

Med Klin Intensivmed Notfmed 2023 · 118:99–106
<https://doi.org/10.1007/s00063-022-00985-7>
 Eingegangen: 25. November 2022
 Angenommen: 25. November 2022
 Online publiziert: 24. Januar 2023
 © The Author(s), under exclusive licence to Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2023

Redaktion
 Geraldine de Heer, Hamburg
 Arved Weimann, Leipzig



Routinecomputertomographie zur Analyse der Körperzusammensetzung – Erfahrungen bei Intensivpatient:innen

Geraldine de Heer^{1,5} · Jennifer Erley² · Marius Kemper³ · Alexandru Ogica⁴ · Theresa Weber¹ · Isabel Molwitz²

¹ Klinik für Intensivmedizin, Zentrum für Anästhesie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf, Hamburg, Deutschland; ² Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf, Hamburg, Deutschland; ³ Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf, Hamburg, Deutschland; ⁴ TCC GmbH, Hamburg, Deutschland; ⁵ Klinik für Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf, Hamburg, Deutschland

In diesem Beitrag

- **Ermittlung des Ernährungsstatus bei kritisch Kranken**
 Apparative Messansätze
- **CT-basierte Kalkulation einzelner Körperkompartimente**
 Abschwächungswerte von Röntgenstrahlen zur Markierung verschiedener Gewebearten • Segmentierung • Manuelle vs. automatisierte Segmentierung
- **CT-basiert identifizierte Myosteatose und Sarkopenie als Prognosefaktoren**
- **Aktuelle Studienlage zur CT-Analyse bei Intensivpatient:innen**
- **Resümee und Ausblick**

Zusammenfassung

Die Erfassung des Ernährungsstatus von Intensivpatient:innen wird in aktuellen Leitlinien empfohlen und sollte die Beurteilung des Muskelstatus beinhalten. Eine geeignete apparative Methode stellt die Analyse von Routinecomputertomographien (CT), die gerade bei kritisch Kranken häufig durchgeführt werden, dar. Mithilfe spezieller Softwares werden einzelne CT-Schichten bearbeitet und verschiedene Parameter, wie Muskelfläche, Muskeldichte oder der Fettgewebeanteil, dargestellt und quantifiziert. Es konnte gezeigt werden, dass die Erfassung des Skelettmuskulaturquerschnitts im Bereich der Lendenwirbelsäule sehr gut mit der Gesamtkörpermuskulatur korreliert. Es gibt definierte, wenn auch populationsabhängige, Cut-off-Werte, mit deren Hilfe die Diagnose einer Sarkopenie gestellt werden kann. Die Überprüfung einer individuellen Ernährungstherapie kann durch Beurteilung repetitiver CT-Untersuchungen erfolgen. Die stetig wachsende Datenlage bestätigt, dass das Verfahren in der Intensivmedizin einen wertvollen Beitrag zur Erhebung der Körperzusammensetzung liefern kann. Die meisten der aktuell verfügbaren Softwares erfordern eine zeitaufwendige Bearbeitung der CT. Mittlerweile vereinzelt verfügbare automatisierte Programme, die den Großteil der manuellen Bearbeitung überflüssig machen, könnten in Zukunft die Methode noch attraktiver machen. Das Risiko eines Intensivtransports zur CT bzw. die Strahlenbelastung können grundsätzlich nur bei sicherer medizinischer Indikation für eine CT gerechtfertigt werden. Eine verfügbare CT sollte beim Intensivpatienten auch zur Analyse der Körperzusammensetzung genutzt werden.

Schlüsselwörter

Ernährungsstatus · Diagnostische Bildgebung · Sarkopenie · Ernährungstherapie · Mangelernährung



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Hintergrund

Die Erhebung des Ernährungsstatus kritischkranker Patient:innen ist aufgrund des erheblichen Einflusses auf Morbidität und Mortalität zunehmend in den Fokus des Interesses von Intensivmediziner:innen gerückt. Zudem stellen Kenntnisse über den

Ernährungsstatus die Grundlage einer individualisierten Ernährungstherapie dar.

Bis heute wurden zahlreiche Methoden und Formeln entwickelt, um den Ernährungszustand zu charakterisieren. Neben der alleinigen Bestimmung des Körpergewichts ist eine der am häufigsten verwendeten Methode die Berechnung des Body-

Mass-Index (BMI; [14]). Allerdings ist der BMI bekanntermaßen nur bedingt aussagekräftig, da er als Bezugsgrößen lediglich das aktuelle Körpergewicht und die Körpergröße beinhaltet und daher kaum Rückschlüsse auf die einzelnen Gewebekompartimente des Körpers, also die Körperzusammensetzung, erlaubt. Und nur die Beurteilung der Körperzusammensetzung, insbesondere die Erhebung des Muskelstatus, ermöglicht eine reale Einschätzung des Ernährungszustands und des damit verbundenen ernährungsmedizinischen Risikos. Dass die Beurteilung der Körperzusammensetzung unverzichtbar ist, spiegelt sich in den heute geltenden Leitlinienempfehlungen wider.

» Die Beurteilung der Körperzusammensetzung ist zur Einschätzung des Ernährungszustands unverzichtbar

So wurde die Diagnosestellung einer Mangelernährung im Jahr 2019 im Rahmen der Global Leadership Initiative on Malnutrition (GLIM) in einem Konsensuspapier neu definiert. Als diagnoserelevante Kriterien gelten

- ungewollter Gewichtsverlust,
- niedriger BMI
- reduzierte Muskelmasse,
- reduzierte Nahrungsaufnahme bzw. -assimilation,
- Art der Erkrankung (akut, chronisch oder Trauma) oder
- Inflammation [5].

Ermittlung des Ernährungsstatus bei kritisch Kranken

Mit Blick auf kritisch kranke Patient:innen hat die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) in diesem Jahr ein erstes Positionspapier zur Erfassung und Monitoring des Ernährungsstatus publiziert [35]. Demnach soll bei Aufnahme auf die Intensivstation stets die Erhebung des Ernährungsstatus erfolgen [35]. Im Wesentlichen bedingt durch eine krankheitsassoziierte Proteinkatabolie zeigen Intensivpatient:innen häufig einen Verlust an Skelettmuskulatur. Gerade bei Langzeitverläufen kann die Quantifizierung von prognoserelevanten Veränderungen der Körperzusammensetzung

von erheblicher Bedeutung sein und liefert darüber hinaus Auskunft über den Erfolg der durchgeführten Ernährungstherapie [29]. Somit sind die standardisierte Erhebung des Ernährungsstatus und die individualisierte medizinische Ernährungstherapie („medical nutrition therapy“, MNT) wichtige Faktoren, um das Risiko einer erhöhten Sterblichkeit zu identifizieren und zu reduzieren [13, 35].

» Scores zur Erfassung von Mangelernährung sind für Intensivpatient:innen nicht gut validiert

Die Ermittlung des Ernährungsstatus ist gerade bei Intensivpatient:innen oftmals schwierig. Beispielsweise sind etablierte Scores zur Erfassung von Mangelernährung für diese Patient:innen oft nicht gut validiert und bei eingeschränkter Vigilanz bzw. bei fehlender Kooperations- und Auskunftsfähigkeit praktisch nicht anwendbar. Auch die einfache Bestimmung eines aktuellen Körpergewichts ist oftmals wegen fehlender Bettwaagen bei nichtmobilisierbaren Patient:innen unmöglich. Alternativ stehen v. a. zur Beurteilung des Muskelstatus verschiedene apparative Methoden zur Verfügung, die in Abhängigkeit der betreuten Patient:innenklientel bzw. der jeweiligen Verfügbarkeit zum Einsatz kommen sollten.

Apparative Messansätze

Die sehr einfache Beurteilung der Muskelfunktion durch Messung der Handkraft mittels eines Dynamometers kann ebenfalls nur bei kooperationsfähigen Patient:innen angewendet werden. Die Bestimmung der Körperzusammensetzung und damit quantitative Beurteilung der Muskulatur mittels einer bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) ist eine für Intensivpatient:innen validierte und geeignete Alternative. Es kann jedoch bei ausgeprägten extravasalen Flüssigkeitseinlagerungen zu Ungenauigkeiten bei der Gewebeanalyse kommen. Eine weitere, sehr leicht erlernbare Methode stellt die Muskelsonographie dar. Bei der Messung von Dicke bzw. Fläche im Bereich des M. quadriceps femoris kann mit wenig Aufwand der Status erhoben und

zur Verlaufskontrolle beurteilt werden. Denkbare Einschränkungen der Sonographie durch übermäßige Volumenlast bzw. ausgeprägte Adipositas sind ebenfalls beschrieben und sollten beim Einsatz dieses Verfahrens Berücksichtigung finden. Eine weitere Option bietet die Bearbeitung von Routinecomputertomographien (CT).

CT-basierte Kalkulation einzelner Körperkompartimente

Die CT ist eine der wichtigsten diagnostischen bildgebenden Verfahren in der Intensivmedizin und ist darüber hinaus eine der exaktesten Methoden zur Evaluation der Körperzusammensetzung. Kompartimente wie Skelettmuskulatur und Fettgewebe können meist präzise dargestellt werden [2].

Abschwächungswerte von Röntgenstrahlen zur Markierung verschiedener Gewebearten

Der CT-Scanner ermöglicht es, anhand der gewebespezifischen Abschwächungswerte der Röntgenstrahlen verschiedene Körpergewebe zu unterscheiden. Die Abschwächungswerte werden in Hounsfield Units (HU) angegeben (Luft: -1000 HU, Wasser: 0 HU, Knochen: +1000 HU). Dabei erscheinen Gewebe niedrigerer Abschwächungs- bzw. HU-Werte auf einer Grauwertskala dunkler und Gewebe höherer Abschwächungs- bzw. HU-Werte heller.

» Die Abschwächungswerte werden in Hounsfield Units (HU) angegeben

Die alleinige Verwendung der Hounsfield-Skala zur absoluten Differenzierung der Gewebetypen ist jedoch nicht ausreichend, da es Überlappungen der Grauwerte verschiedener Gewebetypen gibt. Darüber hinaus erhöht Kontrastmittel, das bei vielen Fragestellungen von CT-Untersuchungen benötigt wird, die Abschwächungs- und HU-Werte. Zudem können Artefakte beispielsweise durch einliegende Spondylodesematerialien die HU-Werte verfälschen. Die Beurteilung durch in der CT erfahrene Radiolog:innen ist demnach unverzichtbar [34]. Zur Erhebung des Muskelstatus in der CT wird üb-

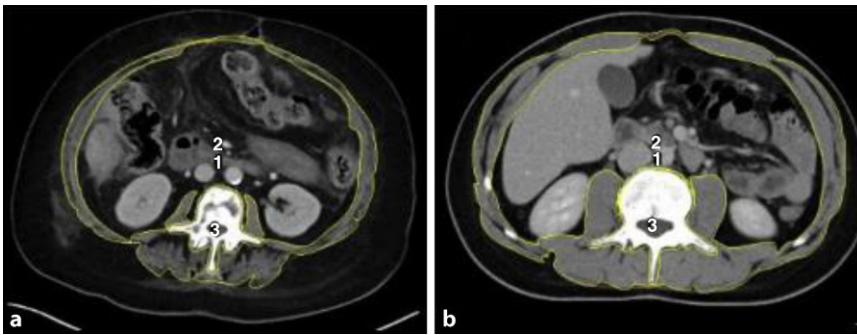


Abb. 1 ▲ Skelettmuskelfläche bei reduziertem (a) und gesundem (b) Muskelstatus. Konturierung (gelb) der äußeren (1) und inneren (2) Grenze der gesamten abdominellen Muskulatur sowie des dritten Lendenwirbels (3). [15]

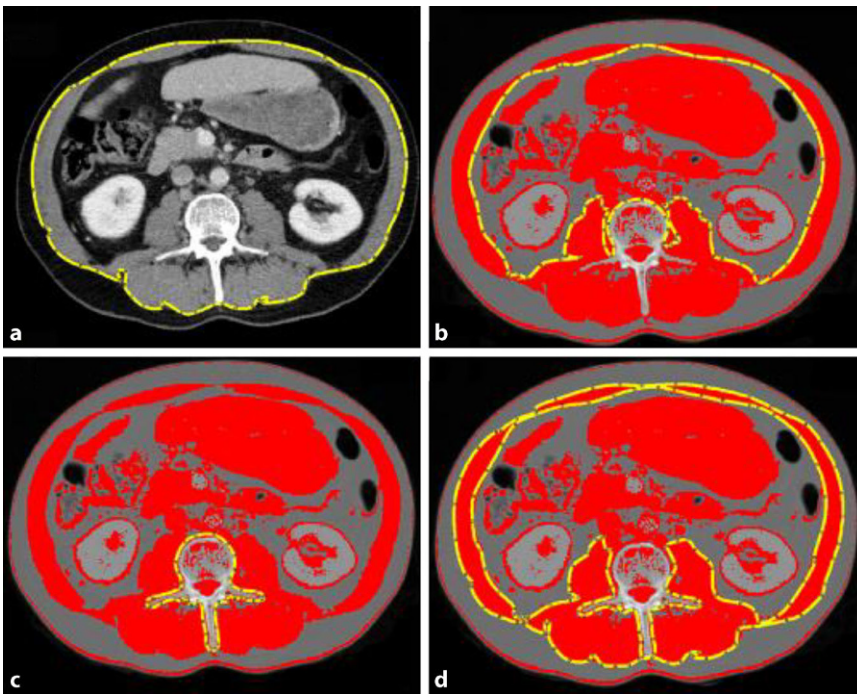


Abb. 2 ▲ Computertomographie(CT)-Analyse der Körperzusammensetzung. Bestimmung der skelettalen Muskelfläche (SMA) und der Muskeldichte (MRA) in axialen CT-Schnitten auf Höhe des dritten Lendenwirbels (L3). Markierung des äußeren Umfangs der abdominellen Muskulatur (gelbe Linie, a), des inneren Umfangs der abdominellen Muskulatur (gelbe Linie, b) sowie des Umfangs des 3. Lendenwirbelkörpers (gelbe Linie, c). Nach Anwendung eines muskelspezifischen Schwellenwerts (–29 bis +150 Hounsfield-Einheiten) erfolgt die Berechnung der SMA über Subtraktion der rot markierten Fläche in (b) bzw. (c) von (a, [11]). Der skeletale Muskelindex (SMI, [cm²/m²]) ergibt sich über die SMA dividiert durch die Körpergröße im Quadrat. Für die MRA ist die Definition einer Markierung um die gesamte abdominelle Muskulatur notwendig (d), da die Abschwächungswerte im Gegensatz zur Fläche nicht voneinander subtrahiert werden können [25]

licherweise eine einzelne 2-dimensionale CT-Schicht ausgewertet. Meist erfolgt die Analyse im Bereich der Lendenwirbelsäule auf Höhe des dritten Lendenwirbelkörpers (L3) als knöcherner Orientierungspunkt, da die Skelettmuskulatur in dieser Region eine starke Korrelation mit der Ganzkörpermuskulatur aufweist [28, 32].

Segmentierung

Die für die Messung erforderliche Segmentierung erfolgt in mehreren Arbeitsschritten. Nach Festlegung der zu verwendenden L3-Region werden die äußere und innere Begrenzung der gesamten abdominellen Muskulatur manuell markiert (Abb. 1). Von der Beschränkung auf nur

einzelne abdominelle Muskelgruppen, z. B. auf die Psoasmuskulatur, ist nach heutigem Kenntnisstand abzusehen, da ein deutlicher Messfehler im Sinne einer schwachen Korrelation zur gesamten abdominellen Muskelfläche und somit zur Gesamtkörpermuskulatur sowie weitere Verfälschungen durch fokale Atrophien im Rahmen von Erkrankungen der Wirbelsäule demonstriert wurden [30].

Mithilfe spezieller Softwareprogramme können im nächsten Schritt, basierend auf den jeweiligen HU-Werten, die unterschiedlichen Gewebetypen (Skelettmuskulatur bzw. Fettgewebe [viszeral, subkutan, intramuskulär]) ausgewählt werden. So wird zur Messung von Muskelgewebe ein muskelspezifischer Grenzwert von –29 bis +150 HU verwendet. Sind Informationen über den Fettanteil gewünscht, wird ein fettspezifischer Grenzwert (–150 bis –30 HU) gewählt. Die Muskelfläche (SMA) und Muskeldichte (MRA) ergeben sich dann nach Anwendung des muskelspezifischen Grenzwerts aus der Pixelfläche der markierten abdominellen Muskulatur (s. Details Abb. 2).

» Die Muskelfläche und Muskeldichte ergeben aus der Pixelfläche der markierten abdominellen Muskulatur

Über die SMA kann mithilfe der Körpergröße der skeletale Muskelindex (SMI) berechnet werden ($SMI = SMA [cm^2] / Körpergröße [m]^2$; [32]). Sowohl für den SMI als auch die MRA liegen zahlreiche Studien vor, die populationspezifisch sowie nach Geschlecht und Alter differenzierte Cut-off-Werte zur Einordnung von Patient:innen anhand ihres SMI bzw. MRA als sarkopen oder nicht-sarkopen bieten [7, 23, 25]. Auch für die Berechnung der viszeralen Fettmasse und Gesamtfettmasse aus der Fläche an fetthaltigen Voxeln auf Höhe von L3 liegen Umrechnungsformeln vor [36].

Bei der Auswahl der CT-Datensätze ist die Berücksichtigung der Kontrastmittelpphase von Relevanz. Während Kontrastmittel keinen Einfluss auf die Bestimmung der Muskelmasse und des SMI hat, wird die Muskeldichte durch Kontrastmittel signifikant beeinflusst [31]. Sollten keine nativen Untersuchungen vorliegen, ist darauf

zu achten, eine identische Kontrastmittelphase (z. B. alle portalvenös) zu wählen, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Zu den Limitationen der Methode zählen eine eingeschränkte Beurteilbarkeit der CT z. B. durch Metall- oder Bewegungsartefakte oder eine erschwerte Muskeldarstellung bei Abdomen apertum etc. Weiterhin kann die Unterscheidung von Wasser- bzw. Fetteinlagerungen bei kapillarem Leck zu falsch-positiver Myosteatosediagnostik führen [1].

Manuelle vs. automatisierte Segmentierung

Die Analyse von CT-Schichten liefert die Möglichkeit einer genauen Darstellung der Körperkompartimente. Die heutzutage für diese Diagnostik eingesetzten Softwareprogramme erfordern allerdings in der Regel zunächst eine Extraktion der zu untersuchenden Schicht und manuelles Markieren (Segmentierung) der zu betrachtenden Regionen. Die Bearbeitung einer einzelnen CT erfordert damit etwa 20–30 min, was im Fall eines Einsatzes als Routinediagnostik für mehrere Patient:innen täglich zu einem erheblichen Mehraufwand führen kann [28].

» Zur manuellen Segmentierung sind kostenlose Softwarepakete verfügbar

Es gibt mittlerweile zahlreiche und teils kostenlose Softwarepakete, die für die manuelle Segmentierung entwickelt worden sind: OsiriX (Pixmeo, Bernex, Schweiz), SliceOmatic (TomoVision, Magog, Kanada), Mimics (Materialise HQ, Leuven, Belgien), ImageJ (National Institute of Health [NIH], Laboratory for Optical and Computation Instrumentation, Bethesda, MA, USA). Die Arbeitsgruppe von Gomez-Perez et al. hat eine ausführliche Schritt-für-Schritt-Anleitung für die Messung des SMI mittels der ImageJ-Software (kostenloser Download auf der Homepage des NIH möglich) publiziert [11].

Studien, die Programme für automatisierte Segmentierung mittels Deep Learning und neuronaler Netze (z. B. AutoMATICA, Waterloo, ON, Canada) mit manueller Analyse vergleichen, sind noch in der Entwicklung, die bereits publi-

zierten Ergebnisse sind vielversprechend. Eine automatisierte Analyse kann jedoch aktuell noch nicht suffizient zwischen einem verwertbaren und einem z. B. artefaktbehaftetem, nichtverwertbarem Bild unterscheiden. Aus diesem Grund bedarf es weiterhin noch der manuellen Überprüfung und ggf. Korrektur, weshalb auch hier die radiologische Expertise weiterhin zwingend erforderlich ist.

CT-basiert identifizierte Myosteato- und Sarkopenie als Prognosefaktoren

Verringerte Muskelmasse bzw. eine Sarkopenie kann ebenso wie eine Myosteato- (Muskelverfettung) computertomographisch bestimmt werden [6, 32]. Der Einfluss einer pathologisch veränderten Körperzusammensetzung auf das Outcome der Patient:innen wurde bereits in vielen Arbeiten.

So konnte die Health-ABC-Studie bereits 1985 an 2627 Patient:innen zwischen 70–79 Jahre zeigen, dass eine verminderte Muskeldichte unabhängig von der Muskelmasse mit einer geringeren Muskelkraft einherging [12]. Weitere Arbeiten haben bestätigt, dass die Abnahme der Muskelkraft stark mit dem Fettgehalt der Skelettmuskulatur korreliert und dass dieses mit einer erhöhten Mortalität einhergeht [9, 20, 22, 23]. So hat eine neuere Untersuchung präinterventioneller CT-Aufnahmen von 937 Patient:innen vor katheterbasierter Aortenklappenimplantation (TAVI) gezeigt, dass ein erhöhter Fettgehalt der Muskulatur signifikant mit einer erhöhten Sterblichkeit einhergeht [22].

» Ein erhöhter Fettgehalt der Muskulatur geht signifikant mit einer erhöhten Sterblichkeit einher

Martin et al. konnten für Patient:innen mit maligner Grunderkrankung demonstrieren, dass neben unfreiwilligem Gewichtsverlust auch der Verlust an Muskelmasse, unabhängig vom Gesamtkörpergewicht, mit einer schlechteren Prognose einhergeht [23]. Eine Metaanalyse aus 2020 bestätigte, dass eine Myosteato- bei Patient:innen mit kolorektalen Karzinomen mit einer schlechteren Gesamtüberlebensrate einhergeht [20]. In einer weiteren

Metaanalyse mit insgesamt 9 Studien und kumulativ 1667 Patient:innen mit Bronchialkarzinom erwies sich eine Myosteato- als unabhängiger, negativer prognostischer Faktor für die Überlebenswahrscheinlichkeit [9]. Auch bei Patient:innen mit pankreatischem und periampullärem Karzinom zeigte das Vorliegen einer Sarkopenie, einer Myosteato- oder einer sarkopenen Myosteato- (Mischbild) eine Assoziation mit einer erhöhten Mortalität [33]. Bei 678 Patient:innen mit fortgeschrittener Lebererkrankung, die auf eine Transplantation warteten, waren Myosteato-, Sarkopenie und v. a. ein Mischbild aus beidem und zusätzliche Adipositas mit erhöhter Langzeitsterblichkeit assoziiert [27]. Eine prospektive Studie, die ambulante onkologische Patient:innen mit soliden Tumoren untersuchte, konnte zusätzlich nachweisen, dass die CT-Diagnostik hinsichtlich der Diagnosestellung einer Mangelernährung den herkömmlichen Screeningtools und Ernährungsfragebögen überlegen war [8].

Problematisch ist, dass sowohl oftmals Angaben zur Verwendung von Kontrastmittel bzw. zur Kontrastmittelphase der CT-Untersuchungen fehlen als auch dass teilweise differierende Cut-off-Werte für einzelne muskelspezifische Parameter und damit für die Diagnosestellung einer Sarkopenie zugrunde gelegt wurden, was die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien untereinander einschränken kann.

Entsprechend wurde durch die Kolleg:innen um Kemper et al. vorgeschlagen, neben der Verwendung von Cut-off-Werten auch originäre metrische Messwerte in linearer Assoziation zu den Verlaufs- bzw. Outcome-Parametern zu verwenden [15].

Aktuelle Studienlage zur CT-Analyse bei Intensivpatient:innen

Die CT-gesteuerte Analyse der Körperzusammensetzung wird auch bei Intensivpatient:innen angewendet, wobei bisher deutlich weniger Arbeiten für dieses Patient:innenkollektiv vorliegen.

Eine Kohortenstudie mit 155 Patient:innen einer medizinischen Intensivstation, zeigte, dass der Skelettmuskelindex und die Skelettmuskeldichte bei Aufnahme signifikant negativ mit dem

Hier steht eine Anzeige.



Langzeitüberleben korreliert waren und somit als prognostische Faktoren betrachtet werden konnten. Das Vorliegen einer Myosteatose war, je nach Ausprägung, darüber hinaus mit längerer Beatmungsdauer, längerem Krankenhausaufenthalt und dem Auftreten septischer Krankheitsbilder assoziiert. Patient:innen mit Diabetes mellitus oder arterieller Hypertonie neigten zu höhergradiger Ausprägung von Myosteatose [21].

» Eine Myosteatose war mit dem Auftreten septischer Krankheitsbilder assoziiert

In einer Gruppe von 149 Intensivpatient:innen mit Trauma und einem Durchschnittsalter von 79 Jahren wurde anhand einer CT-Untersuchung zum Aufnahmezeitpunkt bereits bei 71 % eine Sarkopenie diagnostiziert. Es ergab sich keine Korrelation zum BMI, da 37 % der Patient:innen normgewichtig und 57 % übergewichtig oder adipös waren. Eine solche Sarkopenie bei Übergewicht bzw. Adipositas entspricht dem oftmals unterdiagnostizierten Krankheitsbild der „sarcopenic obesity“. Diese Studie verdeutlicht die geringe Aussagekraft des BMI bei Intensivpatient:innen und die Relevanz der CT-Analyse zur Körperzusammensetzung. In der Arbeit zeigte sich ferner eine signifikante Assoziation zwischen Sarkopenie und erhöhter Mortalität sowie Beatmungsdauer und Länge des Intensivaufenthalts [24].

Für Intensivpatient:innen mit Leberzirrhose wurde gezeigt, dass bei etwa zwei Drittel zum Aufnahmezeitpunkt eine Sarkopenie bestand, was das Risiko für eine Sepsis 1,7fach erhöhte und das Mortalitätsrisiko um das 4fache steigerte [16]. Auch bei chirurgischen Intensivpatient:innen fand sich eine signifikante Korrelation von niedrigem SMI und Myosteatose sowie der 90-Tage-Mortalität. Hier waren ebenfalls Beatmung und Intensivaufenthalt aufgrund von Myosteatose signifikant verlängert [10]. Lambell et al. zeigten anhand serieller CT-Analysen von 32 Patient:innen, dass es zu einem signifikanten Verlust an Skelettmuskulatur innerhalb der ersten 3 Wochen des Intensivaufenthalts kam, wohingegen im Verlauf, vor allem nach der 5. Woche, keine

relevante Veränderung von Muskelfläche und -dichte mehr auftrat. In dieser Arbeit, mit nur geringem Patient:inneneinschluss, ließ sich kein Einfluss der Energie- bzw. Eiweißzufuhr auf die Veränderungen der Muskulatur nachweisen [19]. In einer retrospektiven Kohortenstudie mit 35 Intensivpatient:innen konnten in Verlaufs-CT mit einem durchschnittlichen Abstand von 10 Tagen eine nichtsignifikante Reduktion der Skelettmuskulatur bei unverändertem intramuskulärem und viszeralem Fettanteil gezeigt werden [4].

» Innerhalb der ersten 3 Wochen kam es zu einem signifikanten Verlust an Skelettmuskulatur

In Studien, die bei Patient:innen mit Infektion durch „severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2“ (SARS-CoV-2) durchgeführt wurden, erfolgte die CT-Analyse bei fehlender abdomineller Bildgebung häufig auf thorakalen CT-Schichten. In einer kürzlich publizierten Arbeit wurden Analysen von CT-Schichten des 12. Brustwirbels mit denen des 3. Lendenwirbelkörpers verglichen. Es zeigte sich eine gute bis sehr gute Korrelation für SMA und MRA, darüber hinaus ließen sich die abdominellen Werte durch thorakale Messungen präzisieren [26]. Besutti et al. zeigten, dass eine hohe Muskeldichte im Sinne einer gesünderen Muskulatur einen positiven Einfluss auf das Outcome hat, während ein erhöhter Fettgeweanteil mit einer erhöhten Hospitalisierungsrate und signifikant häufiger mit einer maschinellen Beatmung sowie erhöhter Sterblichkeit einher ging [3].

Resümee und Ausblick

Die bislang publizierten Arbeiten zur CT-Analyse der Körperzusammensetzung unterstreichen eindrucksvoll wie outcome- und prognoserelevant der Ernährungszustand von Intensivpatient:innen ist. Das Verfahren ist mittlerweile gut validiert. Vergleichende Untersuchungen mit der BIA erbrachten eine gute Korrelation mit Befunden aus der CT-Analyse [17, 18]. Nur wenige Daten liegen bisher zum Einfluss der Ernährungstherapie auf die in der CT erfassbaren Veränderungen der Körperzusammensetzung vor, was sicherlich in Zu-

kunft Gegenstand weiterer Untersuchungen sein wird.

Dass die CT-Analyse derzeit im klinischen Alltag nur selten in der täglichen Routine eingesetzt wird, hat verschiedene Gründe. Die größte Hürde zur Anwendung dieser Methode ist die zeitaufwendige Bearbeitung durch in der CT-Diagnostik erfahrene Radiolog:innen. Ein risikobehafteter Intensivtransport zur CT sowie die untersuchungsbedingte Strahlenbelastung können nicht allein für die Erhebung des Muskelstatus gerechtfertigt werden.

Es ist zu erwarten, dass sich die CT-Analyse als Diagnostikum bei bestimmten Krankheitsbildern, wie z. B. nekrotisierende Pankreatitis oder komplizierte postoperative Verläufe etc., bei denen Verlaufsuntersuchungen wahrscheinlich sind, weiter etablieren wird. Auch Langzeitverläufe chronisch kritisch Kranker könnten ein sinnvolles Einsatzfeld darstellen. Für Patient:innen, bei denen keine medizinisch rechtfertigende Indikation zur Schichtbildung besteht, könnten andere, weniger aufwendige Verfahren zur Beurteilung des Muskelstatus wie die Sonographie zur Anwendung kommen.

Automatisierte Softwareprogramme vereinfachen die CT-Analyse. Die Zukunft liegt in der Entwicklung intelligenter Programme des Deep Learning, die bereits in die Routine-CT-Diagnostik integriert sind. Basierend auf komplexen Algorithmen erfolgt die biomedizinische Bildsegmentierung der CT ohne zusätzliche bzw. nachträgliche Bearbeitung und liefert Informationen über die Körperzusammensetzung zeitgleich zu den übrigen CT-Befunden [28].

Fazit für die Praxis

- Die Beurteilung des Muskelstatus von Intensivpatient:innen ist unverzichtbar.
- Die Analyse von Computertomographien (CT) zur Körperzusammensetzung ist dafür bestens geeignet.
- Das Verfahren ist zeitaufwendig und erfordert erfahrende Untersucher:innen.
- Auch wenn die Durchführung einer CT allein zur Beurteilung der Körperzusammensetzung nicht indiziert ist, sollten verfügbare CT beim Intensivpatienten auch zur Analyse der Körperzusammensetzung genutzt werden.

Korrespondenzadresse

Dr. Geraldine de Heer

Klinik für Intensivmedizin, Universitätsklinikum
Hamburg Eppendorf
Martinistraße 52, 20246 Hamburg, Deutschland
deheer@uke.de

Förderung. Die Autoren erhielten keine finanzielle Unterstützung für die Erstellung des Manuskripts.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. G. de Heer erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von der Fa. B. Braun und von Fresenius Kabi. J. Erley, M. Kemper, A. Ogica, T. Weber und I. Molwitz geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Baggerman MR, van Dijk DPJ, Winkens B et al (2021) Edema in critically ill patients leads to overestimation of skeletal muscle mass measurements using computed tomography scans. *Nutrition* 89:111238
2. Beaudart C, McCloskey E, Bruyère O et al (2016) Sarcopenia in daily practice: assessment and management. *BMC Geriatr* 16:170
3. Besutti G, Pellegrini M, Ottone M et al (2021) The impact of chest CT body composition parameters on clinical outcomes in COVID-19 patients. *PLoS ONE* 16:e251768
4. Braunschweig CA, Sheehan PM, Peterson SJ et al (2014) Exploitation of diagnostic computed tomography scans to assess the impact of nutrition support on body composition changes in respiratory failure patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 38:880–885
5. Cederholm T, Jensen GL, Correia M et al (2019) GLIM criteria for the diagnosis of malnutrition—a consensus report from the global clinical nutrition community. *Clin Nutr* 38:1–9
6. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J et al (2018) Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 48:16–31
7. Derstine BA, Holcombe SA, Goulson RL et al (2017) Quantifying sarcopenia reference values using lumbar and thoracic muscle areas in a healthy population. *J Nutr Health Aging* 21:180–185
8. Éb NB, Daly LE, Power DG et al (2018) Computed tomography diagnosed cachexia and sarcopenia in 725 oncology patients: is nutritional screening capturing hidden malnutrition? *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 9:295–305
9. Feng S, Mu H, Hou R et al (2022) Prognostic value of myosteatosis in patients with lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Int J Clin Oncol* 27:1127–1138
10. Giani M, Rezoagli E, Grassi A et al (2022) Low skeletal muscle index and myosteatosis as predictors of

Routine computed tomography body composition analysis—experience in intensive care patients

The assessment of the nutritional status of patients in the intensive care unit is recommended in current guidelines and should include the assessment of muscle status. A suitable method is the analysis of routine computed tomography (CT) scans, which are frequently performed in critically ill patients. With the help of special software, individual CT slices are processed and various parameters such as muscle area, muscle density or even the percentage of adipose tissue are displayed and quantified. It has been shown that cross-sectional acquisition of skeletal muscle in the lumbar spine correlates very well with total body muscle. There are defined, albeit population-based, cut-off values that can be used to establish diagnosis of sarcopenia. Monitoring of individualized nutritional therapy can be accomplished by assessment of repetitive CT examinations. The steadily growing body of data confirms that the method can make a valuable contribution to the assessment of body composition in intensive care medicine. Most of the currently available software requires time-consuming processing of the CT. Automated programs, which are now occasionally available and eliminate the need for most manual processing, may make the method even more attractive in the future. Ultimately, the risk of intensive transport to the CT or radiation exposure may be only justified for medical indications. Nevertheless, whenever CT is available for medical reasons, it should also be exploited for composition analysis.

Keywords

Nutritional status · Diagnostic imaging · Sarcopenia · Nutrition therapy · Malnutrition

- mortality in critically ill surgical patients. *Nutrition* 101:111687
11. Gomez-Perez SL, Haus JM, Sheehan P et al (2016) Measuring abdominal circumference and skeletal muscle from a single cross-sectional computed tomography image: a step-by-step guide for clinicians using national institutes of health image. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 40:308–318
12. Goodpaster BH, Carlson CL, Visser M et al (2001) Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: the health ABC study. *J Appl Physiol* 90:2157–2165
13. Hiura G, Lebwohl B, Seres DS (2020) Malnutrition diagnosis in critically ill patients using 2012 academy of nutrition and dietetics/American society for parenteral and enteral nutrition standardized diagnostic characteristics is associated with longer hospital and intensive care unit length of stay and increased in-hospital mortality. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 44:256–264
14. Holmes CJ, Racette SB (2021) The utility of body composition assessment in nutrition and clinical practice: an overview of current methodology. *Nutrients* 13(8):2493. <https://doi.org/10.3390/nu13082493>
15. Kemper M, Molwitz I, Krause L et al (2021) Are muscle parameters obtained by computed tomography associated with outcome after esophagectomy for cancer? *Clin Nutr* 40:3729–3740
16. Khan S, Benjamin J, Maiwall R et al (2022) Sarcopenia is the independent predictor of mortality in critically ill patients with cirrhosis. *J Clin Transl Res* 8:200–208
17. Kim D, Sun JS, Lee YH et al (2019) Comparative assessment of skeletal muscle mass using computerized tomography and bioelectrical impedance analysis in critically ill patients. *Clin Nutr* 38:2747–2755
18. Lambell KJ, Earthman CP, Tierney AC et al (2021) How does muscularity assessed by bedside methods compare to computed tomography muscle area at intensive care unit admission? A pilot prospective cross-sectional study. *J Hum Nutr Diet* 34:345–355
19. Lambell KJ, Goh GS, Tierney AC et al (2021) Marked losses of computed tomography-derived skeletal muscle area and density over the first month of a critical illness are not associated with energy and protein delivery. *Nutrition* 82:111061
20. Lee CM, Kang J (2020) Prognostic impact of myosteatosis in patients with colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 11:1270–1282
21. Loosen SH, Schulze-Hagen M, Püngel T et al (2020) Skeletal muscle composition predicts outcome in critically ill patients. *Crit Care Explor* 2:e171
22. Luetkens JA, Faron A, Geissler HL et al (2020) Opportunistic computed tomography imaging for the assessment of fatty muscle fraction predicts outcome in patients undergoing transcatheter aortic valve replacement. *Circulation* 141:234–236
23. Martin L, Birdsell L, Macdonald N et al (2013) Cancer cachexia in the age of obesity: skeletal muscle depletion is a powerful prognostic factor, independent of body mass index. *J Clin Oncol* 31:1539–1547
24. Moisey LL, Mourtzakis M, Cotton BA et al (2013) Skeletal muscle predicts ventilator-free days, ICU-free days, and mortality in elderly ICU patients. *Crit Care* 17:R206
25. Molwitz I, Kemper M, Krause L et al (2022) Importance of computed tomography muscle quality and continuous versus cut-off-based sarcopenia detection in major hepatic surgery. *Ann Transl Med* 10:955
26. Molwitz I, Ozga AK, Gerdes L et al (2022) Prediction of abdominal CT body composition parameters by thoracic measurements as a new approach to detect sarcopenia in a COVID-19 cohort. *Sci Rep* 12:6443
27. Montano-Loza AJ, Angulo P, Meza-Junco J et al (2016) Sarcopenic obesity and myosteatosis are

- associated with higher mortality in patients with cirrhosis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 7:126–135
28. Paris MT (2020) Body composition analysis of computed tomography scans in clinical populations: the role of deep learning. *Lifestyle Genom* 13:28–31
 29. Plank LD, Hill GL (2000) Similarity of changes in body composition in intensive care patients following severe sepsis or major blunt injury. *Ann NY Acad Sci* 904:592–602
 30. Poltronieri TS, de Paula NS, Chaves GV (2020) Assessing skeletal muscle radiodensity by computed tomography: an integrative review of the applied methodologies. *Clin Physiol Funct Imaging* 40:207–223
 31. Rollins KE, Javanmard-Emamghissi H, Awwad A et al (2017) Body composition measurement using computed tomography: does the phase of the scan matter? *Nutrition* 41:37–44
 32. Shen W, Panyanitya M, Wang Z et al (2004) Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image. *J Appl Physiol* 97:2333–2338
 33. Stretch C, Aubin JM, Mickiewicz B et al (2018) Sarcopenia and myosteatosis are accompanied by distinct biological profiles in patients with pancreatic and periampullary adenocarcinomas. *PLoS ONE* 13:e196235
 34. Tolonen A, Pakarinen T, Sassi A et al (2021) Methodology, clinical applications, and future directions of body composition analysis using computed tomography (CT) images: a review. *Eur J Radiol* 145:109943
 35. Weimann A, Hartl WH, Adolph M et al (2022) Assessment and technical monitoring of nutritional status of patients in intensive and intermediate care units: position paper of the section metabolism and nutrition of the German interdisciplinary association for intensive and emergency medicine (DIVI). *Med Klin Intensivmed Notfmed* 117:37–50
 36. Zopfs D, Theurich S, Grosse Hokamp N et al (2020) Single-slice CT measurements allow for accurate assessment of sarcopenia and body composition. *Eur Radiol* 30:1701–1708



Tipp: Post-COVID Neuer Kurs zum Leitlinien-Update



Der Kurs bringt das komplexe Thema anhand eines anschaulichen Praxisfalls auf den Punkt. Bei jedem diagnostischen oder therapeutischen Schritt stellt der Kurs Ihnen zusätzliches Fachwissen und die Inhalte der Leitlinie zur Verfügung.

- Interaktiver Praxisfall
- Kompaktes Fachwissen zur S1-Leitlinie
- Praxishilfen zum Download
- Zertifiziert mit 4 Punkten



➤ Jetzt gratis teilnehmen!

Mehr Informationen:
[SpringerMedizin.de/Post-Covid](https://www.springermedizin.de/post-covid)