

Educational Validity of a Low-Cost Simulator for Lumbar Puncture Training

Validade Educacional de um Simulador de Baixo Custo para Treinamento de Punção Lombar

Getúlio Rodrigues de Oliveira Filho¹  oliveirafilho.gr@gmail.com
Beatriz Ferreira Cordeiro²  btrizc@gmail.com
Diogo Iwata³  didiowt@gmail.com
Gabriel Pasti Ferreira¹  gabriel.pastiferreira@gmail.com
Gabriel Felipe Coronetti Chiarelli¹  chiarelligabriel@icloud.com

RESUMO

Introdução: A punção lombar é um procedimento diagnóstico e terapêutico essencial, mas alunos iniciantes frequentemente têm poucas oportunidades de prática supervisionada, especialmente em contextos com recursos limitados. Simuladores de baixo custo podem ampliar o acesso ao treinamento seguro de procedimentos, mas requerem validação antes de sua integração curricular.

Objetivo: Este estudo prospectivo avaliou a validade de face, conteúdo e construto de um simulador de punção lombar de baixo custo, impresso em 3D.

Método: Quarenta e sete participantes (13 médicos anestesiológicos/neurologistas; 34 estudantes de medicina) realizaram três punções lombares simuladas após instrução padronizada. As execuções foram gravadas em vídeo e avaliadas com base em critérios operacionais envolvendo preparo antisséptico, identificação de marcos anatômicos, técnica de agulha na linha média, manuseio do mandril e confirmação do líquido cefalorraquidiano; os participantes também completaram questionários de percepção em escala Likert após a simulação.

Resultados: Ambos os grupos atribuíram altas pontuações ao simulador quanto ao realismo, fidelidade anatômica e utilidade educacional (medianas 4–5), demonstrando forte validade de face e conteúdo. Estudantes apresentaram reduções significativas no tempo de execução ao longo das tentativas, indicando aquisição de habilidade, enquanto especialistas mantiveram desempenho eficiente em todas as repetições. Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos no número de tentativas de punção ou nas pontuações globais de desempenho, indicando validade de construto parcial.

Conclusão: O simulador de punção lombar de baixo custo demonstrou alto realismo percebido e valor educacional, além de promover ganhos de eficiência entre iniciantes. Embora a validade de construto tenha sido apenas parcialmente confirmada, o modelo representa uma ferramenta viável e acessível para treinamento procedimental em contextos em que simuladores comerciais não estão disponíveis.

Palavras-chave: Punção Lombar; Treinamento por Simulação; Educação Médica de Graduação.

ABSTRACT

Introduction: Lumbar puncture is an essential diagnostic and therapeutic procedure, yet novice learners often face limited supervised practice opportunities, especially in resource-constrained settings. Low-cost simulators may expand access to safe procedural training, but require validation before curricular integration.

Objective: This prospective study assessed the face, content, and construct validity of a low-cost, 3D-printed lumbar puncture simulator.

Methods: Forty-seven participants (13 anesthesiology/neurology physicians; 34 medical students) performed three simulated lumbar punctures following standardized instruction. Performances were video-recorded and evaluated using operational criteria encompassing antiseptic preparation, landmark identification, midline needle technique, stylet handling, and cerebrospinal fluid confirmation; participants also completed post-simulation Likert-based perception surveys.

Results: Both groups rated the simulator highly for realism, anatomical fidelity, and educational usefulness (median scores 4–5), demonstrating strong face and content validity. Students exhibited significant reductions in procedure duration across attempts, suggesting improved procedural efficiency, whereas experts performed efficiently throughout. No significant between-group differences in puncture attempts or global performance scores were observed, indicating partial construct validity.

Conclusion: This low-cost lumbar puncture simulator demonstrated high perceived realism and educational value and facilitated efficiency gains among novices. Although construct validity was only partially supported, the model represents a feasible, accessible tool for procedural training where commercial simulators are unavailable.

Keywords: Lumbar Puncture; Simulation Training; Education, Medical, Undergraduate.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

² Hospital Infantil Joana de Gusmão, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

³ Teladoc Health, Inc, NewYork, NY, USA

Editora-chefe: Rosiane Viana Zuza Diniz.

Editor associado: Aristides Palhares Neto.

Recebido em 06/12/25; Aceito em 14/05/26.

Avaliado pelo processo de double blind review.

INTRODUÇÃO

A punção lombar é um procedimento diagnóstico e terapêutico fundamental realizado em várias especialidades médicas, incluindo medicina de urgência e emergência, neurologia, clínica médica, pediatria e anestesiologia. O domínio dessa técnica é essencial para a avaliação de infecções do sistema nervoso central, doenças inflamatórias e desmielinizantes, hemorragia subaracnóidea e para a administração intratecal de medicamentos. A sua execução segura requer compreensão anatômica precisa, planejamento do procedimento, técnica estéril e controle refinado da agulha para acessar o espaço subaracnóideo sem complicações¹.

As abordagens tradicionais de treinamento em punção lombar envolvem observação seguida de prática supervisionada em pacientes. No entanto, as oportunidades clínicas limitadas, a variabilidade na exposição de casos e as preocupações éticas com relação à prática de alunos iniciantes em pacientes reais criam barreiras para a habilitação exclusivamente por meio do estágio. Esse desafio é especialmente relevante nas fases iniciais da formação médica, em que os alunos frequentemente carecem de experiência prévia em procedimentos e de confiança².

A educação médica baseada em simulação oferece um ambiente estruturado, ético e seguro para o desenvolvimento de habilidades procedimentais antes do contato com o paciente. Os simuladores de punção lombar permitem a prática repetitiva dos principais elementos técnicos, como a identificação de marcos anatômicos, o manuseio da agulha, o controle da trajetória e o reconhecimento do retorno do líquido cefalorraquidiano. Essas vantagens do treinamento vão ao encontro dos modelos de educação médica baseada em competências, que enfatizam a prática deliberada, a avaliação de desempenho e a aquisição progressiva de habilidades³.

Para que um simulador seja incorporado aos programas de treinamento formal, é necessário que sejam apresentadas evidências que comprovem seu valor educacional. Na pesquisa de simulação, as análises de validade avaliam se uma ferramenta de instrução representa adequadamente o procedimento e pode favorecer resultados de aprendizagem significativos. A validade facial reflete o realismo percebido do simulador e a fidelidade à prática clínica. A validade de conteúdo avalia se o modelo inclui recursos anatômicos e processuais essenciais para um treinamento eficaz. A validade de construto determina se o simulador pode discriminar entre usuários com diferentes níveis de experiência, indicando sua capacidade de avaliar ou desenvolver competência⁴.

Os simuladores sintéticos de baixo custo são especialmente valiosos em ambientes educacionais com recursos limitados, onde o acesso a simuladores comerciais ou de alta fidelidade

pode ser limitado. Simuladores desenvolvidos no local podem ampliar o acesso ao treinamento, mas precisam de validação empírica antes de serem usados em currículos estruturados^{5,6}.

O objetivo deste estudo foi avaliar a validade facial, de conteúdo e de construto de um simulador não orgânico recém-desenvolvido, projetado para treinamento em punção lombar. O desenvolvimento do simulador foi orientado pelos princípios da educação médica baseada em simulação, especialmente os conceitos de prática deliberada, alinhamento de tarefas funcionais e aquisição progressiva de habilidades. Em vez de priorizar a alta fidelidade tecnológica, o modelo foi intencionalmente projetado para reproduzir os componentes processuais críticos necessários para a realização da punção lombar, permitindo a prática repetida das principais etapas psicomotoras e cognitivas. Essa abordagem está alinhada com as evidências que sugerem que a fidelidade funcional e a oportunidade de repetição podem ser mais relevantes para o aprendizado do que apenas a complexidade tecnológica. Nossa hipótese foi que o simulador demonstraria alto realismo e utilidade educacional, e que o desempenho seria diferente entre alunos iniciantes e médicos experientes em punção lombar, assim favorecendo a sua adoção em programas de treinamento procedimental.

MÉTODOS

Delineamento do estudo e participantes

Este estudo prospectivo de validação foi realizado no Laboratório de Simulação do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Santa Catarina. Os participantes foram recrutados por convite pessoal, formando uma amostra de conveniência. Os convites foram enviados diretamente pelos pesquisadores para membros qualificados da equipe médica e do corpo discente da instituição. Os participantes foram estratificados de acordo com a experiência anterior com punção lombar: um grupo de médicos, composto por anestesiolistas, neurologistas e residentes em anestesiologia ou neurologia, e um grupo de alunos, composto por estudantes de medicina sem experiência prática anterior no procedimento. Um total de 47 pessoas participaram, incluindo 13 médicos e 34 alunos. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (Certificado de Revisão Ética - Submissão nº 57871122.6.0000.012), e todos os participantes apresentaram consentimento informado por escrito antes da participação.

O simulador

O simulador consistia em uma plataforma de base, um modelo tridimensional sintético da coluna lombar, um saco

dural e um sistema de circulação de fluido cerebrospinal, além de uma camada de tecido mole que representava a pele e o tecido subcutâneo, todos alojados no torso modificado de manequim para exibição em vitrine.

Uma placa de fibra de média densidade (MDF) medindo $30 \times 25 \times 1,5$ cm foi usada para construir a base estável para a montagem. Foi usado suporte retangular de poliácido láctico impresso em 3D com medidas de 12×1 cm para fixar o torso do manequim à base. Quatro suportes foram empregados – fixados nas superfícies anterior, posterior, direita e esquerda do torso – e foram parafusados na plataforma de base e no manequim, proporcionando estabilidade estrutural ao conjunto do simulador.

O simulador de punção lombar usado neste estudo foi um modelo antropomórfico original impresso em 3D desenvolvido especificamente para este projeto. O componente vertebral do simulador consistia em vértebras individuais em PLA, impressas em uma impressora 3D de mesa e montadas em sequência para reproduzir o arranjo anatômico da coluna lombar. A estrutura montada media $14,5 \times 8 \times 8$ cm. As vértebras foram modeladas a partir de referências anatômicas de adultos e projetadas de acordo com dimensões morfométricas publicadas de vértebras lombares e discos intervertebrais. Para facilitar a fabricação, os modelos foram simplificados, preservando os principais marcos anatômicos – incluindo os processos espinhosos, as lâminas

e os espaços interlaminares – essenciais para o desempenho preciso da punção lombar.

Um tubo de silicone 204 (diâmetro interno de 6 mm, diâmetro externo de 12 mm) foi inserido ao longo do canal vertebral para simular o saco dural. Uma extremidade do tubo foi conectada a um reservatório de água e a outra a uma pequena bomba submersível elétrica comumente usada em aquários domésticos (Bomba SP-500, Guangdong Boyu Group Co., Ltd, Guangdong, China). Para reproduzir a pressão fisiológica do líquido cefalorraquidiano, o reservatório foi posicionado na parte superior do tronco do manequim, aproximadamente 10 cm acima do local da punção, permitindo que uma coluna hidrostática estável gerasse um refluxo realista do LCR.

Para proporcionar resistência realista durante o avanço da agulha e facilitar a palpação dos marcos anatômicos, uma placa de plastisol viscoelástico (Plastisol Soft™, Atomy Soluções Inteligentes Ltda., Santo André, Brasil), foi moldada e posicionada sobre os processos espinhosos, simulando a pele e os tecidos subcutâneos.

Todos os componentes foram montados internamente no torso do manequim, preservando os contornos anatômicos externos e permitindo que os alunos palpassem os marcos da superfície de maneira clinicamente realista. O simulador é reutilizável, de baixo custo e não incorpora sistemas eletrônicos de feedback de força ou tecnologia de rastreamento de movimento.

Figura 1. O simulador e seus componentes.



Fonte: os autores. Observações: **A:** Vista posterior do simulador de punção lombar. **1** Unidade vertebral e tubo do saco dural montados numa estrutura de acrílico e embutidos em torso de manequim; **2** Placa de plastisol anterior com molde negativo da unidade vertebral para garantir o acoplamento preciso; **3** Base de MDF com hardware de fixação. **B:** Vista posterior destacando os componentes internos. **1** Reservatório de água e cabo de alimentação para a bomba de recirculação submersível; **2** Placa de plastisol na posição operacional; **3** Base de MDF.

Procedimentos do estudo

Antes de iniciar o experimento, todos os participantes receberam instruções padronizadas que consistiam em um vídeo de demonstração sobre a anatomia da coluna lombar, a técnica de esterilização e as etapas do procedimento de punção lombar. Após o vídeo, o pesquisador responsável realizou uma demonstração ao vivo do procedimento no simulador, indicando os principais marcos anatômicos e a sequência correta das etapas técnicas. Em seguida, os participantes realizaram três tentativas de punção lombar em uma única sessão. Todas as tentativas foram gravadas em vídeo de ângulo fixo que permitiu a visualização do posicionamento da mão e da trajetória da agulha, preservando o anonimato do participante. Nenhum treinamento ou feedback em tempo real foi fornecido durante as tentativas; no entanto, os participantes novatos tiveram permissão para ensaiar independentemente as principais etapas do procedimento entre as tentativas.

Validade facial e de conteúdo e classificações de usabilidade

Imediatamente após a conclusão das tentativas, os participantes preencheram questionários usando escalas Likert de 5 pontos (1 = discordo totalmente; 5 = concordo totalmente). Os itens de validade facial avaliaram o realismo anatômico, o feedback tátil e a semelhança com as manobras clínicas. Além disso, os alunos avaliaram a aparência e a textura. A validade de conteúdo avaliou a relevância educacional do simulador, sua adequação para a prática da punção lombar e a adequação da representação da estrutura anatômica. Os itens de usabilidade e utilidade examinaram a clareza das instruções, a facilidade de manuseio, a organização das atividades práticas, a aplicabilidade a diferentes contextos de treinamento e a possível integração em programas educacionais (Quadro 1).

Medição dos resultados

Os resultados primários incluíram as percepções dos participantes sobre o realismo do simulador, a utilidade educacional e a usabilidade, as pontuações de desempenho, a duração do procedimento e o número de tentativas de punção.

Avaliação do desempenho do vídeo

O desempenho do vídeo foi avaliado por meio de uma lista de verificação estruturada com definições operacionais para cada etapa do procedimento de punção lombar. A preparação e a antisepsia foram avaliadas pela capacidade do participante de selecionar todos os materiais necessários, realizar a higiene das mãos, vestir corretamente as luvas estéreis, aplicar a solução antisséptica começando no local da punção e fazendo um movimento contínuo para fora, manter a técnica estéril e manter

Quadro 1. Critérios de avaliação de face, conteúdo e usabilidade.

Critério	Alunos	Médicos
<i>Validade facial</i>		
O modelo simula visualmente a coluna lombar de forma satisfatória.	Sim	Sim
A montagem do simulador é simples.	Sim	Sim
A operação do simulador é intuitiva.	Sim	Sim
O simulador pode ser montado em qualquer lugar.	Sim	Sim
O simulador pode ser usado em qualquer lugar.	Sim	Sim
O simulador não apresenta riscos de segurança para o usuário.	Sim	Sim
<i>Validade de conteúdo</i>		
Palpação e identificação dos espaços intervertebrais.	Sim	Sim
Sensação tátil da passagem da agulha pela "pele".	Sim	Sim
Sensação tátil através dos ligamentos interespinhosos.	Sim	Sim
Sensação tátil ao entrar no espaço subaracnóideo.	Sim	Sim
Ângulo de inserção da agulha alcança o espaço subaracnóideo.	Sim	Sim
Identificação do espaço subaracnóideo pelo fluxo de saída do LCR.	Sim	Sim
<i>Usabilidade (compartilhada)</i>		
O modelo permite o aprendizado de técnicas de punção lombar.	Sim	Sim
O modelo seria útil para o treinamento de operadores inexperientes.	Sim	Sim
O treinamento aumenta a confiança na aplicação da técnica em pacientes reais.	Sim	Sim
<i>Usabilidade (somente para alunos)</i>		
O treinamento aumentou minha confiança na aplicação da técnica em pacientes reais.	Sim	-
Essa proposta é interessante para ensino em universidades públicas.	Sim	-
Esse material pode ser usado para ensino de graduação.	Sim	-
<i>Usabilidade (somente para médicos)</i>		
O treinamento em simulador pode reduzir as experiências negativas dos pacientes.	-	Sim
O treinamento em simulador pode acelerar a curva de aprendizado.	-	Sim
As dimensões do espaço de acesso se assemelham à anatomia real.	-	Sim
A sensação tátil da agulha se assemelha à anatomia real.	-	Sim

Fonte: os autores. Observações: "Sim" indica que o critério se aplica ao grupo de respondentes especificado. Itens avaliados em escalas Likert de 5 pontos (1 = discordo totalmente, 5 = concordo totalmente).

a esterilidade; a organização incompleta dos materiais, as falhas na técnica com a recuperação ou a ausência de antissepsia resultaram em pontuações mais baixas. A identificação do espaço intervertebral exigiu a palpação de marcos anatômicos e a localização correta do espaço intervertebral L3-L4 ou L4-L5, sendo que a incerteza ou a seleção incorreta do nível foi considerada parcialmente adequada e a ausência de pontos de referência foi considerada omitida. A colocação dos campos cirúrgicos foi avaliada pelo uso de campos adequados e pela manutenção da esterilidade, sendo que as violações parciais que foram corrigidas foram consideradas como parcialmente adequadas e a não utilização de campos ou a contaminação sem correção foram consideradas como omitidas. A abordagem mediana foi avaliada de acordo com o manuseio adequado da agulha, a inserção na linha média, o avanço controlado e o reconhecimento de mudanças na resistência tátil, com controle inadequado do ângulo, redirecionamentos repetidos ou estabilidade ruim indicando desempenho parcial e falha na tentativa de abordagem da linha média considerada omitida. A remoção do estilete foi avaliada pelo momento correto – remoção do estilete somente quando há suspeita de penetração no espaço subaracnóideo –, enquanto a remoção prematura ou repetida sem comprometer o procedimento foi considerada parcialmente correta e a remoção ausente ou inadequada foi considerada como omitida. Por fim, a observação do refluxo do líquido cefalorraquidiano (LCR) exigia a identificação correta do refluxo simulado com controle estável das mãos e técnica asséptica; o reconhecimento tardio ou imperfeito foi avaliado como parcialmente adequado, e a não avaliação do refluxo ou a interpretação incorreta resultou em uma pontuação omitida. Cada critério foi avaliado como 2 = adequado, 1 = parcialmente adequado/incorreto ou 0 = omitido.

Análise estatística

As características demográficas foram resumidas usando estatísticas descritivas, com médias e desvios padrão para as variáveis contínuas e frequências absolutas para as variáveis categóricas. As respostas da escala Likert para validade facial, de conteúdo e usabilidade foram resumidas como medianas com intervalos interquartílicos (percentis 25–75). As respostas da escala Likert para validade de face, validade de conteúdo e usabilidade foram resumidas como medianas com intervalos interquartílicos (percentis 25 a 75). Não foram realizadas comparações entre os grupos, pois essas medidas refletem percepções subjetivas de realismo e utilidade educacional, e não de desempenho, e, portanto, não se destinavam a discriminar os níveis de especialização.

Os resultados contínuos de desempenho – duração do procedimento, número de tentativas de punção e pontuação do

desempenho – foram analisados nas três tentativas sucessivas e entre os grupos de especialistas e novatos. Para a evolução por participante entre as tentativas, foi aplicado o teste de Friedman , incluindo apenas os participantes com dados completos para todas as três tentativas dentro de cada grupo. Os resultados significativos do teste omnibus foram seguidos por testes de Wilcoxon corrigidos por Holm para comparações post-hoc. As diferenças intergrupais para cada tentativa foram analisadas usando o teste U de Mann-Whitney. Foram geradas estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão e quartis) para cada grupo e tentativa. Todos os testes foram bicaudais, e a significância estatística foi definida como $p < 0,05$.

Cálculo do tamanho da amostra

O tamanho da amostra foi determinado a priori para detectar a validade do construto com base nas diferenças de desempenho entre os grupos. Supondo um grande tamanho do efeito (0,8 DP), $\alpha = 0,05$, $\beta = 0,20$ (80% de poder), um teste Mann-Whitney bicaudal e uma razão de alocação de 3:1 de alunos para médicos, a amostra necessária foi de 34 alunos e 13 médicos. Os cálculos foram realizados com o G*Power 3.1⁷.

RESULTADOS

Participantes

Um total de 47 pessoas participaram do estudo, incluindo 13 médicos ou residentes em anestesiologia ou neurologia (grupo de especialistas) e 34 estudantes de medicina (grupo de iniciantes). As características demográficas estão resumidos na Tabela 1. A idade média foi de 33,5 anos entre os especialistas e 25,6 anos entre os estudantes, com distribuição equilibrada de gênero e predominância de participantes destros.

Tabela 1. Características demográficas da amostra do estudo.

Parâmetro	Médicos	Alunos
Idade (anos) ^a	33,54 ± 4,67	25,62 ± 3,51
Gênero (M/F)	7/6	12/20
R1 ^b	3	-
R2 ^c	3	-
R3 ^d	2	-
Especialista	5	-
Mão dominante (direita/esquerda)	12/1	30/2
Especialidade (Anestesiologia/Neurologia)	9/4	-

Fonte: os autores. Notas de referência: a. Exceto pelo parâmetro de idade, apresentado como média ± DP, os números representam contagens; b. R1 = residente do primeiro ano; c. R2 = residente do segundo ano; d. R3 = residente do terceiro ano.

Validade facial e de conteúdo e classificações de usabilidade

Tanto os especialistas quanto os alunos atribuíram pontuações altas ao simulador nos domínios de validade facial, de conteúdo e usabilidade. As classificações medianas variaram entre 4 e 5 na escala Likert de cinco pontos, com intervalos interquartis estreitos, indicando uma forte concordância entre os participantes. Esses resultados confirmam que o simulador foi percebido como realista, educacionalmente útil e fácil de usar (Tabela 2).

Duração do procedimento

Uma redução significativa na duração do procedimento foi observada entre as tentativas dos alunos (Friedman $\chi^2 = 11,92$; $df = 2$; $p = 0,026$), enquanto nenhuma alteração significativa ocorreu entre os especialistas ($\chi^2 = 2,04$; $p = 0,36$). As comparações post-hoc por pares de alunos mostraram tempos de procedimento mais curtos entre a tentativa 1 e a tentativa 2 ($p = 0,015$) e entre a tentativa 1 e a tentativa 3 ($p = 0,039$), sem diferença entre as tentativas 2 e 3 ($p = 0,85$). Entre os especialistas, nenhuma diferença por pares foi significativa. As comparações entre grupos em cada tentativa não revelaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,48$ para todas as comparações) (Tabela 3).

Número de punções

O número de tentativas de punção diferiu significativamente entre as tentativas dos alunos (Friedman $\chi^2 = 8,63$; $p = 0,013$), mas não entre os especialistas ($\chi^2 = 0,25$; $p = 0,88$). No entanto, as comparações por pares entre os alunos não permaneceram significativas após a correção de Holm ($p > 0,20$ para todas as comparações). Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos em nenhuma tentativa ($p > 0,61$) (Tabela 3).

Pontuação de desempenho

Não foram encontradas diferenças significativas nas pontuações de desempenho entre as tentativas para os alunos (Friedman $\chi^2 = 1,55$; $p = 0,46$) ou para os especialistas ($\chi^2 = 2$; $p = 0,37$). As comparações por pares não revelaram melhorias consistentes, e as pontuações de desempenho permaneceram altas e estáveis em ambos os grupos. As diferenças entre os grupos nos escores de desempenho não foram estatisticamente significativas para nenhuma tentativa ($p > 0,06$) (Tabela 3).

DISCUSSÃO

Este estudo avaliou a validade facial, de conteúdo e de construto de um simulador de baixo custo e não orgânico projetado para o treinamento em punção lombar. Tanto os

Tabela 2. Pontuações de validade e usabilidade atribuídas por alunos e médicos.

Critério	Alunos	Médicos
VALIDADE FACIAL		
O modelo simula visualmente a coluna lombar de forma satisfatória.	5 [4–5]	4 [4–5]
A montagem do simulador é simples.	5 [4–5]	5 [4–5]
A operação do simulador é intuitiva.	5 [4–5]	5 [4–5]
O simulador pode ser montado em qualquer lugar.	5 [4–5]	5 [4–5]
O simulador pode ser usado em qualquer lugar.	5 [4–5]	5 [4–5]
O simulador não apresenta riscos de segurança para o usuário.	5 [4–5]	5 [4–5]
VALIDADE DE CONTEÚDO		
Palpação e identificação dos espaços vertebrais.	5 [4–5]	4 [3–4]
Sensação tátil da passagem da agulha pela “pele”.	5 [4–5]	3 [2–4]
Sensação tátil através dos ligamentos interespinhosos.	5 [4–5]	3 [2–4]
Sensação tátil ao entrar no espaço subaracnóideo.	5 [4–5]	3 [2–4]
Ângulo de inserção da agulha alcança o espaço subaracnóideo.	5 [4–5]	4 [4–4]
Identificação do espaço subaracnóideo pelo fluxo de saída do LCR.	5 [4–5]	5 [4–5]
USABILIDADE (Compartilhada)		
O modelo permite o aprendizado de técnicas de punção lombar.	5 [4–5]	5 [4–5]
O modelo seria útil para o treinamento de operadores inexperientes.	5 [4–5]	5 [5–5]
O treinamento aumenta a confiança na aplicação da técnica em pacientes reais.	5 [4–5]	5 [5–5]
USABILIDADE (somente para alunos)		
O treinamento aumentou a confiança para uso com pacientes reais.	5 [4–5]	-
Proposta interessante para o ensino em universidades públicas.	5 [4–5]	-
Material adequado para ensino de graduação.	5 [4–5]	-
USABILIDADE (somente para médicos)		
O treinamento em simulador reduz as experiências negativas dos pacientes.	-	5 [4–5]
O treinamento em simulador acelera a curva de aprendizado.	-	5 [4–5]
As dimensões do espaço de acesso se assemelham à anatomia real.	-	4 [3–4]
A sensação tátil da agulha se assemelha à anatomia real.	-	3 [3–4]

Fonte: os autores. Observações: As pontuações são medianos [IQR]. Escala Likert de 1 a 5. Valores mais altos indicam uma concordância mais forte. ‘-’ indica item não aplicável a esse grupo.

Tabela 3. Resultados de desempenho por grupo e tentativa.

Variável	Grupo	Tentativa 1	Tentativa 2	Tentativa 3
Duração ^a	Alunos	85 [34,75–161]	24,50 [17–75,25]*	28 [18–76] [†]
	Médicos	48 [17–168]	26 [10–71]	25 [14–161]
Punções ^b	Alunos	2 [1–4]	1 [1–2,5]	1 [1–3,5]
	Médicos	2,5 [1–3]	1 [1–2]	1 [1–7]
Pontuação de desempenho ^c	Alunos	10 [9,5–10]	10 [9,5–10]	10 [9,5–10]
	Médicos	10 [9,5–10]	10 [10–10]	10 [9,5–10]

Fonte: os autores. Notas: Dados expressos como mediana [IQR]. *Significativo em relação à Tentativa 1 ($p=0,015$). [†]Significativo em relação à Tentativa 1 ($p=0,039$). a. **Duração:** Tempo total (segundos) necessário para concluir a tentativa de punção lombar desde a preparação inicial até a confirmação simulada do LCR. b. **Punções:** Número de inserções ou redirecionamentos de agulha necessários para tentar acessar o canal espinhal durante o procedimento. c. **Pontuação de desempenho:** Pontuação composta baseada em lista de verificação derivada de critérios operacionais predefinidos que avaliam as principais etapas técnicas da punção lombar (por exemplo, preparação esterilizada, identificação de marcos, técnica de linha média, manuseio do estilete e verificação do LCR).

especialistas quanto os estudantes de medicina avaliaram o simulador de forma positiva em termos de realismo anatômico, fidelidade tátil e utilidade educacional, corroborando a validade facial e de conteúdo. O simulador foi considerado intuitivo e viável para ser incorporado às configurações de treinamento, o que reforça ainda mais sua usabilidade.

Com relação ao desempenho, os especialistas demonstraram, de forma consistente, tempos de procedimento mais rápidos e menos tentativas de punção do que os alunos, conforme esperado com base na experiência clínica anterior. Os alunos apresentaram uma redução significativa na duração do procedimento em todas as tentativas, sugerindo maior eficiência do procedimento, o que representa um componente inicial da aquisição de habilidades, embora não seja suficiente para definir a competência. No entanto, as pontuações de desempenho permaneceram altas e estáveis em ambos os grupos, e não foram detectadas diferenças significativas entre especialistas e iniciantes nessa métrica. Essas descobertas sugerem um sinal de validade de construto parcial – o simulador permitiu que os iniciantes melhorassem a eficiência e que os especialistas tivessem um desempenho eficiente desde o início, mas as pontuações globais não foram suficientemente sensíveis para discriminar os níveis de desempenho entre os grupos.

O treinamento baseado em simulação se tornou um componente essencial dos currículos médicos modernos, especialmente para procedimentos invasivos, como a punção lombar, em que a segurança do paciente e as considerações éticas limitam as oportunidades de prática para alunos inexperientes durante a exposição clínica inicial³. Modelos de baixo custo, como o desenvolvido neste estudo, podem ampliar o acesso à prática deliberada em ambientes com recursos limitados, reduzindo a dependência de simuladores comerciais e caros, e preservando as principais características anatômicas e procedimentais⁵.

O projeto desse simulador foi orientado por princípios educacionais estabelecidos no treinamento baseado em simulação. Especificamente, o modelo enfatiza a fidelidade funcional, permitindo que os alunos se envolvam na prática repetida de componentes críticos procedimentais, e a prática deliberada, por meio da repetição estruturada sem risco para os pacientes. Esses princípios são consistentes com as estruturas de educação médica baseadas em competências e apoiam a aquisição progressiva de habilidades, mesmo em ambientes carentes de recursos^{8,9}.

Este simulador se concentra em realismo anatômico, feedback tátil e simulação de refluxo do LCR em vez de sistemas de feedback eletrônico¹⁰. Essa abordagem de design está alinhada com as evidências que sugerem que a fidelidade funcional e a oportunidade para a prática repetitiva podem ser mais relevantes para a aquisição de habilidades do que apenas a sofisticação tecnológica⁹.

Outra constatação interessante foi em relação às classificações de validade de conteúdo mais conservadoras atribuídas pelos participantes especialistas, especialmente em relação ao feedback tátil. Isso provavelmente reflete sua experiência clínica anterior e expectativas mais sutis em relação à resistência do tecido e à sensação procedimental. Por outro lado, os alunos iniciantes podem confiar mais em pistas estruturais e visuais globais ao avaliar o simulador. Tais diferenças de percepção já foram descritas na educação baseada em simulação e sugerem que o feedback de especialistas pode ser particularmente valioso na identificação de áreas para refinamento, enquanto as percepções de iniciantes podem refletir melhor a usabilidade e a acessibilidade^{9,11}. Essas constatações corroboram a interpretação de que o simulador é especialmente adequado para o treinamento em fase inicial, no qual a aquisição de etapas fundamentais do procedimento é priorizada em relação à discriminação tátil fina.

Este estudo tem várias limitações. A escala de classificação global, embora estruturada e avaliada por avaliadores cegos, continua sendo uma ferramenta de avaliação subjetiva e pode não ter a granularidade necessária para detectar diferenças sutis no desempenho entre iniciantes e especialistas. As altas pontuações de desempenho observadas em todos os grupos sugerem um possível efeito de teto, provavelmente refletindo a resolução discriminatória limitada da lista de verificação. Talvez sejam necessárias ferramentas de avaliação mais granulares para capturar diferenças qualitativas na técnica e na tomada de decisões. Além disso, todos os procedimentos foram realizados em uma única sessão, impedindo a avaliação da retenção de habilidades ou a transferência para o desempenho clínico. Embora os iniciantes tenham melhorado o tempo procedimental, medidas mais sensíveis ou objetivas – como rastreamento de força, análise de movimento ou codificação de erros estruturados – podem capturar melhor a aquisição de habilidades incrementais. Outra limitação importante é que, embora a amostra incluísse alunos de diferentes fases em seu treinamento médico, o delineamento do estudo não permitiu a avaliação do efeito da progressão acadêmica no desempenho procedimental. No entanto, é importante enfatizar que nenhum dos alunos havia sido exposto anteriormente a um treinamento baseado em simulação de punção lombar, nem havia observado, auxiliado ou realizado o procedimento clinicamente antes de participar. Essa uniformidade na experiência anterior fortalece a validade interna na comparação entre iniciantes e especialistas, mas limita as conclusões sobre a evolução natural das habilidades de punção lombar ao longo do currículo de graduação. Reconhecemos que o grupo de especialistas era composto por residentes e especialistas, o que pode ter introduzido heterogeneidade; no entanto, todos os participantes tinham experiência clínica prévia com punção lombar, o que corrobora sua classificação como operadores experientes. Adicionalmente, as medidas baseadas na percepção são inerentemente subjetivas e devem ser interpretadas com cautela; porém, elas foram empregadas especificamente para avaliar a validade facial e de conteúdo, que são tradicionalmente fundamentadas nas percepções dos usuários sobre realismo e relevância educacional, conforme descrito nas estruturas contemporâneas de validade da simulação⁴.

Pesquisas futuras devem investigar a prática distribuída em várias sessões, avaliar a retenção, examinar a transferência para o desempenho clínico e explorar métricas quantitativas objetivas. Estudos comparativos com instrutores comerciais também podem esclarecer o valor educacional relativo e a relação custo-benefício. A integração desse simulador em currículos de treinamento procedimental estruturados poderia facilitar um acesso mais amplo à aquisição de habilidades de punção lombar durante a formação em medicina.

CONCLUSÃO

Este estudo traz evidências que sustentam a validade facial e de conteúdo de um novo simulador de punção lombar de baixo custo e demonstra sua capacidade de promover o aprimoramento procedimental entre alunos iniciantes. Embora a validade de construto tenha sido corroborada apenas parcialmente, o simulador demonstrou alto realismo percebido e utilidade educacional, favorecendo seu potencial como complemento viável e acessível para o treinamento procedimental, especialmente em ambientes educacionais com limitações de custo.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Getúlio Rodrigues de Oliveira Filho: Conceitualização; Metodologia; Supervisão; Investigação; Curadoria de dados; Análise formal; Administração do projeto; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição. Beatriz Ferreira Cordeiro: Investigação; Metodologia; Validação; Redação – revisão e edição. Diogo Iwata: Metodologia; Software; Visualização; Redação – revisão e edição. Gabriel Pasti Ferreira: Investigação; Curadoria de dados; Redação – revisão e edição. Gabriel Felipe Coronetti Chiarelli: Investigação; Curadoria de dados; Redação – revisão e edição.

CONFLITO DE INTERESSES

Declaramos não haver conflito de interesses.

FINANCIAMENTO

Declaramos não haver financiamento.

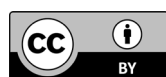
DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados de pesquisa só estão disponíveis mediante solicitação.

REFERÊNCIAS

1. Jane L, Wray A. Lumbar Puncture. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557553/>
2. Lenchus J. End of the "See One, Do One, Teach One" Era: The Next Generation of Invasive Bedside Procedural Instruction. *Journal of Osteopathic Medicine*. 2010;110(6):340–6. doi:10.7556/jaoa.2010.110.6.340
3. Gaubert S, Blet A, Dib F, Ceccaldi PF, Brock T, Calixte M, et al. Positive effects of lumbar puncture simulation training for medical students in clinical practice. *BMC Medical Education*. 2021 Jan 6;21(1):18. doi:10.1186/s12909-020-02452-3
4. Harris DJ, Bird JM, Smart PA, Wilson MR, Vine SJ. A Framework for the Testing and Validation of Simulated Environments in Experimentation and Training. *Front Psychol*. 2020 Mar 31;11. doi:10.3389/fpsyg.2020.00605
5. Sharma D, Agrawal V, Bajaj J, Agarwal P. Low-cost simulation systems for surgical training: a narrative review. *J Surg Simul*. 2020 Mar;33–52. doi:10.1102/2051-7726.2020.0005
6. Robinson SJA, Ritchie AMA, Pacilli M, Nestel D, McLeod E, Nataraja RM. Simulation-Based Education of Health Workers in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review. *GLOB HEALTH SCI PRACT*. 2024 Dec 20;12(6):e2400187. doi:10.9745/GHSP-D-24-00187

7. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*. 2009;41(4):1149–60. doi:10.3758/BRM.41.4.1149
8. McGaghie WC, Issenberg SB, Cohen ER, Barsuk JH, Wayne DB. Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? A meta-analytic comparative review of the evidence. *Acad Med*. 2011 Jun;86(6):706–11. doi:10.1097/ACM.0b013e318217e119
9. Massoth C, Röder H, Ohlenburg H, Hessler M, Zarbock A, Pöpping DM, et al. High-fidelity is not superior to low-fidelity simulation but leads to overconfidence in medical students. *BMC Medical Education*. 2019 Jan 21;19(1):29. doi:10.1186/s12909-019-1464-7
10. Lejus-Bourdeau C, Pousset F, Magne C, Bazin O, Grillot N, Pichenot V. Low-cost versus high-fidelity pediatric simulators for difficult airway management training: a randomized study in continuing medical education. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*. 2023 May 1;73(3):250–7. doi:10.1016/j.bjane.2021.05.006
11. Hamstra SJ, Brydges R, Hatala R, Zendejas B, Cook DA. Reconsidering fidelity in simulation-based training. *Acad Med*. 2014 Mar;89(3):387–92. doi:10.1097/ACM.0000000000000130



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.