2020.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Após aprovação pelo Comitê de Ética, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil (ANEXO A), o projeto foi conduzido no laboratório de microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG, de janeiro de 2018 a maio de 2020. Cada simulador proposto utilizou um crânio sintético, três placentas por modelo e foi disponibilizado um modelo por participante. Doze neurocirurgiões concordaram, voluntariamente, em participar do estudo e preencheram o termo de consentimento (ANEXO B).

A aquisição, limpeza e modificações da placenta humana foram detalhadas em publicação anterior (23). O termo de consentimento foi informado, assinado e obtido de todas as gestantes. A triagem de infecção pré-natal foi realizada rotineiramente (ANEXO C). O crânio sintético, desenvolvido pelos autores principais, foi registrado internacionalmente no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (BR 30 2 015 005 201 5) para uso híbrido associado à placenta e fabricado pela empresa (Modefer Ltda., São Paulo, SP). Possui tamanho e formato de crânio de um homem adulto caucasiano, fabricado em impressora 3D, com base sólida de 30 graus de lateralização e 15° de extensão da cabeça, simulando a posição cirúrgica padrão para abordagem fronto-temporal. A craniotomia pterional foi realizada em ambos os lados do crânio para permitir o acesso à placenta intracraniana, em ambos os lados do modelo (FIGURA 5).

Figura 5 – Crânio produzido em impressora 3D.



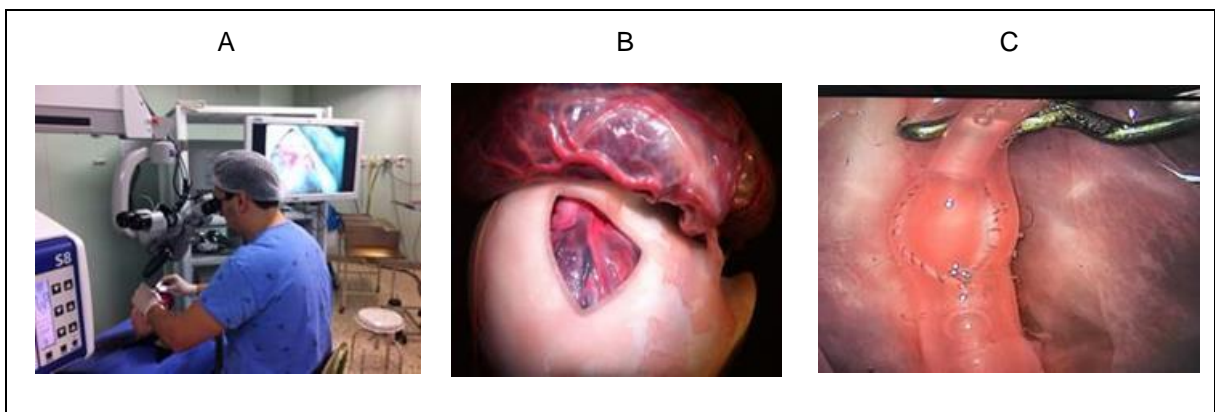
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Nota: Fase 1.

O simulador híbrido ATS-ACM é construído colocando-se uma placenta humana, preparada externamente na porção frontal do crânio sintético, expondo sua vasculatura, e um vaso arterial é colhido para fornecer o vaso doador do *bypass* (simulação de dissecação STA; 2 placentas são colocadas no interior do crânio artificial, uma sobre da outra. A placenta superior, dentro do crânio, fornece a simulação da abertura da fissura Silviana, enquanto a placenta inferior fornece o vaso-alvo (ACM simulada) (FIGURA 6).

Todas as placentas tiveram os seus vasos do cordão umbilical cateterizados com cateter urinário (French 6), para perfusão com solução colorida.

Figura 6 – Placenta superior e inferior dentro do crânio

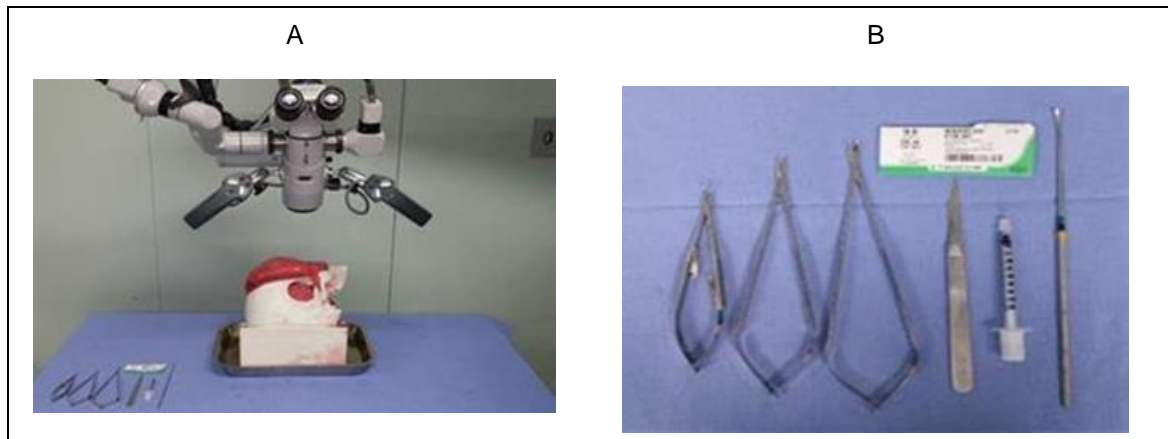


Legenda: A: Estação de trabalho; B: Visão panorâmica do modelo híbrido; C: Anastomose término-lateral.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os exercícios de simulação foram reproduzidos em vasos placentários, com diâmetro semelhante ao das artérias cerebrais médias (3-4 mm), e da artéria temporal superficial (2-4 mm). Os materiais necessários para realizar a simulação do *bypass* foram: mesa cirúrgica, microscópio cirúrgico OPMI VARIO 700, microtesouras, micro dissectores, suturas cirúrgicas Nylon 10-0 (Ethicon®), micro pinças, micro porta-agulhas, bipolares, cateteres uretrais, equipo de infusão venosa, dois frascos com solução colorida de 500 ml (Gouache vermelho e azul infundido em soro fisiológico 0.9%), luvas e vestimentas cirúrgicas (FIGURA 7).

Figura 7 – Materiais necessários para realizar a simulação do *bypass*

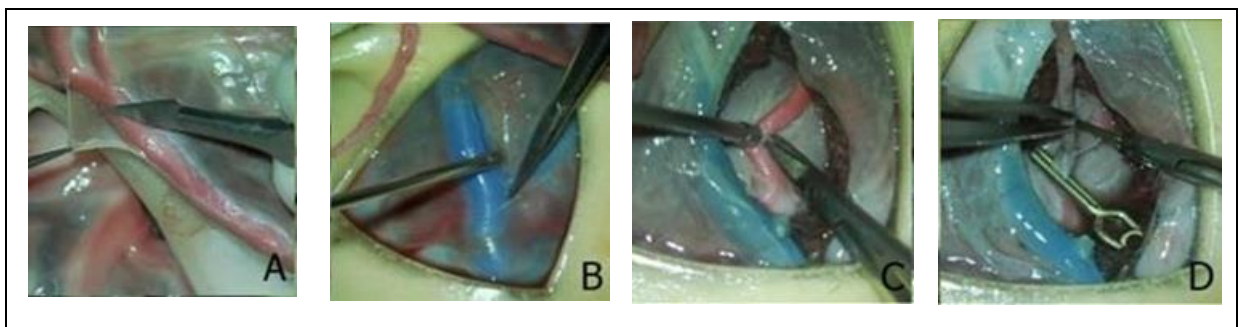


Legenda: A: Estação de trabalho; B: Instrumentos microcirúrgicos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Simulação cirúrgica do procedimento: dissecação e preparo da artéria doadora (Artéria Temporal Superficial – ATS simulada), dissecação da membrana alantóide simulando a dissecação da fissura Silviana, dissecação de artéria profunda receptora, simulando artéria cerebral média (ACM) no interior do vale Silviano e a realização da clipagem temporária e arteriotomia na artéria receptora seguida de anastomose entre a artéria temporal superficial e a artéria cerebral média. Após considerar completo o procedimento, os cliques temporários são retirados para avaliação da patência e grau de extravasamento de solução pela anastomose, momento em que o participante poderia escolher realizar novas suturas de reforço (FIGURA 8).

Figura 8 – Simulação com modelo híbrido para o *bypass* ATS-ACM com todas as 4 tarefas realizadas



Legenda: A: Dissecção STA; B: Abertura da fissura Sylvian; C: ACM; D: Bypass de campo profundo e estreito ATS-ACM.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.1 Metodologia da validação de face e conteúdo

Os questionários de validação de face e de conteúdo foram respondidos pelos seis neurocirurgiões especialistas, utilizando a escala de grau Likert (TABELAS 1 e 2).

3.2 Metodologia de validação de construto

A validação de construto confrontou os resultados obtidos pelos 2 grupos quanto ao tempo de execução completa da tarefa, ocorrência de lesão do vaso principal e patência final do *bypass* (TABELA 3). Foram obtidas médias e medianas para as variáveis da escala Likert, tempo para realização da tarefa, número de pontos de sutura e número de vezes em que a coagulação com pinça bipolar foi necessária, bem como os desvios-padrão e intervalos interquartis para essas variáveis. Além disso, foram calculados intervalos de confiança de 95%, com base em uma distribuição “t” para amostras pequenas. Os testes realizados foram o teste “t” de *Student* para médias e o teste de *Mann-Whitney* para medianas.

3.3 Metodologia de validação concorrente

A validação concorrente comparou as características de modelos planos (rato vivo, tubo sintético, asa de frango, pescoço de peru, placenta humana), cabeça de cadáver e o simulador híbrido para treinamento de *bypass* ATS-ACM, de acordo com a opinião de autores do trabalho sobre parâmetros de conteúdo (TABELA 4).

4 RESULTADOS

Os doze simuladores híbridos *ex vivo* foram adequados para realizar anastomose término-lateral de campo profundo, simulando o *bypass* ATS-ACM. Toda a simulação foi dividida em quatro tarefas: dissecação ATS, abertura da fissura Silviana, dissecação ACM e o *bypass* ATS-ACM em campo estreito e profundo.

A validação de face e de conteúdo mostrou semelhança geral boa no aspecto microcirúrgico da cirurgia de *bypass* ATS-ACM real (TABELA 1). O uso de instrumentos microcirúrgicos, microscópio e o manuseio microcirúrgico dos vasos foram exatamente como na cirurgia real. A dissecação microcirúrgica de tecidos foi classificada como semelhante, mas os vasos da placenta são envolvidos por membrana alantoide, tornando a dissecação do vaso mais difícil que na cirurgia real.

Os resultados da validação de construto tiveram $p < 0,001$ nos 3 aspectos avaliados em ambos os grupos (TABELA 2). Todos os 6 neurocirurgiões gerais, do grupo “padrão”, tiveram dificuldade em todas as tarefas parciais, principalmente ao tentar realizar microsuturas de campo estreito e profundo. Três deles não conseguiram completar a simulação, devido a dificuldades técnicas microcirúrgicas.

A validação concorrente mostrou que o híbrido ATS-ACM é mais completo que outros modelos tradicionais, principalmente devido à abertura da fissura de Silviana, dissecação profunda do vaso e anastomose em campo profundo e estreito (TABELA 3). A ausência de timeframe da cascata de coagulação é uma desvantagem do simulador *ex vivo*.

Tabela 1 – Validação de face e conteúdo do simulador híbrido em relação ao procedimento cirúrgico de *bypass* ATS-ACM

	Validação de face	Validação de Conteúdo			
	O simulador se assemelha à cirurgia?	A dissecação da ATS no modelo se assemelha à cirurgia?	A dissecação da fissura Silviana no modelo se assemelha à cirurgia?	A dissecação da ACM no modelo se assemelha à cirurgia?	A realização da anastomose entre as artérias se assemelha à cirurgia?
Especialista 1*	4		4	3	5
Especialista 2	4	4	5	4	4
Especialista 3	5	3	4	3	5
Especialista 4	4	3	5	3	5
Especialista 5	5	4	5	4	4
Especialista 6	4	4	5	3	5
Média (DS)	4.3 (0.5)	3.7 (0.5)	4.7 (0.5)	3.3 (0.5)	4.7 (0.5)
IC 95%	3.8; 4.9	3.1; 4.2	4.1; 5.0	2.8; 3.9	4.1; 5.0
Mediana (IIQ)	4 (1)	4 (1)	5 (1)	3 (1)	5 (1)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nota: Os pontos são atribuídos de acordo com uma escala Likert de 5 pontos:

5: exatamente igual; 4: muito semelhante; 3: semelhante; 2: pouca semelhança; 1: não semelhante.

Tabela 2 – Validação de construto do simulador híbrido para o *bypass* ATS-ACM

(Continua)

	Tempo (min) para completar todo o procedimento	Números de suturas extras necessárias após o restabelecimento do fluxo no <i>bypass</i>	Número de utilizações necessárias de coagulação com pinça bipolar
Especialista 1	50	2	3
Especialista 2	41	1	2
Especialista 3	49	1	2
Especialista 4	58	2	3
Especialista 5	46	2	3
Especialista 6	62	3	3
Média (DP)	51 (7.7)	1.8 (0.8)	2.7 (0.5)
IC 95%	42.9; 59.1	1.0; 2.6	2.1; 3.2
Mediana (IQR)	49.5 (12)	2 (1)	3 (1)
Não especialista 1	160	4	5
Não especialista 2	153	5	4

Tabela 2 – Validação de Construto do simulador híbrido para o *bypass* ATS-ACM

(Conclusão)

	Tempo (min) para completar todo o procedimento	Números de suturas extras necessárias após o restabelecimento do fluxo no <i>bypass</i>	Número de utilizações necessárias de coagulação com pinça bipolar
Não especialista 3	178	5	5
Não especialista 4	N/A	N/A	N/A
Não especialista 5	169	4	4
Não especialista 6	198	3	6
Mean (SD)	171.6 (17.5)	4.2 (0.8)	4.8 (0.8)
CI 95%	149.9; 193.3	3.2; 5.2	3.8; 5.8
Median (IQR)	169 (18)	4 (1)	5 (1)
Não especialista x especialista (p)*	<0.001	<0.001	<0.001

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nota: *Os resultados foram significativos em $p < 0,001$ para diferenças entre médias e medianas.

Os resultados mostram que os especialistas levaram, em média, menos de uma hora para concluir a tarefa (51 minutos), mas os não especialistas levaram quase três horas (171,6 minutos) ($p < 0,001$). O número de pontos extras necessários, após a liberação do fluxo e a coagulação bipolar, durante as disseccções, também foram maiores, em média, no grupo dos não especialistas.

Tabela 3 – Validação concorrente entre os simuladores de *bypass*

Simulador	Fidelidade	Custo	Infraestrutura necessária	Fluxo sanguíneo	Simulação da dissecação da ATS	Simulação da dissecação da fissura silviana	Simulação da dissecação da ACM	Simulação da anastomose	Possibilidade de checagem de patência/trombose
Tubos sintéticos	Baixo	Médio	Baixo	Sim	Não	Não	Não	Plano	Não
Asa de frango	Alto	Baixo	Baixo	Sim	Não	Não	Sim/Parcial	Plano	Não
Pescoço de peru	Alto	Baixo	Baixo	Sim	Não	Não	Sim/Parcial	Plano	Não
Rato vivo	Alto	Alto	Alto	Sim	Não	Não	Sim	Plano	Sim
Placenta humana	Alto	Baixo	Baixo	Sim	Não	Não	Sim	Plano	Não
Cadáver humano	Alto	Alto	Alto	Sim	Sim	Sim	Sim	3D	Não
Simulador híbrido	Alto	Médio	Baixo	Sim	Sim	Sim	Sim	3D	Não

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

5 DISCUSSÃO

O uso da placenta humana, como ferramenta de treinamento em microcirurgia, foi descrito pela primeira vez em 1979 (24). Nosso grupo descreveu originalmente o simulador de placenta humana com limpeza e modificações dos vasos da placenta, tornando este modelo de treinamento mais realista (23).

O simulador de placenta apresenta vantagens e desvantagens, sendo sua principal desvantagem o risco de contaminação por agentes infecto-contagiosos e perecibilidade (23). Entretanto, ser biológico é uma vantagem, pois pode reproduzir com alta fidelidade os aspectos técnicos reais da cirurgia, uma vez que, por se tratar de tecido biológico, a sensação tátil ao manuseio cirúrgico se aproxima das condições encontradas durante a realização da cirurgia. Para aumentar a sua disponibilidade, pode-se armazenar a placenta humana em geladeira a cerca de cinco graus Celsius, durante cinco dias. Não há necessidade de construir uma infraestrutura específica para trabalhar com este modelo, pois é mais barato e amplamente disponível, contanto que observadas a regras do manuseio e descarte de tecido biológico infectante. A aprovação em comitês de ética, para trabalhar com simuladores ex vivo, foi obtida nos EUA e no Brasil, em protocolos de pesquisas registrados.

Em relação à anatomia vascular, destaca-se que as artérias cerebrais são envolvidas pela membrana aracnóide e os vasos da placenta pela membrana alantóide. Estes tecidos possuem diferentes aspectos microscópicos e físicos. Os neurocirurgiões vasculares afirmaram que a dissecação dos vasos da placenta é diferente, pois a membrana alantóide está mais aderida aos vasos placentários em comparação com o que ocorre com a membrana aracnóide aos vasos cerebrais. Este fato exigiu mais habilidade técnica microcirúrgica ao trabalhar no simulador híbrido que no cérebro, sendo necessário maior grau de destreza para preservação da integridade dos vasos sanguíneos durante o treinamento.

Os resultados de validação de face e conteúdo expressaram a opinião geral de procedimento simulado e segundo os participantes, houve grande semelhança do modelo proposto em termos de aparência em todos os aspectos, em especial, durante a realização da anastomose entre o vaso doador e vaso receptor (TABELA

1), considerada a principal etapa do procedimento, por demandar maior habilidade e desenvoltura técnica.

A validação de construto mostrou as dificuldades ao trabalhar em um vaso de pequeno calibre sob visão microscópica. A dissecação arterial, sem lesão da parede do vaso, o controle microcirúrgico do sangramento, o manuseio do Nylon 10-0 e a realização da microcirurgia de revascularização do vaso foram considerados difíceis pelo grupo padrão e não puderam ser realizados por todos os participantes. A análise estatística indicou que todas as tarefas avaliadas receberam pontuações médias e medianas entre semelhantes e exatamente iguais. A fissura Silviana e o *bypass* ATS-ACM receberam as pontuações mais altas, e a dissecação MCA recebeu as pontuações mais baixas. Atualmente, os modelos simuladores biológicos de microcirurgia vascular disponíveis na literatura são: cadáver humano, animais vivos, animais mortos (ex. asa de frango, pescoço de peru) e placenta humana (TABELA 3) (41-50).

Os estudos, examinando modelos de cadáveres, encontraram altas classificações para validação de face (35,51). Na avaliação da validação de conteúdo, a maioria dos participantes (51) descobriu que a ruptura intraoperatória de aneurismas simulados em cadáveres é realista e superior aos outros modelos atualmente existentes. O modelo cadavérico superou o modelo placentário para validade de face (35) (embora não tenham sido observadas diferenças na validação de conteúdo). Outros estudos, comparando modelos cadavéricos com simuladores físicos e hápticos, mostraram que acumulam o maior benefício relatado para melhoria de habilidades cirúrgicas (52). Cadáveres são conhecidos por simular dissecação de tecido, sangramento e pulsação com alta fidelidade (51, 53). Em consonância com a literatura, nossos achados demonstram que cadáveres são úteis e eficazes para procedimentos cranianos e manipulação de tecidos moles, especialmente quando são utilizados cadáveres frescos e preservados em solução de glicerina (54). Não obstante a sua fidelidade, os modelos de simulação de cadáveres, foram os menos encontrados nesta revisão (35,51). Isso está de acordo com a prevalência decrescente de modelos de cadáveres, no treinamento cirúrgico, devido aos altos custos, baixa disponibilidade e questões éticas (52,40,54). Em estudo recentemente publicado, para avaliação dos custos relacionadas à prática

em modelo validado, para simulação de correção cirúrgica de lesão arterial de artéria carótida interna, durante a realização de procedimento cirúrgico endoscópico, ficou demonstrado que o custo marginal gira em média de \$ 618,75 por neurocirurgião, tendo custo ainda mais elevado entre neurocirurgiões experientes (\$1650,00), quando estes modelos então seriam utilizados para realização de acessos cirúrgicos mais elaborados, com necessidades progressivas de preparo e preservação (53).

A validação concorrente concluiu que o simulador híbrido x vivo possui as tarefas parciais que precisam ser treinadas, por quem deseja realizar um *bypass* ATS-ACM.

O modelo de treinamento mais utilizado pode ser o rato vivo, mas este não possui membrana aracnóide simulada como tecido ligado aos vasos, não possui simulação de dissecação e abertura da fissura de Silviana, nem campo profundo e estreito para a execução da anastomose. Sua principal vantagem é a possibilidade de estudar a patência da anastomose, em tempo real durante o procedimento, sob os efeitos simultâneos da cascata de coagulação. Isso não é possível no novo simulador proposto. Asa de frango, pescoço de peru, galinha e tubo de silicone exploram apenas a sutura microcirúrgica do vaso, não as demais etapas cirúrgicas. O cadáver humano pode simular todas as etapas cirúrgicas da anastomose, entre a artéria temporal superficial e artéria cerebral média, mas precisa ser realizada a preparação com método específico para contar com o sistema de perfusão, o que é possível em número restrito de instituições, devido ao grande aparato tecnológico necessário (49). O processo de embalsamamento de cabeças de cadáveres geralmente altera a consistência dos tecidos, o que pode afetar a consistência, diminuindo a semelhança deste com o tecido biológico natural. O simulador de placenta humana não oferece trabalho de campo profundo e estreito, tornando o *bypass* mais simples de se executar do ponto de vista técnico, quando comparado ao novo modelo proposto neste estudo. O simulador híbrido ex vivo e a cabeça de cadáver humano são os simuladores que oferecem execução de *bypass* de campo profundo e estreito, por simular que a etapa da anastomose aconteceria no interior do vale Silviano e, por isso, considera-se os outros simuladores de *bypass* como modelos planos e de menor realismo.

A principal limitação do nosso estudo foi a não realização de validação preditiva, já que esta definiria o real impacto desse modelo na curva de aprendizado e seu impacto na diminuição das complicações, bem como do aumento do sucesso do procedimento na vida real. Para a validação preditiva, deverá ser feito estudo de forma multicêntrica, prospectiva e duplamente cega, com seguimento dos resultados cirúrgicos dos médicos neurocirurgiões participantes, após o treinamento, aferindo-se por métricas previamente estabelecidas o nível de sucesso dos procedimentos realizados, como patência da anastomose na ausência de complicações isquêmicas cerebrais. Como o *bypass* ATS-ACM é realizado em um número selecionado de pacientes, por neurocirurgiões vasculares experientes, esse estudo de validação preditiva seria difícil de executar.

6 CONCLUSÃO

O modelo descrito é um simulador de *bypass* ATS-ACM que explora e simula todas as etapas fundamentais cirúrgicas e, neste trabalho, estabeleceu-se a validação positiva de face, conteúdo, construto e concorrente.

O baixo custo relativo do modelo híbrido, em relação aos modelos com capacidades semelhantes, em especial o cadáver humano, torna o modelo proposto mais acessível para os centros de treinamento, possibilitando maior difusão da técnica.

Encurtar a curva de aprendizado do *by-pass*, trabalhando com o simulador híbrido é uma promessa do modelo de treinamento, mas dados de validação preditiva são necessários para ser garantido.

REFERÊNCIAS

1. Bath J et al. Why we need open simulation to train surgeons in an era of work-hour restrictions. *Vascular* 2011; 19(4):175-7.
2. Donaghy RM et al. Microangeional surgery and its techniques. *Prog Brain Res* 1968, 30:263-267.
3. Laligan NS Sabareesh et al. Cerebral revascularization for ischemia, aneurysms, and cranial base tumors. *Neurosurg* 2008, 62[SHC Suppl 3]:SHC1373-SHC1410.
4. Lee SB et al. Early superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass in acute ischemic stroke. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 2013; 115: 1238-1244.
5. Chibbaro S et al. Extracranial-intracranial bypass for the treatment of cavernous sinus aneurysms. *J Clin Neurosci* 2006;13:1001-5.
6. Morgan MK et al. Bypass to the intracranial internal carotid artery. *J Clin Neurosci* 2002; 9:418-24.
7. Nussbaum ES et al. Extracranial-intracranial bypass for ischemic cerebrovascular disease refractory to maximal medical therapy. *Neurosurgery* 2000; 46:37-42; discussion 42-3.
8. Peerless SJ et al. Extracranial-intracranial (EC/IC) bypass in the treatment of giant intracranial aneurysms. *Neurosurg Rev* 1982;5(3):77-81.
9. Grubb Jr R et al. The Carotid Occlusion Surgery Study. *Neurosurgical Focus* 2003 March 15, 14 (3):e9.
10. Gratzl O et al. Clinical experience with extra-intracranial arterial anastomosis in 65 cases. *J Neurosurg* 1976; 44(3): 313-324.
11. Chueh JY et al. Neurovascular modeling: small-batch manufacturing of silicone vascular replicas. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009; 30(6):1159-64.
12. Cooper DR, Schindler PS. *Métodos de Pesquisas em Administração*. Porto Alegre: Bookman, 2003.
13. Gnanakumar S, Kostusiak M, Budohoski KP, Barone D, Pizzuti V, Kirollos R, Santarius T, Trivedi R (2018) Effectiveness of cadaveric simulation in neurosurgical training: a review of the literature. *World Neurosurg* 118:88-96.

14. Harrop J, Lobel DA, Bendok B, Sharan A, Rezai AR (2013) Developing a neurosurgical simulation-based educational curriculum: an overview. *Neurosurgery* 73(suppl_1):S25-S29.
15. Lateef F (2010) Simulation-based learning: Just like the real thing. *J Emerg Trauma Shock* 3(4):348.
16. De Montbrun SL, MacRae H (2012) Simulation in surgical education. *Clin Colon Rectal Surg* 25(03):156-165.
17. Sutherland L, Middleton P, Anthony A, Hamdorf J, Cregan P, Scott D, Maddern G (2006) Surgical simulation: a systematic review. *Ann Surg* 243(3):291-300.
18. Belykh E, Lei T, Safavi-Abbasi S, Yagmurlu K, Almefty RO, Sun H, Almefty KK, Belykh O, Byvaltsev VA, Spetzler RF (2016) Low-flow and high-flow neurosurgical bypass and anastomosis training models using human and bovine placental vessels: a histological analysis and validation study. *J Neurosurg* 125(4):915-928.
19. Cobb MI-PH, Taekman JM, Zomorodi AR, Gonzalez LF, Turner DA (2016) Simulation in neurosurgery – a brief review and commentary. *World Neurosurg* 89:583-586.
20. M Bridges M, Diamond DL (1999) The financial impact of teaching surgical residents in the operating room. *Am J Surg* 177(1):28-32.
21. Bina RW, Lemole GM, Dumont TM (2016) On resident duty hour restrictions and neurosurgical training: review of the literature. *J Neurosurg* 124(3):84-848.
22. R Babu R, Thomas S, Hazzard M et al (2014) Morbidity, mortality, and health care costs for patients undergoing spine surgery following the ACGME resident duty-hour reform: Clinical article. *J Neurosurg Spine* 21(4):502-515.
23. Dagi TF (2017) Seven Ethical Issues Affecting Neurosurgeons in the Context of Health Care Reform. *Neurosurgery* 80(4S):S83-S91.
24. Parham G, Bing EG, Cuevas A, Fisher B, Skinner J, Mwanahamuntu M, Sullivan R (2019) Creating a low-cost virtual reality surgical simulation to increase surgical oncology capacity and capability. *Ecancermedicalsecience*. Available: <https://doi.org/10.3332/ecancer.2019.910>. 31 mar 2022.
25. Dewan MC, Rattani A, Baticulon RE et al (2018) Operative and consultative proportions of neurosurgical disease worldwide: estimation from the surgeon perspective. *J Neurosurg* 130(4):1098-110.

26. Germanò A, Raffa G, Angileri FF, Cardali SM, Tomasello F (2020) Coronavirus disease 2019 (COVID-19) and neurosurgery: literature and neurosurgical societies recommendations update. *World Neurosurg* 139:e812-e817.
27. Robertson FC, Lippa L, Broekman MLD (2020) Task shifting and task sharing for neurosurgeons amidst the Covid-19 pandemic. *J Neurosurg* 133(1):5-7.
28. Scullen T, Mathkour M, Maulucci CM, Dumont AS, Bui CJ, Keen JR (2020) Letter to the editor impact of the COVID-19 pandemic on neurosurgical residency training in New Orleans. *World Neurosurg* 139:718-719.
29. Tsermoulas G, Zisakis A, Flint G, Belli A (2020) Challenges to Neurosurgery During the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic. *World Neurosurg* 139:519.
30. Bambakidis NC, Tomei KL (2020) Impact of COVID-19 on neurosurgery resident training and education. *J Neurosurg* 133(1):10-11.
31. Ashour AM, Elbabaa SK, Caputy AJ, Gragnaniello C (2016) Navigation-guided endoscopic intraventricular injectable tumor model: cadaveric tumor resection model for neurosurgical training. *World Neurosurg* 96:261-266.
32. De Oliveira MMR, Ferrarez CE, Ramos TM, Malheiros JA, Nicolato A, Machado CJ, Ferreira MT, De Oliveira FB, De Sousa CFPM, Costa PHV (2017) Learning brain aneurysm microsurgical skills in a human placenta model: predictive validity. *J Neurosurg* 128(3):846-852.
33. Coelho G, Zanon N, Warf B (2014) The role of simulation in neurosurgery. *Child's Nerv Syst* 30(12):1997-2000.
34. Varoquier M, Hoffmann CP, Perrenot C, Tran N, Parietti-Winkler C (2017) Construct, face, and content validation on Voxel-Man® Simulator for otologic surgical training. *Int J Otolaryngol* 2017.
35. Nortwick SS Van, Lendvay TS, Jensen AR, et al (2010) Methodologies for establishing validity in surgical simulation studies. *Surgery* 147(5):622-630.
36. Oliveira LM, Figueiredo EG (2019) Simulation training methods in neurological surgery. *Asian J Neurosurg* 14(2):364.
37. Raymond J et al. Interventional neuroradiology: the role of experimental models in scientific progress. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007; 28(3):401-5.
38. Desender LM et al. Training with simulation versus operative room attendance. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2011; 52(1):17-37.

39. Spetzger, U et al. Training models for vascular micro neurosurgery. *Acta Neurochir Suppl* 2011; 112:115-9.
40. Jasco, J et al. Neurosurgery Simulation in Residency Training: Feasibility, Cost, and Educational Benefit. *Neurosurgery* 2013; 73(4): supplement S39-S45.
41. Alaraj A et al. Role of cranial and spinal virtual and augmented reality simulation using immersive touch modules in neurosurgical training. *Neurosurgery* 2013; 72 Suppl 1:115-23.
42. Malone HR et al. Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications. *Neurosurgery* 2010; 67(4):1105-16.
43. Aboud E et al. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. *J Neurosurg* 2002; 97(6):1367-72.
44. Scholz M et al. Microsurgically induced aneurysm models in rats, part I: techniques and histological examination. *Minim Invasive Neurosurg* 2008; 51(2):76-82.
45. Oliveira M et al. Human Placenta Aneurysm Model for Training Neurosurgeons in Vascular Microsurgery. *Neurosurgery* 2014 Dec; 10(4):592-601.
46. McGregor JC. The use of the placenta for microsurgical vascular practice. *Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh* 1980, 25(4): 233-236.
47. Aboud E, Aboud G, Al-Mefty O, Aboud T, Rammos S, Abolfotoh M, Hsu SPC, Koga S, Arthur A, Krisht A (2015) "Live cadavers" for training in the management of intraoperative aneurysmal rupture. *J Neurosurg* 123(5):1339-1346.
48. Gasco J, Holbrook TJ, Patel A, Smith A, Paulson D, Muns A, Desai S, Moisi M, Kuo Y-F, Macdonald B (2013) Neurosurgery simulation in residency training: feasibility, cost, and educational benefit. *Neurosurgery* 73(suppl_1):S39-S45.
49. Reznick R, Regehr G, MacRae H, Martin J, McCulloch W (1997) Testing technical skill via an innovative "bench station" examination. *Am J Surg* 173(3):226-230.
50. Robison RA, Liu CY, Apuzzo MLJ (2011) Man, mind, and machine: the past and future of virtual reality simulation in neurologic surgery. *World Neurosurg* 76(5):419-430.
51. Donoho DA, Johnson CE, Hur KT, Buchanan IA, Fredrickson VL, Minneti M, Zada G, Wrobel BB. Costs and training results of an objectively validated cadaveric perfusion-based internal carotid artery injury simulation during

endoscopic skull base surgery. *Int Forum Allergy Rhinol.* 2019 Jul;9(7):787-794. Doi: 10.1002/alr.22319. Epub 2019 Mar 18. PMID: 30884191

52. Sutherland LM *et al.* O uso de cadáveres para o ensino médico nas escolas de medicina da Austrália e Nova Zelândia: atitudes e práticas atuais. *ANZ J Surg.* 2009;79(9):658-662.
53. Seymour NE *et al.* O treinamento em realidade virtual melhora o desempenho da sala de cirurgia: resultados de um estudo randomizado e duplo-cego. *Ana Cirurg.* 2002;236(4):458-463; discussão 463-464.
54. Kuhlen TW *et al.* Desenvolvimento de um simulador de realidade virtual para treinamento em cirurgia microvascular. *Microcirurgia.* 2002;22(3):121-127.
55. Goto T *et al.* Modelo de simulação para anastomose microvascular utilizando os vasos femorais de um rato. *Neurocirurgia.* 2001;48(3):655-658; discussão 658-659.
56. Cerulo A, *et al.* Treinamento microvascular em placenta humana: um modelo de simulação para bypass cerebrovascular. *Neurocirurgia Mundial.* 2013;80(1-2):e9-e13.
57. Cheng Y *et al.* Use of human placenta as a surgical training model for microvascular anastomosis. *J Surg Educ.* 2015;72(5):834-839. DOI: 10.1016/j.jsurg.2015.02.004.
58. de Groot JH *et al.* Synthetic simulation models for neurosurgical training: a systematic review. *J Surg Educ.* 2018;75(5):1379-1390. DOI: 10.1016/j.jsurg.2018.03.009.
59. Figueiredo EG *et al.* Microvascular anastomosis training simulator: a low-cost, high-fidelity synthetic model. *Acta Neurochir (Wien).* 2013;155(12):2221-2226. DOI: 10.1007/s00701-013-1863-9.
60. Zheng B *et al.* The construction and application of a hybrid simulation model for cerebrovascular surgery. *World Neurosurg.* 2021;150:e646-e653. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.07.034.

ANEXOS

ANEXO A – Aprovação do 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.

Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG

ANEXO B – TCLE aplicado aos participantes do estudo

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O(A) Sr(a) está sendo convidado(a) a permitir com que sua cirurgia seja filmada para que seja realizada uma tese de doutorado que tem como objetivo de realizar a **VALIDAÇÃO DE MODELO HÍBRIDO DE PLACENTA HUMANA MODIFICADA PARA TREINAMENTO DE ANASTOMOSE ENTRE ARTÉRIA TEMPORAL SUPERFICIAL E ARTÉRIA CEREBRAL MÉDIA.**

A JUSTIFICATIVA, OS OBJETIVOS E OS PROCEDIMENTOS: O motivo que nos leva a propor este estudo é **ainda existem poucas pesquisas para medir a habilidade cirúrgica do médico cirurgião ou residente e que também possa ser usada como forma de treinamento.** O trabalho tem como objetivo criar uma tabela para avaliar a performance cirúrgica dos residentes e cirurgiões ao operar o senhor(a) para que essa tabela possa ser usada futuramente como um preditor de desempenho. O vídeo não mostrará sua imagem e não aparecerá nenhum dado que possa identificá-lo(a).

BENEFÍCIOS: Os benefícios incluem a melhora da técnica cirúrgica dos médicos que irão operar os futuros pacientes e determinar o nível em que o cirurgião se encontra para que possa ou não operar um paciente.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, LIBERDADE DE RECUSA E GARANTIA DE SIGILO: Você poderá solicitar esclarecimento sobre a pesquisa. Você é livre para recusar-se a ceder a placenta, seja por motivo de constrangimento e/ou outros motivos. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios. O(s) pesquisador(es) irá(ão) tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Seu nome ou o material que indique a sua participação não será liberado. Você não será identificada em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Este consentimento está impresso e assinado em duas vias, uma cópia será fornecida a você e a outra ficará com o pesquisador(es) responsável(is).

CUSTOS DA PARTICIPAÇÃO, RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO: A participação no estudo, não acarretará custos para você e não será disponibilizada nenhuma compensação financeira.

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas. Pesquisador responsável: Carlos Eduardo Prata Fernandes Ferrarez (cel: 31-99194-2269)

Assinatura do participante pesquisado ou impressão dactiloscópica. Assinatura:

Nome legível:

Endereço:

RG:

Fone:

Data ____/____/____

DECLARAÇÃO DO PARTICIPANTE OU DO RESPONSÁVEL PELO PARTICIPANTE

Eu,, fui informado(a) dos objetivos da pesquisa acima de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que em qualquer momento poderei solicitar novas informações e ou retirar meu consentimento. Os responsáveis pela pesquisa acima, certificaram-me de que todos os meus dados serão confidenciais.

ANEXO C – TCLE para autorizar o uso da placenta

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

A Sra está sendo convidada a ceder sua placenta para a pesquisa intitulada: “Placenta humana como modelo de treinamento neurocirúrgico microvascular e endovascular” que tem como objetivo: preparar a placenta de maneira cuidadosa para que ela seja utilizada como material para treino de habilidades cirúrgicas por acadêmicos, residentes e cirurgiões. Pesquisa aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE: 0364.0.203.000-11).

A JUSTIFICATIVA, OS OBJETIVOS E OS PROCEDIMENTOS: O motivo que nos leva a propor este estudo **é ainda existem poucas pesquisas para a comprovação de um ensino efetivo para a aquisição de habilidades cirúrgicas utilizando modelos de treinamento.** O trabalho tem como objetivo simular cirurgias reais para que ao operar, o residente ou cirurgião, tenha a habilidade necessária reduzindo, então, o número de complicações para os pacientes. A placenta será enterrada após seu uso.

DESCONFORTOS, RISCOS E BENEFÍCIOS: O risco da pesquisa é a perda da placenta. Os benefícios incluem a melhora da técnica cirúrgica dos médicos que irão operar os futuros pacientes.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, LIBERDADE DE RECUSA E GARANTIA DE SIGILO: Você poderá solicitar esclarecimento sobre a pesquisa. Você é livre para recusar-se a ceder a placenta, seja por motivo de constrangimento e/ou outros motivos. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios. O(s) pesquisador(es) irá(ão) tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Seu nome ou o material que indique a sua participação não será liberado. Você não será identificada em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Este consentimento está impresso e assinado em duas vias, uma cópia será fornecida a você e a outra ficará com o pesquisador(es) responsável(is).

CUSTOS DA PARTICIPAÇÃO, RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO: A participação no estudo, não acarretará custos para você e não será disponibilizada nenhuma compensação financeira.

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas. Pesquisador responsável: Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira (cel: 31 99136-8554)

Assinatura do participante pesquisado ou impressão dactiloscópica.

Assinatura:

Nome legível:

Endereço:

RG:

Fone:

Data ____/____/____

DECLARAÇÃO DO PARTICIPANTE OU DO RESPONSÁVEL PELO PARTICIPANTE

Eu,, fui informado(a) dos objetivos da pesquisa acima de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que em qualquer momento poderei solicitar novas informações e ou retirar meu consentimento. Os responsáveis pela pesquisa acima, certificaram-me de que todos os meus dados serão confidenciais.

APÊNDICE

APÊNDICE A – *Superficial temporal artery middle cerebral artery bypass ex vivo hybrid simulator: face, content, construct, and concurrent validity*

ORIGINAL ARTICLE

Check for updates

Superficial Temporal Artery–Middle Cerebral Artery Bypass Ex Vivo Hybrid Simulator: Face, Content, Construct, and Concurrent Validity

Carlos E. Ferrarez¹, Raphael Bertani², Doralice M. Leite Batista³, Renan Lovato⁴, Caio Perret⁵, Karl R. Abi-Aad⁶, Marcelo Magaldi Oliveira⁵, Bruno Cannizzaro⁵, Pollyanna H. Vieira Costa⁷, Roberto Leal da Silveira¹, Cleverson M. Kilf⁸, Sebastião N. Gusmão¹

▫ **BACKGROUND:** Cerebrovascular bypass surgical procedures require highly developed dexterity and refined bimanual technical skills. To attain such a level of prowess, neurosurgeons and residents have traditionally relied on “flat” models (without depth of field), such as chicken wings, live rats, silicone vessels, and other materials that stray far from the reality of the operating room, albeit more accessible. We have explored the use of a hybrid ex vivo simulator that takes advantage of the availability of placenta vessels and retains the complexity of surgery performed on a human skull to create a more realistic method for the development of cerebrovascular bypass surgical skills.

▫ **METHODS:** Twelve ex vivo simulators were constructed using 3 human placentas and 1 synthetic human skull for each. Face, content, construct, and concurrent validity were assessed by 12 neurosurgeons (6 trained vascular surgeons and 6 general neurosurgeons) and compared with those of other bypass models.

▫ **RESULTS:** The fidelity grade was ranked as low (Linkert scale score, 1–2), medium (score, 3), and high (score, 4–5). The face and content validity of the model showed high fidelity to superficial temporal artery–middle cerebral artery bypass surgery. Construct validity showed that cerebrovascular neurosurgeons had better performance, and

concurrent validity highlighted that all surgical steps were present.

▫ **CONCLUSION:** The simulator was found to have strong face and content, construct, and concurrent validity for microsurgical cerebrovascular training, allowing for simulation of all surgical steps of the bypass procedure. The hybrid simulator seems to be a promising method for shortening the bypass surgery learning curve. However, more studies are required to evaluate the predictive validity of the model.

INTRODUCTION

D onaghy and Yasargil¹ described superficial temporal artery–middle cerebral artery (STA-MCA) bypass in 1969 for ischemic brain conditions. Although dismissed initially, it has reemerged recently as an option for the treatment of complex brain aneurysms, Moyamoya disease, and ischemic atherosclerosis refractory to optimal medical treatment.^{2–9} Proficient microsurgical technical skills are critical to the success of this procedure, which has not been commonly and frequently practiced at all institutions.^{7–9} In addition, cerebrovascular bypass will only be learned and practiced at advanced stages of training; thus, most residents will not possess the necessary skills to

Key words

- Neurosurgical education
- Neurosurgical simulation
- Novel simulation model
- Placenta
- Simulation
- STA-MCA
- Superior temporal artery–middle cerebral artery

Abbreviations and Acronyms

CVN: Cerebrovascular neurosurgeon
 GN: General neurosurgeon
 MCA: Middle cerebral artery
 STA: Superficial temporal artery
 UFMG: Federal University of Minas Gerais

From the ¹Department of Neurosurgery, Hospital Madre Teresa, Belo Horizonte, Brazil; ²Division of Neurosurgery, Department of Surgery, Santa Casa de São Paulo School of Medical Sciences, São Paulo, Brazil; ³Department of Neurosurgery, Hospital Municipal Miguel Couto, Rio de Janeiro, Brazil; ⁴Department of General Surgery, SUNY Upstate Medical University, Syracuse, New York, USA; ⁵Department of Neurosurgery, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil; and ⁶Department of Neurosurgery, Hospital Santa Rita, Belo Horizonte, Brazil

To whom correspondence should be addressed: Raphael Bertani, M.D.
 (E-mail: bertani@boursun.com)

Citation: *World Neurosurg.* (2020) 142:e378–e384.
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.07.027>

Journal homepage: www.journals.elsevier.com/world-neurosurgery

Available online: www.sciencedirect.com

1878-8759/\$ - see front matter © 2020 Elsevier Inc. All rights reserved.

competently perform bypass procedures.¹⁰ Simulators can offer early training for STA-MCA bypass and could possibly shorten the learning curve, increasing the confidence and competency of the trainees. The use of simulators coupled with grading scales have also been helpful in monitoring the progress of trainees and assigning them surgical responsibilities accordingly.

Several training models have been described for microsuture training, including synthetic, virtual reality, human cadavers, live or cadaver animals (e.g., rat, chicken wing, turkey neck), and human placenta models.¹²⁻¹⁹ The ideal simulator should be affordable, easily accessible and reproducible, ethically acceptable, representative of all microsurgical steps required to complete STA-MCA bypass, and have high fidelity to actual human nervous and vascular tissue.¹¹ However, none of the models known to us or reported in previous studies can offer a comprehensive simulation of the bypass procedure, including all required STA dissection, Sylvian fissure dissection, MCA dissection, and end-to-side anastomosis. Therefore, we developed ex vivo hybrid bypass simulators using placenta vasculature embedded within a synthetic skull. The model has been widely used by the residents at the Federal University of Minas Gerais (UFMG) and has been increasing in popularity at other neighboring centers.

In the present study, we evaluated the efficiency of the developed ex vivo hybrid model in the training of residents and junior neurosurgeons. The validity of the STA-MCA bypass model was assessed using the face, content, construct, and concurrent validity tool.

METHODS

The ethical committee of the UFMG (Belo Horizonte, Brazil) approved the present study, including the collection of placentas (protocol no. 0364.0.203.000-11). The present study was conducted at the UFMG School of Medicine's microsurgical laboratory from January 2016 to May 2017. The proposed simulator consists of a synthetic skull and 3 human placentas. Placentas were considered fit to represent the STA-MCA procedure because placental vessels have a similar diameter to MCAs (3–4 mm) and STAs (2–4 mm).

Human Placenta Preparation

After discussion with, and presentation of our simulator to, the obstetrics and gynecology team at the UFMG, the obstetrics and gynecology department agreed to supply an average of 10 placentas daily. Each patient providing a placenta had provided written informed consent before collection. The patients supplying the placentas were routinely screened for prenatal infection.

The collected placentas were prepared consistently using a standard protocol. Blood clots were removed by the injection of standard saline (0.9%) into the placental vein and 2 arteries for 15 minutes. The minimum flow pressure required to remove all clots from the vessels was set to 70 mm Hg, and the maximal required pressure was set to 90 mm Hg. A flow pressure <70 mm Hg was not successful in removing all the blood clots. Also, a flow pressure >90 mm Hg resulted in damaged distal, smaller vessels and, sometimes, distention of the proximal vasculature. The allantois membrane was removed from the placental surface for better visualization of the vessels.²⁰ The umbilical cord vessels of all the

placentas were cannulated with a 6F urinary catheter for colored saline perfusion to represent the arteries and veins in red and blue, respectively. The simulators can be used multiple times because of the multiple vessels in each of the 3 placentas. For consistent training, it is possible to use 6 placentas each week, totaling 24 placentas per month and 288 annually.

Skull Preparation

The synthetic skull was developed by 3 of us (F.C., O.M., R.B.) and manufactured by Modefer LTDA (São Paulo, São Paulo, Brazil) using a 3-dimensional printer. The synthetic skull was registered internationally at the National Institute of Intellectual Property (registry no. BR 30 2 015 005 201 5) for placenta hybrid usage. The skulls were designed to represent the shape of an adult white male skull. They were stabilized at the base at a 30° angle of lateralization and 15° angle of head extension, simulating the standard surgical position required for a frontotemporal approach. The skulls were printed with a pterional craniotomy opening bilaterally, through which the placentas were inserted (Figure 1).

Model Development

One of the prepared human placentas was placed externally, outside the pterional opening, to represent the STA vessel and allow for STA dissection and harvesting simulation. The placenta was positioned in the frontal portion of the synthetic skull such that the vessels were clearly exposed. Inside the pterional opening, 2 placentas were placed, 1 on top of each other. The placenta closer to the surface was used to represent the Sylvian fissure and superficial middle cerebral vein and allow simulation of fissure opening. The deeper placenta, along with its artery, were used to simulate the intra-Sylvian structures, including the MCA used for simulation of the anastomosis (Figure 2).

Materials Required

The materials needed to perform the bypass simulation included the following: operating table, OPMI VARIO 700 surgical microscope (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany), microscissors, microdissectors, surgical sutures (nylon 10-0 [Ethicon, Somerville, New Jersey, USA]), microforceps, microneedle holders (Figure 3), bipolar urethral catheters, an intravenous catheter, two 500-mL saline intravenous bags with separate colored saline (red and blue Gouache paint, respectively, infused into the saline container), gloves, and surgical clothing.

Study Design

A total of 12 simulators were built, 1 for each of the neurosurgeons. The steps of the procedures included the following: 1) with microscope augmentation, dissection and harvesting of an artery from the external placenta; 2) opening the placenta simulating the Sylvian fissure; 3) dissection of an artery from the deeper placenta; and 4) performance of a deep, end-to-side anastomosis simulating the STA-MCA bypass, with a nylon 10-0 suture (Figures 3 and 4). All 12 neurosurgeons had signed a disclosure form authorizing public release of the study results. The neurosurgeons were divided into 2 groups. The first group included 6 cerebrovascular neurosurgeons (CVNs) with cerebrovascular training and experience. Training and experience were defined as having completed a clinical fellowship in cerebrovascular surgery and having performed ≥ 30 cases annually in

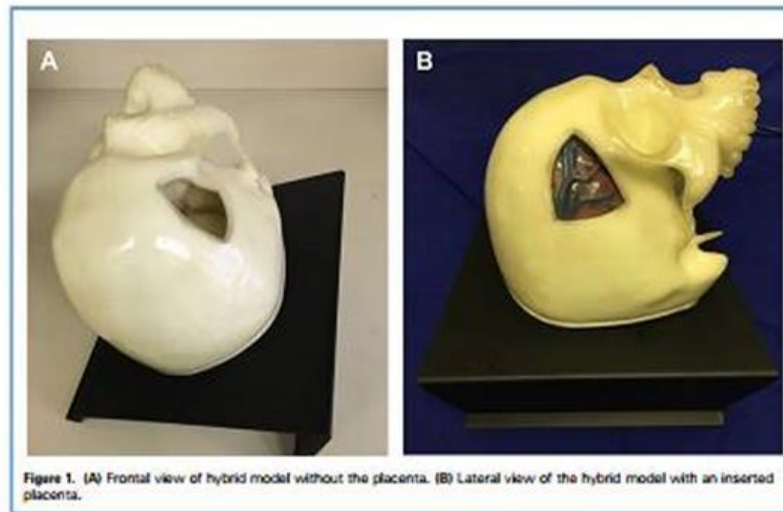


Figure 1. (A) Frontal view of hybrid model without the placenta. (B) Lateral view of the hybrid model with an inserted placenta.

the previous 2 years ($n = 55$). The second group included 6 general neurosurgeons (GNs) with ≥ 2 years of practice in general neurosurgery but no advanced cerebrovascular training or fellowship.

Model Validation

Face and content validity questionnaires were completed by the 6 CVNs, using the 5-point Likert grading scale (Table 1). Construct validity was evaluated by comparing the differences in the 1) time required for bypass completion; 2) number of stitches required after bypass flow has started; and 3) number of bipolar coagulations required between the CVNs and GN (Table 2). The mean \pm standard deviation, median, interquartile range, and 95% confidence interval (CI) were

calculated for each of the scores based on a t distribution for small samples. The Student t test and Mann-Whitney U test were performed for the mean and median, respectively. Concurrent validity was used to compare the characteristics of multiple STA-MCA bypass simulation models, including flat models (without depth of field); live rat, synthetic tube, chicken wing, turkey neck, human placenta, cadaver heads, and our proposed ex vivo hybrid placenta simulators. The parameters assessed included the fidelity, cost, infrastructure, blood flow, STA dissection, Sylvian fissure dissection, MCA dissection, STA-MCA anastomosis, and thrombosis evaluation findings at follow-up. The evaluation was based on expert opinion.

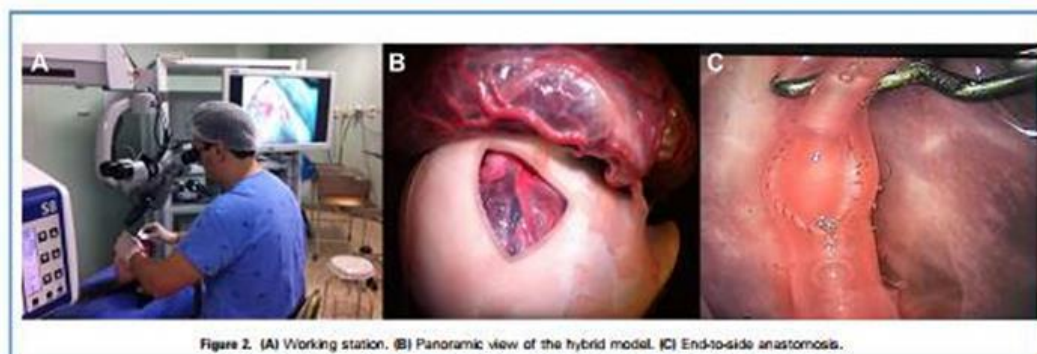


Figure 2. (A) Working station. (B) Panoramic view of the hybrid model. (C) End-to-side anastomosis.

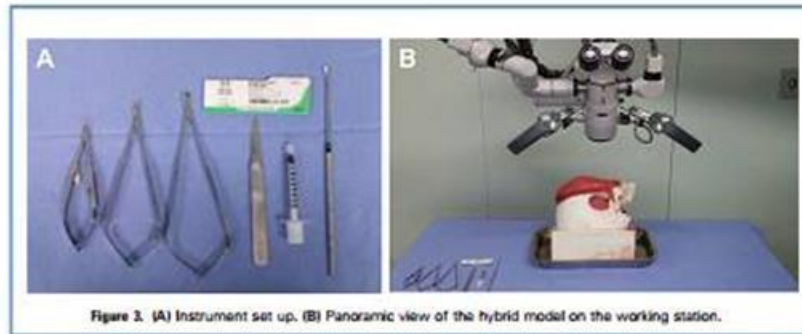


Figure 3. (A) Instrument set up. (B) Panoramic view of the hybrid model on the working station.

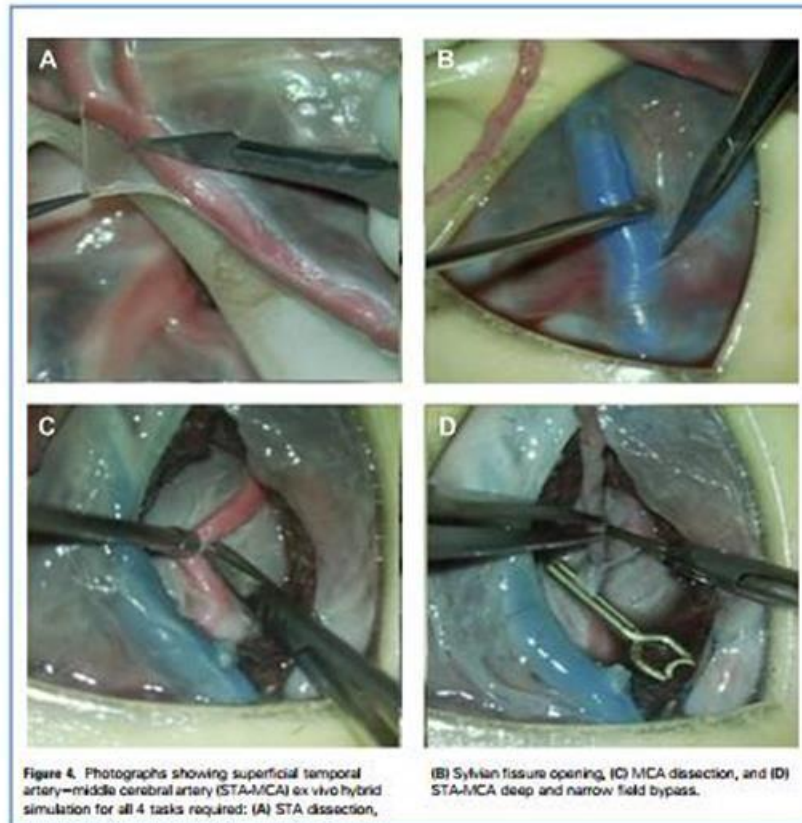


Figure 4. Photographs showing superficial temporal artery—middle cerebral artery (STA-MCA) ex vivo hybrid simulation for all 4 tasks required: (A) STA dissection,

(B) Sylvian fissure opening, (C) MCA dissection, and (D) STA-MCA deep and narrow field bypass.

RESULTS

All 12 ex vivo hybrid simulators were fit for simulation of the STA-MCA bypass procedure. The simulation was divided into 4 tasks: STA dissection, Sylvian fissure opening, MCA dissection, and STA-MCA deep and narrow field bypass.

Face and Content Validity

As assessed by the CVNs, the average similarity grade using the Likert scale between the simulation and bypass surgery was 4.3 ± 0.5 (95% CI, 3.8–4.9; Table 1). Sylvian fissure dissection and STA-MCA anastomosis had an average similarity grade of 4.7 ± 0.5 (95% CI, 4.1–5.0). The average similarity for STA and MCA dissection was 3.7 ± 0.5 (95% CI, 3.1–4.2) and 3.3 ± 0.5 (95% CI, 2.8–4.0), respectively. The use of microsurgical instruments and microscope and the microsurgical manipulation of vessels (anastomosis procedure) were unanimously graded 5. Microsurgical dissection of tissues (i.e., STA, Sylvian fissure, and MCA dissection) was unanimously graded as 4. The placenta vessels had still been wrapped by the alantoid membrane—despite attempts to remove it—making vessel dissection more difficult than during actual surgery.

Construct Validity

The average time required to complete the bypass procedure was 51 ± 7.7 minutes (95% CI, 42.9–59.1) for the CVN group and 171.6 ± 17.5 minutes (95% CI, 149.9–193.3) for the GN group ($P < 0.001$; Table 2). The number of stitches required after bypass flow had started was 1.8 ± 0.8 (95% CI, 1.0–2.6) for the CVN group and 4.2 ± 0.8 (95% CI, 3.2–5.2) for the GN group

($P < 0.001$). The number of bipolar coagulations required throughout the procedure was 2.7 ± 0.5 (95% CI, 2.1–3.2) for the CVN group and 4.8 ± 0.8 (95% CI, 3.8–5.8) for the GN group ($P < 0.001$). All 6 GNs reported difficulty with each step of the procedure, mainly during performance of the deep and narrow field microsuturing. In addition, 3 of the GNs could not complete the simulation because of microsurgical technical difficulties.

Concurrent Validity

Concurrent validity showed that the hybrid STA-MCA simulator model is more comprehensive than the other reported models, mainly because of reproducibility of the Sylvian fissure opening

Table 1. Face and Content Validity* of Ex Vivo Hybrid Simulator Compared with Actual Bypass Surgery

CVN No.	Content Validity				
	Face Validity (Similarity of Simulator to Surgery)	Similarity of STA Dissection Simulation	Similarity of Sylvian Fissure Dissection	Similarity of MCA Dissection	Similarity of STA-MCA Anastomosis
	1	4	4	4	3
2	4	4	5	4	4
3	5	3	4	3	5
4	4	3	5	3	5
5	5	4	5	4	4
6	4	4	5	3	5
Mean \pm SD	4.3 ± 0.5	3.7 ± 0.5	4.7 ± 0.5	3.3 ± 0.5	4.7 ± 0.5
95% CI	3.8–4.9	3.1–4.2	4.1–5.0	2.8–3.9	4.1–5.0
Median (IQR)	4 (1)	4 (1)	5 (1)	3 (1)	5 (1)

CVN, cerebrovascular neurosurgeon; STA, superficial temporal artery; MCA, middle cerebral artery; SD, standard deviation; CI, confidence interval; IQR, interquartile range.
*Points were given using the 5-point Likert scale: 5, exactly like; 4, very similar; 3, similar; 2, little similarity; 1, not similar.

Table 2. Construct Validity of an Ex Vivo Hybrid Simulator for Surgical Bypass

Surgeon No.	Time (minutes) Required to Complete Bypass Procedure	No. of Stitches Required After Bypass Flow Had Started	No. of Bipolar Coagulations Required
CVN 1	50	2	3
CVN 2	41	1	2
CVN 3	49	1	2
CVN 4	58	2	3
CVN 5	46	2	3
CVN 6	62	3	3
Mean \pm SD	51 ± 7.7	1.8 ± 0.8	2.7 ± 0.5
95% CI	42.9–59.1	1.0–2.6	2.1–3.2
Median (IQR)	49.5 (12)	2 (1)	3 (1)
GN 1	160	4	5
GN 2	153	5	4
GN 3	178	5	5
GN 4	NA	NA	NA
GN 5	169	4	4
GN 6	198	3	6
Mean \pm SD	171.6 ± 17.5	4.2 ± 0.8	4.8 ± 0.8
95% CI	149.9–193.3	3.2–5.2	3.8–5.8
Median (IQR)	169 (18)	4 (1)	5 (1)
Novice X expert (P value)*	<0.001	<0.001	<0.001

NA, number; CVN, cerebrovascular neurosurgeon; SD, standard deviation; CI, confidence interval; IQR, interquartile range; GN, general neurosurgeon; NA, not applicable.
*Results were significant at $P < 0.001$ for differences between the mean \pm SD and median values.

Table 3. Concurrent Validity of Bypass Simulators

Simulator	Fidelity	Cost	Infrastructure	Blood Flow	Dissection			STA-MCA Anastomosis	Thrombosis Follow-Up Evaluation
					STA	Sylvian Fissure	MCA		
Synthetic tube	L	M	L	Yes	No	No	No	Flat	No
Chicken wing	H	L	L	Yes	No	No	Yes, partially	Flat	No
Turkey neck	H	L	L	Yes	No	No	Yes, partially	Flat	No
Live rat	H	H	H	Yes*	No	No	Yes	Flat	Yes
Human placenta	H	L	L	Yes	No	No	Yes	Flat	No
Human cadaver	H†	H	H	Yes	Yes	Yes‡	Yes	3D	No
Ex vivo hybrid	H	M	L	Yes	Yes	Yes	Yes	3D	No

STA, superior temporal artery; MCA, middle cerebral artery; L, low; M, medium; H, high; 3D, 3-dimensional.
 *Only model with actual blood flow.
 †If fresh.
 ‡Batter if fresh.

and deep vessel dissection and anastomosis in a deep and narrow field (Table 3). These were less often present in the other models. The absence of a coagulation cascade timeframe is a disadvantage of the presented ex vivo simulator.

DISCUSSION

The use of the human placenta as a training tool in microsurgery was first described in 1979.³¹ The use of the human placenta has since increased in popularity in microsurgery simulation models. Placenta-based simulation has been further refined by our group using vessel cleaning and modifications methods to reproduce a more comprehensive training model.³⁰

The results of the present study have shown that the use of the ex vivo placenta model has a high face, content, construct, and concurrent validity. The model reproduces, with high fidelity, the technical aspects of the actual surgical procedure. Moreover, it is easily available and does not require any specific infrastructure or difficult processing preparations. It can be stored in a refrigerator at $\sim 5^{\circ}\text{C}$ for 5 days. The use of the model poses no ethical challenges and has been approved in the United States and Brazil as a tool for surgical simulations. However, the main disadvantages of the placental model are the inevitable contamination and degradability.

Placental vessels are similar to brain arteries in that they are both wrapped by a membrane, the allantois and arachnoid membranes, respectively. However, the CVNs stated that vessel dissection was more challenging in placentas because the allantois membrane is more adhesive to the placental vessels than is the arachnoid membrane to the brain arteries. The greater adhesion is another limitation of the presented models and was reflected by the lowest face and content validity scores for STA and MCA dissection. However, the face and content validity results depicted an overall high degree of similarity to actual bypass surgery, with a score of 5 for both Sylvian fissure dissection and STA-MCA anastomosis.

Construct validity revealed the difficulties associated with working in a small-caliber vessel under microscopic vision. Vessel dissection, microsurgical control of bleeding, manipulation of 7-0 nylon suture, and performing vessel bypass microsurgery were considered very difficult by the GNs and could not be mastered by 3 of them. The statistically significant difference in all objective measures in favor of the CVNs confirmed the efficiency of the model and its validity for training.

When comparing the ex vivo hybrid model to other simulators such as human cadavers, live animals, dead animals (e.g., chicken wing, turkey neck), and human placentas (Table 3),³⁴ the concurrent validity showed that our model was the only model that had reproduced all the microsurgical steps required for STA-MCA bypass. The most widely used training model, the live rat, has no arachnoid membrane-like tissue attached to the vessels and, thus, cannot allow for simulation of Sylvian fissure opening nor simulation of the deep and narrow field in which to execute the bypass. However, unlike our model, the live rat model does allow one to study the bypass outcomes during a follow-up period and assess its patency. In addition, the models using chicken wings, turkey necks, and silicon tubes only allow for exploration of the microsurgical suturing of vessels, without evaluation of the other surgical steps. Human cadavers can be used to simulate all the STA-MCA surgical steps but require fresh cadavers, making their use less accessible owing to the high cost. In addition, the embalming process performed on cadaver heads alters the consistency of tissues and is a limiting factor to using cadavers for bypass simulation. The human placenta simulators not embedded within a skull do not reproduce the deep and narrow field work, making the procedure easier and not as representative of bypass surgery. The ex vivo hybrid simulator and human cadaver head, however, are the only simulators that offer deep and narrow field bypass execution; hence, the term "flat" attributed to the other models.

The ex vivo model we have presented has been shown to be a promising and useful model for surgical training. Confirmation

of its predictive validity is still required to assess the effects of using the model for training. Ideally, such confirmation should be performed in a multicenter, prospective, blinded study. However, because STA-MCA bypass procedures are rare and usually performed by senior CVNs, a predictive validity study to evaluate the surgical skills of trainees performing bypass surgery would be difficult to perform.

CONCLUSION

The presented placenta-based ex vivo hybrid simulation model has shown positive face, content, construct, and concurrent validity and is the only STA-MCA bypass simulator that reproduces all the surgical steps of a bypass procedure. The hybrid simulator is a realistic and promising training model that might be capable of shortening the learning curve for the

bypass technique for residents, GNs, and junior cerebrovascular neurosurgery fellows.

CRediT AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT

Carlos E. Ferrarez: Conceptualization, Methodology, Validation, Resources. Raphael Bertani: Writing - original draft, Writing - review & editing. Doralice M. Leite Batista: Methodology, Writing - original draft. Renan Lovato: Conceptualization, Writing - original draft, Resources. Caio Perret: Methodology, Writing - review & editing. Karl R. Abi-Aad: Writing - original draft, Writing - review & editing. Marcelo Magaldi Oliveira: Writing - original draft. Bruno Cannizzaro: Writing - review & editing, Resources. Pollyanna H. Vieira Costa: Writing - review & editing, Resources. Roberto Leal da Silveira: Conceptualization, Supervision. Cleverson M. Kill: Writing - original draft, Resources. Sebastião N. Gusmão: Conceptualization, Supervision.

REFERENCES

1. Donaghy RM, Yaszgöl G. Microsurgical surgery and its techniques. *Prog Brain Res.* 1988;73:263-267.
2. Sekhar LN, Natarajan SK, Ellenbogen RG, Ghodre S. Cerebral revascularization for ischemia, aneurysms, and cranial base tumors. *Neurosurg.* 2008;62(suppl 3):1273-1288 [discussion: 1288-1290].
3. Lee SB, Huh JW, Kim DS, Yoo DS, Lee TG, Cho KS. Early superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass in acute ischemic stroke. *Clin Neurol Neurosurg.* 2012;115:1238-1244.
4. Chubbam S, Tacconi L. Extracranial-intracranial bypass for the treatment of cavernous sinus aneurysms. *J Clin Neurol.* 2006;13:2000-2003.
5. Moegele MK, Fersh RD, Little NS, Harrington TJ. Bypass to the intracranial internal carotid artery. *J Clin Neurol.* 2002;39:418-424.
6. Nassabum ES, Erickson DL. Extracranial-intracranial bypass for ischemic cerebrovascular disease refractory to maximal medical therapy. *Neurosurg.* 2000;46:373-42 [discussion: 42-43].
7. Grant O, Schmiedek P, Spetzler R, Steinhoff H, Marguth F. Clinical experience with extra-intracranial arterial anastomosis in 65 cases. *J Neurosurg.* 1976;44:313-324.
8. Perless SJ, Ferguson GG, Drake CG. Extracranial-intracranial (EC/IC) bypass in the treatment of giant intracranial aneurysms. *Neurosurg Rev.* 1982; 5:77-82.
9. Grubb R Jr, Powers WJ, Denkey CP, Adams HP Jr, Clarke WR. The carotid occlusion surgery study. *Neurosurg Focus.* 2002;14:29.
10. Bath J, Lawrence P. Why we need open simulation to train surgeons in an era of work-hour restrictions. *Vascular.* 2011;13:175-177.
11. Choei JV, Wahlöf AK, Gounis MJ. Neurovascular modeling: small-batch manufacturing of silicone vascular replicas. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30: 1159-1164.
12. Raymond J, Salatik I, Gevy G, Nguyen TN. Interventional neuroangiography: the role of experimental models in scientific progress. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2007;28:400-405.
13. Desender LM, van Herzele I, Aggarwal F, Vermassen HCG, Cheshire NJW. Training with simulation versus operative room attendance. *J Cardiovasc Surg (Taipei).* 2011;52:17-21.
14. Spetzler U, von Schilling A, Brombach T, Winkler G. Training models for vascular microsurgery. *Acta Neurochir Suppl.* 2012;112: 115-119.
15. Jasco J, Hallbrook TJ, Patel A, et al. Neurosurgery simulation in residency training: feasibility, cost, and educational benefit. *Neurosurg.* 2012; 73(suppl):S39-S45.
16. Alaraj A, Charbel FT, Birk D, et al. Role of cranial and spinal virtual and augmented reality simulation using immersive touch modules in neurosurgical training. *Neurosurg.* 2012;73(suppl 1): 115-123.
17. Mounir HR, Syed ON, Downes MS, D'Ambrosio AL, Quest DO, Kaiser MG. Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications. *Neurosurg.* 2010;67:1105-1116.
18. Abouf E, Al-Melby O, Yaszgöl MG. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. *J Neurosurg.* 2002;97:1367-1372.
19. Scholz M, Mücke T, von Düring M, Pechlivanis I, Schmiedek K, Harders AG. Microsurgically induced aneurysm models in rats, part I: techniques and histological examination. *Minim Invasive Neurosurg.* 2005;5:76-82.
20. Magaldi MO, Nicolato A, Godinho JV, et al. Human placenta aneurysm model for training neurosurgeons in vascular microsurgery. *Neurosurg.* 2014;105:521-522.
21. McGregor JC. The use of the placenta for microsurgical vascular practice. *J R Coll Surg Edinb.* 1980; 25:232-236.

Conflict of interest statement: The authors declare that the article content was composed in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Received 17 June 2020; accepted 5 July 2020

Classic World Neurosurg. (2020) 14(2):78-85

<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.07.027>

Journal homepage: www.journals.elsevier.com/world-neurosurgery

Available online: www.sciencedirect.com

1878-8750/\$ - see front matter © 2020 Elsevier Inc. All rights reserved.