

Đánh giá một số thông số về sức căng và vận động xoắn của thất trái bằng siêu âm tim đánh dấu mô 3D ở bệnh nhân suy tim mạn tính

Assessment of left ventricular strain and twist by 3-dimentional speckle tracking echocardiography in patients with chronic heart failure

Nguyễn Thị Kiều Ly, Đỗ Văn Chiến, Phạm Nguyên Sơn

Bệnh viện Trung ương Quân đội 108

Tóm tắt

Mục tiêu: Đánh giá một số thông số sức căng và vận động xoắn thất trái bằng siêu âm đánh dấu mô 3D ở bệnh nhân suy tim mạn tính. **Đối tượng và phương pháp:** Nghiên cứu tiến cứu, mô tả cắt ngang có so sánh với nhóm chứng, được thực hiện trên 110 bệnh nhân suy tim mạn tính và 50 người khỏe mạnh được điều trị nội trú tại Khoa Nội Tim mạch, Bệnh viện Trung ương Quân đội 108 từ tháng 1/2018 đến tháng 10/2020. **Kết quả:** Tuổi trung bình của nhóm bệnh nhân suy tim $65,82 \pm 11,77$ năm, nam giới chiếm 66,36%, của nhóm chứng tuổi trung bình là $65,16 \pm 10,24$ năm, nam giới chiếm 68%. Tất cả các chỉ số về sức căng và xoắn của nhóm suy tim đều giảm hơn so với nhóm chứng ($p < 0,05$), trong đó sức căng dọc (GLS), độ xoắn (twist) ở nhóm suy tim là $-11,01 \pm 3,82s^{-1}$ và $7,94 \pm 4,28$ độ; ở nhóm chứng là $-19,92 \pm 2,87$ và $16,83 \pm 9,87$ độ; ở nhóm suy tim EF $\geq 50\%$ là $-14,25s^{-1} \pm 4,35$ và $10,96 \pm 4,74$ độ. Sức căng và xoắn giảm theo EF: GLS, twist lần lượt ở nhóm EF $< 40\%$ là $-8,79 \pm 2,5s^{-1}$ và $5,89 \pm 2,79$ độ, ở nhóm EF 40 - 49% là $-11,47 \pm 2,4s^{-1}$ và $8,34 \pm 4,05$, ở nhóm EF $\leq 40\%$ là $-17,79 \pm 4,44s^{-1}$ và $10,96 \pm 4,74$ độ. Ở nhóm suy tim EF giảm 100% bệnh nhân giảm GLS, 98,8% giảm xoắn, ở nhóm suy tim EF bảo tồn tỷ lệ này chỉ là 73,3% và 53,3%. **Kết luận:** Các chỉ số biến dạng theo hướng dọc (GLS), bán kính (GRS), chu vi (GCS), diện tích (GAS), góc xoay (twist) và vận động xoắn (torsion) của thất trái giảm ở bệnh nhân suy tim so với nhóm chứng và biến đổi sớm ở nhóm suy tim phân suất tổng máu bảo tồn. Tỷ lệ giảm biến dạng theo trục dọc (GLS) và chiều bán kính (GRS) là thường gặp nhất.

Từ khóa: Suy tim, siêu âm đánh dấu mô, siêu âm 3D, vận động xoắn.

Summary

Objective: To evaluate echocardiographic torsional and strain parameters of left ventricle by 3D speckle tracking echocardiography in patients with chronic heart failure. **Subject and method:** A prospective, case-control, cross-sectional study which was conducted on 110 patients with chronic heart failure and 50 healthy people hospitalized at the Department of Cardiology, 108 Military Central Hospital from January 2018 to October 2020. **Result:** The mean age of patients with heart failure was 65.82 ± 11.77 years old, men were 66.36%, the average age of the control group was 65.16 ± 10.24 , men accounted for 68%. All LV strain and torsional indices in the heart failure patients were lower than that of the control group ($p < 0.05$): Global longitudinal strain (GLS), twist in the heart failure group was $-11.01 \pm 3.82s^{-1}$ and 7.94 ± 4.28 degrees; in the control group were $-19.92 \pm 2.87s^{-1}$ and 16.83 ± 9.87 degrees; In the heart

Ngày nhận bài: 31/5/2021, ngày chấp nhận đăng: 8/6/2021

Người phản hồi: Nguyễn Thị Kiều Ly, Email: nklyrose@gmail.com - Bệnh viện Trung ương Quân đội 108

failure group, $EF \geq 50\%$ was $-14.25s^{-1} \pm 4.35$ and 10.96 ± 4.74 degrees. LV strain and torsion decreased according to EF: GLS, twist in $EF < 40\%$ group was $-8.79 \pm 2.5s^{-1}$ and 5.89 ± 2.79 degrees respectively, in EF group $40 - 49\%$ was $-11.47 \pm 2.4s^{-1}$ and 8.34 ± 4.05 degree, in the $EF < 40\%$ group it was $-17.79 \pm 4.44s^{-1}$ and 10.96 ± 4.74 degrees. In HF patients with reduced EF, GLS was decreased in 100% patients, twist reduced in 98.8% patients, in reverse, patients with preserved EF, this rate was only 73.3% and 53.3%. **Conclusion:** Left ventricular global longitudinal strain (GLS), radial strain (GRS), circumferential strain (GCS), area strain (GAS) reduced in patients with chronic heart failure compared with controls. These parameters changed in HF patients with preserved EF earlier than EF. GLS and GRS are more frequently seen in HF patients.

Keywords: Heart failure, speckle tracking, 3-dimentional echo, torsion.

1. Đặt vấn đề

Suy tim là một hội chứng lâm sàng phức tạp, là tiến triển giai đoạn cuối của nhiều bệnh tim mạch, hậu quả của nó là làm suy giảm đáng kể sức khỏe và chất lượng cuộc sống của người bệnh. Những năm gần đây tỷ lệ suy tim có phân suất tống máu bảo tồn ($EF \geq 50\%$) ngày càng ra tăng, chiếm tới 50% dân số suy tim [1]. Trong thực hành lâm sàng phân suất tống máu thất trái EF là thông số quan trọng trong đánh giá chức năng thất trái, đánh giá nguy cơ tim mạch và là yếu tố tiên lượng quan trọng ở những bệnh nhân suy tim có $EF < 40\%$ [2]. Tuy nhiên, đối với những bệnh nhân suy tim có $EF > 40\%$ thì giá trị tiên lượng của EF bị hạn chế và EF ít có giá trị đánh giá được nguy cơ tim mạch và giá trị tiên lượng cho nhóm bệnh nhân này [3]. Gần đây với sự phát triển của siêu âm đánh dấu mô cho phép chúng ta đánh giá được những biến đổi cấu trúc, chức năng tim trong giai đoạn sớm thông qua các thông số biến dạng (hay sức căng) cơ tim [4]. Siêu âm tim đánh dấu mô 2D đã được sử dụng phổ biến trong thực hành lâm sàng và có nhiều nghiên cứu thực hiện bằng phương pháp này. Tuy nhiên, siêu âm tim 2D còn nhiều hạn chế, vì vậy siêu âm tim đánh dấu mô 3D là phương pháp mới, đánh giá được các thông số biến dạng trong không gian 3 chiều, khắc phục được các nhược điểm của siêu âm tim đánh dấu mô 2D [5]. Hiện nay, chưa có nhiều nghiên cứu trong nước và quốc tế về vấn đề này. Vì vậy, chúng tôi thực hiện nghiên cứu này với mục tiêu: *Đánh giá một số thông số sức căng và vận động xoắn của thất trái bằng siêu âm tim đánh dấu mô 3D ở bệnh nhân suy tim mạn tính.*

2. Đối tượng và phương pháp

2.1. Đối tượng

Nghiên cứu được tiến hành trên 160 đối tượng gồm 110 bệnh nhân suy tim mạn tính và 50 người khỏe mạnh không có bệnh tim có tuổi, giới, chiều cao, cân nặng tương đương nhóm bệnh. Tất cả các đối tượng đều được điều trị tại Bệnh viện Trung ương Quân đội 108 trong thời gian từ tháng 01/2018 đến tháng 10/2020.

Tiêu chuẩn lựa chọn: Bệnh nhân được chẩn đoán suy tim theo khuyến cáo Hội Tim mạch châu Âu năm 2016 và đồng ý tham gia nghiên cứu [6].

Tiêu chuẩn loại trừ: Bệnh nhân có rung nhĩ, cuồng nhĩ hoặc nhịp chậm < 50 lần/ phút, hoặc nhịp nhanh > 100 lần/ phút. Bệnh van tim, bệnh tim bẩm sinh. Bệnh nhân có bệnh cấp tính không làm siêu âm được. Hình ảnh siêu âm không rõ nét và không phân tích được.

2.2. Phương pháp

Nghiên cứu tiến cứu, mô tả cắt ngang có so sánh với nhóm chứng.

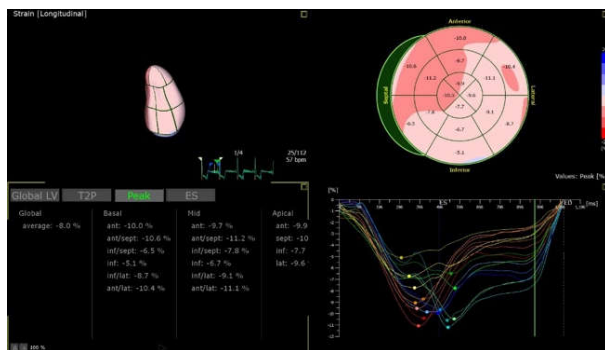
Đánh giá các thông số sức biến dạng (sức căng):

Tất cả các bệnh nhân đều được thăm khám lâm sàng và được lấy phiếu chấp thuận vào nghiên cứu. Siêu âm tim được thực hiện trên máy siêu âm Philip EQI 7C với đầu dò ma trận X5 (Philips Healthcare, Hà Lan): Ghi hình động các mặt cắt cơ bản có mắc điện tim kèm theo, sau đó chuyển sang trạm phân tích có tích hợp phần mềm TOMTEC Arena (Tomtec, CHLB Đức). Phân tích các thông số cơ bản và các thông số

biến dạng và vận động xoắn thất trái dựa trên mặt cắt Full volume toàn bộ thất trái trên phần mềm TOMTEC.

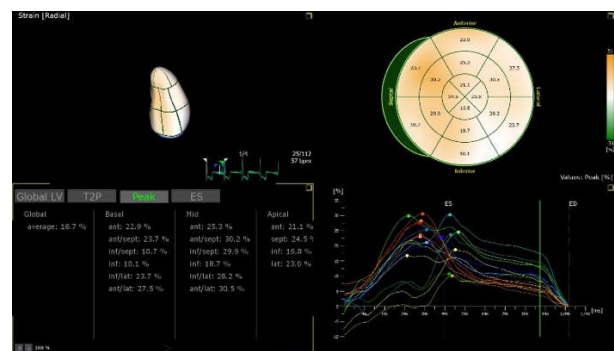
Một số chỉ số đo được trong nghiên cứu như sau: Đo các thông số siêu âm cơ bản về kích thước theo khuyến cáo của Hội Siêu âm Tim Hoa Kỳ, chỉ số EF được tính theo phương pháp Simpson. Để phân tích các giá trị biến dạng theo trục dọc, bán kính, chu vi thất trái chúng tôi sử dụng nút phân tích biến dạng (khung phân tích strain) trên dao diện của máy. Máy sẽ tự động cho ra giá trị đỉnh biến dạng và biến dạng cuối tâm thu của toàn bộ thất trái cũng như của từng vùng thất trái (chia theo 16 vùng) dưới dạng biểu đồ mất bờ và biểu đồ đồ thị.

GLS (global longitudinal strain): Sức căng trục dọc thất trái. Do khi co bóp thất trái co ngắn lại theo chiều dọc nên GS có giá trị âm-đơn vị là % (Hình 1).



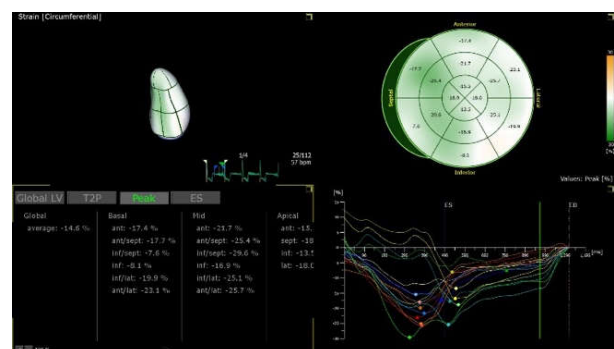
Hình 1. Đỉnh sức căng trục dọc thất trái (GLS) trên siêu âm mô 3D

GRS (Global radial strain): Sức căng theo chiều bán kính. Khi co bóp thất trái sẽ dày lên theo chiều bán kính nên GRS có giá trị dương, đơn vị là % (Hình 2).



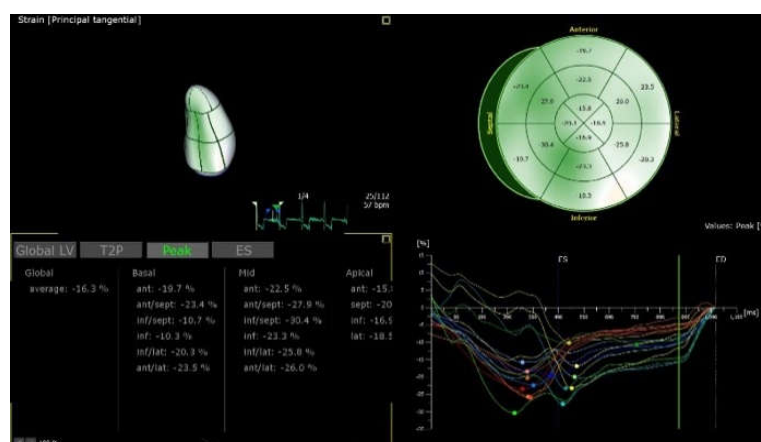
Hình 2. Sức căng chiều bán kính (GRS) trên siêu âm mô 3D

GCS (global circumferential strain): Sức căng theo chiều chu vi. Khi co bóp thất trái co nhỏ lại theo chiều chu vi nên GCS có giá trị âm, đơn vị là % (Hình 3).



Hình 3. Sức căng chiều chu vi (GCS) trên siêu âm mô 3D

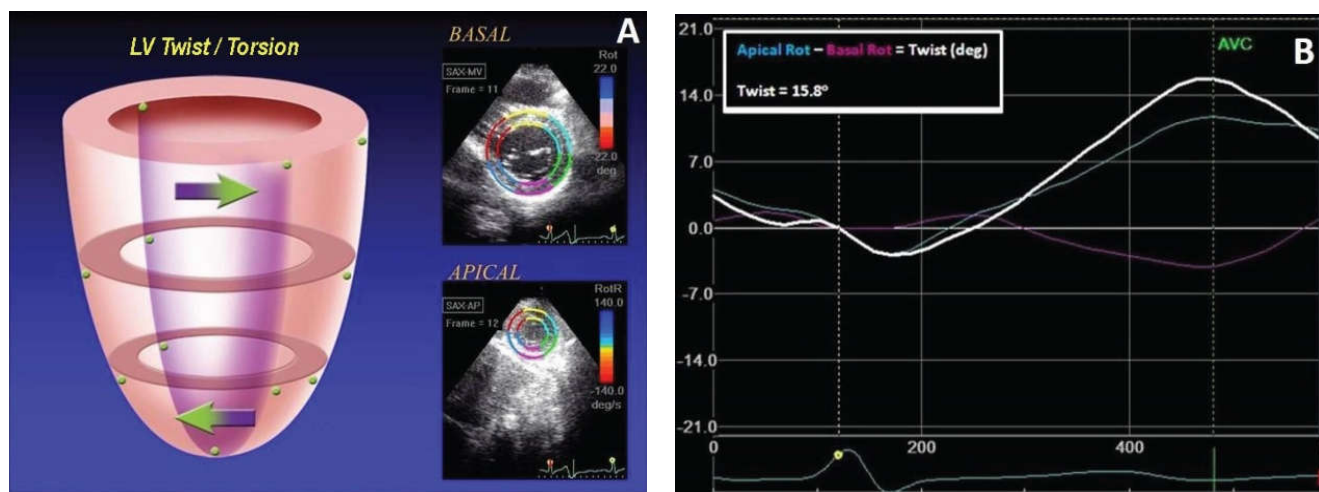
GAS (global area strain): Sức căng diện tích, là sự biến đổi diện tích bề mặt nội mạc thất trái khi co bóp, nó là tổng hợp sự biến đổi theo chiều chu vi và theo trục dọc nên GAS có giá trị âm, đơn vị là % (Hình 4).



Hình 4. Sức căng diện tích (GAS) trên siêu âm mô 3D

Độ xoay hay góc xoắn thất trái (twist) - được tính là hiệu độ xoay của nền trừ đi độ xoay của mỏm thất trái. Đơn vị là độ ($^{\circ}$).

Độ xoắn thất trái (torsion) - được tính bằng góc xoắn thất trái chia cho chiều dài thất trái từ nền tới mỏm. Đơn vị là $^{\circ}/m$.



Hình 5. Cách tính sức căng, góc xoay và vận động xoắn của thất trái trên phần mềm TOMTEC (Tomtec arena, CHLB Đức)

2.3. Xử lý số liệu

Chúng tôi sử dụng phần mềm SPSS 22.0 để xử lý số liệu, các biến định lượng được biểu diễn dưới dạng TB $\pm$ SD, biến định tính được biểu diễn dạng phần trăm (%). Các phép so sánh biến định lượng bằng kiểm định t-Student test, giữa các biến định tính bằng thuật toán Chi bình phương. Giá trị $p < 0,05$ được coi là có ý nghĩa thống kê.

3. Kết quả

Bảng 1. Đặc điểm chung của nhóm nghiên cứu

Chỉ số	Nhóm suy tim (n = 110)	Nhóm chứng (n = 50)	p
Tuổi trung bình (năm)	65,82 $\pm$ 11,77	65,16 $\pm$ 10,24	>0,05
Giới nam, n (%)	73 (66,36%)	34 (68,0%)	>0,05
Giới nữ, n (%)	37 (33,64%)	16 (32,0%)	>0,05
Cân nặng (kg)	58,29 $\pm$ 10,67	59,46 $\pm$ 9,34	>0,05
Chiều cao (kg)	1,60 $\pm$ 0,07	1,62 $\pm$ 0,06	>0,05
BMI (kg/m ²)	22,7 $\pm$ 3,53	22,7 $\pm$ 3,07	>0,05
Huyết áp tâm thu (mmHg)	128,72 $\pm$ 20,90	123,30 $\pm$ 11,85	>0,05
Huyết áp tâm trương (mmHg)	78,44 $\pm$ 12,90	75,50 $\pm$ 11,92	>0,05
Tần số tim (chu kỳ/phút)	85,64 $\pm$ 14,94	78,06 $\pm$ 6,82	<0,05

Không có sự khác biệt về tuổi, giới, chiều cao, cân nặng giữa nhóm suy tim và nhóm chứng.

Bảng 2. So sánh đặc điểm đỉnh sức căng và vận động xoắn thất trái ở nhóm suy tim và nhóm chứng

Thông số	Nhóm suy tim (n = 110)	Nhóm chứng (n = 50)	p
GLS (%)	-11,01 ± 3,82	-19,92 ± 2,87	<0,001
GRS (%)	21,91 ± 8,35	38,55 ± 6,21	<0,001
GCS (%)	-15,47 ± 6,82	-26,05 ± 9,66	<0,001
GAS (%)	-18,16 ± 8,77	-29,91 ± 13,37	<0,001
Twist (°)	7,94 ± 4,28	16,83 ± 9,87	<0,001
Torsion (°/m)	1,01 ± 0,56	2,42 ± 0,60	<0,001

Các thông số sức căng trục dọc, sức căng theo chu vi, sức căng theo bán kính, sức căng diện tích, góc xoắn thất trái và độ xoắn thất trái giảm ở nhóm suy tim so với nhóm chứng với $p < 0,001$.

Bảng 3. Đặc điểm đỉnh sức căng thất trái ở nhóm suy tim có phân suất tống máu bảo tồn

Chỉ số	EF ≥ 50% (n = 30)	Nhóm chứng (n = 50)	p
GLS (%)	-14,25 ± 4,35	-19,92 ± 2,87	<0,01
GRS (%)	29,92 ± 8,14	38,55 ± 6,21	<0,01
GCS (%)	-21,78 ± 6,70	-27,38 ± 4,60	<0,01
GAS (%)	-25,81 ± 6,95	-32,48 ± 3,86	<0,01
Twist (°)	10,96 ± 4,74	18,99 ± 4,28	<0,001
Torsion (°/m)	1,46 ± 0,60	2,42 ± 0,60	<0,001

Các thông số sức căng theo trục dọc, chiều bán kính, chiều chu vi, diện tích, góc xoắn và độ xoắn thất trái đều giảm ở nhóm suy tim có phân suất tống máu bảo tồn so với nhóm chứng.

Bảng 4. Đặc điểm đỉnh sức căng thất trái nhóm suy tim theo EF

Thông số	EF < 40% (n = 50)	40 ≤ EF ≤ 49% (n = 30)	EF ≥ 50% (n = 30)	p
GLS (%)	-8,79 ± 2,50	-11,47 ± 2,40	-17,79 ± 4,44	<0,001
GRS (%)	16,15 ± 5,24	23,49 ± 4,82	35,31 ± 8,12	<0,001
GCS (%)	-10,70 ± 4,17	-17,10 ± 4,20	-25,79 ± 6,09	<0,001
GAS (%)	-13,71 ± 4,47	-20,35 ± 3,98	-29,98 ± 6,13	<0,001
Twist (°)	5,89 ± 2,79	8,34 ± 4,05	10,96 ± 4,74	<0,05
Torsion (°/m)	0,72 ± 0,35	1,05 ± 0,51	1,46 ± 0,60	<0,05

Các thông số sức căng theo trục dọc, chiều bán kính, chiều chu vi, diện tích, góc xoắn và độ xoắn thất trái giảm dần theo mức độ giảm của EF.

Bảng 5. Tỷ lệ số bệnh nhân có giảm vận động xoắn và sức căng ở các phân nhóm suy tim theo EF Simpson so với nhóm chứng

Thông số	EF < 50% (n = 80)		EF ≥ 50% (n = 30)	
	n	%	n	%
GLS (%)	80	100,0	22	73,3
GRS (%)	80	100,0	22	73,3
GCS (%)	79	98,8	19	63,3
GAS (%)	0	98,8	19	63,3
Twist (0)	79	98,8	16	53,3
Torsion (0/m)	78	97,5	17	56,7

Trong nhóm suy tim phân số tổng máu giảm chúng tôi thấy có: 100% bệnh nhân có giảm sức căng theo chiều dọc, chiều bán kính; 98,8% bệnh nhân có giảm sức căng theo chiều chu vi, diện tích và góc xoay thất trái giảm; 97,5% bệnh nhân có giảm độ xoắn thất trái.

Trong nhóm suy tim phân số tổng máu bảo tồn: Có 73,3% bệnh nhân có giảm sức căng theo chiều dọc, chiều bán kính; 63,3% bệnh nhân có giảm sức căng theo chiều chu vi và diện tích; 53,3% bệnh nhân có góc xoay thất trái giảm và 56,7% bệnh nhân có giảm độ xoắn thất trái.

4. Bàn luận

Đánh giá chức năng thất trái ở bệnh nhân suy tim là một vấn đề quan trọng có thể giúp các thầy thuốc đưa ra những quyết định lâm sàng hợp lý nhằm cải thiện tiên lượng và điều trị. Đánh giá chức năng thất trái ở những bệnh nhân suy tim phân suất tổng máu bảo tồn vẫn luôn là một thách thức đối với các nhà lâm sàng do tồn tại nhiều vấn đề còn chưa được rõ ràng trong cơ chế bệnh sinh và biểu hiện lâm sàng. Gần đây siêu âm đánh dấu mô 3D ra đời, khắc phục được những nhược điểm của siêu âm đánh dấu mô 2D, cho phép chúng ta đánh giá được co bóp của các sợi cơ tim trong không gian 3 chiều [7]. Nghiên cứu thấy rằng cơ tim có cấu trúc phức tạp, gồm 3 lớp chính, lớp nội mạc, lớp ngoại mạc và lớp giữa. Khi co bóp cơ tim không chỉ co ngắn lại theo trục dọc, dày lên theo trục ngang, mà còn vận động xoắn vặn [8]. Trong tiến trình của bệnh lớp nội tâm mạc là nơi dễ bị ảnh hưởng bởi sự thiếu máu và các tình trạng bệnh lý tim mạch do đó co bóp của lớp nội mạc giảm làm GLS giảm. Khi co bóp của lớp nội mạc giảm sẽ dẫn đến vận động xoắn của thất trái chủ yếu do lớp thượng tâm mạc nên vận động xoắn tăng. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng ở giai đoạn sớm GLS giảm còn GCS và twist bình thường hoặc tăng để bù trừ cho sự giảm GLS đảm bảo phân suất tổng máu vẫn trong giới hạn bình thường. Theo tiến trình của bệnh các lớp cơ giữa và thượng tâm mạc cũng bị ảnh hưởng làm giảm các chỉ số sức căng và vận động xoắn thất trái. Nhưng một số tác giả cũng thấy ngay cả ở bệnh nhân suy tim phân suất tổng

máu bảo tồn đã có giảm cả GCS và vận động xoắn của thất trái [9].

Đây là nghiên cứu đầu tiên được thực hiện bằng phương pháp siêu âm đánh dấu mô 3D tại Việt Nam ở nhóm bệnh nhân suy tim có phân suất tổng máu bảo tồn và giảm. Qua y văn chúng tôi chưa thấy có tác giả nào công bố về các thông số siêu âm đánh dấu mô 3D để tham chiếu nên đây là những kết quả có giá trị quan trọng trong quản lý và điều trị bệnh nhân suy tim.

Trên thế giới, một số tác giả như Luo và cộng sự [10] đã so sánh kết quả giữa siêu âm tim 3D và 2D, thấy rằng chỉ số GCS trên siêu âm tim đánh dấu mô 3D cao hơn so với 2D và chỉ số GRS thì ngược lại, thấp hơn khi đánh giá bằng 3D. Tác giả cho rằng có sự thay đổi kết quả này là do siêu âm tim 3D đánh giá cả những vùng cơ tim không thu được trên khung hình siêu âm còn 2D thì cần phải đẩy đủ các vùng cơ tim. Điều này cho thấy siêu âm tim 3D dễ thực hiện và có độ chính xác cao hơn so với 2D. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy, giá trị GLS ở nhóm suy tim EF bảo tồn có giá trị $-14,25 \pm 4,3$, GRS là $29,92 \pm 8,14$, GCS là $-21,78 \pm 6,7$, GAS $-25 \pm 6,95$. Giá trị GCS và GAS thấp hơn so với tác giả Luo và cộng sự với kết quả lần lượt là $-14,28 \pm 3,6$, $28,84 \pm 10,35$, $-33,1 \pm 6,73$, $-44,07 \pm 7,5$. Có sự khác biệt này là do nhóm tác giả đó sử dụng phần mềm của hãng Toshiba (Nhật Bản). Đây là nhược điểm chung của các phần mềm siêu âm tim đánh dấu mô khi không có sự thống nhất về giá trị tham chiếu.

Kết quả của chúng tôi thấy các thông số sức căng thất trái đều giảm ở bệnh nhân suy tim, ngay cả nhóm bệnh nhân suy tim phân suất tổng máu bảo tồn có tới 73,3% bệnh nhân có giảm GLS, GRS, 63,3% giảm GCS, GAS. Tỷ lệ bệnh nhân có giảm góc xoắn và vận động xoắn thấp hơn tương ứng là 53,3% và 56,7%. Điều này có thể được hiểu là những bệnh nhân suy tim với EF bảo tồn cần được siêu âm đánh giá các thông số siêu âm tim đánh dấu mô do những chỉ số này thường biến đổi trong giai đoạn sớm hơn trước khi EF giảm.

5. Kết luận

Siêu âm tim đánh dấu mô 3D là phương pháp an toàn, hiệu quả để đánh giá sức căng và vận động

xoắn của thất trái ở bệnh nhân suy tim mạn tính. Các chỉ số biến dạng theo hướng dọc (GLS), bán kính (GRS), chu vi (GCS), diện tích (GAS), góc xoay (twist) và vận động xoắn (torsion) của thất trái giảm ở bệnh nhân suy tim so với nhóm chứng và biến đổi sớm ở nhóm suy tim phân suất tống máu bảo tồn. Tỷ lệ giảm biến dạng theo trục dọc (GLS) và chiều bán kính (GRS) là thường gặp nhất.

Tài liệu tham khảo

1. Go AS et al (2014) *Heart disease and stroke statistics 2014 update: A report from the American Heart Association*. Circulation 129(3): 28-292.
2. Solomon S et al (2005) *Candesartan in Heart Failure Reduction in Mortality I. Influence of ejection fraction on cardiovascular outcomes in a broad spectrum of heart failure patients*. Circulation 112: 3738-3744.
3. Solomon S (2005) *Candesartan in Heart Failure Reduction in Mortality (CHARM) Investigators. Influence of ejection fraction on cardiovascular outcomes in a broad spectrum of heart failure patients*. Circulation 112: 3738-3744.
4. Klæboe LG and Edvardsen T (2019) *Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function*. Journal of echocardiography 17(1): 10-16.
5. Muraru D et al (2018) *Three-dimensional speckle-tracking echocardiography: Benefits and limitations of integrating myocardial mechanics with three-dimensional imaging*. Cardiovascular diagnosis and therapy 8(1): 101.
6. Ponikowski P et al (2016) *2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC*. European Heart Journal 37(27): 2129-2200.
7. Altman M et al (2014) *Assessment of left ventricular systolic function by deformation imaging derived from speckle tracking: A comparison between 2D and 3D echo modalities*. European Heart Journal - Cardiovascular Imaging 15(3): 316-323.
8. Sengupta PP et al (2008) *Twist mechanics of the left ventricle: Principles and application*. JACC: Cardiovascular Imaging 1(3): 366-376.
9. Kraigher-Krainer E et al (2014) *Impaired systolic function by strain imaging in heart failure with preserved ejection fraction*. Journal of the American College of Cardiology 63(5): 447-456.
10. Luo XX et al (2014) *What can three-dimensional speckle-tracking echocardiography contribute to evaluate global left ventricular systolic performance in patients with heart failure?* International journal of cardiology 172(1): 132-137.