



Original Article

Diagnosis of Left Ventricular Hypertrophy Based on Electrocardiogram Signal and Fuzzy Logic

T.N.Chi¹, N.T.T.Van^{1,*}, L.V.Chieu²

¹*University of Engineering and Technology, Vietnam National University,
144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

*Project Management Department, Vietnam National University,
144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 14 February 2019

Revised 09 July 2019; Accepted 16 September 2019

Abstract: Sokolow – Lyon index in detection of left ventricular hypertrophy is a hard limited index, so the clinical manifestation of the disease can be ignored when the measured index is near the threshold. Several proposed studies incorporate multiple index to improve diagnostic quality. However, the process of examination and diagnosis will be longer due to the need to collect more data. To solve this problem, the paper proposes a method of classifying left ventricular hypertrophy using fuzzy logic combining with digital signal processing techniques. The proposed method mainly uses the Sokolov-Lyon index ($SV_1+RV_5/V_6 \geq 35$ mm) for major changes in ECG signal but with four soft thresholds corresponding to the different clinical manifestations of the disease. In addition, a program is written in C++ language with QT Creator compiler also is developed to implement the algorithm. From there, the doctors can refer and propose to the patient's treatment regimen.

Keywords: ECG, left ventricular hypertrophy, signal processing, fuzzy logic.

*Corresponding author.

Email address: vanntt@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1132/vnuer.4147>



Phân tích chẩn đoán bệnh phì đại thất trái dựa trên tín hiệu điện tâm đồ và logic mờ

Trần Như Chí¹, Nguyễn Thị Thanh Vân^{1,*}, Lê Văn Chiều²

¹Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Ban Quản lý các dự án, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 14 tháng 02 năm 2019

Chỉnh sửa ngày 09 tháng 7 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 16 tháng 9 năm 2019

Tóm tắt: Chỉ số Sokolow – Lyon dùng để xác định bệnh phì đại thất trái từ Điện tâm đồ (ECG) là một chỉ số giới hạn cứng. Bởi vậy, biểu hiện lâm sàng của bệnh có thể bị bỏ qua khi giá trị tính được là lân cận ngưỡng. Một vài nghiên cứu đã đề xuất kết hợp nhiều chỉ số khác nhau để cải thiện chất lượng chẩn đoán bệnh. Tuy nhiên, quá trình kiểm tra và chẩn đoán sẽ mất nhiều thời gian do cần thu thập dữ liệu lớn. Để giải quyết vấn đề này, báo cáo đề xuất một phương pháp chẩn đoán lâm sàng bệnh phì đại thất trái sử dụng kỹ thuật Logic mờ kết hợp xử lý tín hiệu số. Phương pháp đề xuất chủ yếu sử dụng chỉ số Sokolow – Lyon ($SV_1+RV_5/V_6 \geq 35$ mm) để phát hiện những dấu hiệu bất thường của tín hiệu ECG nhưng với bốn ngưỡng mềm tương ứng với những dấu hiệu lâm sàng khác nhau của bệnh. Thêm vào đó, một chương trình được viết bằng ngôn ngữ C++ với trình biên dịch QT Creator cũng được phát triển để thực hiện thuật toán. Từ đó, các bác sĩ có thể tham khảo và đưa ra một phác đồ điều trị cho bệnh nhân một cách hợp lý.

Từ khóa: ECG, bệnh phì đại thất trái, xử lý tín hiệu, logic mờ.

1. Giới thiệu

Tim là một trong những bộ phận rất quan trọng giúp duy trì sự sống của con người. Do tính chất quan trọng của tim, các bệnh lý liên quan đến tim luôn nhận được sự quan tâm

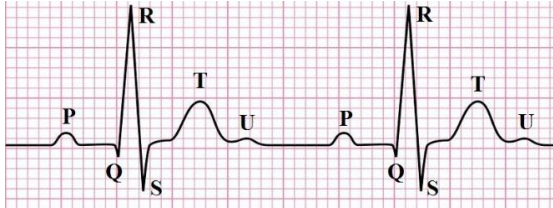
nghiên cứu của các chuyên gia y tế và các nhà nghiên cứu khoa học. Trong kỹ thuật y khoa, siêu âm tim qua thành ngực là phương pháp phổ biến để phát hiện các bệnh về tim nhưng các thiết bị trong siêu âm tim cần được đầu tư khá tốn kém và kết quả đọc siêu âm đôi khi phụ thuộc vào chủ quan của bác sĩ siêu âm. Một phương pháp khác để chẩn đoán các bệnh về tim là sử dụng kết quả của điện tâm đồ. Tim tạo ra các xung điện nhỏ, truyền dẫn đến cơ tim để thực hiện sự co bóp của tim. Những xung điện này được ghi lại, thể hiện trên đồ thị và xem như là điện tâm đồ hay còn gọi là ECG hay

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: vanntt@vnu.edu.vn

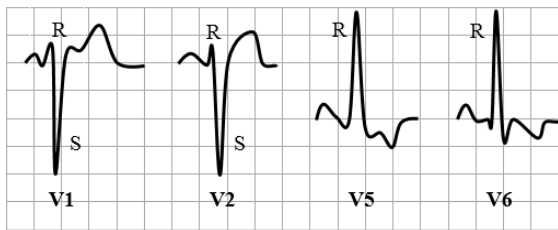
<https://doi.org/10.25073/2588-1132/vnumps.4147>

EKG (electrocardiogram). Đặc trưng của tín hiệu ECG được thể hiện thông qua các sóng P, phức bộ QRS và sóng T, và đôi khi với sóng U nhỏ như Hình 1 [1]. Trong đó phức bộ QRS thể hiện sự co thắt của tâm thất trái và phải, sóng P là do co thắt tâm nhĩ, sóng T mô tả sự phân cực của tâm thất và sóng U là biểu thị của cơ nhũ.



Hình 1. Đặc trưng của tín hiệu điện tim.

Theo thống kê y học, một trong những bệnh nguy hiểm liên quan đến hoạt động của tim là bệnh dày thất và dày nhĩ hay còn gọi là phì đại thất và phì đại nhĩ. Một trong những nguyên nhân gây nên phì đại thất trái là tăng huyết áp, một bệnh rất phổ biến trên thế giới với tỷ lệ ngày càng gia tăng, như năm 2006 ở Mỹ là 30,5% và năm 2009 ở Việt Nam là 16,3%. Phì đại thất trái gây nên những cơn đau thắt ngực, nhồi máu cơ tim, đột quỵ, suy tim sung huyết, rối loạn nhịp thất và đột tử [2]. Trong điện tâm đồ, phì đại thất trái tác động lớn đến quá trình khử cực làm thay đổi biên độ của các sóng: R tăng lên ở chuyển đạo trực tiếp, S sâu thêm ở chuyển đạo phía đối lập và QRS rộng hơn. Các biến đổi về khử cực này sẽ gây ra các biến đổi thứ phát của quá trình tái cực dẫn đến ST chênh và T ngược chiều với QRS. Hình 2 thể hiện tín hiệu ECG của bệnh phì đại thất trái [3].



Hình 2. Tín hiệu điện tim của bệnh phì đại thất trái.

Các phương pháp phát hiện vị trí sóng của ECG hiện nay tập trung vào việc phát hiện phức bộ QRS đầu tiên do có giá trị biên độ đỉnh lớn

nhất, từ đó suy ra vị trí của các sóng R, Q, S, P, T còn lại hay các đoạn quan trọng RR, ST, PR. Phương pháp chủ yếu để xác định phức bộ QRS là sử dụng phương pháp lọc cơ bản hay các phương pháp khác như mạng neuron nhân tạo [4], giải thuật gen [5], biến đổi sóng con [6, 7], mô hình Markov ẩn [8]... Từ vị trí các sóng đã được tìm thấy trong ECG, bệnh phì đại thất trái được phát hiện dựa trên các đặc điểm của sóng R, S, và P trên các chuyển đạo V₁, V₂, V₅, V₆ theo một ngưỡng cố định. Trong y khoa thường sử dụng tiêu chuẩn Sokolov – Lyon để đánh giá bệnh phì đại thất trái như sau:

$$R \text{ tại } V_5/V_6 \geq 25 \text{ mm}$$

$$S \text{ tại } V_1/V_2 \text{ dài ra } \geq 25 \text{ mm}$$

$$\text{Ngưỡng } SV_1 + RV_5/V_6 \geq 35 \text{ mm}$$

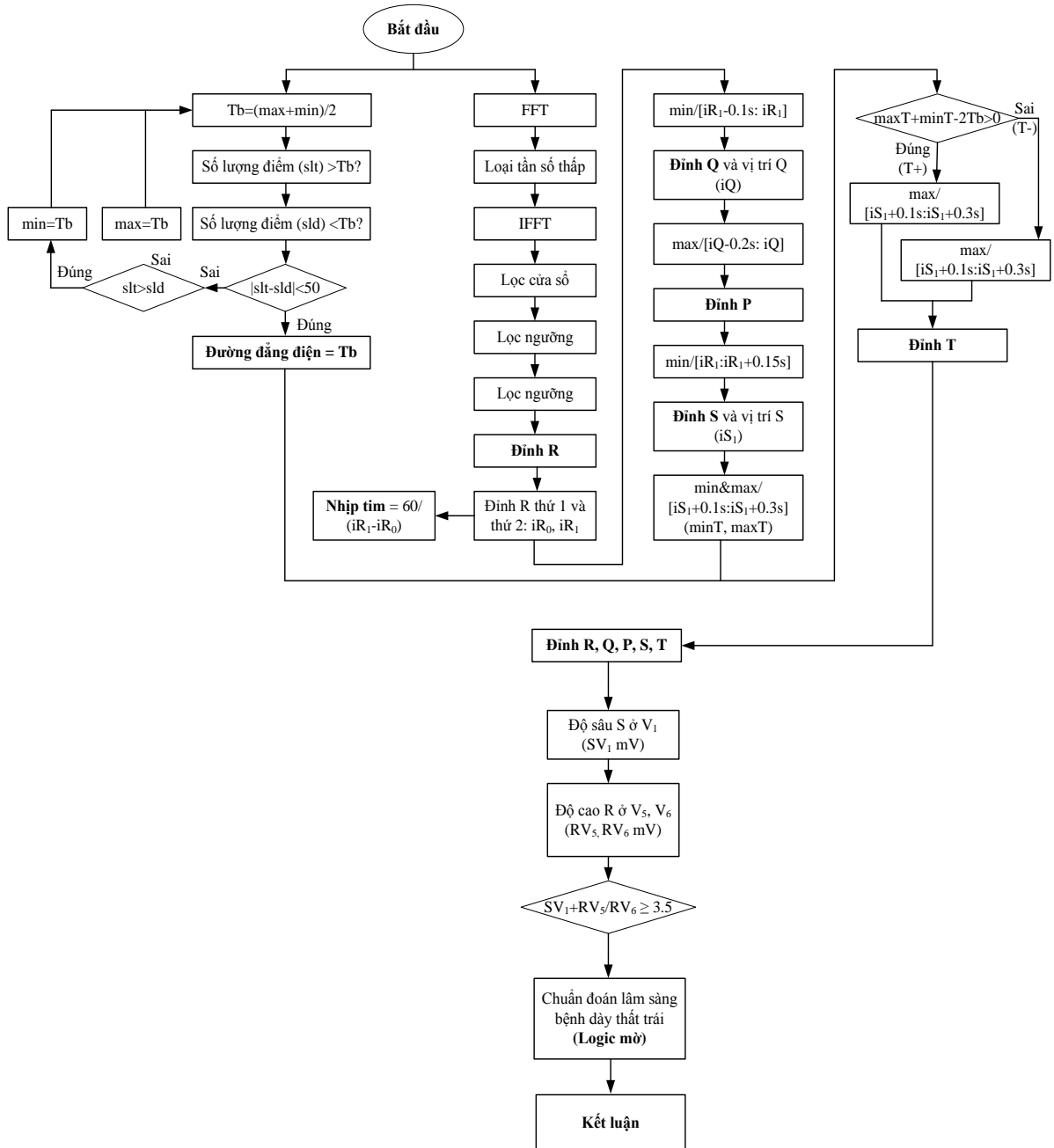
$$\text{Nhánh nội điện tới muộn } \geq 0,045 \text{ s.}$$

Chỉ số ngưỡng $SV_1 + RV_5/V_6 \geq 35 \text{ mm}$ để kết luận về bệnh phì đại thất trái trong tiêu chuẩn Sokolov là chỉ số ngưỡng cứng, do đó những biểu hiện lâm sàng của bệnh có thể bị bỏ qua khi chỉ số đạt gần hoặc lân cận ngưỡng. Một số nghiên cứu đã kết hợp tiêu chuẩn Sokolov – Lyon với các đặc điểm khác của tín hiệu ECG hay với tiền sử bệnh của bệnh nhân hay với tiêu chuẩn khác như Romhilt – Estes [9] để nâng cao độ nhạy và độ đặc hiệu của quá trình chẩn đoán bệnh. Việc kết hợp nhiều tiêu chuẩn như trên đã nâng cao được chất lượng chẩn đoán bệnh tuy nhiên quá trình thăm khám và chẩn đoán bệnh sẽ lâu hơn do cần thu thập nhiều dữ liệu. Để giúp quá trình chẩn đoán lâm sàng bệnh nhanh, đơn giản nhưng hiệu quả cao và thuận tiện trong quá trình theo dõi, điều trị bệnh, bài báo đề xuất một phương pháp phân loại bệnh phì đại thất trái sử dụng logic mờ. Logic mờ [10, 11] với giá trị logic trong khoảng [0, 1] phù hợp để thể hiện mức độ của bệnh hơn là với logic truyền thống với hai giá trị logic 0 và 1 tương ứng với bị bệnh hoặc không bị bệnh. Do đó phương pháp đề xuất chủ yếu sử dụng tiêu chuẩn tiêu biểu Sokolov - Lyon cho các biến đổi chính trên tín hiệu ECG nhưng với nhiều ngưỡng mềm tương ứng với các biểu hiện lâm sàng khác nhau của bệnh. Một phần mềm ứng dụng đã được xây dựng dựa trên phương pháp đề xuất với các chức năng phân tích, lưu

trữ và trích xuất trực tiếp kết quả chẩn đoán hỗ trợ quá trình thăm khám và điều trị bệnh.

Báo cáo này được trình bày bao gồm bốn phần. Phần 1 giới thiệu tổng quan vấn đề nghiên cứu. Phần 2 trình bày tóm tắt phương pháp chẩn đoán phì đại thất trái dựa trên tiêu

chẩn Sokolov-Lyon và logic mờ trên cơ sở phân tích tín hiệu ECG. Một số thực nghiệm kiểm chứng phương pháp đề xuất và thảo luận được trình bày trong Phần 3. Phần cuối là một số kết luận và định hướng nghiên cứu tiếp theo.



Hình 3. Sơ đồ chẩn đoán phì đại thất trái.

2. Phương pháp chẩn đoán phì đại thất trái

A. Phát hiện vị trí sóng của tín hiệu ECG

Những đặc trưng của tín hiệu ECG đối với bệnh nhân bị mắc phì đại thất trái đã được phân tích và thể hiện trên Hình 2. Các bước phân tích để phát hiện những đặc trưng này được thể hiện trên lưu đồ thuật toán như Hình 3. Từ lưu đồ cho thấy đầu tiên cần phải xác định được đường đẳng điện của toàn tín hiệu. Đường đẳng điện này thể hiện không có xung điện tới điện cực gắn trên chuyển đạo. Đường đẳng điện chung e_{tb} của toàn tín hiệu được tìm bằng cách so sánh số điểm trên và dưới xấp xỉ bằng nhau thông qua vòng lặp có điều kiện như công thức (1). Giá trị ngưỡng trung bình được chọn là 50 dựa trên số điểm của tín hiệu ECG.

$$e_{tb} = \left| N > \frac{(min + max)}{2} - M < \frac{(min + max)}{2} \right| < 50$$

N, M: số điểm (1)

Tín hiệu ECG được tiền xử lý để loại bỏ nhiễu tần số thấp thông qua biến đổi Fourier nhanh - FFT ($X(k)$) và khôi phục về miền thời gian bởi biến đổi Fourier ngược - IFFT ($x(n)$) như (2).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi nk}{N}} \quad 0 \leq k \leq N-1$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j\frac{2\pi nk}{N}} \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

Tín hiệu sau khi tiền xử lý được đưa qua cửa sổ lọc với kích thước N để xác định các đỉnh dương $x_w(n)$ (3) có trong tín hiệu và qua lọc ngưỡng T (4) để thu được các đỉnh R “tạm thời” $x_T(n)$. Tuy nhiên, ngưỡng ban đầu chọn vẫn chưa phù hợp và có thể vẫn còn sót các điểm R, vì vậy tín hiệu cần được qua một cửa sổ lọc điều chỉnh với kích thước cửa sổ điều chỉnh N_{new} được tính toán dựa trên khoảng cách giữa các đỉnh R “tạm thời” (5),

$$x_w(n) = filterwindow\{x(n), N\} \quad (3)$$

$$x_T(n) = \{x_w(n) | x_w(n) \leq T\} \quad (4)$$

$$N_{new} = 2 * \{x_T(n) - x_T(n-1)\} - 0.04 * T_s \quad (5)$$

trong đó T_s là tốc độ lấy mẫu.

Sau khi xác định được các đỉnh R, dựa vào đặc trưng của các đỉnh trong điện tâm đồ để xác định vị trí của các đỉnh Q, P, S T còn lại. Khi vị

trí của tất cả các đỉnh sóng cùng giá trị của nhịp tim, đường đẳng điện đã được xác định, phân tích đặc điểm chi tiết của các sóng R, S, P, ST trên các chuyển đạo V_1, V_2, V_5, V_6 như trên lưu đồ.

B. Chẩn đoán lâm sàng bệnh

Trong lưu đồ thuật toán ở Hình 3, đặc trưng các sóng của bệnh phì đại thất trái theo tiêu chuẩn Sokolov – Lyon sẽ được đưa vào khối chẩn đoán lâm sàng bệnh phì đại thất trái sử dụng logic mờ. Giá trị lối vào của khối logic mờ là giá trị ngưỡng điện thế $SL = SV_1 + RV_5 / V_6$. Giá trị lối ra của khối logic là mức độ mắc bệnh.

Khối logic mờ được thiết kế với các giới hạn biến lối vào và lối ra phù hợp với các kết quả xét nghiệm thực tế trong y văn phì đại thất trái. Trong xét nghiệm y khoa thì các chỉ số được quan tâm là độ nhạy S_n , độ đặc hiệu S_p , giá trị tiên đoán dương PV^+ , giá trị tiên đoán âm PV^- , tỉ lệ mắc bệnh hiện hành. Trong đó chỉ số giá trị tiên đoán dương PV^+ được quan tâm nhiều hơn bởi giá trị này thể hiện số trường hợp có bệnh và có kết quả kiểm tra dương tính trên tổng số các trường hợp có kết quả kiểm tra dương tính. Bảng 1 thể hiện giá trị tiên đoán dương PV^+ xét theo tiêu chuẩn Sokolov – Lyon theo các ngưỡng điện thế SL khác nhau [9]. Trên cơ sở của Bảng 1, biến lối vào là ngưỡng SL của khối logic mờ có giới hạn từ 25 mm tới 35 mm, và biến lối ra MD thể hiện mức độ bệnh phụ thuộc vào giá trị tiên đoán dương. Bảng 1. Giá trị tiên đoán dương theo các ngưỡng

Tiêu chuẩn Sokolov – Lyon	PV^+ (%)
≥ 25 mm	80,4
≥ 26 mm	82,1
≥ 29 mm	88,2
≥ 30 mm	93,3
≥ 31 mm	96,6
≥ 32 mm	100
≥ 33 mm	100
≥ 34 mm	100

≥ 35 mm	100
--------------	-----

Biến ngôn ngữ cho các biến vào SL và biến ra MD của khối logic mờ thể hiện qua các tập mờ như sau:

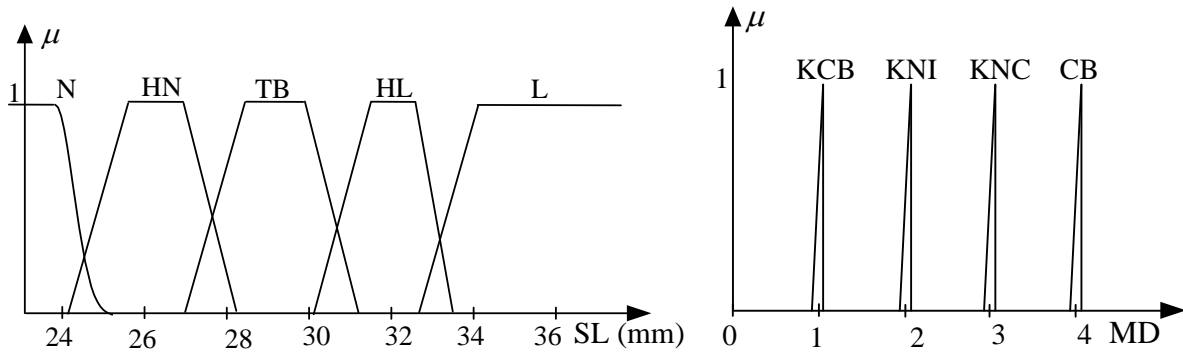
SL: Nhỏ (N), Hơi Nhỏ (HN), Trung bình (TB), Hơi Lớn (HL), Lớn (L)

MD: Không Có Bệnh (KCB), Khả Năng Có Bệnh Ít (KNI), Khả Năng Có Bệnh Cao (KNC), Chắc Chắn Có Bệnh (CB)

$$f_z = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (6),$$

$$f_{Trapez} = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (7),$$

$$f_{Tri} = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (8)$$



Hình 4. Hàm thuộc của các tập mờ.

Luật mờ được xây dựng theo nguyên tắc tùy thuộc vào mối quan hệ giữa ngưỡng tiêu chuẩn Sokolov – Lyon và giá trị tiên đoán dương như sau:

- Nếu SL Nhỏ thì Không Có Bệnh
- Nếu SL Hơi Nhỏ thì Khả Năng Có Bệnh Ít
- Nếu SL Trung Bình thì Khả Năng Có Bệnh Ít
- Nếu SL Hơi Lớn thì Khả Năng Có Bệnh Cao

Nếu SL Lớn thì Chắc Chắn Có Bệnh. Giá trị của mỗi luật điều khiển R_k được xác định theo luật min, ví dụ luật thứ 1 như sau:

$$\mu_{R_1}(k) = \min\{H, \mu_{KCB}(k)\} \quad (9)$$

$$H = \min\{\mu_N(k)\}$$

Kết quả của 5 luật điều khiển được xác định theo luật hợp thành max-min:

$$\mu_R(k) = \max\{\mu_{R_1}(k), \mu_{R_2}(k), \mu_{R_3}(k), \mu_{R_4}(k), \mu_{R_5}(k)\} \quad (10)$$

Giải mờ theo phương pháp điểm trọng tâm để xác định mức độ bệnh theo công thức (11) dưới đây, trong đó x_i là giá trị miền thứ i và $\mu(x_i)$ là giá trị hàm thuộc của điểm i tương ứng.

$$\phi = \frac{\sum x_i \mu_R(x_i)}{\sum \mu_R(x_i)} \quad (11)$$

3. Kết quả thực hiện

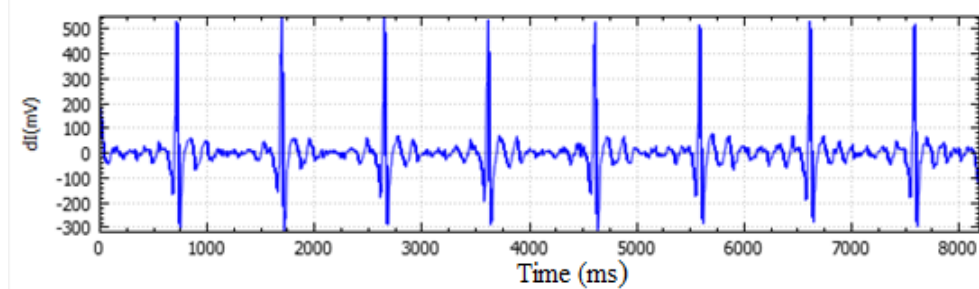
Phương pháp chẩn đoán bệnh phì đại thất trái được thực nghiệm với các mẫu dữ liệu ECG từ cơ sở dữ liệu chuẩn của Viện Đo lường của Đức - PhysiNet-Physiche Bundesanstalt (PTB). ECGs được thu thập từ những người tình nguyện khỏe mạnh và những bệnh nhân bị các

bệnh tim khác nhau do Giáo sư Michael Oeff, MD, tại Khoa Tim mạch của Bệnh viện Đại học Benjamin Franklin ở Berlin, Đức.

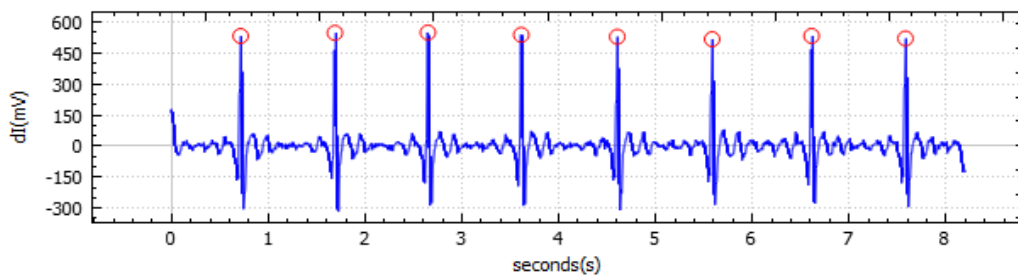
Một phần mềm ứng dụng xây dựng trên ngôn ngữ C++ với trình biên dịch mã nguồn mở QT Creator có các tính năng phân tích, lưu trữ và trích xuất trực tiếp kết quả chẩn đoán để hỗ trợ thuận lợi quá trình thăm khám và điều trị bệnh. Đầu tiên, dữ liệu điện tim dưới dạng số của bệnh nhân được đưa vào phần mềm. Phần mềm sẽ đọc và vẽ lại các tín hiệu điện tim của các chuyển đạo lên các đồ thị khác nhau. Sau đó dựa trên thuật toán được đề xuất, phần mềm sẽ chỉ ra vị trí các sóng, đường đẳng điện trên đồ thị và đưa ra kết quả chẩn đoán ban đầu về bệnh phì đại thất trái cũng như mức độ bệnh trên màn hình hiển thị. Ngoài ra, phần

mềm còn cung cấp thêm thông tin về bệnh phì đại thất trái: nguyên nhân, dấu hiệu, cách phòng tránh bệnh. Đồng thời phần mềm cũng cung cấp thêm tính năng cho phép bác sĩ có thể in mẫu kết quả với hình ảnh kết quả có sẵn ra giấy A4.

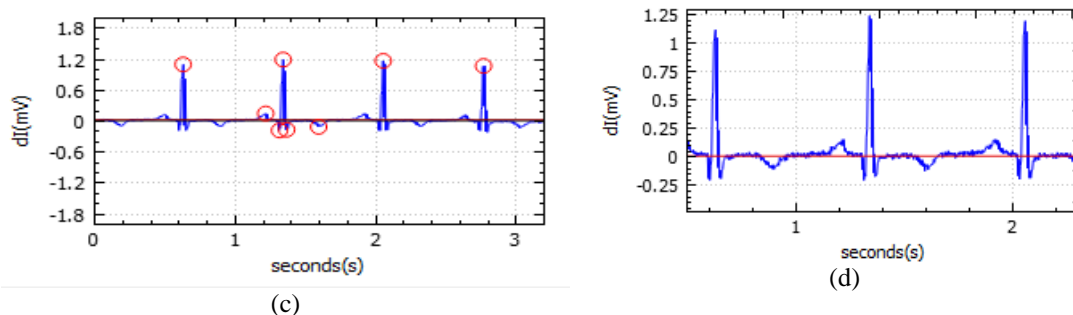
Hình 5 là các dạng tín hiệu sau khi lọc nhiễu, lọc điều chỉnh, xác định vị trí các sóng cơ bản R, S, Q, P, T, và các đường đẳng điện của toàn bộ tín hiệu cũng như trong một chu kỳ. Tín hiệu trên Hình 5a là tín hiệu loại bỏ nhiễu công nghiệp 50Hz, lọc bỏ nhiễu tần số thấp và tần số cao ngoài dải tín hiệu điện tim. Lọc điều chỉnh giúp loại bỏ nền một chiều của tín hiệu. Trên cơ sở các giá trị tìm được, tính toán các thông số cần thiết để đưa ra chẩn đoán về bệnh phì đại thất trái.



(a)



(b)



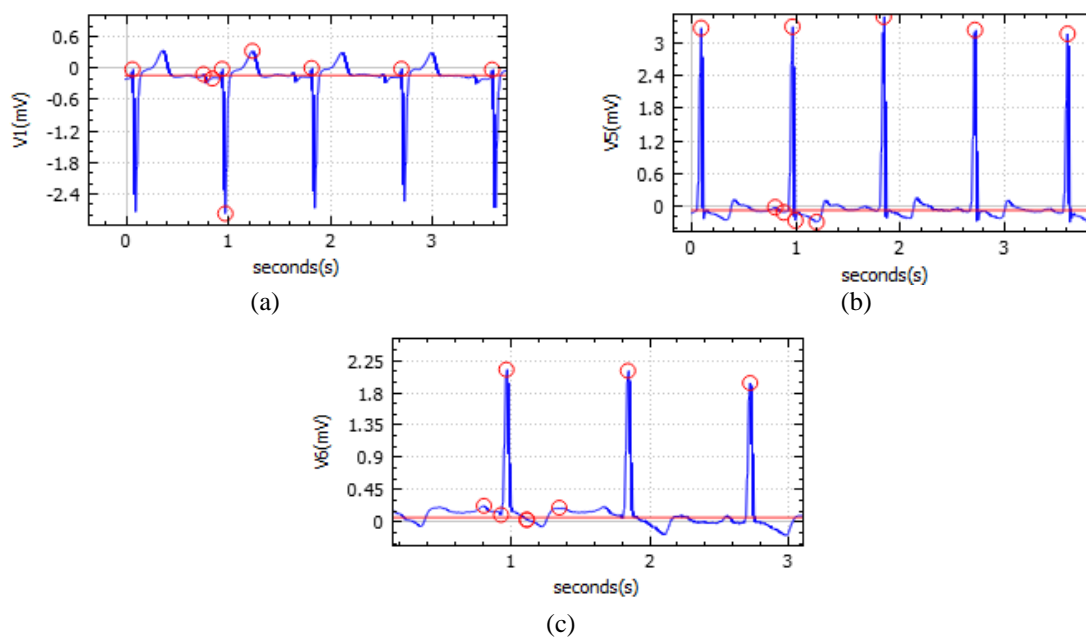
Hình 5. (a) Tín hiệu sau khi loại bỏ tần số thấp, (b) Tín hiệu sau lọc hiệu chỉnh và xóa đỉnh lân cận, (c) Các đỉnh sóng R, S, Q, P, T, (d) Đường đẳng điện.

Từ vị trí các sóng R, S, Q, P, T và đường đẳng điện trung bình chung của tín hiệu ECG, các đặc trưng chính của bệnh phì đại thất trái dựa trên tiêu chuẩn Sokolov – Lyon được xác định. Hình 6 thể hiện kết quả phát hiện sóng R và S trên các chuyển đạo V_1 (

Hình 6(a)), V_5 (Hình 6(b)), và V_6 (Hình 6(c)) với các giá trị như sau:

Nhịp tim: 68.331 BPM

$SV_1 + RV_5 = 6.0122$ mV, $SV_1 + RV_6 = 4.6963$ mV



Hình 6. Đặc trưng của bệnh phì đại thất trái: a) Chuyển đạo V_1 , b) Chuyển đạo V_5 , c) Chuyển đạo V_6

Giá trị mức ngưỡng SL theo tiêu chuẩn Sokolov – Lyon ở phần C được đưa vào khối logic mờ để đưa kết luận về bệnh. Với $SV_1 + RV_5 = 6.0122$ mV và $SV_1 + RV_6 = 4.6963$ mV thì giá trị trả về của khối logic là 4, tương ứng với giá trị của mức Chắc Chắn Có Bệnh.

Một số giá trị ngưỡng SL khác được đánh giá riêng cho khối logic mờ đều cho kết quả phân loại bệnh chính xác, phù hợp với giá trị tiên đoán dương như Bảng 2. Đặc biệt với một số ngưỡng SL có giá trị lân cận dưới ngưỡng cứng 35 mm cũng đã được phát hiện theo mức độ Khả Năng Có Bệnh Cao, trong

khi tại lân cận ngưỡng này phương pháp phân ngưỡng cứng có thể bỏ qua với kết luận không mắc bệnh. Như vậy, việc phân loại các mức độ bệnh theo các ngưỡng mềm cho phép tránh được kết luận chủ quan hay bỏ sót tiến trình theo dõi bệnh so với phân loại theo ngưỡng cứng.

Bảng 2. Phân loại mức độ bệnh theo giá trị ngưỡng

Ngưỡng SL	Mức độ bệnh
24,5 mm	Không có bệnh
26,1 mm	Khả năng có bệnh ít
28,4 mm	Khả năng có bệnh ít
30,6 mm	Khả năng có bệnh ít
33,5 mm	Khả năng có bệnh cao
34 mm	Khả năng có bệnh cao
35 mm	Chắc chắn có bệnh
36 mm	Chắc chắn có bệnh

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, một phương pháp hỗ trợ chẩn đoán bệnh phì đại thất trái theo các mức độ khác nhau dựa trên cơ sở xử lý phân tích tín hiệu điện tim ECG sử dụng logic mờ đã được nghiên cứu xây dựng và phát triển. Phương pháp được thực hiện dựa trên việc phân tích phát hiện các vị trí đỉnh cơ bản trong tín hiệu ECG, từ đó xác định các đặc trưng của sóng trên các chuyển đạo liên quan đến bệnh phì đại thất trái theo tiêu chuẩn Sokolow – Lyon sử dụng logic mờ để phân loại mức độ mắc bệnh theo nhiều ngưỡng. Một chương trình phần mềm chẩn đoán bệnh đã được xây dựng để thực thi phương pháp đề xuất. Các kết quả phân tích thực hiện trên các mẫu dữ liệu tín hiệu điện tim xác nhận phương pháp đề xuất này có thể sử dụng hỗ trợ cho các nhân viên y tế trong quá trình thăm khám, lưu trữ và theo dõi tiến triển của bệnh nhân.

Tài liệu tham khảo

- [1] Malcolm S. Thaler, The only EKG book, seventh ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2012.
- [2] Vakili BA, Okin PM, Devereux RB, Prognostic implications of left ventricular hypertrophy, *Am Heart J*, 141(3), 2001, pp 334-341. <https://doi.org/10.1067/mhj.2001.113218>
- [3] Trần Đỗ Trinh, Trần Văn Đồng, Hướng dẫn đọc điện tim, NXB Y học, Hà Nội, 2011.
- [4] Himanshu Gothwal¹, Silky Kedawat¹, Rajesh Kumar, Cardiac arrhythmias detection in an ECG beat signal using fast fourier transform and artificial neural network, *J. Biomedical Science and Engineering*, 4, 2011, 289-296. <https://doi.org/10.4236/jbise.2011.44039>
- [5] El-Sayed A. El-Dahshan, Genetic algorithm and wavelet hybrid scheme for ECG signal denoising, *Journal of Telecommunications Systems*, Volume 46 Issue 3, March 2011, pp 209-215. <https://doi.org/10.1007/s11235-010-9286-2>
- [6] C. Li, C. Zheng, and C. Tai, Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms, *IEEE Trans.Biomed. Eng.*, Volume: 42 Issue 1, 1995, pp 21-28. <https://doi.org/10.1109/10.362922>
- [7] A. K. M. Fazlul Haque¹, Md. Hanif Ali¹, M. Adnan Kiber² and Md. Tanvir Hasan, Detection of small variations of ECG features using Wavelet, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 4, No. 6, August 2009, pp 27-30.
- [8] Krimi Samar, Ouni Kas, Noureddine Ellouze, Using Hidden Markov Models for ECG Characterisation, *Hidden Markov Models, Theory and Applications*, April 2011, pp 151-165. <https://doi.org/10.5772/13916>
- [9] Văn Ngọc Tuyết, Bàng Ái Viên, Nguyễn Văn Trí, Chẩn đoán phì đại thất trái bằng điện tâm đồ, *Tạp chí Y học TP Hồ Chí Minh*, Tập 15, số 1, 2011, trang 135-140.
- [10] Buckley, James J., Eslami, Esfandiar, *Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*, Physica-Verlag Heidelberg, Berlin, 2002.
- [11] Phan Xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006