

골다공증의 방사선학적 진단의 최신동향

고신대학교 의학부 진단방사선과학교실
허진도, 조영덕, 정규식, 김소선

Recent Trend in Radiologic Diagnosis of Osteoporosis

Jin Do Huh, Young Duk Joh, Gyoo Sik Jung, So Sun Kim

*Department of Diagnostic Radiology,
Kosin Medical College, Pusan 602-702, Korea*

= Abstract =

Early detection of osteoporosis is important and accurate evaluation for the progression and response to therapy should be seriously monitored. Efforts have been made in the development of methods for quantitatively assessing the bone mass so that osteoporosis can be detected early.

There is no consensus on which method are most effective for the diagnosis and monitor of osteoporosis or screening of large populations. The selection of anatomic sites and methods for quantifying bone mass is considerably important. Knowledge about the proper use and interpretation of various bone densitometry studies is not universal among physicians. Discussions are focused on understanding instrumentation and interpretation of various technical performance of bone density measurement. Dual X-ray absorptiometry(DXA), Ddual photon absorptiometry(DPA) and quantitative computed tomography(QCT) and other methods measuring bone density are presented and their inherent limitations are discussed.

We anticipate that newer softwares of instrumentations will be available for a more accurate, versatile and convenient way of measuring bone mineral density.

Key words : Osteoporosis.

Bone, mineralization.

Bone, absorptiometry.

서 론

최근 평균수명이 증가함에 따라 노령 인구의 비율이 높아지고 있으며, 이에 따라 노인성질환의 예방 및 치료가 개인뿐만 아니라 사회경제적으로 심각한 문제로 대두되고 있다. 골다공증은 가장 흔한 전신성 골질환이며, 노령층에서 골절을 야기하는 가장 중요한 원인질환으로 알려져 있다^{11, 17)}. 골다공증으로 인한 골절은 어느 부위에서도 생길 수 있으나 주로 척추체, 대퇴골 경부, 요골 원위부에서 볼 수 있다. 특히 대퇴골 경부 골절은 치료가 쉽지 않을 뿐 아니라 수상 1년 이내 사망율이 10-20%에 이를 정도로 높으며, 나이가 들수록 그 발생빈도가 현저하게 높아진다^{10, 11)}. 골다공증에 의한 골절은 개인의 활동능력과 삶의 질을 저하시킬 뿐 아니라, 그 치료와 재활 및 사망에 따른 사회경제적 부담도 증가하게 된다^{26, 27)}.

골다공증의 발생에 영향을 주는 인자로서 나이, 성별, 인종, 영양상태, 환경, 약물, 흡연, 음주 등을 들 수 있다. 그러나 이런 위험인자만으로는 골다공증을 예측할 수 없으며, 대개 골절이 생기고 난 후 진단이 되게 된다²⁸⁾. 그러므로 골다공증의 조기진단은 중요한 의의가 있다.

골다공증은 골실질의 감소와 골구조의 변화를 초래하게 된다. 해면골(cancellous bone)에서는 trabecular network의 통합성을 감소시키며, 피질골(cortical bone)에서는 골내막과 피질내 골흡수를 증가시켜 결국 뼈의 강도를 떨어뜨리게 된다. 뼈의 강도에 관여하는 인자로서는 골무기질밀도(bone mineral density, BMD), 뼈의 구조와 크기, 골기질성분의 특성, 미세골절에의 치유능력 등이 있으나 BMD가 가장 중요한 요소가 된다^{5, 18)}. trabecular bone이 cortical bone보다 metabolic stimuli에 약 8배나 빠르게 반응하므로 골다공증에 의한 골절은 trabecular bone이 풍부한 부위에서 주로 일어난다²⁰⁾. 그러므로 골다공증의 조기진단은 trabecular bone이 많은 부위에서 BMD를 정확하게 측정할 수 있는 기기의 선택이 중요하다.

방사선학적 진단방법

진단방사선과 영역에서 현재 많이 이용되는 골밀도측정법들은 방사성동위원소에서 방출되는 광자속을 이용하는 측정법, 이중 에너지의 X선속측정법, 정량적단층촬영법, 초음파검사법 등이 있다(Table 1).

Table 1. Comparison of Bone Mineral Measurement Equipments

site		precision*	accuracy**	duration of exam.	absorbed dose
		(%)	(%)	(minutes)	(μ Sv)
SPA	dist radius	2-3	4-6	10-15	1
DPA	L-spine, prox femur	2-4	4-10	20-40	5
DXA	L-spine, prox femur, whole body	1	4-8	5	1
QCT	L-spine			10-20	
SE-QCT		2-4	5-15		50
DE-QCT		4-6	3-10		100
US					
UTV	phalanges	1-2	NA		0
BUA	calcaneus	2-4	NA		0

* precision : standard error of estimate of linear regression of measured bone density versus time.

** accuracy : standard error of estimate of linear regression of measured bone density versus bone calcium content.

고식적 방사선학적검사 (Conventional X-ray Studies)

일반적인 방사선을 이용하여 골밀도를 측정하는 방법으로 중수골지수(metacarpal index)나 중수골피질두께(combined cortical thickness)를 구하는 방법과 주어진 aluminium wedge와 비교하는 광밀도측정법(photo densitometry)이 있다. 이 측정법들은 간편하고 값싼 장점이 있으나, 골다공증 진단에 있어서 간접적인 정보를 주며 주관적 측정의 요소가 많고 환자간의 오차가 크다는 단점들이 있다^{2, 9)}.

광자골밀도측정기(Photon Absorptiomtry)

방사성동위원소에서 나온 광자속의 감쇄 정도를 이용하여 골밀도를 측정하며 I-125에서 나오는 단일광자속을 이용하는 단일광자골밀도측정법(single-photon absorptiometry, SPA)와 Gd-153를 이용하는 이중광자골밀도측정법(dual-photon absorptiometry, DPA)이 있다. SPA는 1960년대부터 주로 요골이나 종골 같은 peripheral bone에서 이용되었는데⁷⁾, trabecular bone과 cortical bone을 분리하여 측정할 수 없으므로 초기에는 cortical bone으로 주로 구성된 요골의 원위 1/3부위를 측정하였으나 골대사가 왕성한 trabecular bone을 반영할 수 없었다^{36, 37)}. 그후 rectilinear-SPA가 개발되어 cortical bone과 trabecular bone의 비율이 비슷한 요골 말단부를 측정하였으나 미세한 위치선정의 변화에도 측정치의 오차가 높을 수 있다³⁾. 이런 SPA의 단점을 보강하고 주위 연부조직의 영향을 감소시켜 두꺼운 부위나 전신을 검사하기 위해 저에너지와 고에너지의 광자속을 같이 발생하는 DPA가 개발되었다^{16, 23)}. 광자골밀도측정법은 비교적 높은 정확도, 낮은 방사선노출량 등의 장점들이 있으나 trabecular bone을 분리측정할 수 없으며, 공간분해능(spatial resolution)이 낮고, 6-18개월마다 방사성동위원소를 교

체하여야 하는 등 단점들이 있다¹⁷⁾.

이중엑스선골밀도측정기 (Dual X-ray Absorptiometry, DXA)

단일광자나 단일X-선을 이용한 골밀도측정은 복잡한 구조의 골이나 주위의 연부조직이 두꺼울 경우 측정에 어려움이 있다. 어떤 특정한 에너지를 가진 방사선은 인체 조직들에서 각각 다르게 감약된다. 즉 저에너지속이 고에너지속보다 감약정도와 감약대조도에서 차이가 나게 된다. 저에너지속과 고에너지속을 동시에 사용하여 골조직의 감약만을 구할 수 있다^{17, 19, 34)}.

이중엑스선을 이용하는 골밀도측정법은 DER(dual energy radiography), DRA(dual energy radiographic absorptiometry), QDR(quantitative digital radiography), DEXA(dual energy X-ray absorptiometry)등의 다양한 약어로 사용되었으나 DXA로 통칭되고 있다³⁸⁾. DXA는 강한 beam intensity와 가는 beam collimation을 이용하므로 DPA의 5-8mm에 비하여 1.5mm 정도의 높은 공간분해능을 가지며, 검사시간의 단축, 높은 정밀도, 방사성동위원소가 필요없는 등의 장점을 가진다^{15, 17)}. DXA는 DPA와 마찬가지로 이중에너지를 이용하므로, DPA와 척추에서는 $r=0.98$, 대퇴골경부에서는 $r=0.95$ 정도의 높은 상관관계를 가지게 되어 DPA의 데이터베이스를 그대로 사용할 수 있다^{6, 15)}. 최근 pencil beam과 single detector 대신 fan beam과 multidetector system의 개발로 DXA는 더욱 검사시간이 짧아지고 resolution의 향상으로 거의 DPA를 대체해 가고 있는 추세이다^{6, 15, 31)}.

DXA는 요추, 대퇴 근위부, 전신의 측정에 주로 이용되지만 상완, 종골 등 어느 부위의 뼈에서도 이용될 수 있으며 요골최말단부나 Ward's triangle같은 특정부위의 측정도 용이하다¹⁷⁾. 요추에서는 주로 후전방측정법이 이용되지만 약 5분의 소요시간, $1 \mu\text{Sv}$ 의 조사선량, 약 1%의 정밀도(precision)와 5

%의 accuracy error를 보인다고 한다. 후전방측정법의 경우 골돌기체(osteophytes), 대동맥 석회화, 퇴행성척추관절돌기경화(degenerative facet sclerosis), 추간판 간격감소(intervertebral disc space narrowing) 등으로 실제 척추체 칼슘 밀도보다 측정치가 높게 나올 수 있으므로 측방측정법이 더욱 유용할 수 있다^{25, 32)}. 또한 측방측정법은 척추후궁(posterior arch)을 피할 수 있으므로 척추체만의 골밀도측정이 가능하다. 그러나 측정방법은 늑골과 골반을 피하여야 하므로 제3번과 4번요추만 측정이 가능한 단점이 있다^{24, 30)}. 일반적으로 측방측정법이 후전방측정법에 비하여 정밀도는 비슷하지만 감수도(sensitivity)는 높다고 보고되고 있으며^{15, 32)}, QCT와의 상관관계도 높다.

정량적 전산화단층촬영술 (Quantitative Computed Tomography, QCT)

QCT는 전신의 어떤 뼈에서도 다른 조직의 중첩없이 삼차원적인 순수한 골밀도를 얻을 수 있고 trabecular bone과 cortical bone을 분리하여 측정할 수 있으므로 DXA와 더불어 가장 광범위하게 이용되는 골밀도측정법이다^{1, 8, 13, 21)}. 방사선피폭량이 다른 검사법에 비해 아주 높다는 단점이 있다.

QCT는 다섯 개의 다른 농도를 함유한 K_2HPO_4 channel을 가진 phantom을 환자의 등에 부착시켜 연속된 3-4개의 요추의 중간부위를 스캔한 후 감약계수를 얻고 K_2HPO_4 의 감약 정도를 대입하여 골밀도를 측정하게 된다^{17, 21, 33)}. QCT는 단일에너지(single energy)를 이용하는 방법과 이중에너지(dual energy)를 이용하는 방법이 있다. 나이가 증가함에 따라 골수의 지방성분이 증가하므로 SE-QCT는 고령환자에서 실제의 골무기질보다 약 15-20% 낮게 측정되므로 연령에 따른 보정이 요구된다¹⁴⁾. DE-QCT는 지방성분에 의한 error를 배제시킬 수 있으나 방사선노출량이 단일에너지 QCT의 50 μ Sv에 비해 100 μ Sv로 증가하

게 된다¹⁷⁾.

QCT는 DXA에 비하여 정확한 BMD를 얻을 수 있을 뿐 아니라 골의 구조도 동시에 관찰할 수 있으나, 조작의 어려움, 높은 비용과 방사선노출량이 많다는 약점이 있다^{17, 22)}.

초음파골밀도측정법 (Quantitative Ultrasound)

1960년대부터 초음파를 이용한 골의 구성물질에 대한 실험적 연구가 있었으나 초음파기기의 발달에 힘입어 최근 새롭게 연구 발표되고 있으며, 초음파전파속도(ultrasound transmission velocity, UTV)를 이용하는 방법과 광대초음파감약(broadband ultrasound attenuation, BUA)를 이용하는 방법이 있다.

UTV는 초음파가 뼈를 통과하는 시간과 뼈의 직경과의 상수이며 meter/second로 표시된다. UTV는 bone mass, 지주골과 피질골의 분포, 골지주의 방향(trabecular orientation), 골내 유기물질과 비유기물질의 구성비 등에 영향을 받는다³⁵⁾. 현재 UTV는 수지골과 슬개골에서 이용되고 있으며 UTV와 BMD의 상관관계는 보고자에 따라 다양하며 논란의 여지가 많다.

초음파의 감약에 관여되는 인자는 주로 반사와 흡수이나 주파수(frequency)에도 많은 영향을 받는데 저주파수영역에서 직선에 가깝게 비례하므로 BUA 골밀도측정법에서는 200-600 kHz의 초음파를 이용한다¹⁷⁾. BUA는 trabecular volume과 trabecular orientation과 높은 상관관계를 가지므로 뼈의 구조변화 측정에 유용하다²⁹⁾. BUA는 종골에서 주로 측정하며 척추와 대퇴골경부 골절과의 진단 감수도와 특이도는 약 80%에 이른다고 한다⁴⁾.

초음파를 이용하는 측정법은 방사선피폭이 전혀 없다는 장점이 있으나 불확실한 bone mass와의 관계, 주위 연부조직의 영향, 뼈와 초음파의 진행방향 등 해결해야 할

문제점들이 많다¹⁷⁾.

임상적 적용과 전망

점차 늘어나는 고령인구의 증가에 따른 골다공증의 발생 증가, 생활의 질적 변화에 따른 골다공증에의 관심의 고조, 골다공증 환자들에의 사회경제적인 부담이 증대되고 있으므로 의료계의 관심과 적절한 대비가 요망되며, 골다공증의 조기진단, 치료방향의 결정, 치료후 추적검사에서 골밀도측정법은 그 중요성과 수요는 급격히 증대될 것이다.

골밀도측정치의 판정은 연령, 성별, 인종에 따른 정상 데이터베이스와의 비교가 필수적인데, Z-score와 T-score를 많이 이용하며, 연령별 평균치와의 차이인 Z-score는 biologic variability를 반영하며, 젊은 정상 성인의 최고치와의 차이인 T-score는 골절위험예측에 이용된다¹⁷⁾. 지금까지 정립된 골밀도측정법의 임상적 적용은 1) 부갑상선기능항진증, 신부전증, 쿠싱씨증후군, 폐경전 무월경증, chronic immobilization, 장기간의 스테로이드 혹은 항갑상선제제의 복용 등의 대사성 질환 2) estrogen 치료가 필요한 폐경기 전후의 부인 3) 방사선학적 소견이나 임상적으로 위험인자를 가져 골다공증이 의심되는 경우 4) 골다공증의 진행 및 치료후 추적검사 등에서 이용되고 있다²¹⁾.

일반 X선 촬영과 방사성동위원소를 이용한 골밀도측정법은 여러 제약 때문에 임상적 이용은 점차 감소할 것이다. QCT는 다른 조직과 중첩 없이 골밀도를 측정할 수 있고 뼈의 구조를 동시에 관찰할 수 있으므로 폐경기후 조기진단과 척추의 골다공증의 유무 진단에 가장 유용하나 과다한 방사선노출이 문제가 되고 있으며, DXA는 높은 정밀도, 짧은 검사시간, 검사부위의 자유로운 선택, 비교적 저렴한 숫자 등의 장점으로 일반적인 검사방법으로 광범하게 이용될 것이고, 초음파측정법은 저렴한 가격과 방사선 피폭이 없으나 기기의 개선과 연구의 축적이 이루어져야 할 것이다. 그리고 골다공증환

자에서 골밀도 측정부위의 결정과 골밀도측정기기의 선택은 골절위험도 예측, 폐경기 전후의 골 손실, 장기 추적검사 등 환자에 따른 골밀도측정의 목적과 골다공증을 초래하는 질환의 종류에 따라 달라질 것이므로 이에 대한 연구가 더욱 진행되어야 할 것이다.

REFERENCES

1. 서수지, 최태진, 주양구, 김 홍 : 이중 에너지전산화단층촬영술을 이용한 골무기질함량의 정량적 분석. 대한방사선의학회지 25 : 4, 586-592, 1989.
2. 홍경천, 정혜경, 김정혁, 서원혁 : 한국인의 장골 및 상박골 피질폭 계측에 대한 연구. 대한방사선의학회지 19 : 2, 463-468, 1983.
3. Awbrey BJ, Jacobson PC, Grubb SA, et al : Bone density in women : A modified procedure for measurement of distal radial density. J Orthop 2 : 314, 1984.
4. Baran DT, Kelly AM, Karellas A, et al : Ultrasound attenuation of the os calcis in women with osteoporosis and hip fracture. Calcif Tissue Int 43 : 138-142, 1988.
5. Black D, Cummings SR, Genant HK, et al : Axial and appendicular bone density predict bone fractures in older women. J Bone Min Res 7 : 633, 1992.
6. Borders J, Kerr E, Sartoris DJ, et al : Quantitative dual energy radiographic absorptiometry of the lumbar spine : In vivo comparison with dual-photon absorptiometry. Radiology 170 : 129-131, 1989.
7. Cameron JR, Mazess RB, Sorenson MS : precision and accuracy of bone mineral determination by direct pho-

- ton absorptiometry. *Invest Radiol* 3 : 141, 1968.
8. Cann CE, Genant HK : Single versus dual-energy CT for vertebral mineral quantification. *J comp Assist Tomogr* 7 : 551, 1983.
9. Cosman F, Herrington B, Himmelstein S, Lindsay R : Radiographic Absorptiometry : A simple method for determination of bone mass, *Osteoporosis Int* 2 : 34, 1991.
10. Cummings SR, Black D : Should perimenopausal women be screened for osteoporosis ? *Ann Intern Med* 104 : 817-823, 1986.
11. Cummings SR, Kelsey JL, Nevitt MC, O'Dowd KJ : epidemiology of osteoporosis and osteoporotic fractures, *Epidemiol Rev* 7 : 178, 1985.
12. Genant HK, Block JE, Steiger P, et al : Appropriate use of bone densitometry. *Radiology* 170 : 817-822, 1989.
13. Genant HK, Cann CE, Pozzi-Mucelli RS, Kanter AS : Vertebral mineral determination by quantitative computed tomography : Clinical feasibility and normative data. *J Comp Assist Tomogr* 7 : 554, 1983.
14. Glur CC, Genant HK : Impact of marrow fat on accuracy of quantitative CT. *J Comp Assist Tomogr* 13 : 1023, 1989.
15. Glur CC, Steiger P, Selvidge R, et al : Comparative assessment of dual-photon-absorptiometry and dual-energy-radiography. *Radiology* 174 : 223-228, 1990.
16. Goodsitt MM, Murano R, Richardson ML : DPA technique for simultaneously measuring bone, soft tissue, and fat content. *Invest Radiol* 24 : 762, 1989.
17. Grampp S, Jergas M, Glur CC, Lang P, Brastow P, Genant HK : Radiologic diagnosis of osteoporosis : current methods and perspectives. *RCNA* 31 : 5 : 1133-1145, 1993.
18. Hansson T, Roos B : The relation between bone mineral content, experimental compression fractures, and disc degeneration in lumbar vertebrae. *Spine* 6 : 147, 1981.
19. Jacobson B : X-ray spectrometry in vivo. *AJR* 91 : 202-220, 1964.
20. Jones CD, Laval-Jeanet AM, Laval-Jeanet MH, Genant HK : Importance of measurement of spongy vertebral bone mineral density in assessment of osteoporosis. *Bone* 8 : 201, 1987.
21. Kalender WA, Brestowsky H, Felsenberg D : Bone mineral measurements : Automated determination of the midvertebral CT section. *Radiology* 168 : 219-221, 1988.
22. Kalender WA, Klotz E, Suss C : Vertebral bone mineral analysis : An integrated approach. *Radiology* 164 : 419-423, 1987.
23. Krolner B, Pors Nielson S : Measurement of bone mineral content(BMC) of lumbar spine. Part 1. Theory and application of a new two-dimensional dual photon attenuation method. *Scand J Clin Lab Invest* 40 : 485-487, 1980.
24. Larnach TA, boyd SJ, Smart RC, et al : Reproducibility of lateral spine scans using dual energy x-ray absorptiometry. *Calcif Tissue Int* 51 : 25, 1992.
25. Louis O, van den Winckel P, Covens

- P. et al : Dual-energy x-ray absorptiometry of lumbar vertebrae : relative contribution of body and posterior elements and accuracy in relation with neutron activation analysis. *Bone* 13 : 317, 1992.
26. Owen RA, Melton LJ, Gallagher JC, Riggs L : The national cost of acute care of hip fracture associated with osteoporosis. *Clin Orthop* 150 : 172, 1980.
27. Phillips S, Fox N, Jacobs J, Wright WE : The direct medical costs of osteoporosis for American women aged 45 and older, 1986. *Bone* 9 : 271, 1988.
28. Raisz LG : Local and systemic factors in the pathogenesis and prevention of osteoporosis. *N Eng J Med* 318 : 818, 1988.
29. Resch H, Pietschmann P, Bernecker P, et al : Broadband ultrasound attenuation : A new diagnostic method in osteoporosis. *AJR* 155 : 825-828, 1990.
30. Rupich RC, Griffin, MG, Pacifici R, et al : Lateral dual-energy radiography : Artifact error from rib and pelvic bone. *J Bone Min Res* 7 : 97, 1992.
31. Sartoris DJ, Resnick D : Dual energy radiographic absorptiometry for bone densitometry : Current status and perspective. *AJR* 152 : 241-246, 1989.
32. Slosman DO, Ravioli R, Donath A, Bonjour JP : Bone mineral density of lumbar vertebral body determined in supine and lateral decubitus. Study of precision and sensitivity. *J Bone Miner Res* 7(suppl1) : S192, 1992.
33. Steiger P, Block JE, Steiger S, et al : Spinal bone mineral density by quantitative computed tomography : Effect of region of interest, vertebral level, and technique. *Radiology* 175 : 537-543, 1990.
34. Stein JA, Lazewatsky JL, Hochberg AM : Dual energy X-ray bone densitometer incorporating an internal reference system. *Radiology* 165 : 313, 1987.
35. Tavakoli MB, Evans JA : Dependence of the velocity and attenuation of ultrasound in bone on the mineral content. *Phys Med Biol* 36 : 1529, 1991.
36. Vogel JM, Wasnich RD, Ross PD : The clinical relevance of calcaneus bone mineral measurements : A review. *Bone Miner* 5 : 35, 1988.
37. Wasnich RD, Ross PD, Heilburn LK, Vogel JM : Selection of the optimal site for fracture risk prediction. *Clin Orthop* 216 : 262-269, 1987.
38. Wilson CR, Collier BD, Carrera GF, Jacobson DR : Acronym for dual-energy X-ray absorptiometry. *Radiology* 176 : 875, 1990.