

# Avaliação da Massa Muscular e Suporte Nutricional no Doente Crítico

## Muscle Mass Evaluation and Nutritional Support in the Critically Ill Patient

Diana Mano<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-4092-9941>), César Vidal<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-3347-2197>), Teresa de Mendonça<sup>2</sup> (<https://orcid.org/0000-0002-7654-240x>), Ricardo Sousa<sup>3</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-0691-1262>), Mariana Santos<sup>4</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-0161-4568>), João Pedro Pinho<sup>5</sup> (<https://orcid.org/0000-0002-3047-2848>), Ricardo Marinho<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0001-7091-3911>), Aníbal Marinho<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0002-9160-8649>).

### Resumo:

**Introdução:** A perda de massa muscular é um problema cada vez mais prevalente em doentes críticos, estando fortemente relacionada com o seu prognóstico e com a qualidade de vida após a saída da unidade de cuidados intensivos. Pretendeu-se com este estudo avaliar a perda da massa muscular nos primeiros cinco dias de internamento, e se existia uma correlação entre esta e o suporte nutricional fornecido aos doentes.

**Métodos:** Estudo prospetivo observacional entre janeiro e março de 2020 num serviço de cuidados intensivos. No dia de admissão e no quinto dia de internamento procedeu-se à avaliação ecográfica da espessura da massa muscular do biceps braquial e do quadríceps femoral. Durante o período de cinco dias também se analisou o suporte nutricional energético e proteico.

**Resultados:** Avaliaram-se 35 doentes com idade média de 64±15 anos, maioritariamente do género masculino (62,9%). A espessura da massa muscular foi avaliada com recurso à ecografia, tendo-se obtido uma perda de 1,77 mm na espessura do biceps braquial e 2,19 mm no quadríceps femoral. Os doentes receberam um suporte nutricional correspondente a 20,00% das suas necessidades proteicas e 24,94% das suas necessidades energéticas estimadas.

**Conclusão:** É possível avaliar de forma rápida, objectiva e não invasiva a massa muscular do doente crítico e verificou-se a perda significativa de massa muscular na fase inicial do internamento. O suporte nutricional fornecido foi consideravelmente inferior às recomendações.

**Palavras-chave:** Antropometria; Cuidados Intensivos; Doente Crítico; Músculo Esquelético; Suporte Nutricional; Ultrassonografia.

### Abstract:

**Introduction:** The loss of muscle mass is becoming a very common problem among critically ill patients and it's also strongly related to their prognosis and quality of life after leaving the intensive care unit. The purpose of this study was to evaluate the loss of muscle mass in the first five days, since the patient is admitted to the intensive care unit, and if there is a relationship between this muscle wasting and the nutritional support provided to patients.

**Methods:** This prospective observational study enrolled adult patients admitted in the intensive care unit between January and March 2020. On the day of admission and on the fifth day of follow-up, an ultrasound evaluation of the thickness of the biceps brachii and quadriceps femoris was performed. During the five-day period we also analyzed the energy and protein support that was provided to the patients.

**Results:** Thirty five patients were enrolled in this study with a mean age of 64±15, mostly male gender (62.9%). There was a loss of 1.77 mm in the thickness of the biceps brachii and 2.19 mm in the quadriceps femoris. We observed that the patients received an estimated daily nutritional support that corresponds to 20.0% of their energy and 24.9% of their protein needs.

**Conclusion:** It is feasible to objectively and non-invasively evaluate the muscle mass in critically ill patients and there was a significant decrease in muscle mass in the first days after admission. The nutritional support provided was significantly lower than recommended.

**Keywords:** Anthropometry; Critical Care; Critically Illness; Muscle, Skeletal; Nutritional Support; Ultrasonography.

### Introdução

A perda de massa muscular é comum em doentes internados em cuidados intensivos<sup>1-3</sup> e está associada a diversas consequências, entre as quais um aumento do tempo de internamento, do tempo de ventilação mecânica invasiva e da taxa de mortalidade.<sup>4-6</sup> Isto acontece devido ao stress metabólico a que o doente está sujeito.<sup>5</sup> Existem múltiplos fatores associados ao desenvolvimento e progressão da atrofia muscular, tais como o inadequado suporte nutricional, períodos de imobilização prolongados, inflamação

<sup>1</sup>Serviço Cuidados Intensivos, Centro Hospitalar Universitário do Porto, Porto, Portugal;

<sup>2</sup>Serviço de Medicina Interna, Centro Hospitalar Entre Tâmega e Sousa, Penafiel, Portugal;

<sup>3</sup>USF Terras de Souza, Paredes, Portugal;

<sup>4</sup>Serviço Nutrição Clínica, Hospital Lusíadas Porto, Porto, Portugal;

<sup>5</sup>Serviço Nutrição Clínica, Centro Hospitalar Médio Ave, Famalicão, Portugal.

sistémica, sépsis e falência de órgãos.<sup>3,7-8</sup> Este declínio tem um impacto significativo no prognóstico do doente e é um dos fatores responsáveis pela diminuição das funções vitais e qualidade de vida dos doentes após a saída dos cuidados intensivos.<sup>3,9,10</sup>

No doente crítico, entende-se por suporte nutricional adequado o fornecimento por via entérica e/ou parentérica de uma carga proteica e energética ajustada às necessidades metabólicas e nutricionais do doente.<sup>11</sup> Refira-se que se trata de uma população muito heterogênea, e como tal a nutrição deve ser individualizada.<sup>12</sup>

Nos últimos anos, tem vindo a ser alvo de grande interesse o estudo sobre as alterações metabólicas, nomeadamente o estado hipermetabólico e hipercatabólico proteico a que os doentes em estado crítico estão sujeitos. Esta alteração no metabolismo vai ser responsável pela grande perda de massa muscular, através do catabolismo proteico, levando não só a um agravamento do estado nutricional do doente, mas também a uma maior atrofia muscular.<sup>12,13</sup>

De acordo com as guidelines da American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN), os requisitos de proteína variam no intervalo de 1,2-2 g/kg/dia. Os níveis de energia devem ser medidos através do uso de calorimetria indireta, mas pode-se recorrer à fórmula 25-30 kcal/kg/dia.<sup>14</sup> Por outro lado, as *guidelines* de 2019 da European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN), ditam que o aporte proteico é de 1,3 g/kg/dia. Preconiza-se igualmente que os níveis de energia sejam medidos através do uso de calorimetria indireta, ou equações preditivas com VO<sub>2</sub> e VCO<sub>2</sub>. Tal como as *guidelines* da ASPEN, também a ESPEN defende que a nutrição deve ser iniciada nas primeiras 48 horas. No entanto, é recomendado começar com uma nutrição hipocalórica (menos de 70% do gasto energético na fase aguda (dias 1-3 de ICU)). Após o terceiro dia de internamento a nutrição vai depender do método de medição do gasto energético. Se avaliado com calorimetria indireta, deve ser preferencialmente isocalórica (80%-100% do gasto energético), e com aumento progressivo. Quando calculado através de equações preditivas, deve-se manter uma nutrição hipocalórica (menos de 70%) durante a primeira semana.<sup>15</sup>

Assim, é importante a monitorização da massa muscular para avaliar a eficácia do suporte nutricional na tentativa de atenuar a atrofia da massa muscular. Nesta monitorização torna-se imprescindível a existência de ferramentas que nos possibilitem identificar quais os doentes em risco de desenvolver atrofia muscular, e que também nos permita monitorizar a sua evolução ao longo do internamento.<sup>3</sup> Os métodos mais usados para avaliar a composição corporal do doente são as medições antropométricas, bioimpedância e técnicas imagiológicas: a absorciometria de energia dupla de raio X (DEXA), tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (RM) e ecografia.<sup>16</sup>

A atrofia muscular no doente crítico é, muitas das vezes, camuflada por retenção de fluídos ou por excesso de tecido adiposo em doentes obesos.<sup>17</sup> Perante estas circunstâncias, torna-se difícil a obtenção de resultados fiáveis quando utilizados como ferramenta de avaliação os dados antropométricos, que assumem um estado de hidratação normal<sup>18,19</sup> e não permitem diferenciar os diversos tecidos corporais.<sup>17</sup>

Vários estudos demonstraram que a ecografia apresenta uma correlação positiva com a TC e RM,<sup>20,21</sup> é ainda um método não invasivo, de fácil execução, de ferramenta de cabeceira, baixo custo, e sem radiação associada.<sup>5</sup>

Os objetivos deste estudo foram a avaliação da espessura muscular no biceps braquial e no quadríceps femoral através da análise de medidas ecográficas durante as primeiras 72 horas da admissão e no quinto dia internamento e a verificação da relação entre o suporte nutricional fornecido e a perda de massa muscular, durante os cinco primeiros dias de internamento na unidade de cuidados intensivos (UCI).

## Material e Métodos

Todos os procedimentos descritos neste estudo foram aprovados pela Comissão de Ética do Centro Hospitalar Universitário do Porto (CHUPorto) em Janeiro de 2020.

### DESENHO DO ESTUDO E PARTICIPANTES

Trata-se de um estudo prospetivo observacional que inclui doentes que foram admitidos no Serviço de Cuidados Intensivos (SCI) do Centro Hospitalar Universitário do Porto entre Janeiro e Março de 2020.

Os critérios de inclusão foram a idade igual ou superior a 18 anos, primeira avaliação efetuada até às primeiras 72 horas de internamento no SCI e tempo de internamento superior a 5 dias. Foram excluídos indivíduos sob efeito de relaxantes neuromusculares, com doenças neuromusculares e aqueles que apresentavam alterações anatómicas consecutivas a atos cirúrgicos.

Os dados do doente foram obtidos através do registo clínico eletrónico após a admissão nos cuidados intensivos. Nestes registos sistematizaram-se informações demográficas (sexo e idade), antropométricas e dados clínicos que incluem motivo de admissão, espessura muscular por medidas ecográficas (nas primeiras 72 horas da admissão e no dia 5 de internamento), tempo de internamento no SCI, aporte nutricional diário e o *score* SOFA (*Sequential Organ Failure Assessment*) no momento da admissão, de modo a avaliar a severidade da doença e a extensão da falência de órgãos. Peso e altura foram usados para calcular Índice de massa corporal (IMC) através da fórmula: peso em quilos/altura em metros ao quadrado (kg/m<sup>2</sup>).<sup>22</sup>

### AQUISIÇÃO DE IMAGEM ECOGRÁFICA

O dispositivo utilizado para a aquisição das imagens foi o *Body Metrix™ BX2000 (Intela Metrix)*, um ecógrafo

modo-A 2,5MHz. A aquisição das imagens foi feita por um único utilizador.

Os doentes estavam em posição supina, com os braços e as pernas relaxados e em extensão.<sup>23</sup> A sonda é colocada na perpendicular em relação ao eixo corporal, sendo usada uma grande quantidade de gel de modo a melhorar o contacto e diminuir o atrito.<sup>24,25</sup> Na admissão e no quinto dia foi avaliada a espessura da massa muscular do bíceps braquial e quadríceps femoral, com três medições consecutivas, sendo o valor final a média das mesmas, de modo a permitir uma melhor estimativa da espessura muscular.<sup>23</sup> Os dados da espessura muscular estão expressos em milímetros (mm).<sup>24</sup>

### ANÁLISE DA IMAGEM ECOGRÁFICA

As imagens ecográficas foram analisadas no computador com recurso ao programa *Body View ProFit*. Nestas imagens, foram identificadas as interfaces tecido adiposo-músculo e músculo-osso. A distância medida entre estas duas corresponde à espessura muscular.<sup>24</sup>

### SUPORTE NUTRICIONAL

Para a análise do suporte nutricional foi consultado os registos diários do doente. O cálculo das proteínas e da energia diária foi efetuada com base da composição da fórmula de nutrição artificial entérica e/ou parentérica e volume administrado.

Para análise, a quantidade de energia que foi recebida está expressa em kcal/kg/dia e a de proteína em g/kg/dia. Posteriormente, procedeu-se ao cálculo do suporte nutricional ideal, tendo por base as recomendações da ASPEN.

### ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o tratamento estatístico desta amostra utilizou-se a ferramenta SPSS versão 25.0 (SPSS Inc., na *IBM Company*, USA). Utilizou-se o teste Shapiro-Wilk para a avaliação da normalidade da distribuição das variáveis contínuas. Fez-se a análise descritiva das variáveis demográficas, clínicas, dos dados ecográficos e do suporte nutricional da amostra recolhida recorrendo-se a contagem e percentagens das variáveis categóricas e média  $\pm$  desvio padrão (DP) nas variáveis que seguiam a distribuição normal e mediana com mínimo e máximo nas que não apresentavam uma distribuição normal. O teste-*t* para amostras emparelhadas foi utilizado para verificar se havia diferenças estatisticamente significativas nos valores da espessura da massa muscular no dia de admissão e no quinto dia de *follow-up*. Fez-se o cálculo do aporte proteico e energético em cada caso e comparou-se com o consumo recomendado destes parâmetros, tendo os resultados sido expressos em percentagem do ideal. Recorreu-se à correlação de Pearson para avaliar a existência de uma correlação entre a percentagem do consumo ideal de proteínas e energia e as medições

ecográficas obtidas no bíceps e quadríceps dos doentes. Um valor de  $p < 0,05$  foi considerado estatisticamente significativo. Todos os valores de  $p$  são bicaudais.

## Resultados

### DADOS DEMOGRÁFICOS E CLÍNICOS

As características clínicas e demográficas estão apresentadas na Tabela 1.

A amostra inicial era composta por 54 doentes, tendo sido excluído 19 doentes, pois 7 doentes morreram e 12 doentes não ficaram internados por um período superior a cinco dias, não sendo possível obter os dados da segunda medição.

Dos 35 doentes incluídos no estudo, 22 (62,9%) doentes são do sexo masculino. A idade média foi de  $64 \pm 15$  anos, o peso médio foi de  $70,50 \pm 12,55$  kg. O IMC foi dividido em categorias, sendo que 45,7% dos doentes apresentavam normoponderabilidade, 34,3% Obesidade Classe I, 14,3% Obesidade Classe II e 5,7% Obesidade Classe III.

Tabela 1: Caracterização clínica e demográfica da amostra.

Variáveis	
Sexo masculino (n, %)	22 (62,9)
Idade (anos, média $\pm$ DP)	64 $\pm$ 15
Peso (kg, média $\pm$ DP)	70,50 $\pm$ 12,55
Altura (m, média $\pm$ DP)	1,63 $\pm$ 0,08
IMC (kg/m <sup>2</sup> , média $\pm$ DP)	26,62 $\pm$ 5,16
Médico (n, %)	17(48,6)
Trauma (n, %)	8 (22,9)
Cirúrgico urgente (n, %)	6 (17,1)
Cirúrgico programado (n, %)	4 (11,4)
Tempo de Internamento (dias, mediana, min-máx)	11,00 (6-69)
SOFA score (média $\pm$ DP)	6 $\pm$ 3

### ANÁLISE DA ESPESSURA DA MASSA MUSCULAR

As avaliações dos dados ecográficos estão representados na Tabela 2. Verificou-se uma diminuição de 1,77 mm ( $p < 0,001$ ) para o bíceps braquial e uma diminuição de 2,19 mm ( $p < 0,001$ ) para o quadríceps femoral.

### ANÁLISE DO SUPORTE NUTRICIONAL

Na Tabela 3 está representado o suporte nutricional que foi fornecido aos doentes durante o período de cinco dias de internamento.

**Tabela 2:** Análise da espessura da massa muscular

Variáveis		Média±DP	Significância
Ecografia bíceps braquial (mm)	Admissão	13,76 ± 5,64	
	D5	11,98 ± 4,96	
	Δ (D5-Admissão)	-1,77 ± 1,84	$p < 0,001$
Ecografia quadríceps femoral (mm)	Admissão	15,97 ± 5,86	
	D5	13,78 ± 5,63	
	Δ (D5-Admissão)	-2,19 ± 2,03	$p < 0,001$

**Tabela 3:** Análise do suporte nutricional fornecido

	Recebido Média±DP
Total g (prot)/kg/d	0,240 ± 0,240
Total kcal/kg/d	6,234 ± 6,241

Comparativamente aos valores das recomendações da ASPEN (1,2 g/kg/dia de proteína e 25 Kcal/kg/dia) verificou-se que nestes 5 dias de internamento os doentes receberam em média 20,00% das suas necessidades proteicas e 24,94% das suas necessidades energéticas por dia.

**CORRELAÇÃO PELO MÉTODO DE PEARSON**

Não se observou uma correlação significativa entre a variação da espessura muscular no bíceps braquial e o aporte energético ( $p = -0,096, p = 0,585$ ) e o aporte proteico ( $p = -0,096, p = 0,585$ ). Também não se observou uma correlação significativa entre a variação da espessura muscular do quadríceps femoral e o aporte energético ( $p = 0,016, p = 0,926$ ) e o aporte proteico ( $p = 0,017, p = 0,924$ ).

**Discussão**

O nosso estudo mostrou que é exequível avaliar ecograficamente a massa muscular do doente crítico e que houve perda significativa de massa muscular nos primeiros cinco dias de internamento, não relacionável com o suporte nutricional.

Neste estudo verificou-se que 34 dos 35 doentes sofreram uma perda da espessura muscular do bíceps braquial. Já no quadríceps femoral, 33 dos 35 doentes também sofreram uma perda da espessura muscular e em 2 doentes foi registado um ligeiro aumento da sua espessura, que podia corresponder a edema, atendendo a que a fase aguda é caracterizada por uma maior instabilidade hídrica, o que pode justificar uma maior entrada de fluidos no tecido muscular, ou até mesmo nas suas células.<sup>26</sup>

Estes resultados vão de encontro com outros estudos. Monk *et al* demonstrou que os doentes em estado crítico

passam por um período de hipermetabolismo, sendo que neste período o catabolismo proteico é elevado. Para além disso, verificou que cerca de 2/3 do catabolismo proteico tinha origem na massa muscular. Assim, concluiu-se que esta perda de massa muscular será uma consequência inevitável do doente crítico e que pode variar de acordo com a patologia subjacente.<sup>27</sup>

Tendo por base as recomendações atuais da ASPEN, que ditam um aporte proteico de 1,2 g/kg/dia e um aporte energético de 25 kcal/kg/dia, verificou-se que nesta amostra o suporte nutricional fornecido foi consideravelmente inferior. No período inicial da doença crítica há uma série de factores que poderão justificar o atraso na implementação do alvo energético definido: instabilidade hemodinâmica, hipoxemia e acidose em agravamento, hemorragia digestiva activa, aspirado gástrico superior a 500 mL/6h, isquemia ou obstrução intestinal, síndrome de compartimento abdominal e fístula de alto débito.<sup>28</sup>

Neste estudo não se verificou uma relação entre o aporte energético e proteico e a diminuição da espessura da massa muscular, tanto no bíceps braquial como no quadríceps femoral. Na fase inicial da doença, a produção energética é maioritariamente endógena, através da neoglucogénese e catabolismo proteico.<sup>13</sup> Em estados de elevado stress, a perda de massa muscular ocorre também de modo a fornecer precursores de aminoácidos essenciais para a síntese de proteínas de fase aguda.<sup>12</sup>

**LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

Este estudo apresentou algumas limitações, nomeadamente carácter unicêntrico e dimensão reduzida da amostra, bem como a sua diversidade, tanto em dados demográficos como clínicos, e ainda o facto de se ter perdido um número importante de doentes para a segunda avaliação. Acresce que também seria importante uma análise da fluidoterapia fornecida, para tentar perceber melhor o estado hídrico do doente. Neste ponto, é importante referir que os doentes foram avaliados num período de apenas cinco dias e que seria vantajosa uma avaliação mais duradoura, tendo em conta as diversas fases metabólicas que o doente crítico

passa. Importa ainda referir que a dose de nutrição administrada pode não ser a dose absorvida.

## Conclusão

Neste estudo verificou-se que é possível avaliar de forma rápida, objectiva e não invasiva a massa muscular dos doentes críticos e verificou-se a perda significativa de massa muscular na fase inicial do internamento. O suporte nutricional fornecido foi consideravelmente inferior às recomendações. ■

### Declaração de Contribuição / Contributorship Statement:

C. Vida, T. de Mendonça, R. Marinho - Conceptualização, Metodologia, Investigação, Recursos, Escrita.

D. Mano, R. Sousa - Conceptualização, Metodologia, Escrita.

M. Santos, J.P. Pinho

Conceptualização, Metodologia Escrita, Revisão e Edição

### Responsabilidades Éticas

Conflitos de Interesse: Os autores declaram a inexistência de conflitos de interesse na realização do presente trabalho.

Fontes de Financiamento: Não existiram fontes externas de financiamento para a realização deste artigo.

Confidencialidade dos Dados: Os autores declaram ter seguido os protocolos da sua instituição acerca da publicação dos dados de doentes.

Proteção de Pessoas e Animais: Os autores declaram que os procedimentos seguidos estavam de acordo com os regulamentos estabelecidos pelos responsáveis da Comissão de Investigação Clínica e Ética e de acordo com a Declaração de Helsínquia da Associação Médica Mundial.

Proveniência e Revisão por Pares: Não comissionado; revisão externa por pares.

### Ethical Disclosures

Conflicts of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing Support: This work has not received any contribution, grant or scholarship

Confidentiality of Data: The authors declare that they have followed the protocols of their work center on the publication of data from patients.

Protection of Human and Animal Subjects: The authors declare that the procedures followed were in accordance with the regulations of the relevant clinical research ethics committee and with those of the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki).

Provenance and Peer Review: Not commissioned; externally peer reviewed.

© Autor (es) (ou seu (s) empregador (es)) e Revista SPMI 2022. Reutilização permitida de acordo com CC BY-NC. Nenhuma reutilização comercial.

© Author(s) (or their employer(s)) and SPMI Journal 2022. Re-use permitted under CC BY-NC. No commercial re-use.

### Correspondence / Correspondência:

César Vidal – cfcvidal@gmail.com

Serviço Cuidados Intensivos, Centro Hospitalar Universitário do Porto, Porto, Portugal;

Largo Prof. Abel Salazar, 4099-001, Porto

Received / Recebido: 05/07/2021

Accepted / Aceite: 13/01/2022

Publicado / Published: 22/03/2022

### REFERÊNCIAS

1. Puthuchery Z, Montgomery H, Moxham J, Harridge S, Hart N. Structure to function: Muscle failure in critically ill patients. *J Physiol*. 2010;588:4641–8.
2. Puthuchery ZA, Rawal J, McPhail M, Connolly B, Ratnayake G, Chan P, et al. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. *JAMA*. 2013;310:1591–600. doi: 10.1001/jama.2013.278481.
3. Tillquist M, Kutsogiannis DJ, Wischmeyer PE, Kummerlen C, Leung R, Stollery D, et al. Bedside ultrasound is a practical and reliable measurement tool for assessing quadriceps muscle layer thickness. *J Parenter Enter Nutr*. 2014;38:886–90.
4. Cartwright MS, Kwayisi G, Griffin LP, Sarwal A, Walker FO, Harris JM, et al. Quantitative neuromuscular ultrasound in the intensive care unit. *Muscle and Nerve*. 2013;47:255–9.
5. Joskova V, Patkova A, Havel E, Najpaverova S, Uramova D, Kovarik M, et al. Critical evaluation of muscle mass loss as a prognostic marker of morbidity in critically ill patients and methods for its determination. *J Rehabil Med*. 2018;50:696–704.
6. Dusseaux MM, Antoun S, Grigioni S, Béduneau G, Carpentier D, Girault C, et al. Skeletal muscle mass and adipose tissue alteration in critically ill patients. *PLoS One*. 2019;14:e0216991. doi: 10.1371/journal.pone.0216991.
7. Maramattom BV, Wijdicks EFM. Acute neuromuscular weakness in the intensive care unit. *Crit Care Med*. 2006;34(11):2835–41.
8. Lodeserto F, Yende S. Understanding skeletal muscle wasting in critically ill patients. *Crit Care*. 2014;18:1–3.
9. Deutz NEP, Ashurst I, Ballesteros MD, Bear DE, Cruz-Jentoft AJ, Genton L, et al. The Underappreciated Role of Low Muscle Mass in the Management of Malnutrition. *J Am Med Dir Assoc*. 2019;20:22–7.
10. Moisey LL, Mourtzakis M, Cotton BA, Premji T, Heyland DK, Wade CE, Bulger E, Kozar RA; Nutrition and Rehabilitation Investigators Consortium (NUTRIC). Skeletal muscle predicts ventilator-free days, ICU-free days, and mortality in elderly ICU patients. *Crit Care*. 2013;17:R206. doi: 10.1186/cc12901.
11. Cerra FB, Benitez MR, Blackburn GL, Irwin RS, Jeejeebhoy K, Katz DP, et al. Applied nutrition in ICU patients: A consensus statement of the American College of Chest Physicians. *Chest*. 1997;111:769–78.
12. Lambell KJ, Tatucu-Babet OA, Chapple LA, Gantner D, Ridley EJ. Nutrition therapy in critical illness: a review of the literature for clinicians. *Crit Care*. 2020;24:35. doi: 10.1186/s13054-020-2739-4.
13. Segaran E, Wandrag L, Stotz M, Terblanche M, Hickson M. Does body mass index impact on muscle wasting and recovery following critical illness? A pilot feasibility observational study. *J Hum Nutr Diet*. 2017;30:227–35.
14. McClave SA, Taylor BE, Martindale RG, Patel J, Rice TW, Braunschweig C, et al. Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *J Parenter Enter Nutr*. 2016;40:159–211.
15. Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr*. 2019;38:48–79. doi:10.1016/j.clnu.2018.08.037
16. Prado CMM, Heymsfield SB. Lean tissue imaging: A new era for nutritional assessment and intervention. *J Parenter Enter Nutr*. 2014;38:940–53.
17. Paris MT, Mourtzakis M, Day A, Leung R, Watharkar S, Kozar R, et al. Validation of Bedside Ultrasound of Muscle Layer Thickness of the Quadriceps in the Critically Ill Patient (VALIDUM Study). *J Parenter Enter Nutr*. 2017;41:171–80.
18. Campbell IT, Watt T, Withers D, England R, Sukumar S, Keegan MA, et al. Muscle thickness, measured with ultrasound, may be an indicator of lean

- tissue wasting in multiple organ failure in the presence of edema. *Am J Clin Nutr.* 1995;62:533–9.
19. Gruther W, Benesch T, Zorn C, Paternostro-Sluga T, Quittan M, Fialka-Moser V, et al. Muscle wasting in intensive care patients: Ultrasound observation of the M. quadriceps femoris muscle layer. *J Rehabil Med.* 2008;40:185–9.
  20. Prado CM, Purcell SA, Alish C, Pereira SL, Deutz NE, Heyland DK, et al. Implications of low muscle mass across the continuum of care: a narrative review. *Ann Med.* 2018;50:675–93. doi:10.1080/07853890.2018.1511918
  21. Nijholt W, Scafoglieri A, Jager-Wittenaar H, Hobbelen JS, van der Schans CP. The reliability and validity of ultrasound to quantify muscles in older adults: a systematic review. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2017;8:702–12.
  22. Simpson F, Doig GS. Physical assessment and anthropometric measures for use in clinical research conducted in critically ill patient populations: An analytic observational study. *J Parenter Enter Nutr.* 2015;39:313–21.
  23. Nakanishi N, Oto J, Tsutsumi R, Iuchi M, Onodera M, Nishimura M. Upper and lower limb muscle atrophy in critically ill patients: an observational ultrasonography study. *Intensive Care Med.* 2018;44:263–4.
  24. Rustani K, Kundisova L, Capecchi PL, Nante N, Bicchi M. Ultrasound measurement of rectus femoris muscle thickness as a quick screening test for sarcopenia assessment. *Arch Gerontol Geriatr.* 2019;83:151–4. doi: 10.1016/j.archger.2019.03.021.
  25. Weinel LM, Summers MJ, Chapple LA. Ultrasonography to measure quadriceps muscle in critically ill patients: A literature review of reported methodologies. *Anaesth Intensive Care.* 2019;47:423–34.
  26. Nakanishi N, Tsutsumi R, Okayama Y, Takashima T, Ueno Y, Itagaki T, Tsutsumi Y, Sakaue H, Oto J. Monitoring of muscle mass in critically ill patients: comparison of ultrasound and two bioelectrical impedance analysis devices. *J Intensive Care.* 2019;7:61. doi: 10.1186/s40560-019-0416-y.
  27. Monk DN, Plank LD, Franch-Arcas G, Finn PJ, Streat SJ, Hill GL. Sequential changes in the metabolic response in critically injured patients during the first 25 days after blunt trauma. *Ann Surg.* 1996;223:395–405.
  28. Reintam Blaser A, Starkopf J, Alhazzani W, Berger MM, Casaer MP, Deane AM, et al. Early enteral nutrition in critically ill patients: ESCIM clinical practice guidelines. *Intensive Care Med.* 2017;43:380e98.