**1 . Giới thiệu**

Bệnh tim mạch là một trong những nguyên nhân gây tử vong quan trọng nhất trên thế giới. Theo báo cáo của Tạp chí Tim mạch Châu Âu, 4,1 triệu người chết hàng năm do căn bệnh này [ [1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0005) ]. Tăng huyết áp là nguyên nhân chính của bệnh tim mạch. Năm 2014, tỷ lệ tăng huyết áp là 1,3 tỷ người trên toàn thế giới, dự đoán đến năm 2030, 1,56 tỷ người sẽ bị tăng huyết áp [ [2](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0010) , [3](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0015)].

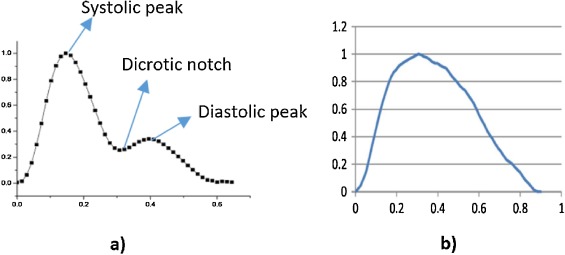
Huyết áp (HA) là một trong những thông số quan trọng của cơ thể con người mà phép đo cung cấp [thông tin có giá trị](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/valuable-information)cho các bác sĩ. Đo HA thường xuyên có thể giúp [phát hiện sớm](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/early-detection) , kiểm soát và điều trị các bệnh liên quan đến HA như hạ huyết áp và tăng huyết áp [[4](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0020) ]. HA cho thấy sức cản của các mạch cơ thể đối với sự chuyển động của máu và lượng của nó phụ thuộc vào chức năng của tim và các đặc điểm mạch máu, chẳng hạn như tính đàn hồi và độ dày của thành mạch [ [5](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0025)]. Giới hạn trên và [dưới](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/lower-bounds) của áp suất này được gọi là Huyết áp tâm thu (SBP) và Huyết áp tâm trương (DBP), tương ứng [ [6](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0030)]. Một HA khác gọi là [Máu động mạch](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/arterial-blood) trung bình Áp suất (MAP) có thể xấp xỉ với phương trình sau:

(1)MAP = (2DBP + SBP) / 3

Dựa trên báo cáo của Viện Tim, Phổi và Máu Quốc gia (NHLBI), trong Tăng huyết áp, SBP và DBP nằm trong phạm vi cao hơn 120 và 80 mmHg, tương ứng [ [7](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0035) ]. Trong các trung tâm y tế, HA thường được đo bằng vòng bít. Thủy ngân đo huyết áp là phương pháp đo HA phổ biến nhất [ [8](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0040)]. Độ chính xác không đủ trong đo HA với vòng bít khi di chuyển, theo dõi HA kín đáo, trọng lượng quá mức của vòng bít, bơm hơi khó chịu và lệch của vòng bít trong [các tình huống cụ thể](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/specific-situation) như kiểm tra căng thẳng tập thể dục và theo dõi huyết áp cứu thương (ABPM) là một số thách thức quan trọng của đo HA liên tục [ [5](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0025) , [9](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0045) , [10](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0050)]. Trong hai thập kỷ gần đây, các nghiên cứu sâu rộng đã được thực hiện để đo HA không xâm lấn và không sử dụng bất kỳ vòng bít nào.

Thời gian truyền xung (PTT) là một trong những phương pháp được sử dụng phổ biến nhất để lấy HA [ [11](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0055)]. PTT thường được định nghĩa là thời gian mà [nhịp đập của](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/heart-beat)tim mất để truyền từ tim đến các thiết bị ngoại vi của cơ thể. Trong hầu hết các trường hợp, các nhà nghiên cứu sử dụng tín hiệu [Electrocardiograph](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electrocardiograph)(ECG) và [Photoplethysmography](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photoplethysmography) (PPG) để đo thông số này. Việc đo PTT có thể được thực hiện với một cảm biến [ECG](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electrocardiography) và một cảm biến PPG hoặc hai cảm biến PPG [ [12](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0060)]. Ghi đúng tín hiệu ECG đòi hỏi ít nhất ba điện cực được đặt ở ba điểm khác nhau của cơ thể. [Tạo tác chuyển động](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/motion-artifact)và không tiếp xúc của điện cực với [bề mặt da](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/skin-surface)và các [dây điện cực](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electrode-wire) để ghi âm dài hạn có thể thêm nhiễu vào tín hiệu, đó là các[yếu tố giới hạn](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/limiting-factor)của ước tính HA với phương pháp này [[9](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0045),[13](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0065)]. Khi ghi hai tín hiệu PPG để ước tính HA, cần có hai phần cứng riêng biệt tại hai điểm khác nhau của cơ thể. Do đó, trong bài báo này, ước tính HA chỉ sử dụng một tín hiệu PPG.

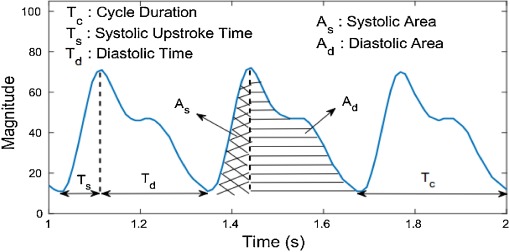
Do tính đàn hồi của các mạch máu của con người, khi [xung áp lực](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulse-pressure) đi qua chúng, đường kính của các mạch máu và sau đó lượng máu bên trong chúng thay đổi [ [14](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0070)]. [Plethysmography](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/plethysmography) là phương pháp ghi lại sự thay đổi thể tích máu trên mỗi nhịp tim trong cơ thể trong khi PPG là phương pháp quang học không xâm lấn để đo sự thay đổi thể tích máu trên mỗi xung [ [15](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0075)]. Trong phương pháp này, ánh sáng được phát ra đến một phần mô của cơ thể bằng [Điốt phát sáng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/light-emitting-diodes) (LED) và sự thay đổi [độ hấp thụ ánh sáng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/light-absorption)được đo trong một khoảng thời gian bằng [Máy dò ảnh](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photodetector) (PD) [[16](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0080)]. Nếu sự thay đổi về thể tích máu được đo chính xác, PPG có dạng giống như sóng và tần số của nó sẽ giống như tần số làm việc của tim [ [17](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0085) ]. Tín hiệu PPG có thể được chia thành hai phần. Phần trên của tín hiệu có liên quan đến sự co bóp của tim hoặc tâm thu trong khi mặt dưới của tín hiệu có liên quan đến sự giãn nở của tim hoặc tâm trương. Trong tín hiệu PPG, có một biến số phân chia thời gian giữa các giai đoạn tim tâm thu và tâm trương được gọi là notch dicrotic. Trong nhiều mẫu được ghi lại của các tín hiệu PPG từ bệnh nhân tăng huyết áp, không thể phát hiện được dấu hiệu dicrotic. [Hình 1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0005) (a) cho thấy một ví dụ về tín hiệu PPG và các điểm quan trọng của nó thuộc về một người khỏe mạnh, trong khi [Hình 1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#fig0005)(b) cho biết tín hiệu PPG dành cho bệnh nhân tăng huyết áp. Trong nghiên cứu này, tín hiệu PPG được gọi là thích hợp nếu nó có thể được phát hiện trong ba điểm của đỉnh tâm thu, đỉnh dicrotic và đỉnh tâm trương. Nếu không, tín hiệu được gọi là không phù hợp.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (169KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr1_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr1.jpg)

Hình 1 . Tín hiệu PPG cho a) Một [cá nhân khỏe mạnh](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/healthy-individual) [ [18](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0090) ] và b) Một bệnh nhân [ [19](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0095) ].

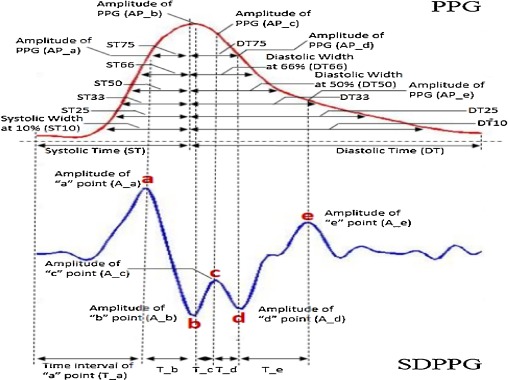
Tín hiệu PPG không chỉ được sử dụng để đo HA, mà còn được sử dụng trong nhiều trường hợp như nghiên cứu hệ thống tim mạch [ [20](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0100) ], xác định cá nhân [ [21](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0105) ], trích xuất nhịp tim (HR) [ [22](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0110) ], xác định lượng oxy bão hòa máu [ [23](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0115) ], xác định độ cứng động mạch [ [24](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0120)], xác định [nồng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/blood-glucose) độ [glucose trong máu](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/blood-glucose)và đo HA [ [25](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0125)]. Trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã nghiên cứu các phương pháp đo HA chỉ sử dụng tín hiệu PPG. Năm 2003, nghiên cứu đầu tiên trong lĩnh vực ước tính HA sử dụng tín hiệu PPG được thực hiện bởi Teng & Zhang có thể ước tính HA trong một nhóm 15 người dựa trên khoảng thời gian và [biên độ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/amplitudes)của tín hiệu PPG trong miền thời gian, với sai số trung bình (ME) là 0,21 mmHg và độ lệch chuẩn (SD) là 7,32 mmHg đối với SBP và với ME là 0,02 mmHg và SD là 4,39 mmHg đối với DBP [ [26](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0130)]. Một số công trình khác đã trích xuất [các tính năng cụ thể](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/specific-feature)trong miền thời gian của tín hiệu PPG và kết quả của chúng cho thấy [mối tương quan cao](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/high-correlation)của tín hiệu PPG với HA. Năm 2013, Kurylyak et al. với 21 [tính năng được trích xuất](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/extracted-feature) từ tín hiệu PPG, có thể ước tính SBP với [Sai số tuyệt đối trung bình](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mean-absolute-error)(MAE) là 3,80 mmHg và SD là 3,46 mmHg và có thể ước tính DBP với MAE là 2,21 mmHg và SD là 2,09 mmHg [[27](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0135) ]. Một số tính năng miền thời gian như được minh họa trong [Hình 2](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0010), là Khu vực tâm thu, Thời gian khởi động tâm thu, Khu vực tâm trương, Thời gian chu kỳ và Thời gian tâm trương.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (236KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr2_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr2.jpg)

Hình 2 . Một số tính năng miền thời gian trong tín hiệu PPG [ [28](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0140) ].

Để ước tính HA tốt hơn, một bộ tính năng khác có thể được xác định bởi đạo hàm thứ nhất và thứ hai của tín hiệu PPG (SDPPG) có chứa thông tin về độ cứng và tuân thủ động mạch chủ và HA bị ảnh hưởng rất nhiều bởi các yếu tố này. Năm 2016, Gaurav và cộng sự. trích xuất 46 tính năng từ PPG và dẫn xuất thứ hai của tín hiệu PPG, sau đó sử dụng sáu [mạng thần kinh](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/neural-networks) , mỗi [mạng](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/neural-networks) có 4 lớp ẩn. Theo kết quả, DBP và SBP được ước tính với MAE lần lượt là 21,3 và 47,4 mmHg [ [29](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0145)]. Cũng có những nghiên cứu khác dựa trên [trích xuất tính năng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-extraction) tuyến tính và phi tuyến [mới](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-extraction) của tín hiệu PPG và SDPPG trong miền thời gian [ [14](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0070)]. SDPPG bao gồm năm [dạng sóng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/waveform)được gọi là Sóng dương ban đầu (IPW), Sóng âm sớm (ENW), Sóng dốc lên muộn (LUW), Sóng dốc xuống muộn (LDW) và Sóng dương Diastolic (DPW) và các dạng sóng này được chỉ định với 'a', 'b ',' c ',' d 'và' e ', tương ứng. [Hình 3](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0015) cho thấy một số tính năng được trích xuất dựa trên PPG và SDPPG.

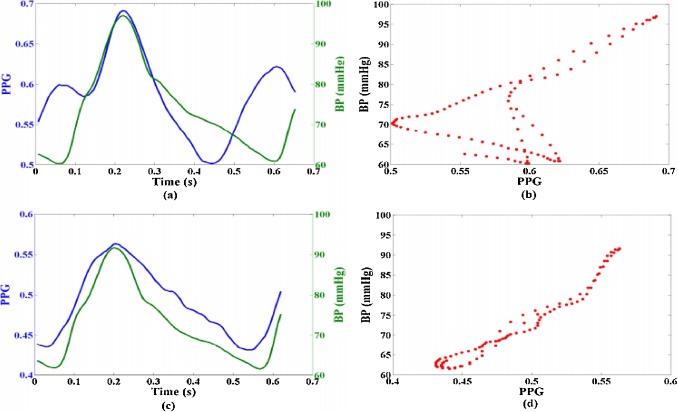


1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (468KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr3_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr3.jpg)

Hình 3 . Khai thác các tính năng từ tín hiệu PPG và SDPPG [ [14](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0070) ].

Năm 2000, Millasseau et al. đã báo cáo một phương pháp mới để trích xuất tính năng trong miền tần số dựa trên chức năng truyền tổng quát (GTF) và [Biến đổi Fourier nhanh](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fast-fourier-transform) (FFT) [ [30](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0150)]. Ngoài ra, Wang et al. trích xuất các tính năng trong miền tần số nhưng dựa trên [biến đổi cosine rời rạc](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/discrete-cosine-transform) (DCT) [ [31](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0155)]. Trong tất cả các nghiên cứu về miền thời gian và tần số, sau khi hình thành [vectơ đặc trưng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-vector), các giai đoạn đào tạo và sau đó ước tính HA được thực hiện bằng các [thuật toán học máy](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/machine-learning-algorithm) khác nhau như thuật toán hồi quy [[32](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0160) ], mạng thần kinh [ [33](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0165)], [logic mờ](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/fuzzy-logic) [ [10](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0050)] và[máy vectơ hỗ trợ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/support-vector-machine) [ [12](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0060) ]. Cách tiếp cận này là trích xuất các tính năng dựa trên việc phát hiện chính xác dưới dạng tín hiệu được gọi là phương pháp dựa trên tham số.

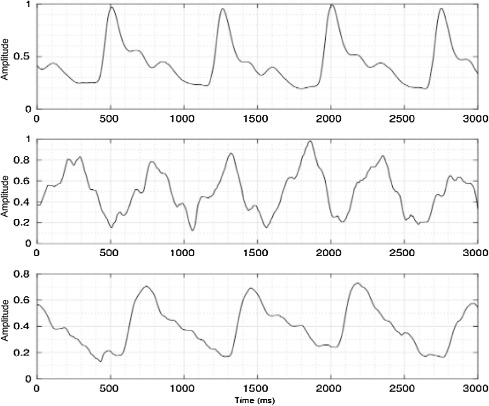
Năm 2016, Xing và cộng sự. xem xét mối tương quan giữa các giá trị PPG và BP phù hợp và không phù hợp. Nói cách khác, giả thuyết rằng tín hiệu PPG tốt có tương quan cao với HA đã được chứng minh [ [34](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0170) ]. Mối tương quan giữa HA và tín hiệu PPG phù hợp và không phù hợp được hiển thị trong [Hình. 4](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0020) , mặc dù tín hiệu thích hợp được đưa ra trong hình này không có hình dạng tốt như định nghĩa của tín hiệu phù hợp được trình bày trong [Hình 1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#fig0005) . Theo đó, cả [Hình 4](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#fig0020)(a) và (b) là các tín hiệu không phù hợp theo quan điểm của bài viết này. Cần lưu ý rằng trong nhiều trường hợp, tín hiệu PPG không phù hợp cũng được coi là đầu vào của thuật toán học máy. Trong những trường hợp này, dự đoán rằng kết quả ước tính HA sẽ có sai số cao.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (408KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr4_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr4.jpg)

Hình 4 . Mối tương quan giữa HA và tín hiệu PPG phù hợp và không phù hợp: a) PPG không phù hợp, b) Tương quan giữa HA (Đường màu xanh lá cây) và PPG không phù hợp (Đường màu xanh), c) PPG phù hợp và d) Tương quan giữa HA (Đường màu xanh lá cây) và PPG thích hợp (Đường màu xanh) [ [34](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0170) ]. (Để giải thích các tham chiếu đến màu sắc trong chú giải hình này, người đọc được tham khảo phiên bản web của bài viết này).

Các tính năng được đề cập ở trên tập trung vào điểm chính xác trên tín hiệu PPG. Như đã giải thích, trong nhiều trường hợp, mặc dù thực tế là tín hiệu PPG có bản chất riêng, [hình dạng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shape-change) của nó [thay đổi](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shape-change) . Một ví dụ về các tín hiệu này được hiển thị trong [Hình 5](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0025) . Do khả năng xuất hiện của các hình dạng khác nhau, việc phát hiện chính xác trong biểu đồ của chúng là không thể trích xuất các tính năng và sau đó ước tính HA với chúng. Do đó, đầu ra của các thuật toán dự đoán HA sẽ không đủ chính xác. Mặt khác, các thuật toán dự đoán cung cấp một phương trình tổng quát để ước tính HA. Do đó, việc lắp mô hình cho mỗi người đòi hỏi một bước hiệu chỉnh và thậm chí vài lần lặp lại trên bước đó [ [35](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0175)]. Nói chung, [chăm sóc sức khỏe](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/health-care)tiêu chuẩn không cho phép bất kỳ bước hiệu chuẩn [ [32](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0160) ].



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (426KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr5_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr5.jpg)

Hình 5 . Tín hiệu PPG không phù hợp [ [32](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0160) ].

Năm 2016, Kiani et al. đã trình bày một loại vectơ đặc trưng mới dựa trên khái niệm thời gian đến xung (PAT) và sử dụng tín hiệu ECG và PPG cùng nhau. Trong phương pháp này, một phần của tín hiệu thô tại một khoảng thời gian được sử dụng làm vectơ đặc trưng. Phương pháp hình thành cho vectơ đặc trưng này được gọi là toàn bộ dựa trên [ [32](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0160) ].

Trong công việc này, các giải pháp cho hai vấn đề chính được nghiên cứu; sự cần thiết phải hiệu chuẩn và trích xuất các tính năng chính xác liên quan đến tín hiệu PPG. Trong thuật toán đề xuất của bài báo này, sau khi sử dụng các kỹ thuật xử lý tín hiệu, vectơ đặc trưng được trích xuất, dựa trên phương pháp toàn bộ nhưng chỉ sử dụng tín hiệu PPG. Sau đó, bằng cách sử dụng thuật toán [hồi quy phi tuyến](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nonlinear-regression)trên các vectơ đặc trưng này, cả ba giá trị của MAP, SBP và DBP được ước tính liên tục, không xâm lấn và không có bất kỳ vòng bít nào có ME rất thấp và SD thích hợp. Dựa trên sự phụ thuộc của tín hiệu PPG vào các [thông số sinh lý](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/physiological-parameter) của cơ thể mỗi người, trong thuật toán này,[mô hình](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/do-model)ước lượng HA[thực hiện](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/do-model) không yêu cầu hiệu chuẩn và nó không phụ thuộc vào việc dạng sóng PPG có phù hợp hay không.

**2 . Phương pháp**

Thuật toán đề xuất cho ước tính HA chỉ sử dụng tín hiệu PPG theo cách không xâm lấn và không có bất kỳ vòng bít và hiệu chuẩn nào bao gồm bốn bước:

1

Sử dụng thuật toán [xử lý trước](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/preprocessing) tín hiệu để loại bỏ nhiễu khỏi tín hiệu PPG

2

Trích xuất [các vectơ đặc trưng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-vector)

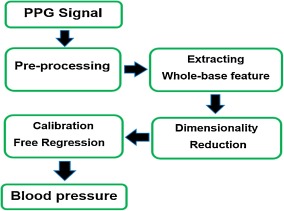
3

Giảm kích thước của các vectơ đặc trưng

4

Áp dụng thuật toán [hồi quy phi tuyến](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nonlinear-regression)

[Hình 6](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0030) minh họa sơ đồ khối của thuật toán đề xuất. Sau đây, mỗi bước được mô tả chi tiết một cách riêng biệt.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (132KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr6_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr6.jpg)

Hình 6 . Sơ đồ của thuật toán đề xuất cho ước tính HA.

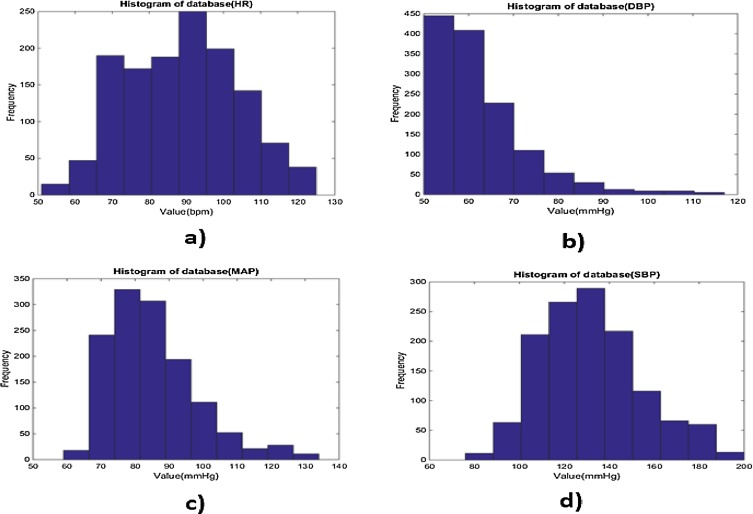
**2.1 . Cơ sở dữ liệu**

Trong bài báo này, để đánh giá hiệu quả của phương pháp được đề xuất, một phần dữ liệu MIMIC II (phiên bản 3, 2015) [ [36](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0180)] được sử dụng làm nguồn[dữ liệu](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pressure-data) PPG và ABP (huyết [áp](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pressure-data) động mạch chủ [)](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pressure-data). Cơ sở dữ liệu này bao gồm PPG và ABP đồng thời của nhiều bệnh nhân đã được ghi nhận trong các [Đơn vị Chăm sóc Chuyên sâu](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/intensive-care-units) (ICU) khác nhau ở một số bệnh viện. [Tần số lấy mẫu](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sampling-frequency)của chúng là 125 Hz, với độ chính xác 8 bit. Cũng cần lưu ý rằng ABP đã được ghi lại từ động mạch chủ một cách xâm lấn và đồng thời, tín hiệu PPG được ghi lại từ đầu ngón tay [[37](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0185)]. Trong công việc này, chúng tôi xem xét khoảng thời gian 15 giây để ước tính HA từ tín hiệu PPG. Trong mỗi phần 15 giây của tín hiệu ABP, các giá trị tối thiểu và tối đa được coi là DBP và SBP. Sau đó, chúng tôi tính toán MAP theo (1).

Cơ sở dữ liệu bao gồm 1323 hồ sơ và thuộc về ít nhất 441 cá nhân, bởi vì ba khoảng thời gian khác nhau 15 giây từ dữ liệu của một người tồn tại trong cơ sở dữ liệu. Sau khi kiểm tra dữ liệu, chúng tôi thấy rằng gần như 80% tín hiệu PPG là không phù hợp. [Bảng 1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "tbl0005) đưa ra thông tin thống kê và [Hình 7](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0035)cho thấy [biểu đồ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/histograms) của các giá trị DBP, MAP, SBP và HR.

Bảng 1 . Thông tin về cơ sở dữ liệu.

|  | **Trung bình (mmHg)** | **SD (mmHg)** | **Tối thiểu (mmHg)** | **Tối đa (mmHg)** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **DBP** | 62,2 | 11.10 | 50 | 117 |
| **BẢN ĐỒ** | 85,6 | 12,95 | 59 | 134 |
| **SBP** | 132.3 | 22,91 | 76 | 200 |
| **Nhân sự** | 88,8 | 15,17 | 51 | 125 |



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (329KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr7_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr7.jpg)

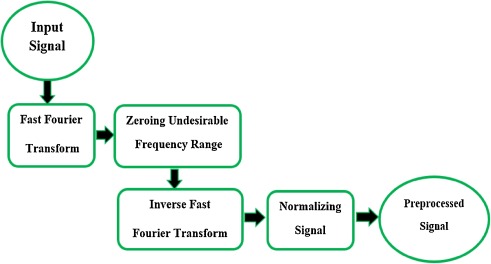
Hình 7 . [Biểu đồ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/histograms) của cơ sở dữ liệu: a) HR, b) DBP, c) MAP và d) SBP.

**2.2 . Sơ chế**

Trước khi trích xuất tính năng từ tín hiệu PPG, các thuật toán xử lý trước tín hiệu được áp dụng để giảm ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu PPG. Tín hiệu PPG bị ảnh hưởng bởi nhiễu như nhiễu đường dây điện, [tạo](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/motion-artifact) tín hiệu [chuyển động](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/motion-artifact) , [biên độ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/amplitudes)thấp của tín hiệu PPG và co thắt tâm thất sớm [ [38](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0190)]. Mặc dù các thuật toán khác nhau được đề xuất để giảm nhiễu như [Phân tích](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/decomposition) chế độ theo kinh nghiệm (EMD) [ [39](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0195)], [Biến đổi Wavelet](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/wavelet-transforms) rời rạc (DWT) [ [40](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0200)], Phản hồi xung vô hạn (IIR) và [Biến đổi Fourier nhanh](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fast-fourier-transform) (FFT) [ [34](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0170) ]. Trong công việc này, bộ lọc FFT được chọn để loại bỏ nhiễu. [Hình 8](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0040)minh họa sơ đồ khối để tiền xử lý tín hiệu PPG. Sau khi chuyển tín hiệu sang miền tần số, các giá trị trong phạm vi dưới 0,4 Hz và hơn 8 Hz được lấp đầy bằng các giá trị 0. Sau đó, tín hiệu lại được chuyển đến miền thời gian bằng chức năng Inverse Fast Fourier Transform (IFFT). Trong giai đoạn cuối, việc chuẩn hóa tín hiệu được thực hiện theo phương trình sau:

(2)PPG n = (PPG 0 -the (PPG 0 )) / (max (PPG 0 ) -the (PPG 0 ))

Trong đó PPG 0 biểu thị tín hiệu PPG gốc và PPG n đại diện cho phiên bản chuẩn hóa của PPG 0 .



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (172KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr8_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr8.jpg)

Hình 8 . Sơ đồ của thuật toán [tiền xử lý](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/preprocessing) tín hiệu .

**2.3 . Trích xuất toàn bộ tính năng dựa trên**

Dựa trên phương pháp toàn bộ, tất cả các giá trị của tín hiệu PPG ở khoảng cách cụ thể giữa hai đỉnh R liên tiếp trong tín hiệu ECG được coi là vectơ đặc trưng. Mỗi vectơ này là một đầu vào của các thuật toán [học máy](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/machine-learning) được áp dụng . Cần lưu ý rằng thuật toán đào tạo được thực hiện độc lập để ước tính SBP, DBP và MAP. Các vectơ đặc trưng được giới thiệu trong bài viết này bao gồm các giá trị giữa hai đỉnh tín hiệu tâm thu liên tiếp của tín hiệu PPG. Sau đây, quy trình trích xuất vectơ đặc trưng được giải thích:

1

Lúc đầu, ma trận không thứ nguyên có tần số lấy mẫu 4 × (fs) được coi là vectơ đặc trưng. Theo [Bảng 1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#tbl0005) , mức tối thiểu và tối đa của HR lần lượt là 51 và 125 bpm. Do đó, khoảng thời gian tối đa và tối thiểu giữa hai đỉnh tâm thu liên tiếp của tín hiệu PPG lần lượt là 1,17 và 0,48 giây. Vì tần số lấy mẫu là 125 Hz, cần 125 mẫu để ghi lại một giây tín hiệu. Theo cách này, giả định cơ bản về độ dài của vectơ đặc trưng là đủ để ghi lại tất cả các điểm giữa hai đỉnh tâm thu liên tiếp trong tất cả các loại tín hiệu PPG.

2

Sau khi [bước tiền xử lý](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/preprocessing-step) tín hiệu được áp dụng, các điểm tâm thu của tín hiệu PPG được phát hiện bằng cách sử dụng thuật toán Phát hiện đỉnh dựa trên nhiều thang đo tự động (AMPD) [ [41](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0205) ].

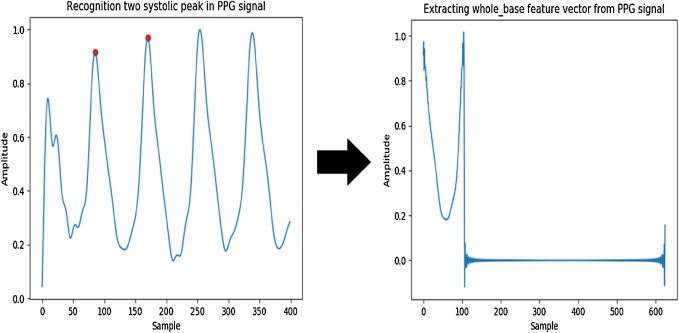
3

Các giá trị giữa các đỉnh tâm thu liên tiếp thứ nhất và thứ hai của tín hiệu PPG tương ứng khớp với ngôi nhà đầu tiên của ma trận vectơ đặc trưng và giá trị của các điểm cuối của vectơ đặc trưng cũng có thể bằng không.

4

Lấy mẫu lại được thực hiện bằng cách thực hiện thao tác nội suy theo chiều dài 5 × fs. Nếu các giá trị ở điểm cuối của vectơ đặc trưng bằng 0, thao tác này có thể thay đổi chúng, tuy nhiên những thay đổi này rất nhỏ.

[Hình 9](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0045) cho thấy việc trích xuất và hình thành các vectơ đặc trưng.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (268KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr9_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr9.jpg)

Hình 9 . Khai thác các [vector tính năng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-vector) toàn bộ dựa trên .

**2.4 . Giảm kích thước**

Trong phương pháp được đề xuất, [thuật toán giảm](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/reduction-algorithm) kích thước được sử dụng trong phương pháp dựa trên toàn bộ vì hai lý do: Độ dài của vectơ đặc trưng là lớn và các giá trị của vectơ đặc trưng dựa trên toàn bộ có [mối tương quan](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/high-correlation)rất [cao](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/high-correlation) với nhau. Việc giảm độ dài của vectơ đặc trưng trong phần đào tạo và đánh giá sẽ làm giảm lượng điện toán. Hơn nữa, việc giảm[tương quan dữ liệu](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/data-correlation)làm tăng hiệu quả của quá trình đào tạo mô hình. Bằng cách sử dụng thuật toán [phân tích thành phần chính](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/principal-component-analysis) (PCA), độ dài của vectơ đặc trưng được giảm bằng cách duy trì 98% năng lượng của vectơ. Bước này làm giảm độ dài của các vectơ đặc trưng từ 625 xuống 43.

**2.5 . Hiệu chuẩn miễn phí bằng hồi quy phi tuyến tính**

Trong bài báo này, mô hình đào tạo và đánh giá các giá trị ước tính HA được thực hiện bằng cách thực hiện 4 thuật toán hồi quy phi tuyến. Do mối quan hệ phi tuyến giữa tín hiệu PPG và BP, thuật toán hồi quy tuyến tính không được giải thích. Hơn nữa, kết quả của thuật toán hồi quy tuyến tính trên cơ sở dữ liệu của bài báo này không tạo ra kết quả chấp nhận được theo các tiêu chí của tiêu chuẩn Tiến bộ về Thiết bị Y tế (AAMI) [ [42](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0210) ] và tiêu chuẩn của Hiệp hội Tăng huyết áp Anh (BHS) [ [43](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0215)]. Cần lưu ý rằng sự thành thạo của tất cả các thuật toán sau đã được triển khai bằng thư viện Scikit trong [môi trường lập trình](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/programming-environment) Python [ [44](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0220) ] được nghiên cứu trong công việc này:

Một

Hồi quy [cây quyết định](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/decision-trees) : Cây quyết định (DT) là một mô hình để quyết định và phân loại dữ liệu cụ thể và bao gồm một số nút và nhánh như một cây. Nhiệm vụ quan trọng nhất trong việc gán cây quyết định là xác định thuộc tính của dữ liệu dẫn đến độ phân giải lớn hơn. Sau đó, các thuộc tính này được xếp hạng để quyết định. Khi đầu ra của cây quyết định là một [số thực](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/real-number) , phương thức được gọi là hồi quy cây quyết định (DTR) [ [45](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0225) ].

B

**Hỗ trợ hồi quy véc tơ**: Máy vectơ hỗ trợ (SVM) là một trong những kỹ thuật học máy. Một tính năng quan trọng của SVM là giảm thiểu rủi ro cấu trúc; Không giống như các thuật toán như hồi quy tuyến tính hoạt động bằng cách giảm thiểu cường độ tuyệt đối của lỗi hoặc công suất thứ hai của lỗi. Do đó, SVM không gặp phải cực tiểu cục bộ liên quan đến hàm lỗi. Nó cũng tận dụng các quyết định phi tuyến bằng cách sử dụng hạt nhân phi tuyến. Thuật toán hồi quy vectơ hỗ trợ (SVR) được sử dụng bằng cách xử lý các hạt nhân như [hàm cơ sở xuyên tâm](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/radial-base-function) (RBF) trong thuật toán SVM cho các vấn đề hồi quy phi tuyến [ [46](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0230) ].

C

**Adaptive Đẩy mạnh hồi quy**: Adaptive Đẩy mạnh Regression (AdaboostR) tạo ra các chức năng lập dự toán sử dụng một số lượng lớn các yếu [ước lượng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/estimator) . Tuy nhiên, mỗi người ước tính một mình tạo ra kết quả kém trong việc đạt được giá trị mục tiêu, thành phần có trọng số của họ có thể tạo ra kết quả thuận lợi. Trong thuật toán này, DTR thường được chọn là công cụ ước tính yếu. AdaboostR trái ngược với các mô hình phức tạp không có nhiều cơ hội phù hợp hơn. Do số lượng lớn các công cụ ước tính DTR, nó đòi hỏi dung lượng bộ nhớ cao để lưu trữ mô hình cuối cùng. Cũng cần lưu ý rằng thuật toán đào tạo được thực hiện tuần tự. Nói cách khác, ước tính các hệ số trong mỗi bước đòi hỏi kết quả ước tính của bước trước đó. Hoạt động này gây ra việc [học thuật toán](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/learning-algorithm)quá trình được làm chậm lại [ [47](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0235) ]. Trong bài báo này, thuật toán AdaboostR được triển khai với 500 công cụ ước tính DTR.

D

Hồi quy [rừng ngẫu nhiên](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/random-forest): Trong một cây tiêu chuẩn, mỗi nút của một quyết định bị phá vỡ tại điểm tốt nhất để tạo độ phân giải cao nhất, nhưng trong Rừng ngẫu nhiên (RF), mỗi nút được chia nhỏ dựa trên điểm tốt nhất, đó là một điểm của phạm vi của các thuộc tính được chọn ngẫu nhiên ở [cấp độ nút](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/node-level) . Hồi quy rừng ngẫu nhiên (RFR) rơi vào một nhóm các thuật toán ước tính kết quả trong một phương pháp nhóm và kết quả cuối cùng là kết quả [trung bình](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/average-result) của các công cụ ước tính đơn giản. Trong thuật toán này, DTR được đánh giá là một công cụ ước tính yếu như trong AdaboostR. Mô hình RFR cũng cần một lượng lớn bộ nhớ để lưu trữ mô hình cuối cùng, nhưng do đào tạo cây song song, trong toàn bộ mô hình, quá trình đào tạo nhanh hơn AdaboostR [ [48](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0240) ].

**3 . Các kết quả**

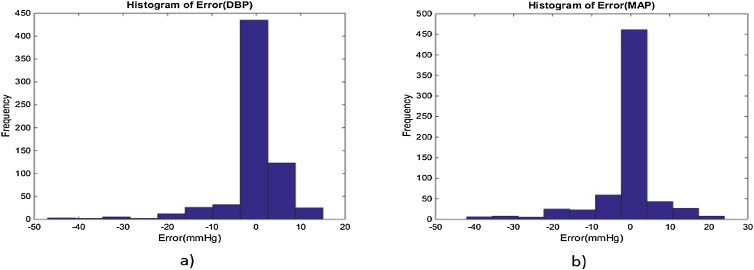
Như đã đề cập trước đây, [các vectơ đặc trưng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-vector) được trích xuất được sử dụng làm đầu vào cho các thuật toán [hồi quy phi tuyến](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nonlinear-regression). Trong mỗi bốn [mô hình hồi quy phi tuyến](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nonlinear-regression-model) , việc ước tính từng giá trị HA (DBP, MAP, SBP) được thực hiện bằng cách tách dữ liệu huấn luyện và kiểm tra với thuật toán xác thực chéo 10 lần. [Bảng 2](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "tbl0010)cho thấy hiệu suất của [các mô hình phi tuyến](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nonlinear-model)của công [cụ ước tính](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/estimator) HA với các vectơ đặc trưng dựa trên toàn bộ. Các kết quả được dựa trên ME để ước tính HA với giá trị thực tế của HA và SD của các lỗi này.

Bảng 2 . Hiệu suất của công [cụ ước tính](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/estimator) HA .

| **Thuật toán người học** | **SBP** | | **BẢN ĐỒ** | | **DBP** | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nghĩa là** | **SD** | **Nghĩa là** | **SD** | **Nghĩa là** | **SD** |
| **Hồi quy cây quyết định** | .20.247 | 6,736 | 0,050 | 9,594 | 0,021 | 18.543 |
| **Hỗ trợ hồi quy Vector** | .60,655 | 7,506 | .50,597 | 9.055 | .90 0,903 | 16.717 |
| **Hồi quy tăng cường thích ứng** | 0,187 | 4.173 | 0,067 | 4.911 | .00.050 | 8,901 |
| **Hồi quy rừng ngẫu nhiên** | 0,196 | 4.731 | 0,196 | 5,714 | 0.155 | 10.683 |

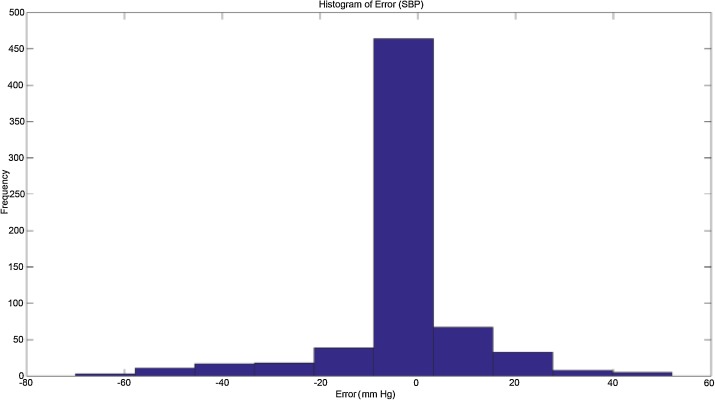
Một mô hình được chọn là công cụ ước tính tốt nhất nếu nó chứa ME và SD tối thiểu trong kết quả. Lỗi trung bình thấp trong kết quả của các [thuật toán học tập](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/learning-algorithm) là xung quanh độ lệch chuẩn nhỏ nhất của lỗi. Tuy nhiên, ME là tham số quan trọng nhất để so sánh độ chính xác của các thuật toán, các giá trị của nó cho các thuật toán khác nhau rất gần nhau; do đó, thuật toán tốt nhất được chọn với SD thấp nhất. Theo cách này, thuật toán ước tính tốt nhất là AdaBoostR. Dựa trên các kết quả, khoảng thời gian của hai đỉnh tín hiệu tâm thu liên tiếp của tín hiệu PPG là đủ để ước tính HA.

[Hình 10](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0050) , [Hình 11](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0055)cho thấy [biểu đồ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/histograms)của [lỗi ước tính](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/estimation-error) trong mô hình AdaBoostR cho cả ba giá trị của BP. Các lỗi trong ước tính HA trong cả ba biểu đồ được phân phối bình thường quanh 0. Theo biểu đồ của lỗi, độ phân tán của lỗi ước tính của SBP xấp xỉ gấp đôi DBP và MAP. Kết quả của thuật toán AdaboostR trong[Bảng 2](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#tbl0010) chứng minh tính đúng đắn của quan sát này.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (180KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr10_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr10.jpg)

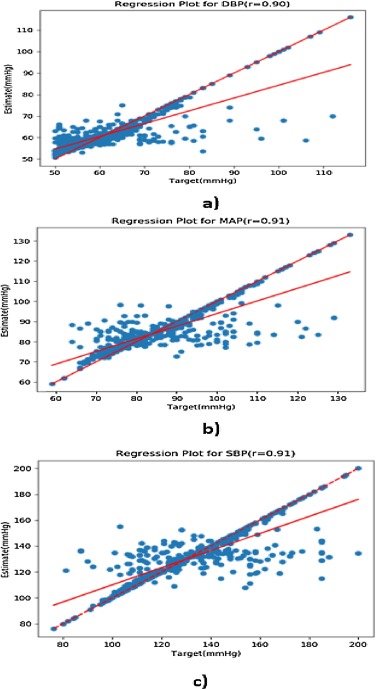
Hình 10 . [Biểu đồ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/histograms) lỗi của các ước tính HA cho a) DBP và b) MAP.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (131KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr11_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr11.jpg)

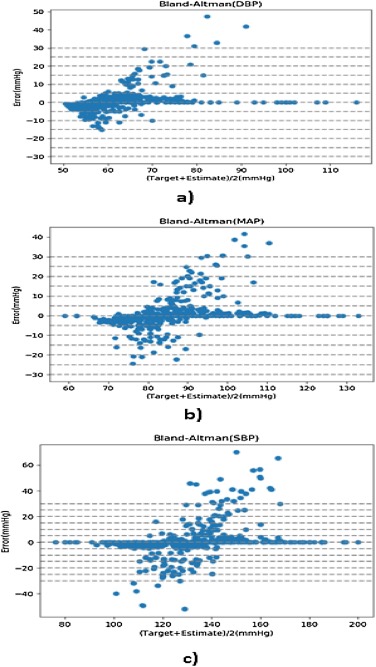
Hình 11 . Các [biểu đồ](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/histograms) lỗi của các ước tính SBP.

[Hình 12](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0060) , [Hình 13](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "fig0065) trình bày hồi quy tuyến tính và biểu đồ Bland Altman cho cả ba giá trị BP, tương ứng. Tất cả ba dạng hồi quy tuyến tính đều hỗ trợ cho rằng thuật toán AdaBoostR phi tuyến tính ước tính chính xác HA với sai số gần như bằng không. Ngoài ra còn có ba biểu đồ Bland Altman mà hầu hết lỗi của các giá trị dự đoán là dưới 5 mmHg.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (412KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr12_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr12.jpg)

Hình 12 . Hồi quy tuyến tính cho các giá trị HA: a) DBP, b) MAP, c) SBP.



1. [Tải xuống hình ảnh độ phân giải cao (552KB)](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr13_lrg.jpg)
2. [Tải xuống hình ảnh kích thước đầy đủ](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1746809418302209-gr13.jpg)

Hình 13 . Bland-Altman cho các giá trị BP: a) DBP, b) MAP, c) SBP.

Trong tiêu chuẩn AAMI, dựa trên ME và SD, tính hợp lệ của thuật toán đề xuất được kiểm tra. Kết quả đánh giá thuật toán AdaboostR dựa trên tiêu chuẩn AAMI được trình bày trong [Bảng 3](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "tbl0015). Theo tiêu chuẩn này, nếu thuật toán được thực hiện ít nhất trên 255 mẫu được phân tách, kết quả là đáng tin cậy. Ngoài ra, dựa trên tiêu chuẩn này, tối đa 3 [lần mẫu](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sample-time) từ mỗi người được cho phép; do đó, ít nhất 85 cá nhân phải tham gia thí nghiệm. Dựa trên tiêu chuẩn này, tính hợp lệ của thuật toán được xác nhận nếu ME của các phép đo nhỏ hơn 5 mmHg và SD sai số nhỏ hơn 8 mmHg.

Bảng 3 . Việc so sánh kết quả của bài báo này với tiêu chuẩn AAMI.

|  |  | **PHƯƠNG TIỆN (mmHg)** | **SD (mmHg)** | **Môn học** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ket qua cua chung toi** | DBP | 0,187 | 4.173 | 441 |
| BẢN ĐỒ | 0,067 | 4.911 | 441 |
| SBP | .00.050 | 8,901 | 441 |
| **AAMI [**[**42**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0210)**]** | HA | ≤5 | ≤8 | ≥85 |

Trong nghiên cứu này, thuật toán phi tuyến tính của AdaboostR được thực hiện trên 1323 mẫu. Theo [Bảng 3](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#tbl0015), kết quả của thuật toán AdaboostR trong ước tính DBP và MAP được chấp nhận hoàn toàn theo tiêu chuẩn AAMI; nhưng mô hình trong ước tính SBP mặc dù ME chấp nhận được, giá trị SD của nó lớn hơn một chút so với [phạm vi cho phép](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/permissible-range) tối đa của tiêu chuẩn.

Hơn nữa, độ chính xác của thuật toán đề xuất được kiểm tra theo quan điểm của tiêu chuẩn BHS, báo cáo về độ chính xác của thuật toán theo ba loại dựa trên tỷ lệ phần trăm của lỗi tích lũy. Trong tiêu chuẩn này, ít nhất 85 người phải được nghiên cứu, tương tự như tiêu chuẩn AAMI. Độ chính xác của thuật toán được phân loại theo tỷ lệ phần trăm lỗi tích lũy của các [kết quả được nêu chi tiết](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/detailed-result) trong [Bảng 4](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "tbl0020) . Kết quả của thuật toán AdaBoostR dựa trên tiêu chuẩn BHS được hiển thị trong [Bảng 5](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "tbl0025). Theo tiêu chuẩn này, thuật toán AdaBoostR được phân loại trong loại A và B để ước tính DBP và MAP, tương ứng. Đối với ước tính SBP, trong phạm vi nhỏ hơn 15 mmHg, nếu 1% lỗi do khối lượng lớn và nhiều loại dữ liệu có thể bị bỏ qua, thuật toán ước tính SBP rơi vào loại C.

Bảng 4 . Bhs chấm điểm chuẩn.

|  | **Tỷ lệ phần trăm lỗi tích lũy** | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **≤5 mmHg** | **10 mmHg** | **≤15 mmHg** |
| **Điểm A** | 60% | 85% | 95% |
| **Lớp B** | 50% | 75% | 90% |
| **Lớp C** | 40% | 65% | 85% |

Bảng 5 . Việc so sánh kết quả của bài báo này với tiêu chuẩn BHS.

|  | **Tỷ lệ phần trăm lỗi tích lũy** | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **≤5 mmHg** | **10 mmHg** | **≤15 mmHg** | **Toàn bộ** |
| **DBP** | 1118 (84%) | 1227 (92%) | 1295 (97%) | 1323 |
| **BẢN ĐỒ** | 1055 (79%) | 1166 (83%) | 1236 (93%) | 1323 |
| **SBP** | 953 (71%) | 1027 (77%) | 1113 (84%) | 1323 |

**4 . Thảo luận**

Theo thống kê, tăng huyết áp là một trong những nguyên nhân chính gây ra các bệnh tim mạch đang gia tăng. Các [phép đo liên tục](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/continuous-measurement)của BP là một trong những phương pháp cơ bản nhất của việc kiểm soát và điều trị loại bệnh. Trong thế giới ngày nay, cuộc sống tốc độ cao không cho phép mọi người liên tục đến các trung tâm y tế để đo HA. Sự sẵn có của các thiết bị đo HA với vòng bít không phải lúc nào cũng có thể ở bất cứ lúc nào và bất cứ nơi nào. Mặt khác, do sự phát triển hơn nữa của [các](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mhealth) công nghệ [y tế di động](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mhealth) , việc phát triển các thuật toán có[độ tin cậy cao](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/highest-reliability)để thực hiện một ứng dụng của [điện thoại di động](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mobile-phone) dường như rất cần thiết cho điện toán BP. Ngày nay, tất cả các điện thoại di động hầu như được trang bị PPG[cảm biến tín hiệu](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sensor-signal) . Tín hiệu PPG dễ dàng được ghi lại từ cổ tay và đầu ngón tay, và ghi tín hiệu PPG không đòi hỏi một khả năng và kỹ năng đặc biệt. Ngoài ra, phần cứng ghi tín hiệu PPG có chi phí rất thấp.

Trong nghiên cứu trước đây của chúng tôi, chúng tôi đã ước tính HA bằng cách chỉ sử dụng tín hiệu [ECG](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electrocardiography), rất hữu ích trong nhiều trường hợp như kiểm tra bài tập và thiết bị ECG Holter, nhưng những thách thức của việc ghi tín hiệu ECG chính xác và phần cứng liên quan của nó là [các yếu tố hạn chế](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/limiting-factor)trong thuật toán này phát triển ở bất cứ nơi đâu và bất cứ lúc nào [[49](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0245)]. Trong bài báo này, mục tiêu của chúng tôi là cung cấp một thuật toán hiệu quả cho việc ước tính HA không xâm lấn, không có vòng bít và không hiệu chuẩn, bằng tín hiệu PPG thích hợp và không phù hợp. Trong một số trường hợp, hình dạng của tín hiệu PPG thay đổi, khiến cho không thể trích xuất các tính năng hữu ích của tín hiệu. Thuật toán đề xuất cho [vectơ tính năng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-vector)toàn bộ trích xuất dựa trên các giá trị tín hiệu thô, nhưng không phụ thuộc vào hình dạng của nó.

Sau đây, kết quả của công việc này được so sánh với các nghiên cứu khác dựa trên ước tính HA bằng cách chỉ sử dụng tín hiệu PPG. Kết quả của từng nghiên cứu này đã được báo cáo dựa trên các tiêu chí cụ thể như [lỗi bình phương trung bình gốc](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/root-mean-square-error) (RMSE), ME, MAE và SD liên quan đến từng tiêu chí. Để thực hiện so sánh công bằng, tất cả các thuật toán nên được thực hiện trong cùng một cơ sở dữ liệu về số lượng và loại dữ liệu; tuy nhiên, không thể trong các nghiên cứu được xem xét. [Bảng 6](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "tbl0030) bao gồm các kết quả của nghiên cứu này cùng với dữ liệu thu được từ các công trình khác ước tính HA chỉ dựa trên tín hiệu PPG.

Bảng 6 . Việc so sánh kết quả của bài báo này với các tác phẩm khác.

| **công việc** | **Môn học** | **Ghi lại** | **DBP** | | | | | **BẢN ĐỒ** | | | | | **SBP** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **TÔI** | **SD1** | **CÓ** | **SD 2** | **RMSE** | **TÔI** | **SD1** | **CÓ** | **SD2** | **RMSE** | **TÔI** | **SD1** | **CÓ** | **SD 2** | **RMSE** |
| **[**[**35**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0175)**]** | 32 | 7678 | 3,67 | 5,69 | - | - | - | 3,85 | 5,87 | - | - | - | 4,77 | 7.68 | - | - | - |
| **[**[**29**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0145)**]** | - | 3000 | 0,03 | 4,72 | 3.21 | - | - | - | - | - | - | - | 0,16 | 6,85 | 4,47 | - | - |
| **[**[**34**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0170)**]** | 69 | 69 | 0,01 | 4,66 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,06 | 7,08 | - | - | - |
| **[****[50](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0250) ]** | 113 | 113 | 7 × 10−15 | 9,45 | - | - | - | 9,34 × 10 7 | 10,44 | - | - | - | .951,95 × 10 16 | 13,81 | - | - | - |
| **[**[**14**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0070)**]** | - | 910 | - | - | 4,34 | - | 5,8 | - | - | - | - | - | - | - | 8,45 | - | 10.9 |
| **[****[51](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0255) ]** | 10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,8 | 4.2 | - | - | - |
| **[**[**12**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0060)**]** | 19 | 7000 < | - | - | 7.617 | 6,7837 | - | - | - | - | - | - | - | - | 11,6415 | 8.202 | - |
| **[**[**33**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0165)**]** | - | 250 < | 1,92 | 2,47 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,32 | 2,91 | - | - | - |
| **[**[**27**](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0135)**]** | - | 15.000 < | - | - | 2,21 | 2.09 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,8 | 3,46 | - |
| **[****[52](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0260) ]** | 32 | 7000 < | - | - | 0,59 | 10,23 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,78 | 13.1 | - |
| **[****[53](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0265) ]** | 65 | 78 | 4.6 | 4.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 5.1 | 4.3 | - | - | - |
| **[****[54](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209" \l "bib0270) ]** | 572 | 53708 | .653,65 | 8,69 | - | - | - | .383,38 | 10,35 | - | - | - | .982,98 | 19,35 | - | - | - |
| **Điều này** | 400 < | 1323 | 0,187 | 4.173 | 2,43 | 3,37 | 4.18 | 0,067 | 4.911 | 2,61 | 4.16 | 4,92 | .00.050 | 8,901 | 3,97 | 7,99 | 8,9 |
| **CÔNG VIỆC** |

SD 1 : Độ lệch chuẩn của lỗi, SD 2: Độ lệch chuẩn của sai số [tuyệt đối](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/absolute-error) .

Nhìn chung, phương pháp được đề xuất trong bài báo này có kết quả chấp nhận được về độ chính xác so với các nghiên cứu khác; nhưng do thực tế là kích thước của dữ liệu được sử dụng trong [ [34](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0170) ] là xấp xỉ119lần so với lượng dữ liệu trong nghiên cứu này, kết quả của họ tốt hơn. Cần lưu ý rằng cơ sở dữ liệu được sử dụng trong công việc này chứa dữ liệu bệnh nhân từ các bộ phận của bệnh viện ICU, nhưng dữ liệu nghiên cứu từ [ [51](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0255) ] và [ [53](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0265)] đã được thu thập từ những người khỏe mạnh. Không còn nghi ngờ gì nữa, kết quả của phương pháp được đề xuất sẽ được cải thiện rất nhiều bằng cách thêm dữ liệu của [những người khỏe mạnh](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/healthy-individual)vào cơ sở dữ liệu và liên quan đến họ trong phần đào tạo và thử nghiệm của nghiên cứu này. PPG tín hiệu liên quan đến một người được đánh giá cao tương quan với nhau, và sau đó việc sử dụng thường xuyên của các tín hiệu của một người trong cơ sở dữ liệu có thể cải thiện kết quả ước lượng, nhưng mức độ của thuật toán [khái quát hóa](https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/generalizability)giảm. Theo AAMI, dữ liệu của một cá nhân có thể được sử dụng tối đa ba lần trong cơ sở dữ liệu. Nghiên cứu này, xem xét giới hạn này, bao gồm ít nhất 400 người và trừ khi nó có ít hồ sơ hơn so với các nghiên cứu như [[12](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0060) ] và [[35](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bib0175) ], nó có độ chính xác tốt hơn. Trong nhiều nghiên cứu, hiệu chuẩn đã được sử dụng để cải thiện kết quả, nhưng kết quả của công việc này là không có hiệu chuẩn. Ngoài ra, thực tế là 80% cơ sở dữ liệu được nghiên cứu bao gồm các tín hiệu PPG không phù hợp và thành công của phương pháp được đề xuất trong ước tính chính xác HA xác nhận rằng phương pháp được đề xuất cho ước tính HA là độc lập với dạng tín hiệu PPG. Ngược lại, kết quả của các phương thức dựa trên tham số không chính xác như phương pháp dựa trên toàn bộ.

**5 . Phần kết luận**

Trong bài báo này, một cách tiếp cận mới dựa trên việc chỉ sử dụng tín hiệu PPG được đề xuất cho ước tính HA không xâm lấn, ít vòng bít, không hiệu chuẩn và liên tục. Trong nghiên cứu này, vấn đề của các phương pháp [trích xuất tính năng](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/feature-extraction) thông thường bao gồm sự thiếu chính xác của chúng trong các điều kiện mà tín hiệu PPG không phù hợp được giải quyết.

Thuật toán đề xuất dựa trên mối quan hệ phi tuyến tính giữa HA và tín hiệu PPG của một người. Các kết quả cho thấy tiềm năng của thuật toán đề xuất để ước tính HA chính xác. Theo kết quả ước tính, trong cả hai phần của DBP và MAP, các điều kiện được đáp ứng để tuân thủ các [yêu cầu tiêu chuẩn](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/requirement-standard)AAMI và trong ước tính SBP với ME gần bằng 0 và SD gần với giới hạn AAMI tiêu chuẩn. Thành tựu này là do [số lượng lớn](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/highest-number) và sự đa dạng của dữ liệu được sử dụng trong quá trình thực hiện thuật toán. Ngoài ra, theo tiêu chuẩn BHS, [các thuật toán học tập](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/learning-algorithm) trong ước tính DBP và MAP đạt được điểm A và B, tương ứng và đối với ước tính SBP, bằng cách bỏ qua lỗi 1%, nó có thể được phân loại là lớp C.

Là một công việc trong tương lai, để cải thiện tính chính xác của ước tính HA, dữ liệu từ những người khỏe mạnh được khuyến nghị sử dụng để đào tạo dữ liệu của phương pháp được đề xuất.

**Xung đột lợi ích**

Tất cả các tác giả tuyên bố rằng họ không có xung đột lợi ích.

**Tài liệu tham khảo**

[[1]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0005)

M. Nichols , N. Townsend , P. Scarborough , M. Rayner**Bệnh tim mạch ở châu Âu: cập nhật dịch tễ học**

Á Âu Tim J. , 34 ( 2013 ) , trang 3028 - 3034

[CrossRef](https://doi.org/10.1093/eurheartj/eht356)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84886004948&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cardiovascular%20disease%20in%20Europe%3A%20epidemiological%20update&publication_year=2013&author=M.%20Nichols&author=N.%20Townsend&author=P.%20Scarborough&author=M.%20Rayner)

[[2]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0010)

Tổ chức WH , *et al.***Thống kê y tế thế giới 2015**

Tổ chức Y tế Thế giới ( 2015 )

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=World%20Health%20Statistic%202015&publication_year=2015&author=W.%20H.%20Organization)

[[3]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0015)

V. Perkovic , R. Huxley , Y. Wu , D. Mitchhakaran , S. MacMahon**Gánh nặng của bệnh liên quan đến huyết áp: ưu tiên bị bỏ quên cho sức khỏe toàn cầu**

Tăng huyết áp , 50 ( 2007 ) , trang 991 - 997

[CrossRef](https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.107.095497)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-36448950113&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=The%20burden%20of%20blood%20pressure-related%20disease%3A%20a%20neglected%20priority%20for%20global%20health&publication_year=2007&author=V.%20Perkovic&author=R.%20Huxley&author=Y.%20Wu&author=D.%20Prabhakaran&author=S.%20MacMahon)

[[4]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0020)

X.-R. Đinh , N. Zhao , G.-Z. Yang , RI Pettigrew , B. Lo , F. Miao , *et al.***Đo huyết áp liên tục từ xâm lấn đến không phô trương: kỷ niệm 200 năm ngày sinh của Carl Ludwig**

IEEE J. Biomed. Thông báo sức khỏe. , 20 ( 2016 ) , trang 1455 - 1465

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/JBHI.2016.2620995)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85005992232&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Continuous%20blood%20pressure%20measurement%20from%20invasive%20to%20unobtrusive%3A%20celebration%20of%20200th%20birth%20anniversary%20of%20Carl%20Ludwig&publication_year=2016&author=X.-R.%20Ding&author=N.%20Zhao&author=G.-Z.%20Yang&author=R.I.%20Pettigrew&author=B.%20Lo&author=F.%20Miao)

[[5]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0025)

L. Peter , N. Noury , M. Cerny**Một đánh giá về các phương pháp theo dõi huyết áp không xâm lấn và liên tục: phương pháp thời gian truyền xung có triển vọng?**

IRBM , 35 ( 2014 ) , trang 271 - 282

[Bài viết](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1959031814000803)[Tải xuống PDF](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1959031814000803/pdfft?md5=9f66ef44cbc15cb274fa87f940d07b95&pid=1-s2.0-S1959031814000803-main.pdf)[Xem Bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85027928014&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20review%20of%20methods%20for%20non-invasive%20and%20continuous%20blood%20pressure%20monitoring%3A%20pulse%20transit%20time%20method%20is%20promising%3F&publication_year=2014&author=L.%20Peter&author=N.%20Noury&author=M.%20Cerny)

[[6]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0030)

**Sổ tay**PA Iaizzo**về Giải phẫu Tim, Sinh lý học và Thiết bị**

Springer Science & Business Media ( 2009 )

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Handbook%20of%20Cardiac%20Anatomy%2C%20Physiology%2C%20and%20Devices&publication_year=2009&author=P.A.%20Iaizzo)

[[7]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0035)

NH phổi , B.**Chỉ số bệnh và điều kiện của**Viện**: Hạ huyết áp**

( 2008 )

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Diseases%20and%20Conditions%20Index%3A%20Hypotension&publication_year=2008&author=N.H.%20Lung&author=B.%20Institute)

[[số 8]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0040)

D. B lửa , J.-M. Redouté , MR Yuce**Một cuộc khảo sát về các tín hiệu và hệ thống trong theo dõi huyết áp cứu thương bằng thời gian truyền xung**

Vật lý trị liệu. Các biện pháp. , 36 ( 2015 )

tr. R 1

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20survey%20on%20signals%20and%20systems%20in%20ambulatory%20blood%20pressure%20monitoring%20using%20pulse%20transit%20time&publication_year=2015&author=D.%20Buxi&author=J.-M.%20Redout%C3%A9&author=M.R.%20Yuce)

[[9]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0045)

Y. Zheng , CC Poon , BP Yan , JY Lau**Pulse theo dõi huyết áp không đeo còng và theo dõi huyết áp 24 giờ và giá trị chẩn đoán của nó trong tăng huyết áp**

J. Med. Syst. , 40 ( 2016 ) , p. 195

[CrossRef](https://doi.org/10.1142/9789814651011_0029)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84994424611&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Pulse%20arrival%20time%20based%20cuff-less%20and%2024-H%20wearable%20blood%20pressure%20monitoring%20and%20its%20diagnostic%20value%20in%20hypertension&publication_year=2016&author=Y.%20Zheng&author=C.C.%20Poon&author=B.P.%20Yan&author=J.Y.%20Lau)

[[10]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0050)

S. Mottaghi , M. Moradi , L. Roohisefat**Ước tính huyết áp không còng trong quá trình kiểm tra căng thẳng tập thể dục**

Nội bộ J. Biosci. Sinh hóa. Sinh học. , 2 ( 2012 ) , tr. 394

[CrossRef](https://doi.org/10.7763/IJBBB.2012.V2.140)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84991015333&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cuffless%20blood%20pressure%20estimation%20during%20exercise%20stress%20test&publication_year=2012&author=S.%20Mottaghi&author=M.%20Moradi&author=L.%20Roohisefat)

[[11]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0055)

L. Geddes , M. Voelz , C. Babbs , J. Bourland , W. Tacker**Thời gian vận chuyển xung như là một chỉ số của huyết áp động mạch**

Tâm sinh lý học , 18 ( 1981 ) , trang 71 - 74

[CrossRef](https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb01545.x)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0019350715&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Pulse%20transit%20time%20as%20an%20indicator%20of%20arterial%20blood%20pressure&publication_year=1981&author=L.%20Geddes&author=M.%20Voelz&author=C.%20Babbs&author=J.%20Bourland&author=W.%20Tacker)

[[12]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0060)

Y. Zhang , Z. Feng**Phương pháp SVM để ước tính huyết áp liên tục từ Tín hiệu PPG**

Kỷ yếu hội thảo quốc tế lần thứ 9 về học máy và máy tính ( 2017 ) , trang 128 - 132

[CrossRef](https://doi.org/10.1145/3055635.3056634)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85024366233&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20SVM%20method%20for%20continuous%20blood%20pressure%20estimation%20from%20a%20PPG%20Signal&publication_year=2017&author=Y.%20Zhang&author=Z.%20Feng)

[[13]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0065)

C. Sideris , H. Kalantarian , E. Nemati , M. Sarrafzadeh**Xây dựng mô hình dự báo huyết áp động mạch liên tục bằng cách sử dụng các mạng tái phát**

Hội nghị quốc tế về điện toán thông minh 2016 (SMARTCOMP) ( 2016 ) , trang 1 - 5

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Building%20continuous%20arterial%20blood%20pressure%20prediction%20models%20using%20recurrent%20networks&publication_year=2016&author=C.%20Sideris&author=H.%20Kalantarian&author=E.%20Nemati&author=M.%20Sarrafzadeh)[CrossRef](https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2016.7501681)

[[14]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0070)

M. Liu , P. Lai-Man , H. Fu**Ước tính huyết áp không còng dựa trên tín hiệu quang sinh lý và dẫn xuất thứ hai của nó**

Nội bộ J. Tính toán. Lý thuyết Eng. , 9 ( 2017 ) , tr. 202

[CrossRef](https://doi.org/10.7763/ijcte.2017.v9.1138)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85052484298&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cuffless%20blood%20pressure%20estimation%20based%20on%20photoplethysmography%20signal%20and%20its%20second%20derivative&publication_year=2017&author=M.%20Liu&author=P.%20Lai-Man&author=H.%20Fu)

[[15]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0075)

J. Allen**Photoplethysmography và ứng dụng của nó trong đo lường sinh lý lâm sàng**

Vật lý trị liệu. Các biện pháp. , 28 ( 2007 )

tr. R 1

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Photoplethysmography%20and%20its%20application%20in%20clinical%20physiological%20measurement&publication_year=2007&author=J.%20Allen)

[[16]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0080)

T. Tamura , Y. Maeda , M. Sekine , M. Yoshida**Cảm biến quang học đeo được có thể đeo được**

Điện tử , 3 ( 2014 ) , trang 282 - 302

[CrossRef](https://doi.org/10.3390/electronics3020282)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84919766847&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Wearable%20photoplethysmographic%20sensors%E2%80%94past%20and%20present&publication_year=2014&author=T.%20Tamura&author=Y.%20Maeda&author=M.%20Sekine&author=M.%20Yoshida)

[[17]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0085)

Z. Zhang , Z. Pi , B. Liu**TROIKA: khuôn khổ chung để theo dõi nhịp tim bằng cách sử dụng tín hiệu quang sinh lý kiểu cổ tay trong khi tập thể dục chuyên sâu**

IEEE Trans. Biomed. Tiếng Anh , 62 ( 2015 ) , trang 522 - 531

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/TBME.2014.2359372)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84921501934&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=TROIKA%3A%20a%20general%20framework%20for%20heart%20rate%20monitoring%20using%20wrist-type%20photoplethysmographic%20signals%20during%20intensive%20physical%20exercise&publication_year=2015&author=Z.%20Zhang&author=Z.%20Pi&author=B.%20Liu)

[[18]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0090)

J. Spigulis , I. Kukulis , E. Fridenberga , G. Venckus**Tiềm năng của cảm biến quang tuyến tiên tiến để chẩn đoán mạch máu không xâm lấn và sàng lọc sớm**

Hệ thống chẩn đoán lâm sàng: Công nghệ và thiết bị ( 2002 ) , trang 38 - 44

[CrossRef](https://doi.org/10.1117/12.469789)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0036403076&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Potential%20of%20advanced%20photoplethysmography%20sensing%20for%20noninvasive%20vascular%20diagnostics%20and%20early%20screening&publication_year=2002&author=J.%20Spigulis&author=I.%20Kukulis&author=E.%20Fridenberga&author=G.%20Venckus)

[[19]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0095)

A. Suzuki , K. Ryu**Phương pháp lựa chọn tính năng để ước tính huyết áp tâm thu bằng phương pháp Taguchi**

IEEE Trans. Ind. Thông báo. , 10 ( 2014 ) , trang 1077 - 1085

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/TII.2013.2288498)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84900562399&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Feature%20selection%20method%20for%20estimating%20systolic%20blood%20pressure%20using%20the%20Taguchi%20method&publication_year=2014&author=A.%20Suzuki&author=K.%20Ryu)

[[20]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0100)

S. Botman , D. Borchevkin , V. Petrov , E. Bogdanov , M. Patrushev , N. Shusharina**Thiết kế dựa trên thiết bị chụp ảnh quang học để chẩn đoán hệ thống tim mạch**

Học viện thế giới Khoa học, Tiếng Anh Công nghệ. Nội bộ J. Med. Sức khỏe Biomed. Sinh học. Dược phẩm Tiếng Anh , 9 ( 2015 ) , trang 689 - 693

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85052459639&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Photoplethysmography-based%20device%20designing%20for%20cardiovascular%20system%20diagnostics&publication_year=2015&author=S.%20Botman&author=D.%20Borchevkin&author=V.%20Petrov&author=E.%20Bogdanov&author=M.%20Patrushev&author=N.%20Shusharina)

[[21]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0105)

V. Jindal , J. Birjandtalab , MB Pouyan , M. Nourani**Một cách tiếp cận học tập sâu thích ứng để nhận dạng dựa trên PPG**

Hội nghị quốc tế thường niên lần thứ 38 năm 2016 về kỹ thuật trong y học và sinh học (EMBC) ( 2016 ) , trang 6401 - 6404

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7592193)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85009084399&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=An%20adaptive%20deep%20learning%20approach%20for%20PPG-based%20identification&publication_year=2016&author=V.%20Jindal&author=J.%20Birjandtalab&author=M.B.%20Pouyan&author=M.%20Nourani)

[[22]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0110)

I. Reyes , H. Nazeran , M. Franco , E. Haltiwanger**Thiết bị quang đồ không dây để thu thập và phân tích tín hiệu biến đổi nhịp tim**

Hội nghị quốc tế thường niên năm 2012 của Kỹ thuật IEEE trong Hiệp hội Y học và Sinh học (EMBC) ( 2012 ) , trang 2092 - 2095

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6346372)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84870777127&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Wireless%20photoplethysmographic%20device%20for%20heart%20rate%20variability%20signal%20acquisition%20and%20analysis&publication_year=2012&author=I.%20Reyes&author=H.%20Nazeran&author=M.%20Franco&author=E.%20Haltiwanger)

[[23]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0115)

CN Devi , ZC Alex**Ước tính không xâm lấn mức độ bão hòa oxy trong máu**

Ấn Độ J. Sci. Công nghệ. , 10 ( 2017 )

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Non-invasive%20estimation%20of%20oxygen%20saturation%20level%20in%20blood&publication_year=2017&author=C.N.%20Devi&author=Z.C.%20Alex)

[[24]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0120)

M. Huotari , A. Vehkaoja , K. Määttä , J. Kostamovaara**Photoplethysmography và phân tích dạng sóng xung chi tiết của nó cho độ cứng động mạch**

J. Cấu trúc. Cơ điện tử , 44 ( 2011 ) , trang. 345 - 362

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84884163741&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Photoplethysmography%20and%20its%20detailed%20pulse%20waveform%20analysis%20for%20arterial%20stiffness&publication_year=2011&author=M.%20Huotari&author=A.%20Vehkaoja&author=K.%20M%C3%A4%C3%A4tt%C3%A4&author=J.%20Kostamovaara)

[[25]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0125)

E. Monte-Moreno**Ước tính không xâm lấn đường huyết và huyết áp từ máy quang đồ bằng phương pháp kỹ thuật học máy**

Artif. Intell. Med. , 53 ( 2011 ) , trang 127 - 138

[Bài viết](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S093336571100056X)[Tải xuống PDF](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S093336571100056X/pdfft?md5=f0c0fcae607d69f814b81f828943d986&pid=1-s2.0-S093336571100056X-main.pdf)[Xem Bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80052475559&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Non-invasive%20estimate%20of%20blood%20glucose%20and%20blood%20pressure%20from%20a%20photoplethysmograph%20by%20means%20of%20machine%20learning%20techniques&publication_year=2011&author=E.%20Monte-Moreno)

[[26]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0130)

X. Teng , Y. Zhang**Ước tính liên tục và không xâm lấn huyết áp động mạch bằng cách sử dụng phương pháp chụp ảnh quang học**

Kỷ yếu 2003 của Hội nghị quốc tế thường niên lần thứ 25 của Kỹ thuật IEEE trong Hiệp hội Y học và Sinh học ( 2003 ) , trang 3153 - 3156

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2003.1280811)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-1542300761&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Continuous%20and%20noninvasive%20estimation%20of%20arterial%20blood%20pressure%20using%20a%20photoplethysmographic%20approach&publication_year=2003&author=X.%20Teng&author=Y.%20Zhang)

[[27]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0135)

Y. Kurylyak , F. Lamonaca , D. Grimaldi**Một phương pháp dựa trên mạng lưới thần kinh để ước tính huyết áp liên tục từ tín hiệu PPG**

Hội nghị Công nghệ Đo lường và Thiết bị Quốc tế 2013 (I2MTC) ( 2013 ) , trang 280 - 283

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/I2MTC.2013.6555424)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84882238014&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20neural%20network-based%20method%20for%20continuous%20blood%20pressure%20estimation%20from%20a%20PPG%20signal&publication_year=2013&author=Y.%20Kurylyak&author=F.%20Lamonaca&author=D.%20Grimaldi)

[[28]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0140)

S. Datta , AD Choudhury , A. Chowdhury , T. Banerjee , R. Banerjee , S. Bhattacharya , *et al.***Thống kê tiểu thuyết Xử lý bài để cải thiện ước tính huyết áp từ photoplethysmogram điện thoại thông minh**

Kỷ yếu hội thảo quốc tế đầu tiên về cảm biến, mạng và hệ thống tập trung vào con người ( 2017 ) , trang 31 - 36

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Novel%20statistical%20Post%20processing%20to%20improve%20blood%20pressure%20estimation%20from%20smartphone%20photoplethysmogram&publication_year=2017&author=S.%20Datta&author=A.D.%20Choudhury&author=A.%20Chowdhury&author=T.%20Banerjee&author=R.%20Banerjee&author=S.%20Bhattacharya)[CrossRef](https://doi.org/10.1145/3144730.3144737)

[[29]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0145)

A. Gaurav , M. Maheedhar , VN Tiwari , R. Narayanan**Theo dõi huyết áp liên tục dựa trên PPG không có Cuff Một cách tiếp cận dựa trên điện thoại thông minh**

Hội nghị quốc tế thường niên lần thứ 38 về kỹ thuật trong y học và sinh học (EMBC), 2016 ( 2016 ) , trang 607 - 610

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590775)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85009089714&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cuff-less%20PPG%20based%20continuous%20blood%20pressure%20monitoring%E2%80%94A%20smartphone%20based%20approach&publication_year=2016&author=A.%20Gaurav&author=M.%20Maheedhar&author=V.N.%20Tiwari&author=R.%20Narayanan)

[[30]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0150)

SC Millasseau , FG Guigui , RP Kelly , K. Prasad , JR Cockcroft , JM Ritter , *et al.***Đánh giá không xâm lấn của xung âm lượng kỹ thuật số: so sánh với xung áp suất ngoại vi**

Tăng huyết áp , 36 ( 2000 ) , trang 952 - 956

[CrossRef](https://doi.org/10.1161/01.HYP.36.6.952)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0033664791&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Noninvasive%20assessment%20of%20the%20digital%20volume%20pulse%3A%20comparison%20with%20the%20peripheral%20pressure%20pulse&publication_year=2000&author=S.C.%20Millasseau&author=F.G.%20Guigui&author=R.P.%20Kelly&author=K.%20Prasad&author=J.R.%20Cockcroft&author=J.M.%20Ritter)

[[31]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0155)

Z. Wang , Y. Zhang**Một phương pháp miền tần số mới để ước tính huyết áp từ photoplethysmogram**

Kỷ yếu hội thảo quốc tế lần thứ 9 về hệ thống xử lý tín hiệu ( 2017 ) , trang 201 - 206

[CrossRef](https://doi.org/10.1145/3163080.3163109)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85042077809&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20novel%20frequency%20domain%20method%20for%20estimating%20blood%20pressure%20from%20photoplethysmogram&publication_year=2017&author=Z.%20Wang&author=Y.%20Zhang)

[[32]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0160)

M. Kachuee , MM Kiani , H. Mohammadzade , M. Shabany**Thuật toán ước tính huyết áp Cuffless để theo dõi chăm sóc sức khỏe liên tục**

IEEE Trans. Biomed. Tiếng Anh , 64 ( 2017 ) , trang 859 - 869

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/TBME.2016.2580904)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85017585404&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cuffless%20blood%20pressure%20estimation%20algorithms%20for%20continuous%20health-care%20monitoring&publication_year=2017&author=M.%20Kachuee&author=M.M.%20Kiani&author=H.%20Mohammadzade&author=M.%20Shabany)

[[33]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0165)

P. Li , M. Liu , X. Zhang , X. Hu , B. Pang , Z. Yao , *et al.***Thuật toán mạng nơ-ron tiểu thuyết để ước tính động lực học liên tục và không xâm lấn huyết áp từ chụp ảnh quang tuyến**

Khoa học Trung Quốc Khoa học , 59 ( 2016 )

tr. 042405

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Novel%20wavelet%20neural%20network%20algorithm%20for%20continuous%20and%20noninvasive%20dynamic%20estimation%20of%20blood%20pressure%20from%20photoplethysmography&publication_year=2016&author=P.%20Li&author=M.%20Liu&author=X.%20Zhang&author=X.%20Hu&author=B.%20Pang&author=Z.%20Yao)

[[34]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0170)

X. Xing , M. Sun**Ước tính huyết áp quang học với chụp quang tuyến và mạng lưới thần kinh dựa trên FFT**

Biomed. Opt. Express , 7 ( 2016 ) , trang 3007 - 3020

[CrossRef](https://doi.org/10.1364/BOE.7.003007)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84980050593&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Optical%20blood%20pressure%20estimation%20with%20photoplethysmography%20and%20FFT-based%20neural%20networks&publication_year=2016&author=X.%20Xing&author=M.%20Sun)

[[35]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0175)

K. Duan , Z. Qian , M. Atef , G. Wang**Một phương pháp khám phá đặc trưng cho việc học đo huyết áp không còng dựa trên phương pháp đo quang**

Hội nghị quốc tế thường niên lần thứ 38 về kỹ thuật trong y học và sinh học (EMBC), 2016 ( 2016 ) , trang 6385 - 6388

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7592189)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85009072508&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20feature%20exploration%20methodology%20for%20learning%20based%20cuffless%20blood%20pressure%20measurement%20using%20photoplethysmography&publication_year=2016&author=K.%20Duan&author=Z.%20Qian&author=M.%20Atef&author=G.%20Wang)

[[36]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0180)

M. Kachuee , MM Kiani , H. Mohammadzade , M. Shabany**Ước tính huyết áp không hiệu chuẩn cao không có hiệu chuẩn cao sử dụng thời gian truyền xung**

Hội nghị chuyên đề quốc tế về mạch và hệ thống (ISCAS), 2015 ( 2015 ) , trang 1006 - 1009

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/ISCAS.2015.7168806)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84946238777&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cuff-less%20high-accuracy%20calibration-free%20blood%20pressure%20estimation%20using%20pulse%20transit%20time&publication_year=2015&author=M.%20Kachuee&author=M.M.%20Kiani&author=H.%20Mohammadzade&author=M.%20Shabany)

[[37]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0185)

AL Goldberger , LA Amaral , L. Glass , JM Hausdorff , PC Ivanov , RG Mark , *et al.***Physiobank, Physiotoolkit, và Physionet**

Lưu hành , 101 ( 2000 ) , trang e215 - e220

[CrossRef](https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.23.e215)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-18844467052&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Physiobank%2C%20physiotoolkit%2C%20and%20physionet&publication_year=2000&author=A.L.%20Goldberger&author=L.A.%20Amaral&author=L.%20Glass&author=J.M.%20Hausdorff&author=P.C.%20Ivanov&author=R.G.%20Mark)

[[38]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0190)

M. Elgendi**Về việc phân tích tín hiệu**photoplethysmogram**ngón tay**

Curr. Cardiol. Rev , 8 ( 2012 ) , trang 14 - 25

[CrossRef](https://doi.org/10.2174/157340312801215782)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84870212079&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=On%20the%20analysis%20of%20fingertip%20photoplethysmogram%20signals&publication_year=2012&author=M.%20Elgendi)

[[39]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0195)

G. Rilling , P. Flandrin , P. Goncalves**Về phân rã chế độ thực nghiệm và các thuật toán của nó**

IEEE-EURASIP Hội thảo về phi tuyến tín hiệu và xử lý hình ảnh ( 2003 ) ., Tr 8 - 11

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-10444242767&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=On%20empirical%20mode%20decomposition%20and%20its%20algorithms&publication_year=2003&author=G.%20Rilling&author=P.%20Flandrin&author=P.%20Goncalves)

[[40]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0200)

M. Holschneider , R. Kronland-Martinet , J. Morlet , P. Tchamitchian**Một thuật toán thời gian thực để phân tích tín hiệu với sự trợ giúp của biến đổi wavelet**

Wavelets , Springer ( 1990 ) , trang 286 - 297

[CrossRef](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75988-8_28)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84949026658&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20real-time%20algorithm%20for%20signal%20analysis%20with%20the%20help%20of%20the%20wavelet%20transform&publication_year=1990&author=M.%20Holschneider&author=R.%20Kronland-Martinet&author=J.%20Morlet&author=P.%20Tchamitchian)

[[41]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0205)

F. Scholkmann , J. Boss , M. Wolf**Một thuật toán hiệu quả để phát hiện cực đại tự động trong các tín hiệu định kỳ và bán**nguyệt nhiễu

Thuật toán , 5 ( 2012 ) , trang 588 - 603

[CrossRef](https://doi.org/10.3390/a5040588)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84872715238&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=An%20efficient%20algorithm%20for%20automatic%20peak%20detection%20in%20noisy%20periodic%20and%20quasi-periodic%20signals&publication_year=2012&author=F.%20Scholkmann&author=J.%20Boss&author=M.%20Wolf)

[[42]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0210)

A. ft A. o. M. Thiết bị**tiêu chuẩn quốc gia Mỹ. Máy đo huyết áp bằng tay, điện tử hoặc tự động**

ANSI / AAMI SP10-2002 / A1

( 2003 )

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=American%20National%20Standard.%20Manual%2C%20Electronic%20or%20Automated%20Sphygmomanometers&publication_year=2003&author=A.%20f.%20t.%20A.%20o.%20M.%20Instrumentation)

[[43]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0215)

E. O'brien , B. Waeber , G. Parati , J. Staessen , MG Myers**Thiết bị đo huyết áp: khuyến nghị của Hiệp hội Tăng huyết áp Châu Âu**

BMJ: Br. Med. J. , 322 ( 2001 ) , tr. 531

[CrossRef](https://doi.org/10.1136/bmj.322.7285.531)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034815401&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Blood%20pressure%20measuring%20devices%3A%20recommendations%20of%20the%20European%20Society%20of%20Hypertension&publication_year=2001&author=E.%20O%E2%80%99brien&author=B.%20Waeber&author=G.%20Parati&author=J.%20Staessen&author=M.G.%20Myers)

[[44]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0220)

F. PEDREGOSA , G. Varoquaux , A. Gramfort , V. Michel , B. Thirion , O. Grisel , *et al.***Scikit-learn: học máy bằng Python**

J. Mach. Học hỏi. Độ phân giải , 12 ( 2011 ) , trang 2825 - 2830

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80555140075&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Scikit-learn%3A%20machine%20learning%20in%20Python&publication_year=2011&author=F.%20Pedregosa&author=G.%20Varoquaux&author=A.%20Gramfort&author=V.%20Michel&author=B.%20Thirion&author=O.%20Grisel)

[[45]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0225)

SC Lemon , J. Roy , MA Clark , PD Friedmann , W. Rakowski**Phân loại và phân tích cây hồi quy trong y tế công cộng: xem xét phương pháp và so sánh với hồi quy logistic**

Ann. Behav. Med. , 26 ( 2003 ) , tr. 172 - 181

[CrossRef](https://doi.org/10.1207/S15324796ABM2603_02)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0348220947&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Classification%20and%20regression%20tree%20analysis%20in%20public%20health%3A%20methodological%20review%20and%20comparison%20with%20logistic%20regression&publication_year=2003&author=S.C.%20Lemon&author=J.%20Roy&author=M.A.%20Clark&author=P.D.%20Friedmann&author=W.%20Rakowski)

[[46]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0230)

H. Drucker , CJ Burges , L. Kaufman , AJ Smola , V. Vapnik**Hỗ trợ máy hồi quy véc tơ**

Những tiến bộ trong hệ thống xử lý thông tin thần kinh ( 1997 ) , trang 155 - 161

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0141521146&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Support%20vector%20regression%20machines&publication_year=1997&author=H.%20Drucker&author=C.J.%20Burges&author=L.%20Kaufman&author=A.J.%20Smola&author=V.%20Vapnik)

[[47]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0235)

H. Drucker**Cải thiện hồi quy bằng cách sử dụng các kỹ thuật tăng cường**

ICML ( 1997 ) , trang 107 - 115

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85051944120&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Improving%20regressors%20using%20boosting%20techniques&publication_year=1997&author=H.%20Drucker)

[[48]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0240)

A. Liaw , M. Wiener**Phân loại và hồi quy theo RandomForest**

Tin tức R , 2 ( 2002 ) , trang 18 - 22

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80052031039&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Classification%20and%20regression%20by%20randomForest&publication_year=2002&author=A.%20Liaw&author=M.%20Wiener)

[[49]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0245)

SS Mousavi , M. Charmi , M. Firouzmand , M. Moghadam , M. Hemmati , Y. Ghorbani**Cuff-less & Ước tính**huyết áp**không cần hiệu chuẩn chỉ sử dụng tín hiệu ECG**

được nộp cho Elsevier Máy tính trong Sinh học và Y học

( 2018 )

[Học giả Google](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cuff-less%20%26%20Calibration-free%20Blood%20Pressure%20Estimation%20Using%20Only%20the%20ECG%20Signal&publication_year=2018&author=S.S.%20Mousavi&author=M.%20Charmi&author=M.%20Firouzmand&author=M.%20Moghadam&author=M.%20Hemmati&author=Y.%20Ghorbani)

[[50]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0250)

H. Jiang , F. Miao , M. Gao , X. Hong , Q. Ông , H. Ma , *et al.***Một chỉ số mới cho ước tính huyết áp không có còng dựa trên phương pháp chụp ảnh quang tuyến**

Hội nghị quốc tế về khoa học thông tin y tế ( 2016 ) , trang 119 - 128

[CrossRef](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48335-1_13)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84996487080&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20novel%20indicator%20for%20cuff-less%20blood%20pressure%20estimation%20based%20on%20photoplethysmography&publication_year=2016&author=H.%20Jiang&author=F.%20Miao&author=M.%20Gao&author=X.%20Hong&author=Q.%20He&author=H.%20Ma)

[[51]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0255)

R. Gircys , A. Liutkevicius , A. Vrubliauskas , E. Kazanavicius**Ước tính huyết áp theo độ dốc tín hiệu quang**

Thông tin Công nghệ. Điều khiển. , 44 ( 2015 ) , trang 443 - 450

[Xem hồ sơ trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84950243435&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Blood%20pressure%20estimation%20accoording%20to%20photoplethysmographic%20signal%20steepness&publication_year=2015&author=R.%20Gircys&author=A.%20Liutkevicius&author=A.%20Vrubliauskas&author=E.%20Kazanavicius)

[[52]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0260)

AD Choudhury , R. Banerjee , A. Sinha , S. Kundu**Ước tính huyết áp bằng mô hình Windkessel trên photoplethysmogram**

Hội nghị quốc tế thường niên lần thứ 36 năm 2014 về Kỹ thuật của IEEE trong Hiệp hội Y học và Sinh học (EMBC) ( 2014 ) , trang 4567 - 4570

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944640)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84929494154&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Estimating%20blood%20pressure%20using%20Windkessel%20model%20on%20photoplethysmogram&publication_year=2014&author=A.D.%20Choudhury&author=R.%20Banerjee&author=A.%20Sinha&author=S.%20Kundu)

[[53]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0265)

SC Gao , P. Wittek , L. Zhao , WJ Jiang**Ước tính dựa trên dữ liệu huyết áp bằng các tín hiệu quang đồ**

Hội nghị quốc tế thường niên về kỹ thuật thường niên lần thứ 38 năm 2016 của tổ chức kỹ thuật y học và sinh học (EMBC) ( 2016 ) , trang 766 - 769

[CrossRef](https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590814)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85009134603&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Data-driven%20estimation%20of%20blood%20pressure%20using%20photoplethysmographic%20signals&publication_year=2016&author=S.C.%20Gao&author=P.%20Wittek&author=L.%20Zhao&author=W.J.%20Jiang)

[[54]](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1746809418302209#bbib0270)

JC Ruiz-Rodríguez , A. Ruiz-Sanmartín , V. Ribas , J. Caballero , A. García-Roche , J. Riera , *et al.***Theo dõi huyết áp không xâm lấn không xâm lấn liên tục dựa trên công nghệ chụp ảnh quang tuyến**

Chăm sóc chuyên sâu Med. , 39 ( 2013 ) , trang 1618 - 1625

[CrossRef](https://doi.org/10.1007/s00134-013-2964-2)[Xem bản ghi trong Scopus](https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881475357&partnerID=10&rel=R3.0.0)[Google Scholar](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Innovative%20continuous%20non-invasive%20cuffless%20blood%20pressure%20monitoring%20based%20on%20photoplethysmography%20technology&publication_year=2013&author=J.C.%20Ruiz-Rodr%C3%ADguez&author=A.%20Ruiz-Sanmart%C3%ADn&author=V.%20Ribas&author=J.%20Caballero&author=A.%20Garc%C3%ADa-Roche&author=J.%20Riera)