

2. Material und Methoden

2.1 Probandinnen

Im Rahmen der europäischen multizentrischen OPUS-Studie (Osteoporose und Ultraschall) wurden am Universitätsklinikum Benjamin Franklin 600 Frauen untersucht, die nach altersstratifizierter Strichprobenziehung aus dem Einwohnermelderegister Berlins ermittelt wurden.

Knochendichtemessung (DXA) am Schenkelhals des proximalen Oberschenkels und quantitative Ultraschalluntersuchungen an Fersenbein und Fingerknochen wurden an allen Teilnehmerinnen durchgeführt. 434 postmenopausalen Probandinnen unterzogen sich zusätzlichen Untersuchungen zur Abschätzung des Frakturrisikos mittels konventionell radiologischer Verfahren und MXA durch Zwei-Spektren-Röntgenabsorptiometrie (Dual X-ray Absorptiometry).

Anhand der Studiennummer, der Initialen und des Geburtsdatums erfolgte die Identifikation jedes einzelnen Falles. In Unkenntnis des jeweiligen Befundes wurde nun von einem unabhängigen Untersucher am DXA-Gerät Expert der Firma Lunar die morphometrische Vermessung und eine Beurteilung unter differentialdiagnostischem Aspekt der dargestellten Wirbelsäule nach den gleichen Kriterien vorgenommen wie am konventionellen Röntgenbild.

2.2 Röntgenaufnahmen

Es wurden nach einem standardisierten Protokoll jeweils eine laterale Röntgenaufnahme der Brust- und Lendenwirbelsäule mit einem Film-Fokus-Abstand (FFA) von 120 cm angefertigt.

Der Proband lag dabei in linker Seitenlage. Um Verprojizierungen der abzubildenden Wirbelkörper möglichst gering zu halten, wurden Skoliosen durch Unterlegen von Schaumstoffpolstern ausgeglichen und der Rücken des Probanden so positioniert, dass die Wirbelsäule annähernd parallel zur Filmebene lag. Zusätzlich wurde individuell der Film-Objekt-Abstand (FOA) für BWS und LWS gemessen. Beide Werte, der FFA und der FOA, fließen bei der computergestützten Ermittlung der absoluten Wirbelkörperhöhe ein und sollen so den Einfluss des Vergrößerungsfaktors minimieren. Aus strahlenhygienischen Gründen wurde auf

eine anterior-posteriore Darstellung verzichtet. Darüber hinaus wurden Al- und Cu-Filter zur Reduzierung der Strahlendosis verwendet.

Um Überlagerungen der BWS durch Rippen, Lungenstrukturen und Zwerchfellschenkel zu minimieren, wurden die Aufnahmen in Veratmungstechnik erstellt, d.h. die Probandin wurde aufgefordert, forciert "in den Bauch zu atmen". Bei kontinuierlicher In- und Expiration während der Aufnahme verwischen auf diese Weise die anatomischen Strukturen und die BWS wird scharf und überlagerungsarm abgebildet. Die Aufnahme wird in Handbelichtung mit einer Röhrenspannung von 70–85 kV und einer Expositionszeit von 200 ms bis maximal 4 s angefertigt. Die LWS-Aufnahme wird mit einer Röhrenspannung von 134 kV und einer kurzen Belichtungszeit bei Atemstillstand erstellt.

Zur sicheren Identifizierung der einzelnen Wirbelkörper wurde abweichend von der herkömmlichen Aufnahmetechnik der Zentralstrahl bei der BWS auf den BWK 7 (ansonsten 6) und für die LWS auf den LWK 2 (ansonsten 3) gelegt. Dies wird erreicht, indem der Zentralstrahl auf den Angulus inferior der rechten Scapula (in etwa Höhe BWK 7) bzw. zwei Querfinger oberhalb des rechten Beckenkammes (in etwa Höhe LWK 2) zentriert wird. So können der thorakolumbale Übergang weniger verprojiziert und der BWK 12 auf beiden Aufnahmen dargestellt werden. Zusätzlich wird zur besseren Orientierung mit einer Bleikugel auf der Haut der Probandin der BWK 12 markiert, dabei sollte die Markierung ventral der Wirbelsäule liegen und sich nicht auf den Wirbelkörper projizieren.

2.3 Auswertung der Röntgenbilder

Bei der Auswertung wurden die Röntgenbilder auf ein von der Rückseite beleuchtetes Digitalisierungsbord (Digikon) der Firma Kontron gelegt. Die Auflösung des elektronischen Gitters liegt bei 0.08 mm.

Die Vermessung und eine standardisierte röntgenologische Befundung wurden von speziell dafür ausgebildeten Ärzten vorgenommen. Mit einem Mouse/Caliper-System wurden mit der Sechs-Punkte-Methode die vorderen, mittleren und hinteren Höhen der Wirbelkörper von BWK 4 bis LWK 4 vermessen. Die anteriore bzw. posteriore Höhe definiert sich als der größte Abstand zwischen Deck- und Grundplatte im vorderen bzw. hinteren Fünftel eines Wirbelkörpers, wobei Spondylophyten und nicht

mit dem Wirbelkörper verwachsene Apophysenkerne nicht berücksichtigt wurden. Die Punkte sollten dabei an den äußeren Rand der Endplatten, direkt an der Grenze zum Intervertebralraum gesetzt werden. In den drei mittleren Dritteln des Wirbelkörpers sucht man den geringsten Abstand der beiden Endplatten auf. Stellen sich die Endplattenkonturen als Oval dar, werden filmnahe und filmferne Endplattenabschnitte desselben Wirbelkörpers nicht aufeinander projiziert, wie es auch bei Verkipfung eines Wirbelkörpers oder Verprojizierung durch nicht orthograden Strahlengang der Fall ist, so wurde die anteriore Höhe im Scheitelpunkt der Begrenzung, mediale und posteriore auf halber Höhe zwischen den Doppelkonturen gemessen (Abb. 1-6).



Abb.1 laterale LWS im Röntgenbild

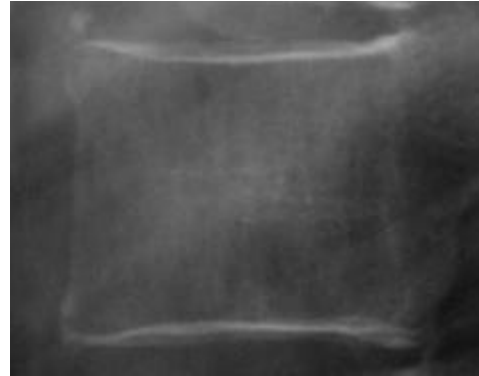


Abb.2 Normaler Wirbelkörper Seitbild

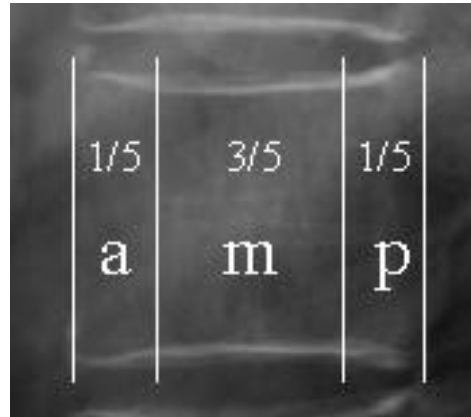


Abb.3 Messbereiche der Wirbelkörperhöhen

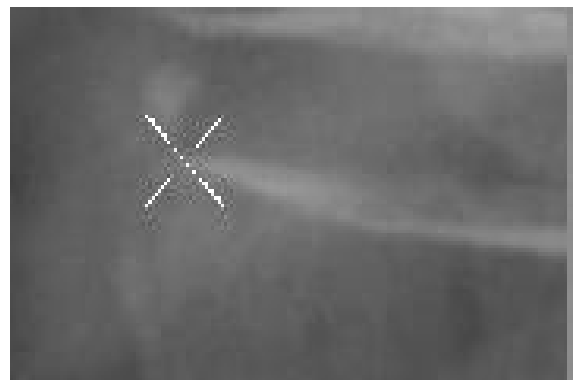


Abb.4 Punkt an der äußeren Begrenzung der Kortikalis

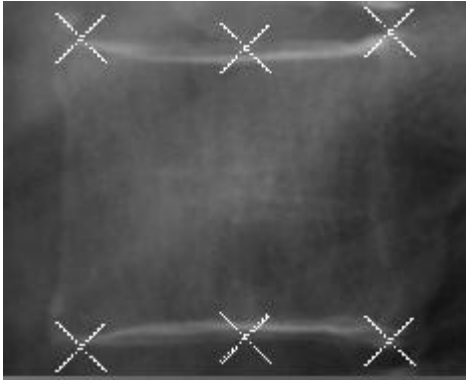


Abb.5 Position aller 6 Punkte

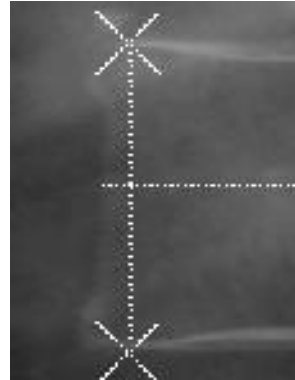


Abb.6 Punkte im rechten Winkel zur horizontalen Wirbelkörperachse übereinandergesetzt

Die Koordinaten der Wirbelkörperhöhen wurden sofort automatisch in die Datenbank eines UNIX basierten Sun Rechners eingelesen und die entsprechende Wirbelkörperhöhe berechnet. Des weiteren wurden der a/p-Index sowie der m/p-Index, d. h. die anteriore (a) durch die posteriore (p) sowie die mediale (m) durch die posteriore Höhe jedes einzelnen gemessenen Wirbelkörpers berechnet. Ebenfalls ermittelt wurden der p/p_{up} - und p/p_{low} Index, das bedeutet die hintere Höhe des Wirbelkörpers durch die hintere Höhe des direkt oberhalb (p_{up}) bzw. direkt unterhalb (p_{low}) liegenden Wirbelkörpers kalkuliert.

Als Definition für eine morphometrische Deformation wurde die statistische Methode von Felsenberg/Kalender angewendet. Lag einer der Indices unterhalb 80 %, so wurde von einer Deformation ausgegangen.

Wurde die Deformation vom Aspekt als osteoporotisch erachtet, erfolgte in Anlehnung an Genant et al.²⁶ die sogenannte semiquantitative visuelle Einteilung der osteoporotischen Deformation nach Form und Schweregrad. Anders als bei Genant wurde die Einteilung zum einen ausschließlich bei osteoporotischen Deformationen vorgenommen, und zum anderen die Gruppe der bikonkaven Deformationen um monokonkave Deformationen erweitert. So konnten auch einzelne Deck- bzw. Grundplatteneinbrüche erfasst werden. Abb.7 gibt die Einteilung nach Genant et al. wieder.

Keilwirbelbildungen, Deck- und/oder Grundplatteneinbrüche (konkave/bikonkave Verformungen) und Kompressionsbrüche wurden in drei Grade, gering, mittelgradig

und schwer, unterteilt. Würde bei der visuellen Einteilung zu diesem Zeitpunkt ein morphometrischer Abgleich erfolgen, ergäben sich nach Berechnungen von Nielsen Heress et al. Höhenminderungen der anterioren, mittleren und/oder posterioren Wirbelkörperhöhe bei Grad 1 um ungefähr 20-25%, bei Grad 2 um 25-40% und bei Grad 3 um mehr als 40%²⁷. Grad 0 (normal) und Grad 0.5 (Grenzfälle) wurden infolge unserer Modifikation und Methode nicht berücksichtigt.

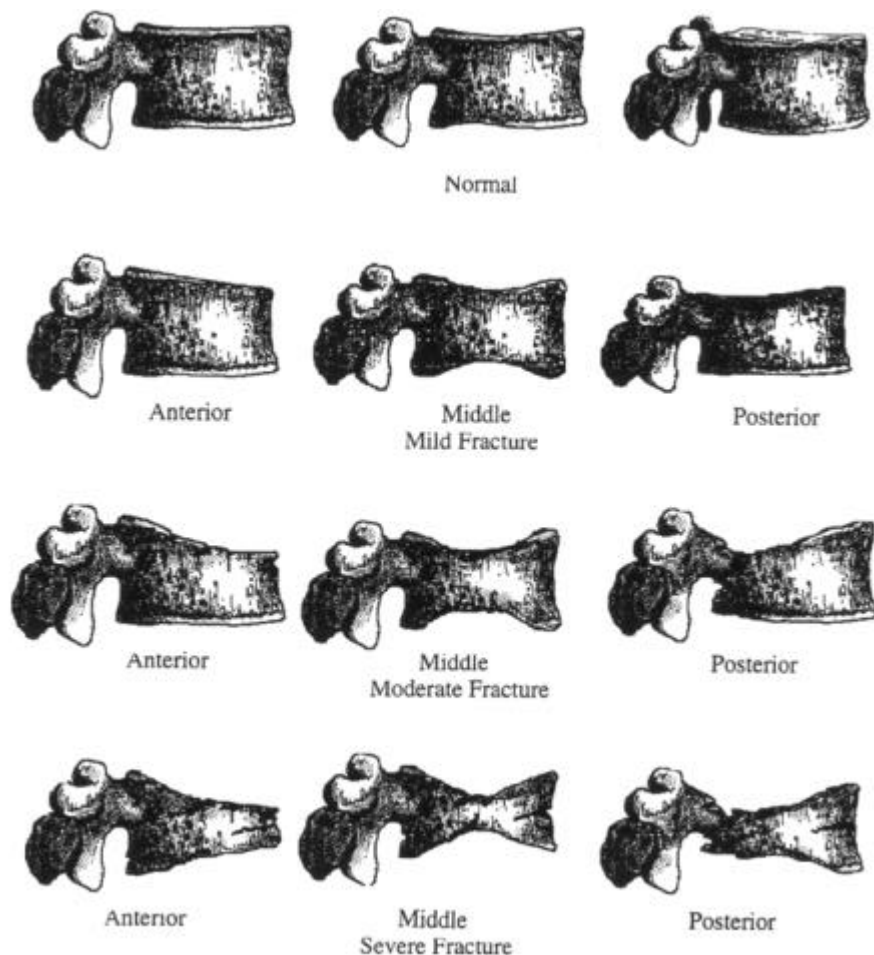


Abb.7 Einteilung der Wirbelkörperdeformationen nach Genant

Die morphometrisch erkannten Wirbelkörperdeformationen wurden nach folgenden Kriterien differentialdiagnostisch beurteilt:

2.4 Osteoporotische Frakturen

Der osteoporotische Keilwirbel ist nicht das Ergebnis eines akuten Geschehens. Er entwickelt sich langsam. Hauptmerkmal ist die verminderte anteriore Höhe bei normaler posteriorer Höhe. Die vordere Wirbelkörperkante ist konkav geschwungen und Grund- sowie Deckplatte sind normal.

Auf einen frischen Grund- und/oder Deckplatteneinbruch (konkave/bikonkave Verformung) weist eine erhöhte Dichte in unmittelbarer Nähe der Frakturlinien als Ausdruck der komprimierten frakturierten Trabekulae hin. Die beschriebene Dichtezunahme kann bei älteren und alten Frakturen fehlen. Die angrenzenden Intervertebralfächer sind normal weit oder erscheinen erweitert. Bei einem tiefen Einbruch beider Endplatten kommt es zum Bild des "Fischwirbels".

Der Kompressionsbruch eines Wirbelkörpers ist durch eine allgemeine Höhenminderung einschließlich der Hinterkante gekennzeichnet. Häufig sind mehrere Wirbelkörper betroffen. Differentialdiagnostisch muss an das Vorliegen einer persistierenden Corda dorsalis, die Endplatteneinbrüche, wie sie bei osteoporotischen Frakturen auftreten, vortäuschen kann, gedacht werden. Sie hat in den meisten Fällen keine oder nur eine zarte Randsklerose und ist im Röntgenbild üblicherweise in den hinteren 2/3 mehrerer Wirbelkörper in der LWS lokalisiert. Intravertebrale Hernierungen (Schmorlsche Knötchen) finden sich häufig in den vorderen 2/3 von Wirbelkörpern der mittleren BWS, haben im Vergleich zu ihrem Erscheinungsbild beim Morbus Scheuermann im osteoporotischen Wirbelkörper eine unregelmäßige Begrenzung und sind kleiner²⁸.

2.5 Traumatische Frakturen

Die Deformation eines Wirbelkörper hängt von der Schwere und Komplexität des Traumas ab. Nicht selten wirken Flexions-, Kompressions- Rotations- und Scherkräfte gleichzeitig auf die Wirbelsäule ein. Natürlich frakturiert auch ein osteoporotischer Wirbelkörper infolge eines Traumas, was die Differentialdiagnose häufig erschwert. Frosts Richtlinien zur Differenzierung traumatischer und

osteoporotischer Frakturen können dem Betrachter eine Entscheidungshilfe liefern. So ist in den meisten Fällen nur ein Wirbelkörper betroffen. Die Beteiligung der Hinterkante mit Verlagerung knöcherner Fragmente in den Spinalkanal kann auf ein stattgehabtes Trauma hinweisen. Zusätzliche radiologische Zeichen können eine konvexe Darstellung der normalerweise leicht konkaven vorderen Wirbelkörperbegrenzung im Seitbild sein sowie Doppellinien durch Rotation des Wirbelkörpers oder auch Grund- und Deckplatteneinbrüche mit, wie schon bei der osteoporotischen Fraktur beschrieben, angrenzender Dichtezunahme. Ein im ap-Bild vergrößerter Abstand zwischen den Processus transversales eines betroffenen Wirbelkörpers wie auch das Vorliegen eines Vakuumphänomens, bedingt durch den Riss des Annulus fibrosus der Zwischenwirbelscheibe, kann mit einer traumatischen Genese vereinbar sein²⁹.

Bei erheblicher Krafteinwirkung kommt es neben einer Fraktur und Knorpelschädigung häufig zu Gefügestörungen und Weichteilbeteiligung. Die spinolaminäre Linie ist unterbrochen und es zeigt sich eine Knickbildung in der Wirbelsäule. Das "Alignment" ist unharmonisch. Wirken horizontale Kräfte, kann es zu dreieckigen Abscherfrakturen aus der vorderen Wirbelkörperkante kommen. Hiervon sind Apophysenwachstumsstörungen abzugrenzen. Bei fehlender Verschmelzung des Apophysenkerns mit dem Wirbelkörper findet sich in Abwesenheit anderer traumatischer Frakturzeichen eine dreieckige knöcherne Formation ventral der oberen Wirbelkörperbegrenzung.

Während eine Verbreiterung des Zwischenwirbelsraums begleitet mit Retro- oder Anterolisthesis Zeichen eines frischen Extensionstraumas der Wirbelsäule ist, findet sich eine Verschmälerung des Zwischenwirbelsraums nach Flexions- und Rotationsverletzungen. Liegt ein Extensionstrauma längere Zeit zurück, präsentiert es sich allerdings nur in seltenen Fällen mit einer persistierenden Verbreiterung des Intervertebralfaches. Verstreichen oder Verbreiterung von Weichteillinien, insbesondere im ap-Bild, können Hinweis auf ein Hämatom und somit sekundäre Zeichen eines frischen traumatischen Ereignisses sein³⁰⁻³⁴.

2.6 Degenerative Veränderungen der Wirbelsäule

Degenerative Veränderungen führen zur Deformation von Wirbelkörpern (Spondylosis deformans). Beginnend mit der Ausbildung subchondraler Sklerosierungszonen schreitet der degenerative Prozess über eine verstärkte Zeichnung der Endplatten bis zur Spondylophytenbildung fort.

Der Wirbelkörper reagiert auf Überbeanspruchung mit einer geringe Abnahme der vorderen Wirbelkörperhöhe und einer Zunahme des ventrodorsalen Durchmessers im Seitbild über mehrere Wirbelkörperetagen. Das typische Erscheinungsbild ist der Keilwirbel mit sklerotischer Grund- und Deckplatte und knöchernen Randkantenanbauten. Liegt zusätzlich eine Degeneration der Zwischenwirbelscheibe (Osteochondrose) vor, treten eine Verschmälerung des Intervertebralfaches, Ausbildung von Stickstoffdepots im Inneren des Discus vertebralis (Vakuumphänomen) oder Diskusverkalkungen und intravertebrale Hernierung (Schmorlsche Knötchen) auf.

Bei fortgeschrittener Degeneration finden sich subchondrale Sklerosierungszonen und Verschmälerung des Gelenkspalts der kleinen Wirbelgelenke, degenerative Spondylolisthesis, Ausbildung einer degenerativen Skoliose und möglicherweise Einengung der Neuroforamina und/oder des Spinalkanals infolge posteriorer Osteophytenbildung^{34, 35}.

Im Hinblick auf degenerative Veränderungen erfolgte eine für BWS und LWS separate Einteilung in vier Grade nach Kellgren³⁶. Beurteilungskriterien waren Ausmaß an Spondylophytenbildung und Höhenminderung des Intervertebralraums (Abb. 8).

Grad 1 – möglicherweise beginnende Veränderungen

Grad 2 – minimale Veränderungen

Grad 3 – mittelgradige Veränderungen

Grad 4 – schwere Veränderungen

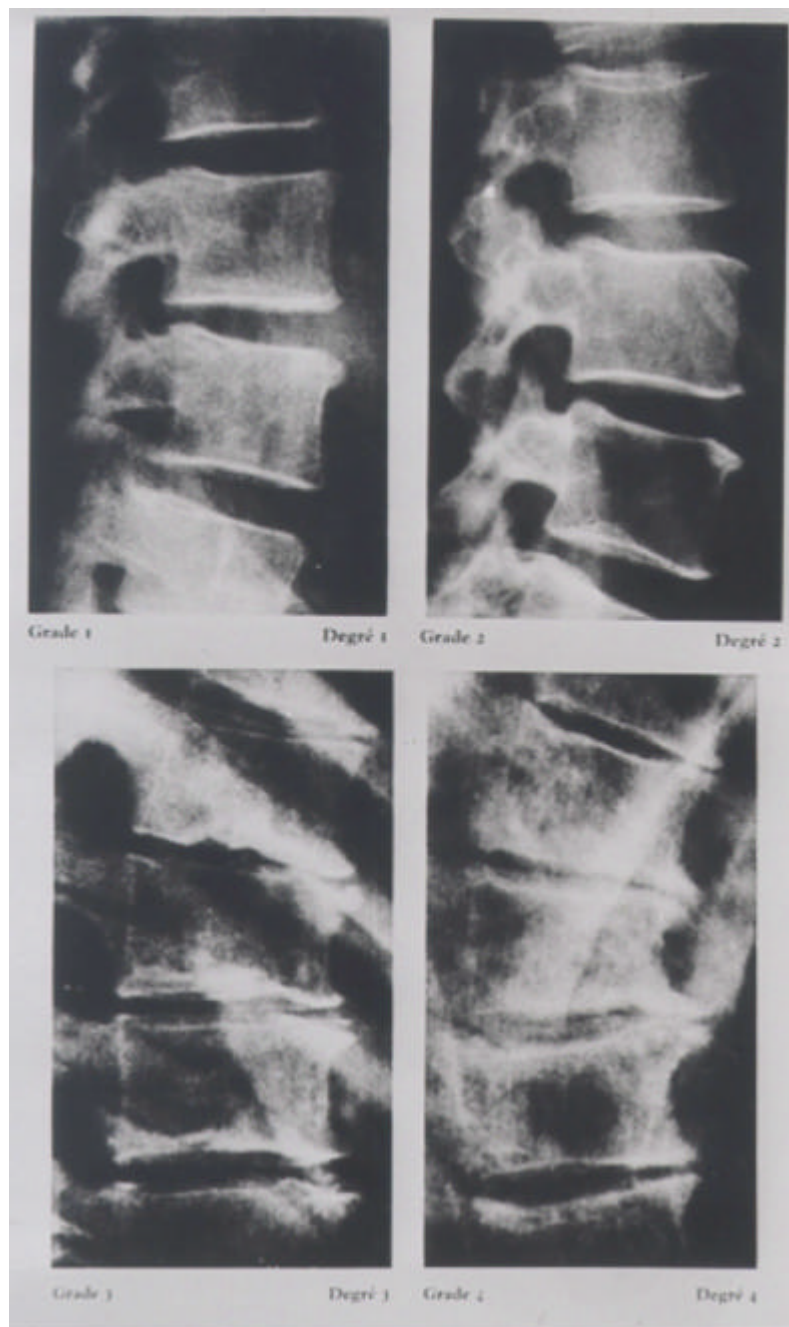


Abb.8 Einteilung des Schweregrads der degenerativen Veränderungen nach Kellgren

2.7 Morbus Scheuermann

Häufig ist nur die BWS betroffen, bei der als erstes eine vermehrte Kyphosierung auffällt. Kennzeichnend für die Osteochondrosis deformans juveniles vertebralis dorsalis sive lumbalis sind unter anderem anteriore Schmorlsche Knötchen mit Sklerosierungssaum, wellige und unscharf gezeichnete Grund- und Deckplatten mit subchondraler Sklerosierungszone, Edgren-Vaino-Zeichen und Müllersches Zeichen. Der Wirbelkörper ist keilförmig deformiert, die sagitale Größenzunahme im Seitbild ist jedoch beim Morbus Scheuermann weniger ausgeprägt als es bei degenerativen Veränderungen der Fall ist. Sind die Intervertebralfächer höhengemindert, finden sich gelegentlich kleinere osteophytäre Randkantenanbauten^{28, 32, 34}.

2.8 Morbus Bechterew / Morbus Forestier

Typisches radiologisches Bild der fortgeschrittenen Spondylitis ankylosans ist die Bambusstabwirbelsäule. Bei erhaltener normaler Weite der Intervertebralfächer kommt es zur Ausbildung von Syndesmophyten. Davon abzugrenzen ist der Morbus Forestier oder diffuse idiopathische Skeletthyperostose. Charakterisiert ist diese Erkrankung durch die Verkalkung des vorderen Längsbandes über eine Länge von mindestens vier Wirbelkörpern bei normaler Weite des Zwischenwirbelraums und ohne Zeichen einer Chondrose. Monströse brückenbildende Spondylophyten sind ihm zugeordnet³⁴.

2.9 Andere Ursachen

Die Möglichkeit einer pathologischen Fraktur sollte immer in Betracht gezogen werden. Ursächlich können Veränderungen im Rahmen einer malignen Grunderkrankung wie beim Plasmozytom, bei Leukämie, beim Lymphom, beim Ewing Sarkom und bei knöcherner Absiedlung von Metastasen sein. Maligne und benigne Tumoren der Wirbelsäule sind häufig durch ihr ausgedehntes Wachstum und lokalisierte osteolytische oder osteoplastische Veränderungen charakterisiert. Auch Krankheiten anderer Ätiologie gehören in die Gruppe möglicher Verursacher einer pathologischen Fraktur, z.B. Osteomalazie, Osteogenesis imperfecta, Morbus Paget, Sichelzellanämie, Lipocondrodystrophie, Fibröse Dysplasie und avaskuläre Nekrose, Stoffwechselerkrankungen wie Hyperparathyreoidismus, Hyperphosphat-

ämie, Oochondrose und Fluorose oder entzündliche Veränderungen wie Spondylitis und Spondylodiszitis^{16, 30}.

2.10 Weitere radiologische Befundung

Der Beurteilung von Wirbelkörperdeformationen und differentialdiagnostischen Überlegungen folgt eine allgemeine umfassende radiologische Befundung. Ossäre Anomalien wie Blockwirbelbildung und Übergangsanomalien sowie extraossäre pathologische Verkalkungen werden registriert.

2.11 Morphometrische Röntgenabsorptiometrie (MXA)

Die MXA wurde mit einem Expert (Firma Lunar Corp. / USA) durchgeführt. Bei diesem Gerät handelt es sich um einen Fächerstrahl Dual Energy X-Ray Absorptiometry Scanner. Hauptsächlich zur Messung der Knochendichte der LWS und des proximalen Femurs eingesetzt, erlaubt die Ausstattung auch die Darstellung der Wirbelsäule von BWK 4 bis LWK 4 im antero-posterioren wie auch im lateralen Strahlengang. Beim Methodenvergleich im Rahmen dieser Arbeit wurde die laterale Gesamtaufnahme der Wirbelsäule zur Auswertung herangezogen.

Der Expert besteht aus einem höhenverstellbaren Tisch und einem um 140° schwenkbaren C-Bogen, der sowohl die Strahlenquelle als auch das Detektorsystem trägt. Als Strahlenquelle dient eine Varian A-I 46 Röntgenröhre mit einer rotierenden Anode aus Wolframlegierung und einem Brennpunkt von 0.3 mm. Die Röhrenspannung- und Stromstärke betragen konstant 134 kV bzw. 5 mA. Angewandt wird die Fächerstrahlgeometrie. Auf der gegenüberliegenden Seite des C-Bogens befindet sich der Detektorbereich, der aus zwei Reihen von je zweihundertachtundachtzig Detektoren besteht, von denen eine Reihe mit Kupfer beschichtet worden ist, so dass dort Photonen niedriger Energie gefiltert werden und eine Diskriminierung von Photonen niedrigeren und höheren Energieniveaus erreicht wird. Der Fokus-Detektor-Abstand beträgt 112 cm.

Bei der Untersuchung lag der Proband mit über dem Kopf verschränkten Armen auf dem Rücken. Durch einen unterstützenden Schaumstoffblock unter beiden Unterschenkeln wurde eine Beugung von 90° im Hüftgelenk erreicht, um eine eventuelle Hyperlordose der LWS auszugleichen und Luftartefakte zu verhindern.

Der laterale obere Beckenkamm wurde ertastet und der um 90° gedrehte C-Bogen so positioniert, dass ein Laserstrahl etwas unterhalb des oberen Beckenkamms nicht nur die Startposition des Scans fixiert sondern auch eine ungefähr zentrale Lage der Wirbelsäule auf Höhe LWK 5 bei einer Scanweite von 14,4 cm garantiert. Die Scanlänge konnte individuell von 38 - 70 cm eingestellt werden. Die Aufnahme von BWS und LWS erfolgte in einem Untersuchungsgang. Um auch hier von den Vorteilen der Veratmungstechnik beim Scannen der BWS profitieren zu können, folgte der Proband Atemkommandos während der Bildakquisition, die auf dem Monitor verfolgt werden konnte. Mit den PC- Softwareversionen 1.72 – 1.91 erfolgte die Auswertung.

2.12 Auswertung der MXA

Die Auswertung der am Expert akquirierten lateralen Wirbelsäule erfolgte an einem 17 Zoll PC-Monitor mit der mitgelieferten Softwareversion 1.91. Der jeweilige Fall wurde aufgerufen und über den Menüpunkt "Auswertung" "Standart" gewählt. Perlenschnurartig wurden automatisch kreisrunde Markierungen (ROI's / regions of interest) auf die Wirbelkörper BWK 4 bis LWK 4 gelegt. Häufig war die Positionierung ungenau und musste korrigiert werden. Wurden die Markierung akzeptiert, konnte der Befehl zur Positionierung der sechs Punkte zum Ermitteln der vorderen, mittleren und hinteren Wirbelkörperhöhe gegeben werden. Bei den Punkten handelt es sich um rautenförmige, etwa 1mm x 1mm große Markierungen. In den meisten Fällen war auch hier ein Repositionieren der einzelnen Punkte erforderlich. Das Verändern der Helligkeit und insbesondere des Kontrastes sowie Glätten und Schärfen der Wirbelkörperkonturen war bei der Identifizierung der Wirbelkörperkonturen außerordentlich hilfreich. Nach zufriedenstellender manueller Reposition der Punkte, errechnete dann das Programm die absoluten Höhen sowie die a/p- und m/p- Indices. Die so ermittelten Werte wurden auf der Festplatte gespeichert. Abb. 9 und 10 zeigen Ausgangsbild und Resultat nach Markierung.

Ziel war es, nach den gleichen Kriterien wie bei der morphometrischen Vermessung und der visuellen Evaluation am konventionellen Röntgenbild zu verfahren. Eingeschränkte oder keine Vermessung bzw. differenzierende Verweise einen Fall

oder einzelne Wirbelkörper betreffend, wurden in einer separaten Datenbank vermerkt.



Abb.9 MXA-Darstellung der lateralen Wirbelsäule auf dem Monitor

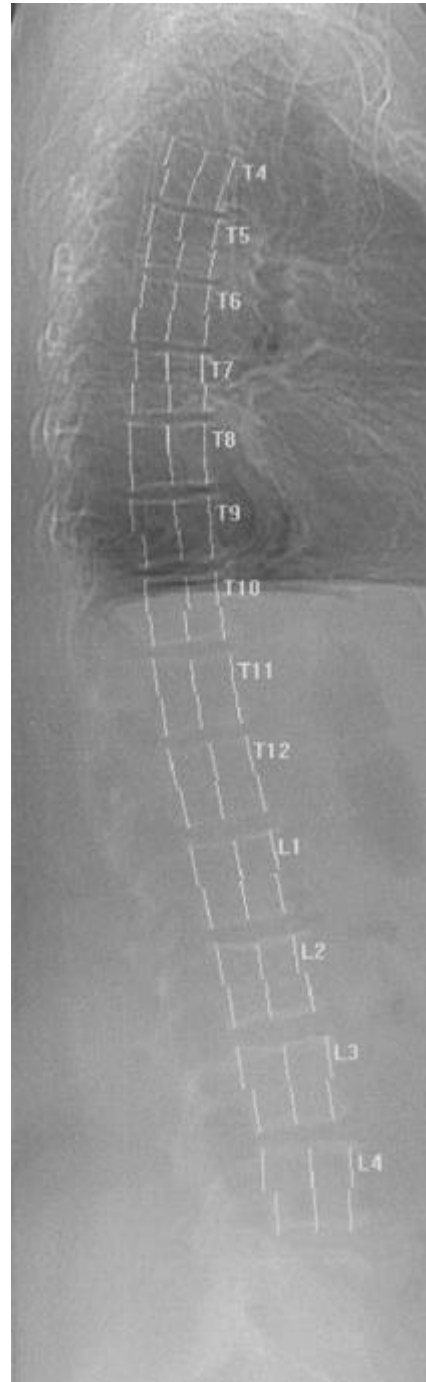


Abb.10 Darstellung der Wirbelkörperhöhen nach dem Setzen und Akzeptieren der sechs Punkte

2.13 Inter- und Intra-Untersucher-Übereinstimmung

Um sicherzustellen, dass die vorliegende Studie im Hinblick auf die Erkennung von Wirbelkörperdeformationen mit der radiologischen Auswertung vergleichbar ist, wurde die Übereinstimmung anhand von zwanzig Fällen bestimmt. Zwanzig Wirbelsäulen mit osteoporotischen Frakturen wurden morphometrisch vermessen. Es wurden die Mittelwerte der einzelnen Höhe und Indices ermittelt sowie die Übereinstimmung bei der Frakturfindung bei einem Schwellenwert von 20% geprüft. Als Maß der Übereinstimmung wurde der Konkordanzindex Kappa ($\hat{\kappa}$) gewählt. Ein $\hat{\kappa}$ -Score von 0,73 bis 0,95 bestätigte eine starke bis fast vollständige Übereinstimmung im Vergleich mit den anderen Untersuchern.

Die Intra-Untersucher-Variabilität bei der Messung der absoluten Wirbelkörperhöhen in der MXA wurde nach zweifacher Messung von je zehn Wirbelsäulen ohne Fraktur und zehn Wirbelsäulen mit wenigstens einer osteoporotischen Fraktur nach Glüer et al. berechnet³⁷. Danach ergaben sich für die frakturfreien Wirbelsäulen durchschnittliche Variationskoeffizienten (CV%) von 1,5, 1,8 und 1,5% und für die osteoporotischen Wirbelsäulen von 1,8, 1,9 und 2,0% bezogen auf die jeweils anteriore, mittlere bzw. posteriore Wirbelkörperhöhe.

2.14 Statistische Analyse

Der Einfluss des Body Mass Index (BMI) und der Bone Mineral Density (BMD) auf die Auswertbarkeit, insbesondere auf die Anzahl nicht auswertbarer Wirbelkörper in der MXA, wurde bestimmt, indem Subgruppierungen gebildet wurden. Im Fall des BMI wurden die Teilnehmerinnen in vier Gruppen unterteilt (Untergewichtige - BMI <20, Normalgewichtige – BMI zwischen 20-24,9, Übergewichtige – BMI zwischen 25-30, Adipöse – BMI >30) und in Abhängigkeit davon die Anzahl der Wirbelkörper ermittelt, die sich aufgrund unzureichender Bildqualität der Analyse entzogen.

Bezüglich der Abhängigkeit vom BMD wurde bei Vorliegen von mindestens einer radiologisch gesicherten osteoporotischen Fraktur von einer deutlich verminderten Knochendichte, ausgegangen. Es wurde in zwei Gruppen unterteilt und die Gruppe der Probandinnen mit Fraktur der frakturfreien gegenübergestellt und auf die Anzahl nicht auswertbarer Wirbelkörper in der MXA untersucht. Mit dem Chi-Quadrat-Test

wurde dann errechnet, ob sich eine signifikant höhere Anzahl nicht auswertbarer Wirbelkörper in Abhängigkeit vom BMI bzw. vom BMD ergab.

Beim Vergleich der Mittelwerte beider Verfahren wurde der t-Test für verbundene Stichproben angewandt.

Als quantitatives Maß für die Übereinstimmung der zwei Auswertmethoden bzw. der Übereinstimmung zweier Untersucher bezüglich einer Alternative an denselben Objekten wurde der Konkordanzindex Kappa (κ) aus folgender Formel errechnet:

$$b\ddot{U} = (a+d) / n$$

$$e\ddot{U} = ((a+b)(a+c)+(b+d)(c+d)) / n^2$$

$$\kappa = (b\ddot{U}-e\ddot{U}) / (1-e\ddot{U})$$

Auswertungsmethode

Röntgen

		ja	nein	
	ja	a	b	a+b
	nein	c	d	c+d
MXA		a+c	b+d	a+b+c+d