p-ISSN 1859 - 3461
e-ISSN 3030 - 4008

# XÂY DỰNG QUY TRÌNH SỐ HÓA MÔ HÌNH 3D GIẢI PHẪU TIM ỨNG DỤNG TRONG ĐÀO TẠO Y KHOA

**Đặng Xuân Kiên✉, Đỗ Xuân Tuyền, Đỗ Xuân Hai**
*Học viện Quân y*

## TÓM TẮT

***Mục tiêu:*** *Xây dựng quy trình số hóa mô hình nhựa 3D giải phẫu tim sử dụng công nghệ quét bằng thiết bị di động và đánh giá độ chính xác hình học của sản phẩm số hóa so với mô hình thực.*

***Đối tượng và phương pháp nghiên cứu:*** *Đối tượng nghiên cứu là mô hình nhựa giải phẫu tim của hãng 3B Scientific được sử dụng trong đào tạo, huấn luyện tại Bộ môn Giải phẫu, Học viện Quân y. Nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm mô tả: Tạo mô hình 3D bằng ứng dụng KIRI Engine (công nghệ LiDAR/Photogrammetry), xử lý hậu kỳ trên phần mềm Blender 4.1; kích thước mô hình thực được đo trực tiếp bằng thước kẹp vi sai kỹ thuật số (mốc chuẩn vàng), kích thước mô hình số hóa được đo trên Blender sau khi chuẩn hóa tỷ lệ, trên 25 chỉ số giải phẫu đã được liệt kê cụ thể. Độ chính xác được kiểm định bằng chỉ số tương đồng Cosine và hệ số tương quan $R^2$.*

***Kết quả:*** *Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình số hóa gồm 3 giai đoạn: Quét mẫu, Xử lý kỹ thuật và Xuất bản. Kết quả định lượng cho thấy mô hình 3D có độ tương đồng rất cao so với thực tế, với hệ số Cosine trung bình đạt 0,999 và hệ số tương quan $R^2$ = 0,997. Sai lệch kích thước trung bình của các cấu trúc nhỏ hơn 5%.*

***Kết luận:*** *Xây dựng thành công quy trình số hóa mô hình giải phẫu tim 3D bằng các công cụ chi phí thấp (điện thoại thông minh, phần mềm mã nguồn mở), đạt độ chính xác hình học cao - điều kiện cần để ứng dụng trong đào tạo y khoa; đây là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo đánh giá hiệu quả sư phạm thực tế trên sinh viên.*

***Từ khóa:*** *Mô hình 3D, giải phẫu tim, KIRI engine, blender, số hóa, cosine similarity.*

## ABSTRACT

***Objective:*** *To develop a digitization workflow for 3D heart anatomy models using mobile scanning technology and to assess the geometric accuracy of the digital product compared to the physical model.*

***Subjects and methods:*** *The study subject was a plastic heart anatomy model from 3B Scientific at the Vietnam Military Medical University. A descriptive experimental method*

✉Tác giả liên hệ:Đặng Xuân Kiên, Học viện Quân y
Email: dxkien.hvqy@gmail.com
Ngày gửi bài: 20/2/2026; Ngày nhận xét: 05/6/2026; Ngày duyệt bài: 30/8/2026
https://doi.org/10.54804/yhthvb

*was employed: 3D model creation using KIRI Engine app (LiDAR/Photogrammetry), post-processing in Blender 4.1, and dimensional measurement of 25 specified anatomical indices - the physical model measured directly with a digital vernier caliper (gold standard) and the digital model measured in Blender after scale normalization. Accuracy was assessed using Cosine Similarity index and $R^2$ correlation coefficient.*

***Results:*** *A successful digitization workflow comprising three stages (scanning, technical processing, and publishing) was established. Quantitative results indicated a very high similarity between the 3D and physical models, with a mean Cosine Similarity of 0.999 and $R^2 = 0.997$. The average dimensional deviation of structures was less than 5%.*

***Conclusion:*** *The digitization of heart models using low-cost tools (smartphones, open-source software) is feasible and achieves high geometric accuracy - a prerequisite for medical education application, providing the basis for further studies evaluating actual pedagogical effectiveness in students.*

***Keywords:*** *3D Model, Heart Anatomy, KIRI Engine, Blender, Digitization, Cosine Similarity.*

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giải phẫu học là môn học nền tảng có vai trò đặc biệt quan trọng trong chương trình đào tạo y khoa. Việc hiểu biết chính xác cấu trúc giải phẫu của cơ thể người, đặc biệt là các cơ quan phức tạp như tim, giúp sinh viên hình thành tư duy không gian và định hướng lâm sàng. Tuy nhiên, các phương pháp dạy học truyền thống dựa trên mô hình nhựa, tranh ảnh hoặc thi thể người hiến tặng đang bộc lộ nhiều hạn chế về số lượng, khả năng bảo quản và chi phí. Đặc biệt tại Việt Nam, nguồn hiến tặng thi thể khan hiếm khiến sinh viên ít có cơ hội quan sát trực tiếp. Trong bối cảnh chuyển đổi số, việc ứng dụng công nghệ mô hình hóa 3D đã trở thành xu hướng tất yếu. Các mô hình 3D cho phép người học tương tác trực tiếp, xoay đa chiều, bóc tách các lớp giải phẫu, giúp cải thiện khả năng ghi nhớ và tư duy không gian [1].

Tại Việt Nam, việc ứng dụng công nghệ này mới chỉ ở giai đoạn đầu, chủ yếu sử dụng phần mềm thương mại hoặc mô hình có sẵn từ nước ngoài, thiếu quy trình tự chủ để số hóa dữ liệu từ nguồn mẫu vật trong nước. Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn đó, chúng tôi thực hiện nghiên cứu này với hai mục tiêu chính: (1) Xây dựng quy trình chuẩn hóa để tạo mô hình 3D số hóa từ mẫu mô hình nhựa thực tế và (2) Đánh giá độ chính xác của mô hình 3D số hóa so với mô hình gốc.

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Mô hình thực: Mô hình giải phẫu tim bằng nhựa (hãng 3B Scientific) tại Bộ môn Giải phẫu, Học viện Quân y. Mô hình đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật sau đây trước khi đưa vào quy trình số hóa:

(1) Tính nguyên vẹn - không mẻ, vỡ, cong vênh hoặc biến dạng bề mặt so với thiết kế gốc của nhà sản xuất.

p-ISSN 1859 - 3461
e-ISSN 3030 - 4008

(2) Thể hiện đầy đủ các cấu trúc giải phẫu chính: Bốn buồng tim (tâm nhĩ phải, tâm nhĩ trái, tâm thất phải, tâm thất trái), các mạch máu lớn (động mạch chủ, thân động mạch phổi, tĩnh mạch chủ trên - dưới, các tĩnh mạch phổi), rãnh gian thất, rãnh vành và hình thể ngoài.

(3) Kích thước phù hợp cho quét 360$^{o}$.

(4) Màu sắc các vùng giải phẫu tương phản rõ, thuận lợi cho dựng hình quang trắc.

Mô hình 3D số hóa là sản phẩm được tái tạo từ mô hình thực thông qua quy trình số hóa, được xuất dưới định dạng STL/GLTF 2.0 để phục vụ đo đạc, so sánh và tương tác.

**2.2. Phương tiện và dụng cụ**

Thiết bị thu thập dữ liệu: Điện thoại thông minh iPhone 12 Pro Max (sử dụng cảm biến LiDAR) và Huawei P40 Pro (camera độ phân giải cao).

*** Phần mềm chuyên dụng:**

● KIRI Engine (bản miễn phí): Ứng dụng quét 3D trên di động sử dụng thuật toán quang trắc và LiDAR [2]. Bản free có giới hạn về số lượng ảnh cho mỗi dự án quét và độ phân giải lưới (mesh density) khi xuất file; trong nghiên cứu này, mỗi cuộc quét sử dụng 70 - 200 ảnh - nằm trong giới hạn cho phép của bản miễn phí và file xuất ra ở định dạng .OBJ với độ phân giải lưới ở mức để đảm bảo tính lặp lại của quy trình.

● Blender 4.1: Phần mềm đồ họa mã nguồn mở dùng để xử lý lưới (mesh), chỉnh sửa bề mặt, tô màu và đo đạc [3].

● Digimizer 6.4.5: Phần mềm phân tích hình ảnh dùng để kiểm tra chéo kích thước trên ảnh 2D chuẩn hóa.

● Thước kẹp vi sai kỹ thuật số (Digital Caliper, độ chính xác 0,01 mm): đo trực tiếp các kích thước trên mô hình thực - mốc chuẩn vàng (gold standard) của nghiên cứu.

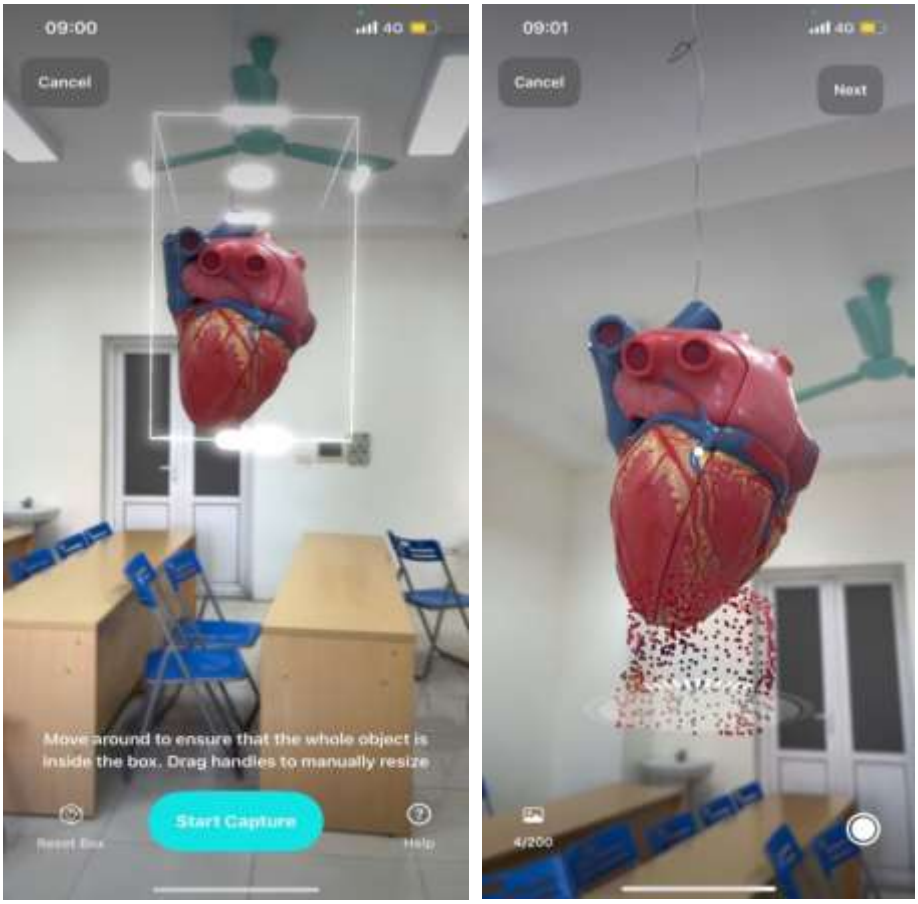
● Thước chuẩn 30cm: Dựng tham chiếu tỷ lệ trong không gian 3D khi chuẩn hóa kích thước.

● Máy tính xử lý: Cấu hình CPU i5-10.500, ram 16GB; thời gian xử lý trung bình mỗi mô hình 5 - 10 phút:

● Microsoft Excel: Xử lý thống kê và tính toán độ tương đồng.

**2.3. Quy trình nghiên cứu**

Bước 1: Thu thập dữ liệu và dựng hình. Sử dụng ứng dụng KIRI Engine. Đặt mô hình tim trong môi trường ánh sáng tốt (200-500 lux), sử dụng chế độ "Object Capture" (cho Android) hoặc "LiDAR Scan" (cho iOS). Thực hiện quét 360 độ quanh vật thể, chụp từ 70 đến 200 tấm ảnh ở các góc độ cao, thấp và ngang để đảm bảo phủ kín mọi chi tiết. Mỗi mô hình được quét lặp lại 3 lần; chọn bản quét tốt nhất (độ phủ mesh đầy đủ, ít nhiễu) để đưa vào xử lý. Dữ liệu được xử lý trên máy chủ đám mây để tạo ra file thô định dạng .OBJ.




**Hình 2.1. Tiến hành quét mô hình trên phần mềm KIRI Engine (iPhone, chế độ LiDAR Scan)**

Bước 2: Xử lý hậu kỳ mô hình. Nhập file .OBJ vào phần mềm Blender 4.1. Sử dụng công cụ Edit Mode để làm mịn bề mặt, loại bỏ các chi tiết thừa (nhiễu) và đóng các lỗ hổng trên lưới. Thực hiện "cắt" kỹ thuật số (dùng công cụ Knife) để tách rời các bộ phận giải phẫu như tâm thất, tâm nhĩ, động mạch chủ, tĩnh mạch phổi... Tô màu và gắn nhãn cho từng cấu trúc để tăng tính trực quan. Xuất file hoàn thiện dưới định dạng GLTF 2.0.

Chuẩn hóa tỷ lệ (scaling) giữa mô hình thực và không gian 3D: Khi quét bằng KIRI Engine, kích thước thô của file .OBJ thường không khớp 1:1 với kích thước thực. Để đồng bộ tỷ lệ, chúng tôi tiến hành theo trình tự:

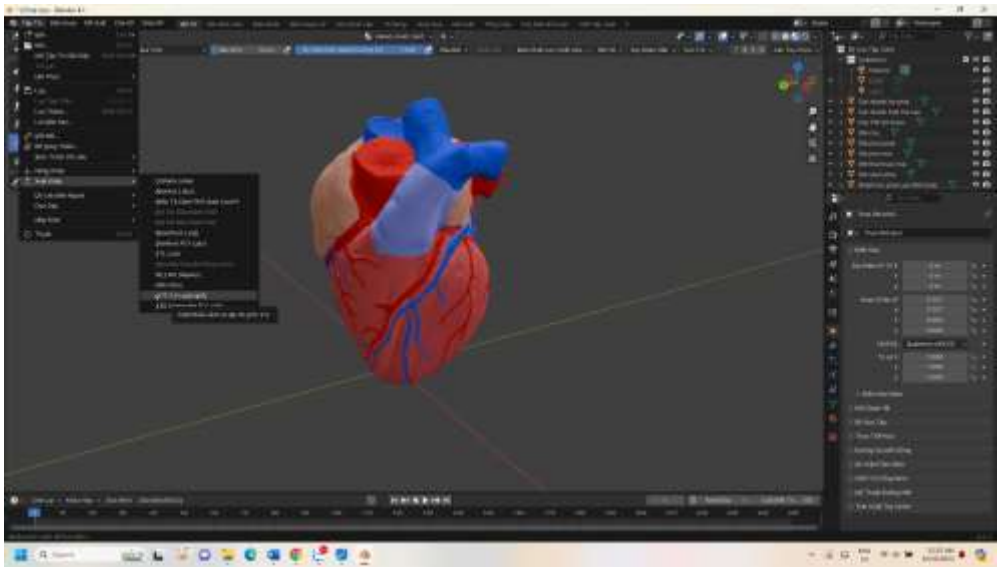
(1) Chụp mô hình cùng thước chuẩn 30cm trong cùng điều kiện quét để có tham chiếu kích thước thực.

(2) Trên Blender, tính hệ số tỷ lệ (scale factor) = kích thước thực của một cấu trúc đối chứng đo bằng thước kẹp kỹ thuật số/kích thước tương ứng đo trên mesh thô.

(3) Áp dụng scale factor cho toàn bộ mesh và thực hiện lệnh Apply Scale trước khi dùng công cụ Measure Tool.

(4) Kiểm chứng bằng cách đối chiếu kết quả đo trên Blender với số đo thước kẹp của tối thiểu 3 chỉ số đối chứng, đảm bảo sai số hệ thống dưới 1% trước khi tiến hành đo toàn bộ 25 chỉ số.

p-ISSN 1859 - 3461
e-ISSN 3030 - 4008



**Hình 2.2. Chỉnh sửa hậu kỳ trên phần mềm Blender 4.1**

Bước 3: Đo đạc và kiểm định độ chính xác.

Danh mục 25 chỉ số giải phẫu được đo đạc, so sánh giữa mô hình thực và mô hình 3D số hóa (chi tiết tại biểu đồ 3.1), gồm: Kích thước tổng thể của tim (chiều dài đáy - mỏm, đường kính ngang, đường kính trước - sau), đường kính ngoài của các mạch máu lớn (động mạch chủ lên, cung động mạch chủ, động mạch chủ xuống, thân và các nhánh động mạch phổi, tĩnh mạch chủ trên - dưới, các tĩnh mạch phổi), bề dày thành các buồng tim, chiều dài các đoạn mạch chính và chiều dài rãnh gian thất trước.

Trên mô hình thực: Đo trực tiếp bằng thước kẹp vi sai kỹ thuật số (mốc chuẩn vàng), mỗi chỉ số đo 3 lần ở cùng vị trí và lấy giá trị trung bình. Phương pháp đo trên ảnh 2D bằng Digimizer (dùng thước 30cm làm chuẩn) chỉ được sử dụng để kiểm tra chéo trên một số chỉ số, không dùng làm số liệu chính, nhằm loại bỏ sai số thị sai do góc chụp (parallax error).

- Trên mô hình 3D: Nhập file đã chuẩn hóa tỷ lệ vào Blender, sử dụng công cụ "Measure Tool" để đo các kích thước tương ứng với cùng danh mục 25 chỉ số.
- Phân tích dữ liệu: So sánh hai tập dữ liệu kích thước bằng phương pháp Cosine Similarity (độ tương đồng Cosine) để đánh giá sự đồng dạng về hình học, và phân tích hồi quy tuyến tính để đánh giá mức độ tương quan. Sai lệch phần trăm từng chỉ số được tính theo công thức:

(Kích thước thực - Kích thước 3D)/Kích thước thực × 100%.

Công thức Cosine Similarity: Giữa hai vector kích thước X (mô hình thực) và Y (mô hình 3D):

$$CS = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}}$$

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

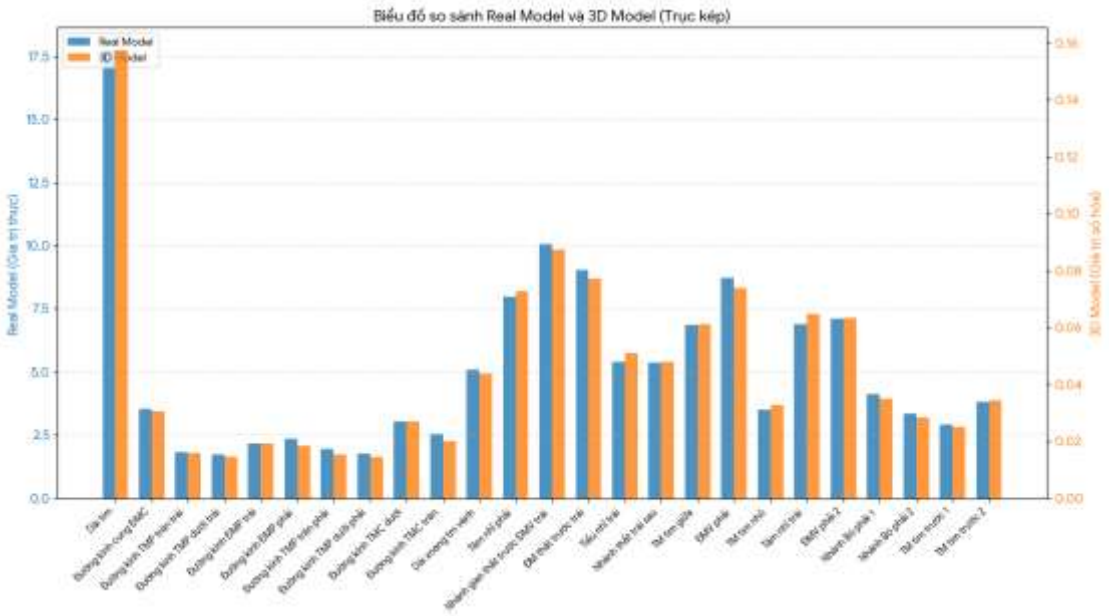
### 3.1. Kết quả xây dựng mô hình

Quy trình số hóa đã tạo ra được mô hình tim 3D hoàn chỉnh với độ chi tiết cao. Về hình thái: Mô hình tái hiện đầy đủ các rãnh, gờ, bề mặt cơ tim và hệ thống mạch máu phức tạp. Về cấu trúc: Sau khi xử lý trên Blender, mô hình đã được tách thành

các thành phần độc lập, cho phép người dùng thao tác bóc tách, ẩn/hiện từng phần để quan sát sâu bên trong. Khả năng tương tác: File GLTF 2.0 tương thích tốt với các nền tảng web, cho phép xoay, phóng to, thu nhỏ mượt mà trên cả máy tính và thiết bị di động.

### 3.2. Kết quả đánh giá độ chính xác

So sánh kích thước 25 chỉ số giải phẫu giữa mô hình thực và mô hình 3D số hóa *(nhóm tác giả điền đầy đủ số liệu từ dữ liệu thực nghiệm vào các cột giá trị; đây là khung bảng kèm danh mục 25 chỉ số để đảm bảo minh bạch, tái lập được).*




**Biểu đồ 3.1. So sánh kích thước 25 chỉ số giải phẫu giữa mô hình thực và mô hình 3D số hóa**

Phân tích độ tương đồng:

- Hệ số Cosine Similarity: Kết quả tính toán trên toàn bộ 25 cặp dữ liệu cho thấy giá trị Cosine Similarity trung bình đạt 0,999499. Giá trị này rất gần 1, khẳng định hai mô hình có sự đồng dạng gần như tuyệt đối về mặt hình học và tỷ lệ.

- Hệ số tương quan (R và $R^2$): Phân tích hồi quy cho thấy hệ số tương quan r = 0,9985 và hệ số xác định $R^2$ = 0,9971. Điều này chứng tỏ kích thước của mô hình 3D biến thiên tuyến tính rất chặt chẽ theo kích thước thực tế.

- Sai số: Sai lệch trung bình giữa các thông số đo đạc đều nhỏ hơn 5%.

## 4. BÀN LUẬN

### 4.1. Về tính khả thi và hiệu quả của quy trình

Nghiên cứu đã chứng minh rằng việc sử dụng thiết bị di động phổ thông kết hợp với phần mềm miễn phí hoàn toàn có thể tạo ra các mô hình 3D chất lượng cao. Quy trình này đơn giản hóa việc số hóa, không đòi hỏi các máy quét 3D chuyên dụng đắt tiền, giúp các cơ sở đào tạo dễ dàng triển khai. Việc xử lý hậu kỳ bằng Blender cho phép can thiệp sâu vào cấu trúc (cắt lớp, tô màu), tạo ra giá trị gia tăng lớn cho mô hình so với vật mẫu tĩnh ban đầu.

p-ISSN 1859 - 3461
e-ISSN 3030 - 4008

### 4.2. Về độ chính xác của mô hình

Theo nghiên cứu của Trần Thị Hồng Vân (2023), mô hình 3D trong giảng dạy giải phẫu có sai lệch kích thước trung bình dưới 6%, tương đương với kết quả trong nghiên cứu này [4]. Giá trị Cosine Similarity đạt xấp xỉ 0,999 và $R^2 > 0,99$ là những minh chứng thuyết phục về độ chính xác hình học của quy trình. Kết quả này tương đồng và thậm chí cao hơn một số nghiên cứu trước đây. Ví dụ, nghiên cứu của Singhal và cộng sự (2021) ghi nhận hệ số tương đồng Cosine đạt trên 0,98 [5]. Sai số kích thước dưới 5% nằm trong giới hạn cho phép của các mô hình giải phẫu ứng dụng trong y học, đảm bảo mô hình số hóa phản ánh trung thực tỷ lệ giải phẫu. Tuy nhiên, cần nhấn mạnh: các chỉ số nêu trên mới phản ánh độ chính xác hình học (geometric accuracy) của mô hình - đây là điều kiện cần nhưng chưa đủ để khẳng định giá trị trong đào tạo. Việc khẳng định hiệu quả sư phạm đòi hỏi các nghiên cứu can thiệp giảng dạy có đối chứng trên sinh viên (thử nghiệm sư phạm) để đánh giá mức độ tiếp thu, ghi nhớ và chuyển giao kiến thức, kỹ năng khi sử dụng mô hình số hóa so với phương pháp truyền thống. Đạt được độ chính xác cao này là nhờ quy trình thu thập dữ liệu nghiêm ngặt (ánh sáng, số lượng ảnh, chuẩn hóa tỷ lệ bằng mốc chuẩn vàng) và khả năng xử lý mạnh mẽ của thuật toán AI trong KIRI Engine, cũng như sự tỉ mỉ trong khâu chuẩn hóa lưới trên Blender.

### 4.3. Hạn chế nghiên cứu

Nghiên cứu mới chỉ thực hiện trên một mẫu tim duy nhất nên chưa phản ánh được sự đa dạng sinh học giữa các cá thể. Ngoài ra, một số công đoạn xử lý trên Blender vẫn thực hiện thủ công, phụ thuộc vào kỹ năng của người thao tác. Nghiên cứu chưa tiến hành thử nghiệm sư phạm (giảng dạy thực tế cho sinh viên) để đánh giá hiệu quả đào tạo - đây là hướng nghiên cứu tiếp theo cần thiết trước khi ứng dụng rộng rãi.

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình số hóa mô hình giải phẫu tim 3D với chi phí thấp và hiệu quả cao, đồng thời chuẩn hóa được quy trình thu thập (ánh sáng, số lượng ảnh, góc chụp) và xử lý hậu kỳ (làm sạch mesh, chuẩn hóa tỷ lệ, tách cấu trúc, tô màu). Mô hình số hóa đạt độ tương đồng hình học gần như tuyệt đối (Cosine Similarity ~ 0,999; r = 0,9985; $R^2$ = 0,9971) và sai lệch kích thước trung bình dưới 5% so với mẫu thực.

Với độ chính xác hình học này, mô hình đáp ứng điều kiện cần để ứng dụng trong đào tạo y khoa; các nghiên cứu tiếp theo cần đánh giá hiệu quả sư phạm thực tế (giảng dạy đối chứng trên sinh viên), mở rộng trên nhiều mẫu vật, và từng bước tự động hóa quy trình xử lý. Sản phẩm của nghiên cứu mở ra hướng đi mới trong việc xây dựng kho học liệu số, giúp sinh viên y khoa tiếp cận kiến thức giải phẫu một cách trực quan, chủ động và hiệu quả hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Yammine K, Violato C. A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. Anat Sci Educ. 2015;8(6):525-538. doi:10.1002/ase.1510.
2. KIRI Innovations. KIRI Engine - 3D Scan Application Guide. 2024.
3. Blender Foundation. Blender 4.1 User Manual. Available from: https://docs.blender.org/manual/en/latest/
4. Trần Thị Hồng Vân, Nguyễn Hữu Hòa. Đánh giá độ chính xác của mô hình 3D trong giảng dạy giải phẫu. Tạp chí Y học Việt Nam. 2023;525(1):60-68.
5. Singhal A, Mitra K, Banerjee S. Application of cosine similarity for 3D shape comparison in biomedical imaging. J Comput Biol. 2021;28(4):543-551.