

# Osteodensitometrie als Hilfsmittel zur Identifizierung von Skelett- bzw. Knochenfunden

Micha Schwikardi, Johanna Hammerl, Nils-Jörn Rehbach,  
Joachim Happ und Reiner Protsch von Zieten

## Einleitung

In der klinischen Diagnostik der Osteoporose und der metabolischen Osteopathien stellt die Osteodensitometrie ein sensibles Verfahren zur Beurteilung des Krankheitsverlaufes und des Therapieerfolges dar. Die generalisierte Osteoporose manifestiert sich in der Regel am frühesten im Stammskelett, so dass eine Verringerung der Knochenmineraldichte (KMD) am ehesten im Bereich der Lendenwirbelsäule nachzuweisen ist (MÜLLER-FASSBENDER 1996). Außerdem liefern osteodensitometrische Untersuchungen im Bereich des proximalen Femur, insbesondere im Bereich des Ward'schen Dreiecks, wichtige Hinweise auf ein mögliches Frakturrisiko im Oberschenkelhalsbereich. Des Weiteren wird der distale Unterarm routinemäßig auf eine verringerte Knochenmineraldichte hin untersucht, da diese Region ebenfalls durch ein hohes Frakturrisiko, vor allem bei Stürzen charakterisiert ist.

Für KMD-Messungen werden in der Praxis planare und computertomographische Verfahren angewandt. Am häufigsten kommt heute das planare Verfahren der Röntgenosteodensitometrie (Dual X-Ray Absorptiometry (DXA), auch DEXA, DPX, QDR) zum Einsatz (REINERS 1991). Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es als Strahlungsquelle eine Röntgenröhre besitzt, wodurch eine hohe Bildauflösung erreicht wird, was einen nur geringen Messfehler zur Folge hat (UFFMANN 1998).

Diese Methode kann nicht nur in der Osteoporosediagnostik *in vivo* eingesetzt werden, sondern auch zur Untersuchung von Knochen *in vitro*. So wurden erstmals 1989 in Deutschland, am Institut der Anthropologie und Humanogenetik für Biologen der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main, Femora einer merowingischen Population auf geschlechtsspezifische und altersphysiologisch bedingte Knochenmineraldichteveränderungen hin untersucht (HAMMERL 1990). Weitere Untersuchungen folgten an einzelnen Lendenwirbelkörpern (LWK) (HAMMERL et al. 1999; SCHWIKARDI et al. 1999) und am distalen Unterarm (HAMMERL et al. 2001).

## Material und Methoden

Aus einem Gesamtkollektiv von 449 merowingischen Skeletten wurden an insgesamt 89 Individuen (52 männlich; 37 weiblich) DXA-Messungen am proximalen Femur durchgeführt (HAMMERL 1990). Aus einem Skelettkollektiv von 731 Individuen wurden 63 Skelette (32 männlich; 31 weiblich) mit mindestens einem gut erhaltenen Lendenwirbelkörper ausgewählt und damit zu Messungen der KMD im

Bereich der Lendenwirbelsäule herangezogen (HAMMERL et al. 1999). Für osteodensitometrische Messungen im Bereich des distalen Radius (UD-Region; 1/3-Region) wurden aus demselben Kollektiv Radii von 33 Individuen (25 männlich; 8 weiblich) selektiert (HAMMERL et al. 2001). Alle Skelette stammen aus einer frühmittelalterlichen, merowingischen Population (5.–7. Jh. n. Chr.) aus rheinland-pfälzischen Fundlokalationen.

An den ausgewählten Skeletten wurden mittels der gängigen morphognostischen Verfahren das dekadische Alter sowie das Geschlecht der Individuen bestimmt (FERREMBACH et al. 1978).

Die KMD wurde mit Hilfe der quantitativen digitalen Radiographie (HOLOGIC QDR 1000) in der endokrinologisch-nuklearmedizinischen Praxis von Prof. Dr. J. HAP in Frankfurt am Main ermittelt. Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit aller Messresultate ist eine geometrische Positionierung der Knochen unter dem Messarm, die den *in vivo* Begebenheiten entspricht. Der, die Knochen umgebende, aus Muskeln, Haut- und Fettgewebe bestehende Weichteilmantel wurde in Testmessungen am Femur bzw. am distalen Unterarm durch Hackfleisch, an den LWK durch Wasser und Öl simuliert (HAMMERL et al. 2001; SCHWIKARDI et al. 1999). Die Lendenwirbelkörper wurden aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes der Lendenwirbel (frakturierte oder vollständig fehlende Processus transversus, costales und spinosus) nicht, wie üblich, im posterior-anteriore (P/A) Strahlengang, sondern von lateral gemessen (HAMMERL et al. 1999; SCHWIKARDI et al., 1999). Durch eine einfache mathematische Formel konnten die lateral ermittelten Werte in Werte für P/A-Messungen umgerechnet und so mit rezenten Normkollektiven verglichen werden (SCHWIKARDI et al. 1999).

Für die Kollektivanalysen wurden Mittelwerte und Standardabweichungen der Messergebnisse ermittelt und über den Kruskal-Wallis-Test auf statistische Signifikanz hin überprüft. Die KMD-Werte eines Einzelindividuums wurden hinsichtlich der Abweichungen zwischen den verschiedenen Messregionen untersucht. Des Weiteren wurden Korrelationsanalysen zwischen den Messregionen nach Pearson durchgeführt.

## Ergebnisse

Es hat sich in allen durchgeführten Untersuchungen gezeigt, dass die Knochenmineraldichte weiblicher merowingischer Skelette mit zunehmendem Alter progressiv abfällt. LWK-Messungen seniler Individuen weisen KMD-

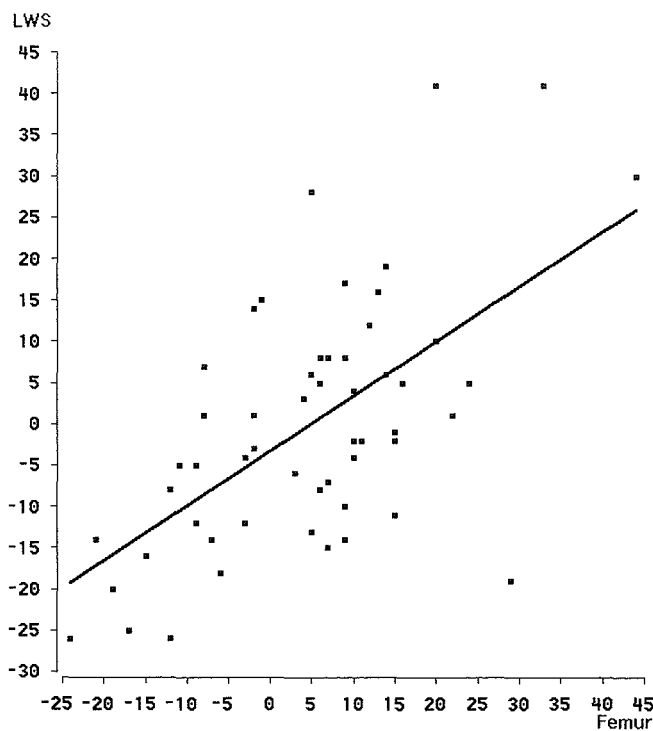


Abb. 1: Korrelation zwischen den prozentualen Abweichungen der KMD-Werte der Messregion LWS und Femur von merowingischen Individuen ( $n = 54$ ;  $p < 0,05$ ;  $r = 0,6023$ )

Werte auf, die im Vergleich zu frühadulten Individuen um ca. 32% geringer sind (HAMMERL et al. 1999). Mit einer Differenz von 34% zwischen diesen Altersstufen sind die KMD-Werte der Femurmessungen in etwa mit denen der LWK vergleichbar. Im Bereich des Ward'schen Dreiecks ergab sich eine Differenz von 51% (HAMMERL et al. 1990). Bei den osteodensitometrischen Messungen im Bereich des distalen Unterarmes hingegen war weder in der UD-Region, noch in der 1/3-Region ein deutlicher altersabhängiger Abfall der KMD zu beobachten (HAMMERL et al. 2001). Diese Resultate befinden sich im Einklang mit der Erwartung einer postmenopausalen Osteoporose, die sich besonders im trabekulären Knochen manifestiert (RINGE 1991).

Bei männlichen Individuen hat sich herausgestellt, dass die KMD im Bereich der LWS flacher und überwiegend diskontinuierlich abnimmt. Die Werte innerhalb der Maturus II Gruppe liegen im Mittel kaum unter denen der Frühadulten. Lediglich bei senilen Individuen ist die KMD in allen LWK um ca. 10–15% erniedrigt (HAMMERL et al. 1999). Im Bereich des Ward'schen Dreiecks war bei ähnlichem Verlauf eine Reduktion der KMD von 12% zu beobachten (HAMMERL 1990). Wiederum war im Bereich des distalen Radius kein altersabhängiger Abfall der KMD zu erkennen (HAMMERL et al. 2001).

Die ermittelten *in vitro* Kollektivwerte, insbesondere im Bereich des proximalen Femur, sind, sowohl den KMD-Verlauf zwischen den einzelnen Altersstufen als auch die Absolutwerte innerhalb einer Altersstufe betreffend, mit *in vivo* Messungen rezenter Normkollektive vergleichbar,

so dass man davon ausgehen kann, dass auch die Werte eines einzelnen Individuums in rezente Normkollektive eingeordnet werden können. Ein intraindividueller Vergleich zwischen den Messwerten der einzelnen Messregionen ergab, dass Individuen mit verringerter Knochenmineraldichte im Bereich der LWS auch eine reduzierte KMD im Bereich des Femurhalses bzw. im Bereich des distalen Unterarmes aufweisen. In den meisten Fällen beträgt die interregionale Differenz  $< 20\%$ , nur in Ausnahmefällen waren Unterschiede von  $< 25\%$  zu beobachten.

Zur Ermittlung der interregionalen Korrelation wurde die PEARSON-Korrelation durchgeführt. Hierbei zeigte sich die beste Korrelation zwischen LWS und Femurhals, bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,6023 (Abb. 1). Anhand der Steigungsgeraden wird deutlich, dass ein fast gleich starker Abfall der KMD in den beiden Regionen vorhanden ist. Ähnlich verhält es sich zwischen LWS und dem Ward'schen Dreieck (nicht gezeigt). Die lateral ermittelten KMD-Werte im Bereich der Lendenwirbelsäule ergaben einen ähnlichen Verlauf einer alters- und geschlechtsbedingten KMD-Abnahme wie nach Umrechnung dieser Werte auf solche, wie man sie bei P/A-Messungen erwarten würde. Im einzelnen aber lagen die durch die Umrechnungsfaktoren ermittelten Werte zwischen 10% (LWK4) und 20% (LWK1) über den tatsächlichen lateral gemessenen Resultaten. In den Weichteilsimulationen hat sich herausgestellt, dass der Weichteilmantel keine großen Auswirkungen auf die Messergebnisse ausübt (SCHWIKARDI et al. 1999, HAMMERL et al. 2001).

## Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass die Absolutwerte von *in vitro* KMD-Messungen an aus dem Erdreich geborgenem Knochenmaterial mit denen von *in vivo* Messungen an lebenden Personen vergleichbar sind. Die Simulation des Weichteilfaktors durch Hackfleisch bzw. Öl und Wasser ergab, dass die Messresultate zwar nicht unabhängig von den den Knochen umgebenden Medien sind, die Präsenz des den Knochen natürlicherweise umgebenden Weichteilmantels aber keinen großen Einfluss auf die Messungen ausübt. Knochenfunde von nicht identifizierbaren Leichen können also mit Hilfe der QDR auf ihre KMD hin untersucht werden. Zum einen kann man so einen Hinweis auf das physiologische Alter oder aber auf eine mögliche, sich auf den Knochenstoffwechsel negativ auswirkende Erkrankung der Person erhalten. Zum anderen können die Werte mit einer möglicherweise vorhandenen Arztkartei einer vermissten Person verglichen werden. Hierbei kann man folglich bei starken Abweichungen der Werte ausschließen, dass es sich bei den gefundenen Skelettfragmenten um die der vermissten Person handelt. Umgekehrt könnte eine Übereinstimmung der Werte als Hinweis darauf gewertet werden, dass es sich unter Umständen um ein und dieselbe Person handeln könnte.

Für ein solches Verfahren sind Funde von proximalen Femora mit sehr gutem Erhaltungszustand am besten geeig-

net. Auch einzelne Lendenwirbelkörper lassen sich gut zur Einordnung eines Skelettindividuums hinsichtlich dessen Mineralisationsgrades heranziehen, wobei eine komplett erhaltene LWS eine genauere Analyse gestattet. Gut erhaltene Lendenwirbel sollte man nach Fixierung auf einer Schaumstoffunterlage und einer Messung in der P/A-Projektionsebene gut mit *in vivo* Daten vergleichen können. Allerdings fehlt für diese Projektionsebene noch die genaue Analyse des Einflusses der Weichteilfaktoren, die aber auch *in vivo* starke Varianzen erkennen lassen (Körperfettverteilung, Ödeme und evtl. der Darminhalt können eine Fehlerquelle bezüglich der Messung darstellen).

Da aufgrund des schlechten Erhaltungszustandes die Messungen an Lendenwirbeln aus dem Frühmittelalter in der Lateralebene durchgeführt werden mussten, konnten zunächst nur generelle Aussagen über den geschlechts- und altersbedingten Verlauf der Knochenmineraldichte innerhalb des Gesamtkollektivs getroffen werden. Zwar erlaubt die Messung eines einzelnen Individuums dessen Einordnung im vorhandenen Gesamtkollektiv, für einen Vergleich mit rezenten Normkollektiven hingegen, mussten die Werte noch mit den Faktoren einer Umrechnungsformel, die die geometrischen Verhältnisse zwischen P/A-Messung und Lateralmessung berücksichtigt, multipliziert werden. Da die Faktoren ebenfalls nur Mittelwerte aus den geometrischen Verhältnissen mehrerer Individuen darstellen, muss bei der Analyse eines Einzelindividuums mit Abweichungen gerechnet werden. Setzt man, unter Berücksichtigung der Standardabweichungen, jeweils die Minima bzw. Maxima der Umrechnungsfaktoren in die Formel ein, so erhält man ein gewisses Wertespektrum, in dem das Individuum eingeordnet werden kann. Hierdurch könnten immerhin noch Menschen mit stark ausgeprägter Osteoporose von gesunden Personen unterschieden werden und man erhält zumindest einen, wenn auch sehr groben Anhaltspunkt.

Da sich in den peripheren Skelettregionen erst sehr viel später eine Abnahme der KMD manifestiert, als in den zentralen Regionen, lässt sich die Osteodensitometrie von Unterarmfunden nur bedingt als Identifizierungshilfe eines unbekanntes Skeletts heranziehen. Während die spongiöse UD-Region noch relativ gut mit Femur bzw. LWS korreliert, kann die proximale gelegene und kompaktere 1/3-Region nicht für eine solche Analyse verwendet werden. Insgesamt gesehen kann die Osteodensitometrie in der Anthropologie und in der Forensik neben der Alters- und Geschlechtsbestimmung, sowie der Bestimmung der Körperhöhe, als weitere Analysemethode menschlicher Knochen eingesetzt werden und in Ausnahmefällen einen wichtigen Beitrag zur Identifizierung von Leichen leisten. Um die Genauigkeit dieser Methode zu überprüfen, müssten Messungen an mazerierten Knochen von Individuen mit bekannten *in vivo* KMD-Werten durchgeführt werden, bei denen die zusätzlichen potenziellen, durch den langen Lagerungszeitraum bedingten exogenen Fehlerquellen, wie Bodenaustauschprozesse, Auswaschungen oder Kontaminationen ausgeschlossen sind.

## Zusammenfassung

Oft werden Leichen erst Monate bzw. Jahre nach Eintritt des Todes gefunden. Infolge des Verwesungsprozesses bleibt nach einem solch langen Zeitraum meist nur das Skelett erhalten. Anhand des Zahnstatus können viele Individuen direkt identifiziert werden. In Ausnahmefällen aber wird versucht, ein Mordopfer durch die räumliche Trennung von Kopf und Rumpf unkenntlich zu machen. Ohne Schädel wird eine direkte Identifikation der Leiche fast unmöglich. Zwar kann durch eine sorgfältig durchgeführte Alters- und Geschlechtsbestimmung und die Ermittlung der Körperhöhe der in Frage kommende Personenkreis eingegrenzt werden, eine exakte Zuordnung ist aber ohne personenspezifische Merkmale, wie frühere Frakturen, Implantate u.ä. nicht möglich. Unter Zuhilfenahme des in der Osteoporosedagnostik eingesetzten osteodensitometrischen Verfahrens Dual X-Ray Absorptiometrie (DXA; auch DEXA, DPX, QDR) an Lendenwirbelsäule (LWS), proximalem Femur und distalem Unterarmknochen, kann der für den/die Tote/n in Frage kommende Personenkreis weiter reduziert werden. Die ermittelte Knochenmineraldichte (KMD) kann Hinweise auf eine beim Opfer möglicherweise vorhandene Krankheit, die zur Abnahme des Knochenmineralgehalts bzw. zu metabolischen Osteopenien führt, oder auf das Alter des Individuums liefern. Schließlich können die an einem unbekanntes Skelett ermittelten KMD-Werte mit den Werten einer vermissten Person verglichen werden, sofern diese in einer Arztkartei geführt wird. So kann die entsprechende Person als in Frage kommendes Opfer ein- bzw. ausgeschlossen werden. Sollten in Extremfällen gar nur einzelne Knochen bzw. Knochenfragmente gefunden werden, könnte eine solche Messung unter Umständen als vorerst einziger, wenn auch grober Anhaltspunkt zur späteren Identifikation einer Leiche dienen.

Die Osteodensitometrie wurde bereits erfolgreich an Lendenwirbelkörpern (LWK), Femora und Radii eines großen merowingischen Skelettkollektivs angewandt, um geschlechtsspezifische und altersphysiologische Veränderungen der KMD zu analysieren (HAMMERL et al. 1990, 1999, 2001; SCHWIKARDI et al. 1999).

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Biol. Micha Schwikardi  
Fichtenstrasse 21  
D-58332 Schwelm  
E-mail: Schwikardi@aol.com

## Literatur

- FEREMBACH, D., I. SCHWIDETZKY & M. STLOUKAL (1979): Empfehlungen für die Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett. *Homo* 30, Heft 2, 141–172.
- HAMMERL, J. (1990): Bestimmung der Knochendichte durch quantitative digitale Radiographie (QDR) am Femurhals bei einer merowingischen Population aus Bockenheim/Land-

kreis Bad Dürkheim. Diss. FB Biologie d. Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main.

- HAMMERL, J., M. SCHWIKARDI, J. HAPP & R. PROTSCH VON ZIETEN (1999): Knochenmineraldichte von Lendenwirbeln historischer Skelette. In: M. KOKABI & E. MAY (Hrsg.), Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie Bd. 2, 186–188.
- HAMMERL, J., M. SCHWIKARDI, N. REHBACH, J. HAPP & R. PROTSCH VON ZIETEN (2001): Knochenmineraldichtemessungen am distalen Radius merowingischer Skelette im Vergleich zu anderen Meßregionen. In: E. MAY & N. BENECKE (Hrsg.), Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie Bd. 3, 172–176.
- MÜLLER-FASSBENDER, H. (1996): Konventionelle bildgebende Verfahren in der Diagnostik der Osteoporose. In: H. BRÖLL & M. A. DAMBACHER (Hrsg.), Osteoporose. Pathogenese, Diagnostik und Therapiekonzepte. Karger Verlag Basel, 86–109.
- REINERS, C. (1991): Dual-Energy Radiographic Absorptiometry (DRA). In: J. D. RINGE (Hrsg.), Osteoporose. Pathogenese, Diagnostik und Therapiemöglichkeiten. Walter de Gruyter Verlag Berlin/New York.
- RINGE, J. D. (1991): Osteoporose. Pathogenese, Diagnostik und Therapiemöglichkeiten. Walter de Gruyter Verlag Berlin/New York.
- SCHWIKARDI, M., J. HAMMERL, J. HAPP & R. PROTSCH VON ZIETEN (1999): Verfahren zum Vergleich von Knochendichtemessungen an Lendenwirbeln historischer Skelette mit rezenten Normkollektiven. In: M. KOKABI & E. MAY (Hrsg.), Beiträge zur Archäozoologie und Prähistorischen Anthropologie Bd. 2, 189–194.
- UFFMANN, M., T. P. FUERST, M. JERGAS & H. K. GENANT (1998): Noninvasive Assessment of Bone. In: Metabolic Bone Disease, Chapter 9, Academic Press.