

Radiologische Bestimmung der Gewebezusammensetzung im menschlichen Körper (*Body Composition*) – Methoden, Anwendungen und Aussichten

Body composition analysis by radiological imaging – methods, applications, and prospects

Autorinnen/Autoren

Nicolas Linder^{1,2}, Timm Denecke¹, Harald Busse¹

Institute

- 1 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University of Leipzig Medical Center, Leipzig, Germany
- 2 Division of Radiology and Nuclear Medicine, Kantonsspital St. Gallen, Sankt Gallen, Switzerland

Keywords

CT, MR-imaging, physiological studies, treatment effects, CT-quantitative, metabolic Disorders

eingereicht 24.6.2023

akzeptiert nach Revision 24.12.2023

Artikel online veröffentlicht 2024

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr

DOI 10.1055/a-2263-1501

ISSN 1438-9029

© 2024, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Nicolas Linder

Division of Radiology and Nuclear Medicine, Kantonsspital St. Gallen, Sankt Gallen, Switzerland

Tel.: +41/71 494 9089

nicolas.linder@kssg.ch

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die vorliegende Arbeit stellt die quantitative Erfassung der Gewebezusammensetzung im menschlichen Körper (Body Composition) mit den Mitteln der Radiologie vor. Derartige Analysen gewinnen vor allem bei onkologischen und metabolischen Fragestellungen an Bedeutung. Zielsetzung ist es, einer radiologischen Leserschaft die unterschiedlichen Methoden und Definitionen auf diesem Gebiet vorzustellen, um deren Anwendung und Verbreitung zu erleichtern. Das Hauptaugenmerk gilt dabei der radiologischen Schnittbildgebung.

Methoden Die Übersicht stützt sich auf eine aktuelle Literaturrecherche im Katalog der US-amerikanischen National Library of Medicine (pubmed.gov) mit entsprechenden Suchbegriffen (body composition, obesity, sarcopenia, osteopenia in Verbindung mit imaging bzw. radiology), sowie auf eigene Arbeiten und Erfahrungen, insbesondere mit der MRT- und CT-gestützten Analyse abdomineller Fettkompartimente und Muskelgruppen.

Ergebnisse und Schlussfolgerung Zentrale Nachverarbeitungsmethoden wie die Segmentierung von tomografischen Datensätzen sind inzwischen gut etabliert und finden in zahlreichen klinischen Studien Anwendung, u. a. in der Adipositas-Chirurgie. Für die verlässliche Beurteilung der radiologischen Messgrößen, z. B. einer Verfettung von Leber oder Muskulatur, sind validierte Referenzwerte erforderlich. Ansätze der Künstlichen Intelligenz (Deep Learning) ermöglichen bereits heute die automatisierte Segmentierung unterschiedlicher Gewebe und Kompartimente, damit die umfangreichen Datensätze zeiteffizient bearbeitet werden können – beim sogenannten opportunistischen Screening sogar retrospektiv aus diagnostischen Untersuchungen. Als Limitation gilt die Verfügbarkeit von Analyse-Werkzeugen sowie geeigneter Datensätze für das KI-Training.

Kernaussagen

- Radiologische Bildgebungsmethoden werden zunehmend zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (Body Composition, BC) herangezogen.
- Die BC-Parameter sind in der Regel quantitativ und gut reproduzierbar
- CT-Bilddaten aus klinischen Routineuntersuchungen lassen sich retrospektiv für eine BC-Analyse verwenden
- Prospektiv bieten sich MRT-Untersuchungen an, um auch organspezifische BC-Parameter zu bestimmen
- Perspektivisch bedeutsam erscheinen automatisierte und vertiefte Analyseverfahren (Deep Learning bzw. Radiomics)

Zitierweise

- Linder N, Denecke T, Busse H. Body composition analysis by radiological imaging – methods, applications, and prospects. Fortschr Röntgenstr 2024; DOI 10.1055/a-2263-1501

ABSTRACT

Background This review discusses the quantitative assessment of tissue composition in the human body (body composition, BC) using radiological methods. Such analyses are gaining importance, in particular, for oncological and metabolic problems. The aim is to present the different methods and definitions in this field to a radiological readership in order to facilitate application and dissemination of BC methods. The main focus is on radiological cross-sectional imaging.

Methods The review is based on a recent literature search in the US National Library of Medicine catalog (pubmed.gov) using appropriate search terms (body composition, obesity, sarcopenia, osteopenia in conjunction with imaging and radiology, respectively), as well as our own work and experience,

particularly with MRI- and CT-based analyses of abdominal fat compartments and muscle groups.

Results and Conclusion Key post-processing methods such as segmentation of tomographic datasets are now well established and used in numerous clinical disciplines, including bariatric surgery. Validated reference values are required for a reliable assessment of radiological measures, such as fatty liver or muscle. Artificial intelligence approaches (deep learning) already enable the automated segmentation of different tissues and compartments so that the extensive datasets can be processed in a time-efficient manner – in the case of so-called opportunistic screening, even retrospectively from diagnostic examinations. The availability of analysis tools and suitable datasets for AI training is considered a limitation.

Hintergrund und Methodik

Die Zusammensetzung des menschlichen Körpers (*Body Composition*, kurz: BC) aus verschiedenen Gewebearten, insbesondere Fett, Muskulatur und Knochen, kann mit den Methoden der Radiologie quantifiziert werden. Von besonderer Relevanz sind derartige Analysen bei Krankheitsbildern wie Übergewicht und Adipositas (Fettleibigkeit), Kachexie (pathologischer Muskelschwund) und Sarkopenie (altersbedingter Muskelschwund) sowie Osteopenie (Verminderung der Knochendichte) und Osteoporose (Knochenabbau mit Frakturgefahr). ► **Abb. 1** fasst die wesentlichen Begriffe der BC zusammen. Vor allem die Computertomografie (CT) und die Kernspintomografie (MRT) ermöglichen eine gute, nahezu anatomische Abgrenzung der Gewebe und bieten genaue Informationen über die räumliche Verteilung. Mit Hilfe von Gewebeparametern lassen sich Phänotypen identifizieren, die im Zusammenhang mit einer bestimmten Erkrankung stehen, zum Beispiel der sarkopenen Adipositas. Im klinischen Alltag der Radiologie werden BC-Parameter bisher kaum berücksichtigt. Befunde wie z. B. eine „viszeral betonte Adipositas“ oder „lipomatös aufgelockerte Rückenmuskulatur“ sind nicht üblich.

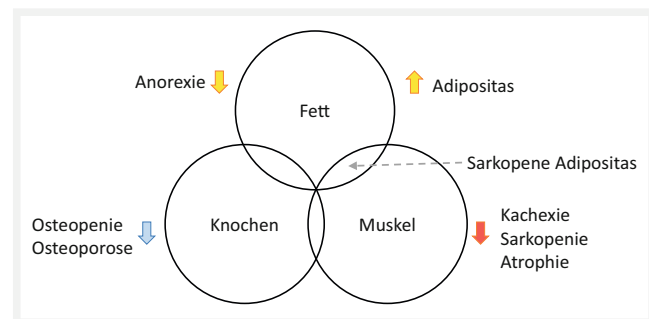
Die vorliegende Übersichtsarbeit stellt zunächst die gegenwärtigen Methoden und Besonderheiten einer BC-Analyse vor. Neben ausgewählten Beispielen aus der Forschung steht die Translation in die klinische Praxis im Vordergrund. Hierzu wurde die in der US-amerikanischen *National Library of Medicine* (pubmed.gov) gesammelte Literatur der letzten fünf Jahre nach den Begriffen *body composition*, *obesity*, *sarcopenia*, *osteopenia* in Verbindung mit den Schlüsselwörtern *imaging* oder *radiology* durchsucht, um relevante Arbeiten auszuwählen.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist ein besseres Verständnis der aktuell verfügbaren Anwendungen. Der Schwerpunkt liegt auf tomografischen Verfahren, die für eine genaue räumliche Gewebedarstellung, z. B. dem viszeralen Fettkompartiment (*visceral adipose tissue*, VAT), erforderlich sind. Grundsätzlich lassen sich BC-Parameter auch mit einfacheren Verfahren wie z. B. der DEXA (*Dual Energy X-ray Absorptiometry*) erheben. Dies geht jedoch oft mit Limitationen einher, z. B. der Unterschätzung des viszeralen Fettanteils (VAT, *visceral adipose tissue*) [1]. Ein weiterer Vorteil

der Tomografie ist die große Auswahl an verfügbaren Biomarkern. Bei der Muskulatur lässt sich z. B. neben dem Volumen auch die Fettinfiltration einzelner Muskel bestimmen [2]. Während die herkömmlichen Verfahren zur BC-Analyse Vorteile in der Verfügbarkeit und Durchführbarkeit aufweisen, sind CT und MRT vielseitiger und zuverlässiger. Für eine weiterführende Darstellung der Techniken und Einsatzmöglichkeiten von DEXA und Sonografie sei auf die Literatur verwiesen [3–9].

Parameter der Body Composition

Übergewicht und Adipositas werden von der Weltgesundheitsorganisation WHO als Verhältnis von Körpergewicht und Quadrat der Körpergröße (*Body-Mass-Index*) definiert mit Schwellwerten bei 25 bzw. 30 kg/m² [10]. Die Prävalenz der Adipositas hat in den vergangenen Jahren global zugenommen, mittlerweile zeigt ein Drittel der Bevölkerung Übergewicht bzw. Adipositas und es wird von einer Pandemie gesprochen [11]. Der BMI ist trotz bekannter Limitationen aufgrund der Einfachheit und Praktikabilität weiterhin das am weitesten verbreitete Maß der BC [12]. Intra-individuelle Änderungen des BMI im Verlauf einer Therapie gelten als besonders aussagekräftig [13]. Aber auch Studien zu Übergewicht und Adipositas verwenden radiologische Methoden zur Beurteilung der BC, wenn die Anthropometrie nicht ausreicht [14–16], z. B. zur Unterscheidung von Fett- und Muskelmasse [17]. Erst kürzlich wurde der eingeschränkte Nutzen anthropo-



► **Abb. 1** Übersicht zu den Begriffen der Body Composition.

metrischer Parameter in einer longitudinalen Studie mit über 3000 Probanden aufgezeigt. Dabei hatten sich über zwei Jahre BMI, Körpergewicht oder WHR (*waist-to-hip-ratio*) der Teilnehmer praktisch nicht verändert, während sich mit der MRT deutliche Veränderungen im viszeralen und intermuskulären Fettgewebe gezeigt hatten [18]. Eine umfangreiche Segmentierung sämtlicher Schnittbilder im Sinne einer volumetrischen BC-Erfassung ist eher selten. Häufig beschränkt sich die Analyse aus Zeitgründen auf die Segmentierung einer repräsentativen Schicht, z. B. auf Höhe der Lendenwirbelsäule für die abdominelle Fettquantifizierung [1, 19–22]. Mit differenzierten Ansätzen kann die MRT beispielsweise bei longitudinalen Studien auch kleinere Änderungen in der *Body Composition* nachweisen, nicht selten bedeutend früher als herkömmliche Verfahren [18].

Bei der BC-Analyse der Muskulatur lassen sich sowohl die Größe als auch die Qualität beurteilen, insbesondere der Grad der Verfettung. Patienten mit einer onkologischen Grunderkrankung zeigen häufig eine eigene Form der Kachexie (*cancer cachexia*). Ein Schwund der Skelettmuskulatur geht mit einer eingeschränkten Funktion einher und lässt sich oft nur teilweise kompensieren, z. B. durch eine angepasste Ernährung [23]. Zur Optimierung des Vorgehens haben sich Studien schon früh damit beschäftigt, ob sich der Massenverlust der Muskulatur, z. B. im Rahmen der Sarkopenie, auch über die Reduktion der angeschnittenen Fläche eines Muskels auf einer definierten Höhe, häufig einer axialen CT-Aufnahme auf Höhe der Lendenwirbelsäule, nachweisen lässt [24]. Auch mit der MRT lassen sich Volumen und Qualität der Rumpfmuskulatur quantifizieren [25].

Die BC-Analyse von Knochen wird traditionell über die Röntgenschwächung gemessen – in Projektionstechnik mit der DEXA oder tomografisch mit der CT. Für periphere Knochen bietet die Bildgebung eigene Biomarker wie z. B. Durchmesser, Krümmung, Volumen oder dreidimensionale Geometrie [26]. Die MRT stellt für Knochengewebe spezielle Techniken bereit, mit denen sich die trabekuläre Knochenstruktur (QSM, *quantitative susceptibility mapping*) und die Kortikalis (UTE-Bildgebung, *ultrashort echo time TE*) analysieren lassen. Zur Unterscheidung zwischen osteoporotischen und pathologischen Frakturen bietet die MRT verschiedene Methoden zur Evaluation des Knochenmarkfetts, speziell die MR-Spektroskopie oder eine Bildgebung auf Basis der sogenannten chemischen Verschiebung zwischen Fett- und Wassersignalen [27].

Weiteres Zielorgan einer BC-Analyse ist die Leber, insbesondere im Zusammenhang mit der *Metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease* (MASLD). Auch hier bietet sich die MRT zur Bildgebung an, mit der sich Fett- und Wasseranteile aus dem Verhältnis der Signale der jeweiligen Wasserstoffkerne (PDFF, *proton density fat fraction*) bestimmen lassen. Hierzu werden die MRT-Signale zu mehr als zwei Zeitpunkten (oft sechs) aufgenommen und mit Hilfe einer speziellen Software-Applikation ausgewertet. Eine weitere, funktionelle Technik ist die MR-Elastografie (MRE), bei der über eine externe periodische Anregung (nichtinvasiv) Scherwellen im Körper erzeugt werden, die sich gewebespezifisch ausbreiten. Mit einer Serie von MR-Phasenbildern werden die Informationen über die mikroskopischen Auslenkungen während der Wellenausbreitung erfasst, aus der sich über ein mathematisches Inversionsverfahren ein Elastogramm ergibt, welches die

Verteilung der Gewebesteifigkeit darstellt. Die MRE wird seit langem zur nichtinvasiven Beurteilung der Fibrose der Leber eingesetzt, technisch lässt sich die Technik jedoch auch in weiteren Zielstrukturen nutzen, z. B. zur Bestimmung der mechanischen und elastischen Eigenschaften muskulärer Strukturen [28–30]. Wenngleich keine tomografische Technik, muss in diesem Zusammenhang auch die sonografisch basierte Elastografie als BC-Methode erwähnt werden, die abermals breite Anwendung in der Leber findet [31]. Im Vergleich zu den elastografischen Verfahren findet die MRT-Diffusionsbildgebung bisher, trotz ihrer klinischen Bedeutung für zahlreiche diagnostische Fragestellungen, nur sehr bedingte Anwendung zur BC-Erfassung. Dennoch gibt es vereinzelt Ansätze, z. B. zur Beurteilung von Knochengewebe [32, 33].

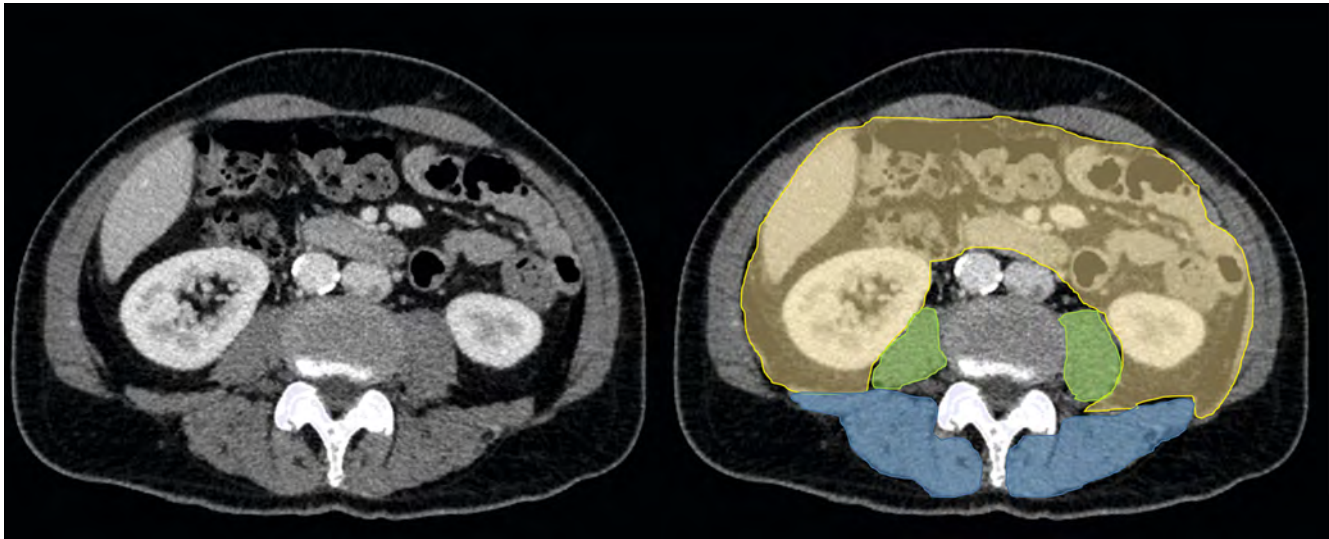
In einer alternden Gesellschaft treten die Phänotypen metabolischer Grunderkrankungen (Adipositas, Osteoporose oder Kachexie) häufig kombiniert auf und beeinflussen dann die BC. Dabei zeigen sich die Knochenmineralisation und Muskelmasse oft vermindert und der Körperfettgehalt erhöht [34]. Für eine standardisierte BC-Analyse müssen neben dem Alter auch das Geschlecht und die ethnische Herkunft einbezogen werden [35]. So zeigte z. B. bei Männern der intramuskuläre Fettgehalt eine ausgeprägte Assoziation mit kardiometabolischen Risikofaktoren, während das bei Frauen eher für das viszerale Fett galt [36]. Trotz gleichem BMI haben Menschen asiatischer Herkunft im Vergleich mit Kaukasiern oft einen höheren Körperfettanteil, eine vermehrte abdominale Adipositas und einen höheren Fettgehalt in Leber- und Muskelzellen [37].

Besonders vielversprechend sind BC-Parameter, die als Zielgrößen bzw. Biomarker für neuartige therapeutische Strategien dienen. Bei Patienten mit onkologischen Erkrankungen wird die körperliche Leistungsfähigkeit erfasst, um die Risiken von Morbidität und Mortalität abzuschätzen. Die krankheitsassoziierte und oft unbewusste Reduktion des Körpergewichts bei der Kachexie [38] kann nicht immer von der im Alter scheinbar physiologischen Abnahme der Muskelmasse im Rahmen der Sarkopenie unterschieden werden [39–42].

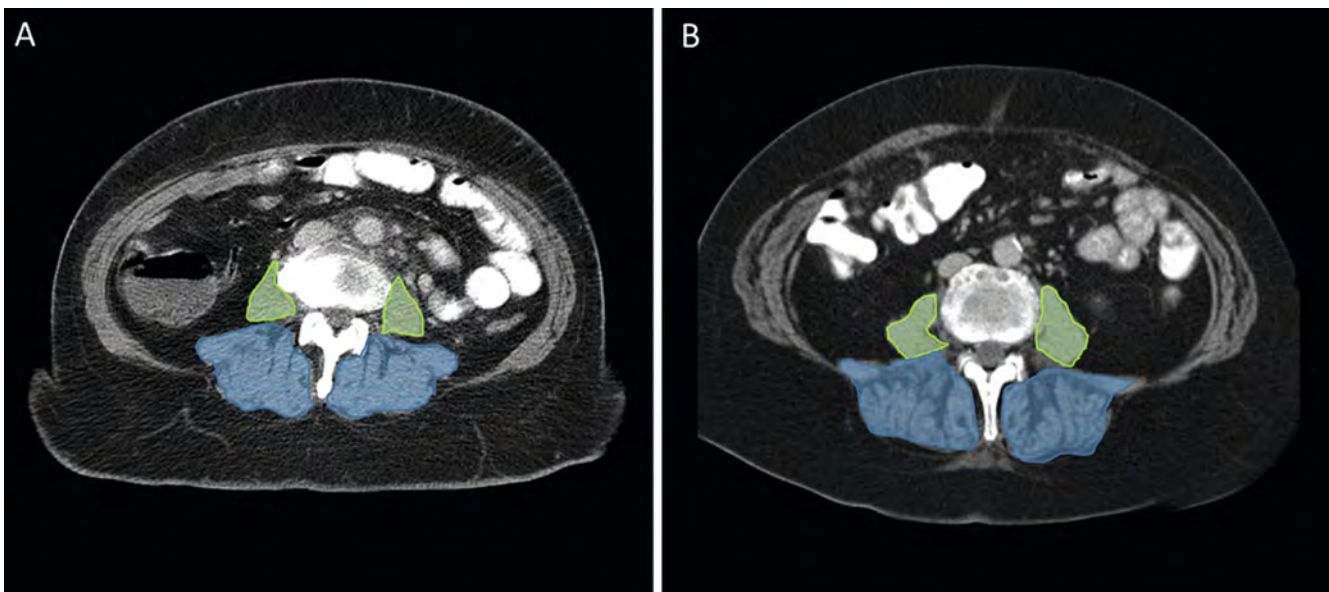
Die Schnittstelle zwischen Radiologie und anderen diagnostischen Disziplinen einschließlich der Humangenetik könnte Phänotypen noch genauer beschreiben [43]. Diese neuartige Interpretation von Diagnostik heißt in der englischsprachigen Literatur *integrated diagnostics* [44].

Bildgebungsverfahren und Auswertemethoden

Die Schnittbildgebung wird bereits seit den 1990er Jahren zur Quantifizierung von Fettkompartimenten eingesetzt. Die bisherigen radiologischen BC-Analysen sind meistens retrospektiv und nutzen z. B. onkologische CT-Daten im Rahmen des Stagings. In der Regel werden die entsprechenden Gewebe zunächst segmentiert, d. h. deren Grenzen oder Konturen digital markiert. ► **Abb. 2** zeigt exemplarisch die Segmentierung der Flächen gängiger Fett- und Muskelgruppen auf einer definierten axialen CT-Schicht. Hierfür stehen manuelle, halb- oder vollautomatisierte Analysewerkzeuge zur Verfügung, die sich in den radiologischen Arbeitsablauf einbetten lassen [16]. Im Rahmen von Forschungsprojekten wird die Software mitunter selbst entwickelt und für weitere Zwecke



► **Abb. 2** CT-Einzelschicht auf Höhe der mittleren LWS L3/L4 zur Beurteilung der Body Composition bei einem 60-jährigen Patienten ohne bekannte metabolische Grunderkrankung (BMI 20,8 kg/m²). Kompartimente des subkutanen (ohne Markierung, Fläche 89,3 cm²) und viszeralen (gelb, 43,5 cm²) Fettgewebe, des Psoas-Muskels (grün, 12,6 cm²) und der paravertebralen Muskulatur (blau, 50,1 cm²). Die mittlere Abschwächung der Muskulatur beträgt 40,4 Hounsfield-Einheiten (HU).

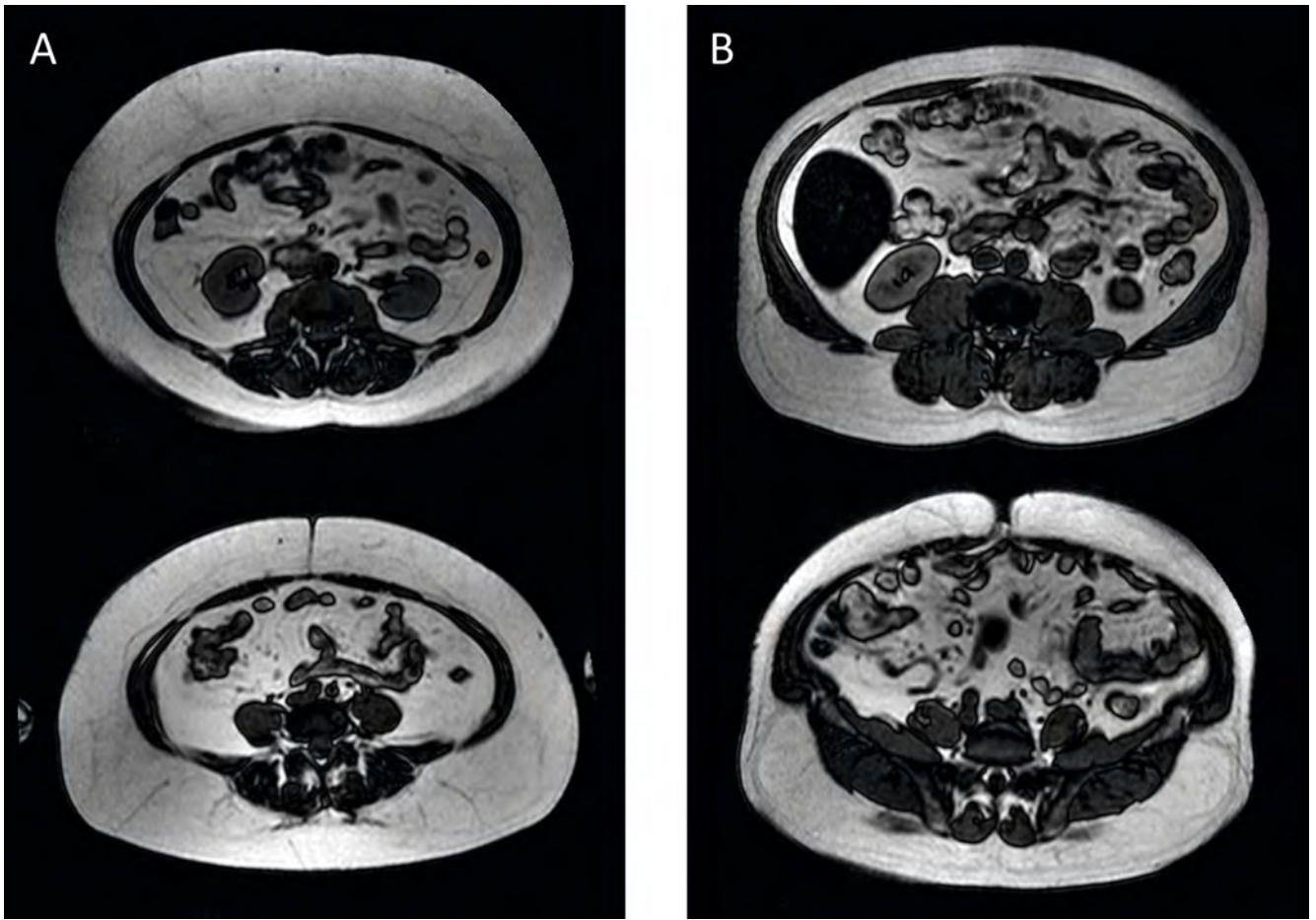


► **Abb. 3** Mittlere Muskel (Röntgen)-Abschwächung (MA) zur Beurteilung einer sarkopenen Adipositas. Die axialen CT-Aufnahmen zweier weiblicher Patienten mit ähnlichem BMI (**A**: 32,3 kg/m², **B**: 33,5 kg/m²) aber unterschiedlicher MA (**A**: 47,2 HU, **B**: 11,3 HU).

zur Verfügung gestellt, teilweise als offener Quellcode [45]. Dies ermöglicht eine flexible Anpassung und Erweiterung der Funktionalität, auch für Dritte, und geht in der Regel mit geringeren Kosten einher. Kommerzielle Applikationen sind weniger offen, lassen sich jedoch, je nach Grad der Zertifizierung (zum Beispiel als Medizinprodukt), meist unbedenklicher einsetzen und verfügen in der Regel auch über Schnittstellen zu den radiologischen Informationssystemen [46–48]. Zur Beschleunigung und Automatisierung der Auswertung finden mittlerweile Methoden des *Deep Learning* vermehrte Anwendung. Derartige Verfahren sind insbesondere für die Analyse großer Kohorten oder auf nationaler

Ebene erforderlich – ein prominentes Beispiel ist die Bewältigung der Datenmengen im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie [49–51].

Hinsichtlich der Verfügbarkeit von Bilddaten für eine BC-Analyse nimmt die CT eine gesonderte Rolle ein. Die Bildgebung ist relativ unkompliziert und schnell, oft Bestandteil radiologischer Routine-Untersuchungen, und wird bei Verlaufskontrollen entsprechend oft wiederholt. ► **Abb. 3** zeigt exemplarisch die Beurteilung einer Kombination von Sarkopenie und Adipositas. Ein Vorteil der CT gegenüber der MRT ist die einheitliche Skala der Messwerte (Hounsfield-Einheiten). In Zukunft könnte die quantitative CT auch bei



► **Abb. 4** MRT-Untersuchung von Patienten mit Adipositas: Vergleich von zwei Patienten mit ähnlichem Alter und BMI (A: weiblich, 50 Jahre alt, BMI 40,9 kg/m², B: männlich, 48 Jahre alt, BMI 39,2 kg/m²). Erst die Schnittbildgebung (A: Höhe mittlere LWS, L3/L4, B: Höhe lumbosakraler Übergang L5/S1) zeigt die Unterschiede zwischen gluteofemoralem (A) und viszeralem (B) Fettverteilungstyp.

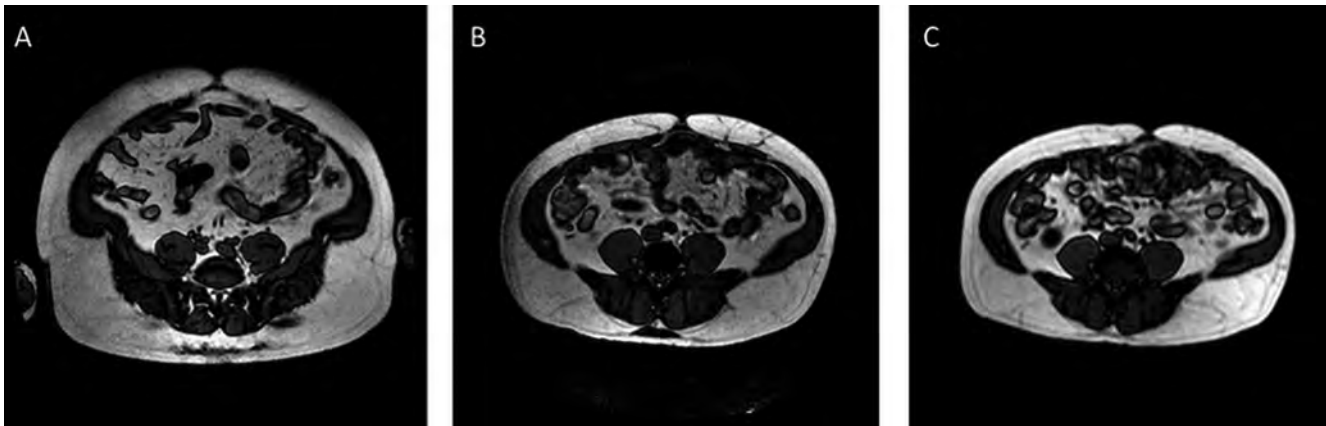
der Charakterisierung der MASLD eine größere Rolle spielen [52]. So gibt es z. B. eine *Deep-Learning*-Analyse der Skelettmuskulatur, die auf Routine-CT-Aufnahmen des Abdomens basiert [53]. Darüber hinaus lassen sich DL-Algorithmen auch für die Qualitätskontrolle der Bildgebung einsetzen [54].

In den letzten Jahren haben MRT-basierte BC-Analysen die Charakterisierung wichtiger metabolischer Krankheitsbilder verbessert, u. a. des metabolischen Syndroms oder Typ-2 Diabetes mellitus. Im Vordergrund standen Zusammenhänge mit der Insulinresistenz, dem viszeralen Fettgewebe oder dem Therapieerfolg nach Adipositas-Chirurgie. Exemplarisch zeigt ► **Abb. 5** die longitudinale MRT-Erfassung des relativen Fettanteils im Rahmen einer Intervention, konkret vor und nach Adipositas-Chirurgie. Auch für pharmakologische Studien kam die MRT vermehrt zum Einsatz. So konnten z. B. PDFF-Messungen, zumindest vorläufig, den positiven Effekt des Semaglutids auf die MASLD bestätigen, welches im Jahr 2023 öffentlich auch als „Abnehmspritze“ bezeichnet wurde [55, 56]. Auch nach bariatrischer Operation sinkt die PDFF typischerweise, ► **Abb. 6**.

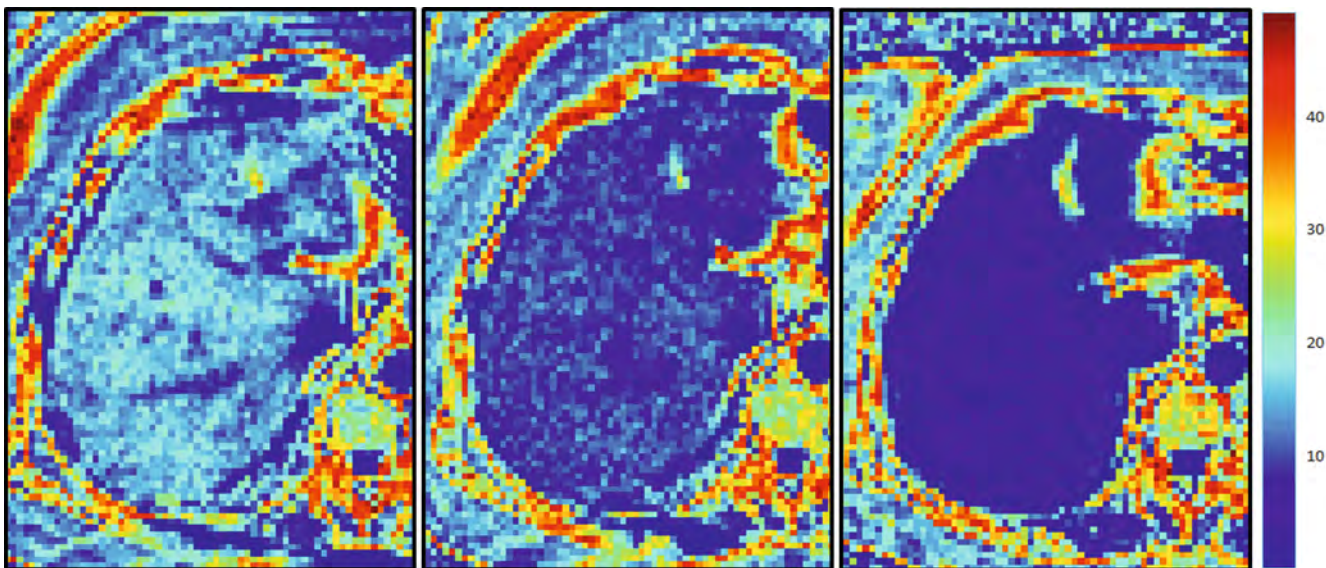
Die hierfür erforderlichen MRT-Sequenzen (T1-gewichtet oder Dixon-Technik) sind praktisch auf jedem Gerät verfügbar. Dennoch wird die Methode bislang nicht routinemäßig eingesetzt

[57]. Die interaktive Segmentierung von Fett- und Muskelflächen erfordert Zeit und Training, viele Hersteller bieten aber bereits erweiterte Module für eine automatisierte Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse an. Tatsächlich gibt es Berichte über entsprechende Anfragen an klinische Radiologen. Zudem gibt es einige kommerzielle Dienstleister, die eine derartige, nicht-klinische Leistung anbieten.

Das Anlernen beim *Deep Learning* mit MRT-Bildern ist aufgrund der Vielzahl und Variabilität der Bildwichtungen – je nach anatomischer Region und klinischer Fragestellung – deutlich schwieriger. Auch herkömmliche T1-gewichtete Bilder sind dabei grundsätzlich geeignet, wenngleich die Segmentierung etwas anspruchsvoller ist. Die Vorteile bei der Wahl einer größeren Schichtdicke – weniger Aufwand für die Aufnahme und Segmentierung der Bilder sowie ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis – überwiegen meist den Nachteil einer reduzierten räumlichen Auflösung. Aus praktischen bzw. zeitlichen Gründen beschränken sich viele MRT-Studien, ähnlich dem CT-Prozedere, auf die Analyse einzelner Schichten. Eine individuelle Gegenüberstellung der abdominalen Gesamtvolumina zeigte z. B. für verschiedene Fettkompartimente einen relativ guten linearen Zusammenhang [19–22]. Mittlerweile sind die Sequenzen auf den meisten MRT-Geräten so zeiteffizient, dass selbst eine



► **Abb. 5** Abdominelle Fettverteilung eines 54 Jahre alten Mannes auf Höhe des Bauchnabels vor und 6 bzw. 12 Monate nach einer bariatrischen Operation (Roux-Y-Magenbypass). Das nach Segmentierung aller axialen MR-Schichten (zwischen Zwerchfell und Symphyse) bestimmte viszerale Fettvolumen zeigte eine deutliche Reduktion – 8,3 L > 4,9 L > 4,2 L.



► **Abb. 6** Verlauf der Proton density fat fraction (PDFF) der Leber vor Adipositas-Chirurgie (Roux-Y-Gastric Bypass) mit 14%, sowie in den Kontrolluntersuchungen nach 1 und 7 Monaten mit 8,5 bzw. 4,6% (Messwerte einer ausgewählten Region of interest, nicht gezeigt).

Ganzkörper-Bildgebung nur wenige Minuten dauert. ► **Abb. 4** illustriert den Nutzen der MRT für eine Evaluation von Patienten mit Adipositas.

Im Rahmen der PET-MRT-Ganzkörperbildgebung werden Dixon-Sequenzen routinemäßig zur Schwächungskorrektur herangezogen, sodass entsprechende Fett- und Wasserbilder bereits vorliegen. Solche Datensätze können mittlerweile vollautomatisch segmentiert werden, um Kompartimente wie Fett, Muskulatur, Knochen und Organe zu analysieren, u. a. auch bei pädiatrischen Patienten [58]. Neuartige PET-Detektoren ermöglichen mittlerweile mehrphasige PET/CT-Untersuchungen bei kontinuierlicher Tischbewegung mit robuster Datenauslese (besser als die herkömmliche *step-and-shoot*-Technik) und werden z. B. in der onkologischen Bildgebung eingesetzt. Derartige Fortschritte in der Technik dürften allmählich auch genauere Einblicke in ausgewählte Stoffwechselfvorgänge ermöglichen. Tatsächlich zeitaufgelöste Verfahren wie

z. B. das dynamische Ganzkörper-PET/CT sind gegenwärtig noch wenig verbreitet [59].

Eine tomografisch basierte Analyse der *Body Composition* ist in der Regel mit der klinischen Anforderung verknüpft, Verlaufsmessungen sind daher seltener. In einem Beispiel wurde ein mobiles MRT-System eingesetzt, um die *Body Composition* im Verlauf eines Ultramarathons (4500 km) zu erfassen. Dabei zeigten die Athleten eine deutliche Abnahme von Muskel- und Fettmasse (VAT und SAT) [60].

Die Ergebnisse von benutzerabhängigen BC-Techniken sollten mit etwas Vorsicht interpretiert werden [61]. Hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit übertreffen manche KI-basierte Ansätze mittlerweile die herkömmliche Segmentierung von ausgewählten Schichten [62]. Dennoch fehlen Standards, mit denen sich die vorhandene Evidenz auf den klinischen Alltag übertragen ließe. Hierzu gehören klare Vorgaben, insbesondere

bei therapeutischen Fragestellungen, z. B. zur Definition einer kontrollierten physischen Aktivität bei Sport- oder Bewegungsmaßnahmen. Auch sollte die eingesetzte Hardware kritisch betrachtet werden. Welchen Einfluss hat z. B. das spezielle Bildgebungssystem oder das verwendete Protokoll? Eine der wenigen methodischen Studien zu diesem Thema zeigte z. B. an 18 Probanden, dass die Ungenauigkeit von BC-Analysen mit der MRT (u. a. PDFF in der Leber, Fett- und Muskelvolumina) weitgehend durch die Wiederholbarkeit der Messung am selben Gerät bestimmt war [63].

Aktuelle Entwicklungen und Ausblick

Über die letzten Jahre werden radiologische Verfahren vermehrt für BC-Analysen eingesetzt, insbesondere auf dem Gebiet der Sarkopenie [64, 65]. Mittlerweile gilt z. B. bis auf wenige Ausnahmen eine niedrige Muskelmasse als Risikofaktor für den ungünstigen Verlauf einer Chemotherapie. Grundlage hierfür ist eine Metaanalyse aus dem Jahr 2023 mit 35 Studien und über 3800 Patienten [66]. Im Jahre 2022 wurden die Ergebnisse einer automatisierten BC-Analyse von über 9200 asymptomatischen Erwachsenen mit CT-gestütztem Darmkrebs-Screening über einen medianen Zeitraum von 9 Jahren veröffentlicht. Hierbei zeigten die Röntgenabschwächung der Skelettmuskulatur und der Kalziumgehalt der Bauchorta einen prognostisch signifikanten Effekt auf das 10-Jahres-Überleben – die AUC (*area under the curve*) lag bei 0,72 (Männer) bzw. 0,76 (Frauen) [67].

Einige grundlegende Limitationen bleiben weiterhin, so fehlt z. B. oft ein Standard zur Erhebung und Verarbeitung der BC-Daten. Die Analysen erfolgen dennoch, mitunter auch deswegen, weil sich viele Parameter relativ leicht erfassen lassen. Nicht selten werden die radiologischen BC-Parameter in jenen klinischen Fachbereichen erhoben, deren Patienten einer radiologischen Diagnostik zugeführt werden. Nachfolgende Korrelationen mit klinischen Outcome-Variablen sind weit verbreitet und reichen von degenerativen orthopädischen Erkrankungen wie einer lumbalen Bandscheibenherniation [68], über diverse Malignome (z. B. Nierenzellkarzinome [69] oder nicht-metastasierte kolorektale Karzinome [70]) und inflammatorische Krankheitsbilder (chronisch-entzündliche Darmerkrankungen) [71] bis hin zur Hospitalisierung bei SARS-CoV2-Infektion [72]. BC-Analysen gelten meist einer konkreten Fragestellung und Population, weitergehende Bewertungen sind oft nachrangig [4]. BC-Parameter können z. B. auch aus nicht diagnostischen CT-Datensätzen einer Bestrahlungsplanung abgeleitet werden [73]. Demgegenüber gibt es nur selten kontrollierte Analysen aus großen Kohorten wie z. B. der *UK Biobank* [74] oder Nationalen Kohorte (Deutschland) [49], die für eine zuverlässige Translation in die klinische Routine erforderlich sind.

Der aus mangelnden Standards und Referenzwerten entstehende Wunsch nach mehr Evidenz für eine radiologische BC-Analyse ist nicht neu. So wurde bereits im Jahr 2007 die *Quantitative Imaging Biomarkers Alliance* (QIBA) der Nordamerikanischen Röntgengesellschaft RSNA gegründet, die sich eine möglichst hohe Validität und Reproduzierbarkeit der Bilddatenanalyse als Ziel gesetzt hat. Ein prominentes Ergebnis ist die multizentrische Evaluation von Multiecho-MR-Sequenzen (Dixon-Technik) zur Bestim-

mung des Leberfettgehalts (PDFF) [75]. Hierbei zeigte sich, dass Feldstärke, Gerätehersteller oder Rekonstruktionsmethode kaum Einfluss auf die Reproduzierbarkeit hatten. Ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit waren klare methodische Vorgaben. Möglicherweise trägt der zunehmende Drang zur wissenschaftlichen Publikation in Kombination mit leicht verfügbaren Bilddaten zu einer weniger stringenten Betrachtung bei. In der Radiologie wächst der Anspruch, die Evidenz solcher Analysen auf eine solide Basis zu stellen.

Grundsätzlich soll eine radiologische Bildgebung nach rechtfertigender Indikation konkrete Fragen der überweisenden Ärzte beantworten, um die Patienten optimal zu versorgen. Bei der CT-Untersuchung werden die Vor- und Nachteile für den Patienten besonders streng geprüft, da sie mit ionisierender Strahlung einhergeht. Die moderne Multidetektor-CT generiert z. B. bei Routine-Staging-Untersuchungen hochaufgelöste 3D-Datensätze mit lückenloser Körperabdeckung. Unabhängig von der ursprünglichen Indikation lassen sich die Bilddaten für ein „opportunistisches Screening“ nutzen, also der Suche nach weiteren, noch nicht diagnostizierten Erkrankungen [76]. Gleichzeitig können quantitative metabolische bzw. BC-Parameter abgeleitet werden, die bestenfalls als Biomarker dienen. Zu diesen Merkmalen zählen insbesondere der Mineralsalzgehalt bei Osteopenie, das viszerale Fettvolumen bei Übergewicht und Adipositas, Gefäßverkalkungen bei Arteriosklerose, das intrahepatische Fett bei der MASLD, sowie Größe und Qualität der Rumpfmuskulatur bei der Sarkopenie. Für die Patienten besteht dabei grundsätzlich ein klarer medizinischer Vorteil; aus radiologischer Sicht, speziell außerhalb von klinisch-wissenschaftlichen Studien, bleibt jedoch die Vergütung der zusätzlichen Leistungen zu klären [77].

Aus der Fülle dieser Merkmale lässt sich perspektivisch ein eigenes Risikoprofil definieren. Auch unter ethischen Gesichtspunkten ist eine Erfassung der BC von Belang. Zeigt z. B. die Screening-Untersuchung nicht das gesuchte bildgebende Merkmal, so ergeben sich vielleicht aus der quantitativen BC-Analyse weitere Erkenntnisse. Hierbei stellt sich grundsätzlich auch die Frage, ob die relativ leicht zu bestimmenden BC-Informationen dem Patienten vorenthalten werden dürfen? Bereits heute wäre ein Mehraufwand durchaus vertretbar, zukünftig dürften derartige Auswertungen zunehmend automatisiert werden. Einige Experten sehen die BC-Informationen auch schon als Beitrag zu einer Radiologie, die sich mehr an der Wertigkeit (*value*) als an der Menge (*volume*) der Informationen bemisst [53].

Untersuchungszahlen und Datenmengen in der Radiologie werden sehr wahrscheinlich weiter ansteigen. Die traditionelle, risikoadaptierte Stufendiagnostik könnte durch eine höhere Priorisierung der Bildgebung abgelöst werden, insbesondere wenn Nachteile wie die Strahlenbelastung durch Weiterentwicklungen reduziert werden und der Effizienzdruck der Zuweiser, z. B. in der Notaufnahme, zunimmt. Ein relativer Mangel an ärztlicher Expertise sowie unzureichende Ausbildungsstrukturen könnten den Trend verstärken, sich in einer klinischen Entscheidung durch eine großzügig indizierte Bildgebung abzusichern. Bisher ist eine dringliche, d. h. frühzeitige Bildgebung bestimmten Notfällen vorenthalten, z. B. bei vaskulären Fragestellungen. In der Literatur wird bereits die Indikation für eine Bildgebung gegenüber anderen diagnostischen Tests diskutiert: Welche Auswirkungen hätte

z. B. eine vorgezogene CT auf den klinischen Verlauf eines älteren Menschen mit Verdacht auf eine akute Appendizitis [78–80]? Stünde die Schnittbildgebung eher am Anfang des diagnostischen Pfads, könnte eine BC-Analyse mit abgeleitetem metabolischem Risikoprofil sinnvoll sein, um die Patienten individueller zu betreuen. Hierfür wären dann allerdings gut geschultes Personal, moderne und verfügbare Bildgebungssysteme mit entsprechenden IT-Kapazitäten und eine geregelte Kostenaufteilung Voraussetzung.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Stellenwert der Radiologie bei der Beurteilung der *Body Composition* in den letzten Jahren gestiegen ist. Das Anwendungsspektrum wird sich wahrscheinlich erweitern, begünstigt durch die fundamentalen Herausforderungen im Gesundheitssystem, insbesondere angesichts des demografischen Wandels und der Zunahme von Adipositas-assoziierten Krankheitsfällen. Für die Radiologie lohnt es sich also, den Überblick sowie die wesentlichen Entwicklungen und Interaktionen der beteiligten Akteure im Blick zu behalten.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Borgia M, West J, Bell JD et al. Advanced body composition assessment: from body mass index to body composition profiling. *Journal of Investigative Medicine* 2018; 66: 1–9
- [2] Borgia M. MRI adipose tissue and muscle composition analysis—a review of automation techniques. *Br J Radiol* 2018; 91: 20180252. doi:10.1259/bjr.20180252
- [3] Guglielmi G, Ponti F, Agostini M et al. The role of DXA in sarcopenia. *Aging Clin Exp Res* 2016; 28: 1047–1060
- [4] Tosato M, Marzetti E, Cesari M et al. Measurement of muscle mass in sarcopenia: from imaging to biochemical markers. *Aging Clin Exp Res* 2017; 29: 19–27
- [5] Albano D, Messina C, Vitale J et al. Imaging of sarcopenia: old evidence and new insights. *Eur Radiol* 2020; 30: 2199–2208
- [6] Ponti F, De Cinque A, Fazio N et al. Ultrasound imaging, a stethoscope for body composition assessment. *Quant Imaging Med Surg* 2020; 10: 1699–1722
- [7] Hemke R, Buckless C, Torriani M. Quantitative Imaging of Body Composition. *Semin Musculoskelet Radiol* 2020; 24: 375–385
- [8] Messina C, Albano D, Gitto S et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quant Imaging Med Surg* 2020; 10: 1687–1698
- [9] Chianca V, Albano D, Messina C et al. Sarcopenia: imaging assessment and clinical application. *Abdom Radiol (NY)* 2021. doi:10.1007/s00261-021-03294-3
- [10] Ng M, Fleming T, Robinson M et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* 2014; 384: 766–781
- [11] Chooi YC, Ding C, Magkos F. The epidemiology of obesity. *Metabolism* 2019; 92: 6–10
- [12] Thomas EL, Saeed N, Hajnal JV et al. Magnetic resonance imaging of total body fat. *Journal of Applied Physiology* 1998; 85: 1778–1785
- [13] Wu Z, Gao Z, Qiao Y et al. Long-Term Results of Bariatric Surgery in Adolescents with at Least 5 Years of Follow-up: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Obes Surg* 2023; 33: 1730–1745
- [14] Heymsfield SB. Development of imaging methods to assess adiposity and metabolism. *Int J Obes (Lond)* 2008; 32 (Suppl. 7): S76–S82
- [15] Heymsfield SB, Hu HH, Shen W et al. Emerging Technologies and their Applications in Lipid Compartment Measurement. *Trends Endocrinol Metab* 2015; 26: 688–698
- [16] Hu HH, Chen J, Shen W. Segmentation and quantification of adipose tissue by magnetic resonance imaging. *MAGMA* 2016; 29: 259–276
- [17] Bray GA. Beyond BMI. *Nutrients* 2023; 15: 2254. doi:10.3390/nu15102254
- [18] Whitcher B, Thanaj M, Cule M et al. Precision MRI phenotyping enables detection of small changes in body composition for longitudinal cohorts. *Sci Rep* 2022; 12: 3748. doi:10.1038/s41598-022-07556-y
- [19] Schwenzer NF, Machann J, Schraml C et al. Quantitative analysis of adipose tissue in single transverse slices for estimation of volumes of relevant fat tissue compartments: a study in a large cohort of subjects at risk for type 2 diabetes by MRI with comparison to anthropometric data. *Investigative radiology* 2010; 45: 788–794
- [20] Springer F, Ehehalt S, Sommer J et al. Predicting volumes of metabolically important whole-body adipose tissue compartments in overweight and obese adolescents by different MRI approaches and anthropometry. *European Journal of Radiology* 2012; 81: 1488–1494
- [21] Schaudinn A, Linder N, Garnov N et al. Predictive accuracy of single- and multi-slice MRI for the estimation of total visceral adipose tissue in overweight to severely obese patients: MRI prediction of visceral fat volumes. *NMR in Biomedicine* 2015; 28: 583–590
- [22] Linder N, Schaudinn A, Garnov N et al. Age and gender specific estimation of visceral adipose tissue amounts from radiological images in morbidly obese patients. *Scientific Reports* 2016; 6: 22261. doi:10.1038/srep22261
- [23] Fearon K, Strasser F, Anker SD et al. Definition and classification of cancer cachexia: an international consensus. *Lancet Oncol* 2011; 12: 489–495
- [24] Zopfs D, Theurich S, Große Hokamp N et al. Single-slice CT measurements allow for accurate assessment of sarcopenia and body composition. *Eur Radiol* 2020; 30: 1701–1708
- [25] Sizoo D, de Heide LJM, Emous M et al. Measuring Muscle Mass and Strength in Obesity: a Review of Various Methods. *Obes Surg* 2021; 31: 384–393
- [26] Lacoste Jeanson A, Santos F, Villa C et al. Architecture of the femoral and tibial diaphyses in relation to body mass and composition: Research from whole-body CT scans of adult humans. *Am J Phys Anthropol* 2018; 167: 813–826
- [27] Sollmann N, Löffler MT, Kronthaler S et al. MRI-Based Quantitative Osteoporosis Imaging at the Spine and Femur. *J Magn Reson Imaging* 2021; 54: 12–35
- [28] Low G, Ferguson C, Locas S et al. Multiparametric MR assessment of liver fat, iron, and fibrosis: a concise overview of the liver “Triple Screen”. *Abdom Radiol (NY)* 2023; 48: 2060–2073
- [29] Hayashi D, Roemer FW, Tol JL et al. Emerging Quantitative Imaging Techniques in Sports Medicine. *Radiology* 2023; 308: e221531. doi:10.1148/radiol.221531
- [30] Yin M, Ehman RL. MR Elastography: Practical Questions, From the Am J Roentgenol Special Series on Imaging of Fibrosis. *Am J Roentgenol* 2023. doi:10.2214/Am J Roentgenol.23.29437
- [31] Barr RG, Wilson SR, Rubens D et al. Update to the Society of Radiologists in Ultrasound Liver Elastography Consensus Statement. *Radiology* 2020; 296: 263–274
- [32] Herrmann J, Krstin N, Schoennagel BP et al. Age-related distribution of vertebral bone-marrow diffusivity. *Eur J Radiol* 2012; 81: 4046–4049

- [33] Raya JG, Duarte A, Wang N et al. Applications of Diffusion-Weighted MRI to the Musculoskeletal System. *J Magn Reson Imaging* 2023. doi:10.1002/jmri.2887034
- [34] JafariNasabian P, Inglis JE, Reilly W et al. Aging human body: changes in bone, muscle and body fat with consequent changes in nutrient intake. *Journal of Endocrinology* 2017; 234: R37–R51
- [35] Magudia K, Bridge CP, Bay CP et al. Population-Scale CT-based Body Composition Analysis of a Large Outpatient Population Using Deep Learning to Derive Age-, Sex-, and Race-specific Reference Curves. *Radiology* 2021; 298: 319–329
- [36] Schorr M, Dichtel LE, Gerweck AV et al. Sex differences in body composition and association with cardiometabolic risk. *Biol Sex Differ* 2018; 9: 28
- [37] Wulan SN, Westerterp KR, Plasqui G. Ethnic differences in body composition and the associated metabolic profile: a comparative study between Asians and Caucasians. *Maturitas* 2010; 65: 315–319
- [38] Nixon DW. Cancer, cancer cachexia, and diet: lessons from clinical research. *Nutrition* 1996; 12: S52–S56
- [39] Evans WJ, Campbell WW. Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity. *J Nutr* 1993; 123: 465–468
- [40] Han J, Harrison L, Patzelt L et al. Imaging modalities for diagnosis and monitoring of cancer cachexia. *EJNMMI Res* 2021; 11: 94
- [41] Tolonen A, Pakarinen T, Sassi A et al. Methodology, clinical applications, and future directions of body composition analysis using computed tomography (CT) images: A review. *Eur J Radiol* 2021; 145: 109943
- [42] Vogele D, Otto S, Sollmann N et al. Sarcopenia – Definition, Radiological Diagnosis, Clinical Significance. *Zeitschrift Fortschr Röntgenstr* 2023; 195: 393–405. doi:10.1055/a-1990-0201
- [43] Mahajan A, Spracklen CN, Zhang W et al. Multi-ancestry genetic study of type 2 diabetes highlights the power of diverse populations for discovery and translation. *Nat Genet* 2022; 54: 560–572
- [44] Haselmann V, Schoenberg SO, Neumaier M et al. Integrated diagnostics. *Radiologie (Heidelb)* 2022; 62: 11–16
- [45] Stange R, Linder N, Schaudinn A et al. Dicomflex: A novel framework for efficient deployment of image analysis tools in radiological research. *PLoS ONE* 2018; 13: e0202974
- [46] Karlsson A, Rosander J, Romu T et al. Automatic and quantitative assessment of regional muscle volume by multi-atlas segmentation using whole-body water-fat MRI. *J Magn Reson Imaging* 2015; 41: 1558–1569
- [47] Borga M, Thomas EL, Romu T et al. Validation of a fast method for quantification of intra-abdominal and subcutaneous adipose tissue for large-scale human studies: Quantification of IAAT and ASAT. *NMR in Biomedicine* 2015; 28: 1747–1753
- [48] West J, Dahlqvist Leinhard O, Romu T et al. Feasibility of MR-Based Body Composition Analysis in Large Scale Population Studies. *PLoS One* 2016; 11: e0163332
- [49] Schlett CL, Hendel T, Weckbach S et al. Population-Based Imaging and Radiomics: Rationale and Perspective of the German National Cohort MRI Study. *Zeitschrift Fortschr Röntgenstr* 2016; 188: 652–661
- [50] Scherer J, Nolden M, Kleesiek J et al. Joint Imaging Platform for Federated Clinical Data Analytics. *JCO Clin Cancer Inform* 2020; 4: 1027–1038
- [51] Salg GA, Ganten MK, Bucher AM et al. A reporting and analysis framework for structured evaluation of COVID-19 clinical and imaging data. *NPJ Digit Med* 2021; 4: 69
- [52] Starekova J, Hernando D, Pickhardt PJ et al. Quantification of Liver Fat Content with CT and MRI: State of the Art. *Radiology* 2021; 301: 250–262
- [53] Pickhardt PJ, Graffy PM, Perez AA et al. Opportunistic Screening at Abdominal CT: Use of Automated Body Composition Biomarkers for Added Cardiometabolic Value. *Radiographics* 2021; 41: 524–542
- [54] Nowak S, Theis M, Wichtmann BD et al. End-to-end automated body composition analyses with integrated quality control for opportunistic assessment of sarcopenia in CT. *Eur Radiol* 2022; 32: 3142–3151
- [55] Flint A, Andersen G, Hockings P et al. Randomised clinical trial: semaglutide versus placebo reduced liver steatosis but not liver stiffness in subjects with non-alcoholic fatty liver disease assessed by magnetic resonance imaging. *Aliment Pharmacol Ther* 2021; 54: 1150–1161
- [56] Alkhoury N, Herring R, Kabler H et al. Safety and efficacy of combination therapy with semaglutide, cilofexor and firsocostat in patients with non-alcoholic steatohepatitis: A randomised, open-label phase II trial. *Journal of Hepatology* 2022; 77: 607–618
- [57] Baum T, Cordes C, Dieckmeyer M et al. MR-based assessment of body fat distribution and characteristics. *European Journal of Radiology* 2016; 85: 1512–1518
- [58] Lee SB, Cho YJ, Yoon SH et al. Automated segmentation of whole-body CT images for body composition analysis in pediatric patients using a deep neural network. *Eur Radiol* 2022; 32: 8463–8472. doi:10.1007/s00330-022-08829-w
- [59] Tamaki N, Kotani T, Nishimura M et al. Dynamic whole-body FDG-PET imaging for oncology studies. *Clin Transl Imaging* 2022; 10: 249–258
- [60] Schütz UHW, Billich C, König K et al. Characteristics, changes and influence of body composition during a 4486 km transcontinental ultramarathon: results from the TransEurope FootRace mobile whole body MRI-project. *BMC Med* 2013; 11: 122
- [61] Barbalho ER, Rocha IMG da, Medeiros GOC de et al. Agreement between software programmes of body composition analyses on abdominal computed tomography scans of obese adults. *Arch Endocrinol Metab* 2020; 64: 24–29
- [62] Borrelli P, Kaboteh R, Enqvist O et al. Artificial intelligence-aided CT segmentation for body composition analysis: a validation study. *Eur Radiol Exp* 2021; 5: 11
- [63] Borga M, Ahlgren A, Romu T et al. Reproducibility and repeatability of MRI-based body composition analysis. *Magn Reson Med* 2020; 84: 3146–3156
- [64] Lee K, Shin Y, Huh J et al. Recent Issues on Body Composition Imaging for Sarcopenia Evaluation. *Korean J Radiol* 2019; 20: 205–217
- [65] Tagliafico AS, Bignotti B, Torri L et al. Sarcopenia: how to measure, when and why. *Radiol Med* 2022; 127: 228–237
- [66] Surov A, Strobel A, Borggrefe J et al. Low skeletal muscle mass predicts treatment response in oncology: a meta-analysis. *Eur Radiol* 2023; 33: 6426–6437
- [67] Lee MH, Zea R, Garrett JW et al. Abdominal CT Body Composition Thresholds Using Automated AI Tools for Predicting 10-year Adverse Outcomes. *Radiology* 2023; 306: e220574
- [68] Mateos-Valenzuela AG, González-Macías ME, Ahumada-Valdez S et al. Risk factors and association of body composition components for lumbar disc herniation in Northwest, Mexico. *Sci Rep* 2020; 10: 18479
- [69] Higgins MI, Martini DJ, Patil DH et al. Quantification of body composition in renal cell carcinoma patients: Comparing computed tomography and magnetic resonance imaging measurements. *Eur J Radiol* 2020; 132: 109307
- [70] Ying P, Jin W, Wu X et al. Association between CT-Quantified Body Composition and Recurrence, Survival in Nonmetastasis Colorectal Cancer Patients Underwent Regular Chemotherapy after Surgery. *Biomed Res Int* 2021; 2021: 6657566
- [71] Bamba S, Inatomi O, Takahashi K et al. Assessment of Body Composition From CT Images at the Level of the Third Lumbar Vertebra in Inflammatory Bowel Disease. *Inflamm Bowel Dis* 2021; 27: 1435–1442
- [72] Chandarana H, Pisuchpen N, Krieger R et al. Association of body composition parameters measured on CT with risk of hospitalization in patients with Covid-19. *Eur J Radiol* 2021; 145: 110031
- [73] Muresan BT, Sánchez JuanC, Artero A et al. Measurement of body composition in cancer patients using CT planning scan at the third lumbar vertebra. *Nutr Hosp* 2019; 36: 1307–1314

- [74] Dodds RM, Granic A, Robinson SM et al. Sarcopenia, long-term conditions, and multimorbidity: findings from UK Biobank participants. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2020; 11: 62–68
- [75] Yokoo T, Serai SD, Pirasteh A et al. Linearity, Bias, and Precision of Hepatic Proton Density Fat Fraction Measurements by Using MR Imaging: A Meta-Analysis. *Radiology* 2018; 286: 486–498
- [76] Pickhardt PJ. Value-added Opportunistic CT Screening: State of the Art. *Radiology* 2022; 303: 241–254
- [77] Pickhardt PJ, Summers RM, Garrett JW et al. Opportunistic Screening: Radiology Scientific Expert Panel. *Radiology* 2023; 307: e222044
- [78] Stoker J, van Randen A, Laméris W et al. Imaging patients with acute abdominal pain. *Radiology* 2009; 253: 31–46
- [79] van Randen A, Laméris W, van Es HW et al. A comparison of the accuracy of ultrasound and computed tomography in common diagnoses causing acute abdominal pain. *Eur Radiol* 2011; 21: 1535–1545
- [80] Lau HT, Liu W, Lam V et al. Early routine (erCT) versus selective computed tomography (sCT) for acute abdominal pain: A systematic review and meta-analysis of randomised trials. *Int J Surg* 2022; 101: 106622