CEREBROSPINAL FLUID FLOW DYNAMICS THROUGH THE CEREBRAL AQUEDUCT IN HEALTHY ADULTS: A 3.0 TESLA PHASE-CONTRAST MRI STUDY

Tran Nguyen Khanh Chi[1], Hoang Dinh Au[1,2], Le Tuan Linh[1,2], Bui Van Long[1], Tran Quoc Dat[1], Tran Trung Kien[1,2]

[1]Hanoi Medical University Hospital - No. 1 Ton That Tung, Kim Lien Ward, Hanoi City, Vietnam
[2]Hanoi Medical University - No. 1 Ton That Tung, Kim Lien Ward, Hanoi City, Vietnam

Received: 14/04/2026
Reviced: 24/06/2026; Accepted: 21/08/2026

ABSTRACT

Purpose: To describe cerebrospinal fluid (CSF) flow characteristics through the cerebral aqueduct using 3.0 Tesla phase-contrast MRI and to evaluate their associations with age and sex.

Methods: A cross-sectional descriptive study was conducted on 20 healthy adults who underwent brain MRI with an additional phase-contrast sequence at Hanoi Medical University Hospital from May 2025 to March 2026. The analyzed parameters included peak systolic velocity, peak diastolic velocity, systolic volume, diastolic volume, flow, and stroke volume.

Results: The mean peak diastolic and systolic velocities were 5.79 ± 2.06 cm/s and 5.29 ± 2.00 cm/s, respectively. The mean diastolic and systolic volumes were 0.029 ± 0.017 ml and 0.030 ± 0.023 ml. Mean flow was close to zero (-0.0003 ± 0.0099), while stroke volume was 29.0 ± 18.91. No statistically significant correlations were found between age and CSF flow parameters ($p > 0.05$), although stroke volume showed a positive trend with age (rho = 0.383; $p = 0.096$). No significant differences were observed between males and females ($p > 0.05$).

Conclusion: Phase-contrast MRI at 3.0 Tesla provides a non-invasive method for quantifying CSF flow through the cerebral aqueduct, offering preliminary reference data and supporting clinical evaluation of CSF circulation disorders.

Keywords: cerebrospinal fluid, cerebral aqueduct, phase-contrast MRI, 3.0 Tesla, CSF dynamics.

*Corresponding author
Email: trantrungkien300684@gmail.com **Phone**: (+84) 979219269 **DOI:** 10.52163/yhc.v67i8.6250

BƯỚC ĐẦU ĐÁNH GIÁ ĐẶC ĐIỂM DÒNG CHẢY DỊCH NÃO TỦY QUA CỐNG TRUNG NÃO TRÊN CỘNG HƯỞNG TỪ TƯƠNG PHẢN PHA 3.0 TESLA Ở NGƯỜI TRƯỞNG THÀNH KHỎE MẠNH

Trần Nguyễn Khánh Chi[1], Hoàng Đình Âu[1,2], Lê Tuấn Linh[1,2], Bùi Văn Long[1], Trần Quốc Đạt[1], Trần Trung Kiên[1,2]

[1]Bệnh viện Đại học Y Hà Nội - Số 1 Tôn Thất Tùng, phường Kim Liên, thành phố Hà Nội, Việt Nam
[2]Trường Đại học Y Hà Nội - Số 1 Tôn Thất Tùng, phường Kim Liên, thành phố Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài: 14/04/2026
Ngày chỉnh sửa: 24/06/2026; Ngày duyệt đăng: 21/08/2026

TÓM TẮT

Mục đích: Mô tả đặc điểm dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não trên cộng hưởng từ tương phản pha 3.0 Tesla và khảo sát mối liên quan của các thông số này với tuổi và giới.

Phương pháp: Nghiên cứu mô tả cắt ngang trên 20 người trưởng thành được chụp cộng hưởng từ sọ não 3.0 Tesla có bổ sung chuỗi xung tương phản pha tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội từ 05/2025 đến 03/2026. Các thông số phân tích bao gồm tốc độ đỉnh tâm thu, tốc độ đỉnh tâm trương, thể tích tâm thu, thể tích tâm trương, flow và stroke volume.

Kết quả: Giá trị trung bình của tốc độ đỉnh tâm trương và tâm thu lần lượt là 5,79 ± 2,06 cm/s và 5,29 ± 2,00 cm/s. Thể tích tâm trương và tâm thu tương ứng là 0,029 ± 0,017 ml và 0,030 ± 0,023 ml. Flow trung bình gần bằng 0 (-0,0003 ± 0,0099), trong khi stroke volume đạt 29,0 ± 18,91. Không ghi nhận mối tương quan có ý nghĩa thống kê giữa tuổi và các thông số dòng chảy ($p > 0,05$), mặc dù stroke volume có xu hướng tăng theo tuổi (rho = 0,383; $p = 0,096$). Không thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai giới ($p > 0,05$).

Kết luận: Cộng hưởng từ tương phản pha 3.0 Tesla là phương pháp không xâm lấn cho phép định lượng dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não, cung cấp dữ liệu tham chiếu ban đầu và hỗ trợ ứng dụng trong đánh giá các rối loạn tuần hoàn dịch não tủy.

Từ khóa: dịch não tủy, cống trung não, cộng hưởng từ tương phản pha, 3.0 Tesla, động học dịch não tủy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dịch não tủy là một thành phần thiết yếu của hệ thần kinh trung ương, đóng vai trò quan trọng trong bảo vệ cơ học, duy trì hằng định nội môi và tham gia vào quá trình thanh thải các sản phẩm chuyển hóa của não. Dịch não tủy lưu thông liên tục trong hệ thống não thất và khoang dưới nhện, dao động theo chu kỳ tim và hô hấp. Cống trung não là cấu trúc giải phẫu hẹp, nối não thất III với não thất IV, thay đổi về động học dòng chảy tại vị trí này có thể phản ánh sớm các rối loạn tuần hoàn dịch não tủy[1–3].

Cộng hưởng từ tương phản pha (phase-contrast MRI) là phương pháp không xâm lấn cho phép đánh giá cả định tính và định lượng dòng chảy dịch não tủy, cung cấp các thông số như vận tốc, lưu lượng và stroke volume[2,4]. Khi khảo sát tại cống trung não, việc đặt lát cắt vuông góc với trục cống và lựa chọn các tham số kỹ thuật phù hợp đóng vai trò then chốt nhằm hạn chế hiệu ứng thể tích bán phần và nâng cao độ chính xác của phép đo[5]. Tuy nhiên, các giá trị định lượng thu được còn phụ thuộc đáng kể vào nhiều yếu tố như cường độ từ trường, VENC, vị trí lát cắt, cách xác định vùng quan tâm (ROI) và phương pháp hậu xử lý, dẫn đến sự khác biệt đáng kể giữa các nghiên cứu[2,5,6].

Ngoài yếu tố kỹ thuật, các thông số dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não còn chịu ảnh hưởng của đặc điểm đối tượng nghiên cứu. Một số nghiên cứu trên người khỏe mạnh cho thấy các chỉ số như stroke volume, thể tích tâm thu, thể tích tâm trương và vận tốc dòng chảy tối đa có thể thay đổi theo tuổi và giới[7,8]. Đo dòng chảy dịch não tủy bằng cộng hưởng từ tương phản pha đã được ứng dụng trong đánh giá nhiều bệnh lý thần kinh như não úng thủy áp lực bình thường, hẹp cống não và dị dạng Chiari,... góp phần hỗ trợ chẩn đoán và theo dõi điều trị[2,6,9,10].

Sự phát triển của cộng hưởng từ 3.0 Tesla mở ra khả năng khảo sát dòng chảy dịch não tủy chính xác hơn nhờ độ phân giải không gian cao và tỉ số tín hiệu trên nhiễu tốt hơn. Tuy nhiên, dữ liệu tham chiếu về dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não ở người trưởng thành khỏe mạnh trên hệ thống 3.0 Tesla vẫn còn hạn chế, đặc biệt tại Việt Nam. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mô tả đặc điểm dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não trên cộng hưởng từ 3.0Tesla và khảo sát bước đầu mối liên quan của các thông số này với tuổi và giới, góp phần bổ sung dữ liệu tham chiếu và hỗ trợ ứng dụng lâm sàng.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

20 người trưởng thành (≥18 tuổi) được chụp MRI sọ não 3.0Tesla có chuỗi xung tương phản pha khảo sát dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội từ 05/2025 đến 03/2026.

*Tác giả liên hệ
Email: trantrungkien300684@gmail.com **Điện thoại:** (+84) 979219269 **DOI:** 10.52163/yhc.v67i8.6250

Tiêu chuẩn lựa chọn: tuổi ≥18; khám sức khỏe định kỳ, MRI sọ não không có bất thường cấu trúc ảnh hưởng lưu thông dịch não tủy; không có tiền sử bệnh lý hoặc phẫu thuật thần kinh trung ương; chuỗi xung tương phản pha đạt chất lượng phân tích.

Tiêu chuẩn loại trừ: nhiễu ảnh; không đồng bộ tim đầy đủ; không xác định rõ cống trung não hoặc mặt phẳng khảo sát không vuông góc; có rối loạn nhịp tim.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả cắt ngang.

Kỹ thuật chụp và thu nhận dữ liệu:

Các đối tượng được chụp cộng hưởng từ sọ não trên hệ thống 3.0Tesla (SIGNA Architect, GE Healthcare) sử dụng cuộn thu tín hiệu sọ não tiêu chuẩn và được đồng bộ tim, sử dụng pulse gating, retrospectice gating, 30 pha/chu kỳ tim. Cống trung não được xác định trên chuỗi xung T2-weighted 3D độ phân giải cao, sau đó thiết lập mặt phẳng chụp vuông góc với trục cống trung não. Các thông số kỹ thuật chính của chuỗi xung tương phản pha được trình bày trong Bảng 1. Điều chỉnh VENC phù hợp, dòng chảy nhanh cần tăng VENC, dòng chảy chậm cần giảm VENC. Dữ liệu thu nhận bao gồm hình ảnh độ lớn (magnitude), hình ảnh pha (phase) và các ảnh tái lập theo nhiều thời điểm của chu kỳ tim. Các dữ liệu này được chuyển sang trạm xử lý chuyên dụng để phân tích định lượng.

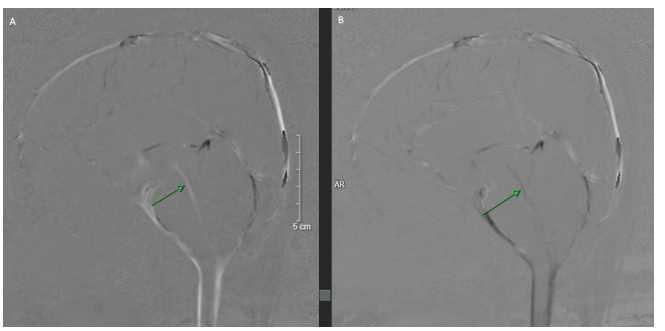
Bảng 1. Thông số kỹ thuật chuỗi xung cộng hưởng từ tương phản pha khảo sát dòng chảy dịch não tủy

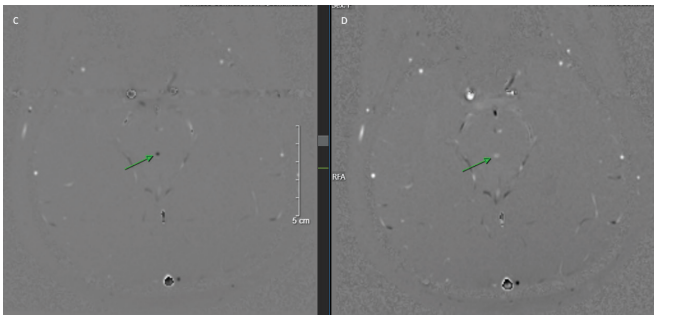
Tham số	Giá trị
Hệ thống MRI	3.0 Tesla (SIGNA Architect, GE Healthcare)
Chuỗi xung	Phase-contrast MRI có đồng bộ tim (PG)
Mặt phẳng khảo sát	Vuông góc với trục cống trung não
VENC	5-20 cm/s (8cm/s)
TR/TE	12,7/7,4 ms
Góc lật (Flip angle)	15°
FOV	180 × 180 mm
Ma trận	256 × 512
Độ dày lát cắt	4 mm
Dữ liệu thu nhận	Magnitude, phase, cine images

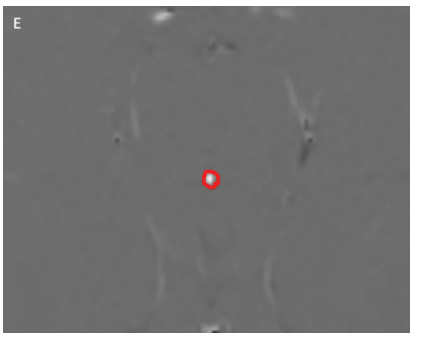
Phân tích hình ảnh:

Quy ước chiều dòng chảy trên máy 3.0 Tesla (SIGNA Architect, GE Healthcare): dòng chảy tâm thu là dòng chảy từ trên xuống qua cống trung não, chiều dòng chảy âm; dòng chảy tâm trương là dòng chảy thuận chiều từ dưới lên qua cống trung não, chiều dòng chảy dương.

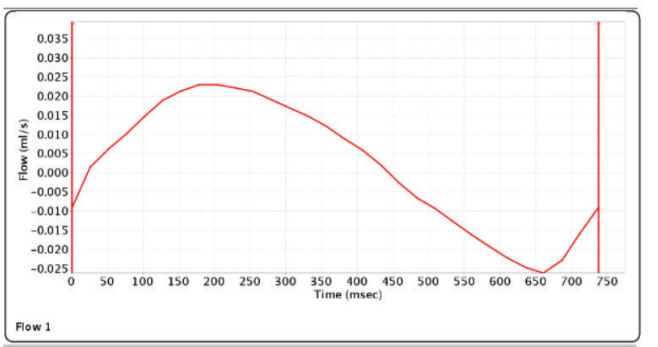
ROI được vẽ thủ công trên mặt cắt ngang cống trung não dựa trên hình ảnh độ lớn, sau đó áp dụng lên hình ảnh pha để tính toán các thông số dòng chảy.







Hình 1. Dòng chảy dịch não tủy trên chuỗi xung tương phản pha trên mặt phẳng đứng dọc và cắt ngang qua cống trung não, màu đen ở thì tâm thu, hướng dòng chảy xuống dưới (hình B, C) và màu trắng ở thì tâm trương, hướng dòng chảy lên trên (hình A, D). Hình E minh họa cách thức vẽ ROI (theo thành của cống trung não)



Summary:Flow 1–Main PA	
Parameter	Value
Peak Positive Velocity (cm/s)	4.66
Peak Negative Velocity (cm/s)	−5.29
Flow (ml/beat)	0.001
Positive Pixel Flow (ml/beat)	0.006
Negative Pixel Flow (ml/beat)	−0.005

Hình 2. Các thông số về dòng chảy dịch não tủy thu được trên chuỗi xung tương phản pha trên máy cộng hưởng từ 3.0Tesla GE

2.3. Xử lý và phân tích số liệu

Dữ liệu được nhập và phân tích bằng SPSS 26.0. Phân bố của các biến định lượng được kiểm tra bằng kiểm định Shapiro–Wilk. Biến phân bố chuẩn được trình bày dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn, biến không phân bố chuẩn dưới dạng trung vị và khoảng tứ phân vị. Tương quan giữa các thông số dòng chảy dịch não tủy và tuổi được đánh giá bằng hệ số Spearman. Sự khác biệt giữa hai giới được phân tích bằng kiểm định t độc lập hoặc Mann–Whitney U khi phù hợp. Giá trị $p < 0,05$ được coi là có ý nghĩa thống kê.

2.4. Đạo đức nghiên cứu

Nghiên cứu đã được thông qua Hội đồng đề cương chuyên khoa II của Trường Đại học Y Hà Nội 4231/QĐ-ĐHYHN ngày 09 tháng 07 năm 2025. Dữ liệu được thu thập từ thăm khám cộng hưởng từ thường quy, không ảnh

hưởng quy trình chẩn đoán và điều trị của người bệnh. Thông tin cá nhân của đối tượng nghiên cứu được bảo mật và chỉ sử dụng cho mục đích nghiên cứu.

3. KẾT QUẢ

Từ 05/2025 đến 03/2026, có 20 người trưởng thành được chụp cộng hưởng từ sọ não 3.0Tesla có bổ sung chuỗi xung tương phản pha đáp ứng tiêu chuẩn lựa chọn tại Bệnh viện Đại học Y Hà Nội. Kết quả nghiên cứu trình bày các thông số định lượng của dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não, đồng thời phân tích mối liên quan với tuổi và sự khác biệt giữa các nhóm giới tính. Tỷ lệ giới tính trong nghiên cứu là nam/nữ = 1.

3.1. Đặc điểm các thông số dòng chảy dịch não tủy

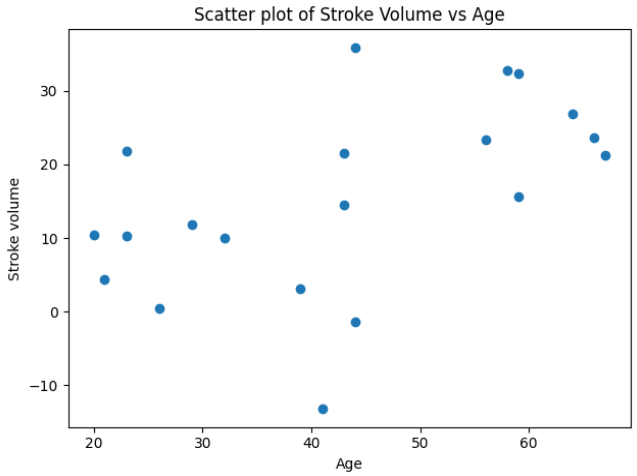
Các thông số dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não được trình bày trong Bảng 2. Nhìn chung, các thông số có độ biến thiên tương đối lớn giữa các đối tượng. Tốc độ đỉnh tâm trương và tâm thu trung bình lần lượt là 5,79 ± 2,06 cm/s và 5,29 ± 2,00 cm/s. Thể tích tâm trương và thể tích tâm thu tương đối tương đương nhau (0,029 ± 0,017 ml và 0,03 ± 0,023 ml). Flow trung bình gần bằng 0 (-0,0003 ± 0,0099), phản ánh sự cân bằng dòng chảy hai chiều trong chu kỳ tim. Stroke volume có giá trị trung bình 29,0 ± 18,91, với khoảng dao động rộng (4–76), cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa các cá thể.

Bảng 2. Giá trị các thông số dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não

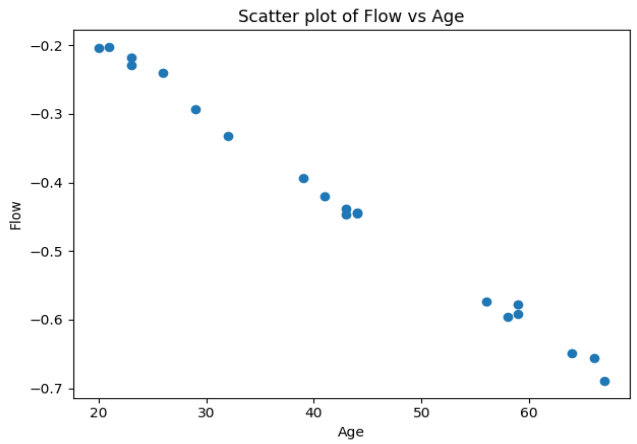
Tham số	Nhỏ nhất	Lớn nhất	Trung bình ± SD
Tốc độ đỉnh tâm trương (cm/s)	3,00	9,89	5,79 ± 2,06
Tốc độ đỉnh tâm thu (cm/s)	1,56	9,87	5,29 ± 2,00
Thể tích tâm trương (ml)	0,004	0,063	0,029 ± 0,017
Thể tích tâm thu (ml)	0,003	0,089	0,030 ± 0,023
Flow (ml/chu kỳ)	-0,026	0,020	-0,0003 ± 0,0099
Stroke volume (µl)	4	76	29,0 ± 18,91

3.2. Mối tương quan với tuổi

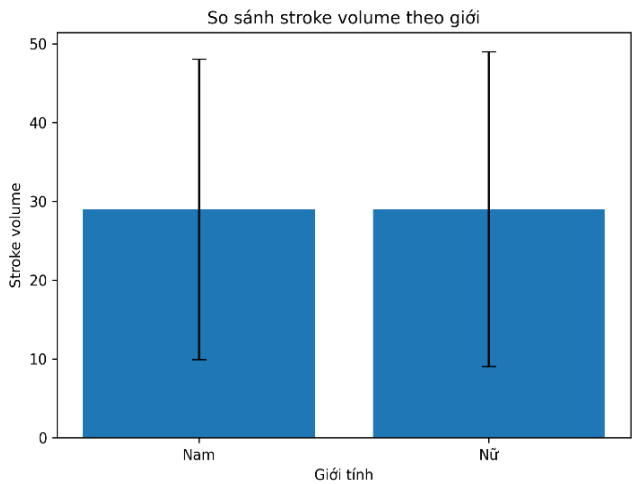
Kết quả phân tích tương quan Spearman (hình 3, 4) cho thấy chưa ghi nhận mối tương quan có ý nghĩa thống kê giữa tuổi và các thông số dòng chảy dịch não tủy (p > 0,05). Tuy nhiên, stroke volume có xu hướng tương quan thuận với tuổi (rho = 0,383; p = 0,096), trong khi flow có xu hướng tương quan nghịch (rho = -0,363; p = 0,116).



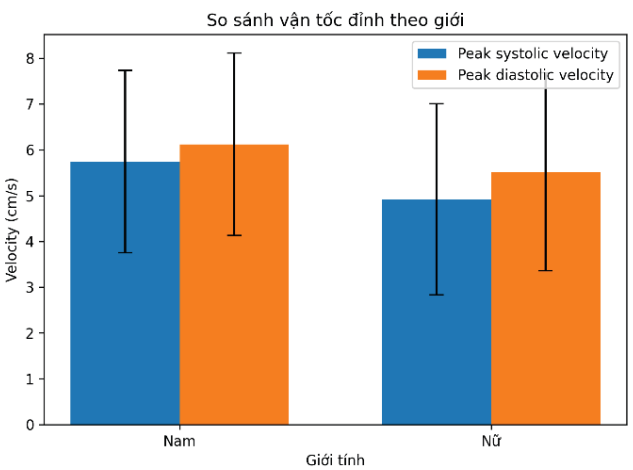
Hình 3. Biểu đồ phân tán thể hiện mối liên quan giữa stroke volume và tuổi. Có xu hướng tương quan thuận, tuy nhiên không đạt ý nghĩa thống kê



Hình 4. Biểu đồ phân tán thể hiện mối liên quan giữa flow và tuổi. Có xu hướng tương quan nghịch, tuy nhiên không đạt ý nghĩa thống kê



Hình 5 (bên trái). Biểu đồ cột thể hiện giá trị trung bình (± độ lệch chuẩn) của stroke volume theo giới tính. Không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai nhóm



Hình 6 (bên phải). Biểu đồ cột thể hiện giá trị trung bình (± độ lệch chuẩn) của vận tốc đỉnh tâm thu và tâm trương theo giới tính. Không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa hai nhóm

4. BÀN LUẬN

Trong nghiên cứu của chúng tôi, các thông số dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não đo được bao gồm tốc độ đỉnh tâm trương, tốc độ đỉnh tâm thu, thể tích tâm trương, thể tích tâm thu, flow và stroke volume đều nằm trong khoảng dao động sinh lý đã được báo cáo trong y văn. Kết quả này củng cố tính khả thi của cộng hưởng từ tương phản pha trong việc định lượng dòng chảy dịch não tủy không xâm lấn[6–8]. So sánh với nghiên cứu của Ünal và cộng sự, các giá trị vận tốc dòng chảy tối đa và thể tích dòng chảy trong nghiên cứu của chúng tôi tương đối tương đồng, mặc dù có sự khác biệt nhất định về thể tích tâm thu và thể tích tâm trương[8]. Những sai khác này có thể được giải thích bởi sự khác biệt về thông số kỹ thuật, đặc biệt là giá trị VENC, độ phân giải không gian, cũng như phương pháp xác định ROI. Như đã được Korbecki và cộng sự nhấn mạnh, các thông số dòng chảy dịch não tủy đo bằng cộng hưởng từ tương phản pha có thể dao động đáng kể giữa các nghiên cứu do ảnh hưởng của yếu tố kỹ thuật và phương pháp hậu xử lý[6].

Về mối liên quan với tuổi, nghiên cứu của chúng tôi không ghi nhận mối tương quan có ý nghĩa thống kê giữa tuổi và các thông số dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não. Tuy nhiên, xu hướng tăng của stroke volume và giảm của flow theo tuổi có thể gợi ý những thay đổi sinh lý tiềm tàng trong động học dịch não tủy. Kết quả này nhìn chung phù hợp với nghiên cứu của Ünal và cộng sự, trong đó phần lớn các thông số không thay đổi có ý nghĩa theo tuổi, ngoại trừ một số chỉ số vận tốc[8]. Ngược lại, Sartoretti và cộng sự báo cáo rằng tuổi có ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến nhiều thông số, bao gồm stroke volume, thể tích tâm thu, thể tích tâm trương và vận tốc dòng chảy tối đa[7]. Sự không tương đồng giữa các nghiên cứu có thể xuất phát từ khác biệt về cỡ mẫu, phân bố tuổi và đặc biệt là độ biến thiên sinh lý lớn của các thông số dòng chảy dịch não tủy. Ngoài ra, cỡ mẫu nhỏ trong nghiên cứu của chúng tôi có thể làm giảm khả năng phát hiện các mối liên quan có ý nghĩa thống kê.

Đối với yếu tố giới, chúng tôi không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa nam và nữ ở tất cả các thông số khảo sát. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Ünal và cộng sự[8], nhưng khác với báo cáo của Sartoretti và cộng sự, trong đó nhiều thông số như stroke volume, thể tích tâm thu và thể tích tâm trương cao hơn có ý nghĩa ở nam giới[7].

Bên cạnh các yếu tố sinh học, vai trò của các yếu tố kỹ thuật trong đo lường dòng chảy dịch não tủy là rất quan trọng. Najafi và cộng sự đã chỉ ra rằng vị trí lát cắt, giá trị VENC, độ phân giải không gian và cách vẽ ROI có thể ảnh hưởng đáng kể đến các thông số đo được, trong đó việc đặt lát cắt vuông góc với cống trung não và giới hạn ROI chính xác trong lòng cống là những yếu tố then chốt nhằm giảm sai số[5]. Ngoài ra, tính so sánh giữa các nghiên cứu chỉ thực sự đáng tin cậy khi quy trình chụp và hậu xử lý được chuẩn hóa[6]. Trong nghiên cứu của chúng tôi, việc áp dụng quy trình chụp trên hệ thống cộng hưởng từ 3.0 Tesla với các tham số kỹ thuật tương đối đồng nhất có thể góp phần giảm thiểu sai số và nâng cao độ tin cậy của kết quả.

Về ý nghĩa lâm sàng, các thông số định lượng như vận tốc dòng chảy và stroke volume đã được chứng minh có giá trị trong đánh giá một số bệnh lý như não úng thủy áp lực bình thường, hẹp cống não và dị dạng Chiari[2,6,10]. Do đó, việc thiết lập các giá trị tham chiếu ở người khỏe mạnh có ý nghĩa quan trọng trong việc phân biệt giữa trạng thái sinh lý và bệnh lý. Kết quả của nghiên cứu này, mặc dù còn mang tính bước đầu, có thể góp phần cung cấp dữ liệu nền phục vụ cho việc diễn giải các chỉ số dòng chảy dịch não tủy trong thực hành lâm sàng.

Bảng 3. So sánh các thông số dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não giữa một số nghiên cứu qua đó làm nổi bật sự biến thiên của các phép đo liên quan đến cả yếu tố sinh học và kỹ thuật

Nghiên cứu	Cỡ mẫu	Tốc độ đỉnh (cm/s)	Thể tích tâm thu (ml)	Thể tích tâm trương (ml)	Stroke volume (µl)	Máy chụp
Nghiên cứu	20	5,29–5,79	0,03 ± 0,023	0,029 ± 0,017	29,0 ± 18,9	3.0T
Ünal và cộng sự[8]	60	5,95 ± 2,48	0,013 ± 0,008	0,022 ± 0,011	17.5 ± 6.8	1.5T
Sartoretti và cộng sự[7]	128	9.35 ± 3.52	0.056 ± 0.035	0.041 ± 0.027	16 ± 11	3.0T
Lee và cộng sự[4]	11	3.30 - 4.08	/	/	/	1.5T

Tuy nhiên, nghiên cứu của chúng tôi còn một số hạn chế. Thứ nhất, cỡ mẫu nhỏ có thể làm giảm độ mạnh thống kê và khả năng phát hiện các mối liên quan có ý nghĩa. Thứ hai, nghiên cứu được thực hiện tại một trung tâm, do đó tính khái quát còn hạn chế. Thứ ba, chúng tôi chưa đánh giá độ lặp lại của phép đo, trong khi đây là yếu tố quan trọng trong các nghiên cứu định lượng. Vì vậy, các kết quả hiện tại chủ yếu mang ý nghĩa tham chiếu ban đầu và cần được xác nhận trong các nghiên cứu với cỡ mẫu lớn hơn, thiết kế đa trung tâm và có đánh giá độ tin cậy của phép đo.

5. KẾT LUẬN

Cộng hưởng từ tương phản pha 3.0Tesla cho phép định lượng không xâm lấn dòng chảy dịch não tủy qua cống trung não với các thông số vận tốc, thể tích dòng chảy, flow và stroke volume. Các giá trị ghi nhận trong nghiên cứu nhìn chung nằm trong khoảng sinh lý đã được báo cáo. Trong nghiên cứu này, chưa ghi nhận mối liên quan có ý nghĩa thống kê giữa tuổi, giới và các thông số dòng chảy dịch não tủy. Nghiên cứu bước đầu cung cấp dữ liệu tham chiếu trên hệ thống 3.0Tesla; tuy nhiên còn hạn chế về cỡ mẫu và cần được xác nhận trong các nghiên cứu quy mô lớn hơn để xây dựng khoảng tham chiếu và đánh giá đầy đủ hơn các yếu tố liên quan.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Margetis K, Baker S. Physiology, Cerebral Spinal Fluid. In: *StatPearls*. StatPearls Publishing; 2026. Accessed April 5, 2026. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519007/

[2] Battal B, Kocaoglu M, Bulakbasi N, Husmen G, Tuba Sanal H, Tayfun C. Cerebrospinal fluid flow imaging by using phase-contrast MR technique. *Br J Radiol*. 2011;84(1004):758-765. doi:10.1259/bjr/66206791

[3] Sakka L, Coll G, Chazal J. Anatomy and physiology of cerebrospinal fluid. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*. 2011;128(6):309-316. doi:10.1016/j.anorl.2011.03.002

[4] Lee JH, Lee HK, Kim JK, Kim HJ, Park JK, Choi CG. CSF Flow Quantification of the Cerebral Aqueduct in Normal Volunteers Using Phase Contrast Cine MR Imaging. *Korean J Radiol*. 2004;5(2):81-86. doi:10.3348/kjr.2004.5.2.81

[5] Najafi A. CSF flow quantification in the cerebral aqueduct using phase contrast MR - How to do it properly. Published online 2018:1262 words. doi:10.1594/ECR2018/C-1577

[6] Korbecki A, Zimny A, Podgórski P, Sąsiadek M, Et. A. Imaging of cerebrospinal fluid flow: fundamentals, techniques, and clinical applications of phase-contrast magnetic resonance imaging. *Polish Journal of Radiology*. Published online 2019. doi:10.5114/pjr.2019.86881

[7] Sartoretti T, Wyss M, Sartoretti E, Reischauer C, Et. A. Sex and Age Dependencies of Aqueductal Cerebrospinal Fluid Dynamics Parameters in Healthy Subjects. *Frontiers in Aging Neuroscience*. Published online 2019. doi:10.3389/fnagi.2019.00199

[8] Unal O, Kartum A, Avcu S, Etlik O, Arslan H, Bora A. Cine phase-contrast MRI evaluation of normal aqueductal csf flow according to sex and age. *Diagn Interv Radiol*. Published online 2009. doi:10.4261/1305-3825.DIR.2321-08.1

[9] Kumari S, Ranjan R. To Calculate Aqueductal Systolic Stroke Volume, Peak Systolic Velocity, Mean Systolic Velocity, Forward Flow and Backward Flow by Phase Contrast Mri CSF Flowmetry in Patients with Symptoms of Normal Pressure Hydrocephalus and Controls and to Evaluate the Significance of These Parameters. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*.

[10] Khanduri DS, Ansari DD, Dwari DK, et al. Diagnostic Accuracy of Phase Contrast MRI Technique in Detecting Cerebrospinal Fluid Flow. *Medical Research Archives*. 2025;13(3). doi:10.18103/mra.v13i3.6391