

Teknikutveckling inom bendensitometri

Antalet bentäthetsmätare i Sverige ökar, dock är antalet bentäthetsmätare per invånare i Sverige fortfarande lågt i ett internationellt perspektiv. 1995 utkom SBU-rapport nr 127, Mätning av bentäthet. Slutsatserna i rapporten gäller ännu, men teknikutvecklingen har medfört kortare mättider och i något fall högre noggrannhet och bättre reproducerbarhet.

Två olika röntgenenergier

Mätning av bentäthet med utrustningar som utnyttjar två olika röntgenenergier, Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), är idag den mest etablerade och spridda metoden. DXA-tekniken används framför allt för mätning av benmineralinnehållet i det centrala skelettet (ländrygg och höft). Tekniken har emellertid fått ökande användning även vid perifera mätställen (hål och underarm).

Vid DXA-mätning mäts skelettdeleens benmineralinnehåll (hydroxyapatit) i gram per cm^2 . Mätningen ger alltså inte information om skelettets densitet utan om totala massan av hydroxyapatit över en projicerad yta. Trots detta kallas det uppmätta benmineralvärdet för BMD (bone mineral density) av flertalet leverantörer av DXA-apparater. Det är endast vid tomografisk mätning av bentäthet som resultatet kan erhållas som en densitet i gram per cm^3 . Ett förslag till enhetlig nomenklatur ges i Figur 1 [2].

Genom att utnyttja »fan-beam»-teknik istället för »pencil-beam»-teknik

Författare

RAGNAR KULLENBERG

docent i radiofysik, Göteborgs universitet, sjukhusfysiker vid länsjukhuset i Halmstad

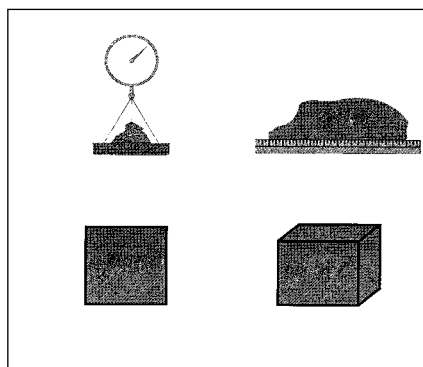
E-post: ragnar.kullenberg@lthalland.se

CHRISTER JOHANSSON

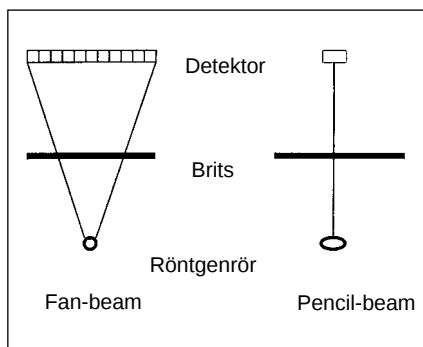
docent i geriatrik, Göteborgs universitet, överläkare i geriatrik vid Sahlgrenska universitetssjukhuset/Östra, Göteborg

HANS RINGERTZ

professor i diagnostisk radiologi, Karolinska sjukhuset, Stockholm.



Figur 1. Storheter och enheter vid bentäthetsmätning och dess geometriska betydelse.



Figur 2. »Fan-beam»- och »pencil-beam»-teknik

(se Figur 2) har undersökningstiden på senare år minskat till 2 minuter eller mindre. Med fan-beam-teknik får man en förstoring av mätobjektet där förstoringsfaktorn är beroende av patientens avstånd till detektorn. Ju närmare detektorn patienten befinner sig, desto mindre förstoring, eftersom den projicerade ytan av mätobjektet på detektorn blir mindre. Förstoringen påverkar BMC (bone mineral content i gram) och areaberäkningen (i cm^2) men inte BMA (bone mineral areal mass i g/cm^2). Med fan-beam-teknik skall därför endast BMA användas vid jämförelser mellan olika patienter och apparater [3].

Vid mätning av lårbenets längd kan förstoringseffekten uppgå till ca 10 procent vid användande av »fan-beam»-teknik [4]. Fan-beam-teknik innebär också en ca 10 gånger högre dosbelastning på patienten jämfört med pencil-beam och

Sammanfattat

- Sedan SBU-rapport nr 127 »Mätning av bentäthet» kom ut 1995 [1] har mättekniken vidareutvecklats. Nya möjligheter att behandla osteoporos ställer ökade krav på diagnostik och på apparaturens prestanda. Rekommendationerna i rapporten från 1995 gäller i huvudsak ännu, men ytterligare förbättrad och organiserad kvalitetskontroll krävs.
- Mätning av bentäthet med utrustningar som utnyttjar två olika röntgenenergier (DXA) är idag den mest etablerade och spridda metoden.
- Reproducerbarheten i mätmetoderna är viktig vid behandlingsuppföljning. Teknikernas begränsningar och den långsamma omsättningen av skelettet gör att förnyad mätning inte är meningsfull förrän det har gått minst två år.
- Metodernas noggrannhet är avgörande för korrekt diagnostik. Noggrannheten eller metodens förmåga att bestämma det riktiga (sanna) värdet har i huvudsak inte förbättrats trots den teknikutveckling som skett efter 1995.
- Flera internationella studier har påvisat att ultraljudsmätningar inte skall användas för individuell diagnostik av ben-skorhet eller för behandlingsuppföljning.
- Utbildning av personalen som handhar apparaturen är viktig för en god kvalitet i mätresultaten, liksom en regelbunden kontroll av apparaturen.

Tabell I. Stråldoser vid bendensitometri. För personal gäller värdena under pågående mätning omräknat till effektiv dos per timme. Som jämförelse ges några värden från diagnostisk röntgen samt den naturliga bakgrundsstrålningen.

Teknik	Effektiv dos till patienten, μSv	Doshastighet till personal, $\mu\text{Sv/timme}$
DXA Pencil-beam, höft+ländrygg	0,3–1,9	0,1–0,4
DXA Fan-beam, höft+ländrygg	5–30	50–100
DXA underarm, hæl	0,1	0,1–0,2
Tandrontgen	10	
Mammografi	100	
Lungröntgen	200	
Hjärtangiografi	25 000	
Naturlig bakgrundsstrålning	5–10 per dygn	0,2–0,4

Tabell II. Precision och standardiserad precision för olika tekniker och mätlokaler.

Mätlokal och teknik	CV, procent	SCV, procent
Ländrygg, DXA - BMA	1,3	1,8
Lårbenshals, DXA - BMA	2,6	3,9
Total höft, DXA - BMA	1,4	2,4
Hälben, DXA - BMA	1,6	1,7
Hälben, QUS - SOS	0,2	2,7
Hälben, QUS - BUA	2,8	6,2
Hälben, QUS - Stiffness	2,6	3,2

den spridda strålningen från apparaturen kan öka till nivåer som kräver strålskyddsåtgärder för personalen [5] (Tabell I).

Ultraljudsundersökningar ökar

Utrustningar som utnyttjar ultraljud för mätning av bentäthet har på senare år kraftigt ökat i antal. Ultraljud har fördelen att utnyttja icke-joniserande strålning och ger därmed ingen absorberad dos till patienten, de är relativt billiga i inköp och ofta portabla. Den senaste utvecklingen har medfört att man nu kan erhålla en bild av mätstället och att man kan mäta bentätheten utan att sänka ner mätobjektet i vatten.

Gemensamt för ultraljudsteknikerna är att de mäter ultraljudets attenuering (BUA = broad band ultrasound attenuation) och hastighet (SOS = speed of sound) i benet. BUA avtar hos vuxna med ca 0,3 procent per år och SOS med ca 0,1 procent per år. BMA mätt med DXA-teknik avtar med 0,5 procent per år för ländrygg, 0,6 procent för höft och 0,6 procent för hæl [6, 7]. Jämfört med DXA är ultraljud mindre känsligt för att finna förändringar som ses vid normalt åldrande och för att följa förändringar i bentäthet efter behandling [8, 9].

De utrustningar som finns på marknaden kan ge kliniskt signifikanta skillnader i mätresultaten; även apparater

från samma leverantör kan ge sinsemellan skilda resultat [10]. Ett flertal studier har på senare år visat att det frakturprediktiva värdet för höftfraktur är lika stort för mätning av hælbenet med ultraljudsteknik som för mätning av hælben, lårbenshals eller ländrygg med DXA-teknik [8, 11].

Sidoskillnader kan vara stora

Vid mätning av lårbenshals, hæl och underarm är mätresultatet delvis beroende av vilken sida (höger eller vänster) som mäts. Sidoskillnaderna vid mätning av lårbenshals är i medeltal små, ca 3 procent, och inte signifikanta. För enskilda individer kan skillnaden emellertid vara ± 26 procent [12]. Orsaken till dessa stora skillnader är att patienten inte placeras symmetriskt i förhållande till mätutrustningens mitt. Den projicerade ytan av lårbens proximala del kan då skilja så kraftigt att benmineralmängden uttryckt per ytenhet ger stora sidoskillnader, eftersom mätningen är känslig för hur lårbenshalsen är positionerad. Inga studier finns beskrivna i litteraturen som visar om och hur det frakturprediktiva värdet förändras om båda höfterna mäts.

God precision avgörande

Reproducerbarheten för ett mätinstrument beräknas vanligtvis som variationskoefficient (coefficient of variation, CV = SD/medelvärde $\times 100$ procent). För att underlätta jämförelsen av reproducerbarhet för olika mätinstrument för benmineralbestämning har på senare år standardiserad precision införts (standardized precision, SCV = CV-procent/mätomfång/medelvärdesprocent) [13]. Med SCV tas hänsyn till metodens känslighet för att finna små förändringar i bentäthet genom att mätmetodens totala omfång i mätvärden tas med i beräkningen av precisionen [14].

Medelvärde och mätomfång erhålls ur den studerade populationen. CV

anger främst teknikberoende reproducerbarhet medan SCV även tar hänsyn till mätställets och metodens känslighet för att detektera förändringar i bentäthet. Ett högt värde på SCV innebär att metoden/mätstället kräver stora förändringar i bentäthet innan dessa förändringar i bentäthet blir statistiskt signifikanta (Tabell II).

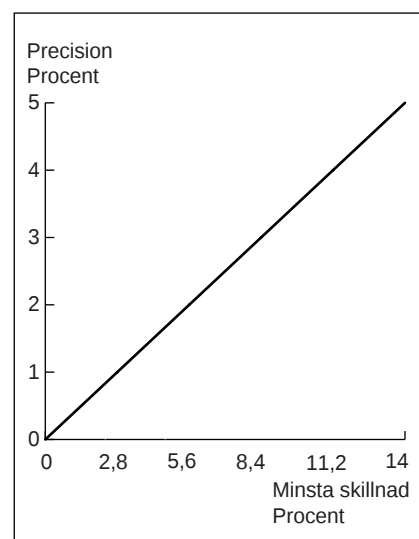
För att kunna bedöma effekter av behandling och för att följa hur bentätheten förändras genom upprepade mätningar av enskilda patienter är en god precision avgörande. För att statistiskt säkerställa (med 95 procents konfidens) att två mätningar av samma individ är skilda åt måste skillnaden vara större än 2,8 gånger precisionen i mättekniken. För en mätmetod med 2 procents precision måste skillnaden alltså vara större än 5,6 procent [15] (Figur 3).

Minst två år mellan mätningar

Av denna anledning rekommenderas fortfarande normalt minst två års uppehåll för meningsfull förnyad mätning. Hos patienter där man förväntar sig stora förluster i benmineral kan det emellertid finnas anledning att mäta med kortare intervall. För att följa behandlingseffekter med dagens tekniker är mätningar av ländrygg och hælben med DXA-teknik de som i allmänhet ger säkrast svar på kortast tid om en verklig förändring har inträffat. För att studera skillnader i behandlingsresultat på grupper av patienter är emellertid kraven på mätmetodens precision inte lika avgörande för att erhålla signifikans i resultaten.

Noggrannheten inte bättre

Noggrannheten (eng accuracy) eller metodens förmåga att bestämma det



Figur 3. Minsta detekterbara skillnad (95 procents konfidens) mellan två mätningar för mätmetoder med olika precision.

riktiga (sanna) värdet av benmineral är betydelsefull vid mätning av enskilda individer. Med en dålig noggrannhet riskerar man att mätmetoden ger många felaktiga resultat, dvs många falskt positiva och/eller många falskt negativa värden. Trots de teknikförbättringar som har gjorts de senaste åren har inte noggrannheten förbättrats för de konventionella mätmetoderna. Noggrannheten är för de olika DXA-teknikerna mellan 5 och 15 procent och för ultraljudsmätare omkring 20 procent vid jämförelse mellan mätvärde och sant benmineralinnehåll efter föraskning [16, 17].

Endast en ny DXA-metod har presenterats under senare år; denna uppges ha en noggrannhet av 2 procent [18]. Det bör dock påpekas att ultraljudsteknikerna inte mäter benmineralinnehållet, men mer lämpliga kvantitativa mått på noggrannheten saknas för denna metod.

Kvalitetskontroll på fantom

En daglig kvalitetskontroll, genom mätning av någon anpassad fantom, är viktig för att tidigt upptäcka avvikelser i mätarens funktion. De dagliga mätningarna avslöjar även eventuella långtidstrender i mätarens prestanda. För jämförelser av mätningar utförda på olika leverantörers utrustningar kan mätning av antropometriska fantom ge viss vägledning. Dessa fantom skall vara konstruerade av hydroxyapatit och mjukvävnadsekvivalent plast. Företrädesvis skall de innehålla ben av olika täthet och olika projektytor.

Förutom en regelbunden kvalitetskontroll av apparaturen är även en återkommande utbildning av personalen som handhar utrustningen viktig för att upprätthålla en god kvalitet i mätresultaten. Denna utbildning bör innehålla hur mätregionen skall ställas in, hur mjukvaran skall användas, patienten positioneras etc.

Sammanfattning

Slutsatser och kommentarer i SBU rapport nr 27 1995 är fortfarande giltiga och i överensstämmelse med litteraturen på området. Betydelsen av en noggrann kvalitetskontroll av apparaturen har visats i ett flertal studier. Ultraljudets roll för diagnostik och behandlingsuppföljning har studerats ytterligare under senare år. De slutsatser som dras i dessa studier är att ultraljudsteknikerna inte kan användas för individuell diagnostik av osteoporos eller för behandlingsuppföljning. Det har dock ett värde för frakturprediktion i stora grupper.

DXA-tekniken, använd både på det axiella och perifera skelettet, har visats ha god förmåga att finna patienter som

riskerar benskörhetsfrakturer samt för uppföljning av behandlingsresultat. Det kan dock förtjäna att påpekas att fortfarande är patientens ålder den säkraste enskilda parametern för frakturrisik.

Referenser

1. Statens beredning för utvärdering av medicinsk metodik (SBU): Mätning av bentäthet 1995, ISBN 91-87890-31-3.
2. Jonson R. Mass attenuation coefficients, Quantities and Units for use in bone mineral determinations. *Osteoporosis Int* 1993; 3: 103-6.
3. Eiken P, Bärenholdt O, Björn Jensen L, Gram J, Pors Nielsen S. Switching from DXA pencil-beam to fan-beam. I: Studies in vitro at four centers. *Bone* 1994; 15: 667-70.
4. Pockock A, Noakes KA, Majerovic Y, Griffiths MR. Magnification error of femoral geometry using fan beam densitometers. *Calcif Tissue Int* 1997; 60: 8-10.
5. Blake GM, Fogelman I. Technical principles of dual energy X-ray absorptiometry. *Seminars in Nuclear Medicine* 1997; 27: 210-28.
6. Truscott JG. Reference data for ultrasonic bone measurement: variation with age in 2087 Caucasian women aged 16-93 years. *Br J Radiol* 1997; 70: 1010-6.
7. Peel NFA, Eastell R. Comparison of rates of bone loss from the spine measured using two manufacturers' densitometers. *J Bone Miner Res* 1995; 11: 1796-801.
8. Gluer CC, Cummings SR, Bauer DC, Stone K, Pressman A, Mathur A et al. Osteoporosis: Association of recent fractures with quantitative US findings. *Radiology* 1996; 199: 725-32.
9. Homik J, Hailey D. Quantitative ultrasound for bone density measurement. Alberta Heritage Foundation for Medical Research, Edmonton, Alberta, 1998; 11: 1-41.
10. Strelitzki R, Clarke AJ, Truscott JG, Evans JA. Ultrasonic measurement: An evaluation of three heel bone scanners compared with a bench-top system. *Osteop Int* 1996; 6: 471-9.
11. Bauer DC, Gluer CC, Cauley JA, Vogt TM, Ensrud KE, Genant HK et al. Broadband ultrasound attenuation predicts fractures strongly and independently of densitometry in older women. *Arch Intern Med* 1997; 157: 629-34.
12. Faulkner KG, Genant HK, McClung M. Bilateral comparison of femoral bone density and hip axis length from single and fan beam DXA scans. *Calcif Tissue Int* 1995; 56: 26-31.
13. Rosenthal L, Caminis J, Tenenhouse A. Correlation of ultrasound velocity in the tibial cortex, Calcaneal ultrasonography, and bone mineral densitometry of the spine and femur. *Calcif Tissue Int* 1996; 58: 415-8.
14. Greenspan SL, Bouxsein ML, Melton ME, Kolodny AH, Clair JH, Delucca PT et al. Precision and discriminatory ability of calcaneal bone assessment technologies. *J Bone Miner Res* 1997; 12: 1303-3.
15. Sambrook P. Diagnosing osteoporosis. The key issues. *The Australian Family physician* 1997; 28: 109-2.
16. Genant HK, Engelke K, Fuerst T, Gluer CC, Grampp S, Harris ST et al. Noninvasive assessment of bone mineral and structure: State of the art. *J Bone Miner Res* 1996; 11: 707-30.
17. Svendsen L, Hassager C, Sködt V, Christiansen C. Impact of soft tissue on in vivo accuracy of bone mineral measurements in the spine, hip and forearm: A human cadaver study. *J Bone Miner Res* 1995; 10: 868-73.
18. Swanpalmer J, Kullenberg R. A new meas-

uring device for quantifying the amount of bone mineral in the heel bone. *Ann N Y Acad Sci* 2000; 904: 115-8.

Summary

Technical improvements in bone densitometry

Ragnar Kullenberg, Christer Johansson, Hans Ringertz

Läkartidningen 2000; 97: 4108-10.

The SBU-report no 127 »Mätning av bentäthet» [Measuring bone density] was published in 1995 and its conclusions are still valid. However, since then new treatment modalities have placed increasing demands on the diagnostic capability and performance of the apparatus used for bone densitometry.

The most well-established and widely used technique for bone mineral determination is dual energy X-ray absorptiometry. Several international studies have shown that quantitative ultrasound should not be used for diagnosis or monitoring of osteoporosis.

The reproducibility of one's method is important for monitoring, and the method's accuracy is important for diagnosis. Due to the limitations of the techniques and the slow turnover of the skeleton, repeated measurements are not meaningful until at least two years have passed.

In order to maintain high quality in measurement results it is important to have trained personnel and to have a regular quality assurance program for the apparatus.

Correspondence: Ragnar Kullenberg, Dept of Radiology, Länssjukhuset, SE-301 85 Halmstad, Sweden.

E-mail: ragnar.kullenberg@lthalland.se