

Nghiên cứu

Bán định lượng sự lắng đọng sắt thông qua giá trị SWI/phase ở các nhân xám trung ương

Trần Phan Hữu Lợi¹, Nguyễn Thanh Thảo¹, Phan Thị Thanh Hương¹,
Trần Văn Hưng², Hoàng Ngọc Thành^{1*}

¹Bộ môn Chẩn đoán hình ảnh, Trường Đại học Y Dược, Đại học Huế

²Khoa Chẩn đoán hình ảnh, Bệnh viện Trường Đại học Y Dược, Đại học Huế

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): Hoàng Ngọc Thành; email: hnthanh@hue-med-univ.edu.vn;
hoangngocthanh@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài (Received): 16/04/2026; Ngày duyệt đăng (Accepted): 25/05/2026; Ngày xuất bản (Published): 28/06/2026

DOI:10.34071/jmp.2026.5.1055

Tóm tắt

Mục tiêu: Định lượng gián tiếp hàm lượng sắt tại các nhân xám trung ương dựa trên hình phase từ chuỗi xung nhạy cảm từ SWI tại Bệnh viện Đại học Y - Dược Huế.

Phương pháp: Nghiên cứu mô tả cắt ngang trên 62 bệnh nhân chưa ghi nhận bất thường trên MRI sọ não có sử dụng chuỗi xung SWI từ tháng 03/2023 đến tháng 04/2024. Độ lệch phase của các nhân xám trung ương được đo lường từ hình phase của chuỗi xung SWI. Nghiên cứu sử dụng thống kê mô tả và kiểm định so sánh cặp theo giới tính và vị trí (trái/phải), tương quan so với tuổi; $p < 0,05$ được xem là có ý nghĩa thống kê.

Kết quả: Giá trị phase cao nhất được ghi nhận tại đồi thị, tiếp theo là bèo sẫm, nhân đỏ, chất đen, cầu nhát và nhân đuôi. Tuổi tỉ lệ thuận với mức độ lắng đọng sắt tại nhân đuôi, bèo sẫm, cầu nhát, đồi thị và chất đen ($p < 0,05$). Trong đó, bèo sẫm thể hiện mối tương quan mạnh nhất ($r > 0,5$; $p < 0,05$). Có sự khác biệt có ý nghĩa về nồng độ sắt giữa hai bán cầu não tại các vị trí bèo sẫm, cầu nhát và nhân đỏ. Sự khác biệt có ý nghĩa giữa nam và nữ được tìm thấy ở nhân đỏ và cầu nhát ($p < 0,05$).

Kết luận: Gia tăng lắng đọng sắt theo độ tuổi tại hầu hết các vị trí, bao gồm nhân đuôi, bèo sẫm, cầu nhát, đồi thị và chất đen. Sự phân bố sắt cho thấy tính bất đối xứng: nồng độ sắt tập trung cao hơn ở bán cầu phải đối với bèo sẫm, trong khi ở bán cầu trái, sắt lắng đọng nhiều hơn tại cầu nhát và nhân đỏ.

Từ khóa: lắng đọng sắt; nhân xám trung ương; chuỗi xung SWI.

Semiquantitative assessment of iron accumulation in deep gray matter nuclei via SWI phase imaging

Trần Phan Hữu Lợi¹, Nguyễn Thanh Thảo¹, Phan Thị Thanh Hương¹,
Trần Văn Hưng², Hoàng Ngọc Thành^{1*}

¹Department of Radiology, University of Medicine and Pharmacy, Hue University

²Department of Radiology, Hue University of Medicine and Pharmacy Hospital

Abstract

Objective: To indirectly quantify iron content in deep gray matter nuclei based on phase image values using susceptibility-weighted imaging (SWI) at Hue University Hospital.

Methods: A cross-sectional descriptive study was conducted on 62 patients who underwent brain MRI, including Susceptibility-Weighted Imaging (SWI) sequences, between March 2023 and April 2024. The MRI reports showed no abnormalities in the routine pulse sequences. The phase shift of central gray matter nuclei was measured from the phase image of the SWI. Descriptive statistics and paired t-tests were used to compare variables by sex and side (left/right). Correlation analysis was performed to evaluate the relationship between these variables and age. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results: The highest iron concentration was observed in the thalamus, followed in descending order by the putamen, red nucleus, substantia nigra globus pallidus, caudate nucleus. Patient age showed a positive correlation with iron deposition in the caudate nucleus, putamen, globus pallidus, thalamus, and substantia nigra ($p < 0.05$). The putamen exhibited the strongest correlation with age ($r > 0.5$; $p < 0.05$). Variations in iron concentration between the two hemispheres were identified in the putamen, globus pallidus, and red nucleus. Significant differences between males and females were found in the red nucleus and globus pallidus ($p < 0.05$).

Conclusion: Increased iron deposition associated with advancing age was identified in the caudate

nucleus, putamen, globus pallidus, thalamus, and substantia nigra. Iron accumulation patterns differed between hemispheres: higher concentrations were noted in the right hemisphere for the putamen, whereas the left hemisphere showed greater deposition in the globus pallidus and red nucleus.

Keywords: Brain iron; deep gray matter nuclei; susceptibility-weighted imaging (SWI); phase value; iron deposition.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhiều bằng chứng cho thấy sắt có liên quan đến cơ chế gây ra nhiều bệnh lý thoái hóa thần kinh. Sự lắng đọng sắt bất thường ở nhân xám trung ương không chỉ xảy ra trong các bệnh thoái hóa thần kinh liên quan đến tuổi như Parkinson, Alzheimer và Huntington, mà còn xuất hiện trong các rối loạn di truyền liên quan đến đột biến trong con đường chuyển hóa sắt [1-6]. Việc ước lượng sự lắng đọng sắt trong não có thể trở thành một chỉ dấu sinh học giúp xác định và theo dõi tiến triển của các bệnh thoái hóa thần kinh. Để hiểu rõ hơn về sự thay đổi bệnh lý liên quan đến lắng đọng sắt, cần nắm rõ sự phân bố sinh lý của sắt trong hạch nền ở người bình thường. Các nghiên cứu trên tử thi và in vivo cho thấy ở người bình thường, lượng sắt tăng theo tuổi ở một số vùng nhân xám trung ương và vỏ não [7-9]. Tuy nhiên, tốc độ tích tụ sắt khác nhau giữa các cấu trúc não. Ví dụ, cầu nhện tích tụ sắt nhiều trong hai thập kỷ đầu đời và gần như không tăng thêm sau 30 tuổi. Ở nhân đỏ và chất đen, sắt tăng nhanh trong giai đoạn đầu đời. Trong khi đó, bào sẫm tích tụ sắt chậm hơn và đạt mức tối đa vào khoảng 60 tuổi. Ngoài tuổi tác, giới tính cũng là yếu tố ảnh hưởng đến lượng tích tụ sắt trong não. Bartzokis và cộng sự (2007) báo cáo rằng phụ nữ có lượng sắt trong não thấp hơn nam giới tại các vùng như nhân đuôi, đồi thị và chất trắng ở thùy trán [9]. Điều này có thể giải thích tại sao phụ nữ ít mắc các bệnh thoái hóa thần kinh hơn. Ngoài ra, nhiều nghiên cứu cũng chỉ ra sự bất đối xứng giữa hai bán cầu não [10]. Do các chức năng thần kinh có tính chuyên biệt hóa theo bên (ví dụ: ngôn ngữ ở bên trái, thị giác - không gian ở bên phải), cấu trúc biểu hiện của chúng cũng có sự khác biệt rõ rệt. Một số nghiên cứu cho rằng bán cầu trái có nhiều dopamine hơn, và vì sắt là co-factor thiết yếu trong tổng hợp dopamine, nên có thể tồn tại sự ưu thế trái về hàm lượng sắt trong não. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào tập trung vào sự khác biệt giữa hai bán cầu về nồng độ sắt. Lượng sắt trong não có thể được đánh giá in vivo bằng hình ảnh cộng hưởng từ. Sắt làm thay đổi tín hiệu MRI thông qua sự không đồng nhất từ tính cục bộ, tạo ra sự lệch pha. Càng nhiều sắt, độ lệch pha càng lớn. Giá trị phase của các nhân xám trung ương phản ánh đặc tính từ tính và thành phần hóa học của mô não, như hàm lượng sắt và myelin. Qua đó, giá trị phase

giúp nghiên cứu cấu trúc và chức năng của các vùng nhân xám quan trọng như nhân đuôi, nhân đỏ, chất đen... Đây cũng là chỉ số quan trọng trong việc phát hiện và theo dõi các bệnh thần kinh thoái hóa như Parkinson, bởi sự thay đổi về giá trị phase có thể phản ánh tổn thương hoặc sự tích tụ bất thường trong mô não. Vì vậy, nghiên cứu về giá trị phase góp phần nâng cao hiểu biết về bệnh lý và hỗ trợ chẩn đoán y học. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành nghiên cứu bán định lượng sự lắng đọng sắt ở nhân xám trung ương dựa trên tín hiệu hình ảnh phase của chuỗi xung nhạy cảm từ SWI, để từ đó có thể cung cấp thông tin tham chiếu quan trọng cho việc chẩn đoán và điều trị. Nghiên cứu này là nghiên cứu pilot đầu tiên ở Việt Nam để xem xét gián tiếp hàm lượng sắt và tìm mối liên hệ với một số yếu tố liên quan như tuổi, giới tính, bán cầu não.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Hồi cứu 100 bệnh nhân được chỉ định chụp cộng hưởng từ sọ não từ tháng 3/2023 đến tháng 4/2024 ghi nhận chưa có bất thường nội sọ trên các chuỗi xung thường quy tại khoa chẩn đoán hình ảnh, Bệnh viện Trường Đại học Y Dược Huế. Trong đó có 62 bệnh nhân phù hợp tiêu chuẩn chọn bệnh. Chúng tôi đã loại khỏi nghiên cứu 38 trường hợp, trong đó 6 trường hợp do lỗi chuỗi xung hoặc lỗi DICOM, 11 trường hợp có tổn thương cũ gần các nhân xám trung ương, và 21 trường hợp có xáo trộn ảnh hưởng đến sự hiển thị giải phẫu và định lượng giá trị hình ảnh.

Tiêu chuẩn chọn bệnh

Bệnh nhân ở mọi lứa tuổi được chỉ định chụp cộng hưởng từ sọ não thường quy và ghi nhận chưa có bất thường, bao gồm chuỗi xung SWI đạt chất lượng hình ảnh.

Tiêu chuẩn loại trừ

- Bệnh nhân có tổn thương bất thường trong não, gây ảnh hưởng đến vùng giải phẫu quan tâm.
- Bệnh nhân có tiền sử hoặc hiện mắc các bệnh thần kinh nặng như đột quỵ nặng, chấn thương sọ não, hoặc các bệnh thoái hóa não ngoài phạm vi nghiên cứu.
- Bệnh nhân có các dị tật hoặc tổn thương não lớn (như u não, khối máu tụ, vùng hoại tử, vùng vôi hóa lớn) làm biến dạng cấu trúc não, gây sai lệch dữ

liệu phase.

- Bệnh nhân dùng thuốc hoặc điều trị ảnh hưởng đến cấu trúc não hoặc thành phần sắt (thuốc có tác động lên chuyển hóa sắt hoặc các liệu pháp hóa trị).

- Bệnh nhân có hình ảnh SWI chất lượng kém, nhiễu nhiều hoặc xáo ảnh làm giảm độ tin cậy của giá trị phase.

- Bệnh nhân mắc các bệnh toàn thân ảnh hưởng đến não như rối loạn chuyển hóa nặng, suy thận, hoặc các bệnh lý huyết học làm thay đổi thành phần mô não.

2.2. Chuỗi xung SWI và xử lý ảnh

Chuỗi xung SWI được thực hiện trên máy MRI Siemens Amira 1.5T với các thông số kỹ thuật như Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số kỹ thuật chuỗi xung SWI

Thông số	Giá trị
Thời gian lặp lại TR	49 ms
Thời gian phản hồi TE	40 ms
Góc lật FA	15 độ
Ma trận	320
Bề dày lát cắt	1,6 mm
Trường nhìn FOV	230
Khoảng hở giữa hai lát cắt	20%

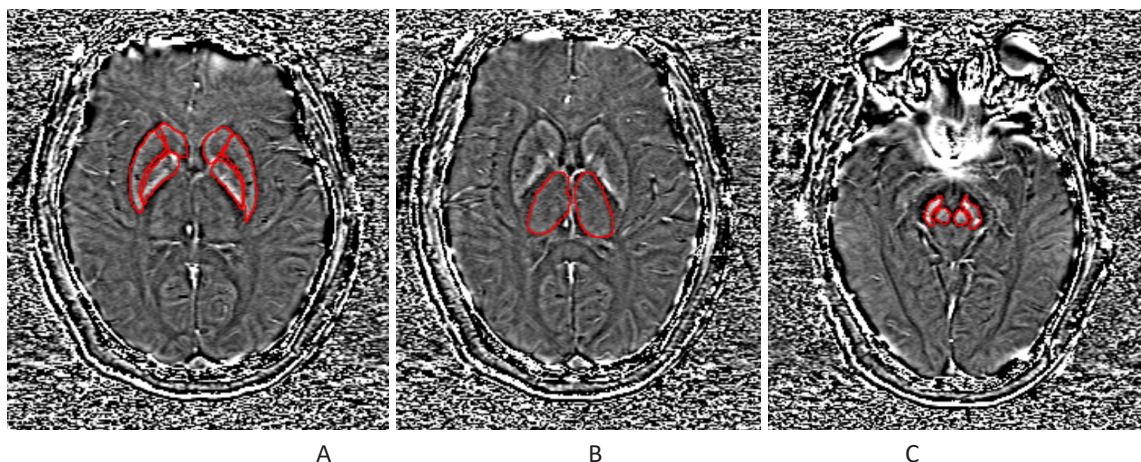
Kỹ thuật thu hình song song

iPAT 2

Thời gian thu hình

3 phút 24 giây

Hình ảnh SWI phase được xử lý tăng độ nét đường bờ để phân biệt rõ hơn giới hạn của các nhân xám trung ương, thuận tiện cho việc đặt vùng quan tâm (ROI). ROI được vẽ thủ công trên ảnh phase đã hiệu chỉnh bằng phần mềm MRICron (<https://www.nitrc.org/projects/mcron>) và được đối chiếu với các chuỗi xung thường quy để đảm bảo độ chính xác giải phẫu. Các ROI được xác định dựa trên vị trí giải phẫu của các nhân xám trung ương bao gồm: nhân đuôi (CN - Caudate Nucleus), bèo sẫm (PU - Putamen), cầu nhọt (GP - Globus Pallidus), đồi thị (TH - Thalamus), chất đen (SN - Substantia Nigra) và nhân đỏ (RN - Red Nucleus) ở cả hai bán cầu não phải và trái. ROI được vẽ bao quanh chính xác vùng cấu trúc giải phẫu quan tâm, sau đó lưu lại giá trị theo từng cấu trúc. Hai nghiên cứu viên đã tiến hành đặt ROI dựa trên cấu trúc giải phẫu nhân xám trung ương; giá trị thu được là trung bình cộng của hai lượt đo. ROI được xác định riêng biệt theo cấu trúc giải phẫu ở các lát cắt có thể quan sát rõ từng nhân, đồng thời ROI được vẽ trên cùng một lát cắt ở cả hai bên bán cầu, tại vùng cấu trúc giải phẫu đồng nhất (Hình 1).



Hình 1. Vị trí đặt ROI tại các nhân xám trung ương. (BN Ngô Thị T, Mã BN 18107039)

A. ROI ở nhân đuôi (CN), bèo sẫm (PU), cầu nhọt (GP) trên cùng một lát cắt.

B. ROI ở đồi thị (TH); C. ROI chất đen (SN) và nhân đỏ (RN).

Các biến số nghiên cứu.

- Giới tính: nam và nữ

- Tuổi : chia thành 7 nhóm để đánh giá, bao gồm: nhóm ≤ 20 tuổi, 21-30 tuổi, 31 - 40 tuổi, 41 - 50 tuổi, 51 - 60 tuổi, 61 - 70 tuổi, > 70 tuổi.

- Giá trị độ lệch phase ở các nhân xám trung ương hai bên.

2.3. Xử lý số liệu

Số liệu được quản lý và phân tích bằng phần mềm IBM SPSS Statistics v.20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Các thuật toán thống kê được lựa chọn dựa trên bản chất phân phối của dữ liệu. Sử dụng kiểm định Shapiro-Wilk để xác định tính phân phối chuẩn của các biến định lượng. Mỗi liên quan

giữa tuổi và giá trị phase tại các vùng nhân xám trung ương được đánh giá bằng hệ số tương quan Pearson (đối với dữ liệu phân phối chuẩn) hoặc hệ số tương quan hạng Spearman (đối với dữ liệu phân phối không chuẩn). Hệ số tương quan được sử dụng để xác định mức độ tương quan giữa hai biến, với ngưỡng ý nghĩa thống kê được xác định là $p < 0,05$. Mức độ tương quan được phân loại dựa trên giá trị tuyệt đối của r như sau: nhẹ ($|r| < 0,4$), vừa phải ($0,4 \leq |r| < 0,6$) và mạnh ($|r| \geq 0,6$).

Sự khác biệt về giá trị hình phase giữa nam và nữ được xác định bằng kiểm định Independent T-test hoặc Mann-Whitney U. Kiểm định Paired-sample T-test hoặc Wilcoxon signed-rank được sử dụng để so sánh cặp tương ứng giữa bán cầu não trái và phải. Giá trị $p < 0,05$ được quy ước là có ý

nghĩa thống kê.

2.4. Đạo đức nghiên cứu: Nghiên cứu thông qua hội đồng đạo đức trong nghiên cứu y sinh học của Trường Đại học Y - Dược, Đại học Huế. Mã số chấp thuận của Hội đồng Y Đức số H2026/184.

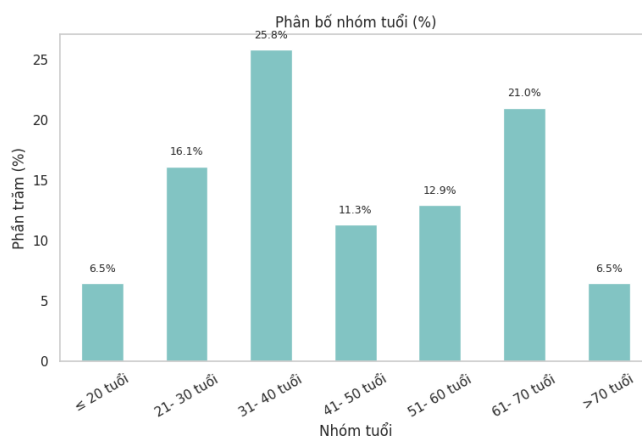
3. KẾT QUẢ

3.1. Đặc điểm về giới tính

Nghiên cứu của chúng tôi gồm có 62 bệnh nhân đáp ứng tiêu chuẩn chọn bệnh, bao gồm 41 bệnh nhân nữ (66,1 %) và 21 bệnh nhân nam (33,9%).

3.2. Đặc điểm về tuổi

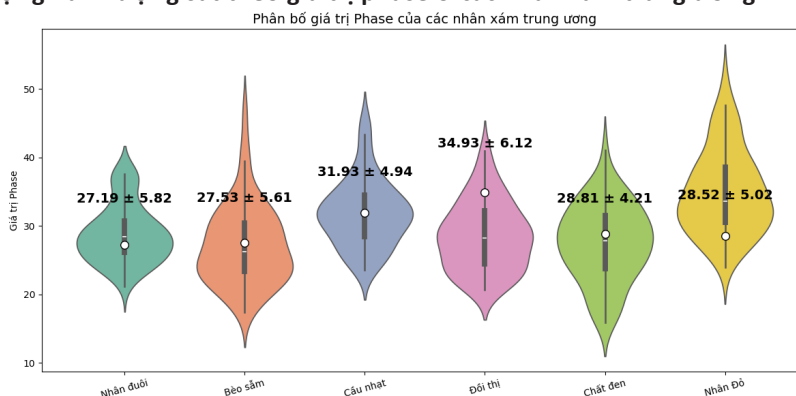
Tuổi trung bình của đối tượng nghiên cứu là $45,09 \pm 17,19$. Độ tuổi trung bình của nam giới là $48 \pm 18,72$. Độ tuổi trung bình của nữ giới là $43,61 \pm 16,39$.



Hình 2. Biểu đồ phân bố theo nhóm tuổi của đối tượng nghiên cứu

Nhóm bệnh nhân có độ tuổi đa dạng, từ 9 đến 75 tuổi. Nhóm 31–40 tuổi chiếm tỷ lệ cao nhất với 17 bệnh nhân (27,4%), trong khi nhóm dưới 20 tuổi và trên 70 tuổi có tỷ lệ thấp nhất, mỗi nhóm 4 bệnh nhân (6,5%). Các nhóm tuổi 21–30, 41–50, 51–60 và 61–70 lần lượt gồm 10 (16,1%), 6 (9,7%), 8 (12,9%) và 13 bệnh nhân (20,9%). Không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê về tuổi giữa hai giới ($p > 0,05$, kiểm định Independent-Samples t-test).

3.3. Định lượng hàm lượng sắt theo giá trị phase ở các nhân xám trung ương.



Hình 3. Biểu đồ thể hiện giá trị Phase đo được tại các nhân xám trung ương

Biểu đồ cho thấy sự phân bố giá trị phase tại các nhân xám trung ương có sự khác biệt đáng kể giữa các vùng. Giá trị phase trung bình cao nhất được ghi nhận tại đồi thị ($34,93 \pm 6,12$), tiếp theo là bào sẫm ($31,93 \pm 4,94$) và nhân đỏ ($28,52 \pm 5,02$).

Ngược lại, các vùng như cầu nhợt ($27,19 \pm 5,82$) và nhân đuôi ($27,53 \pm 5,61$) có giá trị phase thấp hơn. Điều này phản ánh mức độ lắng đọng sắt có thể cao hơn tại đồi thị và bào sẫm so với các nhân xám khác.

Độ lệch chuẩn giữa các vùng cho thấy mức độ dao động trong mỗi nhóm là tương đối đồng đều, tuy nhiên, đồi thị thể hiện sự biến thiên lớn hơn, cho thấy khả năng ảnh hưởng bởi yếu tố cá thể hoặc tuổi tác.

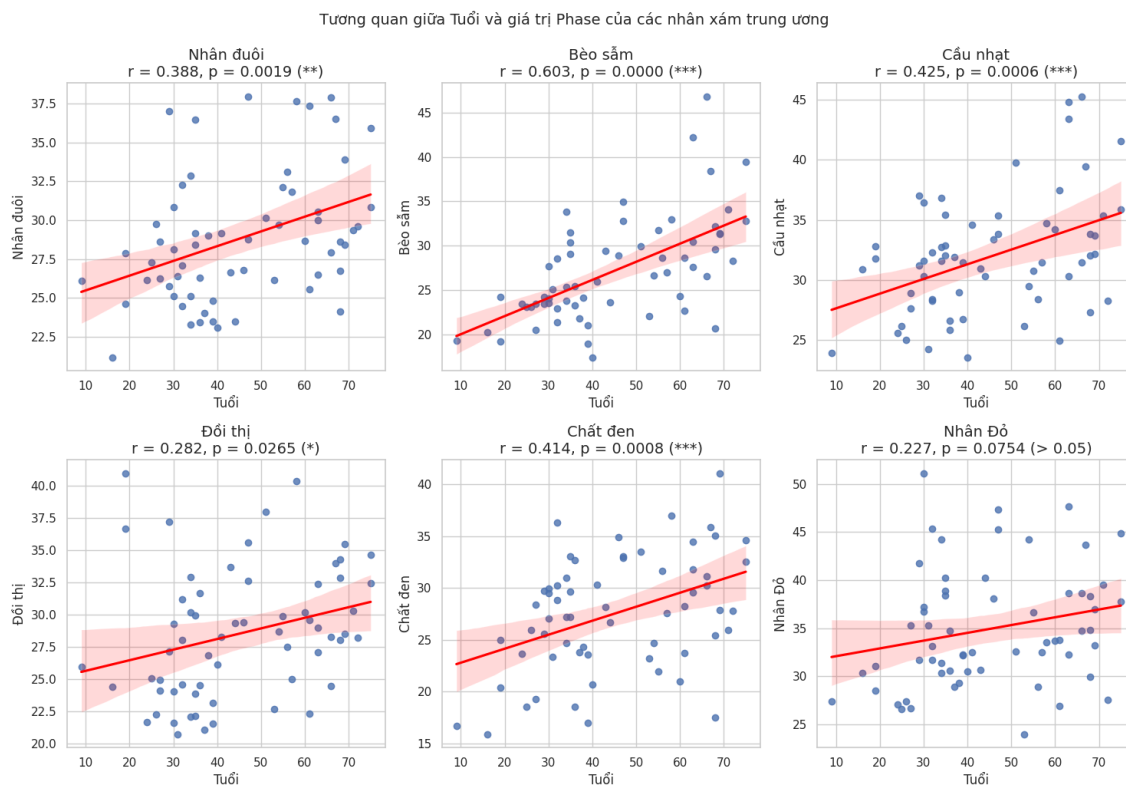
Các đặc điểm phân bố dạng chuông trong biểu đồ cũng cho thấy sự phân bố tương đối chuẩn trong đa số vùng nghiên cứu.

3.4. Mối tương quan giữa tuổi với giá trị phase tại các nhân xám

Phân tích tương quan cho thấy tuổi có mối tương quan thuận với sự lắng đọng sắt ở nhân đuôi ($r = 0,388$; mức độ nhẹ), bào sẫm ($r = 0,603$; mức độ mạnh), cầu nhợt ($r = 0,425$; mức độ vừa phải), đồi thị ($r = 0,282$; mức độ nhẹ) và chất đen ($r = 0,414$; mức độ vừa phải), đạt ý nghĩa với $p < 0,05$. Ngược lại, không có tương quan ý nghĩa giữa tuổi và sự lắng đọng sắt ở nhân đỏ ($r = 0,227$; $p > 0,05$) (Hình 4).

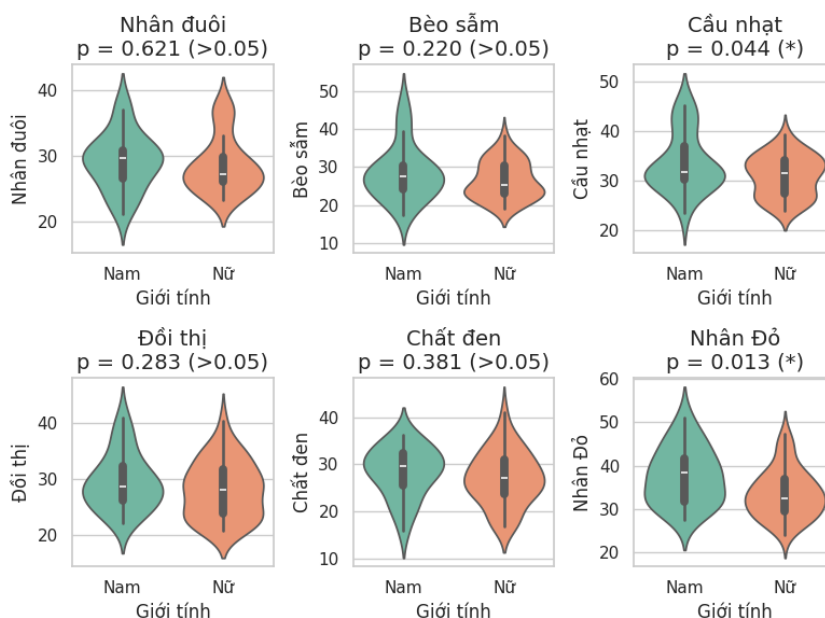
3.5. Sự khác biệt giữa giới tính với giá trị phase tại các nhân xám trung ương

Không ghi nhận sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa giới tính và mức độ lắng đọng sắt tại nhân đuôi, bào sẫm, đồi thị và chất đen ($p > 0,05$). Tuy nhiên, có sự khác biệt đáng kể giữa nam và nữ ở cầu nhợt ($p = 0,04$) và nhân đỏ ($p = 0,01$), với giá trị phase tại hai vùng này ở nam giới cao hơn so với nữ giới (Hình 5).



Hình 4. Mối tương quan giữa tuổi và sự lắng đọng sắt tại các nhân xám trung ương.

Dấu hoa thị (*) thể hiện mối tương quan đạt ý nghĩa thống kê với các giá trị p tương ứng, (*) $p < 0,05$; (**) $p < 0,01$; (***) $p < 0,001$.



Hình 5. Sự khác biệt giữa giới tính và sự lắng đọng sắt tại các nhân xám trung ương. Dấu hoa thị (*) thể hiện tương quan có ý nghĩa thống kê với giá trị p tương ứng, (*) $p < 0,05$.

3.6. Khác biệt giữa hai bán cầu não trong sự lắng đọng sắt tại vị trí quan tâm (ROI)

Bảng 2. Khác biệt giữa 2 bán cầu não trong sự lắng đọng sắt tại các nhân xám trung ương được đánh giá trong hình phase

ROI	Giá trị trung bình $\pm$ Độ lệch chuẩn		p
	Bên phải	Bên trái	
CN – Nhân đuôi	28,627 $\pm$ 4,660	29,000 $\pm$ 4,442	> 0,05
PU – Bèo sẫm	27,568 $\pm$ 5,824	26,808 $\pm$ 6,201	0,007*
GP – Cầu nhọt	31,459 $\pm$ 5,340	32,395 $\pm$ 5,095	0,033*
TH – Đồi thị	28,583 $\pm$ 5,356	28,459 $\pm$ 5,222	> 0,05
SN – Chất đen	27,307 $\pm$ 5,945	27,747 $\pm$ 5,675	> 0,05
RN – Nhân đỏ	34,051 $\pm$ 6,201	35,819 $\pm$ 6,809	0,003*

Dấu hoa thị (*) và giá trị in đậm thể hiện sự khác biệt giữa hai bên đạt ý nghĩa thống kê với giá trị $p < 0,05$.

Có sự khác biệt ý nghĩa thống kê về lắng đọng sắt giữa hai bán cầu não tại bèo sẫm (PU), cầu nhọt (GP) và nhân đỏ (RN) ($p < 0,05$). Cụ thể, mức lắng đọng sắt ở bán cầu phải của PU cao hơn bán cầu trái, trong khi GP và RN có mức lắng đọng sắt ở bán cầu trái nhiều hơn bên phải. Ngược lại, không ghi nhận sự khác biệt về lắng đọng sắt giữa hai bán cầu tại nhân đuôi (CN), đồi thị (TH) và chất đen (SN) ($p > 0,05$).

4. BÀN LUẬN

4.1. Đặc điểm chung về đối tượng nghiên cứu

Trong nghiên cứu của chúng tôi, nữ giới chiếm tỷ lệ nhiều hơn với 66,1%; tỷ lệ nam chiếm 33,9%. Nhóm nghiên cứu có độ tuổi đa dạng từ 9 đến 79 tuổi với độ tuổi trung bình là 45,09 $\pm$ 17,19. Không có sự khác biệt về tuổi tác theo giới ($p > 0,05$). Độ tuổi chiếm tỷ lệ cao nhất của nhóm nghiên cứu là từ 31 đến 40 tuổi (27,4%); nhóm dưới 20 tuổi và trên

70 tuổi chiếm tỷ lệ thấp nhất (6,5%). Các báo cáo về lắng đọng sắt thường khảo sát ở những bệnh nhân trên 20 tuổi. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng sử dụng SWI ở MRI 1,5 T có thể phát hiện được lắng đọng sắt trong cầu nhọt ở trẻ em trên 3 tuổi [11]. Do đó, không có giới hạn về độ tuổi trong nghiên cứu nồng độ sắt ở não, để từ đó cung cấp một cái nhìn tổng quát về mối liên quan giữa tuổi và sự lắng đọng sắt trong não.

4.2. Mối tương quan của giá trị phase

Nồng độ sắt phân bố không đồng nhất và có sự chọn lọc ở một số khu vực trong não. Trong nghiên cứu này, chúng tôi định lượng gián tiếp sự lắng đọng của sắt tại các vùng quan tâm gồm nhân đuôi, bào sẫm, cầu nhện, đồi thị, chất đen và nhân đỏ thông qua hình phase/SWI. Nồng độ sắt cao nhất được tìm thấy ở đồi thị, bào sẫm; thấp hơn ở nhân đỏ, chất đen, cầu nhện và nhân đuôi. Sắt là một chất thuận từ, tích tụ trong não dẫn đến sự lệch phase so với nhu mô xung quanh. Hàm lượng sắt càng cao hoặc sự không đồng nhất từ trường subvoxel càng cao thì sự khác biệt phase càng lớn [12] và sự lệch pha này đã được chứng minh là phản ánh sự khác biệt do sắt gây ra trong tính nhạy cảm từ của mô não trong các nhân xám trung ương [13].

4.3. Mối tương quan giữa tuổi và sự lắng đọng sắt tại các nhân xám trong hình phase

Chúng tôi quan sát thấy sự ảnh hưởng đáng kể của tuổi đối với sự lắng đọng sắt tại các nhân xám. Sự lắng đọng sắt được tìm thấy trong nhân đuôi ($r = 0,388$), bào sẫm ($r = 0,603$), cầu nhện ($r = 0,425$), đồi thị ($r = 0,282$), chất đen ($r = 0,414$) tăng tuyến tính theo tuổi; thể hiện qua hệ số tương quan (r) đều lớn hơn 0 với $p < 0,05$. Không có sự tương quan giữa tuổi và sự lắng đọng sắt ở nhân đỏ ($p > 0,05$). Mối tương quan giữa tuổi và sự lắng đọng sắt được tìm thấy mạnh nhất ở nhân bào ($r = 0,603$). Kết quả nghiên cứu này tương tự như dữ liệu được báo cáo bởi một số nghiên cứu trước đây [10, 14, 15]. Mối tương quan này giảm dần ở cầu nhện, chất đen, nhân đuôi và yếu nhất ở đồi thị. Những phát hiện này có thể cung cấp thêm thông tin để khám phá các cơ chế gây thoái hóa thần kinh liên quan đến sắt trong não. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu đã được công bố tương đối khác nhau. Xiaojun Xu và cộng sự đã cho rằng có mối tương quan tuyến tính giữa tuổi và nhân bào, nhân đỏ và chất trắng vùng trán. Nhưng cầu nhện, chất đen và nhân đuôi không thay đổi theo độ tuổi [7]. Nghiên cứu của Nan-Jie Gong và cộng sự cho thấy có mối tương quan giữa tuổi và nồng độ sắt ở bào sẫm, nhân đỏ, chất đen, nhân đuôi và cầu nhện [10]. Sự khác biệt này một phần phụ thuộc vào thực tế là các nghiên cứu khác nhau sử dụng hệ thống máy cộng hưởng từ có từ lực khác nhau, các kỹ thuật định lượng/bán định lượng khác nhau để ước tính sự phân bố sắt trong não, sự phân bố về độ tuổi của các nhóm nghiên cứu, phương pháp xử lý số liệu và cỡ mẫu nghiên cứu cũng khác nhau.

4.4. Sự khác biệt giữa giới tính và sự lắng đọng sắt tại các nhân xám trong hình phase

Ngày càng có nhiều nghiên cứu cho thấy sự khác biệt liên quan đến giới tính trong chuyển hóa sắt

ở một số bệnh lý rối loạn thần kinh. Vẫn còn tranh cãi về việc liệu có sự khác biệt về giới trong mức độ sắt tại các nhân xám trung ương hay không. Một vài nghiên cứu gần đây đang chứng minh rằng mức độ lắng đọng sắt trong não ở nữ giới thấp hơn so với nam giới. Nguyên nhân cho sự khác biệt này cũng chưa được nghiên cứu rõ ràng. Một vài nguyên nhân được đưa ra có thể do gen, hay có thể là sự khác biệt về hormone giới tính như testosterone – loại hormone đóng vai trò trong sự phát triển của hồng cầu và có thể cải thiện khả năng sử dụng sắt. Một nguyên nhân khác có thể là do kinh nguyệt, vì kinh nguyệt có thể dẫn đến thiếu sắt ở phụ nữ [8,16]. Tuy nhiên, trong nghiên cứu của chúng tôi, không có sự khác biệt giữa nam và nữ về sự lắng đọng sắt tại các vị trí quan tâm gồm nhân đuôi, nhân bào, đồi thị, chất đen. Sự khác biệt có ý nghĩa được tìm thấy ở cầu nhện và nhân đỏ, trong đó nam giới có giá trị nhạy từ cao hơn so với nữ giới (Hình 6). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Nan Jie Gong và cộng sự [10]. Định lượng hàm lượng sắt thông qua giá trị phase có những hạn chế nhất định. Giá trị phase thay đổi theo độ lệch của độ nhạy cảm từ tính ở các mô xung quanh vùng quan tâm. Hơn nữa, giá trị phase có thể bị ảnh hưởng bởi kích thước và hình dạng của cấu trúc giải phẫu. Những phát hiện này chỉ ra rằng giá trị phase nên được sử dụng một cách thận trọng trong việc đánh giá hàm lượng sắt trong não [3]. Để khắc phục được những thiếu sót này, người ta nhận thấy $R2^*(1/T2^*)$ và bản đồ định lượng độ nhạy từ (QSM) có thể phản ánh hàm lượng sắt cục bộ chính xác hơn so với hình ảnh phase [3, 17]. Do đó, sự khác biệt về giới tính ở mức độ nhỏ có thể được phát hiện rõ hơn.

4.5. Sự khác biệt giữa hai bán cầu não

Một số tác giả cũng phân tích sự khác biệt giữa hai bán cầu não trong sự lắng đọng sắt và nhận thấy có sự khác biệt giữa hai bán cầu, tuy nhiên, sự khác biệt này rất nhỏ. Xu hướng nồng độ sắt cao hơn ở các nhân xám bên trái và được tìm thấy ở bào sẫm, cầu nhện, chất đen và đồi thị [1, 7]. Nghiên cứu của chúng tôi cũng chỉ ra rằng có sự khác biệt về lắng đọng sắt ở hai bán cầu não tại bào sẫm, cầu nhện và nhân đỏ ($p < 0,05$). Cụ thể, tại cầu nhện và nhân đỏ có sự lắng đọng sắt ở bán cầu não trái nhiều hơn so với bán cầu não phải. Ngược lại, sự lắng đọng sắt tại bào sẫm lớn hơn ở bán cầu não phải. Tuy nhiên, không có sự khác biệt ở nhân đuôi, đồi thị và chất đen. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi cung cấp bằng chứng về sự bất đối xứng của hai bán cầu não trong sự lắng đọng sắt. Nguyên nhân có thể do sự khác biệt cơ bản của hai bán cầu não trong nhu cầu sử dụng sắt cho quá trình chuyển hóa dopamin và có thể liên quan đến sự thuận tay của nhóm nghiên cứu, cần được

nghiên cứu thêm. Kết quả này có sự khác biệt so với các nghiên cứu trước đây [7,10]. Nguyên nhân là do nghiên cứu có cỡ mẫu tương đối nhỏ, ROI thủ công gây sai số, cần thêm nhiều dữ liệu hơn để cho kết quả chính xác. Việc tìm thấy hàm lượng sắt lớn ở bên phải so với bên trái tại nhân bào cần thêm nhiều dữ liệu lâm sàng hơn để đưa ra bàn luận hợp lý.

4.6. Hạn chế của nghiên cứu

Mặc dù hình ảnh phase từ chuỗi SWI có thể cung cấp thông tin gián tiếp quan trọng về sự lắng đọng sắt tại các nhân xám trung ương, phương pháp này vẫn còn một số hạn chế. Cụ thể, giá trị phase có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố không đặc hiệu như dòng chảy mạch máu, ảnh hưởng từ mô xung quanh và sự phụ thuộc vào từ trường và hướng từ trường. Ngoài ra, mặc dù có sử dụng thuật toán tăng độ nét đường bờ, việc định vị các nhân xám trên hình phase đơn thuần có thể không chính xác do thiếu tương phản giải phẫu rõ ràng. Do đó, trong các nghiên cứu tương lai, nên kết hợp hình ảnh phase với các phương pháp khác như QSM (Quantitative Susceptibility Mapping) với hình ảnh cấu trúc T1-weighted độ phân giải cao để tăng độ chính xác trong phân tích và diễn giải. Đồng thời, việc tích hợp dữ liệu lâm sàng và chức năng thần kinh sẽ giúp làm rõ hơn mối liên hệ giữa sự thay đổi phase và biểu hiện bệnh lý, từ đó nâng cao giá trị ứng dụng của kỹ thuật này trong chẩn đoán và theo dõi bệnh nhân.

5. KẾT LUẬN

Mức độ tích tụ sắt cao nhất được ghi nhận ở đồi thị, sau đó giảm dần ở bào sẫm, nhân đỏ và chất đen, và thấp nhất ở cầu nhắt cùng nhân đuôi. Tuổi càng cao, mức lắng đọng sắt tại nhân đuôi, bào sẫm, cầu nhắt, đồi thị và chất đen càng tăng, nhưng không có sự tương quan rõ ràng với nhân đỏ. Sắt lắng đọng nhiều hơn ở bán cầu phải tại bào sẫm và ở bán cầu trái tại cầu nhắt và nhân đỏ.

Tuyên bố về xung đột lợi ích: Tất cả các tác giả khẳng định không có xung đột lợi ích nào khác liên quan đến việc công bố bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Liu JL, Fan YG, Yang ZS, Wang ZY, Guo C. Iron and Alzheimer's disease: From pathogenesis to therapeutic implications. *Front Neurosci*. 2018;12:1–14.
2. Sotoudeh H, Sarraimi AH, Wang J xiong, Saadatpour Z, Razaee A, Gaddamanugu S, et al. Susceptibility-Weighted Imaging in Neurodegenerative Disorders: A Review. *J Neuroimaging*. 2021;31:459–70.
3. Yan F, He N, Lin H, Li R. Iron deposition quantification: Applications in the brain and liver. *J Magn Reson Imaging*.

2018;48:301–17.

4. Cogswell PM, Wiste HJ, Senjem ML, Gunter JL, Weigand SD, Schwarz CG, et al. Associations of quantitative susceptibility mapping with Alzheimer's disease clinical and imaging markers. *Neuroimage* [Internet]. 2021;224:117433. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811920309186>

5. Jiang H, Wang J, Rogers J, Xie J. Brain Iron Metabolism Dysfunction in Parkinson's Disease. *Mol Neurobiol*. 2017;54:3078–101.

6. Kirsch W, McAuley G, Holshouser B, Petersen F, Ayaz M, Vinters H V., et al. Serial susceptibility weighted MRI measures brain iron and microbleeds in dementia. *J Alzheimer's Dis*. 2009;17:599–609.

7. Xu X, Wang Q, Zhang M. Age, gender, and hemispheric differences in iron deposition in the human brain: An in vivo MRI study. *Neuroimage*. 2008;40:35–42.

8. Persson N, Wu J, Zhang Q, Liu T, Shen J, Bao R, et al. Age and sex related differences in subcortical brain iron concentrations among healthy adults. *Neuroimage* [Internet]. 2015;122:385–98. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811915006618>

9. Bartzokis G, Lu PH, Tingus K, Peters DG, Amar CP, Tishler TA, et al. Gender and iron genes may modify associations between brain iron and memory in healthy aging. *Neuropsychopharmacology*. 2011;36:1375–84.

10. Gong NJ, Wong CS, Hui ES, Chan CC, Leung LM. Hemisphere, gender and age-related effects on iron deposition in deep gray matter revealed by quantitative susceptibility mapping. *NMR Biomed*. 2015;28:1267–74.

11. Harder SL, Hopp KM, Ward H, Neglio H, Gitlin J, Kido D. Mineralization of the deep gray matter with age: A retrospective review with susceptibility-weighted MR imaging. *Am J Neuroradiol*. 2008;29:176–83.

12. Abduljalil AM, Schmalbrock P, Novak V, Chakeres DW. Enhanced gray and white matter contrast of phase susceptibility-weighted images in ultra-high-field magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging*. 2003;18:284–90.

13. Ogg RJ, Langston JW, Haacke EM, Steen RG, Taylor JS. The correlation between phase shifts in gradient-echo MR images and regional brain iron concentration. *Magn Reson Imaging*. 1999;17:1141–8.

14. Madden DJ, Merenstein JL. Quantitative susceptibility mapping of brain iron in healthy aging and cognition. *Neuroimage*. 2023;282.

15. Pfefferbaum A, Adalsteinsson E, Rohlfing T, Sullivan E V. MRI estimates of brain iron concentration in normal aging: Comparison of field-dependent (FDR1) and phase (SWI) methods. *Neuroimage* [Internet]. 2009;47:493–500. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811909005011>

16. Bartzokis G, Tishler TA, Lu PH, Villablanca P, Altschuler LL, Carter M, et al. Brain ferritin iron may influence age- and gender-related risks of neurodegeneration. *Neurobiol Aging*. 2007;28:414–23.

17. Langkammer C, Krebs N, Goessler W, Scheurer E, Ebner F, Yen K, et al. Quantitative MR imaging of brain iron: A postmortem validation study. *Radiology*. 2010;257:455–62.