

Mối liên quan giữa biến đổi diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi đo bằng siêu âm với tình trạng thở máy ở bệnh nhân sốc nhiễm khuẩn

Association between changes in rectus femoris cross-sectional area measured by ultrasound and mechanical ventilation status in patients with septic shock

Nguyễn Thị Huyền Trang¹, Lê Thị Việt Hoa²,
Phạm Đăng Hải^{1*}

¹Bệnh viện Trung ương Quân đội 108,

²Bệnh viện Đa khoa Tâm Anh

Tóm tắt

Mục tiêu: Đánh giá mối liên quan giữa biến đổi diện tích cắt ngang (CSA) cơ thẳng đùi với tình trạng thở máy và thời gian thở máy kéo dài ở bệnh nhân sốc nhiễm khuẩn. **Đối tượng và phương pháp:** Nghiên cứu mô tả tiến cứu trên 116 bệnh nhân sốc nhiễm khuẩn tại Bệnh viện Trung ương Quân đội 108. CSA cơ thẳng đùi được đo bằng siêu âm tại giường vào các thời điểm nhập viện (T0), ngày thứ 4 (T4) và ngày thứ 7 (T7). **Kết quả:** Tổng số 116 bệnh nhân, có 93 (80,2%) bệnh nhân phải thở máy. Biến đổi diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi tuyệt đối tại ngày 4 và 7 ở nhóm thở máy giảm nhiều hơn nhóm không thở máy (ngày 4: $-0,24\text{cm}^2$ vs $-0,16\text{cm}^2$, $p<0,01$; ngày 7: $-0,38\text{cm}^2$ vs $-0,23\text{cm}^2$, $p<0,01$). Tỷ lệ phần trăm giảm CSA cũng cao hơn rõ rệt (ngày 4: $-9,96\%$ vs $-5,57\%$, $p<0,01$; ngày 7: $-14,8\%$ vs $-8,52\%$, $p<0,01$). Phân tích ROC cho thấy biến đổi giá trị tuyệt đối CSA tại ngày 7 (ΔCSA_7) có khả năng phân biệt thở máy kéo dài (> 7 ngày) với AUC = 0,676 (95% CI: 0,560 - 0,792), độ nhạy 75% và độ đặc hiệu 62% tại ngưỡng cắt $-0,355\text{cm}^2$. **Kết luận:** Biến đổi diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi có liên quan với tình trạng và thời gian thở máy ở bệnh nhân sốc nhiễm khuẩn.

Từ khóa: Sốc nhiễm khuẩn, cơ thẳng đùi, CSA, siêu âm, thở máy kéo dài.

Summary

Objective: To evaluate the association between changes in rectus femoris cross-sectional area (CSA) and mechanical ventilation status and duration in patients with septic shock. **Subject and method:** A prospective descriptive study was conducted on 116 patients with septic shock at 108 Military Central Hospital. Rectus femoris CSA was measured by bedside ultrasound at admission (T0), day 4 (T4), and day 7 (T7). **Result:** Among the 116 patients, 93 (80.2%) required mechanical ventilation. The absolute change in rectus femoris CSA at days 4 and 7 was significantly greater in the ventilated group compared to the non-ventilated group (day 4: -0.24cm^2 vs. -0.16cm^2 , $p<0.01$; day 7: -0.38cm^2 vs. -0.23cm^2 , $p<0.01$). The percentage reduction in CSA was also significantly higher in the ventilated group (day 4: -9.96% vs. -5.57% , $p<0.01$; day 7: -14.8% vs. -8.52% , $p<0.01$). ROC analysis demonstrated that the absolute CSA change at day 7 (ΔCSA_7) could distinguish prolonged mechanical ventilation (> 7 days) with an area under the curve (AUC) of 0.676 (95% CI: 0.560 - 0.792), sensitivity of 75%, and specificity of 62% at the

Ngày nhận bài: 25/6/2025, ngày chấp nhận đăng: 11/8/2025

* Tác giả liên hệ: bsphamdanghai@gmail.com - Bệnh viện Trung ương Quân đội 108

cutoff point of -0.355cm^2 . *Conclusion:* Changes in rectus femoris CSA are associated with mechanical ventilation status and duration in patients with septic shock.

Keywords: Septic shock, rectus femoris, cross-sectional area, ultrasound, prolonged mechanical ventilation.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sốc nhiễm khuẩn là một trong những nguyên nhân hàng đầu gây tử vong tại các đơn vị hồi sức tích cực, với tỷ lệ tử vong dao động từ 30% đến 40% tại các nước phát triển và có thể vượt quá 50% tại các quốc gia đang phát triển¹. Mặc dù đã có nhiều tiến bộ trong điều trị và chăm sóc tích cực, tiên lượng của bệnh nhân sốc nhiễm khuẩn vẫn còn rất nặng nề. Do đó, việc tìm kiếm các yếu tố tiên lượng sớm có ý nghĩa lâm sàng, đang là hướng nghiên cứu được quan tâm.

Trong những năm gần đây, tình trạng giảm khối cơ cấp tính được ghi nhận phổ biến ở bệnh nhân hồi sức, đặc biệt là những trường hợp sốc nhiễm khuẩn. Tình trạng này không chỉ liên quan đến rối loạn chuyển hoá, viêm hệ thống và bất động kéo dài, mà còn ảnh hưởng rõ rệt đến thời gian nằm điều trị, thời gian thở máy, khả năng hồi phục chức năng và tỷ lệ sống còn². Mất khối cơ sớm có thể bắt đầu trong vòng 48-72 giờ đầu sau nhập viện và diễn tiến nhanh chóng trong tuần đầu điều trị³.

Trong số các nhóm cơ, cơ thẳng đùi là nhóm cơ lớn dễ tiếp cận và đánh giá bằng siêu âm tại giường. Kỹ thuật đo diện tích cắt ngang (cross-sectional area - CSA) cơ thẳng đùi đã được chứng minh có độ tin cậy cao, có thể thực hiện lặp lại nhiều lần mà không gây hại cho người bệnh^{4,5}.

Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu sử dụng siêu âm để theo dõi tiến triển mất cơ trong sốc nhiễm khuẩn còn hạn chế, đặc biệt là chưa làm rõ được mối liên quan giữa sự thay đổi CSA cơ thẳng đùi với tình trạng thở máy. Chính vì vậy, chúng tôi thực hiện nghiên cứu này với mục tiêu: Đánh giá mối liên quan giữa biến đổi CSA với tình trạng thở máy ở bệnh nhân sốc nhiễm khuẩn.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Đối tượng

Nghiên cứu được thực hiện trên bệnh nhân ≥ 18 tuổi, chẩn đoán sốc nhiễm khuẩn theo tiêu chuẩn

SCCM/ESICM 2016⁶, điều trị tại Bệnh viện Trung ương Quân đội 108. Bệnh nhân được tuyển chọn khi đủ tiêu chí lâm sàng và đồng ý tham gia. Các trường hợp bị loại trừ gồm: Phụ nữ mang thai; bệnh lý chi dưới; bệnh thần kinh-cơ; ung thư tiến triển; huyết khối chi dưới; nằm viện ≥ 4 ngày trước nhập hồi sức, từ chối tham gia nghiên cứu. Tiêu chuẩn loại ra khỏi nghiên cứu: Tử vong trong 72 giờ đầu; hoặc hình ảnh siêu âm không đạt chất lượng.

2.2. Phương pháp

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả tiến cứu.

Thu thập số liệu: Dữ liệu thu thập gồm: thông tin nhân khẩu học, đặc điểm lâm sàng, tình trạng thở máy, thang điểm độ nặng (APACHE II, SAPS II, SOFA, mNUTRIC), CSA cơ thẳng đùi tại T0, T4, T7 và thời gian thở máy.

Siêu âm cơ thẳng đùi: Thiết bị siêu âm Philips Vivid S5 (đầu dò linear 3,1-10MHz) được sử dụng ở chế độ B-mode. Bệnh nhân nằm ngửa, chân duỗi thẳng, đầu gối không gập, xương bánh chè hướng lên trên. Một khăn lót được đặt ngoài chân để hạn chế xoay ngoài. Đầu dò được đặt vuông góc trục xương đùi tại vị trí 1/3 dưới đoạn nối từ gai chậu trước trên đến bờ trên xương bánh chè. Một lượng lớn gel siêu âm được sử dụng để hạn chế ép cơ. Mỗi bệnh nhân được đo 3 lần liên tiếp, lấy trung bình. Diện tích cắt ngang (CSA) được đo bằng viên thủ công trên ảnh siêu âm 2D.

Siêu âm được thực hiện ở 3 thời điểm: Chẩn đoán sốc nhiễm khuẩn (T0), ngày 4 (T4) và ngày 7 (T7) của sốc nhiễm khuẩn. Các chỉ số đánh giá bao gồm: CSA tại các thời điểm, biến đổi giá trị tuyệt đối CSA ($\Delta\text{CSA}_x = \text{CSA}_x - \text{CSA}_0$), tỷ lệ phần trăm biến đổi

$$\text{CSA (\% } \Delta\text{CSA}_x = \frac{\text{CSA}_x - \text{CSA}_0}{\text{CSA}_0} \times 100)$$

2.3. Xử lý số liệu

Số liệu được xử lý bằng phần mềm R (phiên bản 2024.09.0+375). Biểu định lượng được trình bày dưới

dạng trung bình $\pm$ SD (nếu phân phối chuẩn) hoặc trung vị (Q1–Q3) (nếu phân phối không chuẩn), biến định tính dưới dạng tần suất và tỷ lệ. So sánh giữa nhóm có và không thở máy sử dụng t-test/Mann–Whitney U, Chi-square hoặc Fisher exact test. Phân

tích hồi quy tuyến tính được áp dụng để xác định yếu tố liên quan thời gian thở máy. Phân tích ROC được sử dụng để đánh giá nguy cơ thở máy kéo dài trên 7 ngày.

III. KẾT QUẢ

Bảng 1. Đặc điểm chung của nhóm nghiên cứu

Nhóm Đặc điểm	Không thở máy (n = 23)	Thở máy (n = 93)	p
Tuổi (năm)	63,5 $\pm$ 18,8	66,2 $\pm$ 16,6	>0,05
Giới (n,%)			
Nam	12 (52,2%)	63 (67,7%)	>0,05
Nữ	11 (47,8%)	30 (32,3%)	
BMI (kg/m ²)	21,3 $\pm$ 2,93	22,4 $\pm$ 3,98	>0,05
Bệnh nền (n, %)			
Tăng huyết áp	9 (39,1%)	48 (51,6%)	>0,05
Đái tháo đường	1 (4,3%)	32 (34,4%)	<0,05
Đột quỵ	1 (4,3%)	11 (11,8%)	>0,05
Bệnh gan mạn tính	2 (8,7%)	3 (3,2%)	>0,05
Bệnh thận mạn	2 (8,7%)	3 (3,2%)	>0,05
Suy tim	2 (8,7%)	6 (6,5%)	>0,05
Bệnh phổi mạn tính	2 (8,7%)	10 (10,8%)	>0,05
Đường vào (n,%)			
Hô hấp	2 (8,7%)	41 (44,1%)	<0,05
Ổ bụng - Tiêu hoá	9 (39,1%)	35 (37,6%)	
Tiết niệu - sinh dục	8 (34,8%)	5 (5,4%)	
Da- mô mềm	2 (8,7%)	11 (11,8%)	
Thần kinh	1 (4,3%)	0 (0%)	
Không rõ	1 (4,3%)	1 (1,1%)	

Nhận xét: Không có sự khác biệt về tuổi, giới, BMI giữa 2 nhóm. Nhóm thở máy có tỷ lệ mắc đái tháo đường cao hơn có ý nghĩa so với nhóm không thở máy ($p < 0,05$). Nhiễm khuẩn đường hô hấp là đường vào nhiễm khuẩn phổ biến nhất ở nhóm thở máy.

Bảng 2. Đặc điểm độ nặng ở nhóm nghiên cứu

Nhóm Chỉ số	Không thở máy (n = 23)	Thở máy (n = 93)	p
SOFA	10,1 $\pm$ 3,55	11,5 $\pm$ 3,31	> 0,05
APACHE II	14,9 $\pm$ 6,36	21,4 $\pm$ 6,75	<0,001
SAPS II	30,0 $\pm$ 10,5	47,1 $\pm$ 12,1	< 0,001
mNUTRIC	3,57 $\pm$ 1,80	5,09 $\pm$ 1,78	< 0,001

Nhận xét: Nhóm thở máy có điểm APACHE II, SAPS II, mNUTRIC cao hơn có ý nghĩa thống kê so với nhóm không thở máy ($p < 0,001$).

Bảng 3. Đặc điểm về điều trị của nhóm nghiên cứu

Chỉ tiêu	Nhóm	Không thở máy (n = 23)	Thở máy (n = 93)	p
Số ngày nằm ICU (ngày)		5,00 (3,50-7,00)	10,0 (7,00-15,0)	< 0,01
Số ngày nằm viện (ngày)		12,0 (8,00-14,0)	16,0 (10,0-23,0)	< 0,05
Tổng số tạng suy		1,61 ± 1,03	3,03 ± 1,22	< 0,01
Tử vong 28 ngày (n,%)		0 (0%)	24 (25,8%)	< 0,01

Nhận xét: Thời gian nằm viện và ICU ở nhóm thở máy dài hơn có ý nghĩa thống kê so với nhóm không thở máy ($p < 0,05$); tỷ lệ tử vong 28 ngày ở nhóm thở máy là 25,8%, trong khi không ghi nhận ca tử vong nào ở nhóm không thở máy ($p = 0,003$).

Bảng 4. Đặc điểm khối cơ thẳng đùi đo bằng siêu âm ở nhóm nghiên cứu

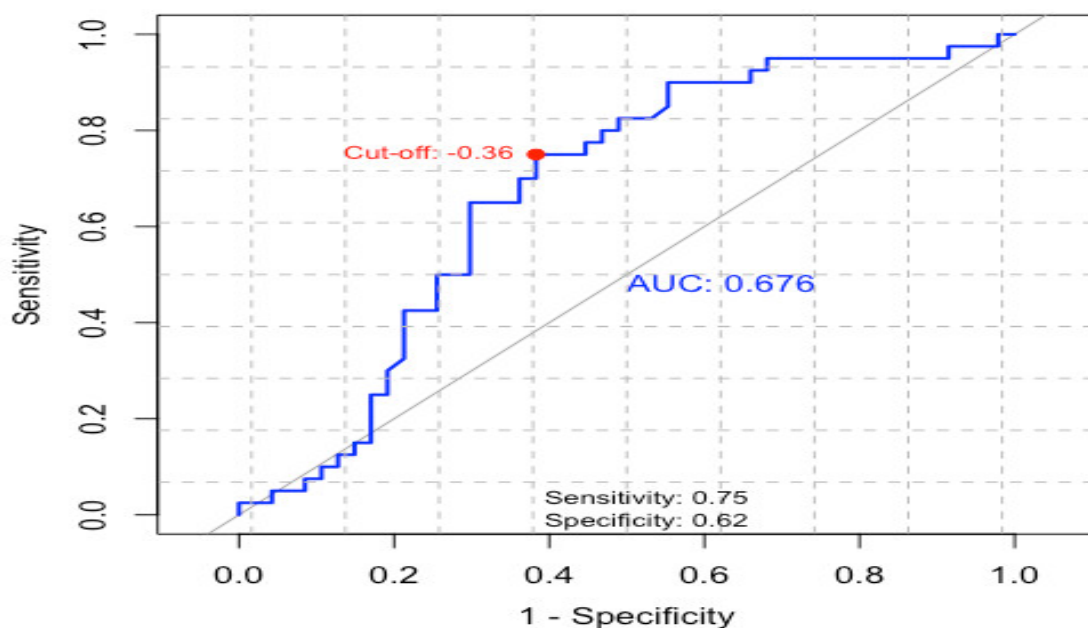
Chỉ số	Nhóm	Không thở máy (n = 23)	Thở máy (n = 93)	p
CSA ngày 0 (cm ²)		2,54 (1,93–3,38)	2,79 (2,02–3,46)	> 0,05
CSA ngày 4 (cm ²)		2,18 (1,72–3,12)	2,46 (1,76–3,18)	> 0,05
CSA ngày 7 (cm ²)		2,26 (1,64–3,01)	2,36 (1,73–3,01)	> 0,05
Δ CSA4 (cm ²)		-0,16 (-0,19– -0,07)	-0,24 (-0,40– -0,15)	< 0,01
Δ CSA7 (cm ²)		-0,23 (-0,33– -0,10)	-0,38 (-0,67– -0,24)	< 0,01
% Δ CSA4 (%)		-5,57 (-8,85– -4,16)	-9,96 (-13,2– -6,29)	< 0,01
% Δ CSA7 (%)		-8,52 (-15,2– -2,93)	-14,8 (-19,6– -10,9)	< 0,01

Nhận xét: Biến đổi về giá trị tuyệt đối và tỷ lệ phần trăm của diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi (CSA) ngày thứ 4 và ngày thứ 7 so với ngày 0 có sự khác biệt rõ rệt giữa hai nhóm. Cụ thể, nhóm thở máy giảm nhiều hơn so với nhóm không thở máy ($p < 0,05$).

Bảng 5. Phân tích đường cong ROC biến đổi diện tích cơ thẳng đùi với nguy cơ thở máy kéo dài > 7 ngày

Biến	AUC	95%CI	Cut – off	Độ nhạy	Độ đặc hiệu	p
Δ CSA4 (cm ²)	0,665	(0,554 – 0,777)	-0,323	0,50	0,77	<0,05
Δ CSA7 (cm ²)	0,676	(0,560 – 0,792)	-0,355	0,75	0,62	<0,05
Δ CSA4 (%)	0,626	(0,508 – 0,744)	-11,007	0,60	0,70	<0,05
Δ CSA7 (%)	0,630	(0,513 – 0,747)	-14,242	0,68	0,57	<0,05

Nhận xét: Phân tích ROC cho thấy biến đổi giá trị tuyệt đối CSA tại ngày 7 (Δ CSA7) có khả năng phân biệt thở máy kéo dài (thở máy trên 7 ngày) ở mức khá, với AUC = 0,676 (95% CI: 0,560 - 0,792). Tại ngưỡng điểm cắt -0,36cm², chỉ số này đạt độ đặc hiệu 62% và độ nhạy 75%. Các chỉ số tỷ lệ biến đổi CSA (% Δ CSA) tại ngày 4 và 7 cũng cho thấy AUC tương đương (0,626 và 0,630).



Hình 1. Đường cong ROC của biến đổi diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi ngày thứ 7 trong dự báo tình trạng thở máy kéo dài

IV. BÀN LUẬN

Mất khối cơ sớm ở bệnh nhân ICU, đặc biệt trong bối cảnh sốc nhiễm khuẩn, là một biểu hiện quan trọng phản ánh tình trạng dị hóa mạnh và thường đi kèm với tiên lượng xấu như thời gian thở máy kéo dài, nhiễm trùng kéo dài và tăng nguy cơ tử vong. Siêu âm đo diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi (CSA) là một công cụ không xâm lấn, đáng tin cậy để đánh giá mức độ mất cơ, đã được khuyến nghị như một chỉ số sớm trong nhận diện yếu cơ mắc phải tại ICU (ICU-AW) ⁷. Nghiên cứu của chúng tôi tiến hành đo lường lặp lại CSA trong tuần đầu điều trị ICU, từ đó phân tích mối liên quan với nhu cầu và thời gian thở máy.

Kết quả cho thấy bệnh nhân cần thở máy có mức giảm CSA rõ rệt hơn so với nhóm không thở máy, cả về giá trị tuyệt đối và phần trăm thay đổi tại ngày thứ 4 và 7 ($p < 0,01$). Ngoài ra, chỉ số ΔCSA_7 đạt $AUC = 0,676$ trong phân tích ROC, thể hiện khả năng phân biệt thấp đối với tình trạng thở máy kéo dài > 7 ngày.

So sánh với các nghiên cứu của Yao và cộng sự (2024) ⁸, mức giảm CSA > 6,9% trong 3 ngày đầu có liên quan với yếu cơ và kéo dài thời gian thở máy.

Điều này củng cố mối liên quan giữa mất cơ cấp và tình trạng suy yếu chức năng hô hấp. Về khả năng tiên lượng, các giá trị AUC dao động từ 0,51–0,68 được ghi nhận trong nghiên cứu của Witteveen và cộng sự ⁹, tương đương với kết quả của chúng tôi, cho thấy tính khả thi của việc ứng dụng siêu âm CSA vào đánh giá tiên lượng yếu cơ trong hồi sức (ICU-AW). Dù còn một số khác biệt nhỏ về chỉ số ROC giữa các nghiên cứu, điều này có thể được giải thích bởi sự khác biệt về thiết kế nghiên cứu, thời điểm đo CSA, kỹ thuật đo cũng như đặc điểm của quần thể nghiên cứu.

Về mặt cơ chế bệnh sinh, mất cơ trong sốc nhiễm khuẩn là hậu quả của nhiều cơ chế. Phản ứng viêm toàn thân kích hoạt mạnh mẽ các con đường dị hóa protein như ubiquitin-proteasome và autophagy, đồng thời ức chế các cơ chế tổng hợp protein thông qua ức chế mTORC1, làm mất cân bằng đồng - dị hóa, dẫn đến teo cơ nhanh chóng. Thêm vào đó, stress oxy hóa và tổn thương chức năng ty thể góp phần phá vỡ cấu trúc và chức năng sợi cơ, khiến cơ yếu nhanh chóng, đặc biệt ở các nhóm cơ không được sử dụng thường xuyên ¹⁰.

Việc bệnh nhân ICU phải nằm bất động lâu dài, kết hợp với sử dụng thuốc an thần sâu và giãn cơ,

càng thúc đẩy sự suy giảm chức năng và khối lượng cơ. Nhiều nghiên cứu đã ghi nhận rằng không chỉ cơ hoành mà các cơ ở chi, đặc biệt là nhóm cơ đùi, cũng bị ảnh hưởng rõ rệt trong bối cảnh này ¹¹. Điều này lý giải kết quả trong nghiên cứu của chúng tôi, nhóm bệnh nhân thở máy có mức giảm CSA mạnh hơn và thời gian thở máy kéo dài hơn. Tình trạng "tổn thương cơ kép" - gồm cả tổn thương do viêm nhiễm và bất động - làm suy yếu đồng thời cả cơ hô hấp và cơ chi, dẫn đến giảm khả năng tự thở, kéo dài thời gian cai máy và làm nặng thêm tiến triển lâm sàng ¹².

Từ các cơ chế nêu trên, có thể thấy rằng theo dõi biến đổi CSA bằng siêu âm không chỉ mang lại giá trị chẩn đoán và tiên lượng, mà còn có khả năng hướng dẫn điều trị. Việc phát hiện sớm mức giảm CSA có thể giúp nhóm bệnh nhân có nguy cơ thở máy kéo dài được nhận diện kịp thời để áp dụng các biện pháp can thiệp phù hợp như vận động sớm, tối ưu hóa dinh dưỡng (đặc biệt là protein), giảm sử dụng giãn cơ hoặc an thần sâu. CSA cũng có thể được tích hợp vào các mô hình tiên lượng toàn diện, bổ sung cho các thang điểm sẵn có như SOFA, APACHE II, hoặc mNUTRIC, nhằm cá thể hóa chiến lược điều trị và cải thiện kết cục lâm sàng.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng có một số hạn chế nhất định. Cỡ mẫu tương đối nhỏ và được thực hiện tại một trung tâm duy nhất, điều này làm hạn chế khả năng khái quát hóa cho các quần thể khác. Chúng tôi chưa đánh giá song song chức năng cơ bằng các phương pháp khác như thang điểm MRC hoặc dynamometry, nên chưa xác định được tương quan chính xác giữa thay đổi CSA và khả năng vận động thực tế. Ngoài ra, các yếu tố can thiệp như mức độ và thời điểm dinh dưỡng, chương trình vận động hoặc sử dụng thuốc cũng chưa được kiểm soát đồng đều trong toàn bộ mẫu nghiên cứu. Đây là những yếu tố cần được xem xét kỹ hơn trong các nghiên cứu can thiệp trong tương lai.

V. KẾT LUẬN

Biến đổi diện tích cắt ngang cơ thẳng đùi đo bằng siêu âm có mối liên quan với tình trạng thở máy và thời gian thở máy kéo dài ở bệnh nhân sốc

nhễm khuẩn. Nhóm thở máy có mức độ giảm diện tích cơ thẳng đùi nhiều hơn có ý nghĩa so với nhóm không thở máy. Biến đổi diện tích cơ thẳng đùi tại ngày 7 có giá trị tiên đoán thở máy kéo dài > 7 ngày.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. La Via L, Sangiorgio G, Stefani S et al (2024) *The Global Burden of Sepsis and Septic Shock*. Epidemiologia. 5(3): 456-478. doi:10.3390/epidemiologia5030032.
2. Akan B (2021) *Influence of sarcopenia focused on critically ill patients*. Acute Crit Care. 2021;36(1):15-21. doi:10.4266/acc.2020.00745.
3. Lee ZY, Ong SP, Ng CC et al (2021) *Association between ultrasound quadriceps muscle status with premonitory functional status and 60-day mortality in mechanically ventilated critically ill patient: A single-center prospective observational study*. Clin Nutr Edinb Scotl 40(3): 1338-1347. doi:10.1016/j.clnu.2020.08.022.
4. Thomaes T, Thomis M, Onkelinx S, Coudyzer W (2012) *Cornelissen V, Vanhees L. Reliability and validity of the ultrasound technique to measure the rectus femoris muscle diameter in older CAD-patients*. BMC Med Imaging. 12: 7. doi: 10.1186/1471-2342-12-7.
5. Sanada K, Kearns CF, Midorikawa T, Abe T (2006) *Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults*. Eur J Appl Physiol 96(1): 24-31. doi:10.1007/s00421-005-0061-0.
6. Seymour CW, Liu VX, Iwashyna TJ et al (2016) *Assessment of Clinical Criteria for Sepsis: For the Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3)*. JAMA 315(8): 762-774. doi:10.1001/jama.2016.0288.
7. Zhang W, Wu J, Gu Q, et al (2021) *Changes in muscle ultrasound for the diagnosis of intensive care unit acquired weakness in critically ill patients*. Sci Rep 11(1): 18280. doi:10.1038/s41598-021-97680-y.
8. Yao H, Zhang J, Jiang R et al *Early predictive value of ultrasound measurements of rectus femoris cross-sectional area to diagnose ICU-acquired weakness in patients undergoing invasive mechanical*

- ventilation: A prospective cohort study. *Eur J Med Res* 29(1): 379. doi:10.1186/s40001-024-01966-6.
9. Witteveen E, Sommers J, Wieske L, et al (2017) *Diagnostic accuracy of quantitative neuromuscular ultrasound for the diagnosis of intensive care unit-acquired weakness: a cross-sectional observational study.* *Ann Intensive Care* 7(1):40. doi:10.1186/s13613-017-0263-8.
10. Fanzani A, Conraads VM, Penna F, Martinet W (2012) *Molecular and cellular mechanisms of skeletal muscle atrophy: an update.* *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 3(3): 163-179. doi:10.1007/s13539-012-0074-6.
11. Peñuelas O, Keough E, López-Rodríguez L, et al (2019) *Ventilator-induced diaphragm dysfunction: translational mechanisms lead to therapeutical alternatives in the critically ill.* *Intensive Care Med* Exp 7(1): 48. doi:10.1186/s40635-019-0259-9.
12. Takahashi Y, Morisawa T, Okamoto H, et al (2023) *Diaphragm Dysfunction and ICU-Acquired Weakness in Septic Shock Patients with or without Mechanical Ventilation: A Pilot Prospective Observational Study.* *J Clin Med* 12(16): 5191. doi:10.3390/jcm12165191.