

HIỆU QUẢ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ NHẬN DẠNG KÝ TỰ QUANG HỌC VÀ HỌC SÂU TRONG TỰ ĐỘNG ĐỒNG BỘ VÀ NHẬN ĐỊNH KẾT QUẢ ĐO MẬT ĐỘ XƯƠNG TẠI BỆNH VIỆN ĐẠI HỌC Y HÀ NỘI

Bùi Mỹ Hạnh^{1,2,✉}, Nguyễn Thị Thùy Trang²

Nguyễn Tấn Hậu², Khuất Thị Ngọc Ánh³

¹Trường Đại học Y Hà Nội

²Bệnh viện Đại học Y Hà Nội

³Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ nhận dạng ký tự quang học và học sâu (OCR-DL) trong tự động hóa, chuẩn hóa và đồng bộ dữ liệu đo mật độ xương bằng tia X năng lượng kép (DEXA) tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội. Nghiên cứu mô tả cắt ngang trên 6.960 bản đo mật độ xương, so sánh 4 cấp độ ứng dụng công nghệ: thủ công, HIS, HIS tích hợp hệ thống tự động (HTTĐ), HIS tích hợp hệ thống tự động và OCR-DL. Kết quả cho thấy hệ thống tích hợp OCR-DL giúp tăng tổng số điểm dữ liệu có cấu trúc lên 20,49 triệu (tăng 10 lần so với hệ thống tự động và hơn 100 lần so với hệ thống HIS đơn thuần), đồng thời giảm thời gian xử lý kết quả từ $36,1 \pm 1,9$ phút xuống còn $0,79 \pm 0,1$ phút/ca, tiết kiệm > 8.000 giờ lao động/năm, tương đương hơn 600 triệu đồng/năm với độ chính xác tổng thể là 100%. Khảo sát định tính trên 28 người dùng cho thấy 100% đánh giá mức độ hài lòng cao, khẳng định hệ thống dễ sử dụng, có giá trị ứng dụng cao. Hệ thống giúp nâng cao hiệu quả chuyên môn và góp phần thúc đẩy kinh tế xanh, tuần hoàn và chia sẻ trong y tế số, hướng tới bệnh viện thông minh, phát triển bền vững.

Từ khóa: Đo mật độ xương, trí tuệ nhân tạo, OCR, nhận dạng ký tự quang học, Optical Character Recognition, học sâu, deep learning.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

(a) *Bối cảnh y tế, dịch tễ:* Loãng xương là một bệnh lý chuyển hóa xương đặc trưng bởi sự suy yếu của xương do thay đổi cấu trúc vi mô.¹ Đây đã trở thành một vấn đề sức khỏe toàn cầu, với số ca mắc dự kiến sẽ đạt 263,2 triệu người vào năm 2030.² Phương pháp đo mật độ xương bằng hấp thụ tia X năng lượng kép (DEXA) là tiêu chuẩn vàng trong chẩn đoán loãng xương, với T-score được dùng để phân loại theo WHO: bình thường ($T\text{-score} \geq -1,0$),

thiếu xương ($-2,5 < T\text{-score} < -1,0$) và loãng xương ($T\text{-score} \leq -2,5$).³

(b) *Khoảng trống kỹ thuật, dữ liệu:* Tại Việt Nam, khi chưa có hệ thống công nghệ nhận dạng ký tự quang học (Optical Character Recognition) kết hợp mô hình học sâu (Deep Learning) tích hợp trực tiếp dữ liệu DICOM với hệ thống HIS theo chuẩn HL7/FHIR cho kỹ thuật đo mật độ xương bằng phương pháp DEXA, hệ thống thông tin bệnh viện (HIS) chỉ tiếp nhận các file hình ảnh đơn thuần hoặc PDF không có cấu trúc dữ liệu khiến thông tin bị phân mảnh, khó trích xuất, không thể tích hợp vào cơ sở dữ liệu lớn. Từ năm 2018, Bệnh viện Đại học Y Hà Nội đã phát triển hệ thống tự động hóa nhận

Tác giả liên hệ: Bùi Mỹ Hạnh

Bệnh viện Đại học Y Hà Nội

Email: buimyhnh@hmu.edu.vn

Ngày nhận: 29/10/2025

Ngày được chấp nhận: 11/12/2025

định kết quả mật độ xương bằng ngôn ngữ Javascript đạt độ chính xác 98%.⁴ Tuy nhiên, hệ thống vẫn phụ thuộc hoàn toàn vào việc nhập tay các thông số đo, chưa truy xuất trực tiếp từ ảnh DICOM. Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo (TTNT), đặc biệt là hệ thống OCR-DL, đã tạo nên bước đột phá trong tự động hóa xử lý dữ liệu hình ảnh y học.^{5,6} Hệ thống OCR-DL trong đo mật độ xương được thiết kế theo quy trình tự động bốn bước (tự động trích xuất ảnh DICOM- tự động nhận dạng, đồng bộ thông số- tự động nhận định kết quả- tự động đồng bộ với HIS/BADT). Tổ hợp 10 mô hình OCR-DL chạy song song giúp giúp tự động trích xuất các thông số đo (BMD, T-score, Z-score...), các thông tin kèm theo ảnh trực tiếp từ dữ liệu DICOM, sau đó đồng bộ với hệ thống HIS/BADT theo chuẩn định dạng dữ liệu y tế (FHIR/HL7). Nhờ đó, hệ thống cho phép kết nối dữ liệu tự động, đầy đủ và chuẩn hóa, liên kết hai chiều giữa hình ảnh, thông số đo và bệnh án điện tử.

Mục tiêu chính: Đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ nhận dạng ký tự quang học và học sâu (OCR-DL) trong tự động trích xuất, đồng bộ và nhận định kết quả đo mật độ xương tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội.

Mục tiêu cụ thể:

(1) Đánh giá định tính trải nghiệm và mức độ chấp nhận của người dùng trong quá trình triển khai hệ thống.

(2) Đánh giá định lượng hiệu quả vận hành: đặc điểm dữ liệu có cấu trúc được lưu trữ, thời gian xử lý và chi phí tiết kiệm được.

(3) Đánh giá độ chính xác của hệ thống OCR-DL trong thử nghiệm có kiểm soát và triển khai thực tế.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP

1. Đối tượng

- **Đánh giá định tính:** Đối tượng khảo sát gồm 28 người dùng thực tế: 8 bác sĩ, kỹ thuật

viên phụ trách mật độ xương và 20 bác sĩ, điều dưỡng điều dưỡng khoa khám bệnh.

- **Đánh giá định lượng:**

+ **Tiêu chuẩn lựa chọn:** Bản đồ DEXA có hình ảnh DICOM của người bệnh từ 18 tuổi trở lên, đồng ý sử dụng dữ liệu mã hóa cho nghiên cứu.

+ **Tiêu chuẩn loại trừ:** Ảnh hỏng, thiếu metadata, trùng dữ liệu.

Ba bác sĩ chuyên khoa có trên 3 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực đo và phân tích mật độ xương thực hiện ghi nhận thời gian thao tác thực tế ở từng cấp độ ứng dụng công nghệ và kiểm tra chéo tính chính xác của kết quả ứng dụng OCR-DL so với bản đọc chuẩn theo 2 giai đoạn:

+ **Giai đoạn thử nghiệm:** Chọn ngẫu nhiên 100 bản đồ mật độ xương bằng phương pháp DEXA, thử nghiệm và đối chiếu độc lập bởi ba bác sĩ chuyên khoa có trên 3 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực đo và phân tích mật độ xương.

+ **Giai đoạn triển khai thực tiễn:** Chọn mẫu thuận tiện, toàn bộ 6.960 bản đồ mật độ xương bằng phương pháp DEXA tại Khoa Thăm dò chức năng, Bệnh viện Đại học Y Hà Nội từ tháng 4/2025 đến tháng 9/2025, kết quả liên tục được đánh giá, so sánh để kịp thời phát hiện các sai số.

2. Phương pháp

Thiết kế nghiên cứu

Mô tả cắt ngang.

Thời gian và địa điểm

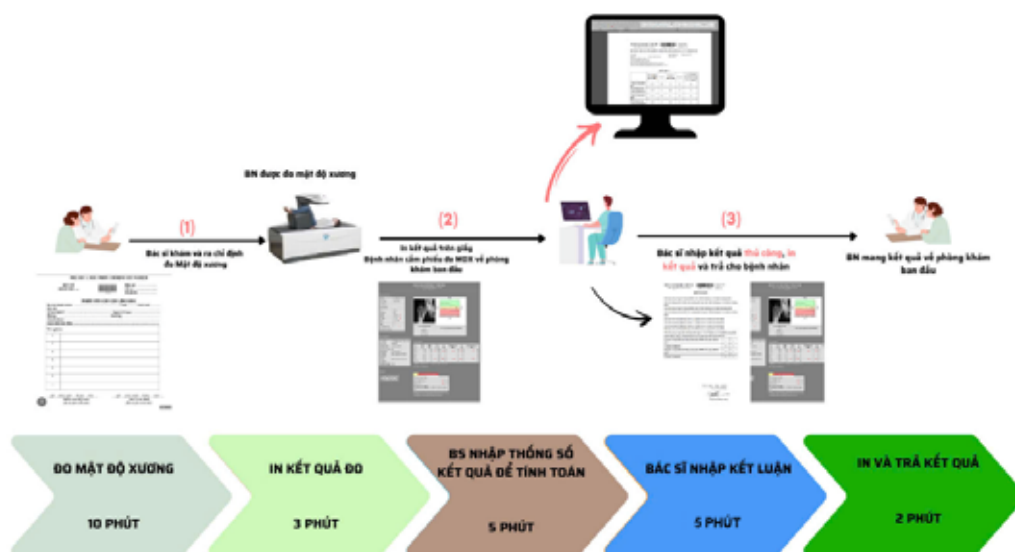
Từ tháng 4/2025 đến tháng 9/2025 tại Khoa Thăm dò chức năng, Bệnh viện Đại học Y Hà Nội.

Công cụ đánh giá

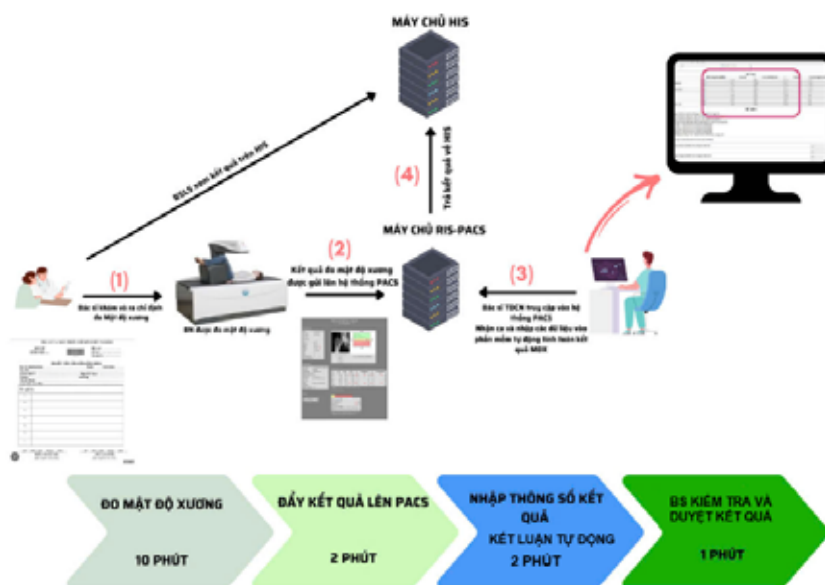
Biến số và tiêu chí đánh giá được xây dựng theo hướng đảm bảo tính đo lường, khả năng tái lập và khả thi trong nghiệm thu sáng kiến khoa học - công nghệ đáp ứng yêu cầu “tính mới, tính ứng dụng, tính hiệu quả kinh tế - xã

hội” theo quy định trong Luật Khoa học, Công nghệ và Đổi mới sáng tạo (2025) và Thông tư số 03/VBHN-BKHCN của Bộ Khoa học và Công nghệ đồng thời kết hợp các chuẩn đánh giá trong khung đánh giá ELICIT (Evaluation in Life Cycle of Information Technology).^{7,8} Đây là mô hình đánh giá toàn diện cho các đổi mới y

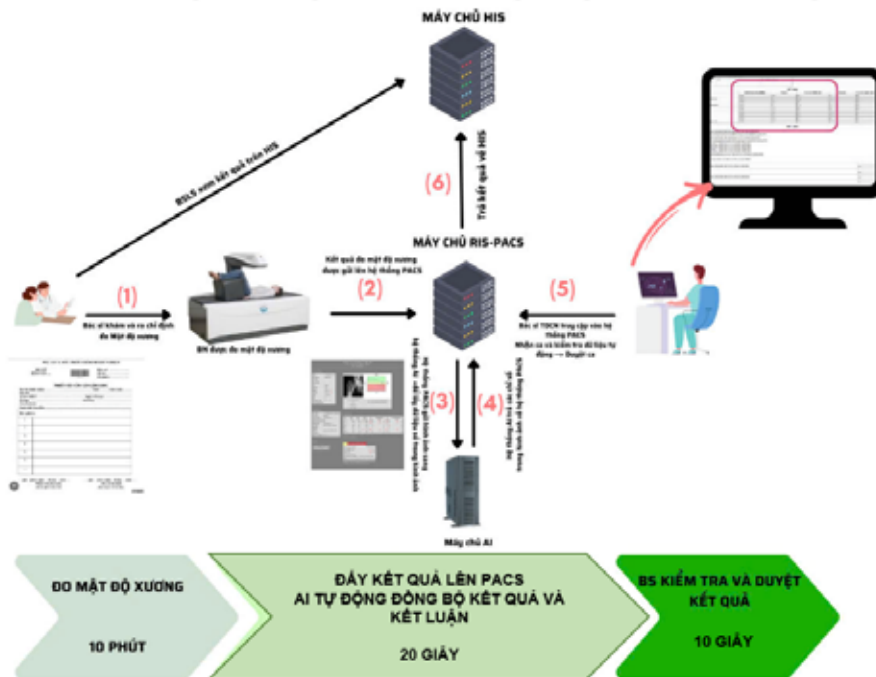
tế tích hợp với hệ thống BADT, bao quát toàn bộ 4 pha trong vòng đời công nghệ thông tin (lập kế hoạch, phát triển, triển khai, vận hành) và ba cấp độ xã hội - người dùng - công nghệ, giúp chuẩn hóa quy trình đánh giá, tối ưu hiệu quả và giá trị lâm sàng của sản phẩm số y tế.⁹



Hình 1. Sơ đồ vận hành thủ công khi chưa có hệ thống tự động và OCR-DL
(cấp độ thủ công và thủ công+HIS)



Hình 2. Sơ đồ vận hành khi có hệ thống tự động nhưng chưa có OCR-DL



Hình 3. Sơ đồ vận hành khi có hệ thống tự động và OCR-DL

Biến số

- Đánh giá định tính: Phỏng vấn, thu thập thông tin qua bảng 20 câu hỏi theo thang Likert 5 mức với 28 người dùng thực tế trong quá trình triển khai và vận hành hệ thống.

- Các biến số định lượng được chia thành ba nhóm chính tương ứng với ba nội dung chính trong đánh giá của ELICIT: (1) độ chính xác và tin cậy (cấp độ người dùng), (2) hiệu quả dữ liệu (cấp độ công nghệ), (3) hiệu quả thời gian-chi phí (cấp độ xã hội)⁹:

(1) Biến về tỷ lệ lỗi và độ chính xác:

- Tỷ lệ lỗi nhập sai số liệu (%).
- Tỷ lệ lỗi chính tả trong kết luận (%).
- Tỷ lệ phân loại sai T-score hoặc Z-score (%).
- Tỷ lệ nhận định sai kết quả (%).

(2) Biến về số điểm dữ liệu: Tổng số điểm dữ liệu có cấu trúc được phân tích, xử lý, đồng bộ và lưu trữ:

- Dữ liệu thông tin hành chính.
- Dữ liệu thông số kết quả đo.

- Dữ liệu kết luận mật độ xương.

- Dữ liệu thông số kỹ thuật trên ảnh DICOM.

- Dữ liệu thông tin chuẩn hóa và kết nối.

(3) Biến về thời gian và chi phí:

- Thời gian trích xuất bản đồ (phút/ca).
- Thời gian nhập thông số kết quả (phút/ca).
- Thời gian nhận định và phân loại kết quả (phút/ca).
- Thời gian tạo phiếu trả kết quả (phút/ca).
- Thời gian in và trả kết quả (phút/ca).
- Chi phí nhân lực tiết kiệm được (đồng/năm).

Biến định tính tập trung phản ánh trải nghiệm, sự chấp nhận và giá trị sử dụng thực tế của người dùng đối với hệ thống. Dựa theo pha “Triển khai-vận hành” trong mô hình ELICIT, 20 câu hỏi phỏng vấn theo thang Likert 5 mức độ (1-Rất không đồng ý, 2-Không đồng ý, 3-Bình thường, 4-Đồng ý, 5-Rất đồng ý) thuộc 5 khía cạnh định tính bao gồm:

(1) *Cảm nhận và mức độ tin tưởng ban đầu*: mô tả khả năng làm quen, mức độ tin cậy và cảm nhận khi bắt đầu sử dụng.

(2) *Khả dụng và tích hợp quy trình*: mô tả tính thuận tiện, ổn định, phù hợp với luồng công việc lâm sàng.

(3) *Cảm nhận về tính chính xác trong tự động đồng bộ các thông số kết quả*: phản ánh sự tin tưởng vào tính chính xác của các thông số được tự động đồng bộ bằng hệ thống OCR-DL khi trả nghiệm hệ thống.

(4) *Tác động đến công việc và người bệnh*: mô tả thay đổi về tốc độ, khối lượng, khả năng ra quyết định và phản hồi người bệnh.

(5) *Hài lòng tổng thể và định hướng phát triển*: thể hiện thái độ chấp nhận, đề xuất mở rộng, và cảm nhận bền vững của người dùng.

- Đánh giá hiệu quả theo quy trình làm việc: Ba bác sĩ chuyên khoa có trên 3 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực đo và phân tích mật độ xương thực hiện ghi nhận thời gian thao tác thực tế ở từng cấp độ ứng dụng công nghệ và kiểm tra chéo tính chính xác của kết quả ứng dụng OCR-DL so với bản đọc đã được thống nhất và chuẩn hóa dựa trên tiêu chuẩn của WHO. So sánh các chỉ số số lượng điểm dữ liệu, thời gian, tỷ lệ lỗi, độ chính xác theo 4 cấp độ ứng dụng công nghệ:

+ Cấp 1: Thủ công: Không kết nối HIS; dữ liệu được nhập lại từ bản in/PDF.

+ Cấp 2: Có hệ thống HIS, kết quả nhập thủ công hoàn toàn.

+ Cấp 3: HIS + HTTĐ: Nhập thủ công các thông số kết quả đo, tự động nhận định kết quả theo WHO và đồng bộ lên HIS.

+ Cấp 4: Ứng dụng HIS, tự động và OCR-DL: Trích xuất trực tiếp dữ liệu từ ảnh DICOM; tự động nhận dạng, đồng bộ các thông số kết quả, đối chiếu quy chuẩn lâm sàng, trích xuất kết luận, đồng bộ trực tiếp HIS/BADT.

Một số chi tiết của mô hình OCR-DL không thể công bố đầy đủ do thuộc phạm vi sở hữu trí tuệ; các chỉ số đánh giá độc lập (accuracy, precision, recall, F1-score) được đo bằng cách đối chiếu kết quả trích xuất với bản đọc chuẩn của ba bác sĩ chuyên khoa trong giai đoạn kiểm chứng thực tế.

Công thức tính số điểm dữ liệu

Số “điểm dữ liệu có cấu trúc” được tính bằng tổng số trường thông tin hành chính, thông số kết quả đo, ký tự kết luận, trường kỹ thuật trên ảnh DICOM và các thuộc tính dữ liệu đồng bộ theo chuẩn mã LOINC cho mỗi ca đo. Tổng số điểm dữ liệu cho toàn bộ mẫu được tính bằng cách nhân số điểm dữ liệu/ca với số ca đo ($n = 6.960$).

Gọi:

- D_{hc} : số trường thông tin hành chính/ca

- D_{kq} : số thông số kết quả đo/ca

D_{kl} : số ký tự trong phần kết luận/ca

D_{DICOM} : số điểm dữ liệu kỹ thuật trích xuất từ ảnh DICOM/ca

D_{LOINC} : số điểm dữ liệu chuẩn hóa theo chuẩn LOINC/ca

Với dữ liệu nghiên cứu:

$D_{hc} = 24$

$D_{kq} \approx 32-44$

$D_{kl} \approx 150-220$

Ảnh DICOM có khoảng 46 trường, mỗi trường ~20 ký tự $\Rightarrow$

$D_{DICOM} \approx 46 \times 20 = 920$

Có 44 mã LOINC về các chỉ số mật độ xương được tích hợp trong hệ thống, mỗi mã ~40 thuộc tính $\Rightarrow D_{LOINC} \approx 44 \times 40 = 1.760$

Từ đó, tổng số điểm dữ liệu có cấu trúc/ca là:

Số điểm dữ liệu/ca = $D_{hc} + D_{kq} + D_{kl} + D_{DICOM} + D_{LOINC}$

Số điểm dữ liệu cho toàn bộ mẫu (N):

Tổng số điểm dữ liệu = $N \times \text{Số điểm dữ liệu/ca}$

- Nguyên tắc tính điểm dữ liệu theo các cấp độ công nghệ:

+ Quy trình thủ công gần như không ghi nhận dữ liệu có cấu trúc;

+Thủ công + HIS chỉ lưu các trường hành chính;

+ HIS + HTTĐ bổ sung được thông số kết quả đo và kết luận;

+ Hệ thống OCR-DL lưu trữ dữ liệu của HIS+HTTĐ và thêm toàn bộ dữ liệu kỹ thuật từ ảnh DICOM, các thuộc tính chuẩn hóa theo chuẩn mã LOINC.

Xử lý số liệu

Dữ liệu được thống kê, phân tích bằng phương pháp thống kê mô tả sử dụng phần mềm SPSS 20.0; thời gian xử lý được trình bày dưới dạng mean $\pm$ SD, trong khi các tỷ lệ lỗi và độ chính xác được báo cáo dưới dạng phần trăm. Độ chính xác theo đơn vị ca (per-case), khoảng tin cậy 95% (KTC 95%) được tính theo phân bố nhị thức (Clopper-Pearson).

3. Đạo đức nghiên cứu

Dữ liệu trong nghiên cứu là một phần của dự án đang diễn ra đã nhận được sự chấp thuận về

đạo đức của Hội đồng đạo đức của Đại học Y Hà Nội (số quyết định 563/GCN-HĐĐĐNCYSH-ĐHYHN ngày 30/9/2021). Nghiên cứu tuân thủ các quy định về đạo đức y sinh học và bảo mật thông tin y tế, mọi dữ liệu người bệnh đều được mã hóa, ẩn danh và chỉ sử dụng cho mục đích nghiên cứu khoa học. Việc quản lý và lưu trữ dữ liệu tuân theo Điều 10 Thông tư 46/2018/TT-BYT, Nghị định 53/2022/NĐ-CP và tiêu chuẩn quốc tế ISO/IEC 27799:2016 về an ninh thông tin y tế.

III. KẾT QUẢ

1. Kết quả định tính đánh giá người dùng hệ thống

Khảo sát được thực hiện trên 28 người dùng (bao gồm bác sĩ, kỹ thuật viên đo mật độ xương và bác sĩ, điều dưỡng phòng khám), tuổi từ 28 đến 52 tuổi. Một người dùng lớn tuổi gặp khó khăn ban đầu trong thao tác do hạn chế về kỹ năng công nghệ thông tin, tuy nhiên sau thời gian sử dụng thực tế, 100% người tham gia đều đánh giá mức độ rất đồng ý (mức 5) ở tất cả các tiêu chí khảo sát.

Bảng 1. Kết quả đánh giá người dùng hệ thống (n = 28)

Nhóm biến số	Nội dung đánh giá	Mức 1-3	Mức 4	Mức 5
1. Cảm nhận và mức độ tin tưởng ban đầu	Đánh giá mức độ dễ làm quen, cảm nhận ban đầu tốt và tin tưởng vào kết quả hệ thống.	0	1 (3,6%)	27 (96,4%)
2. Tính khả dụng và tích hợp quy trình	Thao tác sử dụng phù hợp, ổn định, đảm bảo đồng bộ PACS-HIS-BADT tự động.	0	0	28 (100%)
3. Mức độ tin tưởng vào tính chính xác trong tự động đồng bộ các thông số kết quả	Hệ thống đảm bảo độ tin cậy, phù hợp giữa kết quả OCR-DL và thông số thực tế (BMD, T-score, Z-score, kết luận WHO...).	0	0	28 (100%)
4. Hiệu quả công việc và tác động chăm sóc người bệnh	Ảnh hưởng đến tốc độ, khối lượng công việc, khả năng ra quyết định, phản hồi người bệnh.	0	0	28 (100%)

Nhóm biến số	Nội dung đánh giá	Mức 1-3	Mức 4	Mức 5
5. Mức độ hài lòng và định hướng phát triển hệ thống	Đánh giá mức độ hài lòng chung, mức độ chấp nhận và mong muốn mở rộng ứng dụng OCR-DL.	0	0	28 (100%)

2. Đánh giá định lượng hiệu quả vận hành

Điểm dữ liệu theo mức độ tích hợp công nghệ

Bảng 2. Điểm dữ liệu theo mức độ tích hợp công nghệ (n = 6.960)

Nhóm dữ liệu	Thủ công	Thủ công+ HIS	HIS+ HTTĐ	HIS+ HTTĐ + OCR-DL
Thông tin đối tượng	0	24	24	24
Thông số kết quả đo	0	0	32 - 44	32 - 44
Kết luận mật độ xương	0	0	150 - 220	150 - 220
Thông tin kết nối và chuẩn hóa	0	0	0	1760
Thông tin kỹ thuật trên ảnh DICOM	0	0	0	920
Tổng (điểm dữ liệu) (n = 1)	0	24	206 - 288	2.862 - 2.944
Tổng (điểm dữ liệu) (n = 6.960)	0	166.320	1.427.580 - 1.995.840	19.919.520 - 20.490.240

Mỗi ca đo mật độ xương gồm 24 trường thông tin hành chính, 32-44 thông số kết quả đo, và 150-220 ký tự kết luận. Mỗi ảnh đo mật độ xương DICOM chứa khoảng 46 trường dữ liệu kỹ thuật thuộc 4 nhóm chính: thông tin hành chính, thông số thiết bị, thông số phép đo, và thông tin duyệt ca. Trung bình mỗi trường có khoảng 20 ký tự hoặc giá trị số, tương đương khoảng 920 điểm dữ liệu/ảnh (46×20). Kết quả tính toán hệ thống OCR-DL có thể lưu trữ và xử lý khoảng 6,4 triệu điểm dữ liệu kỹ thuật cho

6.960 ca tương đương với 13.920 - 20.880 ảnh DICOM.

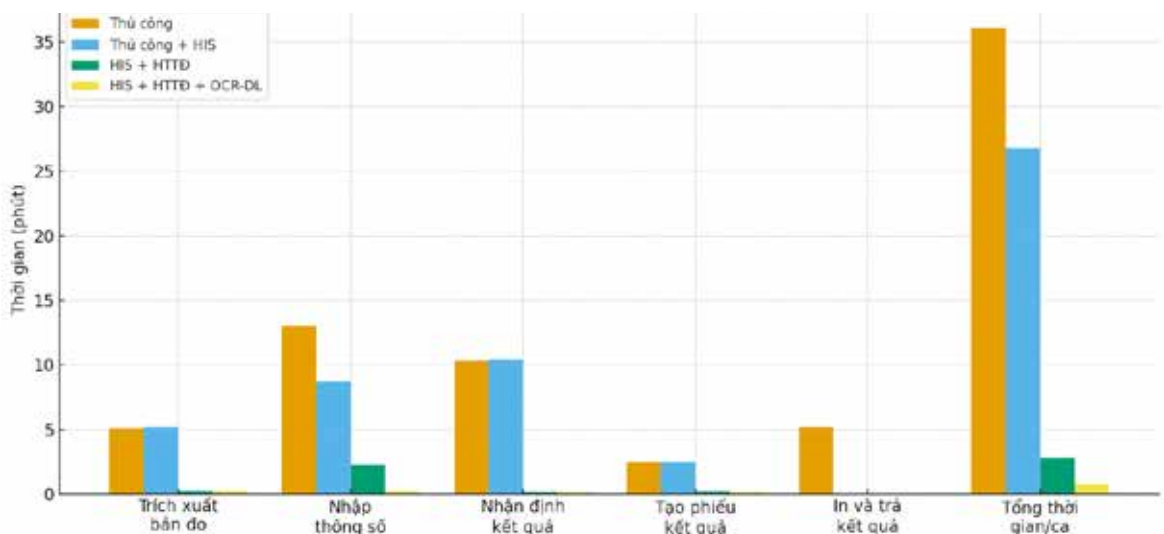
Kết quả cho thấy, tổng số điểm dữ liệu tăng theo mức độ ứng dụng công nghệ. Quy trình thủ công hoàn toàn không tạo ra dữ liệu có cấu trúc, trong khi hệ thống HIS tự động (Javascript) ghi nhận được khoảng 2 triệu điểm dữ liệu. Khi tích hợp thêm OCR-DL, tổng điểm dữ liệu đạt tới hơn 20 triệu, tăng hơn 10 lần so với hệ thống tự động trước đó.

Hiệu quả về thời gian

Bảng 3. Thời gian xử lý kết quả đo mật độ xương (phút)

Giai đoạn thử nghiệm (n = 100) (Mean ± SD)				
Bước thực hiện	Thủ công (1)	Thủ công + HIS (2)	HIS + HTTĐ (3)	HIS + HTTĐ + OCR-DL (4)
Trích xuất bản đo	5,1 ± 0,5	5,2 ± 0,4	0,25 ± 0,06	0,25 ± 0,05
Nhập thông số	13,0 ± 1,1	8,7 ± 0,7	2,26 ± 0,39	0,24 ± 0,06
Nhận định kết quả	10,3 ± 1,0	10,4 ± 1,0	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,03
Tạo phiếu trả lời kết quả	2,5 ± 0,5	2,5 ± 0,6	0,22 ± 0,04	0,15 ± 0,03
In và trả kết quả	5,2 ± 0,4	0	0	0
Thời gian trung bình/ca (phút)	36,1 ± 1,9	26,8 ± 1,5	2,80 ± 0,46	0,79 ± 0,10
Giai đoạn triển khai (n = 6.960) (Mean ± SD)				
Tổng thời gian (phút)	251.256 ± 13.224	186.528 ± 10.440	19.488 ± 3.201,6	5.498,4 ± 696
Thời gian tiết kiệm (1)-(4)	~ 245.758 (phút) ≈ ~4.095 (giờ) ≈ ~511 (ngày)			
Chi phí tiết kiệm (triệu đồng)	~ 108.076 - 319.610			

* Mean: Trung bình, SD: standard deviation (độ lệch chuẩn)

**Biểu đồ 1. Thời gian xử lý kết quả trung bình theo các cấp độ công nghệ**

Ở quy trình thủ công, thời gian trung bình là khoảng 36 phút/ca, giảm còn 0,79 phút/ca khi có HIS tích hợp HTTĐ và OCR-DL. Tính trên toàn bộ 6.960 ca trong 6 tháng triển khai, tổng thời gian xử lý giảm từ 251.256 phút xuống còn 5.498 phút, tương đương tiết kiệm hơn 4.000 giờ lao động, tức rút ngắn 96 - 97% thời gian

xử lý kết quả so với quy trình thủ công. Theo hệ số lượng dao động từ 2,34 đến 6,92 và mức cơ bản là 2.350.000 (VNĐ) thì chi phí tiết kiệm trung bình từ 108-319 triệu trong 6 tháng (~216 - 638 triệu đồng/năm).

3. Kết quả đánh giá độ chính xác của hệ thống

Bảng 3. Tỷ lệ lỗi và độ chính xác tổng thể (n = 100)

Loại lỗi	Thủ công (KTC 95%)	HIS (KTC 95%)	HIS + HTTĐ (KTC 95%)	HIS + HTTĐ + OCR-DL (KTC 95%)
Lỗi nhập sai số liệu (%)	8 (2,7 - 13,3)	8 (2,7 - 13,3)	2 (0,0 - 4,7)	0 (0,0 - 3,0)
Lỗi chính tả kết luận (%)	10 (4,1 - 15,9)	10 (4,1 - 15,9)	0 (0,0 - 3,0)	0 (0,0 - 3,0)
Lỗi phân loại sai T-score/Z-score (%)	2 (0,0 - 4,7)	2 (0,0 - 4,7)	0 (0,0 - 3,0)	0 (0,0 - 3,0)
Lỗi nhận định sai kết quả (%)	5 (0,7 - 9,3)	5 (0,7 - 9,3)	0 (0,0 - 3,0)	0 (0,0 - 3,0)
Tổng lỗi	25 (16,5 - 33,5)	25 (16,5 - 33,5)	2 (0,0 - 4,7)	0 (0,0 - 3,0)
Độ chính xác tổng thể	75 (66,5 - 83,5)	75 (66,5 - 83,5)	98 (95,3 - 100)	100 (96,4 - 100)

Giai đoạn thử nghiệm trên 100 kết quả đo mật độ xương ngẫu nhiên, nhóm nghiên cứu đã thực hiện các quy trình trả kết quả với 4 cấp độ ứng dụng công nghệ. Các thông số kết quả được kiểm tra, đối chiếu bao gồm: thông tin hành chính: Chiều cao, cân nặng, tuổi mãn kinh, thông tin kết quả đo: BMD, T-score, Z-score, % so với MĐX đỉnh, % so với người bình thường cùng tuổi, cùng giới, các thông tin về dự báo nguy cơ gãy xương theo mô hình FRAX, các kết luận tự động tương ứng với vị trí đo của người bệnh (cổ xương đùi, toàn bộ đầu trên xương đùi, cột sống thắt lưng, cẳng tay...). Ở quy trình thủ công và thủ công có HIS, tổng tỷ lệ lỗi duy trì ở mức 25%, chủ yếu do nhập sai số liệu và lỗi chính tả trong kết luận. Khi áp dụng hệ thống tự động (Javascript), lỗi giảm

còn 2% với độ chính xác đạt 98%. Đặc biệt, khi tích hợp OCR-DL, hệ thống loại bỏ hoàn toàn các lỗi nhập tay và sai nhận định, đạt độ chính xác tuyệt đối 100%.

Trong giai đoạn triển khai thực tế, hệ thống ghi nhận và đối chiếu liên tục trên toàn bộ 6.960 ca đo, cho thấy không phát sinh sai số nào trong trích xuất hay phân loại, tương ứng độ chính xác lâm sàng duy trì ở mức 100% (KTC 95%: 99,9 - 100,0).

IV. BÀN LUẬN

Kết quả nghiên cứu định tính khảo sát 28 người dùng (độ tuổi 28-52) cho thấy, dù một số người lớn tuổi ban đầu gặp khó khăn về kỹ năng công nghệ thông tin nhưng sau khi sử dụng, 100% đều đánh giá mức độ đồng ý cao

ở tất cả tiêu chí. Điều này phản ánh tính dễ sử dụng, ổn định, thân thiện và giá trị ứng dụng thực tế cao của hệ thống.

Trong nước, nghiên cứu của Bùi Mỹ Hạnh và cs (2023) đánh giá hiệu quả hệ thống Javascript tự động nhận định kết quả mật độ xương dựa trên dữ liệu đã được nhập tay vào hệ thống hỗ trợ trả kết quả, đạt độ chính xác khoảng 98% khi so sánh với bác sĩ chuyên khoa và góp phần chuẩn hóa phần kết luận trên quy mô lớn.⁴ Nghiên cứu hiện tại kế thừa nền tảng đó nhưng mở rộng phạm vi từ mức “tự động hóa bước nhận định” sang “tự động hóa toàn bộ chuỗi dữ liệu DEXA”. Hệ thống OCR-DL đạt độ chính xác 100% (KTC 95%: 96,4 - 100,0) trong 100 ca thử nghiệm có kiểm soát và không ghi nhận lỗi trong 6.960 ca triển khai thực tế; đồng thời, số điểm dữ liệu có cấu trúc được tạo lập tăng từ mức hàng trăm nghìn của nghiên cứu 2023 lên hơn 20 triệu điểm trong nghiên cứu hiện nay. Về mức độ tự động hóa, hệ thống không chỉ hỗ trợ bác sĩ trong khâu kết luận mà còn loại bỏ hoàn toàn thao tác nhập tay và thiết lập kết nối hai chiều với HIS/BADT.

Trên thế giới, phần lớn nghiên cứu về OCR trong y tế tập trung vào trích xuất văn bản từ báo cáo hình ảnh, phiếu xét nghiệm, đơn thuốc hoặc biểu mẫu giấy, với cách đánh giá chủ yếu dựa trên độ chính xác theo từng trường thông tin và phục vụ mục tiêu lưu trữ hoặc phân tích thứ cấp. Các nghiên cứu triển khai OCR-DL trực tiếp trên ảnh DICOM và tích hợp end-to-end với PACS-HIS theo chuẩn HL7/FHIR còn rất hạn chế.¹⁰⁻¹² So với các công bố này, hệ thống của chúng tôi tương đồng trong việc ứng dụng mô hình học sâu đạt độ chính xác cao trên dữ liệu thực hành lâm sàng, nhưng khác biệt ở mức độ tích hợp và phạm vi triển khai: tập trung vào modal chuyên biệt (DEXA), tự động hóa toàn bộ chuỗi xử lý, và lượng hóa đồng thời độ chính xác, thời gian xử lý, khối lượng dữ liệu có cấu trúc và chi phí tiết kiệm.

Những điểm này phản ánh định hướng nghiên cứu triển khai chứ không đơn thuần là nghiên cứu hiệu quả của thuật toán. Đây là lần đầu tiên tại Việt Nam hình thành được chuỗi dữ liệu DICOM-TTNT-PACS-HIS-BADT khép kín và có cấu trúc, cho phép truy xuất và phân tích định lượng theo chuẩn quốc tế (HL7/FHIR). Hướng đi ứng dụng hệ thống OCR-DL phù hợp tinh thần Nghị quyết 57-NQ/TW (22/12/2024) về đột phá khoa học- công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số đồng thời đáp ứng trực tiếp yêu cầu của chương trình chuyển đổi số y tế đến 2025, định hướng 2030 (QĐ 5316/QĐ-BYT), nhấn mạnh số hóa quy trình, chuẩn hóa và liên thông dữ liệu.^{13,14}

Thời gian xử lý mỗi bản kết quả DEXA giảm dần theo mức độ ứng dụng công nghệ. So với quy trình thủ công mất 36 phút/ca, hệ thống HIS tự động giảm xuống 26 phút, mô hình tự động Javascript chỉ còn 2,8 phút, và khi tích hợp OCR-DL, thời gian xử lý trung bình chỉ 0,79 phút/ca. Tính trên toàn bộ 6.960 ca hệ thống OCR-DL giúp giảm hơn 97% thời gian thao tác so với thủ công, tiết kiệm hơn 600 triệu đồng chi phí nhân lực mỗi năm. So sánh với nghiên cứu công bố năm 2023 tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội, khi hệ thống tự động hóa Javascript đã giúp giảm 90% thời gian so với thủ công, thì hệ thống hiện nay tiếp tục nâng hiệu quả thêm gần 10 lần nhờ tự động hóa toàn phần.⁴

Tuy nhiên, hiệu quả của OCR-DL phụ thuộc trực tiếp vào chất lượng ảnh DICOM đầu vào. Do đó, kỹ thuật viên đo mật độ xương cần được đào tạo và thực hiện đúng quy trình kỹ thuật để đảm bảo hình ảnh đạt chuẩn trước khi đưa vào hệ thống; đây cũng là yêu cầu chuyên môn bắt buộc đối với kỹ thuật viên mật độ xương. Trong nghiên cứu này, toàn bộ hình ảnh đều được bác sĩ xem và xác nhận đạt tiêu chuẩn kỹ thuật trước khi hệ thống OCR-DL xử lý. Đối với các trường hợp có dụng cụ kết hợp xương, thay khớp háng, biến dạng cột sống hoặc các

bất thường giải phẫu khác, hệ thống đã được huấn luyện trên bộ dữ liệu bao gồm các bệnh lý này nên các kết quả trích xuất đều chính xác trong phạm vi dữ liệu đã được đào tạo. Ngoài ra, OCR-DL chỉ đồng bộ dữ liệu sau khi hình ảnh đã được bác sĩ phân tích và hội chẩn theo quy trình máy đo, vì vậy các ca phức tạp đều được xử lý lâm sàng trước khi đi vào bước trích xuất tự động.

Tổng tỷ lệ lỗi nhập sai và nhận định giảm từ 25% (thủ công) xuống 2% (HTTĐ) và 0% (OCR-DL), giúp độ chính xác hệ thống đạt tuyệt đối 100%. Về tỷ lệ sai sót 25% trong quy trình thủ công, đây là sai sót được ghi nhận tại lần nhập dữ liệu đầu tiên, bao gồm lỗi nhập số liệu, nhập kết luận hoặc nhận định không chính xác. Trong thực tế vận hành trước đây, bác sĩ phải kiểm tra và sửa lỗi sau khi kỹ thuật viên nhập tay, làm kéo dài thời gian xử lý và tiềm ẩn nguy cơ sai sót còn sót lại. Trung bình mỗi lỗi nhập sai hoặc sai nhận định có thể khiến bác sĩ tốn thêm 5 - 10 phút sửa hoặc nhập lại. Hệ thống OCR-DL giúp loại bỏ hoàn toàn các sai sót này bằng cách trích xuất trực tiếp từ hình ảnh DEXA mà không phụ thuộc vào thao tác nhập liệu thủ công. Tổng thời gian tiết kiệm được nhờ rút ngắn quy trình vận hành và loại bỏ lỗi sai tương đương khoảng 700 giờ/năm và giảm chi phí nhân lực vận hành ước tính > 20% so với giai đoạn tự động trước. Như vậy, hệ thống OCR-DL không chỉ rút ngắn đáng kể thời gian thao tác, tiết kiệm chi phí nhân lực và vật tư, mà còn đảm bảo tính chính xác tuyệt đối của dữ liệu, góp phần hình thành chu trình xử lý, trả kết quả, lưu trữ, đồng bộ thông minh trong chuyển đổi số y tế. Hệ thống hoạt động hai chiều, thời gian thực, lưu song song ảnh DICOM, kết quả OCR và log duyệt, bảo đảm tính toàn vẹn, dễ truy xuất và kiểm định chất lượng. Cấu trúc dữ liệu được thiết kế sẵn sàng cho các mô hình TTNT phân tích thứ cấp, mở ra khả năng dự báo loãng xương và quản lý bệnh mạn tính trên

nền dữ liệu thống nhất, thông minh.

Hệ thống không chỉ mang lại lợi ích kỹ thuật mà còn góp phần thúc đẩy các mô hình kinh tế bền vững đang được Đảng và Nhà nước định hướng trong Chiến lược chuyển đổi số quốc gia và phát triển kinh tế tri thức. Về kinh tế xanh: Hệ thống OCR-DL giúp loại bỏ hoàn toàn việc in ấn và lưu trữ giấy tờ, chuyển sang phiếu kết quả điện tử và BADT, qua đó giảm phát thải và tiêu thụ năng lượng, hướng tới bệnh viện xanh - phát thải thấp. Về kinh tế tuần hoàn: hệ thống cho phép tái sử dụng và tái tích hợp dữ liệu DICOM - TTNT - PACS- HIS - BADT cho nghiên cứu, đào tạo và phát triển mô hình TTNT mới, hình thành chu trình dữ liệu tuần hoàn trong y tế số. Về kinh tế chia sẻ: nền tảng OCR-DL và cơ sở dữ liệu chuẩn HL7/FHIR có thể dùng chung giữa các cơ sở y tế, tạo nên mạng lưới y tế số cộng tác, giảm chi phí, tăng hiệu quả chia sẻ tri thức.

Hệ thống tuân thủ đầy đủ quy định bảo mật dữ liệu y tế theo Thông tư 46/2018/TT-BYT, Nghị định 53/2022/NĐ-CP và tiêu chuẩn ISO 27799. Dữ liệu DICOM và nhật ký xử lý được mã hóa và lưu trữ trong mạng nội bộ bệnh viện, không truyền ra Internet. Hệ thống triển khai tại chỗ, có phân quyền truy cập, ghi vết hoạt động và tự xóa dữ liệu tạm sau xử lý, bảo đảm an toàn thông tin và phù hợp với yêu cầu vận hành thực tế.

V. KẾT LUẬN

100% người dùng hài lòng ở mức cao khi trải nghiệm hệ thống tích hợp OCR-DL. Số điểm dữ liệu có cấu trúc tăng lên 20,49 triệu cho 6.960 ca đo (gấp 10 lần so với hệ thống HTTĐ trước đó và hơn 100 lần so với HIS đơn thuần); thời gian xử lý giảm từ 36 xuống còn 0,79 phút/ca, tiết kiệm hơn 8.000 giờ lao động mỗi năm, tương đương hơn 600 triệu đồng chi phí nhân lực. Hệ thống đạt độ chính xác 100% trong cả giai đoạn thử nghiệm và triển khai

thực tế. Hệ thống tích hợp và chuẩn hóa chuỗi DICOM - TTNT-PACs-HIS-BADT đáp ứng đầy đủ yêu cầu và định hướng chuyển đổi số trong y tế Việt Nam.

HẠN CHẾ VÀ KHUYẾN NGHỊ

Thứ nhất, hệ thống mới được triển khai tại một bệnh viện và trên một dòng máy DEXA, chưa đánh giá trên các hãng thiết bị khác như Hologic, GE hay Lunar nên tính khái quát còn hạn chế. Thứ hai, mặc dù ảnh DICOM không bị lệch scan như ảnh giấy, chất lượng hình ảnh vẫn phụ thuộc vào thao tác của kỹ thuật viên (đặt tư thế, vùng quét, độ đồng nhất của nền ảnh); vì vậy công tác đào tạo và chuẩn hoá quy trình chụp là rất quan trọng để hạn chế sai số. Trong nghiên cứu này, chỉ các ảnh đạt tiêu chuẩn kỹ thuật và được bác sĩ kiểm tra mới được đưa vào hệ thống OCR-DL. Thứ ba, ước tính chi phí tiết kiệm chưa bao gồm chi phí triển khai, bảo trì hệ thống, máy chủ và khấu hao phần mềm. Cuối cùng, các trường hợp có kết luận dạng văn bản tự do hoặc ghi chú lâm sàng dài vẫn cần cơ chế kiểm tra thủ công (fallback) để bảo đảm độ chính xác và an toàn lâm sàng.

LỜI CẢM ƠN

Xin cảm ơn Phòng Công nghệ thông tin - Bệnh viện Đại học Y Hà Nội, công ty cổ phần công nghệ ISOFH, công ty cổ phần giải pháp công nghệ Minerva đã đồng hành cùng nhóm nghiên cứu trong thực hiện và hoàn thành đề tài này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Föger-Samwald U, Dovjak P et al. Osteoporosis: Pathophysiology and therapeutic options. *EXCLI journal*. 2020; 19:1017-1037. doi:10.17179/excli2020-2591.

2. Zhu Z, Yu P, Wu Y, et al. Sex Specific Global Burden of Osteoporosis in 204 Countries and Territories, from 1990 to 2030: An Age-

Period-Cohort Modeling Study. *The journal of nutrition, health & aging*. 2023; 27(9): 767-774. doi:10.1007/s12603-023-1971-4.

3. Cosman F dBS, LeBoff et al. National Osteoporosis Foundation. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. 2014 25(10): 2359-81. doi: 10.1007/s00198-014-2794-2.

4. Bùi Mỹ Hạnh, Vương Thị Ngân. Kết quả giải pháp tự động hoá phân tích kết quả đo mật độ xương bằng tia X năng lượng kép tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội. *Tạp chí Nghiên cứu Y học*. 2023; 171(10): 79-86.

5. Osagie E, Ayo-Ogbor S. Challenges in the Design of Optical Character Recognition for Medical Image Modalities. *International Journal of Multidisciplinary Research Configuration*. 07/15 2022; 4: 109-112.

6. Bui HM, Ha MH, Pham HG, et al. Predicting the risk of osteoporosis in older Vietnamese women using machine learning approaches. *Sci Rep*. Nov 23 2022; 12(1): 20160. doi:10.1038/s41598-022-24181-x.

7. Quốc hội. Luật số 93/2025/QH15: Luật Khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo 2025.

8. Bộ Khoa học và công nghệ. Thông tư số 04/2023/TT-BKHCN: Sửa đổi, bổ sung một số điều của các Thông tư quy định quản lý nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp quốc gia. 2023;

9. Kukhareva PV, Weir C, Del Fiol G, et al. Evaluation in Life Cycle of Information Technology (ELICIT) framework: Supporting the innovation life cycle from business case assessment to summative evaluation. *Journal of biomedical informatics*. Mar 2022; 127: 104014. doi:10.1016/j.jbi.2022.104014.

10. Ma MW, Gao XS, Zhang ZY, et al. Extracting laboratory test information from

paper-based reports. *BMC medical informatics and decision making*. Nov 6 2023; 23(1): 251. doi:10.1186/s12911-023-02346-6.

11. Akheel S. Automating PHI Extraction with Optical Character Recognition: A Literature Review on Improving Efficiency in Healthcare Systems Using Tesseract. *Progress in Medical Sciences*. 06/30 2023; 7:1-4. doi:10.47363/PMS/2023(7)E125.

12. Giansanti D, Basilio F. The Artificial Intelligence in Digital Radiology: Part 1: The

Challenges, Acceptance and Consensus. *Healthcare*. 03/10 2022; 10:509. doi:10.3390/healthcare10030509.

13. Bộ chính trị. Nghị quyết số 57-NQ/TW, ngày 22/12/2024 về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia. 2024;

14. Bộ Y tế. Quyết định số 5316/QĐ-BYT ngày 22/12/2020 phê duyệt Chương trình Chuyển đổi số y tế đến năm 2025, định hướng đến năm 2030.

Summary

EFFECTIVENESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN AUTOMATED SYNCHRONIZATION AND INTERPRETATION OF BONE DENSITOMETRY RESULTS AT HANOI MEDICAL UNIVERSITY HOSPITAL

The objective of this cross-sectional study was to evaluate the application of optical character recognition combined with deep learning (OCR-DL) in automating, standardizing, and synchronizing bone density data by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) at Hanoi Medical University Hospital. 6,960 DEXA scans were included in the study, comparing four levels of technological integration: manual operation, Hospital Information System (HIS), HIS with an automated system, and HIS with an automated system integrated with AI. The results showed that the OCR-DL-integrated system increased the total number of structured data points to 20.49 million (10 times higher than the automated system and over 100 times higher than the basic HIS), while reducing the average processing time per case from 36.1 ± 1.9 minutes to 0.79 ± 0.1 minutes, saving over 8,000 labor hours per year equivalent >600 million VND annually with an overall accuracy of 100%. A qualitative survey among 28 users indicated that 100% reported high satisfaction and acceptance, confirming that the system is user-friendly, easy to operate, and clinically valuable. The system not only enhances professional efficiency but also contributes to promoting green, circular, and shared economies in digital healthcare, advancing toward a smart and sustainable hospital model.

Keywords: Bone density measurement, artificial intelligence, OCR, Optical Character Recognition, deep learning.