



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn
<http://www.ssk.de>

**Strahlenhygienische Aspekte bei
Röntgenuntersuchungen zur Bestimmung der
Körperzusammensetzung (insbesondere
Knochendichtemessungen) mittels Dual X-ray
Absorptiometry (DXA)**

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

INHALT

1	Einleitung.....	3
2	Methodische Aspekte	3
2.1	Verfahren.....	3
2.1.1	Dual X-ray Absorptiometry (DXA)	3
2.1.2	Vertebrale Frakturanalyse (VFA)	3
2.1.3	Quantitative Computertomographie (QCT)	4
2.2	Strahlenexposition	4
3	Anwendungsgebiete und Indikationsstellungen.....	5
3.1	Osteodensitometrie in der Osteologie	5
3.1.1	Indikation für Knochendichtemessung zur Diagnosestellung	5
3.1.2	Indikation für Knochendichtemessung im Verlauf	7
3.2	Messungen der Körperzusammensetzung unter medizinischen Gesichtspunkten	8
3.3	Sportmedizin.....	9
3.4	Pädiatrie	9
4	Anforderungen an den Strahlenschutz	10
5	Stellungnahme	11
6	Literatur	12

1 Einleitung

Die „Dual X-ray Absorptiometry“ (DXA) ist ein Röntgenverfahren, mit dem anhand der Strahlenabsorption die Zusammensetzung des Gewebes untersucht wird und das vornehmlich für die Bestimmung der Knochendichte bei metabolischen Knochenerkrankungen wie beispielsweise Osteoporose oder primärem Hyperparathyreoidismus eingesetzt wird. Neben diesen medizinischen Indikationen wird sie aber zunehmend auch für „Lifestyle-Diagnostik“ angewandt, beispielsweise zum Nachweis des Rückgangs des abdominalen Körperfetts im Rahmen einer Gewichtsreduktion oder zur Beobachtung des Muskelaufbaus beim Sport und Bodybuilding. Hierfür wird sowohl von Herstellern als auch von radiologischen Praxen geworben, z. B. als „Motivationshilfe“. Teilweise werden die Untersuchungen als „IGEL-Leistungen“ angeboten. Diese sind „individuelle Gesundheitsleistungen“, die von den gesetzlichen Krankenkassen nicht erstattet und deshalb vom Patienten bzw. Kunden persönlich zu tragen sind und naturgemäß keiner Budgetierung unterliegen.

Da es durch DXA-Anwendungen zu Strahlenexpositionen durch ungerechtfertigte Röntgenuntersuchungen kommen kann, hat das BMUB in seinem Beratungsauftrag vom 31. Juli 2012 die SSK darum gebeten, deren Nutzen unter Strahlenschutzaspekten kritisch zu prüfen, und insbesondere dazu Stellung zu nehmen, ob überhaupt bzw. für welche dieser Fragestellungen und ggf. unter welchen Bedingungen eine rechtfertigende Indikation für die Anwendung der DXA bestehen kann.

2 Methodische Aspekte

2.1 Verfahren

2.1.1 Dual X-ray Absorptiometry (DXA)

Bei der Dualen Röntgenabsorptiometrie (Dual X-ray Absorptiometry – DXA) wird die Transmission von Röntgenstrahlung mit zwei unterschiedlichen spektralen Energieverteilungen durch den menschlichen Körper gemessen. Vereinfachend wird dabei angenommen, dass der Körper aus den beiden Kompartimenten Knochen- und Weichteilgewebe besteht. Die beiden Röntgenspektren werden mittels K-Kanten-Filterung oder einem Wechsel der an der Röntgenröhre angelegten Spannung erzeugt. Gemessen wird bei der DXA unter Heranziehung gemittelter Massenschwächungskoeffizienten von Knochen- und Weichteilgewebe die auf eine Fläche projizierte Knochenmineraldichte (Knochenflächendichte, bone mineral density, BMD) oder der Knochenmineralgehalt (bone mineral content, BMC). Zum klinischen Standard gehören DXA-Untersuchungen der Lendenwirbelsäule und des Femurs in pa-Projektion. Grundsätzlich ist das Resultat einer DXA-Messung ein Zahlenwert, aber zusätzlich können diese Geräte Bilder erzeugen, wenn auch mit geringerer Qualität als übliche diagnostische Röntgengeräte.

2.1.2 Vertebrale Frakturanalyse (VFA)

Die vertebrale Frakturanalyse (VFA) ist eine technische Erweiterung der DXA. Sie generiert Röntgenbilder, mit deren Hilfe beispielsweise Knochendeformationen bewertet werden. Sie liefert in Ergänzung zur DXA röntgendiagnostische Zusatzinformationen, ohne dass jedoch hierfür eine eigenständige Indikation besteht. Eine der konventionellen Radiographie vergleichbare diagnostische Qualität wird nicht erzielt, jedoch ermöglicht sie ein Screening auf zwischenzeitlich erfolgte Frakturen. Eine quantitative Auswertung der Wirbelkörperhöhen durch Vermessung kann zusätzlich erfolgen und wird als Morphometrische Röntgenabsorptiometrie (MXA) bezeichnet.

2.1.3 Quantitative Computertomographie (QCT)

Die quantitative Computertomographie (QCT) ist ein Schnittbildverfahren, bei dem lokale Informationen über die dreidimensionale Struktur des kortikalen und spongiösen Knochens und damit über dessen Dichte und geometrische Verteilung sowie über mechanische Parameter, wie die Knochenbiegefestigkeit gewonnen werden können. Charakteristisch für die QCT ist – im Gegensatz zur herkömmlichen CT – die Kalibrierung der CT-Hounsfieldeinheiten nach gewebeäquivalenten Dichtewerten mittels eines Phantoms. Zum klinischen Standard gehören QCT-Untersuchungen eines einzelnen Lendenwirbelkörpers.

Die periphere QCT (pQCT) ist ein Spezialfall der QCT, bei der CT-Untersuchungen an Extremitäten (überwiegend an Radius und Tibia) durchgeführt werden.

Die hochauflösende QCT oder HR-QCT ist in der Lage, zusätzlich zur Knochendichte auch Aspekte der Mikroarchitektur des Knochens zu erfassen.

2.2 Strahlenexposition

Die dem Patienten applizierte Dosis bei Röntgenuntersuchungen zur Ermittlung der Körperzusammensetzung ist klein im Vergleich zu anderen Röntgenuntersuchungen. Sie hängt jedoch stark von der gewählten Untersuchungsmodalität (pQCT, DXA, VFA, QCT, HR-QCT) ab. Auch ist die Spanne der applizierten Dosis innerhalb einer Untersuchungsmodalität groß (s. Tabelle 1). Dabei hängt die Dosis im Allgemeinen von der bestrahlten Körperregion, der Projektionsrichtung, dem Gerätetyp, den Akquisitionsparametern sowie dem Einsatz dosis-sparender Techniken und der Bildbearbeitungssoftware ab.

Tabelle 1: Größenordnung und Wertebereich effektiver Patientendosen in Abhängigkeit von der Untersuchungsmodalität

Untersuchungsmodalität	Größenordnung und Wertebereich der applizierten effektiven Dosis [μSv]
DXA ^{a)}	
LWS 1-4 (Erwachsener)	0,2 – 15 ^{b)}
Hüfte	1,5 – 10
Ganzkörper	1 – 10
VFA	2 – 40 ^{c)}
QCT (einschließlich HR-QCT)	100 – 3000 ^{d)}
pQCT (einschließlich periphere HR-QCT)	< 0,1 – ca. 10 ^{e)}
Konventionelle Röntgenaufnahme	10 – 2500 ^{f)}
z. B. Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	200 – 800
z. B. Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	600 – 1400

a) Dosiswerte nach Blake et al. 2006, 2013, Damilakis et al. 2010, CRCPD 2006, Njeh et al. 1999

b) Bei älteren Geräten können Expositionen bis zu 70 μSv auftreten.

c) Dosiswerte u. a. aus Lewiecki und Laster 2006

d) Dosiswerte nach Damilakis et al. 2010

e) Dosiswerte nach Burrows et al. 2010; Engelke et al. 2008, 2009; Braun et al. 1998

f) Dosiswerte nach K. Engelke Lektion Strahlenschutz DVO Grundkurs II

Falls Geräteparameter und Feldgröße nicht an die Statur (Größe und Dicke) des Patienten angepasst werden, kann dies bei pädiatrischen Untersuchungen zu um einen Faktor 3 höheren Dosen führen (Damilakis et al. 2013, Thomas et al. 2005, van Rijn et al. 2003). Die applizierte Dosis bei HR-QCT Untersuchungen liegt bei den QCT- und pQCT-Untersuchungen im oberen Wertebereich. Organdosen können je nach Untersuchung die effektive Dosis um ein Vielfaches übersteigen.

Bei DXA-Untersuchungen hängt die Strahlenexposition des medizinischen Personals vom Gerätetyp, der Entfernung vom Gerät bei der Aufnahme, den Akquisitionsparametern und den Strahlenschutzvorkehrungen ab. Ganz wesentlich geht die Dauer des Aufenthaltes des medizinischen Personals während des Betriebes im Untersuchungsraum in die individuelle Strahlenexposition ein. Da das Nutzstrahlungsfeld insbesondere am Patienten gestreut wird, stellt dieser die Hauptstrahlungsquelle für das Personal dar. Bei einem Meter Abstand vom Patienten wurden Umgebungs-Äquivalentdosiswerte zwischen 0,012 $\mu\text{Sv/h}$ und 5 $\mu\text{Sv/h}$ gemessen (Patel et al. 1996, Sheahan et al. 2005, Larkin et al. 2008, Guglielmi et al. 2014).

3 Anwendungsgebiete und Indikationsstellungen

3.1 Osteodensitometrie in der Osteologie

Die Anwendung der Osteodensitometrie ist in der klinischen Praxis sowohl zur Diagnostik als auch zur Verlaufskontrolle bei Osteoporose indiziert. Die Indikationsstellung orientiert sich dabei insbesondere an den Leitlinien Osteoporose des Dachverbandes der Osteologie (DVO). Neben der Erkrankung Osteoporose ist die Knochendichtemessung bei anderen Knochenstoffwechselerkrankungen (primärer Hyperparathyreoidismus, M. Paget, Osteomalazie) zur Beurteilung des gesamten Krankheitsbildes und Festlegung der Therapie indiziert.

3.1.1 Indikation für Knochendichtemessung zur Diagnosestellung

Im Folgenden sind die wichtigsten Indikationen für die Knochendichtemessung zur Diagnosestellung zusammengefasst. Empfohlen wird u. a. laut DVO-Leitlinien für die Osteoporosediagnostik die Messung der Knochendichte mittels DXA an der Lendenwirbelsäule (Mittelwert von Lendenwirbelkörper 1 bis 4 von mindestens zwei beurteilbaren Wirbelkörpern) und am Gesamtfemur (Einzelmessung oder Mittelwert aus Femur links und rechts) (s. DVO-Leitlinien zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose, DVO 2009, 2014).

Ein Einsatz bei asymptomatischen Personen setzt voraus, dass anhand anerkannter Modelle zu Risikoabschätzungen die Wahrscheinlichkeit einer Fraktur in den nächsten 10 Jahren höher als 20 % ist. Im Rahmen der vertragsärztlichen Versorgung ist die DXA zugelassen „...zum Zweck der Optimierung der Therapieentscheidung, wenn aufgrund konkreter anamnestischer und klinischer Befunde, beispielsweise bei klinisch manifester Wirbelkörper- oder Hüftfraktur ohne adäquates Trauma, eine Absicht für eine spezifische medikamentöse Therapie einer Osteoporose besteht“ (BMG 2013, vgl. auch SSK 2012).

Einer der stärksten und nicht modifizierbaren Risikofaktoren ist das Lebensalter. An modifizierbaren Risikofaktoren spielen Lebensgewohnheiten (Ernährung, Bewegung, Genussmittel) eine Rolle. Begleiterkrankungen und -medikation können den Knochenstoffwechsel beeinflussen und das Bruchrisiko erhöhen.

Die folgende Auflistung fasst die wichtigsten klinisch-anamnestischen Angaben zusammen, die das Frakturrisiko beeinflussen. In welcher Form diese Risikofaktoren die Indikation zur DXA einschließen, ist den Leitlinien des DVO zu entnehmen (s. DVO 2009, 2014).

Anamnестische Angaben mit erhöhtem Frakturrisiko

- Alter
 - Frauen ≥ 70 Jahre
 - Männer ≥ 80 Jahre
- Vorausgegangene Frakturen
 - Wirbelkörperfrakturen ohne Trauma
 - Nicht vertebrale Frakturen nach dem 50. Lebensjahr
- Familiäre Belastung
 - Proximale Femurfraktur bei einem Elternteil
- Multiple Stürze
 - > 1 Sturz im letzten Jahr
- Immobilität
 - Wohnung nicht mehr selbstständig verlassen
 - Gehstrecke < 100 m
- Untergewicht
 - BMI < 20
- Nennenswerter Alkohol- oder Nikotinkonsum

Medikamente mit erhöhtem Fraktur-/Osteoporoserisiko

- Glukokortikoide oral ≥ 3 Monate
- Aromatasehemmer
- Antiandrogentherapie bei Männern
- Diabetestherapie mit Glitazonen bei Frauen
- Sturzbegünstigende Medikamente
 - Sedativa
 - Antidepressiva
 - Orthostase störende Medikamente

Erkrankungen, die mit einem erhöhten Fraktur- oder Osteoporoserisiko einhergehen (sekundäre Osteoporosen)

- Endokrine Erkrankungen
 - Primärer Hyperparathyreoidismus
 - Hyperthyreose, subklinische Hyperthyreose (TSH < 0.3)
 - Cushing-Syndrom
 - Diabetes mellitus Typ 1
 - Diabetes mellitus Typ 2
 - Hypogonadismus
- Hämatologische Erkrankungen
 - Multiples Myelom, monoklonale Gammopathie unklarer Signifikanz
 - Mastozytose
- Gastrointestinale Erkrankungen
 - Z. n. B-II-OP oder Gastrektomie
 - Chronisch entzündliche Darmerkrankungen
 - Laktoseintoleranz
 - Primäre biliäre Leberzirrhose
 - Z. n. bariatrischen Operationen

- Andere Erkrankungen
 - Z. n. Organtransplantation
 - Epilepsie
 - Chronische Nierenerkrankungen
 - Rheumatoide Arthritis
 - Spondylitis ankylosans
 - Herzinsuffizienz
 - COPD

Das Ergebnis der Knochendichtemessung ist neben klinischen Risikofaktoren (z. B. Lebensalter, Begleiterkrankungen, Begleitmedikation, Sturzrisiko) mitbestimmend für die Einschätzung des Frakturrisikos insgesamt und für die Indikation zu einer knochenspezifischen Therapie.

Laut Leitlinien wird für die Diagnostik der Osteoporose die DXA-Methode empfohlen, jedoch nicht die QCT. Für letztere besteht keine ausreichende Evidenz, und ihre Strahlendosis ist höher als die der DXA (Blake et al. 2013). Die periphere QCT (pQCT) wird derzeit noch im Rahmen von Studien evaluiert, so dass naturgemäß auch hier keine Evidenz vorliegt (Braun et al. 1998, Burrows et al. 2010, Engelke et al. 2008).

Sofern ein klinischer Verdacht auf eine Wirbelkörperfraktur vorliegt, ist die im Rahmen einer DXA-Messung anfallende VFA ein sinnvolles Instrument, weil sie gezielt Wirbelkörperdeformitäten dort nachweisen kann, wo sie am häufigsten sind, und bei vergleichsweise geringer Strahlendosis die Indikationstellung zu weiterer bildgebender Diagnostik erleichtern kann (Gowin et al. 1997). Voraussetzung ist eine entsprechende Zweckbestimmung nach Medizinproduktegesetz (MPG).

3.1.2 Indikation für Knochendichtemessung im Verlauf

Verlaufskontrollen bei Osteoporose:

Verlaufskontrollen bzgl. des Osteoporoserisikos sollten patientenspezifisch in Abhängigkeit vom individuellen Risikoprofil festgelegt werden. Bei Patienten ohne medikamentöse Therapie ist ein Zeitabstand von ein bis zwei Jahren in der Regel ausreichend zur Beurteilung des Frakturrisikos und der ggf. damit verbundenen Änderung der Therapieentscheidung. Bei einem Ausgangs-T-Score $> -1SD$ sind in der Regel Messintervalle von > 5 Jahren ausreichend (DVO 2014). Im Rahmen der vertragsärztlichen Versorgung kann die Osteodensitometrie „...zum Zweck der Optimierung der Therapieentscheidung ... frühestens nach 5 Jahren wiederholt werden, es sei denn, dass aufgrund besonderer therapierelevanter anamnestischer und klinischer Befunde eine frühere Osteodensitometrie geboten ist.“ (BMG 2013, vgl. auch SSK 2012).

Der Variationskoeffizient für die LWS-Messung und für den Femur (gesamt) liegt bei ca. 1 bis 1,5 %. Um relevante Aussagen zu Änderungen im Verlauf zu erhalten, muss diese mindestens größer als der „least significant change“ (LSC) sein, der als das 2,8-fache des Variationskoeffizienten definiert ist (Bonnick et al. 2001, Glüer 1999). Somit liegt eine klinisch relevante Veränderung der Knochendichte im Verlauf bei mindestens 3 bis 4,5 %. Um diese Veränderung beobachten zu können, ist in der Regel ein ausreichend langes Beobachtungsintervall von ca. zwei Jahren notwendig. Nur in besonderen Risikosituationen mit zu erwartenden raschen Veränderungen der Knochenmasse sind kürzere Intervalle der Verlaufsmessungen sinnvoll (z. B. Hochdosisglukokortikoidtherapie). Weiterhin sollte bei Verlaufsmessungen möglichst dasselbe DXA-Messgerät verwendet werden.

Bei Patienten unter einer medikamentösen Therapie ist der Nutzen einer routinemäßigen Knochendichtekontrolle nicht belegt (DVO 2014). Die Veränderung der Knochendichte unter

Therapie ist nur in erster Näherung geeignet, das Ansprechen auf eine medikamentöse Therapie einzuschätzen: Eine fehlende Zunahme der Knochendichte unter antiresorptiver Therapie ist kein Hinweis für eine verminderte fraktursenkende Wirkung; signifikante Knochendichteverluste ($> 4\%$ pro Jahr) sollten jedoch nicht auftreten, insbesondere nicht im mehrjährigen Verlauf. Im klinischen Alltag ist die Änderung der Knochendichte neben anderen Parametern gleichwohl ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Krankheitsverlaufes unter medikamentöser Therapie, wobei in der Regel ein Zeitabstand von zwei Jahren ausreichend ist. Ganz entscheidend ist immer auch der *klinische* Verlauf. Ergeben sich Hinweise für eine Progression der Erkrankung durch neue Frakturen, ist eine frühere Reevaluation des gesamten Krankheitsbildes einschließlich einer Knochendichtemessung zu empfehlen. Zeigen sich unter knochenspezifischer Therapie eine Abnahme der Knochendichte bzw. mehrere neue Frakturen, sollte in Abhängigkeit vom Gesamtfrakturrisiko ggf. eine Änderung der Therapie erfolgen. Auch hier kann eine im Rahmen der DXA durchgeführte VFA sinnvoll sein, um zur Indikationsstellung für weitere bildgebende Diagnostik beizutragen.

Verlaufskontrollen bei anderen Knochenstoffwechselerkrankungen oder Erkrankungen mit sekundärem Osteoporoserisiko:

Bei Patienten mit primärem Hyperparathyreoidismus ist in Abhängigkeit vom Schweregrad der Erkrankung und von der gewählten Therapie (konservativ versus chirurgische Therapie) das Intervall für Verlaufskontrollen früher als nach zwei Jahren festzulegen, da sich hieraus therapeutische Konsequenzen (Empfehlung zur operativen Therapie oder zusätzlichen medikamentösen Therapie) ergeben können (Leidig-Bruckner et al. 2012).

3.2 Messungen der Körperzusammensetzung unter medizinischen Gesichtspunkten

Im Unterschied zur DXA in der Osteologie werden für die Abschätzung des Fett- oder Muskelanteils mehrere Körperregionen (z. B. Arme, Beine, Rumpf, Kopf) untersucht, und es wird getrennt ein sogenannter Fettanteil errechnet, dessen Messung darauf beruht, dass das Mineralgewebe, das Fettgewebe und das Muskelgewebe unterschiedliche Röntgenabsorptionen der beiden verschiedenen energetischen Röntgenstrahlen aufweisen. Diese Messungen können global oder getrennt nach Regionen erfolgen. Als Referenz dienen entsprechende Phantommessungen. Aktuell gibt es gerätetechnische Begrenzungen mit einer Gewichtsgrenze bei 140 kg Körpergewicht.

Messungen der Körperzusammensetzung wurden als Surrogat-Parameter für klinische Endpunkte z. B. bei Wachstumshormonstudien oder bei der Beurteilung der Körperzusammensetzung von pädiatrischen oder HIV-Patienten im Rahmen klinischer Studien (Scherzer et al. 2008, Bauer et al. 2012) verwendet. Inwieweit solche Messungen zu klinischen Entscheidungen in diesem Zusammenhang beitragen, ist jedoch derzeit unklar. Dies gilt in gleicher Weise für DXA-Messungen begleitend zu bariatrischen Operationen gegen Adipositas permagna, sofern sie sich nicht auf osteologische Fragestellungen beziehen. Sehr adipöse Personen haben bekanntermaßen infolge ihrer reduzierten Nährstoffaufnahme nach bariatrischen Operationen ein mögliches Risiko für eine Osteoporose.

Die Korrelation einer DXA-Fettmessung mit CT- und MRT-Messungen bzgl. der Fettverteilung und -erfassung im Körper wird als mäßig bis zufriedenstellend beschrieben (Salamone et al. 2000, Taylor et al. 2012, Micklesfield et al. 2012). Aufgrund ihrer methodischen Vorteile scheint die MRT objektivere Ergebnisse der Änderungen der Körperzusammensetzung zu liefern (Pourhassan et al. 2013).

Insgesamt ist der aktuelle Stand wie folgt:

1. Es gibt keine Studien, die einen Einfluss auf relevante Endpunkte bei Adipösen oder Diabetikern durch eine Fettmessung zeigen.
2. Relevante kardiovaskuläre Endpunkte bei den Gruppen Adipöse und Diabetiker lassen sich durch Lebensstiländerungen nicht beeinflussen.
3. Die meisten adipösen Patienten wiegen mehr als 140 kg und können auf den DXA-Geräten aus technischen Gründen nicht gemessen werden (Streustrahlen).

Unter klinischen Aspekten ergeben sich aus den Ergebnissen einer DXA-Messung der Körperzusammensetzung keine therapeutischen Maßnahmen oder Empfehlungen bezüglich des Lebensstils, die über jene hinausgehen, die bereits aufgrund klinischer und anamnestischer Befunde indiziert sind. Einem Einsatz dieses Verfahrens im Rahmen entsprechender klinischer Studien steht dies aber nicht entgegen.

3.3 Sportmedizin

Die DXA wurde in sportmedizinischen Studien zum Einfluss bestimmter Sportarten auf die quantitativen Fett- und Muskelgewebsveränderungen in verschiedenen Körperregionen eingesetzt (Avlonitou et al. 1997). Bei der Interpretation sind jedoch zwei Aspekte zu bedenken. Zum einen gibt es methodische Grenzen, die zu Fehlerquellen bei der Bestimmung der Muskelmasse führen. Beispielsweise kann unterschiedliche Hydratation einen Einfluss auf die Messergebnisse haben (Pourhassan et al. 2013). Auch können andere Verfahren zu spezifischen Aspekten genauere Ergebnisse erzielen. Zum anderen ist Muskelmasse nicht mit Muskelfunktion gleichzusetzen. In diesem Zusammenhang wird mittlerweile begrifflich auch zwischen Sarkopenie (Mangel an Muskelmasse) und Dynapenie (Mangel an Muskelkraft, -leistung oder -funktion) unterschieden (Mitchell et al. 2012, Clark und Manini 2012), ein Unterschied, der gerade im Zusammenhang mit sportlicher Leitungsfähigkeit von großer Bedeutung ist.

Die aufgeführten Fragestellungen finden im Rahmen der Forschung aktuell Beachtung, auch der Einsatz der DXA. Außerhalb der Forschung stellt die Einschätzung der sportlichen Leistungsfähigkeit von Patienten keine medizinische Indikation zur DXA dar. Die SSK stellt fest, dass die DXA somit nicht zur Beurteilung des Erfolgs von sportlichem Training eingesetzt werden sollte.

3.4 Pädiatrie

Es besteht internationaler Konsens darüber, dass bei Kindern mit primären Knochenkrankungen (z. B. Osteogenesis imperfecta) oder bei erhöhtem Risiko für eine sekundäre Knochenkrankung (Immobilität, Cerebralparesen, chronisch entzündliche Erkrankungen etc.) eine Knochenflächendichte-Messung indiziert sein kann, wenn durch Interventionen ein erhöhtes Risiko des Patienten klinisch relevant beeinflusst werden kann.

Voraussetzungen für eine Knochendichte-Messung mit DXA ist die sichere und korrekte Positionierung des Kindes (Einschränkungen z. B. bei Kontrakturen, unzureichende Compliance für ruhiges Liegen u. a.).

Im Vordergrund der Diagnostik steht die Knochenmasse (bone mineral content, BMC) und die Knochenflächendichte (areal bone mineral density, aBMD) der Wirbelsäule und des Ganzkörpers unter Ausschluss des Kopfes (Total body less head, TBLH). Therapeutische Interventionen werden nicht aufgrund einer isolierten DXA-Messung durchgeführt. Voraussetzung zur Beurteilung der Knochendichte-Messung ist die Verwendung entsprechender pädiatrischer Referenzwerte. Liegt neben einem erhöhten Frakturrisiko eine Wachstums-

störung vor, so müssen standardisierte Korrekturen für die Körpergröße bei DXA vorgenommen werden. Die Verwendung des T-Scores ist im Kindes- und Jugendalter obsolet. Knochendichte-Messungen zur Verlaufsbeurteilung bei rachitischen Krankheitsbildern (Vitamin-D-Mangel, Calcium-Mangel, Phosphat-Verlust) sind nicht indiziert.

Die Knochendichte-Messungen bei Kindern und Jugendlichen sollten ausschließlich aus osteologischer Indikation in Zusammenarbeit mit pädiatrischen Endokrinologen und Diabetologen mit ausgewiesener Expertise im Bereich des Knochenstoffwechsels durchgeführt werden (Bianchi et al. 2013, Lewiecki et al. 2008).

4 Anforderungen an den Strahlenschutz

Der Betrieb von Geräten zur Messung der Körperzusammensetzung mittels ionisierender Strahlung ist anzeigepflichtig und setzt eine entsprechende Fachkunde voraus (s. Tabelle 4.2.1 „Anforderungen zum Sachkundeerwerb für Ärzte“ in der zuletzt 2012 korrigierten Richtlinie „Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin“ (BMU 2006)). Im Übrigen gelten die allgemeinen Grundsätze des Strahlenschutzes bei Patienten in gleichem Maße wie für alle anderen diagnostischen Untersuchungen mit ionisierender Strahlung (besonders Untersuchungen an Schwangeren und strahlensensiblen Organen). Insbesondere wird auf die folgenden allgemeinen Strahlenschutzmaßnahmen bei Röntgenuntersuchungen zur Körperzusammensetzung hingewiesen:

- Schulungen und Einweisungen am Gerät sind durchzuführen.
- Dosissparende Untersuchungsmodi sind vorzuziehen, wenn dies für die jeweilige Fragestellung als sinnvoll erachtet wird.
- Das Strahlenfeld ist auf die zu untersuchende Körperregion zu beschränken.
- Akquisitionsparameter sind an die Körperstatur des Patienten anzupassen.
- Bildartefakte sind soweit möglich zu vermeiden. Mögliche Quellen sind Kontrastmittelreste im Gastrointestinaltrakt, metallische Gegenstände am Körper bzw. in der Kleidung, Osteosynthesematerial sowie intrakorporale Gegenstände.
- Es sind ausreichende Qualitätssicherungsmaßnahmen zu ergreifen (O'Connor et al. 2008).
- Dosismessungen sind regelmäßig durchzuführen (Messungen des Dosisflächenprodukts sind vor anderen Dosismessungen zu priorisieren).

Für das Personal sind insbesondere folgende Strahlenschutzmaßnahmen anzuwenden:

- Regelmäßige Schulungen sind am Gerät und in der Praxis durchzuführen.
- Der Abstand zum Patienten während der Aufnahme sollte so groß wie möglich sein, jedoch mindestens einen Meter betragen.
- Messungen am Schenkelhals sollten vorzugsweise auf der vom Personal abgewandten Seite erfolgen.

Folgende Anforderungen richten sich an die Gerätehersteller:

- Schulungen und Einweisungen am Gerät sind anzubieten.
- Ein frei zugänglicher Notschalter zur sofortigen Geräteabschaltung muss vorhanden sein. Technische Maßnahmen zur Verhinderung einer unbeabsichtigten erhöhten Dosisleistung sind notwendig. Die Röntgenquelle darf ausschließlich während der Untersuchung Strahlung freisetzen.

- Dem Anwender sind verschiedene Protokolle insbesondere für pädiatrische Untersuchungen zur Verfügung zu stellen.
- Geräte sind auf der Basis von international anerkannten Phantomen zu kalibrieren, und es sind entsprechende Qualitätssicherungsanforderungen zur Verfügung zu stellen.

5 Stellungnahme

Die SSK stellt fest, dass

- trotz der geringen Strahlendosis bei Anwendung der DXA ein Bewusstsein für die Strahlenanwendung geschaffen und die Grundsätze des Strahlenschutzes eingehalten werden müssen,
- bei jeder Anwendung der DXA eine rechtfertigende Indikation zu stellen ist, die auch von den ärztlichen Stellen überprüft wird,
- die DXA-Anwendung der Qualitätskontrolle /-sicherung unterliegen muss,
- es hinsichtlich der technischen Anforderungen an die Qualität von Bildern und Messwerten für VFA und DXA noch keine deutschen Qualitätsstandards gibt und daher der ICRU-Report 81 „Quantitative Aspects of Bone Densitometry“ (ICRU 2009) herangezogen werden soll,
- die Anwendung zur Diagnose und Therapieoptimierung bei Osteoporose entsprechend der Leitlinien indiziert ist,
- die vertebrale Frakturanalyse (VFA) ein bildgebendes Verfahren ist, das Knochen-deformitäten bei vergleichsweise geringer Strahlendosis spezifisch nachweist sowie die Indikation zu weiteren bildgebenden Verfahren erleichtern kann, und
- für alle DXA-Anwendungen einschließlich der VFA eine spezielle Fachkunde bzw. Kenntnisse im Strahlenschutz erforderlich sind.

Insbesondere stellt die SSK fest, dass

- die Anwendung der DXA zur der Ermittlung der Knochendichte zur Früherkennung einer postmenopausalen Osteoporose nicht gerechtfertigt ist, wenn nicht zusätzliche Risikofaktoren vorliegen,
- die Anwendungen der DXA zur Adipositaskontrolle, bei Diabetes, bei der Prävention der Sarkopenie und in der Sportmedizin nicht für die klinische Kontrolle geeignet sind, sondern nur im Rahmen genehmigter Studien zulässig sind,
- die Anwendung der DXA ohne medizinische Indikation, z. B. als Maßnahme allein zur Verbesserung der Compliance der Patienten oder begleitend zu „Lifestyle-Aktivitäten“, unzulässig ist,
- die DXA außerhalb der genannten Indikationen nicht für die pädiatrische Routine geeignet ist und nur in Einzelfällen bei speziellen Fragestellungen und im Rahmen der Forschung angewandt werden sollte, und auch dies nur in dafür ausgewiesenen Zentren bzw. Praxen,
- aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes der Stellenwert der DXA in Anwendungsgebieten außerhalb der Osteoporosediagnostik der Klärung in wissenschaftlichen Studien bedarf, und dass solche Studien der Genehmigungspflicht nach § 28a der Röntgenverordnung (RöV 2003) unterliegen.

6 Literatur

- Avlonitou et al. 1997 Avlonitou E, Georgiou E, Douskas G, Louizi A. Estimation of body composition in competitive swimmers by means of three different techniques. *Int. J Sports Med* 18: 363-368, 1997
- Bauer et al. 2012 Bauer J, Thornton J, Heymsfield S, Kelly K, Ramirez A, Gidwani S, Gallagher D. Dual-energy X-ray Absorptiometry prediction of adipose tissue depots in children and adolescents. *Pediatric Res* 72: 420-425, 2012
- Bianchi et al. 2013 Bianchi ML, Leonard MB, Bechtold S, Högler W, Mughal MZ, Schönau E, Sylverster FA, Vogiatzi M, van der Heuvel-Eibrink MM, Ward L. Bone health in children and adolescents with chronic diseases that may affect the skeleton: the 2013 ISCD pediatric official positions. *Journal of Clinical Densitometry* 17(2): 281-294, 2014
- Blake et al. 2006 Blake GM, Naeem M, Boutros, M. Comparison of effective dose to children and adults from dual X-ray absorptiometry examinations. *Bone* 38: 935-942, 2006
- Blake et al. 2013 Blake G, Adams JE, Bishop N. DXA in adults and children. In: *Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism*. American Society for Bone and Mineral Research. Wiley-Blackwell, 251-263, 2013
- BMG 2013 Bundesministerium für Gesundheit (BMG). Bekanntmachung eines Beschlusses des Gemeinsamen Bundesausschusses über eine Änderung der Richtlinie Methoden vertragsärztliche Versorgung (MVV-RL): Osteodensitometrie bei Osteoporose vom 21.02.2013, BAnz AT 10.05.2013 B3
- BMU 2006 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Richtlinie „Fachkunde und Kenntnisse im Strahlenschutz bei dem Betrieb von Röntgeneinrichtungen in der Medizin oder Zahnmedizin“, GMBI vom 07.04.2006, Nr. 22, Seite 414 ff. (Rundschreiben vom 22.12.2005), geändert am 26.06.2012, GMBI 2012, Nr. 40, S. 723 ff. und korrigiert am 28.11.2012, GMBI 2012, Nr. 61 S. 1204 ff
- Bonnick et al. 2001 Bonnick SL, Johnston CC Jr, Kleerekoper M, Lindsay R, Miller P, Sherwood L, Siris E. Importance of precision in bone density measurements. *J Clin Densitom* 4(2): 105-110, 2001
- Braun et al. 1998 Braun MJ, Meta MD, Schneider P, Reiners C. Clinical evaluation of a high-resolution new peripheral quantitative computerized tomography (pQCT) scanner for the bone densitometry at the lower limbs. *Phys Med Biol* 43: 2279-2294, 1998
- Burrows et al. 2010 Burrows M, Liu D, McKay H. High-resolution peripheral QCT imaging of bone micro-structure in adolescents. *Osteoporos Int* 21: 515-520, 2010

- Clark und Manini 2012 Clark BC, Manini TM. What is dynapenia? Nutrition 28(5): 495-503, 2012
- CRCPD 2006 Conference of Radiation Control Program Directors, Inc.(CRCPD). Technical white paper: Bone densitometry. CRCPD Publication E-06-5, 2006
- Damilakis et al. 2010 Damilakis J, Adams JE, Guglielmi G, Link TM. Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis. Eur Radiol 20: 2707-2714, 2010
- Damilakis et al. 2013 Damilakis J, Solomou G, Manios GE, Karantanas A. Pediatric radiation dose and risk from bone density measurements using a GE Lunar Prodigy scanner. Osteoporos Int 24: 2025-2031, 2013
- DVO 2009 Dachverband Osteologie (DVO). DVO-Leitlinie zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose, 2009
- DVO 2014 Dachverband Osteologie (DVO). DVO-Leitlinie zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern ab dem 60. Lebensjahr, 2014
http://www.dv-osteologie.org/dvo_leitlinien/osteoporose-leitlinie-2014
- Engelke et al. 2008 Engelke K, Adams JE, Armbrrecht G, Augat P, Bogado CE, Bouxsein ML, Felsenberg D, Masako I, Prevrhal S, Hans DB, Lewiecki EM. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: The 2007 ISCD Official Positions. Journal of Clinical Densitometry: Assessment of Skeletal Health 11: 123-162, 2008
- Engelke et al. 2009 Engelke K, Libanati C, Liu Y, Wang H, Austin M, Fuerst T, Stampa B, Timm W, Genant HK. Quantitative computed tomography (QCT) of the forearm using general purpose spiral whole-body CT scanners: Accuracy, precision, and comparison with dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). Bone 45: 110-118, 2009
- Glüer 1999 Glüer CC. Monitoring skeletal changes by radiological techniques. J Bone Miner Res 14(11): 1952-1962, 1999
- Gowin et al. 1997 Gowin W, Dießel E, Mews J, Hoja T, Felsenberg D. Wirbelkörpermorphometrie mit DXA/MXA-Geräten – Ein Gerätevergleich. Fortschr Röntgenstr 166: 140-145, 1997
- Guglielmi et al. 2014 Guglielmi G, Diano D, Ponti F, Bazzocchi A. Quality assurance in bone densitometry. Curr Radiol Rep 2: 33, 2014
- ICRU 2009 International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Quantitative Aspects of Bone Densitometry (ICRU Report 81), Journal of the ICRU ; Vol. 9 No. 1, Oxford : Oxford Univ. Pr., 2009

- Larkin et al. 2008 Larkin A, Sheahan N, O'Connor U, Gray L, Dowling A, Vano E, Torbica P, Salat D, Schreiner A, Neofotistou V, Malone J F. QA/Acceptance testing of DEXA X-ray systems used in bone mineral densitometry. *Radiation Protection Dosimetry* 129: 279-283, 2008
- Leidig-Bruckner et al. 2012 Leidig-Bruckner G, Raue F, Frank-Raue K. Sekundäre Osteoporose – Praxisrelevante Besonderheiten bei der Diagnostik und Therapie. *Dtsch Med Wochenschr* 137: 326-332, 2012
- Lewiecki und Laster 2006 Lewiecki EM, Laster AJ. Clinical Applications of Vertebral Fracture Assessment by Dual-energy X-ray Absorptiometry. *Journal of Endocrinology & Metabolism*, 91(11): 4215-4222, 2006
- Lewiecki et al. 2008 Lewiecki EM, Gordon CM, Baim S, Leonard MB, Bishop NJ, Bianchi ML, Kalkwarf HJ, Langman CB, Plotkin H, Rauch F, Zemel BS, Binkley N, Bilezikian JP, Kendler DL, Hans DB, Silverman S. International Society for Clinical Densitometry 2007 Adult and Pediatric Official Positions. *Bone* 43: 1115-1121, 2008
- Micklesfield et al. 2012 Micklesfield LK, Goedecke JH, Punyanitya M, Wilson KE, Kelly TL. Dual-energy X-ray performs as well as clinical computed tomography for the measurement of visceral fat. *Obesity* 20: 1109-1114, 2012
- Mitchell et al. 2012 Mitchell WK, Williams J, Atherton P, Larvin M, Lund J, Narici M. Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Front Physiol.* 3: 260, 2012
- Njeh et al. 1999 Njeh CF, Fuerst T, Hans D, Blake GM, Genant HK. Radiation exposure in bone mineral density assessment. *Applied Radiation and Isotopes* 50: 215-236, 1999
- O'Connor et al. 2008 O'Connor U, Dowling A, Larkin A, Sheahan N, Gray N, Gallagher A, O'Reilly G. Development of training syllabi for radiation protection and quality assurance of Dual-energy X-ray Absorptiometry (DXA) systems. *Radiation Protection Dosimetry* 129: 211-213, 2008
- Patel et al. 1996 Patel R, Blake GM, Batchelor S, Fogelman I. Occupational dose to the radiographer in Dual X-ray Absorptiometry: a comparison of pencil-beam and fan-beam systems. *Br J Radiol* Jun;69(822): 539-43, 1996
- Pourhassan et al. 2013 Pourhassan M, Schautz B, Braun W, Glüer CC, Bosy-Westphal A, Müller MJ. Impact of body-composition methodology on the composition of weight loss and weight gain. *Eur J Clin Nutr* 67(5): 446-54, 2013

- RöV 2003 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert worden ist
- Salamone et al. 2000 Salamone LM, Fuerst T, Visser M, Kern M, Lang T, Dockrell M, Cauley JA, Nevitt M, Tylavsky F, Lohman TG. Measurement of fat mass using DEXA: a validation study in elderly adults. *J Appl Physiol* 89: 345-352, 2000
- Scherzer et al. 2008 Scherzer R, Shen W, Bacchetti P, Kotler D, Lewis CE, Shlipak MG, Punyanitya M, Heymsfield SB, Grunfeld C. Comparison of Dual-energy X-ray Absorptiometry and magnetic resonance imaging measured adipose tissue depots in HIV-infected and control subjects. Study of fat redistribution metabolic change in HIV infection. *Am J Clin Nutr* 88: 1088-1096, 2008
- Sheahan et al. 2005 Sheahan NF, Dowling A, O'Reilly G, Malone JF. Commissioning and quality assurance protocols for Dual-energy X-ray Absorptiometry (DEXA) systems. *Radiation Protection Dosimetry* 117: 288-290, 2005
- SSK 2012 Strahlenschutzkommission (SSK). Zum Einsatz der Osteodensitometrie bei manifester Osteoporose. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 256. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20. April 2012, Veröffentlicht in: Gemeinsamer Bundesausschuss: Abschlussbericht Beratungsverfahren gemäß § 135 Abs.1 SGB V (Vertragsärztliche Versorgung) Osteodensitometrie, Stand: 21. Februar 2013, S. 126-129
https://www.g-ba.de/downloads/40-268-2200/2013-02-21_MVV-RL_Osteodensitometrie_AB.pdf
- Taylor et al. 2012 Taylor AE, Kuper H, Varma RD, Wells JC, Bell JD, V Radhakrishna K, Kulkarni B, Kinra S, Timpson NJ, Ebrahim S, Smith GD, Ben-Shlomo Y. Validation of dual energy X-ray absorptiometry measures of abdominal fat by comparison with magnetic resonance imaging in an Indian population. *PLoS One*. 2012;7(12):e51042. doi: 10.1371/journal.pone.0051042. Epub 2012 Dec 14
- Thomas et al. 2005 Thomas SR, Kalkwarf HJ, Buckley DD, Heubi JE. Effective dose of Dual-energy X-ray Absorptiometry scans in children as a function of age. *Journal of Clinical Densitometry* 8: 415-422, 2005
- van Rijn et al. 2003 Van Rijn RR, van der Sluis IM, Link TM, Grampp S, Guglielmi G, Imhof H, Glüer C, Adams JE, van Kuijk C. Bone densitometry in children: a critical appraisal. *Eur Radiol* 13: 700-710, 2003