



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FACULDADE DE MEDICINA – DEPARTAMENTO DE MORFOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MORFOFUNCIONAIS

ARTHUR CASTRO DE LIMA

ESPÉCIMES CADAVÉRICOS E MODELOS SINTÉTICOS NO DESEMPENHO
ACADÊMICO EM ANATOMIA HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E
METANÁLISE

FORTALEZA

2025

ARTHUR CASTRO DE LIMA

ESPÉCIMES CADAVÉRICOS E MODELOS SINTÉTICOS NO DESEMPENHO
ACADÊMICO EM ANATOMIA HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E
METANÁLISE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Ensino e divulgação das ciências morfológicas.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Borges Viana.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L696e Lima, Arthur Castro de.
Espécimes cadavéricos e modelos sintéticos no desempenho acadêmico em anatomia humana : uma revisão sistemática e metanálise / Arthur Castro de Lima. – 2025.
116 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Borges Viana.

1. Anatomia humana. 2. Ensino. 3. Cadáver. 4. Modelos sintéticos. 5. Estudantes. I. Título.

CDD 611

ARTHUR CASTRO DE LIMA

ESPÉCIMES CADAVÉRICOS E MODELOS SINTÉTICOS NO DESEMPENHO
ACADÊMICO EM ANATOMIA HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E
METANÁLISE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Ensino e divulgação das ciências morfológicas.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Borges Viana.

Aprovada em 11/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Borges Viana (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Octávio Barbosa Neto (Membro externo)
Universidade Federal do Ceará

Profa. Dra. Virgínia Cláudia Carneiro Girão Carmona (Membro interno)
Universidade Federal do Ceará

A Deus.

À minha mãe, Idia Maria.

À minha tia, Aparecida Castro.

À minha avó, Francisca Inácio.

AGRADECIMENTOS

Ao longo da realização da presente dissertação pude contar com o apoio direto ou indireto de múltiplas pessoas e instituições, às quais expresso o meu agradecimento, ainda que correndo o sério risco de, injustamente, não mencionar algum dos contributos.

Inicio os agradecimentos a Deus, por todas as oportunidades concedidas a mim, por ser a minha fortaleza nos dias menos fáceis e por todo o trabalho não visível que me mantém são e vivo. Agradeço à minha mãe, Idia Maria, que sempre primou pela minha educação, por seu amor e amparo incondicionais e por sempre acreditar mais no meu potencial do que eu mesmo. À minha tia, Aparecida Castro, pelo apoio constante e pelo ensinamento de que sempre vale a pena lutar pelo que se sonha e se acredita. À minha tia, Socorro Castro, pelo cuidado ofertado, pelo exemplo de determinação e pelas palavras de encorajamento proferidas. Aos meus avós maternos, André Julião (*in memoriam*) e Francisca Inácio, por ajudarem na minha criação e por torcerem ininterruptamente pelo meu crescimento e para que o melhor aconteça em minha vida. A todos os meus amigos, em especial à Livia Torres, Francisco Neto e Lorena Veras, pela escuta, pelos aconselhamentos e pela partilha do cotidiano no decurso desta etapa. Agradeço também ao Milton Marques Filho, por ter me inspirado e incentivado a progredir na carreira acadêmica.

Externalizo meu profundo agradecimento ao professor Dr. Ricardo Borges Viana, meu orientador, pela constante manifestação de apoio e disponibilidade que se iniciou antes mesmo do período do mestrado, pela compreensão em algumas dilações, pelos direcionamentos sempre assertivos, pelo estímulo constante e pela criação de um ambiente acolhedor e compreensivo, no qual pude refinar meu pensamento crítico e contribuir com esta investigação. Aos membros do Grupo de Pesquisa em Anatomia Humana e Exercício Físico (IEFES-UFC), pela receptividade e pelo suporte ofertado. Aos meus colegas de pós-graduação, em especial ao Caio Erick, Débora Mendes e Demesson Lima, que logo se tornaram amigos, pelas reflexões levantadas (sob as mais diversas circunstâncias), pelas colaborações bem sucedidas (e também pelas que ficaram no universo da imaginação) e por todas as experiências compartilhadas. Aos professores participantes das bancas de qualificação e defesa, Dr. Claudio Andre Barbosa de Lira, Dr. Octávio Barbosa Neto e Dra. Virgínia Cláudia Carneiro Girão Carmona, pelo tempo dedicado à leitura deste

trabalho e pelas valiosas contribuições ao mesmo. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais (UFC), ao seu corpo docente e administrativo, pelos conhecimentos adquiridos e atualizados por meio das disciplinas e por me acompanharem nos últimos dois anos, escutando e buscando auxiliar em minhas demandas acadêmicas e pessoais. Ao Instituto de Educação Física e Esportes (UFC), pela acolhida, pelas interações oportunizadas e pela disponibilidade das dependências nas quais esta pesquisa foi desenvolvida. Agradeço também à Universidade Federal do Ceará, por existir, por resistir em tempos menos favoráveis, e pela manutenção da comunidade acadêmica com a qual pude aprender e crescer pessoal e profissionalmente.

Por fim, compartilho dessa conquista com todos os supracitados, reconhecendo o papel essencial que cada um(a) exerceu para o êxito deste estudo, e agradeço a mim mesmo, por ter abraçado essa oportunidade de aprofundar os conhecimentos e seguir carreira acadêmica pesquisando acerca da minha primeira paixão universitária: a morfologia humana, e por não a ter soltado quando os dias ficaram mais difíceis.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A anatomia humana macroscópica pode ser lecionada, dentre os seus modelos de ensino, por meio de espécimes cadavéricos e modelos sintéticos. No entanto, existem evidências controversas na literatura no que se refere à eficácia desses sobre o desempenho acadêmico de estudantes de graduação. Portanto, o presente estudo comparou o desempenho acadêmico em anatomia humana entre estudantes de graduação em ciências da saúde que cursaram a disciplina com espécimes cadavéricos *versus* aqueles que cursaram a disciplina com modelos anatômicos sintéticos. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática e metanálise composta por artigos científicos oriundos de buscas em seis bases de dados eletrônicas, ocorridas em 24 de agosto de 2023, sem restrição do período, e atualizadas em 5 de julho de 2025. Foram incluídos ensaios controlados e randomizados que compararam o desempenho acadêmico entre estudantes de graduação em ciências da saúde que tiveram aulas de anatomia humana com espécimes cadavéricos e modelos sintéticos. O risco de viés individual dos estudos foi avaliado pela versão 2 da ferramenta da Cochrane para avaliação do risco de viés em estudos randomizados (RoB 2). O nível de evidência foi avaliado pelo *Grading of Recommendations, Assessment, Development, and Evaluation* (GRADE). A medida geral do tamanho de efeito foi calculada usando uma estimativa de modelos de efeito aleatório e relatada como diferença média padronizada (DMP) e intervalo de confiança de 95% (IC95%). Ao todo, sete estudos randomizados envolvendo 536 estudantes de graduação em medicina foram incluídos na metanálise. Observou-se uma diferença estatística significativa e de tamanho moderado no desempenho acadêmico entre os grupos (DMP: 0,57 [IC95%: 0,10 a 1,05]; $p = 0,018$), a favor das intervenções com modelos sintéticos, com heterogeneidade substancial/considerável ($I^2 = 85,5\%$), baixo risco de viés em todos os estudos incluídos, baixo nível de evidência e baixo poder estatístico (0,37) para identificar o menor tamanho de efeito importante (0,20). Em conclusão, as aulas ministradas com modelos sintéticos foram associadas a um efeito moderado no desempenho acadêmico em anatomia humana quando comparadas com aulas baseadas em espécimes cadavéricos. No entanto, devido ao baixo nível das evidências, são necessários novos estudos randomizados com amostras maiores e com o uso de modelos de ensino semelhantes para obtenção de conclusões mais precisas. Além disso, os achados provenientes deste estudo podem, ainda, justificar a manutenção do ensino da anatomia humana macroscópica por meio de modelos sintéticos em universidades que, por qualquer motivo, ainda não possuem acesso a cadáveres para fins didáticos.

Palavras-chave: anatomia humana; ensino; cadáver; modelos sintéticos; estudantes.

ABSTRACT

The gross human anatomy can be taught through various teaching models, including cadaveric specimens and synthetic models. However, the literature presents controversial evidence regarding their efficacy on undergraduate students' academic performance. Therefore, the present study compared academic performance in gross human anatomy between undergraduate health science students who took the course using cadaveric specimens and those who took the course using synthetic anatomical models. To this end, a systematic review and meta-analysis were conducted, comprising scientific articles retrieved from six electronic databases. Searches were initially performed on August 24, 2023, without time restrictions, and subsequently updated on July 5, 2025. Randomized controlled trials comparing the academic performance of undergraduate health science students who attended human anatomy classes with cadaveric specimens versus synthetic models were included. The individual risk of bias of the studies was assessed using version 2 of the Cochrane Risk of Bias tool for randomized studies (RoB 2). The level of evidence was evaluated according to the Grading of Recommendations, Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) framework. The overall effect size was calculated using a random-effects model estimate and reported as standardized mean difference (SMD) with a 95% confidence interval (95% CI). Seven randomized studies involving 536 undergraduate medical students were included in the meta-analysis. A statistically significant and moderate difference in academic performance was observed between the groups (SMD: 0.57 [95% CI: 0.10 to 1.05]; $p = 0.018$), favoring interventions with synthetic models, with substantial/considerable heterogeneity ($I^2 = 85.5\%$), low risk of bias across all included studies, low level of evidence, and low statistical power (0.37) to detect the smallest important effect size (0.20). In conclusion, classes taught with synthetic models were associated with a moderate effect on academic performance in gross human anatomy when compared to classes based on cadaveric specimens. However, due to the low level of evidence, further randomized studies with larger samples and similar teaching models are required to draw more precise conclusions. Furthermore, the findings from this study can at least justify the maintenance of teaching gross human anatomy through synthetic models in universities that, for any reason, still do not have access to cadavers for educational purposes.

Keywords: human anatomy; teaching; cadaver; synthetic models; students.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pirâmide da hierarquia do nível de evidência científica.	27
Figura 2 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos na revisão sistemática e metanálise.	40
Figura 3 - Resultado da metanálise entre os dados de desempenho acadêmico dos grupos espécimes cadavéricos e modelos sintéticos.	51
Figura 4 - Análise de sensibilidade do resultado principal da metanálise diante da remoção individual dos estudos incluídos na metanálise.	52
Figura 5 - Gráfico de funil dos tamanhos de efeito apresentados pelos estudos incluídos na metanálise.	53
Figura 6 - Gráficos de semáforo (A) e de resumo ponderado (B) das análises do risco de viés para os ensaios clínicos randomizados incluídos na metanálise.	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estratégia de busca completa.	31
Quadro 2 - Motivos de exclusão dos estudos após leitura na íntegra.....	38
Quadro 3 - Características das aulas de anatomia humana aplicadas pelos estudos incluídos.....	44
Quadro 4 - Resumo da avaliação do nível (qualidade) de evidência utilizando o método GRADE.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos estudos incluídos na metanálise.	41
Tabela 2 - Principais resultados dos estudos incluídos na metanálise.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional(is)
3D	Tridimensional(is)
A.C.L.	Arthur Castro de Lima
BVS	Biblioteca Virtual em Saúde
CENTRAL	<i>Cochrane Central Register of Controlled Trials</i>
C.E.V.S.	Caio Erick Vieira de Sousa
C.K.C.S.	Carlos Kauan Costa da Silva
DMP	Diferença média padronizada
Embase	<i>Excerpta Medica Database</i>
GRADE	<i>Grading of Recommendations, Assessment, Development, and Evaluation</i>
IC95%	Intervalo de confiança de 95%
IEFES	Instituto de Educação Física e Esportes
J.M.R.	Jocilene Matos Ribeiro
K.J.N.P.	Ketlen Joele do Nascimento Pessoa
MEDLINE	<i>National Library of Medicine</i>
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i>
PROSPERO	<i>International Prospective Register of Systematic Reviews</i>
R.B.V.	Ricardo Borges Viana
RoB-2	<i>Version 2 of the Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials</i>
robvis	<i>risk-of-bias visualization tool</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

I^2	Índice de heterogeneidade estatística de Higgins
τ^2	Índice de variância de tamanho de efeito entre os estudos de Kendall
H^2	Coeficiente de heterogeneidade estatística
x	<i>Versus</i>
↑	Aumento significativo
↔	Sem mudança significativa
≈	Semelhante
Δ	Diferença média entre as pontuações
k	Número de estudos incluídos na metanálise
Q	Estatística Q de Cochran
p	Valor de significância
θ	Logaritmo da razão de verossimilhança média
θ_i	Logaritmo da razão de verossimilhança de cada estudo
θ_{iv}	Tamanho de efeito geral da metanálise
⊕⊕○○	Baixo nível de evidência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO E JUSTIFICATIVA	18
2.1 A anatomia humana e os cursos de graduação em ciências da saúde	18
2.2 Revisitando os modelos de ensino da anatomia humana	19
2.3 Lacunas relacionadas aos modelos de ensino da anatomia humana	23
2.4 Revisões sistemáticas e metanálises e a hierarquia da evidência científica	25
3 OBJETIVOS	28
3.1 Objetivo geral	28
3.2 Objetivos específicos	28
4 HIPÓTESES	29
5 MÉTODOS	30
5.1 Estratégias de busca	30
5.2 Seleção dos estudos	32
5.3 Critérios de elegibilidade	32
5.4 Extração de dados	33
5.5 Avaliação do risco de viés	34
5.6 Avaliação do nível de evidência	34
5.7 Treinamento dos revisores	35
5.8 Análise estatística	35
6 RESULTADOS	38
6.1 Buscas nas bases de dados eletrônicas e triagem dos estudos	38
6.2 Características dos estudos incluídos	39
6.3 População	42
6.4 Intervenções e comparações.....	42
6.5 Desfechos	43
6.6 Metanálise.....	51
6.7 Análise de sensibilidade	52
6.8 Viés de publicação	52
6.9 Risco de viés	53
6.10 Nível de evidência	54
7 DISCUSSÃO	56
7.1 Limitações do estudo	61

7.2 Perspectivas futuras.....	62
8 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS	65
ANEXO A – PROTOCOLO DE REGISTRO DO ESTUDO NA PROSPERO.....	77
ANEXO B – ARTIGO CIENTÍFICO PUBLICADO NO <i>JOURNAL OF BIOLOGICAL EDUCATION</i>.....	89

1 INTRODUÇÃO

A anatomia humana consiste em uma ciência descritiva que detalha a localização dos órgãos humanos e investiga suas formas (Spence, 1991; Moore; Dalley, 2018). Portanto, a disciplina de anatomia humana é considerada um dos pilares curriculares dos cursos de graduação em ciências da saúde (Viana *et al.*, 2019; Moore; Dalley, 2018; Estai; Bunt, 2016; Papa; Vaccarezza, 2013; Dangelo; Fattini, 2011). Além disso, a eficácia acerca dos modelos de ensino da anatomia humana é considerada um dos temas mais controversos na literatura (Leveritt *et al.*, 2016) e, como em qualquer disciplina, requer revisões e análises constantes para determinar quais modelos e abordagens melhor se adequam ao processo de aprendizagem dos estudantes (Moxham; Plaisant, 2007). Logo, a compreensão sobre os diferentes modelos para o ensino de anatomia humana pode ajudar os professores na seleção e/ou melhoria de seus materiais didáticos e estratégias pedagógicas, de modo a aprimorar o aprendizado entre os estudantes.

Desde o século XVII, a dissecação tem sido o principal método físico para o ensino da anatomia humana (Estai; Bunt, 2016; Azer; Eizenberg, 2007). No entanto, espécimes cadavéricos previamente dissecados (*prosections*), às vezes, plastinados (Estai; Bunt, 2016) são considerados como um modelo de ensino que economiza tempo e recursos em comparação com a dissecação (McLachlan *et al.*, 2004; Dinsmore *et al.*, 1999).

Embora a preparação de espécimes cadavéricos seja demorada e exija pessoal qualificado para confeccionar peças com múltiplos cortes de diferentes regiões do corpo (Estai; Bunt, 2016; Dinsmore *et al.*, 1999; Nnodim, 1997), muitos pesquisadores os consideram como o modelo de ensino padrão-ouro (Ghosh, 2017; Davis *et al.*, 2014; Aziz *et al.*, 2002). Entretanto, algumas barreiras, como as legislações (Brenner *et al.*, 2024; Melo, Pinheiro, 2010), as questões éticas (Jones, 2023), a cultura, a religião e as crenças populares sobre os cadáveres após a morte parecem influenciar na doação de corpos para o processo de ensino-aprendizagem da anatomia humana em universidades de todo o mundo (Habicht *et al.*, 2018). Ademais, a utilização de cadáveres ainda envolve altos custos orçamentários (como local de armazenamento e pessoal técnico), tornando seu uso um desafio em potencial para as instituições de ensino (McLachlan; Patten, 2006; McLachlan; Regan De Bere, 2004).

Por outro lado, os modelos humanos sintéticos são conhecidos por combinar o

realismo do tecido vivo, em características como tamanho, peso, textura e relações físicas, com o uso de métodos sustentáveis e potencialmente econômicos, e utilizados com êxito nos mais diferentes ambientes de aprendizagem (Richardson *et al.*, 2021). Além disso, são considerados auxiliares de memória úteis, por se assemelharem ao corpo humano nas relações espaciais das estruturas anatômicas e por aprimorarem a sua compreensão tridimensional e o raciocínio anatômico (Zibis *et al.*, 2021; Chan; Cheng, 2011). Outra vantagem desses modelos é a possibilidade de fabricação personalizada, podendo contar com estruturas móveis, refletoras, coloridas ou detalhadas em diferentes relevos, extrapolando sua aplicabilidade para contextos educacionais que vão além da anatomia humana (Richardson *et al.*, 2021).

Entretanto, a eficácia dos modelos anatômicos sintéticos sobre o desempenho acadêmico em anatomia humana ainda é relatada de forma controversa na literatura, existindo estudos que relatam um desempenho inferior (Zibis *et al.*, 2021), equivalente (Mitrousias *et al.*, 2020) e superior (Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016) quando comparado ao desempenho promovido por aulas com espécimes cadavéricos. De fato, observa-se que a eficácia dos modelos de ensino da anatomia humana tem sido cronicamente investigada, no entanto, os recentes estudos de revisão sistemática e metanálise encontrados, que sintetizaram e compararam dados semelhantes, não conseguiram responder adequadamente à questão de pesquisa envolvendo os espécimes cadavéricos e os modelos sintéticos, seja porque abordaram diferentes comparações (Goh *et al.*, 2024; Wilson *et al.*, 2018; Yammine; Violato, 2016) ou por falhas no percurso metodológico (Ye *et al.*, 2020), fazendo com que essa lacuna do conhecimento científico perdure. Nesse sentido, a presente dissertação visa responder à seguinte questão de pesquisa: “Qual o modelo de ensino da anatomia humana é capaz de promover um maior desempenho acadêmico entre estudantes de graduação da área da saúde: espécimes cadavéricos ou modelos sintéticos?”.

Considerando que muitos cursos de graduação ainda não possuem acesso a espécimes cadavéricos para o ensino da anatomia humana, a presente questão científica é relevante. A título de ilustração, os cursos de medicina, enfermagem, farmácia, odontologia e fisioterapia da Universidade Federal do Ceará (Brasil) têm acesso a cadáveres, enquanto outros cursos da mesma universidade (por exemplo, os de educação física) têm acesso apenas a modelos sintéticos (UFC, 2013). Portanto, compreender o desempenho acadêmico em anatomia humana apresentado

por estudantes de graduação que tiveram aulas com modelos sintéticos e espécimes cadavéricos torna-se de suma importância, uma vez que pode nortear tomadas de decisão pedagógicas por parte de professores e gestores de cursos de graduação que possuem a anatomia humana como um alicerce para a aprendizagem de conhecimentos específicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E JUSTIFICATIVA

2.1 A anatomia humana e os cursos de graduação em ciências da saúde

Ao explorar a literatura clássica, nota-se uma congruência na definição do conceito de anatomia, sendo definida por Dangelo e Fattini (2011) como a ciência que estuda, macro e microscopicamente, a constituição dos seres organizados. Dentro do contexto da anatomia humana macroscópica, Moore e Dalley (2018) descrevem a anatomia como a ciência que estuda as estruturas que constituem o corpo humano, que detalha a localização desses componentes e investiga as suas formas. Para Tortora e Derrickson (2016), se trata da ciência que estuda as estruturas do corpo e as correlações entre elas. Por fim, Martini, Timmons e Tallitsch (2009) afirmam que a anatomia humana é o estudo de estruturas externas e internas e da relação física entre as partes do corpo e que, na prática, consiste em uma observação cuidadosa do corpo humano.

Para Lyons (2023), o estudo da anatomia é comparado com o aprendizado de um novo idioma, e exerce um papel fundamental na padronização da comunicação entre os profissionais da saúde no que se refere à terminologia, localização e interrelações das estruturas do corpo humano. Ainda sobre a educação médica, Dangelo e Fattini (2011) defendem que é imprescindível destacar a importância de informações anatômicas diante do diagnóstico ou tratamento de doenças, com o intuito de que os estudantes compreendam que não se estuda anatomia por mera formalidade, e sim por configurar-se como uma ciência base para uma prática clínica competente.

De fato, a disciplina de anatomia humana se faz presente no currículo da maioria dos cursos de graduação das ciências da saúde, além das ciências biológicas (Roncato *et al.*, 2022). Tal tendência ocorre porque os conhecimentos anatômicos se relacionam intrinsecamente com conhecimentos de disciplinas correlatas (como a histologia, a fisiologia e a patologia humana), auxiliando e embasando a compreensão de suas ementas (Salbego *et al.*, 2015). Além disso, falhas na aprendizagem de conhecimentos anatômicos podem ocasionar a não progressão e desgaste estudantil (Scott; Graal, 2007), bem como podem influenciar negativamente na detenção do conhecimento por profissionais da saúde e no desenvolvimento de habilidades

terapêuticas (Yamine, 2014), o que torna a transmissão e a compreensão desses conhecimentos, processos essenciais para uma formação de qualidade.

Nas últimas décadas, observou-se que o ensino da anatomia humana foi marcado pelo constante declínio do tempo de ensino (Pais *et al.*, 2017; Moxham *et al.*, 2015; Yamine, 2014; Craig *et al.*, 2010), pela desvalorização do compromisso pedagógico dos professores (Craig *et al.*, 2010), bem como pela contínua diminuição da ênfase nos modelos tradicionais de ensino em favor de novas alternativas pedagógicas interativas e integrativas (Maani *et al.*, 2023; Drake; McBride; Pawlina, 2014; Johnson; Charchanti; Troupis, 2012; Sugand; Abrahams; Khurana, 2010).

Realmente, o ensino da anatomia humana vem evoluindo junto aos avanços tecnológicos, e recursos como a ressonância magnética, a tomografia computadorizada, ensino baseado em computação, sites, aplicativos educacionais e modelos/simuladores 3D impressos têm sido inseridos na educação anatômica (Boff *et al.*, 2020; Azer; Eizenberg, 2007). Entretanto, é válido ressaltar que, mesmo com esses avanços, os modelos tradicionais de ensino da anatomia humana, como a dissecação do corpo humano e análise de espécimes cadavéricos previamente dissecados (*prosections*), ainda são considerados indispensáveis, de acordo com alguns autores, por possibilitarem a aprendizagem fidedigna da tridimensionalidade das estruturas orgânicas humanas (Dangelo; Fattini, 2011), o contato multissensorial com estruturas anatômicas humanas (Estai; Bunt, 2016) e o desenvolvimento de um cuidado humanizado por parte dos estudantes (Boff *et al.*, 2020).

2.2 Revisitando os modelos de ensino da anatomia humana

Historicamente, o ensino da anatomia humana tem sido realizado por meio da dissecação humana (Moxham; Plaisant, 2014). Contudo, as mudanças nos ambientes educacionais e os avanços tecnológicos, especialmente nas últimas três décadas, alteraram a forma como a anatomia humana é ensinada em cursos da área da saúde (Maani *et al.*, 2023; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Penha *et al.*, 2020; Moxham; Plaisant, 2014; Gabard; Lowe; Chang, 2012). Dentre os modelos de ensino mais utilizados na atualidade, se destaca a dissecação de cadáveres (Zibis *et al.*, 2021), a análise de espécimes cadavéricos previamente dissecados (*prosections*) (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020), modelos anatômicos fabricados a partir de materiais sintéticos (modelos sintéticos) (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020) e,

mais recentemente, recursos ligados à aprendizagem baseada em computador (Zibis *et al.*, 2021; Boff *et al.*, 2020; Estai; Bunt, 2016; Lewis *et al.*, 2014), à imaginologia médica (Estai; Bunt, 2016; Dangelo; Fattini, 2011) e à anatomia viva (McMenamin *et al.*, 2018; Estai; Bunt, 2016).

Com o uso didático datado de cerca de 400 anos (Azer; Eizenberg, 2007), a dissecação consiste no ato de cortar ordenadamente alguma coisa, nesse caso, o cadáver de um indivíduo da espécie humana, com o intuito de conhecer as estruturas que o compõe (Dangelo; Fattini, 2011). Dentre as suas vantagens, pode-se destacar a possibilidade de uma aprendizagem ativa e profunda do corpo humano, do preparo para a prática clínica, para lidar com a situação de morte, do desenvolvimento de habilidades manuais, bem como da identificação de eventuais variações anatômicas (Estai; Bunt, 2016; Winkelmann, 2007).

Embora a dissecação seja um dos mais clássicos modelos de ensino da anatomia humana, percebe-se que a sua participação nos currículos das disciplinas de anatomia na graduação tem diminuído (Estai; Bunt, 2016). Fatores como os altos custos de manutenção dos laboratórios de dissecação, progressivas reduções de carga horária destinadas à dissecação, questões éticas e legais, assim como transições curriculares entre as abordagens de ensino (de abordagem segmentar para abordagem sistêmica) estão entre os condicionantes para essa atenuação (McMenamin *et al.*, 2018; Melo; Pinheiro, 2010; McLachlan; Bere, 2004).

Quanto aos espécimes cadavéricos previamente dissecados, conhecidos internacionalmente como *prosections* (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020, 2018; Estai; Bunt, 2016), o seu uso para o ensino da anatomia humana vem sendo cronicamente adotado, em detrimento da dissecação, em razão da escassez de cadáveres e das progressivas reduções de carga horária curricular (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Estai; Bunt, 2016; McLachlan; Patten, 2006). Estai e Bunt (2016) apontam que o estudo com *prosections* pode oferecer uma série de vantagens, como: a redução do tempo necessário para a identificação de estruturas anatômicas e suas relações; a redução do quantitativo de cadáveres necessários para o ensino, uma vez que podem ser utilizados por vários grupos de alunos a longo prazo; além de ofertar, aos estudantes, o contato com variações anatômicas de diferentes espécimes cadavéricos. Entretanto, não se trata de um modelo de ensino isento de limitações, a necessidade de pessoal qualificado para o preparo, o tempo necessário para a confecção dos cortes, a necessidade de ambientes refrigerados para armazenamento,

bem como a exposição a vapores de formalina são preocupações e desafios enfrentados cronicamente por instituições de ensino que dispõem de *prosections* para a educação anatômica (Estai; Bunt, 2016; Sugand; Abrahams; Khurana, 2010; Dinsmore; Daugherty; Zeitz, 1999; Nnodim, 1997).

Outro procedimento relacionado ao preparo de *prosections* para fins didáticos é a plastinação. Em suma, os espécimes plastinados são preparados através de um processo também conhecido como impregnação forçada de polímeros, no qual os fluidos teciduais são substituídos por acetona que, posteriormente, é substituída por um polímero, que geralmente é silicone, para a preservação de corpos inteiros, ou poliéster, para a produção de seções encefálicas (Sora *et al.*, 2019; Riederer, 2014). Considerada como uma forma especializada de preservar espécimes dissecados (Estai; Bunt, 2016), a plastinação tem sido adotada por ofertar espécimes cadavéricos inodoros, não tóxicos e não biológicos; por permitir armazenamento conveniente, além de manuseio e transporte facilitados; e por viabilizar a economia de recursos financeiros, haja vista que não exige equipamentos de alto custo ou armazenamento refrigerado; além do fato de que esses espécimes podem ser utilizados por cerca de dez anos sem manutenção (Sora *et al.*, 2019; Fruhstorfer *et al.*, 2011; Latorre *et al.*, 2007). Contudo, desvantagens como o encolhimento, a perda da textura, da cor natural e de detalhes finos teciduais são descritos na literatura (Estai; Bunt, 2016).

Ainda sobre o conceito de *prosection*, Curran e Schaefer (2023) relataram que existe uma falta de consenso nessa definição conceitual. Com base em 125 respostas de educadores de anatomia, os autores definiram *prosection* como “um espécime cadavérico pré-dissecado de alta qualidade, dissecado por alguém, geralmente um especialista, diferente daqueles dissecados por aprendizes, para fins de demonstração”. Os autores (Curran; Schaefer, 2023) também relataram que esses espécimes podem ou não ser plastinados, o que envolveria uma técnica adicional de preservação, resultando em espécimes secos que requerem pouca manutenção. Nesse sentido, considerando que a plastinação também é usada para se referir a um tipo de *prosection*, e que a obtenção de modelos esqueléticos humanos também implica na dissecação cadavérica, foi adotado, no presente estudo, o termo amplo “espécimes cadavéricos” para se referir a todos os modelos de ensino derivados de cadáveres previamente dissecados.

No que diz respeito aos modelos anatômicos sintéticos, esses se tornaram um método popular para o ensino da anatomia humana (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et*

al., 2020; Trelease, 2016; Yammine; Violato, 2016), sendo geralmente fabricados com plástico (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Viana *et al.*, 2019; Yammine; Violato, 2016), argila (Oh; Kim; Choe, 2009) e com materiais de impressão tridimensional (3D) (Mogali *et al.*, 2022; Ye *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.* 2017). Desse modo, observa-se que o ensino da anatomia por modelos sintéticos evoluiu junto aos avanços tecnológicos, como a supracitada impressão 3D, que possui a capacidade de imprimir em multicores e com o uso de polimateriais como o nylon durável (Bartellas, 2016), camadas de resina (Garas *et al.*, 2018), gesso, alumínio, ácido polilático e materiais têxteis (Fafenrot *et al.*, 2019; Sharma; Goel, 2018; Bartellas, 2016).

Quanto aos modelos sintéticos plásticos, esses são tidos como um modelo de ensino utilizado com sucesso didático (Yammine; Violato, 2016; Lombardi *et al.*, 2014; Chan; Cheng, 2011), positivamente avaliado pelos alunos de graduação (Wright, 2012), e considerado popular no ensino da anatomia humana por ser de fácil manuseio, baixo custo e não exigir manutenção de instalações (Yammine; Violato, 2016; Chan; Cheng, 2011). Além disso, esses modelos podem ser usados para aprimorar o conhecimento anatômico, atuando como auxiliares de memória e transmitindo similarmente as dimensões do corpo humano (Yammine; Violato, 2016; Chan; Cheng, 2011).

Mesmo diante das aplicabilidades, vantagens e desvantagens do uso de espécimes cadavéricos e modelos sintéticos no ensino da anatomia humana, é válido destacar que, embora a maioria dos currículos médicos preconize o uso de cadáveres para o ensino da anatomia, esses materiais não se encontram disponíveis em muitos países (Sora *et al.*, 2019). Os defensores do uso de cadáveres afirmam que nenhum método de estudo da anatomia é capaz de substituir o aprendizado pela dissecação (Dangelo; Fattini, 2011), e que somente esta pode fornecer manipulação tátil de tecido e envolver múltiplos sentidos no processo de aprendizagem, além de melhorar a compreensão e a retenção de informações e relações espaciais (Estai; Bunt, 2016). Entretanto, as evidências descritas na literatura acerca da eficácia desses dois modelos de ensino para a aquisição de conhecimentos anatômicos são controversas.

2.3 Lacunas relacionadas aos modelos de ensino da anatomia humana

Evidentemente, muitas revisões narrativas (Ghosh, 2017; Estai; Bunt, 2016; Winkelmann, 2007) e sistemáticas com metanálise (Goh *et al.*, 2024; Ye *et al.*, 2020; Wilson *et al.*, 2018; Yammine; Violato, 2016) sumarizaram as evidências sobre os modelos de ensino da anatomia humana e seu impacto no desempenho acadêmico dos estudantes. Porém, a maioria desses estudos não abordou a comparação direta entre os efeitos de modelos sintéticos e espécimes cadavéricos sobre o desempenho acadêmico de estudantes (Goh *et al.*, 2024; Wilson *et al.*, 2018; Yammine; Violato, 2016). Por exemplo, Wilson *et al.* (2018) realizaram uma revisão sistemática e metanálise sobre os modelos de ensino laboratoriais da anatomia humana comparando dissecação e *prosections*, dissecação e tecnologias digitais, dissecação e modelagem, bem como dissecação e intervenções combinadas (dissecação combinada com *prosections*). Observa-se que os autores não realizaram uma comparação direta entre espécimes cadavéricos e modelos anatômicos sintéticos. Por outro lado, Yammine e Violato (2016) compararam modelos de ensino físicos (como os cadavéricos, de plástico, argila, entre outros) e modelos não físicos (como imagens digitais bidimensionais [2D], simulador virtual 3D, entre outros) e constataram que os modelos físicos produziram resultados significativamente melhores para desfechos como o conhecimento geral e a aquisição de conhecimento espacial anatômico. Notoriamente, embora os autores tenham incluído um total de oito estudos, apenas um (Griffon *et al.*, 2000) comparou espécimes cadavéricos com outros modelos físicos. Ainda, este mesmo estudo (Griffon *et al.*, 2000) envolveu estudantes de veterinária e se concentrou na anatomia reprodutiva canina, ao invés da anatomia humana.

Ademais, uma recente revisão sistemática e metanálise, publicada por Goh *et al.* (2024), comparou as pontuações de testes realizados por estudantes expostos a espécimes cadavéricos plastinados e por aqueles expostos a outros modelos de ensino. Os autores sintetizaram dados de quatro estudos originais (Mogali *et al.*, 2022; Alharbi *et al.*, 2020; Schoenfeld-Tacher *et al.*, 2017; Latorre *et al.*, 2007) e não encontraram diferença estatística significativa nos escores de conhecimento anatômico pós-teste entre os grupos. No entanto, é válido destacar que dois (Alharbi *et al.*, 2020; Latorre *et al.*, 2007) dos quatro estudos não aplicaram intervenções com modelos anatômicos sintéticos, e um estudo (Schoenfeld-Tacher *et al.*, 2017) incluiu

estudantes de veterinária e avaliou os conhecimentos relacionados à anatomia craniana canina. Mediante o exposto, as evidências apresentadas por essas revisões fazem perdurar as lacunas relacionadas à comparação dos efeitos de dois dos mais utilizados modelos de ensino da anatomia humana sobre o desempenho acadêmico: espécimes cadavéricos e modelos sintéticos.

No que se refere aos estudos originais, alguns ensaios clínicos randomizados e controlados demonstraram que estudantes de graduação em medicina mostraram desempenho acadêmico superior em anatomia humana após aulas com modelos sintéticos (por exemplo, modelos 3D impressos) do que com espécimes cadavéricos (por exemplo, *prosections* plastinados e não plastinados) (Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016). Porém, existe, na literatura, evidência que favorece os espécimes cadavéricos (por exemplo, *prosections*) em comparação a modelos sintéticos (Zibis *et al.*, 2021), enquanto outros estudos apresentam resultados semelhantes entre esses dois modelos de ensino (Mitroustias *et al.*, 2020). Ademais, até onde é sabido, apenas uma revisão sistemática e metanálise recente, publicada por Ye *et al.* (2020), comparou o efeito de modelos 3D impressos (modelos sintéticos) e espécimes cadavéricos (*prosections*) sob o desempenho acadêmico em anatomia humana. Embora os autores tenham encontrado um maior desempenho acadêmico em anatomia humana a favor dos modelos 3D impressos, eles classificaram erroneamente dois (Tanner *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018) dos quatro estudos incluídos nessa comparação (Tanner *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016). Para esclarecer, esses dois estudos classificados erroneamente (Tanner *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018) não envolveram espécimes cadavéricos. Smith *et al.* (2018) compararam o uso de modelos 3D impressos e métodos didáticos de ensino baseados em imagens 2D; enquanto Tanner *et al.* (2020) compararam o uso de um modelo 3D impresso e um meio-crânio (clone ósseo sintético) usado regularmente em laboratório. Por questões de transparência, esta última informação não foi claramente reportada no estudo original (Tanner *et al.*, 2020), mas foi confirmada pelo autor correspondente através de comunicação na plataforma *ResearchGate*.

Diante desse contexto, torna-se lícito supor que as evidências atuais são controversas e que uma revisão sistemática e metanálise que englobe os estudos que tenham comparado o desempenho acadêmico de estudantes da área da saúde submetidos ao ensino da anatomia humana por meio de espécimes cadavéricos e

modelos sintéticos se faz necessária para a elucidação dessa lacuna do conhecimento científico.

2.4 Revisões sistemáticas e metanálises e a hierarquia da evidência científica

Dentro da literatura científica, as revisões sistemáticas e metanálises são descritas como um tipo de estudo que utiliza, como fonte de dados, a literatura sobre um determinado tema (Sampaio; Mancini, 2007). Até a década de 90, pesquisas com esse tipo de delineamento, planejadas com o objetivo de combinar dados de vários estudos, eram majoritariamente representadas pelas revisões narrativas (Borenstein *et al.*, 2009). Entretanto, trata-se de um tipo de revisão que sofre de algumas limitações importantes, como a subjetividade e a falta de transparência de seus procedimentos metodológicos (Borenstein *et al.*, 2009).

Por esses motivos, muitos pesquisadores passaram a adotar revisões sistemáticas e metanálises para estudo e para a produção científica, uma vez que essas conseguem promover a síntese de evidências relacionadas a intervenções específicas, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada (Borenstein *et al.*, 2009; Sampaio; Mancini, 2007; Bennett; Bennett, 2000). Diferentemente das revisões narrativas, onde os revisores implícita e subjetivamente atribuem algum nível de importância a cada estudo, em uma revisão sistemática e metanálise os pesos atribuídos a cada estudo são baseados em critérios matemáticos especificados previamente (Borenstein *et al.*, 2009).

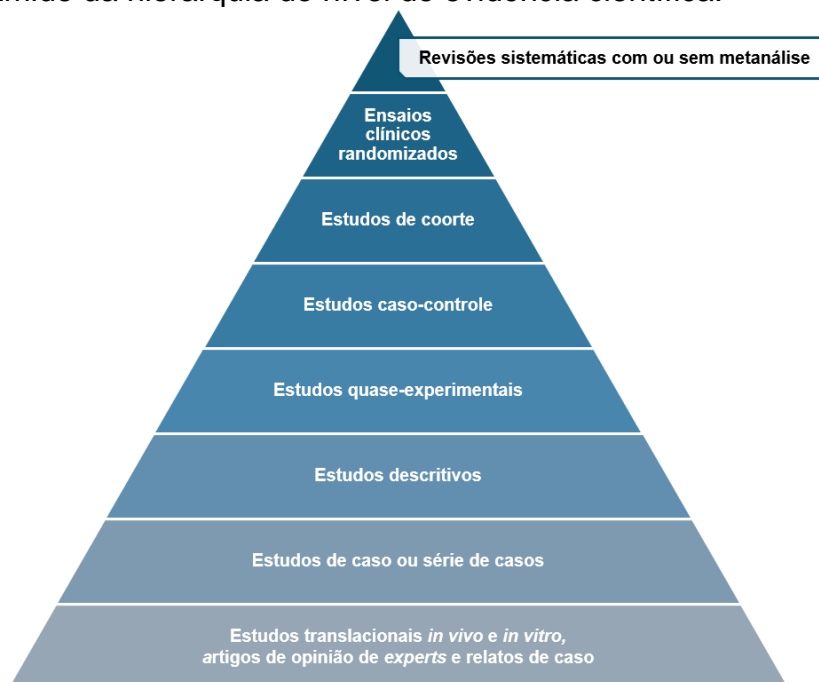
Construídas com o objetivo de produzir uma resposta a uma questão de pesquisa, com base na síntese de evidências reportadas por múltiplos estudos, as revisões sistemáticas podem se concentrar em qualquer tipo de questão de pesquisa, seja relacionada a diagnóstico, tratamento, prognóstico em saúde, educação ou melhoria da qualidade (Wallace *et al.*, 2022). Contudo, vale ressaltar que consistem em um tipo de estudo retrospectivo e secundário, delineado e conduzido após a publicação de muitos estudos experimentais sobre um tema e, portanto, dependente da qualidade das evidências de suas fontes primárias (Sampaio; Mancini, 2007). Em outras palavras, a qualidade de uma revisão sistemática e metanálise é diretamente proporcional à qualidade dos estudos incluídos nela.

Quanto à terminologia utilizada para se referir às revisões sistemáticas e metanálises, observa-se uma inconsistência histórica relacionada ao fato de que apenas algumas delas incluem uma síntese estatística dos dados reportados pelos estudos incluídos, a metanálise, componente que as diferem das revisões sistemáticas que não contam com essa síntese (Sampaio; Mancini, 2007). Especificamente, a metanálise faz parte da fase de síntese de uma revisão sistemática e se utiliza de procedimentos estatísticos para combinar dados numéricos advindos dos resultados de vários estudos como se fossem o resultado de um único estudo maior, de modo a produzir uma única estimativa ou índice que caracterize o efeito de uma determinada intervenção (Wallace *et al.*, 2022; Sampaio; Mancini, 2007). Além disso, as revisões sistemáticas e metanálises podem, ainda, fornecer direcionamentos futuros capazes de influenciar o desenho de estudo de novas pesquisas, por exemplo, mostrando que, em estudos anteriores, um índice de resultado provou ser mais sensível do que outro, ou que um método específico de intervenção provou ser mais eficaz do que outro (Borenstein *et al.*, 2009).

Outro aspecto relacionado às revisões sistemáticas e metanálises é a sua posição na pirâmide da hierarquia da evidência científica (Figura 1), uma ferramenta criada e historicamente reformulada com o objetivo de auxiliar a interpretação e avaliação de descobertas de pesquisa quanto à qualidade de suas evidências (Evans, 2003; Wallace *et al.*, 2022). No nível mais baixo, a hierarquia da evidência inicia com estudos em modelos animais, translacionais e opinião de especialistas, e então ascende para relatórios de casos descritivos ou séries de casos, seguidos dos desenhos observacionais analíticos, como estudos de coorte, depois ensaios clínicos randomizados e, finalmente, as revisões sistemáticas e metanálises, como a evidência de mais alta qualidade (Wallace *et al.*, 2022).

A posição ocupada pelas revisões sistemáticas e metanálises, o topo da hierarquia da evidência científica, revela a sua importância clínica e científica. Nessa hierarquia, quando se procura por evidências sobre a eficácia de uma intervenção ou tratamento, as revisões sistemáticas e metanálises de ensaios clínicos randomizados e de estudos experimentais tendem a disponibilizar evidências de maior qualidade, sendo, portanto, mais adequadas para responder perguntas acerca da eficácia de uma determinada intervenção (Akobeng, 2005; Evans, 2003).

Figura 1 - Pirâmide da hierarquia do nível de evidência científica.



Fonte: adaptado de Viana (2021) e Wallace *et al.* (2022).

Estudos com localização superior na pirâmide possuem um maior nível de evidência científica.

Diante desse contexto, e considerando as lacunas e discordâncias existentes a respeito da eficácia de dois dos mais utilizados modelos de ensino da anatomia humana (espécimes cadavéricos e modelos sintéticos), é lícito supor que estudos de revisão sistemática e metanálise que comparem a influência desses modelos sobre a aquisição de conhecimentos anatômicos (desempenho acadêmico) por estudantes de graduação da área da saúde são desejáveis, uma vez que podem guiar a tomada de decisão de docentes e gestores de ensino superior no que se refere à aquisição de novos modelos de ensino da anatomia humana ou à escolha de um modelo para auxiliar na transmissão de determinados conteúdos alusivos à essa ciência de base.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Comparar o desempenho acadêmico em anatomia humana entre estudantes de graduação da área da saúde que cursaram a disciplina com espécimes cadavéricos *versus* aqueles que cursaram a disciplina com modelos sintéticos.

3.2 Objetivos específicos

- Criar e registrar um protocolo de revisão sistemática e metanálise que compare os efeitos de aulas de anatomia humana com espécimes cadavéricos e modelos sintéticos sobre o desempenho acadêmico de estudantes de graduação da área da saúde.
- Realizar uma metanálise baseada nos dados relacionados ao desempenho acadêmico dos participantes dos estudos incluídos na revisão sistemática.
- Determinar a heterogeneidade estatística proveniente dos dados reportados pelos estudos incluídos na revisão sistemática e metanálise.
- Investigar a influência dos estudos individuais sobre o resultado principal da metanálise.
- Avaliar o risco de viés individual dos estudos incluídos na revisão sistemática e metanálise.
- Avaliar o viés de publicação dos estudos incluídos na revisão sistemática e metanálise.
- Avaliar o nível (qualidade) de evidência fornecida pela revisão sistemática e metanálise.

4 HIPÓTESES

- **H₀ (hipótese nula):** Não há diferença estatística significativa entre o desempenho acadêmico em anatomia humana dos estudantes de graduação da área da saúde submetidos ao ensino por espécimes cadavéricos e modelos sintéticos.
- **H₁ (hipótese alternativa 1):** Há diferença estatística significativa entre o desempenho acadêmico em anatomia humana dos estudantes de graduação da área da saúde submetidos ao ensino por espécimes cadavéricos e modelos sintéticos.

5 MÉTODOS

A presente dissertação trata-se de uma revisão sistemática e metanálise realizada de acordo com as recomendações da declaração *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) (Moher *et al.*, 2009) e de Wager e Wiffen (2011) sobre os princípios éticos na publicização de revisões sistemáticas. O protocolo desta revisão sistemática e metanálise foi devidamente pré-registrado em 22 de agosto de 2023 na base de dados *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO) (Booth *et al.*, 2012), sob o código de registro CRD42023456856 (Anexo A).

5.1 Estratégias de busca

Foram realizadas buscas em inglês nas seguintes bases de dados eletrônicas: *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online* (MEDLINE), *Scopus*, *Cochrane Central Register of Controlled Trials* (CENTRAL), *Excerpta Medica Database* (Embase), *Web of Science* e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). As buscas não tiveram restrição de período e foram realizadas no dia 24 de agosto de 2023, por dois pesquisadores independentes (A.C.L. e R.B.V.), com a última atualização em 5 de julho de 2025. Os artigos foram pesquisados nas bases de dados eletrônicas combinando os seguintes termos: (“adults” OR “students” OR “health science students” OR “undergraduate students”) AND (“cadavers” OR “cadaveric models” OR “prosections” OR “plastic models” OR “plastic physical model” OR “synthetic models” OR “synthetic anatomical models”). Além disso, as buscas incluíram o Google Acadêmico para encontrar estudos que apresentassem essas palavras em seus títulos. Nesse caso, foi realizada uma combinação apenas entre as palavras-chave alusivas à população e à intervenção/comparação. Também foram pesquisadas as listas de referências dos estudos incluídos e excluídos após leitura na íntegra. Ademais, embora as buscas nas bases de dados eletrônicas tenham sido realizadas com os mesmos termos, algumas estratégias foram adotadas para capturar publicações em buscas sem resultados ou para aumentar o número de publicações, como a adição ou remoção de aspas, por exemplo, considerando os resultados mostrados por cada base de dados. O Quadro 1 mostra a estratégia de busca completa utilizada em cada base de dados eletrônica.

Quadro 1 - Estratégia de busca completa.

<p>MEDLINE All fields: (“adults” OR “students” OR “health science students” OR “undergraduate students”) AND (“cadavers” OR “cadaveric models” OR “prosections” OR “plastic models” OR “plastic physical model” OR “synthetic models” OR “synthetic anatomical models”)</p>
<p>SCOPUS All fields: (adults OR students OR health science students OR undergraduate students) AND (cadavers OR cadaveric models OR prosections OR plastic models OR plastic physical model OR synthetic models OR synthetic anatomical models)</p>
<p>EMBASE All fields: (‘adults’ OR ‘students’ OR ‘health science students’ OR ‘undergraduate students’) AND (‘cadavers’ OR ‘cadaveric models’ OR ‘prosections’ OR ‘plastic models’ OR ‘plastic physical model’ OR ‘synthetic models’ OR ‘synthetic anatomical models’)</p>
<p>CENTRAL All text: (‘adults’ OR ‘students’ OR ‘health science students’ OR ‘undergraduate students’) AND (‘cadavers’ OR ‘cadaveric models’ OR ‘prosections’ OR ‘plastic models’ OR ‘plastic physical model’ OR ‘synthetic models’ OR ‘synthetic anatomical models’)</p>
<p>WEB OF SCIENCE Filter: Articles All fields: (‘adults’ OR ‘students’ OR ‘health science students’ OR ‘undergraduate students’) AND (‘cadavers’ OR ‘cadaveric models’ OR ‘prosections’ OR ‘plastic models’ OR ‘plastic physical model’ OR ‘synthetic models’ OR ‘synthetic anatomical models’)</p>
<p>BVS Title/Abstract/Content: (adults OR students OR health science students OR undergraduate students) AND (cadavers OR cadaveric models OR prosections OR plastic models OR plastic physical model OR synthetic models OR synthetic anatomical models)</p>
<p>GOOGLE ACADÊMICO allintitle: (“adults” OR “students” OR “health science students” OR “undergraduate students”) AND (“cadavers” OR “cadaveric models” OR “prosections” OR “plastic models” OR “plastic physical model”) allintitle: (“adults” OR “students” OR “health science students” OR “undergraduate students”) AND (“synthetic models” OR “synthetic anatomical models”)</p>

Fonte: elaboração própria.

Inicialmente, após a realização das buscas nas bases de dados mencionadas, os respectivos arquivos em formato *Research Information Systems* (RIS) ou BibTex com as listas dos artigos encontrados foram baixados e, posteriormente, carregados na ferramenta *online Rayyan* (Ouzzani *et al.*, 2016). O Rayyan permite que revisores trabalhem remotamente e colaborem com uma equipe de pesquisa de forma a manter o sigilo entre os revisores. Em seguida, dois revisores (A.C.L. e R.B.V.), de forma independente e blindada, utilizaram o Rayyan para verificar a relevância dos títulos e resumos dos artigos identificados. Posteriormente, os textos completos dos artigos potencialmente elegíveis foram avaliados independentemente pelos revisores e as discordâncias foram resolvidas por consenso entre eles.

5.2 Seleção dos estudos

A estratégia PICOS (*population* [população], *intervention* [intervenção], *comparison group* [comparação], *outcome* [desfecho] e *study design* [delineamento do estudo]) (Page *et al.*, 2021) foi utilizada para orientar esta revisão sistemática na seguinte conformação:

- **População:** estudantes de graduação da área da saúde (por exemplo, medicina, biomedicina, farmácia, ciências biológicas, enfermagem, nutrição, fisioterapia, educação física, entre outros).
- **Intervenção (exposição):** aulas de anatomia humana com espécimes cadavéricos (por exemplo, *prosections* plastinadas e/ou formolizadas e esqueletos humanos).
- **Comparação:** aulas de anatomia humana com modelos sintéticos (por exemplo, modelos de plástico, argila e resina). Considerando que os modelos sintéticos também são modelos físicos e que se diferem, significativamente, dos modelos virtuais (2D e 3D) e dos livros (livros-texto e atlas), foi adotado o termo amplo “modelos sintéticos” para se referir aos grupos comparadores que utilizaram qualquer outro tipo de modelo físico não cadavérico para o estudo da anatomia humana, como os feitos de plástico, argila, resina, dentre outros materiais.
- **Desfecho:** desempenho acadêmico em anatomia humana (grau de conhecimento). Foram considerados todos os dados contínuos acerca do conhecimento dos estudantes sobre a anatomia humana, incluindo dados pré e pós-intervenção, bem como os dados de mudança na pontuação em relação ao início.
- **Delineamento do estudo:** estudos de intervenção randomizados e não randomizados.

5.3 Critérios de elegibilidade

Foram adotados como critérios de inclusão nesta revisão sistemática e metanálise ensaios clínicos randomizados ou não randomizados que apresentassem: (i) questão de pesquisa acerca dos efeitos do uso de espécimes cadavéricos em aulas

de anatomia humana sob o desempenho acadêmico; (ii) amostra composta por alunos de graduação da área da saúde; (iii) comparação do uso de espécimes cadavéricos com modelos sintéticos humanos; (iv) relato de pelo menos um resultado relacionado ao desempenho acadêmico dos alunos; (v) texto escrito em língua inglesa; e (vi) publicado como artigo científico em periódico revisado por pares.

Foram excluídos estudos dos seguintes tipos: resumos, protocolos de estudos, artigos de congressos, livros, capítulos de livro, dissertações, teses, artigos de opinião, estudos observacionais, estudos-piloto, editoriais, cartas ao editor e revisões da literatura. Além disso, não foram incluídos estudos que aplicaram intervenções combinadas (por exemplo, espécimes cadavéricos mais modelos sintéticos humanos) ou que aplicaram outros modelos de ensino de anatomia humana (por exemplo, programa de anatomia 3D, dissecação cadavérica, entre outros). Estudos que compararam o uso da dissecação cadavérica com o uso de modelos sintéticos também foram excluídos desta revisão sistemática, uma vez que se trata de diferentes experiências e muitos cursos de graduação ainda não conseguem proporcionar o ensino da anatomia humana por meio de aulas de dissecação e, portanto, esqueletos humanos e *prosections* plastinadas ou não plastinadas são usualmente utilizados para este fim. A ferramenta *online Rayyan* (Ouzzani *et al.*, 2016) foi utilizada independentemente por dois pesquisadores (A.C.L. e R.B.V.) para a remoção de duplicatas e aplicação dos critérios de elegibilidade, tendo, as discordâncias, sido resolvidas por consenso entre os pesquisadores.

5.4 Extração de dados

Após a triagem, foram extraídas informações dos estudos incluídos, tais como: autoria, ano de publicação, país, características dos participantes (tamanho amostral, idade, sexo e informações acadêmicas [curso e ano de graduação]), desempenho acadêmico (dados pré, pós e de mudança [Δ] na pontuação), métodos de avaliação e mensuração do desempenho acadêmico, bem como dados sobre as aulas e os modelos de ensino adotados (duração das intervenções, frequência semanal e conteúdo ensinado). Todos os dados foram extraídos manualmente dos estudos incluídos e de forma independente por dois pesquisadores (A.C.L. e R.B.V.), além de terem sido revisados por outros quatro pesquisadores (C.E.V.S., J.M.R., K.J.N.P. e C.K.C.S.), com as discordâncias resolvidas por consenso entre todos.

5.5 Avaliação do risco de viés

Dois pesquisadores (A.C.L. e R.B.V.) avaliaram independentemente o risco de viés dos estudos incluídos usando a versão 2 da ferramenta da Cochrane para avaliação do risco de viés em estudos randomizados (*Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials – RoB 2*) (Sterne *et al.*, 2019). Resumidamente, os algoritmos da ferramenta avaliam e classificam os estudos em “baixo risco de viés”, “algumas preocupações” ou em “alto risco de viés”, levando em consideração o processo de randomização, vieses relacionados a desvios nas intervenções pretendidas, vieses devido a dados de desfecho faltantes, vieses na mensuração dos desfechos, vieses na seleção dos dados reportados e viés geral (Viana, 2021; Sterne *et al.*, 2019c). As discrepâncias foram resolvidas por consenso entre os dois pesquisadores (A.C.L. e R.B.V.). Gráficos de semáforo e de resumo ponderado do risco de viés dos estudos incluídos foram produzidos por meio da ferramenta *online risk-of-bias (robvis)* (McGuinness; Higgins, 2021).

5.6 Avaliação do nível de evidência

A avaliação do nível (qualidade) de evidência da revisão sistemática e metanálise foi realizada por meio da Classificação de Recomendações, Avaliação, Desenvolvimento e Avaliação (*Grading of Recommendations, Assessment, Development, and Evaluation – GRADE*). Dois pesquisadores (A.C.L. e R.B.V.), de forma independente, avaliaram o nível de evidência com base nas seguintes classificações: “muito baixo” (muita incerteza sobre a estimativa), “baixo” (é muito provável que a pesquisa afete significativamente nossa confiança na estimativa do efeito e provavelmente altere a estimativa), “moderado” (pesquisas adicionais provavelmente terão um impacto importante em nossa confiança na estimativa do efeito e podem alterar a estimativa) ou “alto” (é muito improvável que novas pesquisas mudem nossa confiança na estimativa do efeito) (Guyatt *et al.*, 2008). A avaliação abrangeu o desenho experimental, risco de viés, inconsistência, indiretividade, imprecisão e viés de publicação (Guyatt *et al.*, 2008). Todas as discordâncias foram resolvidas por consenso entre os pesquisadores (A.C.L. e R.B.V.). Utilizou-se uma abordagem minimamente contextualizada, com efeito nulo como limiar de importância, para fazer julgamentos sobre o desfecho primário (Zeng *et al.*, 2021).

5.7 Treinamento dos revisores

Todos os pesquisadores envolvidos na realização da revisão sistemática e metanálise foram treinados pelo pesquisador coordenador do Laboratório de Anatomia Humana do Instituto de Educação Física e Esportes (IEFES) da Universidade Federal do Ceará, Professor Dr. Ricardo Borges Viana, que possui elevada experiência na construção de revisões sistemáticas e metanálises, com 11 estudos desse tipo publicados em periódicos internacionais nos últimos cinco anos (Filho *et al.*, 2025; Moda *et al.*, 2024; Rodrigues *et al.*, 2024; Abe *et al.*, 2023; de Moraes Junior *et al.*, 2023; Medeiros *et al.*, 2023; Encarnação *et al.*, 2022; Viana *et al.*, 2021; Rangel *et al.*, 2020; Viana *et al.*, 2020; Viana, *et al.*, 2020), além de possuir um livro sobre a temática (Viana, 2021). Em específico, um dos pesquisadores (A.C.L.) foi treinado para realização das buscas nas bases de dados eletrônicas, aplicação dos critérios de inclusão/exclusão e extração de dados dos estudos incluídos, bem como para a utilização das ferramentas RoB 2, GRADE e *Rayyan*.

5.8 Análise estatística

Os dados relacionados ao desfecho principal (desempenho acadêmico [conhecimento]) disponíveis nos estudos incluídos permitiram a realização de uma metanálise entre grupos usando dados contínuos em um modelo de efeito aleatório. A diferença média padronizada (DMP), representada pelo tamanho do efeito g de Hedges, e com o intervalo de confiança de 95% (IC95%) foram utilizados para mensurar o efeito das aulas de anatomia humana com espécimes cadavéricos e modelos sintéticos sobre o desempenho acadêmico dos estudantes de cada estudo incluído. A DMP foi preferida em relação à diferença média pelo fato de que os estudos incluídos reportaram diferentes formas de avaliação dos conteúdos da anatomia humana, a citar: questões de múltipla escolha e questões envolvendo marcações em espécimes cadavéricos/modelos sintéticos. A DMP e seu IC95% foram estimados a partir de dados pós-intervenção (como média, desvio-padrão e tamanho amostral) para ambos os grupos, espécimes cadavéricos e modelos sintéticos, e foram classificados de acordo com os limiares de Cohen (1988) em: “trivial” ($<0,2$), “pequeno” ($0,2$ a $<0,5$), “moderado” ($0,5$ a $<0,8$) e “grande” ($\geq 0,8$). Valores positivos e negativos da DMP representaram a direção do tamanho do efeito favorecendo as

aulas de anatomia humana com modelos sintéticos e espécimes cadavéricos, respectivamente.

Paralelamente, optou-se pela análise com o modelo de efeito aleatório devido à elevada heterogeneidade apresentada pelos estudos incluídos, haja vista que as intervenções realizadas pelos estudos (aulas de anatomia humana), assim como a avaliação e a mensuração dos seus efeitos sobre o desempenho acadêmico, não foram verdadeiramente idênticas (Higgins *et al.*, 2023). O modelo de efeito aleatório utilizou uma estimativa restrita de máxima verossimilhança. Para estudos *crossover* randomizados, somente os dados relacionados ao primeiro momento foram utilizados para a análise principal. Como os estudos incluídos avaliaram o desempenho acadêmico usando questões de múltipla escolha e marcações em espécimes cadavéricos/modelos sintéticos, e relataram uma pontuação total (questões de múltipla escolha + marcações em espécimes cadavéricos/modelos sintéticos), esta foi adotada como a variável utilizada para a metanálise primária. Dessa forma, não foi necessário considerar múltiplos desfechos aninhados dentro dos grupos e dentro dos estudos. Ademais, várias análises de sensibilidade, que consistem no método de remover um estudo por vez, foram conduzidas para considerar a influência de cada estudo sobre resultado global.

O cálculo retrospectivo do poder estatístico para metanálise de efeito aleatório foi realizado inserindo-se o número de estudos incluídos, o tamanho do efeito global previsto ($DMP = 0,2$), e a média do tamanho amostral dos estudos em uma planilha *Microsoft Excel* criada por Quintana e Tiebel (2019). Esta planilha foi fundamentada com base nos modelos matemáticos de Valentine *et al.* (2010) para determinar se o poder estatístico de uma metanálise é suficiente para identificar o menor tamanho de efeito importante.

A heterogeneidade estatística foi avaliada pelos testes τ^2 , H^2 , estatística Q e teste de inconsistência de Higgins (I^2) (Higgins *et al.*, 2003; Higgins; Thompson, 2002). A estatística I^2 estima o percentual de variância entre os estudos e pode ser aproximadamente interpretada como baixa (0-40%), moderada (30-60%), substancial (50-90%) ou considerável (75-100%) heterogeneidade. É sabido que as duas últimas classificações I^2 se sobrepõem, haja vista as diretrizes aproximadas sugeridas por Higgins *et al.* (2023).

A análise de subgrupo pré-planejada no protocolo PROSPERO (ver Anexo A), para testar se o curso de graduação influenciaria nos resultados, não foi realizada

devido ao número insuficiente de estudos incluídos (menor que 10) (Higgins *et al.*, 2023) e pelo fato de que todos os estudos incluídos tiveram, como população amostral, estudantes de graduação em medicina.

O viés de publicação foi avaliado visualmente por meio do gráfico de funil, inserindo a DMP de cada estudo contra o seu respectivo erro padrão. Conforme recomendado por Higgins *et al.* (2023), o teste de regressão de Egger não foi realizado para avaliar a assimetria do gráfico de funil porque a metanálise entre os grupos envolveu menos de 10 estudos originais. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *Stata Statistical Software* (versão 18, EUA) (StataCorp, 2023), utilizando um nível de significância de 0,05.

6 RESULTADOS

6.1 Buscas nas bases de dados eletrônicas e triagem dos estudos

As estratégias de busca encontraram 16.405 registros (*Embase* [n = 2.019], *Web of Science* [n = 9.688], *CENTRAL* [n = 2.265], *MEDLINE* [n = 1.380], *Scopus* [n = 999], *BVS* [n = 5], *Google Acadêmico* [n = 47] e listas de referências [n = 2]). Após a remoção das duplicatas (n = 2.511), a triagem baseada na leitura dos títulos e resumos eliminou 13.873 estudos pelos seguintes motivos: não envolveu aulas de anatomia humana com espécimes cadavéricos (n = 10.304); não envolveu estudantes de graduação da área da saúde (n = 1.692); não reportou desfecho relacionado ao desempenho acadêmico em anatomia humana (n = 444); estudos de revisão da literatura (n = 310); não realizou um ensaio clínico randomizado ou não randomizado (n = 755); livros (n = 139); capítulos de livro (n = 67); relatos de caso (n = 85); protocolos de estudo (n = 38); resumos (n = 29); anais de congresso (n = 7); e carta ao editor (n = 3). Os 21 estudos restantes foram posteriormente avaliados na íntegra e 14 estudos foram excluídos desta revisão pelos seguintes motivos: não respondeu à questão de pesquisa (n = 9) (Pereda-Nuñez *et al.*, 2023; Yilmaz; Güler, 2023; Çeri, 2021; Seifert *et al.*, 2020; Tanner *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2017; Kong *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2015; Qamar; Ahmad; Ashar, 2014), população errada (n = 2) (Hadžiomerović *et al.*, 2023; Hochman *et al.*, 2015), não reportou desfecho relacionado ao desempenho acadêmico em anatomia humana (n = 1) (Chandrasekaran *et al.*, 2022), não reportou claramente as intervenções realizadas junto ao grupo experimental (n = 1) (Oh; Kim; Choe, 2009) e anais de congresso (n = 1) (Akdemir; Farimaz; Sargon, 2016) (Quadro 2).

Quadro 2 - Motivos de exclusão dos estudos após leitura na íntegra.

Referência	Motivo de exclusão
Akdemir, Farimaz e Sargon (2016)	Anais de congresso.
Çeri (2021)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (atlas de anatomia humana x aplicativo de anatomia humana 3D).
Chandrasekaran <i>et al.</i> (2022)	Não reportou desfechos relacionados ao desempenho acadêmico, apenas a percepção dos estudantes.
Hadžiomerović <i>et al.</i> (2023)	População errada (estudantes de anatomia veterinária).
Hochman <i>et al.</i> (2015)	População errada (residentes de cirurgia).

Li <i>et al.</i> (2015)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (imagens 2D x imagens 3D x modelos 3D impressos).
Kong <i>et al.</i> (2016)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (modelos 3D impressos x atlas de anatomia humana).
Oh <i>et al.</i> (2009)	Não reportou claramente se o grupo experimental teve aulas somente com espécimes cadavéricos.
Pereda-Nuñez <i>et al.</i> (2023)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (modelos 3D impressos x imagens 2D) e população errada (residentes de obstetrícia).
Qamar <i>et al.</i> (2014)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (dissecação cadavérica x modelos sintéticos).
Seifert <i>et al.</i> (2020)	Não respondeu à questão de pesquisa: disciplina diferente (cirurgia oral) e intervenções diferentes (dissecção, osteotomia e ressecção em estruturas da cavidade oral).
Tanner <i>et al.</i> (2020)	Não respondeu à questão de pesquisa: grupos experimental e controle tiveram aulas somente com modelos sintéticos. O autor correspondência foi contatado por meio da plataforma <i>ResearchGate</i> e respondeu: “ <i>Hello xxxxxxx, Thank you for the question. It was not a human skull but a bone clone. An example would be a Bone Box (https://boneclones.com/category/bone-boxes/sets-series#view=grid&category=313&page=1&pageSize=30). Good luck with your review! Best, Rama</i> ”.
Wang <i>et al.</i> (2017)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (modelos 3D impressos x modelos sintéticos).
Yilmaz e Güler (2023)	Não respondeu à questão de pesquisa: comparação diferente (sem intervenção educativa x videoaula supervisionada x aplicativo de anatomia humana 3D x modelos sintéticos).

Fonte: elaboração própria. 2D: bidimensional(is). 3D: tridimensional(is).

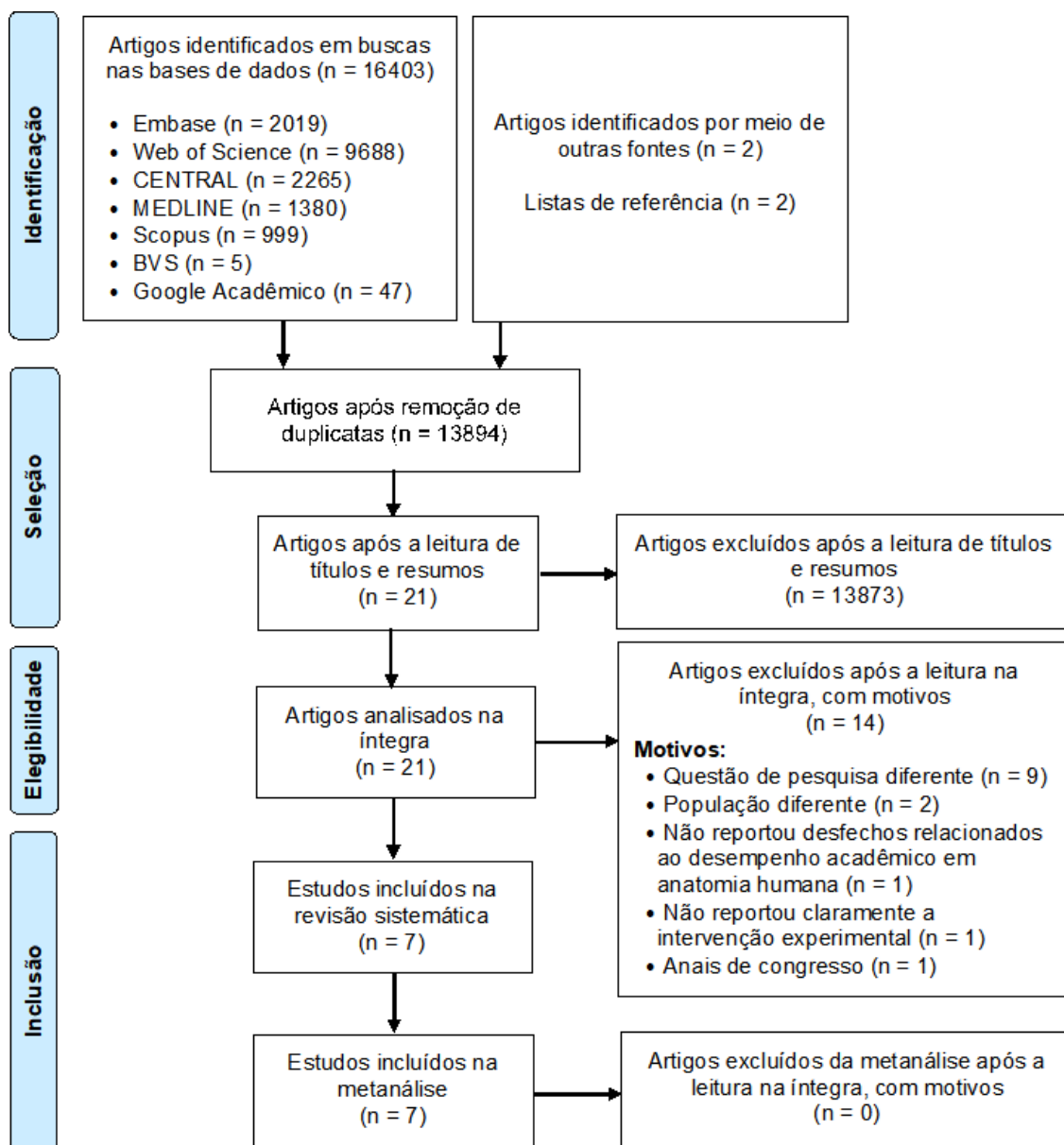
Dessa forma, os sete estudos restantes (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016) foram incluídos nesta revisão sistemática e metanálise. O fluxograma dos estudos ao longo do processo de busca e triagem pode ser visualizado na Figura 2.

6.2 Características dos estudos incluídos

Todos os estudos incluídos foram randomizados e publicados entre 2016 (Lim *et al.*, 2016) e 2023 (Yang *et al.*, 2023), dos quais seis estudos utilizaram delineamento de grupos paralelos (Yang *et al.*, 2023; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016), onde cada participante foi randomizado para um de dois ou mais grupos de intervenção distintos, e um utilizou um desenho *crossover* (Mogali *et al.*, 2022), no qual duas intervenções foram realizadas com os mesmos participantes em diferentes períodos de tempo, sendo, a sequência de intervenções, randomizada para cada participante. Para mais, cinco

(71%) dos estudos incluídos envolveram dois braços de intervenção (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Lim *et al.*, 2016), enquanto os dois outros estudos incluíram três (Chen *et al.*, 2017) e quatro (Zibis *et al.*, 2021) braços de intervenção (Tabela 1).

Figura 2 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos na revisão sistemática e metanálise.



Fonte: adaptado de Page *et al.* (2021).

n: número de estudos; Embase: *Excerpta Medica Database*; CENTRAL: *Cochrane Central Register of Controlled Trials*; MEDLINE: *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online*. BVS: Biblioteca Virtual em Saúde.

Tabela 1 - Características dos estudos incluídos na metanálise.

Referência	País	Participantes	n (sexo)	Idade (anos)	Conteúdo	Desenho do estudo	Desfecho
Cai <i>et al.</i> (2019)	Singapura	Estudantes de medicina (1º ano)	35 (15H/20M)	Não reportada	Bloqueio e desbloqueio da articulação do joelho	ECR	Conhecimento especial anatômico
Chen <i>et al.</i> (2017)	China	Estudantes de medicina (3º ano)	79 (34H/45M) ^a	Mediana [IQR] GC: 21 [20-21] GS: 20 [20-21]	Base do crânio	ECR	Compreensão da anatomia espacial e identificação de estruturas anatômicas
Lim <i>et al.</i> (2016)	Austrália	Estudantes de medicina (1º ano)	52 (25H/27M)	Média (DP) GC: 19 (1,0) GS: 19 (0,8)	Anatomia cardíaca externa e de superfície	ECR	Identificação de estruturas anatômicas, suas funções e relações
Mitrousias <i>et al.</i> (2020)	Grécia	Estudantes de medicina (1º ano)	60 (29H/31M)	Média (DP) 18,5 (1,0)	Sistema musculoesquelético dos membros superiores	ECR	Anatomia espacial, origem e inserção muscular e conhecimento do suprimento nervoso
Mogali <i>et al.</i> (2022)	Singapura	Estudantes de medicina (1º ano)	63 (33H/30M)	Média (DP) GC: 19,3 (0,9) GS: 19,4 (0,9)	Anatomia cardíaca e do pescoço	ECR <i>crossover</i>	Compreensão da anatomia espacial, identificação de estruturas anatômicas e resolução de problemas associados
Yang <i>et al.</i> (2023)	China	Estudantes de medicina (3º ano)	130 (77H/53M)	Intervalo GC: 20-24 GS: 20-24	Anatomia do crânio	ECR	Conhecimento da anatomia macroscópica
Zibis <i>et al.</i> (2021)	Grécia	Estudantes de medicina (1º ano)	313 (135H/178M) ^b	Média (DP) 18,4 (1)	Sistema musculoesquelético dos membros superiores	ECR	Anatomia espacial, origem e inserção muscular e conhecimento do suprimento nervoso

Fonte: elaboração própria.

n: número de participantes. H: homens. M: mulheres. GC: Grupo espécimes cadavéricos. GS: Grupo modelos sintéticos. ECR: ensaio clínico randomizado. IQR: intervalo interquartil. DP: desvio padrão. ^aOs 79 participantes foram randomizados para três grupos: crânio 3D impresso (n = 26), crânio cadavérico (n = 27) e atlas 2D (n = 26). ^bNo total, 313 estudantes foram randomizados em quatro grupos: dissecação cadavérica (n = 80), estudo com *prosections* (n = 77), estudo com modelos de plástico (sintéticos) (n = 84) e estudo com aplicativo de anatomia humana 3D (n = 72).

6.3 População

Embora a estratégia de busca não tenha apresentado restrição ao curso de graduação, todos os estudos incluídos envolveram estudantes de medicina (n = 732 [536 estudantes pertencentes aos grupos espécimes cadavéricos ou modelos sintéticos e 196 estudantes incluídos em grupos relacionados a outros braços de intervenção]) de quatro países (Singapura, China, Austrália e Grécia). Cinco estudos (71%) (Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Lim *et al.*, 2016) tiveram, como amostra, alunos do primeiro ano de medicina, e os dois estudos restantes (Chen *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2023) incluíram estudantes do terceiro ano de medicina. Todos os estudos avaliaram estudantes de ambos os sexos, com predominância de mulheres (384 [52,5%] *versus* 348 [47,5%] homens). No geral, os alunos apresentaram idade entre 18,4 (Zibis *et al.*, 2021) e 24,0 anos (Yang *et al.*, 2023). Apenas um estudo não informou a idade dos estudantes (Cai *et al.*, 2019). A Tabela 1 mostra informações adicionais sobre as características dos participantes.

6.4 Intervenções e comparações

O Quadro 3 mostra descrições detalhadas das intervenções (aulas de anatomia humana) aplicadas pelos estudos incluídos. Em geral, as intervenções com espécimes cadavéricos e com modelos sintéticos adotadas pelos estudos incluídos compreenderam aulas/palestras combinadas com sessões de laboratório (n = 3, 43%) (Yang *et al.*, 2023; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020); aulas/palestras combinadas com sessões de estudo autodirigido (n = 3, 43%) (Mogali *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016); e notas de aulas combinadas com explicações de um tutor por meio de modelos esqueléticos (grupo espécimes cadavéricos) ou por meio de um simulador 3D impresso (grupo modelos sintéticos) (n = 1, 14%) (Cai *et al.*, 2019).

O tempo total de intervenção variou de, aproximadamente, 30 minutos (Cai *et al.*, 2019) a 12 horas (Yang *et al.*, 2023), com a duração total de 60 minutos sendo a mais recorrente (Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016). O tamanho amostral dos grupos experimentais (intervenção) e comparadores (controle) foi relativamente pequeno, apresentando uma mediana de 30 estudantes e variando entre 18 (Lim *et al.*, 2016) e 77 estudantes nos grupos espécimes cadavéricos (Zibis *et al.*, 2021). Para os grupos

modelos sintéticos, a mediana do tamanho amostral foi de 26 estudantes, variando entre 16 (Lim *et al.*, 2016) e 84 estudantes (Zibis *et al.*, 2021).

As intervenções com espécimes cadavéricos relatadas nos estudos incluídos envolveram o uso de modelos esqueléticos (Yang *et al.*, 2023; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017), *prosections* musculoesqueléticas de membros superiores (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020), *prosections* plastinadas e não plastinadas de coração (Lim *et al.*, 2016) e *prosections* plastinadas de coração e pescoço (Mogali *et al.*, 2022). Por fim, a maioria das intervenções com modelos sintéticos envolveram a utilização de modelos 3D impressos (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016), seguidas de modelos de plástico (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020).

6.5 Desfechos

No que se refere aos conteúdos da anatomia humana, os estudos incluídos avaliaram o conhecimento dos estudantes acerca da anatomia musculoesquelética dos membros superiores (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020), da anatomia cardíaca (Mogali *et al.*, 2022; Lim *et al.*, 2016), anatomia do crânio (Yang *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2017), anatomia da articulação do joelho (Cai *et al.*, 2019) e da anatomia do pescoço (Mogali *et al.*, 2022). De forma geral, os sete estudos incluídos relataram 11 desfechos de desempenho acadêmico, dos quais quatro (57%) relataram dois desfechos (Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2017) e três (43%) relataram apenas um desfecho (Yang *et al.*, 2023; Cai *et al.*, 2019; Lim *et al.*, 2016).

Quadro 3 - Características das aulas de anatomia humana aplicadas pelos estudos incluídos.

Referência	Descrição das aulas/palestras de anatomia humana	Espécimes cadavéricos utilizados (n)	Modelos sintéticos utilizados (n)	Duração total da intervenção	Duração das aulas/palestras
Cai <i>et al.</i> (2019)	Os grupos “aprendizagem didática” e “simulação” receberam uma palestra didática sobre conhecimentos relacionados ao bloqueio e desbloqueio da articulação do joelho, e duas páginas de notas de aula contendo informações textuais relacionadas à temática foram distribuídas para cada estudante. Então, os estudantes de ambos os grupos receberam explicações relacionadas à articulação do joelho por um tutor, que utilizou modelos esqueléticos para o grupo “aprendizagem didática” e simuladores 3D impressos para o grupo “simulação”. A interação dos estudantes com os modelos esqueléticos e com os simuladores ocorreu de forma coletiva em razão da disponibilidade limitada desses recursos.	Modelos esqueléticos de joelho (n = 18)	Modelos de joelho 3D impressos (n = 17)	30 minutos, para ambos os grupos	30 minutos, para ambos os grupos
Chen <i>et al.</i> (2017)	Uma palestra introdutória de 30 minutos sobre a anatomia da base do crânio foi ministrada por um colaborador terceiro, não investigador, aos participantes dos grupos “crânio cadavérico” e “crânio 3D impresso”. Durante a palestra, crânios cadavéricos e 3D impressos foram distribuídos aos alunos dos respectivos grupos, que se encontravam divididos em equipes de cinco a seis membros. Cinco crânios cadavéricos e cinco crânios 3D impressos foram utilizados. Cada participante recebeu uma impressão com informações didáticas para anotações. Após a palestra introdutória, os grupos foram direcionados a salas separadas para uma sessão de estudo autogerido usando crânios cadavéricos ou 3D impressos. Fiscais de exame foram designados para cada sala para prevenir uma comunicação entre as equipes, além de terem sido orientados a não responder quaisquer questões dos participantes, nem fornecer quaisquer sugestões sobre a anatomia do crânio.	Modelos esqueléticos de crânio (n = 27)	Crânios 3D impressos (n = 26)	60 minutos	Palestra introdutória: 30 minutos Sessão de estudo autogerido: 30 minutos
Lim <i>et al.</i> (2016)	Os participantes dos grupos “materiais cadavéricos” e “modelos 3D impressos” receberam uma palestra introdutória de 15 minutos sobre a anatomia externa do coração, preparada e ministrada por um colaborador terceiro, não investigador, que estava blindado quanto aos objetivos do estudo. A palestra abrangeu as orientações anatômicas do coração, suas bordas, câmaras,	<i>Prosections</i> plastinadas e não plastinadas de coração (n = 18)	Modelos cardíacos 3D impressos (n = 16)	60 minutos	Palestra introdutória: 15 minutos Sessão de estudo

	artérias coronárias, veias e grandes vasos. Então, os estudantes foram submetidos, randomicamente, a uma sessão de estudo autogerido de 45 minutos utilizando <i>prosections</i> ou modelos 3D impressos. Todos os participantes receberam as mesmas folhas com tarefas contendo os principais objetivos de aprendizagem organizados como uma série de exercícios passo a passo. O trabalho colaborativo foi permitido, sendo consistente com a forma usual na qual ocorrem as sessões de laboratório. Todos os demais recursos de aprendizagem para além dos materiais fornecidos foram proibidos. Os grupos foram fiscalizados por voluntários que foram explicitamente orientados a se abster do ensino didático durante a sessão de estudo autogerido.				autogerido: 45 minutos
Mitrousias <i>et al.</i> (2020)	Duas palestras e duas sessões de laboratório foram conduzidas para cada grupo por um tutor experiente, tendo, cada uma delas, durado pelo menos duas horas. A primeira palestra e sessão laboratorial foi dedicada à anatomia de ossos e ligamentos e as segundas para anatomia muscular. As palestras foram idênticas para ambos os grupos. Sobre as sessões de laboratório, inicialmente, foi fornecida uma apresentação de 20 minutos sobre as estruturas a serem utilizadas pelo tutor, que poderiam ser <i>prosections</i> ou modelos de plástico, a depender do grupo. Então, os estudantes tiveram a oportunidade de explorar essas estruturas de forma autônoma por 90 minutos, trabalhando em equipes de três membros por peça cadavérica/plástica. A exposição dos estudantes às peças ocorreu apenas durante as sessões laboratoriais, e o tempo de exposição foi o mesmo para ambos os grupos.	<i>Prosections</i> musculoesqueléticas de membros superiores (n = 30)	Modelos de plásticos (n = 30)	8 horas ^b	Palestra: 2 horas Sessão laboratorial: 2 horas
Lim <i>et al.</i> (2016)	Nas duas fases da pesquisa, anatomia cardíaca e do pescoço, os estudantes dos dois grupos, “plastinado” e “3D impresso”, foram subdivididos em equipes de, no máximo, seis membros. As intervenções se iniciaram com uma breve apresentação didática por um tutor experiente em anatomia humana com o objetivo de explicar os objetivos de aprendizagem e fornecer um esboço geral sobre o tópico. Materiais pedagógicos e ferramentas para o estudo autogerido foram fornecidos. Então, uma palestra introdutória de 30 minutos foi ministrada por um colaborador terceiro, não investigador, para fornecer uma visão geral dos objetivos de aprendizagem usando imagens 2D de livros didáticos de anatomia humana, sem compartilhar a apresentação de slides ou dar	<i>Prosections</i> plastinadas de coração e pescoço (n = 32)	Modelos cardíacos e de pescoço 3D impressos (n = 31)	Fase 1: 80 minutos. Fase 2: 80 minutos.	Palestra introdutória: 30 minutos Atividade autogerida: 50 minutos

	<p>oportunidade para perguntas e respostas. Após a palestra, uma atividade de autoaprendizagem foi realizada em equipe, com duração de 50 minutos. Na Fase 1, anatomia cardíaca, cada equipe do grupo “plastinado” recebeu quatro espécimes cardíacos plastinados: dois corações inteiros com os vasos sanguíneos coronários e grandes vasos mais duas secções transversais de um único coração mostrando sua anatomia interna e válvulas, ao passo que as equipes do grupo “3D impresso” receberam modelos cardíacos 3D impressos e duas árvores arteriais coronárias adicionais. Na Fase 2, anatomia do pescoço, os grupos foram invertidos e cada equipe recebeu duas peças: uma cabeça e pescoço inteiros e uma secção sagital medial de uma cabeça e pescoço. Apostilas idênticas foram distribuídas para ambos os grupos, com o intuito de orientar a autoaprendizagem dos participantes. Utilizando os materiais de aprendizagem fornecidos, as equipes foram autorizadas a interagir com as peças cadavéricas ou 3D impressas. Embora tenham sido fortemente encorajados a discutir e compartilhar as peças dentro das equipes do mesmo grupo, não lhes foi permitido ir para o outro grupo ou consultar nenhum material externo durante a sessão de autoaprendizagem.</p>				
Mitrousias <i>et al.</i> (2020)	<p>Ambos os grupos “modelo 3D impresso” e “crânio real” receberam uma palestra semanal sobre anatomia do crânio, com duração de duas horas. Após a palestra, cada grupo foi exposto a um recurso de ensino diferente durante as sessões práticas. Nos primeiros 15 minutos da sessão prática, os alunos assistiram a um vídeo de esqueleto facial 3D, incluindo ossos faciais separados em visualização 3D e um crânio humano natural. Após as aulas utilizando modelos 3D impressos ou crânios reais por professores, o acesso a livros didáticos, vídeos, atlas e aplicativos de referência de anatomia 3D sobre o conteúdo não foi limitado. Como um recurso de aprendizagem 3D, um corpo visível foi disponibilizado na biblioteca e na sala de aula prática. Os dois grupos completaram três semanas do curso de anatomia do crânio e, cinco semanas depois, um teste prático avaliou o conhecimento dos alunos.</p>	Modelos esqueléticos de crânio (n = 67)	Modelos ósseos 3D impressos (n = 63)	12 horas durante três semanas (4 horas por semana)	Palestra: 2 horas Sessão prática: 2 horas
Zibis <i>et al.</i> (2021)	<p>Duas palestras e duas sessões de laboratório foram conduzidas para cada grupo, cada um com duração de duas horas. A primeira sessão didática (1ª palestra e 1ª sessão de laboratório) foi dedicada à anatomia dos ossos e ligamentos, e a segunda à anatomia muscular. As palestras foram idênticas para ambos os</p>	<i>Prosections</i> musculoesqueléticas de membros superiores	Modelos de plásticos (n = 84)	8 horas (duas sessões de 4 horas separadas por dois dias)	Palestra: 2 horas Sessão laboratorial: 2

	<p>grupos. Apostilas detalhadas sobre ambas as palestras foram fornecidas aos alunos para auxiliá-los durante as sessões de laboratório. No início de cada sessão laboratorial, uma apresentação de 20 minutos de todas as estruturas a serem utilizadas pelo tutor. Após um intervalo de 10 minutos para perguntas, os alunos tiveram a oportunidade de explorar todas as estruturas por conta própria durante 90 minutos. <i>Prosections</i> de membros superiores e modelos plásticos foram utilizados pelos alunos dos respectivos grupos, que se encontravam subdivididos em equipes de quatro a cinco membros. Os estudantes tiveram a chance de montar e desmontar os modelos plásticos, removendo estruturas superficiais para explorar as mais profundas. A exposição dos alunos às peças cadavéricas ou sintéticas ocorreu apenas dentro do laboratório e o tempo de exposição foi o mesmo para todos os grupos. Dois dias se passaram entre cada sessão didática. Todas as aulas e sessões de laboratório foram realizadas e supervisionadas por um tutor experiente, que foi o mesmo para todos os grupos.</p>	(n = 77)			horas
--	--	----------	--	--	-------

Fonte: elaboração própria.

n: número de participantes. 3D: tridimensional(is). 2D: bidimensional(is). ^a O tempo total de intervenção não foi reportado. ^b Não foi informado se as oito horas de intervenção se deram no mesmo dia, semana ou ao longo de semanas.

Três estudos (43%) usaram testes teóricos (questões de múltipla escolha) e laboratoriais (marcações em espécimes cadavéricos/modelos sintéticos) para avaliar o desempenho acadêmico dos alunos (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2017), enquanto dois estudos (30%) usaram apenas testes teóricos (questões de múltipla escolha) (Mogali *et al.*, 2022; Cai *et al.*, 2019) e os outros dois usaram apenas testes laboratoriais (marcações em espécimes cadavéricos/modelos sintéticos) (Yang *et al.*, 2023; Lim *et al.*, 2016). Quatro estudos (57%) mediram o desempenho acadêmico pré e pós-intervenção (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016), e os três estudos restantes (43%) mediram apenas o desempenho acadêmico pós-intervenção (Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019). Todos os estudos incluídos aplicaram os mesmos testes para os grupos espécimes cadavéricos e modelos sintéticos, no entanto, dentre os quatro estudos que aplicaram pré e pós-testes (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016), três usaram os mesmos testes nos períodos pré e pós-intervenção (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2017), tendo um desses três randomizado e aplicado as questões pós-teste em uma sequência diferente para evitar possível viés de memória (Mogali *et al.*, 2022). Apenas um estudo usou pré e pós-testes diferentes (Lim *et al.*, 2016).

Cinco estudos (71%) apresentaram as pontuações como uma variável contínua representada pela porcentagem média de acertos (0%–100%) e desvio padrão para cada grupo de intervenção (Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Lim *et al.*, 2016), enquanto dois estudos apresentaram as pontuações como uma variável contínua representada pela média aritmética das pontuações absolutas e desvio padrão para cada grupo de intervenção (0–48 pontos (Chen *et al.*, 2017) ou 0–100 pontos (Yang *et al.*, 2023)). Vale ressaltar que, para os resultados de todos os estudos, quanto maior a pontuação obtida pelos estudantes, melhor o desempenho acadêmico em anatomia humana. Os principais resultados extraídos dos estudos incluídos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais resultados dos estudos incluídos na metanálise.

Referência	Conteúdo	Tipo de teste (intervalo de pontuação)	Grupos (n)	Pré-teste: Média (DP)	Pós-teste: Média (DP)	Mudança média (DP)	Resultado principal
Cai <i>et al.</i> (2019)	Bloqueio e desbloqueio da articulação do joelho	Teórico (0-100%)	GC: 18 GS: 17	Não se aplica	GC: 70,71 (15,13) GS: 85,03 (10,13)	Não se aplica	GS > GC
Chen <i>et al.</i> (2017)	Base do crânio	Teórico + prático (0-48)	GC: 27 GS: 26	GC: 5,3 ^a (0,8) ^a GS: 4,7 ^a (1,3) ^a	GC: 29,3 ^a (2,0) ^a GS: 32,0 ^a (1,8) ^a	GC: 24,4 ^a (2,6) ^a GS: 27,2 ^a (2,2) ^a	Pré: GS ≈ GC Pós: GS > GC Δ: GS ≈ GC
		• Teórico (0-18)	GC: 27 GS: 26	GC: 5,0 ^a (1,0) ^a GS: 4,5 ^a (7,0) ^a	GC: 14,5 ^a (0,5) ^a GS: 14,9 ^a (0,6) ^a	GC: (9,5) ^a (1,0) ^a GS: 10,0 ^a (1,4) ^a	Pré: GS ≈ GC Pós: GS ≈ GC Δ: GS ≈ GC
		• Prático (0-30)	GC: 27 GS: 26	GC: 0,3 ^a (0,3) ^a GS: 0,3 ^a (0,3) ^a	GC: 14,1 ^a (1,9) ^a GS: 17,3 ^a (1,8) ^a	GC: 13,9 ^a (1,9) ^a GS: 16,9 ^a (1,9) ^a	Pré: GS ≈ GC Pós: GS > GC Δ: GS > GC
Lim <i>et al.</i> (2016)	Anatomia cardíaca externa e de superfície	Prático (0-100%)	GC: 18 GS: 16	GC: 36,75 (12,25) GS: 42,79 (10,11)	GC: 44,81 (14,92) GS: 60,83 (19,56)	GC: 8,06 (18,56) GS: 18,04 (20,60)	Pré: GS ≈ GC Pós: GS > GC Δ: GS↑, GC↔, não foi realizada análise entre grupos
Mitrousias <i>et al.</i> (2020)	Sistema musculoesquelético dos membros superiores	Teórico + prático (0-100%)	GC: 30 GS: 30	Não se aplica	GC: 32,2 (14,7) GS: 35 (14,8)	Não se aplica	GS ≈ GC
		• Teórico (0-100%)	GC: 30 GS: 30	Não se aplica	GC: 15,4 (4,5) GS: 16,2 (4,8)	Não se aplica	GS ≈ GC
		• Prático (0-100%)	GC: 30 GS: 30	Não se aplica	GC: 16,8 (11,2) GS: 18,8 (11,4)	Não se aplica	GS ≈ GC
		▪ Imagens cadavéricas (0-100%)	GC: 30 GS: 30	Não se aplica	GC: 9,3 (6,3) GS: 9,5 (5,9)	Não se aplica	GS ≈ GC
▪ Imagens de materiais sintéticos (0-100%)	GC: 30 GS: 30	Não se aplica	GC: 7,4 (5,3) GS: 9,2 (6)	Não se aplica	GS ≈ GC		
Mogali <i>et al.</i> (2022)	Anatomia cardíaca	Teórico (0-100%)	GC: 32 GS: 31	GC: 27,3 (11,4) GS: 29,5 (12,2)	GC: 57,0 (13,3) GS: 60,8 (13,6)	Não reportada	Pré: GS ≈ GC Pós: GS ≈ GC

	Anatomia do pescoço	Teórico (0-100%)	GC: 18 GS: 15	GC: 38,6 (8,0) GS: 37,0 (11,5)	GC: 70,3 (15,6) GS: 68,3 (9,9)	Não reportada Não reportada	Δ: não foi realizada análise intra ou entre grupos Pré: GS ≈ GC Pós: GS ≈ GC Δ: não foi realizada análise intra ou entre grupos
Yang <i>et al.</i> (2023)	Anatomia do crânio	Prático (0-100)	GC: 67 GS: 63	GC: 44,3 (12,0) GS: 41,8 (13,2)	GC: 82,7 (9,7) GS: 91,0 (10)	GC: 37,3 (5,2) GS: 50,0 (3,0)	Pré: GS ≈ GC Pós: GS ≈ GC Δ: GS > GC
Zibis <i>et al.</i> (2021)	Anatomia musculoesquelética dos membros superiores	Teórico + prático (0-100%)	GC: 77 GS: 84	Não se aplica	GC: 40,98 (17,48) GS: 33,59 (17,50)	Não se aplica	GC > GS
		• Teórico (0-100%)	GC: 77 GS: 84	Não se aplica	GC: 19,80 (7,32) GS: 16,45 (6,50)	Não se aplica	GC > GS
		• Prático (0-100%)	GC: 77 GS: 84	Não se aplica	GC: 21,18 (11,38) GS: 17,14 (12,47)	Não se aplica	GC ≈ GS
		▪ Imagens cadavéricas (0-100%)	GC: 77 GS: 84	Não se aplica	GC: 11,87 (6,10) GS: 8,42 (6,25)	Não se aplica	GC > GS
		▪ Imagens de atlas (0-100%)	GC: 77 GS: 84	Não se aplica	GC: 9,37 (5,71) GS: 8,71 (6,63)	Não se aplica	GC ≈ GS

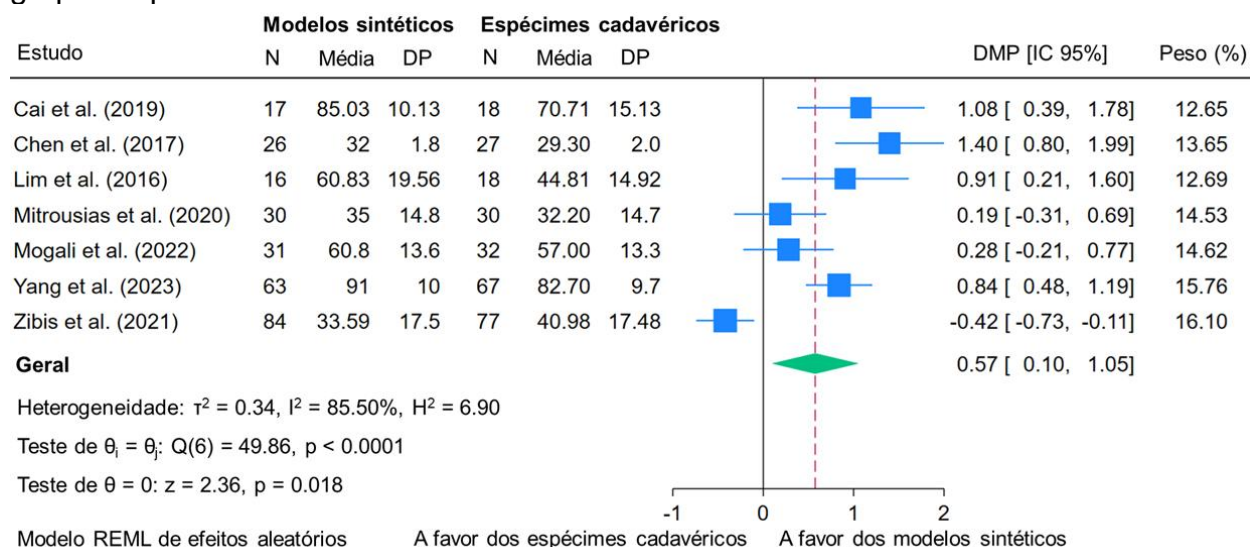
Fonte: elaboração própria.

n: número de participantes. DP: desvio padrão. GC: Grupo espécimes cadavéricos. GS: Grupo modelos sintéticos. Δ: mudança (diferença média) entre os momentos pré e pós-intervenção. ↑: aumento significativo. ↔: sem mudança significativa. ≈: semelhante. ^aMédia e desvio-padrão estimados por meio da mediana e intervalo interquartil, conforme sugerido por Hozo *et al.* (2005).

6.6 Metanálise

Sete estudos (k) com sete comparações independentes forneceram dados de 536 estudantes de graduação em medicina (n) a fim de analisar os efeitos de aulas de anatomia humana utilizando espécimes cadavéricos e modelos sintéticos na melhoria dos conhecimentos pós-intervenção (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016). Obteve-se uma diferença significativa de tamanho moderado no desempenho acadêmico entre os grupos (k = 7; n = 536; DMP = 0,57 [IC95% = 0,10 a 1,05], p = 0,018), a favor das intervenções com materiais sintéticos, com substancial/considerável heterogeneidade ($\tau^2 = 0,34$, $I^2 = 85,5\%$, $H^2 = 6,90$, $Q [6] = 49,86$, $p < 0.0001$) (Figura 3). Além disso, considerando o menor tamanho de efeito significativo (0,20), um quantitativo de sete estudos com comparações independentes e um tamanho amostral médio de 76 participantes por estudo, determinou-se um baixo poder estatístico (aproximadamente 0,37) para detectar o menor efeito significativo por meio de um modelo de efeito aleatório em um teste de hipótese unicaudal a um nível de significância de 5%.

Figura 3 - Resultado da metanálise entre os dados de desempenho acadêmico dos grupos espécimes cadavéricos e modelos sintéticos.



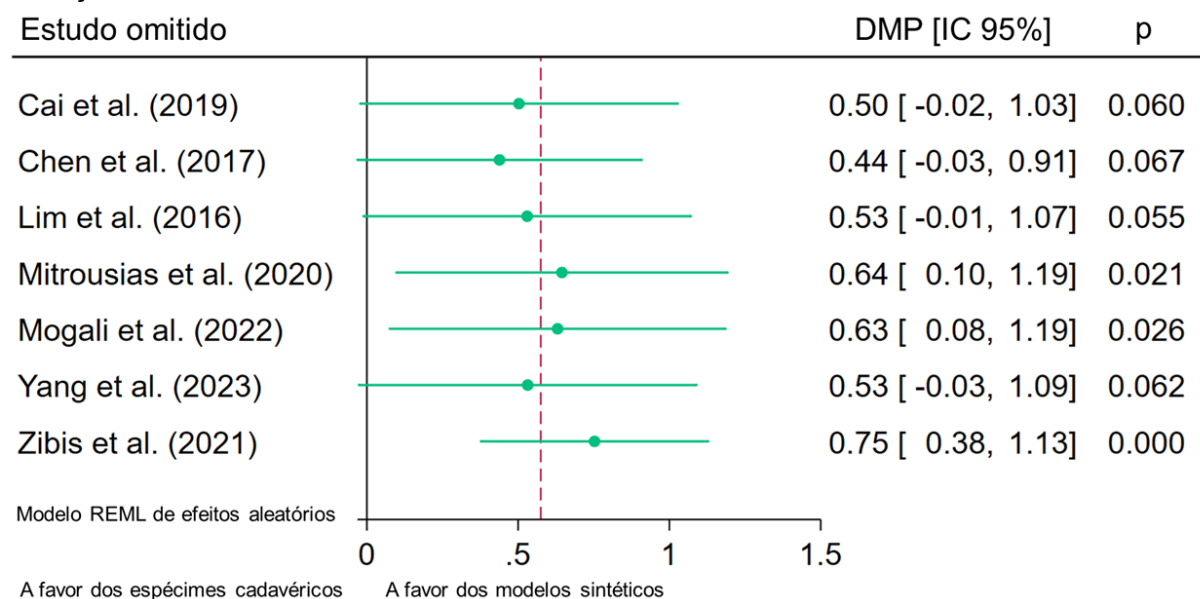
Fonte: adaptado de *Stata Statistical Software* (v. 18).

N: tamanho amostral. Média: desempenho médio pós-intervenção. DP: desvio-padrão do desempenho médio pós-intervenção. DMP: diferença média padronizada (g de Hedges). IC95%: intervalo de confiança de 95%. REML: estimativa restrita de máxima verossimilhança. As caixas azuis representam a DMP de cada estudo e o seu tamanho reflete o peso relativo do estudo na análise. A linha azul contínua representa o IC95%. O diamante representa o agregado das DMP e seus IC95%.

6.7 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade (o método de remover um estudo por vez) revelou que o efeito significativo associado aos modelos sintéticos sobre o desempenho acadêmico permaneceu após a remoção dos estudos de Mitrousias *et al.* (2020), Mogali *et al.* (2022), e Zibis *et al.* (2021), mas não após a remoção de Cai *et al.* (2019), Chen *et al.* (2017), Lim *et al.* (2016) e Yang *et al.* (2023) (Figura 4).

Figura 4 - Análise de sensibilidade do resultado principal da metanálise diante da remoção individual dos estudos incluídos na metanálise.



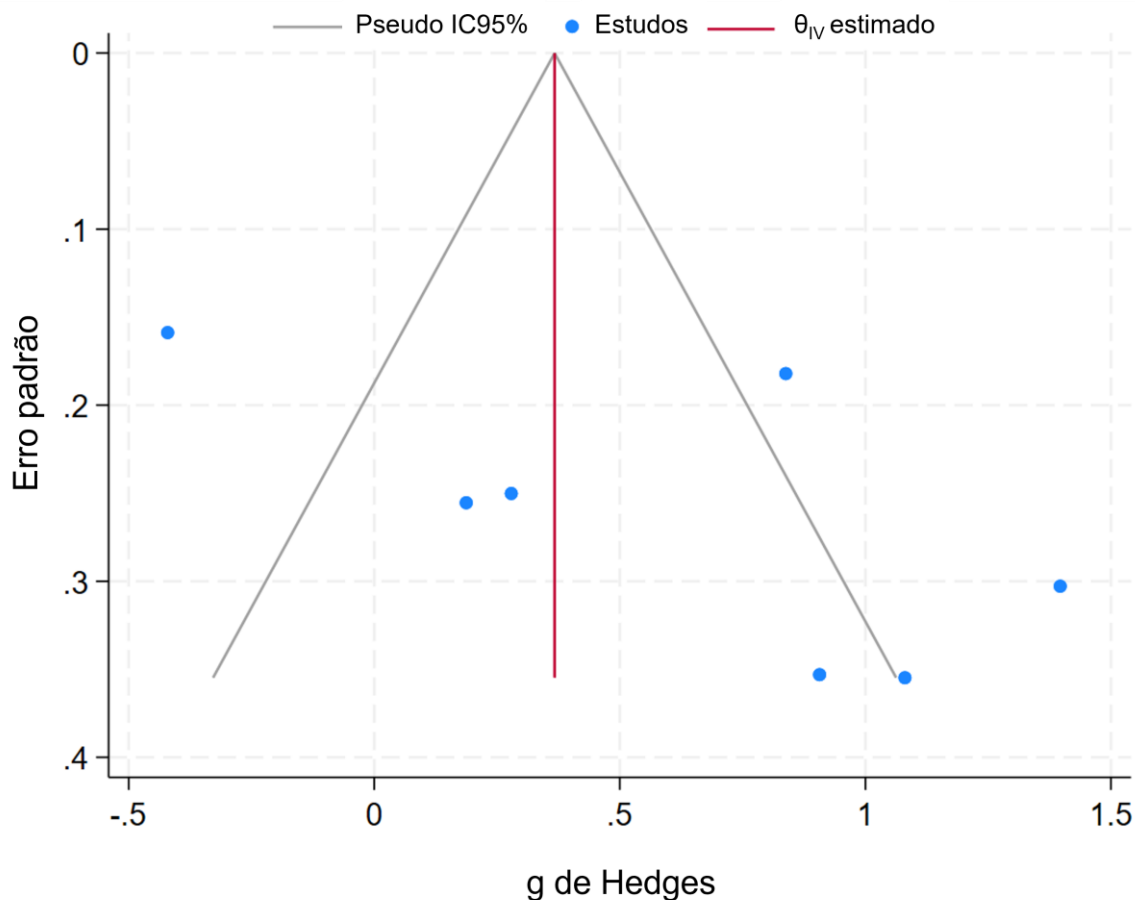
Fonte: adaptado de *Stata Statistical Software* (v. 18).

DMP: diferença média padronizada. IC95%: intervalo de confiança de 95%. REML: estimativa restrita de máxima verossimilhança. Os círculos verdes representam a DMP geral após a remoção do estudo. As linhas contínuas verdes representam o IC95%.

6.8 Viés de publicação

A análise visual da DMP (ou seja, do tamanho de efeito g de Hedges) dos resultados relacionados ao desempenho acadêmico dos grupos espécimes cadavéricos e modelos sintéticos no gráfico de funil não indicou a presença ou a ausência de viés de publicação (Figura 5). Ademais, conforme relatado na seção de análise estatística, o teste de regressão de Egger não foi realizado, para avaliar a assimetria do gráfico de funil, pois a metanálise envolveu menos de 10 estudos originais (Higgins *et al.*, 2023).

Figura 5 - Gráfico de funil dos tamanhos de efeito apresentados pelos estudos incluídos na metanálise.

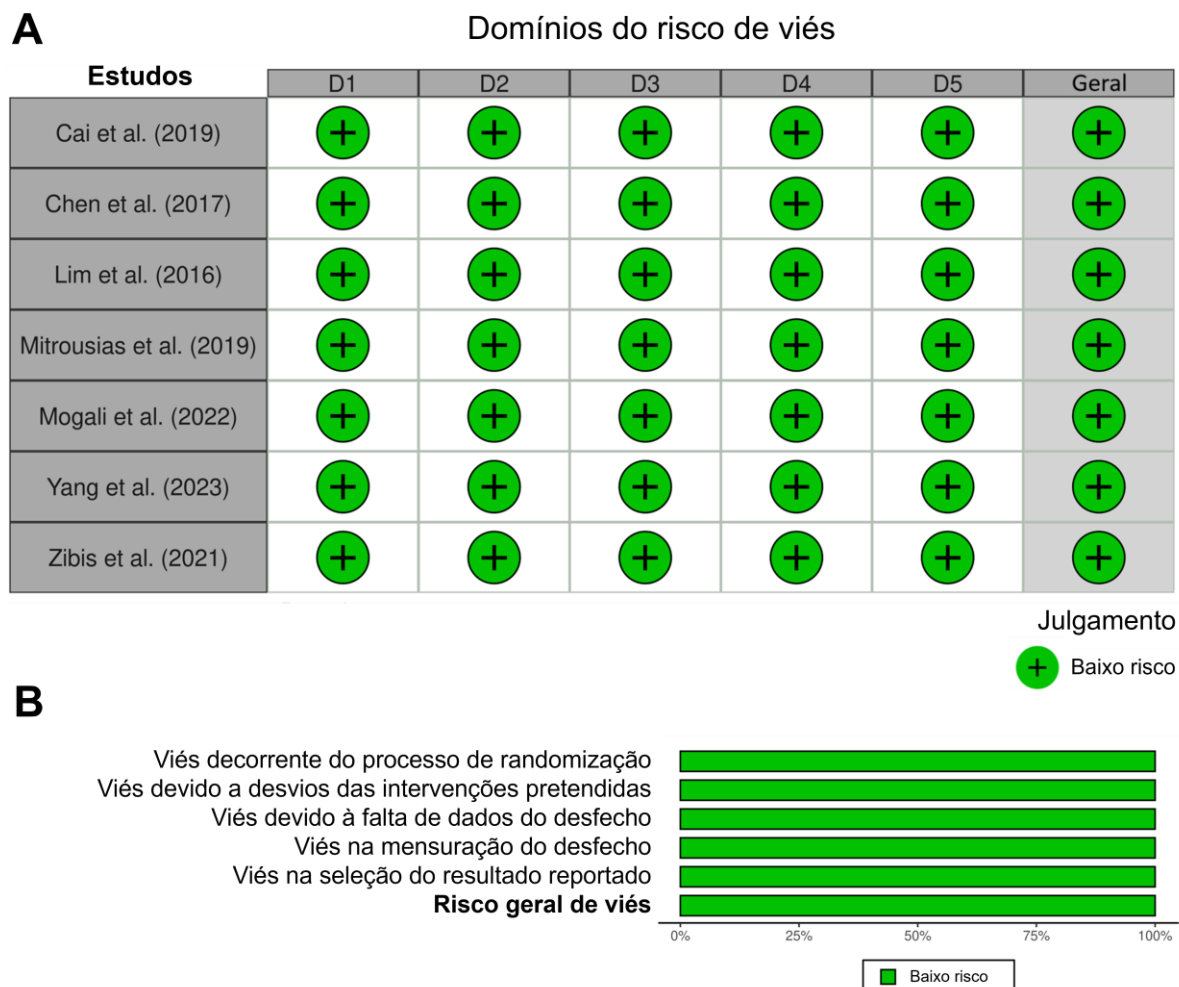


Fonte: adaptado de *Stata Statistical Software* (v. 18).
 IC95%: intervalo de confiança de 95%.

6.9 Risco de viés

Conforme ilustrado nos gráficos de semáforo e de resumo ponderado (Figura 6), todos os estudos incluídos apresentaram baixo risco de viés devido à randomização (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016). Notavelmente, embora todos os estudos incluídos não tenham relatado informações adicionais (como o número de registro do protocolo do estudo) que permitissem verificar as análises estatísticas pré-planejadas, as informações fornecidas nas seções de análise estatística e resultados não sugerem viés relacionado à seleção dos resultados relatados.

Figura 6 - Gráficos de semáforo (A) e de resumo ponderado (B) das análises do risco de viés para os ensaios clínicos randomizados incluídos na metanálise.



Fonte: elaborada através da ferramenta online *robvis* de McGuinness e Higgins (2021). Traduzida e respondida pelo autor.

D1: viés decorrente do processo de randomização; D2: viés devido a desvios das intervenções pretendidas; D3: viés devido à falta de dados do desfecho; D4: viés na mensuração do desfecho; D5: viés na seleção do resultado reportado; Geral: risco geral de viés.

6.10 Nível de evidência

Como a presente metanálise incluiu apenas ensaios clínicos randomizados, a classificação do nível de evidência usando o GRADE (Quadro 4) iniciou como alta. O nível de evidência não foi rebaixado em relação ao risco de viés, pois todos os estudos incluídos apresentaram baixo risco de viés, e nem por indiretividade, uma vez que todos os estudos incluídos envolveram a mesma população (estudantes de medicina). Entretanto, a evidência foi rebaixada em um nível por inconsistência devido à heterogeneidade estatística substancial/considerável dos dados ($I^2 = 85,5\%$), um nível por imprecisão, haja vista que o limite inferior do tamanho de efeito global do

desfecho/análise principal ultrapassou o limiar clínico de relevância (DMP = 0,2) (Cohen, 1988), e mais um nível por viés de publicação, já que a análise visual do gráfico de funil não indicou a presença ou ausência de viés de publicação. Portanto, a certeza das estimativas sobre os resultados primários (desempenho acadêmico/conhecimento em anatomia humana) foi avaliada como baixa.

Quadro 4 - Resumo da avaliação do nível (qualidade) de evidência utilizando o método GRADE.

Avaliação do nível (qualidade) de evidência - GRADE	
Desfecho	Desempenho acadêmico em anatomia humana (conhecimento)
Participantes (estudos)	536 (k = 7)
Risco de viés	Não preocupante
Inconsistência	Preocupante
Indiretividade	Não preocupante
Imprecisão	Preocupante
Viés de publicação	Não foi possível determinar
Certeza global	⊕⊕○○
Tamanho de efeito geral [IC95%]	DMP = 0,57 [IC95% = 0,10 a 1,05]

Fonte: elaboração própria.

GRADE: *Grading of Recommendations, Assessment, Development, and Evaluation*. k: número de estudos incluídos na metanálise. DMP: diferença média padronizada (tamanho de efeito *g* de Hedges). IC95%: intervalo de confiança de 95%.

7 DISCUSSÃO

A presente revisão sistemática e metanálise analisou dados de sete estudos randomizados (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitroustias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016) e comparou os efeitos de aulas de anatomia humana utilizando espécimes cadavéricos com aulas utilizando modelos sintéticos sobre o desempenho acadêmico de estudantes de graduação em medicina. O resultado principal rejeitou a hipótese nula devido a uma diferença significativa no desempenho acadêmico entre os dois modelos de ensino, favorecendo os modelos sintéticos (DMP = 0,57 [IC95% = 0,10 a 1,05], “efeito moderado”), com evidência de heterogeneidade estatística substancial/considerável ($I^2 = 85,5\%$). Entretanto, o poder estatístico para detectar o menor efeito significativo utilizando um modelo de efeito aleatório foi baixo e, portanto, o principal achado deste estudo, a favor dos materiais sintéticos, pode estar com poder insuficiente.

Adicionalmente, a análise de sensibilidade (Figura 4) revelou que a diferença significativa, favorecendo os modelos sintéticos no desempenho acadêmico, não permaneceu após a remoção da maioria ($n = 4$, 57%) dos estudos incluídos na metanálise. Percebeu-se, ainda, que as aulas ofertadas em cada estudo foram ministradas em diferentes configurações (diferentes durações e diferentes estratégias de ensino, como: palestra combinada com sessão de autoaprendizagem ou palestra combinada com sessão de laboratório), e que os métodos de avaliação dos conhecimentos (questões de múltipla escolha e/ou marcações em estruturas anatômicas cadavéricas/sintéticas) bem como a forma de mensuração do desempenho acadêmico (escores percentuais ou absolutos, com diferentes intervalos) (Quadro 3). Essa heterogeneidade metodológica talvez possa explicar, em parte, porque os modelos sintéticos foram associados a um desempenho acadêmico superior, quando comparados aos espécimes cadavéricos, uma vez que diferentes percursos metodológicos nas intervenções e nos métodos de avaliação e mensuração dos desfechos podem elevar a variância de dados contínuos e, conseqüentemente, impactar nos testes de hipóteses. Contudo, considerando que a heterogeneidade metodológica pode impactar para ambas as direções do tamanho de efeito geral (isto é, a favor dos espécimes cadavéricos ou a favor dos modelos sintéticos), estudos experimentais homogêneos são necessários para reduzir os vieses metodológicos.

Conforme relatado no início deste estudo, uma revisão sistemática e metanálise, foi previamente publicada por Ye *et al.* (2020), com o intuito de sumarizar as evidências disponíveis sobre a aplicação de modelos 3D impressos (sintéticos) na educação médica. Os autores incluíram quatro estudos na metanálise que comparou esse modelo de ensino com espécimes cadavéricos (*prosections*) (Tanner *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016) e encontraram um efeito significativo a favor dos modelos 3D impressos (DMP = 0,69 [0,46 a 0,92], “efeito moderado”). Todavia, dois (Tanner *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018) dos quatro estudos incluídos não aplicaram intervenções com espécimes cadavéricos frescos ou em conserva (*prosections*). Especificamente, Smith *et al.* (2018) compararam o uso de modelos 3D impressos com imagens 2D no ensino da anatomia humana. Por outro lado, Tanner *et al.* (2020) relataram que o seu grupo controle recebeu um meio-crânio regularmente utilizado em laboratório e o grupo intervenção recebeu um modelo 3D impresso. Ao ser contatado, o autor correspondente afirmou que o meio-crânio regularmente utilizado em laboratório não se trata de um crânio humano, e sim um clone ósseo sintético (Quadro 2), revelando que a comparação investigada se deu entre dois materiais sintéticos. Diante do exposto, observa-se que os achados do presente estudo mostram avanços frente às evidências mais recentemente publicizadas acerca dessa comparação, ao realizar uma metanálise com um maior número de estudos e que incluiu apenas estudos que pudessem de fato responder à questão de pesquisa, sendo assim, capaz de contribuir de forma adequada para a elucidação dessa lacuna do conhecimento científico.

Percebeu-se, ainda, que o tamanho de efeito encontrado na presente metanálise foi consistente com o encontrado por Ye *et al.* (2020): um efeito significativo de tamanho moderado. Uma provável explicação para a semelhança entre os achados baseia-se no fato de que na presente metanálise apenas um (Zibis *et al.*, 2021) dos cinco estudos mais recentes (Yang *et al.*, 2023; Mogali *et al.*, 2022; Zibis *et al.*, 2021; Mitrousias *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2019) apresentou resultados favoráveis aos espécimes cadavéricos, e na metanálise de Ye *et al.* (2020) todos os estudos incluídos (Tanner *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2017; Lim *et al.*, 2016) apresentaram resultados favoráveis aos modelos sintéticos. Entretanto, é válido ressaltar que os IC95% encontrados receberam diferentes classificações, de modo que o relatado por Ye *et al.* (2020) variou de pequeno a grande, enquanto o IC95% determinado por esta metanálise variou de trivial a grande.

Diante desse contexto, não se pode assumir uma significância clínica (ou seja, inferir que a diferença encontrada reflete uma “diferença no mundo real”) apenas com base na significância estatística (Brown *et al.*, 2019). Isso porque não é prudente rejeitar valores pertencentes à faixa clinicamente não significativa ($DMP < 0,2$, “efeito trivial”), como o encontrado no limite inferior do IC95% associado ao resultado principal desta metanálise, mesmo sendo estatisticamente diferente do nulo e acompanhado de uma estimativa pontual acima da significância clínica ($DMP \geq 0,2$). Em outras palavras, não se pode rejeitar valores triviais (0,10 a 0,19), apesar de serem estatisticamente diferentes de zero e acompanhados de uma DMP de 0,57 (Figura 3).

Além disso, como foram incluídos apenas sete estudos nesta metanálise e todos tiveram estudantes de medicina como amostra, o presente estudo não consegue fornecer informações sobre os efeitos de aulas de anatomia humana com espécimes cadavéricos e modelos sintéticos no desempenho de estudantes de outros cursos de graduação em ciências da saúde (por exemplo, enfermagem, fisioterapia, educação física, farmácia, nutrição e biomedicina). Paralelamente, análises de subgrupos não planejadas, considerando outros fatores relacionados ao ensino da anatomia humana, como o conteúdo (coração x joelho x crânio x pescoço x membros superiores), o ano acadêmico dos alunos (primeiro x segundo x terceiro), o método de avaliação dos conhecimentos (questões de múltipla escolha x marcações em estruturas cadavéricas/sintéticas) e o tipo de espécime cadavérico utilizado nas aulas (*prosection* x *prosection* plastinada x modelo esquelético), também não puderam ser conduzidas devido à insuficiência de evidências disponíveis ($k < 10$). Dessa forma, o resultado principal encontrado por esta metanálise pode ter sido impulsionado por qualquer um desses fatores que estão intrinsecamente relacionados ao processo ensino-aprendizagem da anatomia humana.

Todavia, é importante fornecer análises aninhadas a respeito dos estudos incluídos na metanálise. A título de ilustração, os três estudos incluídos que utilizaram esqueletos humanos (articulação do joelho (Cai *et al.*, 2019) e crânio (Yang *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2017)) apresentaram um tamanho de efeito significativo e “grande” ($SMD = 1,08, 1,40$ e $0,84$, respectivamente), favorecendo os modelos sintéticos. Por outro lado, os estudos incluídos usando *prosections* musculoesqueléticas de membros superiores apresentaram um tamanho de efeito significativo e “moderado” ($SMD = 0,42$), a favor dos espécimes cadavéricos (Zibis *et al.*, 2021), e um efeito nulo de tamanho “trivial” ($SMD = 0,19$) (Mitrousias *et al.*, 2020). Além disso, os dois estudos

que utilizaram *prosections* plastinadas de coração apresentaram resultados contraditórios (Mogali *et al.*, 2022; Lim *et al.*, 2016) (Figura 3). Essas distintas descobertas podem sugerir que alguns conteúdos da anatomia humana podem ser melhor aprendidos com o auxílio de espécimes cadavéricos, enquanto outros podem ser melhor estudados com modelos sintéticos. Portanto, instaura-se uma lacuna que estudos futuros devem investigar.

Na literatura, observa-se que não existe um consenso entre os autores sobre a necessidade do uso de cadáveres para o ensino da anatomia humana (McMenamin *et al.*, 2018; Ghosh, 2017; Davis *et al.*, 2014; Aziz *et al.*, 2002). Um dos principais tópicos levantados a favor do uso de espécimes cadavéricos é a preferência dos estudantes de aprender a anatomia humana com cadáveres, o que provavelmente aumenta seus níveis de confiança no assunto (McMenamin *et al.*, 2018; Custers, 2010). Também foi relatado, como vantagens, que: as estruturas anatômicas são melhor impressas mentalmente quando os discentes veem a anatomia “de forma autêntica” (McMenamin *et al.*, 2018); que cadáveres podem influenciar positivamente a opinião pública em relação a decisões curriculares (Kuper; D'Eon, 2011); e que o contato com peças cadavéricas pode oferecer, ainda, a oportunidade de observar variações anatômicas, além de apoiar o desenvolvimento de habilidades práticas (Granger, 2004; Topp, 2004). Entretanto, algumas desvantagens relacionadas à adoção de espécimes cadavéricos para o ensino da anatomia humana são também reportadas, como: o fato de consumir tempo e de demandar pessoal qualificado o suficiente para confeccionar *prosections* em múltiplos cortes de cada região do corpo (Estai; Bunt, 2016; Dinsmore; Daugherty; Zeitz, 1999; Nnodim, 1997), de requerer orçamento constante relacionado ao local de armazenamento e manutenção (McLachlan; Patten, 2006; McLachlan; Regan de Bere, 2004), além de enfrentar barreiras legais, culturais, religiosas e populares que podem restringir a doação de corpos para o ensino da anatomia humana em todo o mundo (Brenner *et al.*, 2024; Habicht; Kiessling; Winkelmann, 2018; Melo; Pinheiro, 2010). Ainda, características dos espécimes cadavéricos, como o odor, e a falta de preparo prévio a exposições cadavéricas estão associados a reações emocionais negativas, como estresse e o desconforto entre os alunos (Mitrousias *et al.*, 2020; Qamar; Osama, 2014; Lee *et al.*, 2011; Ropars *et al.*, 2011).

Por outro lado, os modelos sintéticos humanos, inseridos no contexto do ensino da anatomia humana, são descritos como um recurso de baixo custo e de baixa

manutenção a longo prazo (Yamine; Violato, 2016; Lombardi *et al.*, 2014; Chan; Cheng, 2011), positivamente avaliado pelos estudantes (Mogali *et al.*, 2018; Wright, 2012), além de aprimorarem o conhecimento anatômico, atuando como auxiliares de memória e assemelhando-se às verdadeiras dimensões do corpo humano (Yamine; Violato, 2016), características que tornam os modelos sintéticos um modelo de ensino de fácil adesão curricular.

Apesar de todos os benefícios atrelados aos espécimes cadavéricos e aos modelos sintéticos no ensino da anatomia humana, é válido ressaltar que o principal objetivo dos cursos de graduação da área da saúde não é formar anatomistas, e sim capacitar indivíduos para o exercício clínico de forma eficaz (McMenamin *et al.*, 2018). Ademais, há uma exigência de que outros modelos de ensino sejam incorporados à educação anatômica, modelos que podem oferecer vantagens que estão para além das que os espécimes cadavéricos e os modelos sintéticos podem ofertar, como o uso de imagens médicas (McMenamin *et al.*, 2018), anatomia viva e pintura corporal (Finn; McLachlan, 2010; McLachlan, 2004; McLachlan; Regan de Bere, 2004), bem como modelos sintéticos eletrônicos e projeções de imagens nos corpos dos estudantes (McMenamin *et al.*, 2018). Ademais, dispositivos pertencentes à imagiologia também se encontram inseridos na transmissão dos conhecimentos anatômicos, como o ultrassom portátil (McMenamin *et al.*, 2018), descrito como um recurso seguro e não invasivo que, com orientação apropriada e consentimento prévio dos estudantes, pode ser utilizado entre os mesmos sem hesitação ou constrangimento, permitindo que visualizem, em tempo real, estruturas vivas em detalhes e de dentro corpo (Robertson *et al.*, 2024; McMenamin *et al.*, 2018; So; Patel; Orebaugh, 2017; Dreher; DePhilip; Bahner, 2014; Jurjus *et al.*, 2014; Brown *et al.*, 2012; Teichgräber *et al.*, 1996).

Por fim, no que se refere à dissecação, modelo de ensino físico historicamente descrito para o ensino da anatomia humana (Estai; Bunt, 2016; Azer; Eizenberg, 2007), não foram incluídos estudos que comparassem seus efeitos com os efeitos do uso de modelos sintéticos sobre o desempenho acadêmico. Esse critério foi adotado porque muitas universidades ainda não conseguem proporcionar o ensino da anatomia humana por meio de aulas de dissecação (ou seja, por meio de espécimes cadavéricos frescos e íntegros a serem dissecados diretamente pelos estudantes), e, portanto, espécimes cadavéricos em conserva (*prosections*) são utilizados para este fim. Ademais, é válido ressaltar que existe literatura que discute benefícios e

desvantagens da dissecação para a aprendizagem da anatomia humana, incluindo aspectos implícitos como a exposição à morte, treinamento de habilidades cirúrgicas, dilemas éticos, entre outros (Wilson *et al.*, 2018).

7.1 Limitações do estudo

Esta revisão sistemática e metanálise não é isenta de limitações. Em primeiro lugar, devido ao pequeno número de estudos incluídos na metanálise ($k = 7$) e a diferenças metodológicas significativas entre os estudos (por exemplo, diferentes localizações geográficas, conteúdos da anatomia humana, durações das intervenções, estratégias de ensino, métodos de avaliação dos conhecimentos e mensuração dos desfechos), nossos resultados devem ser interpretados com cautela. Em segundo lugar, o efeito moderado observado a favor das intervenções com modelos sintéticos encontra-se acompanhado por uma heterogeneidade estatística substancial/considerável. Em terceiro lugar, nosso principal resultado favorecendo os modelos sintéticos foi determinado sob a condição de um baixo poder estatístico para detectar o menor efeito significativo utilizando um modelo de efeito aleatório ($\approx 0,37$). Em quarto, a maioria dos estudos incluídos adotou instrumentos com questões de múltipla escolha e marcações em estruturas cadavéricas/sintéticas cuja reprodutibilidade não foi testada para a avaliação dos conhecimentos da anatomia humana, bem como delimitou diferentes durações de teste. Estudos futuros de avaliação da reprodutibilidade de instrumentos para este fim e novos ensaios clínicos randomizados utilizando testes padronizados e validados para avaliar o desempenho acadêmico em anatomia humana permitiriam reduzir o viés na mensuração desse desfecho. Em quinto, como alguns dos estudos incluídos ($n = 3$, 43%) aplicaram um desenho de estudo com grupos paralelos composto apenas por um pós-teste, os conhecimentos pré-intervenção dos alunos não foram avaliados e, conseqüentemente, a mudança nas pontuações dos estudantes do momento pré para o pós-intervenção não pôde ser calculada. Em sexto, dentre os estudos ($n = 4$, 57%) que aplicaram um delineamento experimental composto por grupos paralelos e com pré e pós-testes, apenas metade relatou a mudança nas pontuações. Em sétimo, os estudos incluídos avaliaram apenas a retenção de conhecimento a curto prazo, portanto, os achados provenientes deste estudo não devem ser extrapolados para outras circunstâncias, como a retenção de conhecimento a longo prazo. Em oitavo, o

tempo total das intervenções realizadas nos estudos incluídos variou de 30 minutos a 12 horas, período não representativo da duração geralmente adotada pelos currículos de graduação em ciências da saúde para a disciplina de anatomia humana (60 a 128 horas, por exemplo) (UFC, 2023, 2022a, 2022b, 2013a, 2013b; Unilab, 2022, 2016). Em nono, embora os procedimentos de busca, triagem e seleção dos estudos não tenham sido executados com quaisquer restrições relacionadas ao curso de graduação, os estudos incluídos na presente metanálise envolveram apenas estudantes de graduação em medicina, o que pode tornar seus achados representativos apenas dessa população. Por fim, em razão do pequeno número de estudos incluídos na metanálise ($k < 10$), não foi possível realizar as análises de subgrupos pré-planejadas ou determinar a presença ou a ausência de viés de publicação.

7.2 Perspectivas futuras

Embora todos os estudos incluídos tenham apresentado um baixo risco geral de viés e suas seções de resultados não pareçam indicar viés relacionado à seleção dos resultados reportados, recomenda-se fortemente que estudos futuros incluam todas as análises estatísticas planejadas em um registro prévio do estudo, a fim de permitir a verificação e a comparação dessas com aquelas relatadas no artigo publicado. Esse procedimento tem se tornado cada vez mais necessário (Hudson; Lauer; Collins, 2016) e aumenta a transparência na comunicação dos resultados dos estudos (Higgins *et al.*, 2023). Ainda, recomenda-se que futuros ensaios clínicos randomizados e controlados, com baixo risco de viés e que objetivem analisar os efeitos de intervenções em aulas de anatomia humana sobre o desempenho acadêmico relatem a diferença média entre os grupos e o seu desvio padrão ou, pelo menos, a diferença média dentro de cada grupo (também conhecida como mudança média [Δ] junto ao seu desvio padrão).

Além disso, como os estudos incluídos avaliaram a retenção de conhecimento de curto prazo (intervenções de 30 minutos [aula única] a 12 horas [ao longo de três semanas]), e como o contato prolongado com o conteúdo em estudo parece ser um determinante para a retenção de conhecimento de longo prazo (Custers, 2010), estudos que avaliem a retenção de conhecimento de anatomia humana de longo prazo são necessários para entender melhor este tópico.

Ademais, considerando todas as limitações apresentadas por esta revisão sistemática e metanálise, futuros ensaios clínicos randomizados e controlados, com alta qualidade metodológica, a inclusão de estudantes de diferentes cursos de graduação em ciências da saúde, e cujo tempo total das intervenções se assemelhe à duração geralmente atribuída às disciplinas de anatomia humana em cursos de graduação, são necessários para fornecer evidências mais consistentes e robustas, além do que ajudariam a elucidar se/quais dos fatores supracitados podem realmente influenciar nos desfechos relacionados aos conhecimentos e ao desempenho acadêmico em anatomia humana.

Por fim, embora se tenha constatado que o ensino da anatomia humana por meio de modelos sintéticos é capaz de favorecer o desempenho acadêmico, é válido ressaltar que a inclusão de modelos sintéticos no ensino da anatomia humana não deve justificar tomadas de ações deletérias e arbitrárias como, por exemplo, a remoção de espécimes cadavéricos (frescos ou em conserva) dos currículos acadêmicos que já dispõem desses recursos, tendo em vista os benefícios não relacionados ao desempenho acadêmico que esses são capazes de proporcionar. Por outro lado, os achados deste estudo podem transmitir aos docentes de anatomia humana a mensagem de que não estão realizando um trabalho inferior pelo fato de ensinarem com modelos sintéticos, assim como podem justificar a manutenção do ensino da anatomia humana por meio desse modelo de ensino em universidades que, por quaisquer motivos, ainda não possuam acesso a espécimes cadavéricos humanos para fins didáticos.

8 CONCLUSÕES

Em síntese, aulas de anatomia humana com intervenções de modelos sintéticos foram associadas a um efeito superior e moderado no desempenho acadêmico em anatomia humana, em comparação com aquelas ministradas com espécimes cadavéricos, para estudantes de graduação em medicina. No entanto, devido ao baixo poder estatístico do estudo e ao nível de evidência dos estudos incluídos rebaixado por inconsistência e imprecisão, novos estudos randomizados, com uma maior qualidade metodológica, com amostras mais robustas, provenientes de diferentes cursos de graduação em ciências da saúde e envolvendo diferentes conteúdos da anatomia humana, são necessários para que conclusões mais precisas possam ser inferidas.

REFERÊNCIAS

ABE, T. *et al.* Different resistance exercise interventions for handgrip strength in apparently healthy adults: a systematic review. **International Journal of Clinical Medicine**, [s. l.], v. 14, n. 12, p. 552–581, 2023.

AKDEMIR, A. H.; FARIMAZ, M.; SARGON, M. F. Comparison of the benefits of anatomical models in systematic anatomy education. **Surgical and Radiologic Anatomy**, A.H. Akdemir, Department of Anatomy, Hacettepe University, Turkey, v. 38, n. 1, p. 27, 2016.

AKOBENG, A. K. Understanding randomised controlled trials. **Archives of Disease in Childhood**, [s. l.], v. 90, n. 8, p. 840–844, 2005.

ALHARBI, Y. *et al.* Three-dimensional virtual reality as an innovative teaching and learning tool for human anatomy courses in medical education: a mixed methods study. **Cureus**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. e7085, 2020.

AZER, S. A.; EIZENBERG, N. Do we need dissection in an integrated problem-based learning medical course? Perceptions of first- and second-year students. **Surgical and Radiologic Anatomy**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 173–180, 2007.

AZIZ, M. A. *et al.* The human cadaver in the age of biomedical informatics. **The Anatomical Record**, [s. l.], v. 269, n. 1, p. 20–32, 2002.

BARTELLAS, M. P. Three-dimensional printing and medical education: a narrative review of the literature. **University of Ottawa Journal of Medicine**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 38–43, 2016.

BENNETT, S.; BENNETT, J. W. The process of evidence-based practice in occupational therapy: Informing clinical decisions. **Australian Occupational Therapy Journal**, [s. l.], v. 47, n. 4, p. 171–180, 2000.

BOFF, T. C. *et al.* O uso da tecnologia no ensino da anatomia humana: revisão sistemática da literatura de 2017 a 2020. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 53, p.447–455, 2020.

BOOTH, A. *et al.* The nuts and bolts of PROSPERO: an international prospective register of systematic reviews. **Systematic Reviews**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 1–8, 2012.

BORENSTEIN, M. *et al.* **Introduction to meta-analysis**. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2009.

BRENNER, E. *et al.* The legal and ethical framework governing body donation in Europe – 2nd update on current practice. **Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger**, [s. l.], v. 252, p. 152195, 2024.

BROWN, A. W. *et al.* Childhood obesity intervention studies: a narrative review and guide for investigators, authors, editors, reviewers, journalists, and readers to guard against exaggerated effectiveness claims. **Obesity Reviews**, [s. l.], v. 20, n. 11, p. 1523–1541, 2019.

BROWN, B. *et al.* Introduction of ultrasound into gross anatomy curriculum: perceptions of medical students. **The Journal of Emergency Medicine**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 1098–1102, 2012.

CAI, B. *et al.* The effects of a functional three-dimensional (3D) printed knee joint simulator in improving anatomical spatial knowledge. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 12, n. 6, p. 610–618, 2019.

ÇERI, N. G. Effect of non-cadaveric methods on the anatomy education of medical students. **Meandros Medical And Dental Journal**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 105-115, 2021.

CHAN, L. K.; CHENG, M. M. W. An analysis of the educational value of low-fidelity anatomy models as external representations. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 4, n. 5, p. 256–263, 2011.

CHANDRASEKARAN, R. *et al.* A validated instrument measuring students' perceptions on plastinated and three-dimensional printed anatomy tools. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 850–862, 2022.

CHEN, S. *et al.* The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trail. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 575, 2017.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral Sciences**. 2nd. ed. Hillsdale-New Jersey: Routledge, 1988.

CRAIG, S. *et al.* Review of anatomy education in Australian and New Zealand medical schools. **ANZ Journal of Surgery**, [s. l.], v. 80, n. 4, p. 212–216, 2010.

CURRAN, S. N.; SCHAEFER, A. F. Prosections in anatomy education: establishing a definition and describing preparation, use, and educator perceptions. **Medical Science Educator**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 385–393, 2023.

CUSTERS, E. J. F. M. Long-term retention of basic science knowledge: a review study. **Advances in Health Sciences Education**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 109–128, 2010.

DANGELO, J. G.; FATTINI, C. A. **Human anatomy - systemic and segmental**. São Paulo: Atheneu, 2011.

DAVIS, C. R. *et al.* Human anatomy: let the students tell us how to teach. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 262–272, 2014.

DE MORAIS JUNIOR, A. C. *et al.* The separate effects of whole oats and isolated beta-glucan on lipid profile: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Clinical Nutrition ESPEN**, [s. l.], v. 53, p. 224–237, 2023.

DINSMORE, C. E.; DAUGHERTY, S.; ZEITZ, H. J. Teaching and learning gross anatomy: dissection, prosection, or “both of the above”? **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 110–114, 1999.

DRAKE, R. L.; MCBRIDE, J. M.; PAWLINA, W. An update on the status of anatomical sciences education in United States medical schools. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 321–325, 2014.

DREHER, S. M.; DEPHILIP, R.; BAHNER, D. Ultrasound exposure during gross anatomy. **The Journal of Emergency Medicine**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 231–240, 2014.

ENCARNAÇÃO, I. G. A. *et al.* Effects of detraining on muscle strength and hypertrophy induced by resistance training: a systematic review. **Muscles**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–15, 2022.

ESTAI, M.; BUNT, S. Best teaching practices in anatomy education: a critical review. **Annals of Anatomy**, [s. l.], v. 208, p. 151–157, 2016.

EVANS, D. Hierarchy of evidence: a framework for ranking evidence evaluating healthcare interventions. **Journal of Clinical Nursing**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 77–84, 2003.

FAFENROT, S.; KORGER, M.; EHRMANN, A. Mechanical properties of composites from textiles and three-dimensional printed materials. *In*: JAWAID, M.; THARIQ, M.; SABA, N. (org.). **Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2019. p. 409–425.

FILHO, J. M. V. M. *et al.* Influence of sleep on motor skill acquisition in children: a systematic review. **Journal of Sleep Research**, [s. l.], v. 34, n. 2, 2025.

FINN, G. M.; MCLACHLAN, J. C. A qualitative study of student responses to body painting. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 33–38, 2010.

FRUHSTORFER, B. H. *et al.* The use of plastinated prosections for teaching anatomy — the view of medical students on the value of this learning resource. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 246–252, 2011.

GABARD, D. L.; LOWE, D. L.; CHANG, J. W. Current and future instructional methods and influencing factors in anatomy instruction in physical therapy and medical schools in the U.S. **Journal of allied health**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 53–62, 2012.

GARAS, M. *et al.* 3D-printed specimens as a valuable tool in anatomy education: a

pilot study. **Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger**, [s. l.], v. 219, p. 57–64, 2018.

GHOSH, S. K. Cadaveric dissection as an educational tool for anatomical sciences in the 21st century. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 286–299, 2017.

GOH, J. S. K. *et al.* Efficacy of plastinated specimens in anatomy education: a systematic review and meta-analysis. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 712–721, 2024.

GRIFFON, D. J. *et al.* Evaluation of a hemostasis model for reaching ovariohysterectomy in veterinary surgery. **Veterinary Surgery**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 309–316, 2000.

GUYATT, G. H. *et al.* GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. **BMJ**, [s. l.], v. 336, n. 7650, p. 924–926, 2008.

HABICHT, J. L.; KIESSLING, C.; WINKELMANN, A. Bodies for anatomy education in medical schools: an overview of the sources of cadavers worldwide. **Academic Medicine**, [s. l.], v. 93, n. 9, p. 1293–1300, 2018.

HADŽIOMEROVIĆ, N. *et al.* Students' performance in teaching neuroanatomy using traditional and technology-based methods. **Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia**, N. Hadžiomerović, Department of Basic Sciences of Veterinary Medicine, University of Sarajevo - Veterinary Faculty, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, v. 52, n. 1, p. 115–122, 2023.

HIGGINS, J. *et al.* **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.4 (updated August 2023)**. [S. l.], 2023.

HIGGINS, J. P. T. *et al.* Measuring inconsistency in meta-analyses. **BMJ**, [s. l.], v. 327, n. 7414, p. 557–560, 2003.

HIGGINS, J. P. T.; THOMPSON, S. G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. **Statistics in Medicine**, [s. l.], v. 21, n. 11, p. 1539–1558, 2002.

HOCHMAN, J. B. *et al.* Comparison of cadaveric and isomorphic three-dimensional printed models in temporal bone education. **The Laryngoscope**, [s. l.], v. 125, n. 10, p. 2353–2357, 2015.

HOZO, S. P.; DJULBEGOVIC, B.; HOZO, I. Estimating the mean and variance from the median, range, and the size of a sample. **BMC Medical Research Methodology**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 13, 2005.

HUDSON, K. L.; LAUER, M. S.; COLLINS, F. S. Toward a new era of trust and transparency in clinical trials. **JAMA**, [s. l.], v. 316, n. 13, p. 1353, 2016.

JOHNSON, E. O.; CHARCHANTI, A. V.; TROUPIS, T. G. Modernization of an anatomy class: From conceptualization to implementation. A case for integrated multimodal-multidisciplinary teaching. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 354–366, 2012.

JONES, D. G. Anatomists' uses of human skeletons: ethical issues associated with the India bone trade and anonymized archival collections. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 610–617, 2023.

JURJUS, R. A. *et al.* Can anatomists teach living anatomy using ultrasound as a teaching tool?. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 340–349, 2014.

KONG, X. *et al.* Do 3D printing models improve anatomical teaching about hepatic segments to medical students? A randomized controlled study. **World Journal of Surgery**, [s. l.], v. 40, n. 8, p. 1969–1976, 2016.

KUPER, A.; D'EON, M. Rethinking the basis of medical knowledge. **Medical Education**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 36–43, 2011.

LATORRE, R. M. *et al.* How useful is plastination in learning anatomy?. **Journal of Veterinary Medical Education**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 172–176, 2007.

LEE, Y. H. *et al.* Reactions of first-year medical students to cadaver dissection and their perception on learning methods in anatomy. **Korean Journal of Medical Education**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 275–283, 2011.

LEVERITT, S. *et al.* What anatomy is clinically useful and when should we be teaching it?. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 468–475, 2016.

LEWIS, T. L. *et al.* Complementing anatomy education using three-dimensional anatomy mobile software applications on tablet computers. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 313–320, 2014.

LI, Zhenzhu *et al.* Three-dimensional printing models improve understanding of spinal fracture—a randomized controlled study in China. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 11570, 2015.

LIM, K. H. *et al.* Use of 3D printed models in medical education: a randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 213–221, 2016.

LOMBARDI, S. A. *et al.* Are all hands-on activities equally effective? Effect of using plastic models, organ dissections, and virtual dissections on student learning and perceptions. **Advances in Physiology Education**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 80–86, 2014.

LYONS, V. T. **Netter: anatomia sistêmica essencial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.

MAANI, A. *et al.* The future of morphological science education: learning and teaching anatomy in the wake of the COVID-19 pandemic. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 20, n. 7, p. 5367, 2023.

MARTINI, F. H.; TIMMONS, M. J.; ROBERT, B. T. **Anatomia humana**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

MCGUINNESS, L. A.; HIGGINS, J. P. T. Risk-of-bias VISualization (robvis): an R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. **Research Synthesis Methods**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 55–61, 2021.

MCLACHLAN, J. C. New path for teaching anatomy: living anatomy and medical imaging vs. dissection. **The Anatomical Record Part B: The New Anatomist**, [s. l.], v. 281B, n. 1, p. 4–5, 2004.

MCLACHLAN, J. C. *et al.* Teaching anatomy without cadavers. **Medical Education**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 418–424, 2004.

MCLACHLAN, J. C.; PATTEN, D. Anatomy teaching: ghosts of the past, present and future. **Medical Education**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 243–253, 2006.

MCLACHLAN, J. C.; REGAN DE BERE, S. How we teach anatomy without cadavers. **The Clinical Teacher**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 49–52, 2004.

MCMENAMIN, P. G. *et al.* Do we really need cadavers anymore to learn anatomy in undergraduate medicine?. **Medical Teacher**, [s. l.], v. 40, n. 10, p. 1020–1029, 2018.

MEDEIROS, F. *et al.* Acute effects of foam roller or stick massage on indirect markers from exercise-induced muscle damage in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, [s. l.], v. 35, p. 273–283, 2023.

MELO, E. N. de; PINHEIRO, J. T. Legal procedures and protocols for use of cadavers in anatomy courses in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Educação Médica**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 315–323, 2010.

MITROUSIAS, V. *et al.* Anatomy learning from prosected cadaveric specimens versus plastic models: a comparative study of upper limb anatomy. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 436–444, 2020.

MITROUSIAS, V. *et al.* Anatomy learning from prosected cadaveric specimens versus three-dimensional software: a comparative study of upper limb anatomy. **Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger**, [s. l.], v. 218, p. 156–164, 2018.

MODA, T. E. dos R. *et al.* Responsiveness of functional performance and muscle strength, power, and size to resistance training: a systematic review. **Sports Medicine and Health Science**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 111–122, 2024.

MOGALI, S. R. *et al.* Evaluation by medical students of the educational value of multi-material and multi-colored three-dimensional printed models of the upper limb for anatomical education. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 54–64, 2018.

MOGALI, S. R. *et al.* Investigating the effectiveness of three-dimensionally printed anatomical models compared with plastinated human specimens in learning cardiac and neck anatomy: a randomized crossover study. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 1007–1017, 2022.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **BMJ**, [s. l.], v. 339, p. b2535, 2009.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F. **Clinically Oriented Anatomy**. 8. ed. Philadelphia: Wolters Kluwe, 2018.

MOXHAM, B. *et al.* A core syllabus for the teaching of neuroanatomy to medical students. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 28, n. 6, p. 706–716, 2015.

MOXHAM, B. J.; PLAISANT, O. Perception of medical students towards the clinical relevance of anatomy. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 560–564, 2007.

MOXHAM, B.; PLAISANT, O. The history of the teaching of gross anatomy - how we got to where we are!. **European Journal of Anatomy**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 219–244, 2014.

NNODIM, J. O. A controlled trial of peer-teaching in practical gross anatomy. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 112–117, 1997.

OH, C.-S.; KIM, J.-Y.; CHOE, Y. H. Learning of cross-sectional anatomy using clay models. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 156–159, 2009.

OUZZANI, M. *et al.* Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 210, 2016.

PAGE, Matthew J *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, [s. l.], n. 71, 2021.

PAGE, Matthew J. *et al.* Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. **Journal of Clinical Epidemiology**, [s. l.], v. 134, p. 103–112, 2021.

PAIS, D. *et al.* Outcomes and satisfaction of two optional cadaveric dissection courses: A 3-year prospective study. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 127–136, 2017.

PAPA, V.; VACCAREZZA, M. Teaching anatomy in the XXI century: new aspects and pitfalls. **The Scientific World Journal**, [s. l.], v. 2013, p. 310348, 2013.

PENHA, N. M. *et al.* Uso de peças cadavéricas e modelos sintéticos no ensino da anatomia nos cursos de enfermagem. **Revista de Enfermagem da UFSM**, [s. l.], v. 10, p. e35, 2020.

PEREDA-NUÑEZ, A. *et al.* Pelvic + Anatomy: a new interactive pelvic anatomy model. Prospective randomized control trial with first-year midwife residents. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 843–857, 2023.

QAMAR, K.; AHMAD, A.; ASHAR, A. Comparison of learning anatomy with cadaveric dissection and plastic models by medical students. **Pakistan Armed Forces Medical Journal**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 219–224, 2014.

QAMAR, K.; OSAMA, M. Role of dissection in light of students' perceptions. **JPMA**, [s. l.], v. 64, n. 9, p. 1021–1024, 2014.

QUINTANA, D.; TIEBEL, J. **How to calculate statistical power for your meta-analysis**. [S. l.]: Open Science FrameWork, 2019.

RANGEL, J. G. *et al.* Studies of classical ballet dancers' equilibrium at different levels of development and versus non-dancers: a systematic review. **Journal of Dance Medicine & Science**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 33–43, 2020.

RICHARDSON, N. S. *et al.* Exploring the utility and student perceptions of synthetic cadavers in an undergraduate human anatomy course. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 605–614, 2021.

RIEDERER, B. M. Plastination and its importance in teaching anatomy. Critical points for long-term preservation of human tissue. **Journal of Anatomy**, [s. l.], v. 224, n. 3, p. 309–315, 2014.

ROBERTSON, T. *et al.* Ultrasound incorporation in gross anatomy labs in a master of medical sciences program. **Journal of Ultrasound in Medicine**, [s. l.], v. 43, n. 6, p. 999–1011, 2024.

RODRIGUES, A. M. de B. P. *et al.* Does yoga improve sexual function? A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. **Complementary Therapies in Clinical Practice**, [s. l.], v. 56, p. 101864, 2024.

RONCATO, P. A. *et al.* Uso de tecnologias no ensino de anatomia humana em cursos da saúde. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 16, p. e520111638426, 2022.

ROPARS, M. *et al.* Enquête sur les attentes et appréhensions des étudiants de deuxième année de médecine au cours des séances de dissections. **Morphologie**, [s. l.], v. 136, n. 5, p. 101–106, 2022.

.I.], v. 95, n. 309, p. 60–64, 2011.

SALBEGO, C. *et al.* Percepções acadêmicas sobre o ensino e a aprendizagem em anatomia humana. **Revista Brasileira de Educação Médica**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 23–31, 2015.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.

SCHOENFELD-TACHER, R. M. *et al.* Evaluation of 3D additively manufactured canine brain models for teaching veterinary neuroanatomy. **Journal of Veterinary Medical Education**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 612–619, 2017.

SCOTT, J.; GRAAL, M. Student failure in first year modules in the biosciences: an interview based investigation. **Bioscience Education**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1–8, 2007.

SEIFERT, L. B. *et al.* 3D-printed patient individualised models vs cadaveric models in an undergraduate oral and maxillofacial surgery curriculum: comparison of student's perceptions. **European Journal of Dental Education**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 799–806, 2020.

SHARMA, S.; GOEL, S. A. Three-dimensional printing and its future in medical world. **Journal of Medical Research and Innovation**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. e000141, 2018.

SMITH, C. F. *et al.* Take away body parts! An investigation into the use of 3D-printed anatomical models in undergraduate anatomy education. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 44–53, 2018.

SO, S.; PATEL, R. M.; OREBAUGH, S. L. Ultrasound imaging in medical student education: impact on learning anatomy and physical diagnosis. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 176–189, 2017.

SORA, M. *et al.* Plastination—a scientific method for teaching and research. **Anatomia, Histologia, Embryologia**, [s. l.], v. 48, n. 6, p. 526–531, 2019.

SPENCE, A. **Basic Human Anatomy**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1991.

STATA CORP. **Stata statistical software: release 18**. College Station, Texas: StataCorp LLC, 2023.

STERNE, J. A. C. *et al.* RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. **BMJ**, [s. l.], v. 366, p. l4898, 2019.

SUGAND, K.; ABRAHAMS, P.; KHURANA, A. The anatomy of anatomy: a review for its modernization. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 83–93, 2010.

TANNER, J. A. *et al.* A three-dimensional print model of the pterygopalatine fossa significantly enhances the learning experience. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 568–580, 2020.

TEICHGRÄBER, U. K. M. *et al.* Ultrasound anatomy: a practical teaching system in human gross anatomy. **Medical Education**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 296–298, 1996.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Princípios de anatomia e fisiologia**. 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

TRELEASE, R. B. From chalkboard, slides, and paper to e-learning: how computing technologies have transformed anatomical sciences education. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 583–602, 2016.

UFC. **Projeto Político Pedagógico do curso de Educação Física (Bacharelado)**. Fortaleza: [s. n.], 2013.

UFC. **Projeto Político Pedagógico do curso de Educação Física (Licenciatura)**. Fortaleza: [s. n.], 2013.

UFC. **Projeto Político Pedagógico do curso de Enfermagem**. Fortaleza: [s. n.], 2022.

UFC. **Projeto Político Pedagógico do curso de Farmácia**. Fortaleza: [s. n.], 2023.

UFC. **Projeto Político Pedagógico do curso de Odontologia**. Fortaleza: [s. n.], 2022.

UNILAB. **Projeto Pedagógico do curso de graduação em Farmácia**. Redenção: [s. n.], 2022.

UNILAB. **Projeto Político-Pedagógico do curso de Enfermagem**. Redenção: [s. n.], 2016.

VALENTINE, J. C.; PIGOTT, T. D.; ROTHSTEIN, H. R. How many studies do you need? A primer on statistical power for meta-analysis. **Journal of Educational and Behavioral Statistics**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 215–247, 2010.

VIANA, R. B. *et al.* Improving academic performance of sport and exercise science undergraduate students in gross anatomy using a near-peer teaching program. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 74–81, 2019.

VIANA, R. B. **Revisão sistemática e metanálise**. 1. ed. Goiânia - GO: DigitalPub, 2021.

VIANA, R. B. *et al.* The effects of exergames on anxiety levels: a systematic review

and meta-analysis. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [s. l.], v. 30, n. 7, p. 1100–1116, 2020.

VIANA, R. B. *et al.* The effects of exergames on muscle strength: a systematic review and meta-analysis. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, [s. l.], v. 31, n. 8, p. 1592–1611, 2021.

VIANA, R. B.; DA SILVA, W. F.; DE LIRA, C. A. B. Effects of chewing training on orofacial and cognitive function in healthy individuals: a systematic review. **Cosmetics**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 23, 2020.

WAGER, E.; WIFFEN, P. J. Ethical issues in preparing and publishing systematic reviews. **Journal of Evidence-Based Medicine**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 130–134, 2011.

WALLACE, S. S. *et al.* Hierarchy of evidence within the medical literature. **Hospital Pediatrics**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 745–750, 2022.

WANG, Z. M. *et al.* Is a three-dimensional printing model better than a traditional cardiac model for medical education? A pilot randomized controlled study. **Acta Cardiologica Sinica**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 664–669, 2017.

WILSON, A. B. *et al.* A meta-analysis of anatomy laboratory pedagogies. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 122–133, 2018.

WINKELMANN, A. Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence. **Medical Education**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 15–22, 2007.

WRIGHT, S. J. Student perceptions of an upper-level, undergraduate human anatomy laboratory course without cadavers. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 146–157, 2012.

YAMMINE, K. The current status of anatomy knowledge: Where are we now? Where do we need to go and how do we get there?. **Teaching and Learning in Medicine**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 184–188, 2014.

YAMMINE, K.; VIOLATO, C. The effectiveness of physical models in teaching anatomy: a meta-analysis of comparative studies. **Advances in Health Sciences Education**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 883–895, 2016.

YANG, M.-Y. *et al.* Effects of the individual three-dimensional printed craniofacial bones with a quick response code on the skull spatial knowledge of undergraduate medical students. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 858–869, 2023.

YE, Z. *et al.* The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: a systematic review and meta-analysis. **BMC Medical Education**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 335, 2020.

YILMAZ, H.; GÜLER, H. Can video-assisted and three-dimensional (3D) anatomy teaching be an alternative to traditional anatomy teaching? Randomized controlled trial on muscular system anatomy. **Clinical Anatomy**, [s. l.], v. Online ahe, p. 1–6, 2023.

ZENG, L. *et al.* GRADE guidelines 32: GRADE offers guidance on choosing targets of GRADE certainty of evidence ratings. **Journal of Clinical Epidemiology**, [s. l.], v. 137, p. 163–175, 2021.

ZIBIS, A. *et al.* Musculoskeletal anatomy: evaluation and comparison of common teaching and learning modalities. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1517, 2021.

ANEXO A – PROTOCOLO DE REGISTRO DO ESTUDO NA PROSPERO

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews

NHS
National Institute for
Health Research

UNIVERSITY of York
Centre for Reviews and Dissemination

Systematic review

This record cannot be edited because it has been marked as out of scope

1. * Review title.

Give the title of the review in English

Academic performance in human anatomy with prosections or synthetic models in health sciences undergraduate courses: a systematic review and meta-analysis

2. Original language title.

For reviews in languages other than English, give the title in the original language. This will be displayed with the English language title.

Desempenho acadêmico em anatomia humana com peças cadavéricas ou modelos sintéticos em cursos da área da saúde: uma revisão sistemática e metanálise

3. * Anticipated or actual start date.

Give the date the systematic review started or is expected to start.

29/08/2023

4. * Anticipated completion date.

Give the date by which the review is expected to be completed.

31/12/2023

5. * Stage of review at time of this submission.

This field uses answers to initial screening questions. It cannot be edited until after registration.

Tick the boxes to show which review tasks have been started and which have been completed.

Update this field each time any amendments are made to a published record.

The review has not yet started: Yes

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



Preliminary searches	No	No
Piloting of the study selection process	No	No
Formal screening of search results against eligibility criteria	No	No
Data extraction	No	No
Risk of bias (quality) assessment	No	No
Data analysis	No	No

Provide any other relevant information about the stage of the review here.

6. * Named contact.

The named contact is the guarantor for the accuracy of the information in the register record. This may be any member of the review team.

Dr Ricardo Viana

Email salutation (e.g. "Dr Smith" or "Joanne") for correspondence:

Dr Viana

7. * Named contact email.

Give the electronic email address of the named contact.

vianaricardoborges@ufc.br

8. Named contact address

Give the full institutional/organisational postal address for the named contact.

Av. Mister Hull, SVN, Parque Esportivo - Bloco 320, Campus do Pici – CEP 60455-760\nFortaleza – Ceará – Brazil

9. Named contact phone number.

Give the telephone number for the named contact, including international dialling code.

+5562982944500

10. * Organisational affiliation of the review.

Full title of the organisational affiliations for this review and website address if available. This field may be

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



completed as 'None' if the review is not affiliated to any organisation.

Federal University of Ceará

Organisation web address:

<https://iefes.ufc.br/pt>

11. * Review team members and their organisational affiliations.

Give the personal details and the organisational affiliations of each member of the review team. Affiliation refers to groups or organisations to which review team members belong. **NOTE: email and country now MUST be entered for each person, unless you are amending a published record.**

Mr Arthur Lima. Federal University of Ceará
 Miss Gabriela Santana. Federal University of Ceará
 Miss Jocilene Ribeiro. Federal University of Ceará
 Dr Ricardo Viana. Federal University of Ceará

12. * Funding sources/sponsors.

Details of the individuals, organizations, groups, companies or other legal entities who have funded or sponsored the review.

Not applicable.

Grant number(s)

State the funder, grant or award number and the date of award

Not applicable.

13. * Conflicts of interest.

List actual or perceived conflicts of interest (financial or academic).

None

All the authors have no conflict of interest.

14. Collaborators.

Give the name and affiliation of any individuals or organisations who are working on the review but who are not listed as review team members. **NOTE: email and country must be completed for each person, unless you are amending a published record.**

15. * Review question.

State the review question(s) clearly and precisely. It may be appropriate to break very broad questions down into a series of related more specific questions. Questions may be framed or refined using PI(E)COS or similar where relevant.

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



Does the use of synthetic anatomical models in teaching human anatomy promote greater academic performance in health sciences undergraduate students than the use of prosections?

16. * Searches.

State the sources that will be searched (e.g. Medline). Give the search dates, and any restrictions (e.g. language or publication date). Do NOT enter the full search strategy (it may be provided as a link or attachment below.)

English-language searches of the electronic databases PubMed/MEDLINE, Scopus, Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), Excerpta Medica Database (Embase), and Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) will be conducted by two independent researchers. Articles will be retrieved from electronic databases combining the following terms: (“adults” OR “students” OR “health science students” OR “undergraduate students”) AND (“cadavers” OR “cadaveric models” OR “prosections” OR “plastic models” OR “plastic physical model” OR “synthetic models” OR “synthetic anatomical models”). Moreover, Google Scholar will be also searched by combining only the population and intervention keywords to find records which presented all these words in records’ title. Search of reference lists of included studies will be also performed.

17. URL to search strategy.

Upload a file with your search strategy, or an example of a search strategy for a specific database, (including the keywords) in pdf or word format. In doing so you are consenting to the file being made publicly accessible. Or provide a URL or link to the strategy. Do NOT provide links to your search **results**.

Alternatively, upload your search strategy to CRD in pdf format. Please note that by doing so you are consenting to the file being made publicly accessible.

Do not make this file publicly available until the review is complete

18. * Condition or domain being studied.

Give a short description of the disease, condition or healthcare domain being studied in your systematic review.

The impact of prosections and synthetic models in academic performance in human anatomy of health science undergraduate students.

19. * Participants/population.

Specify the participants or populations being studied in the review. The preferred format includes details of both inclusion and exclusion criteria.

Health science undergraduate students.

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



20. * Intervention(s), exposure(s).

Give full and clear descriptions or definitions of the interventions or the exposures to be reviewed. The preferred format includes details of both inclusion and exclusion criteria.

Human anatomy classes with prosections.

21. * Comparator(s)/control.

Where relevant, give details of the alternatives against which the intervention/exposure will be compared (e.g. another intervention or a non-exposed control group). The preferred format includes details of both inclusion and exclusion criteria.

Human anatomy classes with synthetic models.

22. * Types of study to be included.

Give details of the study designs (e.g. RCT) that are eligible for inclusion in the review. The preferred format includes both inclusion and exclusion criteria. If there are no restrictions on the types of study, this should be stated.

Randomized and non-randomized studies.

23. Context.

Give summary details of the setting or other relevant characteristics, which help define the inclusion or exclusion criteria.

Studies in health science undergraduate courses involving human anatomy teaching models.

24. * Main outcome(s).

Give the pre-specified main (most important) outcomes of the review, including details of how the outcome is defined and measured and when these measurement are made, if these are part of the review inclusion criteria.

Academic performance.

Measures of effect

Please specify the effect measure(s) for you main outcome(s) e.g. relative risks, odds ratios, risk difference, and/or 'number needed to treat.

Standardized mean difference (SMD) with 95% confidence intervals (CI).

25. * Additional outcome(s).

List the pre-specified additional outcomes of the review, with a similar level of detail to that required for main outcomes. Where there are no additional outcomes please state 'None' or 'Not applicable' as appropriate to the review

Students perceptions about human anatomy classes.

Measures of effect

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



Please specify the effect measure(s) for you additional outcome(s) e.g. relative risks, odds ratios, risk difference, and/or 'number needed to treat.

Standardized mean difference (SMD) with 95% confidence intervals (CI).

26. * Data extraction (selection and coding).

Describe how studies will be selected for inclusion. State what data will be extracted or obtained. State how this will be done and recorded.

The following study characteristics will be extracted: authors, publication year, participants characteristics (sample size, age, sex, and undergraduate information [course, year...]), academic performance, method used to measure academic performance, students perceptions about human anatomy classes and characteristics of the human anatomy teaching modalities (intervention duration, session [classes] duration, weekly frequency, and human anatomy content). These data will be extracted from the included studies independently by two researchers, with disagreements resolved by consensus between both researchers, and when necessary, by a third researcher.

27. * Risk of bias (quality) assessment.

State which characteristics of the studies will be assessed and/or any formal risk of bias/quality assessment tools that will be used.

Two authors will independently assess the risk of bias in randomized and non-randomized included studies using version 2 of the Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials (RoB 2) (Sterne et al 2019) and the Risk Of Bias In Non-randomized Studies - of Interventions (ROBINS-I) (Sterne et al 2016), respectively.

Traffic light and weighted summary risk-of-bias plots for randomized and non-randomized included studies will be produced by the online Risk of bias (robvis) tool (<https://mcguinlu.shinyapps.io/robvis/>). Any discrepancies will be resolved through discussion and, when necessary, by a third author.

28. * Strategy for data synthesis.

Describe the methods you plan to use to synthesise data. This **must not be generic text** but should be **specific to your review** and describe how the proposed approach will be applied to your data. If meta-analysis is planned, describe the models to be used, methods to explore statistical heterogeneity, and software package to be used.

In case of available data from the included studies a between-group meta-analysis using continuous data and random effects models or fixed-effects models (if applicable), to compare the effects of human anatomy class with prosections versus human anatomy class with synthetic models on academic performance will be conducted. Standardized mean differences (SMD) with 95% confidence intervals will be used to measure the effect of teaching models. The SMD values of 0.20 indicate trivial, 0.20 to 0.49 indicate small, 0.50 to 0.79 indicate medium, and ?0.80 indicates large effects. Standardized effects will be calculated in such a manner that a positive effect size value favored the synthetic models. If a study did not report the mean changes and standard deviation of mean changes (SD of change) of academic performance, we will calculate this

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



information using raw data. Mean changes for prosections and synthetic models will be calculated as their respective post-intervention mean value minus baseline mean value. These data will be used to calculated MD between groups.

The SD of change will be calculated using the following formula: $SD\ change = \sqrt{((SD_{pre-test})^2 + (SD_{post-test})^2) - (2r \times SD_{pre-test} \times SD_{post-test})}$. Statistical heterogeneity will be assessed using tau squared (τ^2), Q statistic (the significance level will be set at $p < 0.10$), and the inconsistency I^2 test. The I^2 statistic estimates the degree of heterogeneity in effects among a set of studies between 0 and 100%, in which values above 30%, 50%, and 75% were considered indicative of moderate, substantial, and high heterogeneity, respectively. Publication bias was visually assessed using funnel plots by plotting the SMD of each trial against its standard error. "Egger's regression test" will be performed through Jeffreys's Amazing Statistics Program (JASP, University of Amsterdam, The Netherlands) to assess asymmetry of the funnel plot for all meta-analyses involving at least 10 original studies. Sensitivity analyses (the one study-removed method) will be conducted to consider the influence of each study on the overall results. All statistical analyses will be performed in Review Manager (RevMan) using an alpha level of p equal or lower than 0.05.

29. * Analysis of subgroups or subsets.

State any planned investigation of 'subgroups'. Be clear and specific about which type of study or participant will be included in each group or covariate investigated. State the planned analytic approach. If applicable, subgroup analyses will be performed to test whether the undergraduate course (medical vs non-medical) will influence the results.

30. * Type and method of review.

Select the type of review, review method and health area from the lists below.

Type of review

Cost effectiveness

No

Diagnostic

No

Epidemiologic

No

Individual patient data (IPD) meta-analysis

No

Intervention

No

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



Living systematic review

No

Meta-analysis

Yes

Methodology

No

Narrative synthesis

No

Network meta-analysis

No

Pre-clinical

No

Prevention

No

Prognostic

No

Prospective meta-analysis (PMA)

No

Review of reviews

No

Service delivery

No

Synthesis of qualitative studies

No

Systematic review

Yes

Other

No

Health area of the review

Alcohol/substance misuse/abuse

No

Blood and immune system

No

Cancer

No

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



Cardiovascular

No

Care of the elderly

No

Child health

No

Complementary therapies

No

COVID-19

No

Crime and justice

No

Dental

No

Digestive system

No

Ear, nose and throat

No

Education

Yes

Endocrine and metabolic disorders

No

Eye disorders

No

General interest

No

Genetics

No

Health inequalities/health equity

No

Infections and infestations

No

International development

No

Mental health and behavioural conditions

No

Musculoskeletal

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



No

Neurological

No

Nursing

No

Obstetrics and gynaecology

No

Oral health

No

Palliative care

No

Perioperative care

No

Physiotherapy

No

Pregnancy and childbirth

No

Public health (including social determinants of health)

No

Rehabilitation

No

Respiratory disorders

No

Service delivery

No

Skin disorders

No

Social care

No

Surgery

No

Tropical Medicine

No

Urological

No

Wounds, injuries and accidents

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



No

Violence and abuse

No

31. Language.

Select each language individually to add it to the list below, use the bin icon to remove any added in error.

English

There is not an English language summary

32. * Country.

Select the country in which the review is being carried out. For multi-national collaborations select all the countries involved.

Brazil

33. Other registration details.

Name any other organisation where the systematic review title or protocol is registered (e.g. Campbell, or The Joanna Briggs Institute) together with any unique identification number assigned by them. If extracted data will be stored and made available through a repository such as the Systematic Review Data Repository (SRDR), details and a link should be included here. If none, leave blank.

34. Reference and/or URL for published protocol.

If the protocol for this review is published provide details (authors, title and journal details, preferably in Vancouver format)

Add web link to the published protocol.

Or, upload your published protocol here in pdf format. Note that the upload will be publicly accessible.

No I do not make this file publicly available until the review is complete

Please note that the information required in the PROSPERO registration form must be completed in full even if access to a protocol is given.

35. Dissemination plans.

Do you intend to publish the review on completion?

Yes

PROSPERO
International prospective register of systematic reviews



Give brief details of plans for communicating review findings.?

A manuscript will be submitted to a leading journal in the human anatomy education field.

36. Keywords.

Give words or phrases that best describe the review. Separate keywords with a semicolon or new line. Keywords help PROSPERO users find your review (keywords do not appear in the public record but are included in searches). Be as specific and precise as possible. Avoid acronyms and abbreviations unless these are in wide use.

37. Details of any existing review of the same topic by the same authors.

If you are registering an update of an existing review give details of the earlier versions and include a full bibliographic reference, if available.

Not applicable.

38. * Current review status.

Update review status when the review is completed and when it is published. New registrations must be ongoing so this field is not editable for initial submission.

Please provide anticipated publication date

Review_Ongoing

39. Any additional information.

Provide any other information relevant to the registration of this review.

Not applicable.

40. Details of final report/publication(s) or preprints if available.

Leave empty until publication details are available OR you have a link to a preprint (NOTE: this field is not editable for initial submission). List authors, title and journal details preferably in Vancouver format.

Give the link to the published review or preprint.

ANEXO B – ARTIGO CIENTÍFICO PUBLICADO NO *JOURNAL OF BIOLOGICAL EDUCATION*

JOURNAL OF BIOLOGICAL EDUCATION
<https://doi.org/10.1080/00219266.2025.2489522>

 **Routledge**
 Taylor & Francis Group

REVIEW ARTICLE



Cadaveric specimens versus synthetic models for learning gross human anatomy: a systematic review and meta-analysis

Arthur Castro de Lima ^{a,b}, Caio Erick Vieira de Souza ^{a,b}, Jocilene Matos Ribeiro ^a,
 Ketlen Joelle do Nascimento Pessoa ^a, Carlos Kauan Costa da Silva ^a,
 Claudio Andre Barbosa de Lira ^c and Ricardo Borges Viana ^{a,b}

^aLaboratório de Anatomia Humana, Instituto de Educação Física e Esportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil; ^bPrograma de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais, Departamento de Morfologia, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil; ^cFaculdade de Educação Física e Dança, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brazil

ABSTRACT

Gross human anatomy taught through cadaveric specimens (e.g. prosections, plastinated prosections and skeletons) or synthetic models has controversial results in the literature. This systematic review and meta-analysis compared the academic performance of undergraduate health science students who studied gross human anatomy in cadaveric specimens versus those who studied in human synthetic models. English-language searches of six data bases were conducted. The GRADE approach was used to assess the certainty of evidence. Seven randomised trials that enrolled 536 medical undergraduate students were included in the meta-analysis. There was a significant moderate difference in academic performance between groups (standardised mean difference: 0.57 [95% confidence interval: 0.10 to 1.05], $p = 0.018$), favouring synthetic models' interventions, with substantial/considerable heterogeneity, and low certainty evidence. Human anatomy classes with synthetic models' interventions were associated with a moderate effect on human anatomy academic performance compared to cadaveric specimens in undergraduate medical students. The present study should not be used to justify removing real human specimens from curricula without fully understanding the other benefits that real human specimens provide. Conversely, our findings can at least justify the maintenance of teaching gross human anatomy through synthetic models in universities that, for any reason, still do not have access to cadavers.

ARTICLE HISTORY

Received 8 July 2024
 Accepted 1 March 2025

KEYWORDS

Anatomy teaching; gross anatomy education; synthetic models; prosection; students

Introduction

Human anatomy is a descriptive science that details the location of our organs and investigates their forms (Moore and Dalley 2018; Spence 1991). Therefore, the gross human anatomy course is considered one of the cornerstones of the curricula of health science undergraduate programs (Dangelo and Fattini 2011; Estai and Bunt 2016; Moore and Dalley 2018; Papa et al. 2013; Viana et al. 2019). Teaching human anatomy is one of the most controversial topics in health science programs (Leveritt et al. 2016) and, like any course, requires constant revision and analysis to determine the teaching tools and approaches best suiting the learning process (Moxham and Plaisant 2007). In this sense, the understanding and knowledge of different anatomic models for

CONTACT Ricardo Borges Viana  vianaricardoborges@ufc.br

 Supplemental data for this article can be accessed online at <https://doi.org/10.1080/00219266.2025.2489522>

© 2025 Royal Society of Biology

teaching gross human anatomy can help professors better select and/or improve their teaching materials and strategies for enhancing human anatomy apprenticeship among health science undergraduate students.

Since the 17th century, dissection has been the primary physical method for teaching gross human anatomy (Azer and Eizenberg 2007; Estai and Bunt 2016; McLachlan and Patten 2006). However, prosections, an already dissected or sometimes plastinated specimen (Estai and Bunt 2016), are considered a time-saving teaching method compared to dissection (Dinsmore, Daugherty, and Zeitz 1999; McLachlan et al. 2004). Plastination is another scientific method for teaching and researching human anatomy (Sora et al. 2019). In short, plastinated specimens are prepared through a process called plastination, also known as forced polymer impregnation, which is an ideal method for long-term tissue, whole body or body part preservation (Riederer 2014).

Although cadaveric specimen preparation is time-consuming and requires sufficient skilled personnel to create multiple prosections of each body region (Dinsmore, Daugherty, and Zeitz 1999; Estai and Bunt 2016; Nnodim 1997), several still consider cadaveric specimens to be the gold standard teaching method (Aziz et al. 2002; Davis et al. 2014; Ghosh 2017). Nevertheless, some barriers such as laws (Brenner et al. 2024; Melo and Pinheiro 2010), ethical issues (Jones 2023), culture, religion and folk beliefs regarding bodies after death seem to play a role in body donation for human anatomy teaching in universities worldwide (Habicht, Kiessling, and Winkelmann 2018). Furthermore, the use of cadavers involves high costs (storage location, maintenance and technical personnel), making their use a possible barrier (McLachlan and De Bere 2004; McLachlan and Patten 2006).

Conversely, anatomical synthetic models have become a well-known method for teaching human anatomy (Mitrousias et al. 2020; Trelease 2016; Yammine and Violato 2016; Zibis et al. 2021) and usually are built with plastic (Mitrousias et al. 2020; Viana et al. 2019; Yammine and Violato 2016; Zibis et al. 2021), clay (Oh, Kim, and Choe 2009) and three-dimensional(3D)-printed models (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Mogali et al. 2022; Ye et al. 2020). Anatomy teaching has improved with recent advancements in 3D-printed models, such as being able to print in multicolour and using polymaterials (e.g. durable nylon) (Bartellas 2016), layers of resin (Garas et al. 2018), gypsum, aluminium, polylactic acid and textile materials (Bartellas 2016; Fafenrot, Korger, and Ehrmann 2019; Sharma and Goel 2018). Moreover, synthetic models made of plastic are low-cost human anatomy teaching modalities that are successfully used (Chan and Cheng 2011; Lombardi et al. 2014; Yammine and Violato 2016) and are positively evaluated by undergraduate students (Wright 2012).

In fact, many narrative reviews (Estai and Bunt 2016; Ghosh 2017; Winkelmann 2007), and systematic reviews and meta-analyses (Goh et al. 2024; Wilson et al. 2018; Yammine and Violato 2016; Ye et al. 2020) summarised evidence regarding gross human anatomy teaching methods and their impact on students' academic performance. However, most of these studies did not address the comparison between the effects of synthetic models and cadaveric specimens (e.g. prosections, plastinated prosections and skeletons) on academic performance (Wilson et al. 2018; Yammine and Violato 2016). For instance, Wilson et al. (2018) conducted a systematic review and meta-analysis about anatomy laboratory pedagogies comparing dissection versus prosection, dissection versus digital media, dissection versus models/modelling and dissection versus hybrid (dissection and prosection model). However, no comparison between prosections and anatomical synthetic models was made by the authors. Yammine and Violato (2016) conducted a systematic review and meta-analysis comparing educational methods using physical models (e.g. plastic, clay and among others) versus other educational methods (2D digital images, 3D virtual simulator, cadavers and among others) and found that physical models yielded significantly better results for the overall knowledge outcome and for spatial knowledge acquisition. Notably, although the authors included eight studies, only one (Griffon et al. 2000) of them compared physical models with cadavers (i.e. prosections). Furthermore, this study (Griffon et al. 2000) involved veterinary students and focused on canine reproductive anatomy rather than human anatomy. In a recent systematic review and meta-analysis, Goh et al. (2024) compared the assessment scores of students exposed to plastinated specimens (i.e.

cadaveric specimens), against those exposed to other common instructional methods. The authors summarised data from four original studies (Alharbi et al. 2020; Latorre et al. 2007; Mogali et al. 2022; Schoenfeld-Tacher et al. 2017) and found no statistical difference in anatomy post-test knowledge scores between students exposed to plastinated specimens versus those exposed to other anatomy resources. However, two (Alharbi et al. 2020; Latorre et al. 2007) of these four included studies did not apply an anatomical synthetic model, and one study enrolled veterinary students and canine brain subject (Schoenfeld-Tacher et al. 2017). Therefore, the current evidence from these reviews shows a gap regarding direct comparisons between effects of usage of cadaveric specimens versus anatomical synthetic models on students' academic performance in gross human anatomy classes.

Regarding original studies, some randomised-controlled trials demonstrated that medical undergraduate students exhibited superior human anatomy academic performance after gross human gross anatomy class with synthetic models (e.g. 3D-printed models) than after those with cadaveric specimens (e.g. dissections and/or plastinated specimens) (Chen et al. 2017; Lim et al. 2016). However, some studies favour cadaveric specimens (e.g. dissections) over synthetic models (e.g. plastic models) (Zibis et al. 2021), whereas others present similar results between these two methods (Mitrousi et al. 2020). Furthermore, to the best we are aware, there is only a recent systematic review and meta-analysis, published by Ye et al. (2020), that compared 3D-printed models (i.e. synthetic models) versus cadaveric specimen groups (i.e. dissections). Although the authors found a higher human anatomy academic performance (knowledge) favouring 3D-printed models, they misclassified two (Smith et al. 2018; Tanner et al. 2020) of the four studies (Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Smith et al. 2018; Tanner et al. 2020) included in the 3D-printed models versus cadaveric specimen comparison. To clarify, these two misclassified studies (Smith et al. 2018; Tanner et al. 2020) did not apply a dissected cadaveric specimen group but rather one (Smith et al. 2018) compared the usage of 3D-printed models and didactic 2D-image-based teaching methods, while the other one (Tanner et al. 2020) compared 3D-printed model and a half-skull (not a human skull but a bone clone) regularly used in anatomy teaching laboratories. For transparency, this last information was not clearly reported in the original study (Tanner et al. 2020) but it was confirmed by the corresponding author through message into the ResearchGate platform. Therefore, the current evidence is controversial.

In addition, many curricula still have no access to cadavers (e.g. dissections, plastinated dissections and skeleton) for teaching gross human anatomy. For example, the medical, nursing, pharmacy, physiotherapy and biological sciences curricula from the Federal University of Ceará (Brazil) has access to cadavers, while other curricula (e.g. physical education) have only access to synthetic human models (UFC 2013). In this context, understanding the academic performance of undergraduate students who are taught through synthetic models compared to cadaveric models is important and could provide insightful information regarding this topic.

Based on these gaps, this study aimed to conduct a systematic review and meta-analysis of the effects of gross human anatomy classes with cadaveric specimens compared to synthetic human models on the human anatomy academic performance of health science undergraduate students. The null hypothesis is that there is no significant difference between the two gross human anatomy teaching models.

Methods

This systematic review was performed according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) statement (Moher et al. 2009) and followed the recommendations for the ethical publishing of systematic reviews by Wager and Wiffen (2011). The study was preregistered (22 August 2023) in the International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO) (CRD42023456856) (Booth et al. 2012).

Search strategy

English-language searches of the electronic databases Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE), Scopus, Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), Excerpta Medica Database (Embase) and *Biblioteca Virtual em Saúde* (BVS) were conducted from inception to 24 August 2023, by two independent researchers (A.C.L. and R.B.V.), with the last update on 5 April 2024. Articles were retrieved from electronic databases combining the following terms: ('adults' OR 'students' OR 'health science students' OR 'undergraduate students') AND ('cadavers' OR 'cadaveric models' OR 'prosections' OR 'plastic models' OR 'plastic physical model' OR 'synthetic models' OR 'synthetic anatomical models'). Moreover, Google Scholar was also searched by combining only the population and intervention/comparison keywords to find records presenting all these words in the records' titles. Reference lists of the included and excluded (after full-text reading) studies were also searched. Appendix S1 shows the complete search strategy used in each electronic database.

Initially, two reviewers (A.C.L. and R.B.V.) checked the titles and abstracts of identified articles for relevance. Subsequently, the reviewers independently reviewed the full text of potentially eligible papers. Any disagreement between the reviewers for inclusion was resolved by a consensus between both researchers (A.C.L. and R.B.V.).

Study selection

The population, intervention, comparison, outcome and study design (PICOS) framework (Page et al. 2021) was used to guide this systematic review:

- **Population:** health science undergraduate students (e.g. medical, biomedicine, pharmacy, biology, nursing, nutrition, physiotherapy, physical education students, among others). We considered undergraduate students as those who are pursuing a degree at the first level of higher education (i.e. level after high school) at a college or university.
- **Intervention (exposure):** human anatomy classes with cadaveric specimens (e.g. plastinated and non-plastinated prosection models as well as human skeleton models). As recently reported by Curran and Schaefer (2023), there is a lack of consistency in defining prosections. Based on 125 responses from anatomy educators, the authors defined prosection as '*a high quality pre-dissected cadaveric specimen dissected by someone, often an expert, other than those learning from them, for the purpose of demonstration*'. Curran and Schaefer (2023) also reported that '*these specimens may or may not be plastinated, which involves a special preservation technique resulting in dry specimens that require little maintenance*'. In this sense, considering that plastination is also used to refer to a type of prosection and that obtaining skeletal specimens also requires a dissected cadaveric specimen, we adopted the broader term 'cadaveric specimens' to refer to the intervention groups using prosections, plastinated prosections and/or skeletons (e.g. full, or partial).
- **Comparison:** human anatomy classes with synthetic models (e.g. plastic, clay, resin and other materials). Considering that synthetic models are also physical models and significantly differ from online (2D and 3D) models and textbooks/atlasses, we adopted the broader term 'synthetic models' to refer to the comparison groups using any type of human anatomy physical model composed of plastic, clay, resin and other materials.
- **Outcome:** gross human anatomy academic performance (knowledge). We considered all objective data regarding students' gross human anatomy knowledge, including data from pre- and post-intervention and changes from baseline.
- **Study design:** randomised and non-randomised intervention studies.

Eligibility criteria

Randomised and non-randomised clinical trials were included in the review if they fulfilled the following selection criteria: (i) research question regarding the effects of prosection usage in human anatomy classes; (ii) sample comprising health science undergraduate students; (iii) compared cadaveric specimen usage against human synthetic models; (iv) reported at least one outcome related to students' academic performance; (v) written in English language; and (vi) published as an article in a peer-reviewed journal. Studies were excluded based on the following file types: abstracts, study protocols, conference papers, books, book sections, theses, opinion articles, observational studies, pilot studies and reviews. Furthermore, studies that applied combined interventions (e.g. both cadaveric specimen and human synthetic models) or that applied only other human anatomy teaching models (e.g. 3D anatomy software, dissection and so on) were excluded from this systematic review. Studies comparing dissection versus synthetic models were also excluded from this systematic review, since many curricula still cannot provide the teaching gross human anatomy through dissection classes and, therefore, prosections, plastinated prosections and skeleton cadaveric specimens usually are used for this purpose. Rayyan software (Ouzzani et al. 2016) was used independently by two researchers (A.C.L. and R.B.V.) to remove duplicates and apply the eligibility criteria with disagreements resolved by a consensus between both researchers.

Data extraction

The following study characteristics were extracted: authors, publication year, country, participants characteristics (sample size, age, sex and undergraduate information [course and year]), academic performance (pre-, post- and change data), the method used to measure academic performance, and characteristics of human anatomy teaching modalities (intervention duration, session [classes] duration, weekly frequency and human anatomy content). When necessary, extracted mean and standard deviation values were estimated from median and interquartile range as suggested by Hozo, Djulbegovic, and Hozo (2005). These data were manually extracted from the included studies independently by two researchers (A.C.L. and R.B.V.) and rechecked by four other researchers (C.E. V.S., J.M.R., K.J.N.P. and C.K.C.S.) with disagreements resolved by consensus between all researchers.

Risk of bias assessment

Two authors (A.C.L. and R.B.V.) independently assessed the risk of bias in the included randomised studies using version 2 of the Cochrane risk-of-bias tool for randomised trials (RoB 2) (Sterne et al. 2019). Briefly, the tool's algorithms assessed articles as low risk, with some concerns, or high risk of bias arising from the randomisation process, bias due to deviations from intended interventions, bias due to missing outcome data, bias in the outcome measurement, bias in the selection of reports, and overall bias (Sterne et al. 2019). Any discrepancies were resolved through discussion between both researchers (A.C.L. and R.B.V.). Traffic light and weighted summary risk-of-bias plots for the included studies were produced by the online risk-of-bias (*robvis*) tool (McGuinness and Higgins 2021).

Certainty of evidence assessment

Based on the Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation (GRADE) method, two authors (A.C.L. and R.B.V.) independently rated the certainty for the main comparison and outcome as very low (very uncertainty about the estimate), low (research is very likely to significantly affect our confidence in estimating the effect and is likely to change the estimate), moderate (further research is likely to have an important impact on our confidence in estimating

the effect and may change the estimate), or high (further research is very unlikely to change our confidence in estimating the effect) (Guyatt et al. 2008). The assessment methods included the experimental design, risk of bias, inconsistency, indirectness, imprecision and publication bias (Guyatt et al. 2008). Any disagreements were resolved by a consensus among researchers (A.C.L. and R.B.V.). We used a minimally contextualised approach, with a null effect as the importance threshold, to make judgements for the primary outcome (Zeng et al. 2021).

Training of the reviewers

The authors who participated in the eligibility assessments (A.C.L. and R.B.V.) were trained regarding the study inclusion/exclusion criteria. Moreover, they were trained in the execution of RoB 2 and GRADE instruments and standardised analyses with Rayyan software.

Statistical analysis

The available data from the outcomes of the included studies allowed a between-group meta-analysis using continuous data and random-effects models. Standardized mean difference (SMD [i.e. Hedges' g effect size]) with 95% confidence intervals (95% CI) were used to measure the effects of gross human anatomy classes with cadaveric specimens compared to synthetic human models on students' academic performance (knowledge) as included studies reported academic performance measured by different methods (e.g. different multiple-choice questions [McQs] and tag tests). SMDs with 95% CIs were estimated from post data (mean, standard deviation and sample size) of both prosections and synthetic models and were interpreted as per Cohen (1988) thresholds: trivial (<0.2), small (0.2 to <0.5), moderate (0.5 to <0.8) and large (≥ 0.8). Positive and negative SMD values represent the effect size direction favouring human anatomy classes with synthetic models and cadaveric specimens, respectively.

The random-effects model analysis was chosen based on the heterogeneity of included studies, considering that different gross human anatomy classes and intervention effects are not truly identical between studies (Higgins et al. 2023). All models used restricted maximum likelihood estimation. Regarding the included randomised crossover study (Elbourne et al. 2002) that performed cadaveric specimens and synthetic gross human anatomy interventions for two different and separate gross human anatomy contents, data from the first content were used for the main analysis. As the included studies that evaluated academic performance using both McQs and tag tests also reported a total (McQ + tag) score, the total score was adopted for the primary meta-analysis. Therefore, accounting for multiple outcomes nested within groups and within studies was not required. To improve our results, several sensitivity analyses (the one study removed method) were conducted to consider the influence of each study on the overall results.

Retrospective statistical power calculation for the random-effect meta-analysis was performed entering the number of included studies, anticipated summary effect size (SMD of 0.2) and the averaged within-study sample size into an Excel spreadsheet created by Quintana and Tiebel (2019) based on formulas available from Valentine, Pigott, and Rothstein (2010) to determine whether there was enough power to identify the smallest important effect size. Statistical heterogeneity was assessed using τ^2 , H^2 , Q statistic and inconsistency I^2 test. The I^2 statistic estimates the percentage variance between studies and can be roughly interpreted as low (0%–40%), moderate (30%–60%), substantial (50%–90%), or considerable (75%–100%) heterogeneity. Remarkably, I^2 classifications overlap as these are rough guidelines suggested by Higgins et al. (2023). The pre-planned subgroup analysis was not performed to test whether the course (medical and non-medical) would influence the results because all included studies enrolled medical students. The non-pre-planned subgroup analysis was not performed to test whether the type of cadaveric specimen (prosections, plastinated prosections and skeleton) would influence the results due to insufficient number of included studies (lower than 10) (Higgins et al. 2023). Publication bias was visually assessed using funnel plots by

plotting the SMD of each trial against its standard error. As recommended by Higgins et al. (2023), 'Egger's regression test' was not performed to assess the funnel plot asymmetry because all between-group meta-analyses involved less than 10 original studies. All statistical analyses were performed in the Stata Statistical Software (version 18, USA) using an alpha level of $p < 0.05$ (StataCorp 2023).

Results

The search strategy retrieved 16,405 records (Embase [$n = 2,019$], Web of Science [$n = 9,688$], CENTRAL [$n = 2,265$], MEDLINE [$n = 1,380$], Scopus [$n = 999$], BVS [$n = 5$], Google Scholar [$n = 47$] and reference lists [$n = 2$]). After removing duplications ($n = 2,511$), the title and abstract screening analysis eliminated 13,873 studies due to the following reasons: no human anatomy classes with cadaveric specimens ($n = 10,304$), no health science undergraduate students ($n = 1,692$), no academic performance outcomes ($n = 444$), reviews ($n = 310$), wrong study design ($n = 755$), books ($n = 139$), book chapter ($n = 67$), case reports ($n = 85$), study protocols ($n = 38$), abstract ($n = 29$), conference proceedings ($n = 7$) and letter to the editor ($n = 3$). The remaining 21 full-text articles were further evaluated, with 14 studies excluded from this review due to the following reasons: did not address the research question (cadaveric specimens versus synthetic models) ($n = 9$), wrong population ($n = 2$), no gross human anatomy academic outcome ($n = 1$), did not clearly report that the experimental group included only gross human anatomy classes with cadaveric specimens ($n = 1$) and conference proceedings ($n = 1$) (Appendix S2). Therefore, the remaining seven studies (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023; Zibis et al. 2021) were included in this systematic review and meta-analysis. Figure 1 presents the flow of papers through the study selection process.

Characteristics of included studies

All included studies were randomised studies published between 2016 (Lim et al. 2016) and 2023 (Yang et al. 2023), of which six studies used a parallel group design (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mitrousias et al. 2020; Yang et al. 2023; Zibis et al. 2021) (i.e. each subject was randomised to one of two or more distinct intervention groups) and one used a cross-over design (Mogali et al. 2022) (i.e. two or more interventions were provided to participants at different time periods, and the sequence of interventions was randomised for each participant). Five (71%) of the included studies comprised two intervention arms (Cai et al. 2019; Lim et al. 2016; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023), whereas the remaining two studies included three (Chen et al. 2017) and four (Zibis et al. 2021) intervention arms (Table 1).

Population

Although search strategy was not restricted to medical students, all included studies enrolled medical undergraduate students ($n = 732$ [536 belonging to cadaveric specimens or synthetic models' groups] from four countries (Singapore, China, Australia and Greece). Five studies (71%) (Cai et al. 2019; Lim et al. 2016; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Zibis et al. 2021) enrolled first-year medical students, and the remaining two studies (Chen et al. 2017; Yang et al. 2023) included third-year medical students. All studies examined both male and female students and predominantly comprise women (384 [52.5%] versus 348 [47.5%] men). Overall, the students ranged from 18.4 (Zibis et al. 2021) to 24 (Yang et al. 2023) years old. Only one study did not report the students' ages (Cai et al. 2019). Table 1 shows additional information about the participants' characteristics.

Intervention (cadaveric specimens) and comparators (synthetic models)

Overall, cadaveric specimens and synthetic models intervention sessions applied by the included studies included lecture and laboratory classes ($n = 3$, 43%) (Mitrousias et al. 2020; Yang et al. 2023;

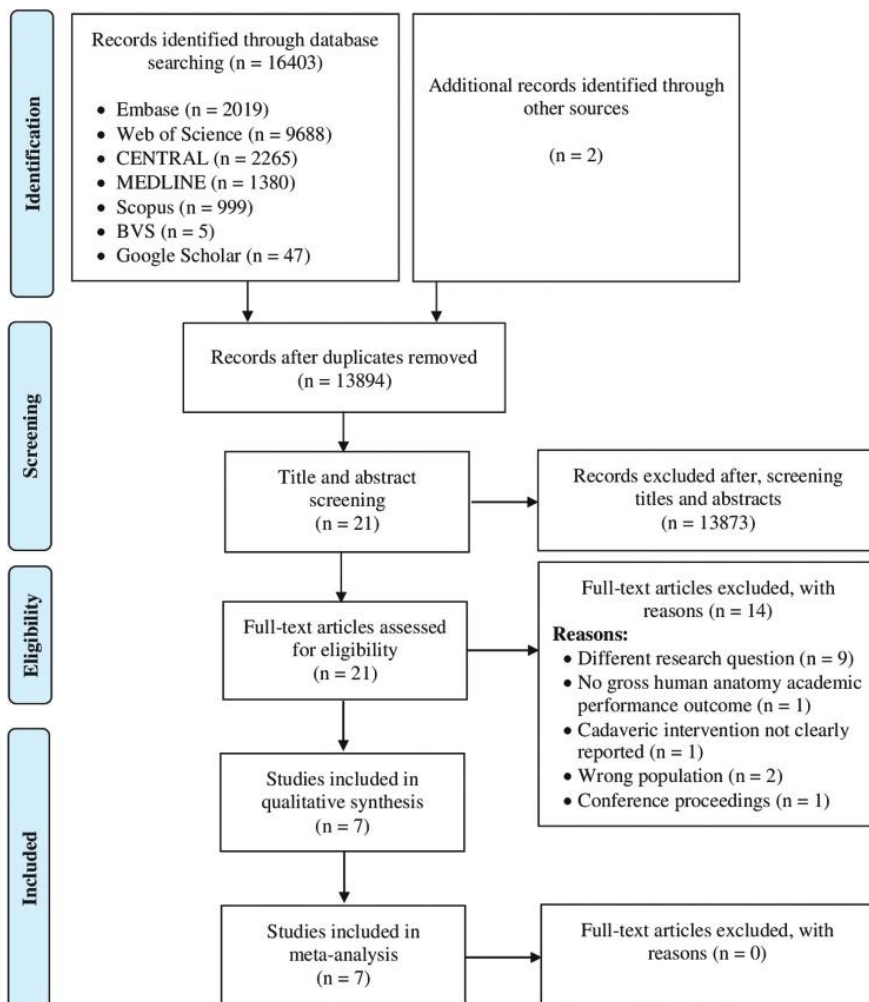


Figure 1. Study flow diagram of the selection process for the studies included in this systematic review and meta-analysis. n indicates the number of studies. MEDLINE: Medical Literature Analysis and Retrieval System Online. BVS: *Biblioteca Virtual em Saúde*. CENTRAL: Cochrane central register of controlled trials.

Zibis et al. 2021), lecture and self-directed learning classes (Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mogali et al. 2022), or a didactic learning group composed of two pages of lecture notes plus a tutor's explanation through skeleton models (cadaveric specimen group) or a 3D-printed simulator (Cai et al. 2019). The total intervention time ranged from approximately 30 min (Cai et al. 2019) to 12 h (Yang et al. 2023), with the most common total intervention time being 1 h (Chen et al. 2017; Lim et al. 2016), followed by 8 h (Mitrousias et al. 2020; Zibis et al. 2021). The sample sizes of interventions and comparators were relatively small, with a median of 30 (range, 18 (Lim et al. 2016) to 77 (Zibis et al. 2021)) students in cadaveric specimens and 26 (range, 16 (Lim et al. 2016) to 84 (Zibis et al. 2021)) in synthetic model groups. Cadaveric specimens interventions used skeleton models (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Yang et al. 2023), dissections of musculoskeletal upper limbs (Mitrousias et al. 2020; Zibis et al. 2021), plastinated and non-plastinated prosected specimens (Lim et al. 2016), or cardiac and neck plastinated specimens

Table 1. Characteristics of the included studies ($n = 7$).

Reference	Country	Participants	n (sex)	Age (years)	Subject	Study design	Outcome
Cai et al. (2019)	Singapore	1st year medical students	35 (15 M/20F)	Not reported	Locking and unlocking knee joint	RCT	Anatomical spatial knowledge
Chen et al. (2017)	China	3rd year medical students	79 (34 M/45F) ^a	Median [IQR] SCG: 21 [20–21] SG: 20 [20–21]	Basicranial (skull) education	RCT	Anatomical spatial understanding and anatomical structures identification
Lim et al. (2016)	Australia	1st year medical students	52 (25 M/27F)	Mean (SD) SCG: 19 (1.0) SG: 19 (0.8)	Surface and external anatomy of the heart	RCT	Anatomical structures identification, function, and their relations
Mitrousi et al. (2020)	Greece	1st year medical students	60 (29 M/31F)	Mean (SD) 18.5 (1.0)	Musculoskeletal anatomy of the upper limb	RCT	Anatomical spatial, muscle origin, insertion, and nerve supply knowledge
Mogali et al. (2022)	Singapore	1st year medical students	63 (33 M/30F)	Mean (SD) SCG: 19.3 (0.9) SG: 19.4 (0.9)	Cardiac and neck anatomy	RCT crossover	Anatomical spatial understanding, anatomical structures identification, and problem-solving
Yang et al. (2023)	China	3rd year medical students	130 (77 M/53F)	Range SCG: 20–24 SG: 20–24	Skull anatomy	RCT	Gross anatomy knowledge
Zibis et al. (2021)	Greece	1st year medical students	313 (135 M/178F) ^b	Mean (SD) 18.4 (1)	Musculoskeletal anatomy of the upper limb	RCT	Anatomical structures identification, muscle origin, insertion, and nerve supply knowledge

n: sample. M: male. F: female. SCG: cadaveric specimens' group (i.e. prosections, plastinated prosections, and/or skeletons). SG: Synthetic models' group. RCT: randomised clinical trial. IQR: interquartile range. SD: standard deviation. 3D: three dimensional. ^aThe 79 participants were randomly assigned to three groups: 3D printed skull group ($n = 26$), cadaveric skull group ($n = 27$) and 2D atlas group ($n = 26$). ^bIn total 313 students completed the whole course: students that performed dissection ($n = 80$), students that used prosections ($n = 77$), students that used plastic models ($n = 84$) and students that used the BioDigital Human 3D anatomy software ($n = 72$).

(Mogali et al. 2022). Most synthetic models (71%) were composed of 3D-printed models (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023), followed by plastic models (Mitrousias et al. 2020; Zibis et al. 2021). Table 2 presents a detailed description of the human gross anatomy classes applied by the included studies.

Outcomes

The included studies evaluated students' academic performance on the musculoskeletal upper limb (Mitrousias et al. 2020; Zibis et al. 2021), cardiac (Lim et al. 2016; Mogali et al. 2022), skull (Chen et al. 2017; Yang et al. 2023), knee joint (Cai et al. 2019), or neck anatomies (Mogali et al. 2022). Overall, the seven included studies reported 11 academic performance outcomes, of which four (57%) reported two outcomes (Chen et al. 2017; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Zibis et al. 2021) and three (43%) reported only one academic performance outcome (Cai et al. 2019; Lim et al. 2016; Yang et al. 2023). Three studies (43%) used both theoretical (McQs) and laboratory (tag questions) tests to evaluate students' academic performance (Chen et al. 2017; Mitrousias et al. 2020; Zibis et al. 2021), whereas two studies (30%) used only theoretical tests (McQs) (Cai et al. 2019; Mogali et al. 2022), and two studies only used laboratory (tag questions) tests (Lim et al. 2016; Yang et al. 2023). Four studies (57%) measured pre- and post-academic performance (Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023), and the remaining three studies (43%) only measured post-intervention academic performance (Cai et al. 2019; Mitrousias et al. 2020; Zibis et al. 2021). All included studies applied the same tests for both cadaveric specimens and synthetic model interventions; however, among the four studies that applied pre- and post-tests (Chen et al. 2017; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023), three used the same tests in the pre- and post-intervention periods (Chen et al. 2017; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023), of which one study randomised and presented the post-test questions in a different sequence to avoid possible recall bias (Mogali et al. 2022). Only one study used different pre- and post-tests (Lim et al. 2016). Five studies (71%) presented the scores as a continuous variable represented by mean percentage (0%–100%) and standard deviation for each intervention group (Cai et al. 2019; Lim et al. 2016; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Zibis et al. 2021), whereas two studies presented the scores as a continuous variable represented by the mean absolute and standard deviation for each intervention group (0–48 (Chen et al. 2017) or 0–100 points (Yang et al. 2023)). For all outcomes from all studies, the higher the score, the better the students' academic performance in gross human anatomy. The main results extracted from the included studies are described in Table 3.

Meta-analysis

Seven studies (k) with seven independent comparisons provided data from 536 medical undergraduate students (n) to analyse the effects of gross human anatomy classes with cadaveric specimens compared with synthetic human models for improving knowledge post-interventions (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023; Zibis et al. 2021). There was a significant moderate difference in gross human anatomy academic performance between groups ($k = 7$; $n = 536$; $SMD = 0.57$; 95% $CI = 0.10$ to 1.05 , $p = 0.018$, Figure 2), favouring synthetic models' interventions, with substantial/considerable heterogeneity ($\tau^2 = 0.34$, $I^2 = 85.5\%$, $H^2 = 6.90$, $Q [6] = 49.86$, $p < 0.0001$). Furthermore, using the smallest meaningful effect size of 0.20, seven studies with seven independent comparisons, and an average sample size of 76 within each study, the power to detect what we believe to be the smallest meaningful effect using a random effects model was low (approximately 0.37) in a one-tailed hypothesis test at a 5% significance level.



Table 2. Human gross anatomy classes intervention characteristics of the included studies (n = 7).

Reference	Human gross anatomy classes	Cadaveric specimen (n, sex)	Synthetic model (n, sex)	Total time intervention	Classes duration
Cai et al. (2019)	The didactic learning and simulation groups received a didactic lecture about the knowledge related to locking and unlocking of the knee joint, and two pages of class notes containing textual information related to the learning topic were distributed to each student. Then, students in both groups received explanations related to the knee joint from a tutor, who used skeletal models for the didactic learning group and 3D printed simulators for the simulation group. Students' interaction with the skeletal models and 3D printed simulators occurred collectively due to their limited availability.	Skeleton models (knee joint) (n = 18, M8/F10)	3D-printed model (n = 17, 7 M/10F)	30 min	Didactic learning group or simulation group: 30 min
Chen et al. (2017)	An introductory 30-min lecture on basicranial anatomy was given by a third-party non-investigator to participants of the cadaveric skull and 3D printed skull groups. During the lecture, cadaveric and 3D printed skulls were allocated to both groups, respectively, with five to six participants using a single model. Five cadaveric skulls and five 3D-printed skulls were used. Each participant received a single printout of teaching materials for notetaking. After the introductory lecture, the groups were assigned to separate rooms for a 30-min self-directed learning session using cadaveric skulls and 3D printed skulls. Exam proctors were assigned to each room to prevent inter-group communication; they would not answer questions of any participants nor provide any suggestions related to skull anatomy.	Skeleton models (cadaveric skulls) (n = 27, M11, F16)	3D-printed skulls (n = 26, 12 M/14F)	60 min	Introductory lecture: 30 min Self-directed learning session: 30 min
Lim et al. (2016)	The participants of the cadaveric materials and 3D printed models received a 15-min introductory lecture on external cardiac anatomy, prepared and delivered by a third-party non-investigator who was blinded to the study aims. The lecture covered the anatomical orientation of the heart, anatomical borders, chambers, coronary arteries and veins, and great vessels. Then, students, randomly, underwent a 45-min self-directed learning session using cadaveric materials or 3D printed models. All participants were provided the same task sheets containing the main learning objectives organised as a series of stepwise tasks. Collaborative work was permitted, as is consistent with the usual way practical sessions would be conducted in the curriculum: all other learning aids aside from the provided materials (e.g. mobile phones, books) were prohibited. Groups were invigilated by volunteers who were advised explicitly to refrain from didactic teaching during the self-directed learning session.	Prosections (plastinated and non-plastinated) of hearts (n = 18, M10, F8)	3D-printed model (n = 16, 1M0/6F)	60 min	Introductory lecture: 15 min Self-learning session: 45 min

(Continued)

Table 2. (Continued).

Reference	Human gross anatomy classes	Cadaveric specimen (n, sex)	Synthetic model (n, sex)	Total time intervention	Classes duration
Mitrousias et al. (2020)	Two lectures and two laboratories were conducted by an experienced tutor for each group, each lasting 2 h. The first lecture and laboratory were dedicated to bone and ligaments anatomy and the second ones to muscle anatomy. Lectures were identical for both groups. Regarding laboratory sessions, in the beginning, a 20-min presentation of all structures took place by the tutor. Then students had the chance to explore all structures on their own for 90 min, using prosection of cadaveric specimens or plastic models. They worked in groups of three people per prosection/plastic model. Exposure of students to each modality took place only inside the laboratory, and the exposure time was the same for both teams.	Prosections of musculoskeletal upper limbs (n = 30, M15, F15)	Plastic models (n = 30, 14 M/16 F)	8 h ^b	Lecture: 2 h Laboratory: 2 h
Mogali et al. (2022)	In the two phases of the research, cardiac anatomy and neck anatomy, students from the two groups (plastinated and 3D printed) were subdivided into teams of a maximum of six members. The interventions began with a brief didactic presentation by an experienced human anatomy tutor, with the aim of presenting the learning objectives and providing a broad outline of the topic. Learning materials and tools for self-learning were then provided. Then, a 30-min introductory lecture was given by a third-party non-investigator tutor to provide an overview of the learning objectives using 2D images from human anatomy textbooks, without sharing the slideshow or opportunity for questions and answers. Following the teaching session, a team-based, self-directed learning activity was carried out. The duration of this activity was 50 min. At Phase 1, cardiac anatomy, each plastinated team was given four plastinated cardiac specimens such as two full hearts with the coronary and great blood vessels and two cross sections of a single heart showing its internal anatomy and valves, while the 3D-printed teams were given 3D-printed cardiac models and two additional coronary arterial trees. At Phase 2, neck anatomy, the groups were switched, and each team was provided with two specimens such as one full head and neck and one midsagittal section of the head and neck. Identical handouts were given to both groups to guide the participants' self-learning. Using the given learning materials, teams were allowed to interact with the models. Although they were strongly encouraged to discuss and share specimens within the teams of same group, they were not allowed to go over to the other group nor refer to any external materials during the self-learning activity.	Plastinated cardiac and neck specimens (n = 32, 16 M/16 F)	3D-printed cardiac and neck models (n = 31, 17 M/14 F)	Phase 1: 80 min Phase 2: 80 min	Introductory lecture: 30 min Self-learning activity: 50 min

(Continued)

Table 2. (Continued).

Reference	Human gross anatomy classes	Cadaveric specimen (n, sex)	Synthetic model (n, sex)	Total time intervention	Classes duration
Yang et al. (2023)	Both groups (individual 3D-printed model group and real skull group) were given a 2-h lecture of anatomical skull by week. After the lecture, each group was exposed to a different teaching resource during the practical sessions. In the first 15 min of the practical session, the students watched a 3D facial skeleton video, including 3D separated facial bones and a natural human skull. After lessons using 3D printed models or real skulls by teachers, textbooks, videos, atlas and 3D anatomy reference apps about the specialised skull anatomy unit were not limited. As a 3D learning resource, a visible body was made available in the library and practical classroom. The two groups had taken 3 weeks of skull anatomy course and, five weeks after, a course practice test assessed students' knowledge performance.	Skeleton models (cadaveric skulls) (n = 67, M34/F33)	3D-printed bone model group (n = 63, 43 M/20F)	12 h over 3 weeks (4 h per week)	Lecture: 2 h Practical session: 2 h
Zibis et al. (2021)	Two lectures and two laboratories were conducted for each group, each lasting 2 h. The first educational session (1st lecture and 1st laboratory) was dedicated to bone and ligament anatomy, and the second one to muscle anatomy. Lectures were identical for both groups. Detailed handouts of both lectures were given to students to assist them during laboratory work. At the beginning of each laboratory session, a 20-min presentation of all structures was given by the tutor. After a 10-min break for questions, students had the chance to explore all structures on their own for 90 min. Pre-dissected upper limb specimens (prosections) and plastic models were used by their respective groups. Students had the chance to assemble and disassemble the plastic models, removing superficial structures to explore the deeper ones. Two groups worked in small teams of 4–5 people. Exposure of students in each modality took place only inside the laboratory and the exposure time was the same for all groups. Two days elapsed, between each session. All lectures and all laboratory sessions were accomplished and supervised by an experienced tutor, who was the same for all groups.	Prosections of musculoskeletal upper limbs (n = 77)	Plastic models group (n = 84)	8 h (2 sessions of 4 h separated by 2 days)	Lecture: 2 h Laboratory: 2 h

3D: three-dimensions. 2D: two-dimensions. h: hours. min: minutes. ^aTotal time intervention was not reported. ^bIt was not reported if the 8-h interventions period was performed in the same day, week or over weeks.

Table 3. Main results of the included studies ($n = 7$).

Reference	Subject	Type test (grade range)	Groups (n)	Pre mean (SD)	Post mean (SD)	Mean change (SD)	Main result
Cai et al. (2019)	Locking and unlocking knee joint	Theory (McQ) (0–100%)	CSG: 18 SG: 17	Not applicable	CSG: 70.71 (15.13) SG: 85.03 (10.13)	Not applicable	SG > CSG
Chen et al. (2017)	Basiscranial (skull) education	Theory + Lab tests (0–48)	CSG: 27 SG: 26	CSG: 5.3 ^a (0.8) ^a SG: 4.7 ^a (1.3) ^a	CSG: 29.3 ^a (2.0) ^a SG: 32.0 ^a (1.8) ^a	CSG: 24.4 ^a (2.6) ^a SG: 27.2 ^a (2.2) ^a	Pre: SG ≈ CSG Post: SG > CSG Change: SG ≈ CSG
		• Theory (McQ) test (0–18)	CSG: 27 SG: 26	CSG: 5.0 ^a (1.0) ^a SG: 4.5 ^a (7.0) ^a	CSG: 14.5 ^a (0.5) ^a SG: 14.9 ^a (0.6) ^a	CSG: (9.5) ^a (1.0) ^a SG: 10.0 ^a (1.4) ^a	Pre: SG ≈ CSG Post: SG ≈ CSG Change: SG ≈ CSG
		• Lab (tag) test (0–30)	CSG: 27 SG: 26	CSG: 0.3 ^a (0.3) ^a SG: 0.3 ^a (0.3) ^a	CSG: 14.1 ^a (1.9) ^a SG: 17.3 ^a (1.8) ^a	CSG: 13.9 ^a (1.9) ^a SG: 16.9 ^a (1.9) ^a	Pre: SG ≈ CSG Post: SG > CSG Change: SG > CSG
Lim et al. (2016)	Surface and external anatomy of the heart	Lab (tag) test (0–100%)	PG: 18 SG: 16	CSG: 36.75 (12.25) SG: 42.79 (10.11)	CSG: 44.81 (14.92) SG: 60.83 (19.56)	CSG: 8.06 (18.56) SG: 18.04 (20.60)	Pre: SG ≈ CSG Post: SG > CSG Change: SG ↑, CSG →, but no between groups analysis was performed. SG ≈ CSG
Mitrousi et al. (2020)	Musculoskeletal anatomy of the upper limb	Theory + Lab tests (0–100%)	CSG: 30 SG: 30	Not applicable	CSG: 32.2 (14.7) SG: 35 (14.8)	Not applicable	SG ≈ CSG
		• Theory (McQ) test (0–100%)	CSG: 30 SG: 30	Not applicable	CSG: 15.4 (4.5) SG: 16.2 (4.8)	Not applicable	SG ≈ CSG
		• Lab (tag) test (0–100%)	CSG: 30 SG: 30	Not applicable	CSG: 16.8 (11.2) SG: 18.8 (11.4)	Not applicable	SG ≈ CSG
		• Cadaveric images (0–100%)	CSG: 30 SG: 30	Not applicable	CSG: 9.3 (6.3) SG: 9.5 (5.9)	Not applicable	SG ≈ CSG
		• Plastic models images (0–100%)	CSG: 30 SG: 30	Not applicable	CSG: 7.4 (5.3) SG: 9.2 (6)	Not applicable	SG ≈ CSG
Mogali et al. (2022)	Cardiac anatomy	Theory (McQ) test (0–100%)	CSG: 32 SG: 31	CSG: 27.3 (11.4) SG: 29.5 (12.2)	CSG: 57.0 (13.3) SG: 60.8 (13.6)	Not reported	Pre: SG ≈ CSG Post: SG ≈ CSG Change: no within and between groups analysis was reported.
	Neck anatomy	Theory (McQ) test (0–100%)	CSG: 18 SG: 15	CSG: 38.6 (8.0) SG: 37.0 (11.5)	CSG: 70.3 (15.6) SG: 68.3 (9.9)	Not reported	Pre: SG ≈ CSG Post: SG ≈ CSG Change: no within and between groups analysis was reported.
Yang et al. (2023)	Skull anatomy	Lab (tag) test (0–100)	CSG: 67 SG: 63	CSG: 44.3 (12.0) SG: 41.8 (13.2)	CSG: 82.7 (9.7) SG: 91.0 (10)	CSG: 37.3 (5.2) SG: 50.0 (3.0)	Pre: SG ≈ CSG Post: SG ≈ CSG Change: SG > CSG

(Continued)



Table 3. (Continued).

Reference	Subject	Type test (grade range)	Groups (n)	Pre mean (SD)	Post mean (SD)	Mean change (SD)	Main result
Zibis et al. (2021)	Musculoskeletal anatomy of the upper limb	Theory + Lab tests (0–100%) <ul style="list-style-type: none"> Theory (McQ) test (0–100%) Lab (tag) test (0–100%) Cadaveric images (0–100%) Atlas' images (0–100%) 	CSG: 77 SG: 84 CSG: 77 SG: 84 CSG: 77 SG: 84 CSG: 77 SG: 84	Not applicable Not applicable Not applicable Not applicable	CSG: 40.98 (17.48) SG: 33.59 (17.50) CSG: 19.80 (7.32) SG: 16.45 (6.50) CSG: 21.18 (11.38) SG: 17.14 (12.47) CSG: 11.87 (6.10) SG: 8.42 (6.25) CSG: 9.37 (5.71) SG: 8.71 (6.63)	Not applicable Not applicable Not applicable Not applicable	SG < CSG SG < CSG SG ≈ CSG SG < CSG SG ≈ CSG

n: sample. SD: standard deviation. CSG: cadaveric specimens' group (i.e. prosections, plastinated prosections and/or skeletons). SG: synthetic models' group. McQ: multiple choice questions. †: significant increase. ↔: no significant change. ≈: no significant difference. aMean and standard deviation values estimated from median and interquartile range as suggested by Hoza, Djulbegovic, and Hoza (2005).

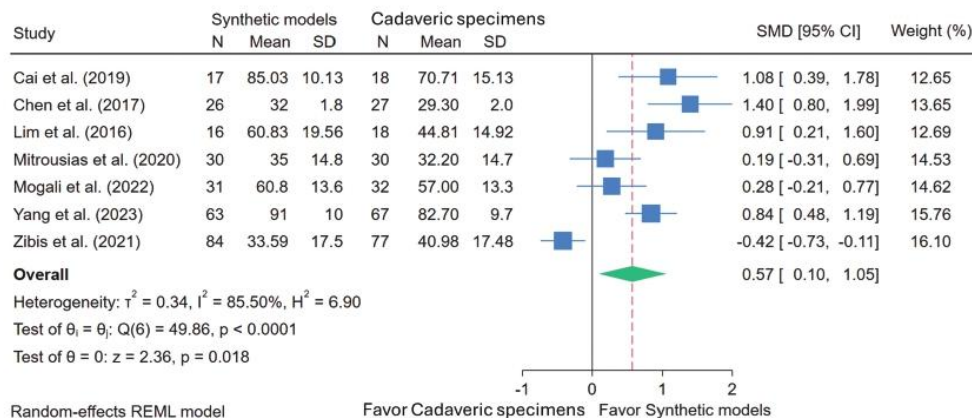


Figure 2. Gross human anatomy classes with prosections versus synthetic models' association with human anatomy academic performance. The blue box represents the study's SMD, and the box size reflects the study's relative weight. The continuous blue line represents the study's 95% CI. The diamond represents the aggregate SMD and 95% CI. N: sample size. Mean: post means data. SD: standard deviation of the post mean. SMD: standardised mean difference. CI: confidence interval. REML: restricted maximum likelihood estimation.

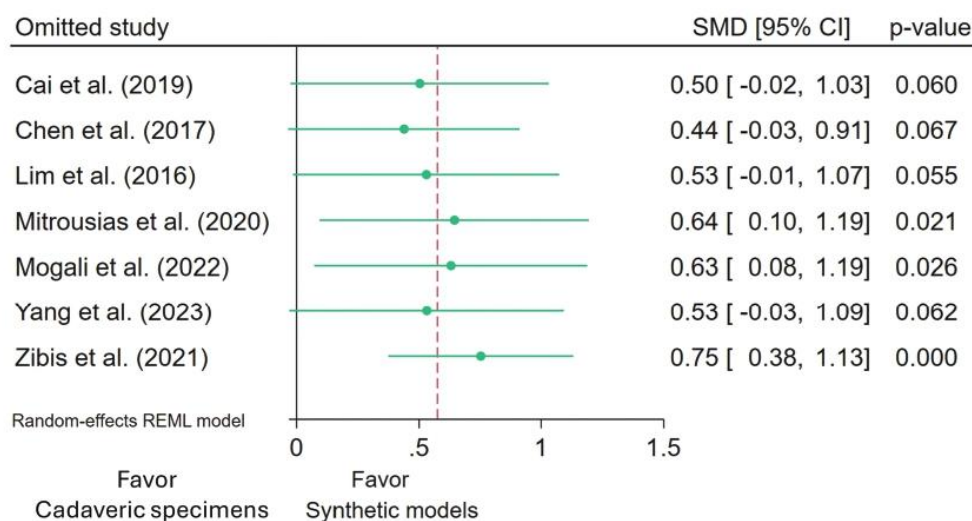


Figure 3. Sensitivity analysis (the one study removed method) about the gross human anatomy classes with prosections versus synthetic models' association with human anatomy academic performance. The green circles represent the overall SMD after removing an individual study. The green continuous lines represent 95% CI. SMD: standardised mean difference. CI: confidence interval. REML: restricted maximum likelihood estimation.

Sensitivity analysis

A sensitivity analysis (the one study removed method) revealed that a significant effect of synthetic models on academic performance ($p \leq 0.025$) remained after removing Mitrousius et al. (2020), Mogali et al. (2022), and Zibis et al. (2021) studies but not after removing Cai et al. (2019), Chen et al. (2017), Lim et al. (2016), and Yang et al. (2023) studies (Figure 3).

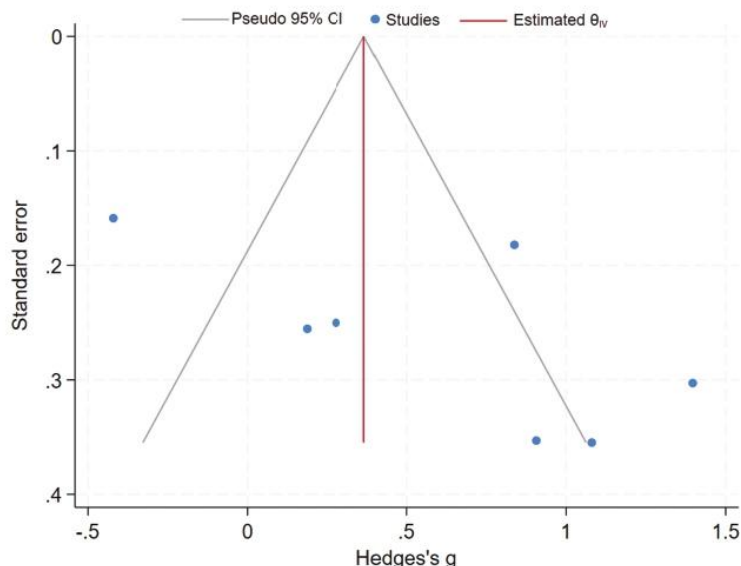


Figure 4. Funnel plot of effect sizes within the studies included in the between-groups meta-analysis (prosections versus synthetic models) for human anatomy academic performance. CI: confidence interval.

Publication bias











































A visual analysis of the SMD (i.e. Hedges's effect size) of the test results for academic performance in the cadaveric specimens and synthetic models' groups did not indicate the presence or absence of publication bias (Figure 4). As reported in the statistical analysis section, 'Egger's regression test' was not performed to assess the asymmetry of the funnel plot because the meta-analyses involved less than 10 original studies (Higgins et al. 2023).

Risk of bias

As reported in the traffic light and weighted summary risk-of-bias plots (Figure 5 and Appendix S3, respectively), all included studies presented a low risk of bias due to randomisation, deviations from intended interventions, missing outcome data, outcome measurement, and selection of reported results (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mitrousi et al. 2020; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023; Zibis et al. 2021). Remarkably, although all the included studies did not report information (e.g. trial register number) that would allow for checking the pre-planned statistical analyses, the information provided in the statistical analysis and Results sections does not indicate bias due to selection of the reported results.

Certainty of evidence

Because the present meta-analysis included only randomised trials, the quality (level) rating of the evidence using GRADE (Appendix S4) started as high. The evidence was not downgraded by one level for risk of bias because all included studies presented a low risk of bias, nor was it downgraded for indirectness because all included studies investigated the same population (medical students). However, the evidence was downgraded by one level for inconsistency due to substantial/considerable statistical heterogeneity ($I^2 = 85.5\%$), and one level for imprecision because the low limit of the overall effect for the main outcome/analysis crossed the clinical threshold for relevance ($SMD \geq 0.2$)

Study	Risk of bias domains					Overall
	D1	D2	D3	D4	D5	
Cai et al. (2019)						
Chen et al. (2017)						
Lim et al. (2016)						
Mitrousi et al. (2019)						
Mogali et al. (2022)						
Yang et al. (2023)						
Zibis et al. (2021)						

Domains:
D1: Bias arising from the randomization process.
D2: Bias due to deviations from intended intervention.
D3: Bias due to missing outcome data.
D4: Bias in measurement of the outcome.
D5: Bias in selection of the reported result.


Judgement
 Low

Figure 5. Traffic light risk-of-bias plot of the included studies.

(Cohen 1988). As visual analysis of the funnel plot did not indicate the presence or absence of publication bias, we were unable to consider this criterion. Therefore, the certainty of our estimates across primary outcomes (academic performance [knowledge]) was evaluated to be low.

Discussion

The present systematic review and meta-analysis analysed data from seven randomised studies (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Lim et al. 2016; Mitrousi et al. 2020; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023; Zibis et al. 2021) compared the effects of gross human anatomy classes with cadaveric specimens, compared to synthetic models in the academic performance of health science undergraduate students. The main result rejected the null hypothesis because of a significant difference between the two gross human anatomy teaching models, favouring synthetic models (SMD: 0.57 [0.10 to 1.05], 'moderate effect'), with evidence of significant statistical heterogeneity ($I^2 = 85.5\%$). However, the power to detect the smallest meaningful effect using a random effects model was low, and therefore, our main finding favouring synthetic models may be underpowered.

Furthermore, the sensitivity analysis that removed each study individually (Figure 3) also revealed that the significant difference favouring human anatomy classes with synthetic models for academic performance did not remain after removing most ($n = 4, 57\%$) of the included studies. Because human anatomy classes with different settings (e.g. different intervention duration, class duration, teaching strategies [lecture plus self-learning session or lecture plus practical/laboratory session], and subjects) and tests to measure human anatomy academic performance were used (Tables 2 and 3), this heterogeneity may partly explain why human anatomy classes with synthetic models were associated with a moderate improvement on academic performance when compared to dissections in human anatomy classes.

As reported early in this study, a previous systematic review and meta-analysis published by Ye et al. (2020) also summarised the available evidence about the application of 3D-printed models (i.e. synthetic models) in medical education. The authors included four studies for the analysis comparing 3D-printed models and cadaver specimens (i.e. dissections) (Chen et al.

2017; Lim et al. 2016; Smith et al. 2018; Tanner et al. 2020) and found that the results of the 3D-printed groups were higher (SMD = 0.69 [0.46 to 0.92], 'moderate effect') than that of the cadaver specimen groups. However, two (Smith et al. 2018; Tanner et al. 2020) of the four studies included by Ye et al. (2020) did not apply a cadaveric specimen group. For instance, Smith et al. (2018) compared the usage of 3D-printed models in small-group anatomy teaching sessions and didactic 2D-image-based teaching methods. Moreover, although Tanner et al. (2020) reported that the control group was provided with a half-skull regularly used in anatomy teaching laboratories and the intervention group was provided with the 3D-printed model, the corresponding author confirmed that the half-skull was not a human skull but a bone clone (see Appendix S2). Nevertheless, our main estimated effect (i.e. moderate) is consistent with that reported by Ye et al. (2020). The probable explanation for these similar results relies on the fact that only one (Zibis et al. 2021) of the five more recently published studies (Cai et al. 2019; Mitrousias et al. 2020; Mogali et al. 2022; Yang et al. 2023; Zibis et al. 2021) was significant favouring cadaveric specimens. However, the 95%CI for our main estimated effect ranged from a trivial to a large effect, whereas that reported by Ye et al. (2020) ranged from a small to a large effect.

In this sense, we cannot assume clinical significance (or represent a 'real-world difference' or would create a 'meaningful impact') just because of the statistical significance (Brown et al. 2019); thus, we cannot reject values in the clinically nonsignificant range (SMD <0.2, 'trivial effect') despite being statistically significantly different from the null with a point estimate above clinical significance (SMD \geq 0.2). In other words, we cannot reject the trivial values from 0.10 to 0.19 despite being statistically significantly different from zero with an SMD of 0.57 (see Figure 2).

As only seven studies were included in this systematic review and meta-analysis and all of them enrolled medical undergraduate students, the current study cannot provide information about the effects of human anatomy classes with synthetic models and cadaveric specimens on nonmedical undergraduate students (e.g. nursing, physiotherapy, physical education, pharmacy, among others). Non-pre-planned subgroup analyses taking account of other possible moderators of gross human anatomy knowledge such as gross human anatomy subject (skull \times heart \times musculoskeletal \times neck \times knee), students' academic year (first \times second \times third), type of test (McQ \times tag questions), and type of cadaveric specimen used in the gross human anatomy classes (prosections \times plastinated prosections \times skeleton) were not conducted due insufficient available evidence. Nevertheless, it is important to provide an individual analysis of each one of the studies included in the overall meta-analysis. For instance, the three included studies using skeleton models (knee joint (Cai et al. 2019) and cadaveric skulls (Chen et al. 2017; Yang et al. 2023)) presented a significant and large effect size (SMD of 1.08, 1.40 and 0.84, respectively) favouring synthetic models. Conversely, the included studies using prosections of musculoskeletal upper limbs presented a significant and moderate effect size (SMD of 0.42) on medical students' gross human anatomy knowledge favouring cadaveric specimens' models (Zibis et al. 2021) or a null effect and trivial effect size (SMD of 0.19) (Mitrousias et al. 2020). Additionally, the two studies (Lim et al. 2016; Mogali et al. 2022) that used plastinated prosections of hearts presented contradictory results (see Figure 2). In light of these distinct findings, some anatomic subjects may be better suited to cadaveric specimens, while others may work more effectively with synthetic models. In this sense, our main finding may have been driven by any of these factors that are related to the decision-making process in teaching gross human anatomy.

Some authors argue that cadavers are necessary to teach anatomy, while others argue that they are not (Aziz et al. 2002; Davis et al. 2014; Ghosh 2017; McMenemy et al. 2018). Two of the main points raised in the literature favouring the use of cadaveric specimens (e.g. prosections, plastinated prosections and skeletons) for teaching gross human anatomy are that students seem to prefer learning from cadavers, and it likely increases their confidence levels in the subject matter (Custers 2010; McMenemy et al. 2018). It has been also reported that structures are better imprinted in students' minds when they see authentic anatomy

(McMenamin et al. 2018); cadavers may positively influence public perception regarding curricular decisions (Kuper and D'Eon 2011); and that cadaveric specimens offer opportunities to observe disease or anatomical variations, which support the development of practical skills and introduce concepts of humanistic care and death (Granger 2004; Topp 2004). Conversely, cadaveric specimen preparation is time-consuming, requires sufficient skilled personnel to create multiple dissections of each body region (Dinsmore, Daugherty, and Zeitz 1999; Estai and Bunt 2016; Nnodim 1997), and the use of cadavers faces significant barriers, such as high costs for storage location, maintenance and technical personnel (McLachlan and De Bere 2004; McLachlan and Patten 2006). Additionally, diverse laws, cultural practices, religions and folk beliefs may restrict body donation for human anatomy teaching worldwide (Brenner et al. 2024; Habicht, Kiessling, and Winkelmann 2018; Melo and Pinheiro 2010). Furthermore, the odour of cadaveric specimens and lack of prior exposure to cadaveric preparations are associated with negative emotional reactions (e.g. stress and discomfort) among students (Lee et al. 2011; Mitrousias et al. 2020; Qamar and Osama 2014; Ropars et al. 2011).

In turn, the use of synthetic human models for teaching gross human anatomy is a low-cost tool (Chan and Cheng 2011; Lombardi et al. 2014; Yammine and Violato 2016) that is positively evaluated by undergraduate students (Mogali et al. 2018; Wright 2012). As previously reported, these models are usually made of plastic (Mitrousias et al. 2020; Viana et al. 2019; Yammine and Violato 2016; Zibis et al. 2021), clay (Oh, Kim, and Choe 2009), and multicolour 3D-printed models (Cai et al. 2019; Chen et al. 2017; Mogali et al. 2022; Ye et al. 2020) constructed from durable nylon (Bartellas 2016), layers of resin (Garas et al. 2018), gypsum, aluminium, polylactic acid and textile materials (Bartellas 2016; Fafenrot, Korger, and Ehrmann 2019; Sharma and Goel 2018). Such characteristics make synthetic human models alternative tools for teaching gross human anatomy while avoiding negatively affecting impacts on students' emotions, religious beliefs, folk beliefs and simultaneously reducing maintenance costs over time.

Despite all the benefits of both cadaveric specimens and synthetic human models in teaching gross human anatomy to medical and non-medical students, it is noteworthy that for medical students, the main purpose of the task is not learning to be anatomists but learning to be effective and efficient medical practitioners (McMenamin et al. 2018). Thus, there is a requirement of other methods which neither synthetic human models nor cadaveric specimens meet. For instance, medical imaging (McMenamin et al. 2018), living anatomy, body painting (Finn and McLachlan 2010; McLachlan 2004; McLachlan and De Bere 2004), electronic bodies (e.g. VH Dissector), and projections of images onto students' bodies (McMenamin et al. 2018) are alternative methods that can add value to traditional gross human anatomy classes. Furthermore, as reported by McMenamin et al. (2018), portable ultrasound is a safe, non-invasive technique that, with appropriate guidance and prior consent from students, can be used by them on each other without hesitation or embarrassment. This tool allows undergraduate and graduate students to view real-time living structures inside the body in remarkable detail (Brown et al. 2012; Dreher, DePhilip, and Bahner 2014; Jurjus et al. 2014; McMenamin et al. 2018; Robertson et al. 2024; So, Patel, and Orebaugh 2017; Teichgräber et al. 1996), as it can also provide a highly favourable impression among students of anatomy education (So, Patel, and Orebaugh 2017).

Although dissection has been the primary physical method for teaching gross human anatomy (Azer and Eizenberg 2007; Estai and Bunt 2016), we did not include studies that compared the effects of dissection (i.e. specimens directly dissected by learners) versus synthetic models on gross human anatomy knowledge. This criterion was adopted because many curricula still cannot provide teaching of gross human anatomy through dissection classes and, therefore, dissections are usually used for this purpose. However, it is noteworthy that there is literature discussing the benefits and drawbacks of using dissection for learning, including aspects of the hidden curriculum (e.g. exposure to death, surgical skill training via dissection, discussions surrounding ethics, among others) (Wilson et al. 2018).

Study limitations

This systematic review and meta-analysis are not without limitations. First, due to the small number of studies included in the meta-analysis ($k=7$) and the combination of heterogeneous studies with significant methodological differences (e.g. different geographical locations, human anatomy subjects, intervention duration, teaching strategy and tests) that might impact the reported effects, our results should be interpreted cautiously. Second, the moderate effect observed in favour of synthetic models' interventions was accompanied by substantial/considerable statistical heterogeneity. Third, our main result favouring synthetic models is underpowered because the power to detect the smallest meaningful effect using a random effects model was low (approximately 0.37). Fourth, because most of the included studies adopt different and nonvalidated MCQs and tag tests to assess students' academic performance and adopted different test durations, future studies using standardised and validated tests to assess human anatomy academic performance would allow us to reduce the bias from this outcome measurement. Fifth, as some of the included studies (43%) applied a parallel-study design composed of only a post-test, the students' baseline human anatomy knowledge was not evaluated, and therefore, changes from baseline were not summarised. Sixth, among those studies (57%) that applied a parallel-study design composed of pre- and post-tests, only half of them reported changed data. Seventh, the included studies only evaluated short-term gross human anatomy knowledge retention; therefore, we cannot extrapolate our main findings to long-term knowledge retention and caution readers against overinterpreting our findings. Finally, due to the small number of included studies, the presence or absence of publication bias was not indicated.

Future recommendations

Although all included studies presented an overall low risk of bias and their results sections do not seem to indicate bias due to the selection of the reported results, we strongly recommend that future studies include all statistical analyses planned into a study preregistration, which would allow verification of pre-planned statistical analyses against those reported in the published article. This important procedure is increasingly being required (Hudson, Lauer, and Collins 2016) and would increase the transparency in reporting study results (Higgins et al. 2023). We also strongly recommend that future low-risk bias randomised controlled trials involving human anatomy class interventions on undergraduate students' academic performance report the mean difference between groups and its standard deviation or at least the mean difference within groups and its standard deviation. Furthermore, as the included studies evaluated short-term gross human anatomy knowledge retention (range: 30 min [single class] to 12 h [over three weeks]) and since prolonged contact with the content under study seems to be a determinant of long-term knowledge retention (Custers 2010), studies evaluating long-term gross human anatomy knowledge retention are necessary to better understand this topic. Finally, considering all the limitations of this systematic review and meta-analysis, future randomised controlled trials with high methodological quality and enrolling students from different health science undergraduate courses are needed to provide more compelling evidence. It would help to elucidate specific human anatomy subjects that may influence outcomes. Noteworthy, although we are aware that anatomy education in non-medical curricula tends to be more functionally oriented and integrated clinically, and that many healthcare students are not taught using human tissue, many non-medical curricula continue to use cadaveric specimens as the primary method for teaching gross human anatomy. These future studies may provide more consistent evidence regarding the use of synthetic models and cadaveric specimens in gross anatomy academic performance.

Conclusions

The present study provides an early view, based on existing scientific evidence, of the academic performance of students who studied gross human anatomy in dissections or synthetic models. Overall, human anatomy classes with synthetic models interventions were associated with a moderate effect on human anatomy academic performance (low evidence) compared with those with dissections in medical undergraduate students. However, due to the study's insufficient statistical power and as the evidence level was influenced by inconsistency and imprecision, high-quality and larger randomised studies with similar human anatomy classes are required to draw more precise conclusions. Finally, although we found that teaching gross human anatomy through synthetic models favours academic performance, we emphasise that the inclusion of synthetic human models in the teaching of gross human anatomy does not justify poor actions. For example, the present study should not be used to justify removing human specimens (i.e. dissections) from curricula without fully understanding the other benefits (e.g. not related to academic performance) that human specimens provide. Conversely, our findings can at least justify the maintenance of teaching gross human anatomy through synthetic models in universities that, for any reason, still do not have access to cadavers.

Acknowledgments

A.C.L. is financed in part by the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001*. K.J.N.P. and C.K.C.S. are fellowships at Federal University of Ceará. CABL received productivity fellowship from the *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq, grant number 305276/2020-4)*.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

The work was supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [305276/2020-4]; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [Finance Code 001]; Universidade Federal do Ceará.

ORCID

Arthur Castro de Lima  <http://orcid.org/0000-0003-1826-2247>
Caio Erick Vieira de Souza  <http://orcid.org/0000-0002-0420-3425>
Jocilene Matos Ribeiro  <http://orcid.org/0009-0007-1671-4058>
Ketlen Joele do Nascimento Pessoa  <http://orcid.org/0009-0001-4795-1407>
Carlos Kauan Costa da Silva  <http://orcid.org/0009-0003-7902-3407>
Claudio Andre Barbosa de Lira  <http://orcid.org/0000-0001-5749-6877>
Ricardo Borges Viana  <http://orcid.org/0000-0001-9200-3185>

Data availability statement

All data generated or analysed during this study are included in this published article and supplementary materials.

Review protocol number

The study was pre-registered in the International Prospective Register of Systematic Review (PROSPERO) on 22 August 2023. Protocol number: CRD42023456856.

References

- Alharbi, Y., M. Al-Mansour, R. Al-Saffar, A. Garman, and A. Al-Radadi. 2020. "Three-Dimensional Virtual Reality as an Innovative Teaching and Learning Tool for Human Anatomy Courses in Medical Education: A Mixed Methods Study." *Cureus* 12 (2): e7085. <https://doi.org/10.7759/cureus.7085>.
- Azer, S. A., and N. Eizenberg. 2007. "Do We Need Dissection in an Integrated Problem-Based Learning Medical Course? Perceptions of First- and Second-Year Students." *Surgical and Radiologic Anatomy* 29 (2): 173–180. <https://doi.org/10.1007/s00276-007-0180-x>.
- Aziz, M. A., J. C. Mckenzie, J. S. Wilson, R. J. Cowie, S. A. Ayeni, and B. K. Dunn. 2002. "The Human Cadaver in the Age of Biomedical Informatics." *The Anatomical Record* 269 (1): 20–32. <https://doi.org/10.1002/ar.10046>.
- Bartellas, M. P. 2016. "Three-Dimensional Printing and Medical Education: A Narrative Review of the Literature." *University of Ottawa Journal of Medicine* 6 (1): 38–43. <https://doi.org/10.18192/uojm.v6i1.1515>.
- Booth, A., M. Clarke, G. Dooley, D. Gherzi, D. Moher, M. Petticrew, and L. Stewart. 2012. "The Nuts and Bolts of PROSPERO: An International Prospective Register of Systematic Reviews." *Systematic Reviews* 1 (2): 1–8. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-1-2>.
- Brenner, E., R. L. A. W. Bleys, R. de Caro, I. Catereniuc, A. R. M. Chirculescu, C. Destrieux, E. Eppler, et al. 2024. "The Legal and Ethical Framework Governing Body Donation in Europe – 2nd Update on Current Practice." *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 252:152195. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2023.152195>.
- Brown, A. W., D. G. Altman, T. Baranowski, J. M. Bland, J. A. Dawson, N. V. Dhurandhar, S. Dowla, et al. 2019. "Childhood Obesity Intervention Studies: A Narrative Review and Guide for Investigators, Authors, Editors, Reviewers, Journalists, and Readers to Guard Against Exaggerated Effectiveness Claims." *Obesity Reviews* 20 (11): 1523–1541. <https://doi.org/10.1111/obr.12923>.
- Brown, B., S. Adhikari, S. Marx, L. Lander, and G. L. Todd. 2012. "Introduction of Ultrasound into Gross Anatomy Curriculum: Perceptions of Medical Students." *The Journal of Emergency Medicine* 43 (6): 1098–1102. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2012.01.041>.
- Cai, B., K. Rajendran, B. H. Bay, J. Lee, and C.-C. Yen. 2019. "The Effects of a Functional Three-Dimensional (3D) Printed Knee Joint Simulator in Improving Anatomical Spatial Knowledge." *Anatomical Sciences Education* 12 (6): 610–618. <https://doi.org/10.1002/ase.1847>.
- Chan, L. K., and M. M. W. Cheng. 2011. "An Analysis of the Educational Value of Low-Fidelity Anatomy Models as External Representations." *Anatomical Sciences Education* 4 (5): 256–263. <https://doi.org/10.1002/ase.239>.
- Chen, S., Z. Pan, Y. Wu, Z. Gu, M. Li, Z. Liang, H. Zhu, et al. 2017. "The Role of Three-Dimensional Printed Models of Skull in Anatomy Education: A Randomized Controlled Trial." *Scientific Reports* 7 (1): 575. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00647-1>.
- Cohen, J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, edited by Jacob Cohen, 2nd ed. Hillsdale-New Jersey: Routledge.
- Curran, S. N., and A. F. Schaefer. 2023. "Prosections in Anatomy Education: Establishing a Definition and Describing Preparation, Use, and Educator Perceptions." *Medical Science Educator* 33 (2): 385–393. <https://doi.org/10.1007/s40670-023-01745-8>.
- Custers, E. J. F. M. 2010. "Long-Term Retention of Basic Science Knowledge: A Review Study." *Advances in Health Sciences Education* 15 (1): 109–128. <https://doi.org/10.1007/s10459-008-9101-y>.
- Dangelo, J. G., and C. A. Fattini. 2011. *Human Anatomy - Systemic and Segmental*. São Paulo: Atheneu.
- Davis, C. R., A. S. Bates, H. Ellis, and A. M. Roberts. 2014. "Human Anatomy: Let the Students Tell Us How to Teach." *Anatomical Sciences Education* 7 (4): 262–272. <https://doi.org/10.1002/ase.1424>.
- Dinsmore, C. E., S. Daugherty, and H. J. Zeitz. 1999. "Teaching and Learning Gross Anatomy: Dissection, Prosection, or 'Both of the Above'?" *Clinical Anatomy* 12 (2): 110–114. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2353\(1999\)12:2<110::AID-CA5>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2353(1999)12:2<110::AID-CA5>3.0.CO;2-3).
- Dreher, S. M., R. DePhilip, and D. Bahner. 2014. "Ultrasound Exposure During Gross Anatomy." *The Journal of Emergency Medicine* 46 (2): 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2013.08.028>.
- Elbourne, D. R., D. G. Altman, J. P. T. Higgins, F. Curtin, H. V. Worthington, and A. Vail. 2002. "Meta-Analyses Involving Cross-Over Trials: Methodological Issues." *International Journal of Epidemiology* 31 (1): 140–149. <https://doi.org/10.1093/ije/31.1.140>.
- Estai, M., and S. Bunt. 2016. "Best Teaching Practices in Anatomy Education: A Critical Review." *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 208:151–157. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.02.010>.
- Fafenrot, S., M. Korgner, and A. Ehrmann. 2019. "Mechanical Properties of Composites from Textiles and Three-Dimensional Printed Materials." In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, edited by M. Jawaidd, M. Thariq, and N. Saba, 409–425. Duxford, United Kingdom: Woodhead Publishing.
- Finn, G. M., and J. C. McLachlan. 2010. "A Qualitative Study of Student Responses to Body Painting." *Anatomical Sciences Education* 3 (1): 33–38. <https://doi.org/10.1002/ase.119>.

- Garas, M., M. Vaccarezza, G. Newland, K. McVay-Dornbusch, and J. Hasani. 2018. "3D-Printed Specimens as a Valuable Tool in Anatomy Education: A Pilot Study." *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 219:57–64. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2018.05.006>.
- Ghosh, S. K. 2017. "Cadaveric Dissection as an Educational Tool for Anatomical Sciences in the 21st Century." *Anatomical Sciences Education* 10 (3): 286–299. <https://doi.org/10.1002/ase.1649>.
- Goh, J. S. K., R. Chandrasekaran, S. R. Sirasanagandla, S. Acharyya, and S. R. Mogali. 2024. "Efficacy of Plastinated Specimens in Anatomy Education: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Anatomical Sciences Education* 17 (4): 712–721. <https://doi.org/10.1002/ase.2424>.
- Granger, N. A. 2004. "Dissection Laboratory is Vital to Medical Gross Anatomy Education." *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist* 281B (1): 6–8. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20039>.
- Griffon, D. J., P. Cronin, B. Kirby, and D. F. Cottrell. 2000. "Evaluation of a Hemostasis Model for Reaching Ovariohysterectomy in Veterinary Surgery." *Veterinary Surgery* 29 (4): 309–316. <https://doi.org/10.1053/jvet.2000.7541>.
- Guyatt, G. H., A. D. Oxman, G. E. Vist, R. Kunz, Y. Falck-Ytter, P. Alonso-Coello, and H. J. Schünemann. 2008. "GRADE: An Emerging Consensus on Rating Quality of Evidence and Strength of Recommendations." *BMJ* 336 (7650): 924–926. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>.
- Habicht, J. L., C. Kiessling, and A. Winkelmann. 2018. "Bodies for Anatomy Education in Medical Schools: An Overview of the Sources of Cadavers Worldwide." *Academic Medicine* 93 (9): 1293–1300. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000002227>.
- Higgins, J. P. T., J. Thomas, J. Chandler, M. Cumpston, T. Li, M. J. Page, and V. A. Welch. 2023. "Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 6.4 (Updated August 2023)." edited by J. Chandler, M. Cumpston, T. Li, M. Page, and V. Welch. Cochrane. www.training.Cochrane.org/handbook.
- Hozo, S. P., B. Djulbegovic, and I. Hozo. 2005. "Estimating the Mean and Variance from the Median, Range, and the Size of a Sample." *BMC Medical Research Methodology* 5 (1): 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-5-13>.
- Hudson, K. L., M. S. Lauer, and F. S. Collins. 2016. "Toward a New Era of Trust and Transparency in Clinical Trials." *JAMA* 316 (13): 1353. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.14668>.
- Jones, D. G. 2023. "Anatomists' Uses of Human Skeletons: Ethical Issues Associated with the India Bone Trade and Anonymized Archival Collections." *Anatomical Sciences Education* 16 (4): 610–617. <https://doi.org/10.1002/ase.2280>.
- Jurjus, R. A., K. Dimorier, K. Brown, F. Slaby, H. Shokoohi, K. Boniface, and Y. T. Liu. 2014. "Can Anatomists Teach Living Anatomy Using Ultrasound as a Teaching Tool?" *Anatomical Sciences Education* 7 (5): 340–349. <https://doi.org/10.1002/ase.1417>.
- Kuper, A., and M. D'Eon. 2011. "Rethinking the Basis of Medical Knowledge." *Medical Education* 45 (1): 36–43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2010.03791.x>.
- Latorre, R. M., M. P. García-Sanz, M. Moreno, F. Hernández, F. Gil, O. López, M. D. Ayala, et al. 2007. "How Useful is Plastination in Learning Anatomy?" *Journal of Veterinary Medical Education* 34 (2): 172–176. <https://doi.org/10.3138/jvme.34.2.172>.
- Lee, Y. H., Y. M. Lee, S. Kwon, and S. H. Park. 2011. "Reactions of First-Year Medical Students to Cadaver Dissection and Their Perception on Learning Methods in Anatomy." *Korean Journal of Medical Education* 23 (4): 275–283. <https://doi.org/10.3946/kjme.2011.23.4.275>.
- Leveritt, S., G. McKnight, K. Edwards, M. Pratten, and D. Merrick. 2016. "What Anatomy is Clinically Useful and When Should We Be Teaching It?" *Anatomical Sciences Education* 9 (5): 468–475. <https://doi.org/10.1002/ase.1596>.
- Lim, K. H., Z. Y. Loo, S. J. Goldie, J. W. Adams, and P. G. McMennamin. 2016. "Use of 3D Printed Models in Medical Education: A Randomized Control Trial Comparing 3D Prints versus Cadaveric Materials for Learning External Cardiac Anatomy." *Anatomical Sciences Education* 9 (3): 213–221. <https://doi.org/10.1002/ase.1573>.
- Lombardi, S. A., R. E. Hicks, K. V. Thompson, and G. Marbach-Ad. 2014. "Are All Hands-On Activities Equally Effective? Effect of Using Plastic Models, Organ Dissections, and Virtual Dissections on Student Learning and Perceptions." *Advances in Physiology Education* 38 (1): 80–86. <https://doi.org/10.1152/advan.00154.2012>.
- McGuinness, L. A., and J. P. T. Higgins. 2021. "Risk-Of-Bias VISualization (Robvis): An R Package and Shiny Web App for Visualizing Risk-Of-Bias Assessments." *Research Synthesis Methods* 12 (1): 55–61. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1411>.
- McLachlan, J. C. 2004. "New Path for Teaching Anatomy: Living Anatomy and Medical Imaging Vs. Dissection." *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist* 281B (1): 4–5. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20040>.
- McLachlan, J. C., J. Bligh, P. Bradley, and J. Searle. 2004. "Teaching Anatomy without Cadavers." *Medical Education* 38 (4): 418–424. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2004.01795.x>.
- McLachlan, J. C., and S. R. De Bere. 2004. "How We Teach Anatomy without Cadavers." *The Clinical Teacher* 1 (2): 49–52. <https://doi.org/10.1111/j.1743-498X.2004.00038.x>.
- McLachlan, J. C., and D. Patten. 2006. "Anatomy Teaching: Ghosts of the Past, Present and Future." *Medical Education* 40 (3): 243–253. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02401.x>.

- McMenamin, P. G., J. McLachlan, A. Wilson, J. M. McBride, J. Pickering, D. J. R. Evans, and A. Winkelmann. 2018. "Do We Really Need Cadavers Anymore to Learn Anatomy in Undergraduate Medicine?" *Medical Teacher* 40 (10): 1020–1029. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2018.1485884>.
- Melo, E. N., and J. T. Pinheiro. 2010. "Legal Procedures and Protocols for Use of Cadavers in Anatomy Courses in Pernambuco, Brazil." *Revista Brasileira de Educação Médica* 34 (2): 315–323. <https://doi.org/10.1590/S0100-55022010000200018>.
- Mitrousiyas, V., T. S. Karachalios, S. E. Varitimidis, K. Natsis, D. L. Arvanitis, and A. H. Zibis. 2020. "Anatomy Learning from Prosected Cadaveric Specimens versus Plastic Models: A Comparative Study of Upper Limb Anatomy." *Anatomical Sciences Education* 13 (4): 436–444. <https://doi.org/10.1002/ase.1911>.
- Mogali, R. R., W. Y. Yeong, H. K. J. Tan, G. J. S. Tan, P. H. Abrahams, N. Zary, N. Low-Beer, and M. A. Ferenczi. 2018. "Evaluation by Medical Students of the Educational Value of Multi-Material and Multi-Colored Three-Dimensional Printed Models of the Upper Limb for Anatomical Education." *Anatomical Sciences Education* 11 (1): 54–64. <https://doi.org/10.1002/ase.1703>.
- Mogali, S. R., R. Chandrasekaran, S. Radzi, Z. K. Peh, G. J. S. Tan, P. Rajalingam, and W. Y. Yeong. 2022. "Investigating the Effectiveness of Three-Dimensionally Printed Anatomical Models Compared with Plastinated Human Specimens in Learning Cardiac and Neck Anatomy: A Randomized Crossover Study." *Anatomical Sciences Education* 15 (6): 1007–1017. <https://doi.org/10.1002/ase.2128>.
- Moher, D., A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman, and PRISMA Group. 2009. "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement." *BMJ* 339:b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>.
- Moore, K. L., and A. F. Dalley. 2018. *Clinically Oriented Anatomy*. 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwe.
- Moxham, B. J., and O. Plaisant. 2007. "Perception of Medical Students Towards the Clinical Relevance of Anatomy." *Clinical Anatomy* 20 (5): 560–564. <https://doi.org/10.1002/ca.20453>.
- Nnodim, J. O. 1997. "A Controlled Trial of Peer-Teaching in Practical Gross Anatomy." *Clinical Anatomy* 10 (2): 112–117. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2353\(1997\)10:2<112::AID-CA7>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2353(1997)10:2<112::AID-CA7>3.0.CO;2-X).
- Oh, C. S., J. Y. Kim, and Y. H. Choe. 2009. "Learning of Cross-Sectional Anatomy Using Clay Models." *Anatomical Sciences Education* 2 (4): 156–159. <https://doi.org/10.1002/ase.92>.
- Ouzzani, M., H. Hammady, Z. Fedorowicz, and A. Elmagarmid. 2016. "Rayyan—A Web and Mobile App for Systematic Reviews." *Systematic Reviews* 5 (1): 210. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>.
- Page, M. J., J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. M. Tetzlaff, and D. Moher. 2021. "Updating Guidance for Reporting Systematic Reviews: Development of the PRISMA 2020 Statement." *Journal of Clinical Epidemiology* 134:103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>.
- Papa, V., M. Vaccarezza, M. Akita, P. Georgiades, M. Klüppel, and M. Pretterklieber. 2013. "Teaching Anatomy in the XXI Century: New Aspects and Pitfalls." *The Scientific World Journal* 2013 (1): 310348. <https://doi.org/10.1155/2013/310348>.
- Qamar, K., and M. Osama. 2014. "Role of Dissection in Light of Students' Perceptions." *JPMA* 64 (9): 1021–1024.
- Quintana, D., and J. Tiebel. 2019. *How to Calculate Statistical Power for Your Meta-Analysis*. Open Science Framework. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/5C7UZ>.
- Riederer, B. M. 2014. "Plastination and Its Importance in Teaching Anatomy. Critical Points for Long-Term Preservation of Human Tissue." *Journal of Anatomy* 224 (3): 309–315. <https://doi.org/10.1111/joa.12056>.
- Robertson, T., K. Meyer, M. S. Kerr, J. Gibson, L. Bradley, R. Reeves, and E. Handler. 2024. "Ultrasound Incorporation in Gross Anatomy Labs in a Master of Medical Sciences Program." *Journal of Ultrasound in Medicine* 43 (6): 999–1011. <https://doi.org/10.1002/jum.16427>.
- Ropars, M., C. Haegelen, N. Najihi, E. Berton, P. Darnault, and X. Morandi. 2011. "Enquête Sur Les Attentes et Appréhensions Des Étudiants de Deuxième Année de Médecine Au Cours Des Séances de Dissections." *Morphologie* 95 (309): 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2011.01.001>.
- Schoenfeld-Tacher, R. M., T. J. Horn, T. A. Scheviak, K. D. Royal, and L. C. Hudson. 2017. "Evaluation of 3D Additively Manufactured Canine Brain Models for Teaching Veterinary Neuroanatomy." *Journal of Veterinary Medical Education* 44 (4): 612–619. <https://doi.org/10.3138/jvme.0416-080R>.
- Sharma, S., and S. A. Goel. 2018. "Three-Dimensional Printing and Its Future in Medical World." *Journal of Medical Research and Innovation* 3 (1): e000141. <https://doi.org/10.15419/jmri.141>.
- Smith, C. F., N. Tollemache, D. Covill, and M. Johnston. 2018. "Take Away Body Parts! An Investigation into the Use of 3D-Printed Anatomical Models in Undergraduate Anatomy Education." *Anatomical Sciences Education* 11 (1): 44–53. <https://doi.org/10.1002/ase.1718>.
- So, S., R. M. Patel, and S. L. Orebaugh. 2017. "Ultrasound Imaging in Medical Student Education: Impact on Learning Anatomy and Physical Diagnosis." *Anatomical Sciences Education* 10 (2): 176–189. <https://doi.org/10.1002/ase.1630>.
- Sora, M. C., R. Latorre, C. Baptista, and O. López-Albors. 2019. "Plastination—A Scientific Method for Teaching and Research." *Anatomia, Histologia, Embryologia* 48 (6): 526–531. <https://doi.org/10.1111/ah.12493>.
- Spence, A. P. 1991. *Basic Human Anatomy*. 2nd ed. São Paulo: Manole.
- StataCorp. 2023. *Stata Statistical Software: Release 18*. College Station, TX: StataCorp LLC.

- Sterne, J. A. C., J. Savović, M. J. Page, R. G. Elbers, N. S. Blencowe, I. Boutron, C. J. Cates, et al. 2019. "RoB 2: A Revised Tool for Assessing Risk of Bias in Randomised Trials." *BMJ* 366:14898. <https://doi.org/10.1136/bmj.14898>.
- Tanner, J. A., B. Jethwa, J. Jackson, M. Bartanuszova, T. S. King, A. Bhattacharya, and R. Sharma. 2020. "A Three-Dimensional Print Model of the Pterygopalatine Fossa Significantly Enhances the Learning Experience." *Anatomical Sciences Education* 13 (5): 568–580. <https://doi.org/10.1002/ase.1942>.
- Teichgräber, U. K. M., J. M. A. Meyer, C. P. Nautrup, and D. B. Rautenfeld. 1996. "Ultrasound Anatomy: A Practical Teaching System in Human Gross Anatomy." *Medical Education* 30 (4): 296–298. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1996.tb00832.x>.
- Topp, K. S. 2004. "Prosection Vs. Dissection, the Debate Continues: Rebuttal to Granger." *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist* 281B (1): 12–14. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20037>.
- Trelease, R. B. 2016. "From Chalkboard, Slides, and Paper to E-Learning: How Computing Technologies Have Transformed Anatomical Sciences Education." *Anatomical Sciences Education* 9 (6): 583–602. <https://doi.org/10.1002/ase.1620>.
- UFC. 2013. *Projeto Político Pedagógico do Curso de Educação Física (Licenciatura)*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.
- Valentine, J. C., T. D. Pigott, and H. R. Rothstein. 2010. "How Many Studies Do You Need? A Primer on Statistical Power for Meta-Analysis." *Journal of Educational and Behavioral Statistics* 35 (2): 215–247. <https://doi.org/10.3102/1076998609346961>.
- Viana, R. B., M. H. Campos, D. A. T. Santos, I. C. M. Xavier, R. L. Vancini, M. S. Andrade, and C. A. B. de Lira. 2019. "Improving Academic Performance of Sport and Exercise Science Undergraduate Students in Gross Anatomy Using a Near-Peer Teaching Program." *Anatomical Sciences Education* 12 (1): 74–81. <https://doi.org/10.1002/ase.1790>.
- Wager, E., and P. J. Wiffen. 2011. "Ethical Issues in Preparing and Publishing Systematic Reviews." *Journal of Evidence-Based Medicine* 4 (2): 130–134. <https://doi.org/10.1111/j.1756-5391.2011.01122.x>.
- Wilson, A. B., C. H. Miller, B. A. Klein, M. A. Taylor, M. Goodwin, E. K. Boyle, K. Brown, C. Hoppe, and M. Lazarus. 2018. "A Meta-Analysis of Anatomy Laboratory Pedagogies." *Clinical Anatomy* 31 (1): 122–133. <https://doi.org/10.1002/ca.22934>.
- Winkelmann, A. 2007. "Anatomical Dissection as a Teaching Method in Medical School: A Review of the Evidence." *Medical Education* 41 (1): 15–22. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02625.x>.
- Wright, S. J. 2012. "Student Perceptions of an Upper-Level, Undergraduate Human Anatomy Laboratory Course without Cadavers." *Anatomical Sciences Education* 5 (3): 146–157. <https://doi.org/10.1002/ase.1265>.
- Yammine, K., and C. Violato. 2016. "The Effectiveness of Physical Models in Teaching Anatomy: A Meta-Analysis of Comparative Studies." *Advances in Health Sciences Education* 21 (4): 883–895. <https://doi.org/10.1007/s10459-015-9644-7>.
- Yang, M.-Y., H.-C. Tseng, C.-H. Liu, S.-Y. Tsai, J.-H. Chen, Y.-H. Chu, S.-T. Li, J.-J. Lee, and W.-C. Liao. 2023. "Effects of the Individual Three-Dimensional Printed Craniofacial Bones with a Quick Response Code on the Skull Spatial Knowledge of Undergraduate Medical Students." *Anatomical Sciences Education* 16 (5): 858–869. <https://doi.org/10.1002/ase.2269>.
- Ye, Z., A. Dun, H. Jiang, C. Nie, S. Zhao, T. Wang, and J. Zhai. 2020. "The Role of 3D Printed Models in the Teaching of Human Anatomy: A Systematic Review and Meta-Analysis." *BMC Medical Education* 20 (1): 335. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02242-x>.
- Zeng, L., R. Brignardello-Petersen, M. Hultcrantz, R. A. C. Siemieniuk, N. Santesso, G. Traversy, A. Izcovich, et al. 2021. "GRADE Guidelines 32: GRADE Offers Guidance on Choosing Targets of GRADE Certainty of Evidence Ratings." *Journal of Clinical Epidemiology* 137:163–175. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.03.026>.
- Zibis, A., V. Mitrousias, S. Varitimidis, V. Raoulis, A. Fylos, and D. Arvanitis. 2021. "Musculoskeletal Anatomy: Evaluation and Comparison of Common Teaching and Learning Modalities." *Scientific Reports* 11 (1): 1517. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80860-7>.