

골밀도 측정의 올바른 임상 적용

경희대학교 의과대학 핵의학과
김 덕 윤

Clinical Application of Bone Mineral Density Measurement

Deog-Yoon Kim, MD.

Department of Nuclear Medicine, Kyung Hee University, School of Medicine, Korea

Compared with the earlier technique of dual photon absorptiometry (DPA) using ¹⁵³Gd radionuclide source, dual energy X-ray absorptiometry (DXA) has advantages of higher precision, accuracy and shorter scanning time. Despite the change from DPA to DPX, the nuclear medicine physicians has remained one of major supplier of this service due to long-standing use of DPA.

Among many kinds of bone densitometries, DXA is the "gold standard" for the noninvasive diagnosis of osteoporosis. Especially there is no role for peripheral devices in the monitoring of patients on therapy. But, there are some areas of controversy related to the application of DXA, such as proper site of measurement, accurate interpretation, appropriate use of T-score, and the reference population young database. And the accuracy, precision, and quality control issues relating to bone density measurement are important subjects. To address these issues, the International Society for Clinical Densitometry (ISCD) has convened two Position Development Conferences and addressed official positions.

This review deals the key elements of ISCD position paper and other important issues on the management of bone densitometry. (Korean J Nucl Med 38(4):275-281, 2004)

Key Words: Bone densitometry, bone mineral density, osteoporosis, quality control

서 론

골다공증은 가장 흔한 대사성 골질환의 하나로 대퇴골, 척추, 손목 등에서 작은 충격에 의해서도 골절이 발생한다. 미국에서는 800만명의 여성이 골다공증, 2200만명이 골감소증으로 추정되고 국내에서도 폐경후 여성에서 골다공증이 10%, 골감소증이 30% 전후로 보고될 정도로 유병율이 높은 질환이다.¹⁻³⁾ 골다공증성 골절은 사망률 증가와 밀접한 관계가 있고 전체 의료비 상승 등 사회적인 문제를 유발하기 때문에 골다공증에 대한 의학적 관심이 급증하고 있다.

골다공증에 있어 핵의학적 평가 방법은 중요한 역할을 담당하여 왔다.⁴⁾ ^{99m}Tc-MDP를 주사하고 24시간 전신 섭취율을 측정하여 골교체율을 평가한 바 있고,⁵⁾ 방사면역측정법을 이용한 골표지자 측정은 현재에도 골다공증 진료에 일상적으로 사용되는 필

수 검사이다.⁶⁾ 초기의 골밀도 측정기는 DPA (Dual photon absorptiometry) 기종으로 방사성동위원소인 ¹⁵³Gd을 사용하였기 때문에 골밀도검사는 핵의학의 한 분야로 인정되었고,⁷⁾ 1987년 X-선을 사용하여 해상도와 정밀도를 개선시킨 DXA (Dual energy X-ray absorptiometry)로 대체된 후에도 오랜 기간동안 DPA 경험이 축적되어있는 핵의학에서 자연스럽게 DXA를 승계하였다. 그러나 골다공증 진료에 직접 관여하는 진료과에서 연구 및 진료의 편리성을 이유로 DXA를 직접 관리하는 예가 많아짐에 따라 핵의학에서 골밀도 측정 분야의 비중이 상대적으로 감소하게 되었다. 그럼에도 불구하고 현재까지 핵의학에서 DXA를 관리하는 센터가 많이 있으며 오랜 기간동안 축적된 경험을 더욱 발전시켜 골다공증 분야에서 중요한 역할을 지속적으로 담당하는 것이 바람직하다. 더욱이 골다공증 진단의 또 다른 중요 요소인 골표지자 측정 또한 핵의학 영역의 검사이므로 골다공증 진단에 있어 통합적이고 중추적인 역할을 할 수 있다.

현재 골다공증의 진단에 여러 종류의 골밀도측정기가 사용되고 있고 이와 연관된 다양한 주제가 있으나 본 종설에서는 표준 검사로 인정되고 핵의학과 깊은 연관성을 갖고 있는 DXA를 중심으로 정확한 적용과 해석 및 올바른 질관리에 대하여 알아보려고 한다.

• Received: 2004. 8. 9. • Accepted: 2004. 8. 16.
• Address for reprints: Deog-Yoon Kim, M.D., Department of Nuclear Medicine, College of Medicine, Kyung Hee University, #1 Hoeki-dong, Dongdaemun-ku 130-702, Korea
Tel: 82-2-958-8211, Fax: 82-2-968-1848
E-mail: duck@khu.ac.kr

골밀도 측정 방법과 결과 해석

적절한 골밀도 측정 방법을 선택하여 정확한 결과를 얻는 것은 매우 중요하다. 검사 결과는 언제나 임상 소견을 함께 고려하여 평가하여야 한다. 골밀도 측정의 국제학술단체인 ISCD(International Society for Clinical Densitometry)에서는 여러 전문가들이 참여하여 골밀도 측정 진료권고안을 작성하여 2002년과 2004년 두 차례 발표하였다.^{8,9)} 이 권고안은 골밀도 측정과 연관된 주요 문제점을 정리하고 논란이 되어왔던 문제들에 대하여 잠정적인 해결방법을 제시하는 등 임상적으로 유용한 정보를 제공하고 있다. ISCD 권고안을 중심으로 올바른 골밀도 측정 방법과 해석에 대하여 알아보 고자 한다.

1. 골다공증의 새로운 정의와 골강도의 중요성

골다공증은 골량이 감소하고 골조직의 미세구조에 장애가 발생하여 골절에 대한 감수성이 높아진 질환으로 정의되어 왔으나 최근 골강도의 손상으로 골절 위험이 증가되는 질환으로 새롭게 정의되었다.¹⁰⁾ 골강도는 Fig. 1과 같이 여러 요소에 의하여 결정되며 최근에는 골의 질이 강조되고 있는 추세이다. 예를 들어 같은 골밀도라도 연령이 높거나,¹¹⁾ 골절 병력이나 스테로이드 사용 군에서 골절이 더 잘 발생하며 골다공증 약제의 골절감소 효과를 골밀도의 변화만으로는 설명할 수 없기 때문에 골밀도 외에 다른 인자가 관여함을 알 수 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 따라서 최근에는 골밀도 외에

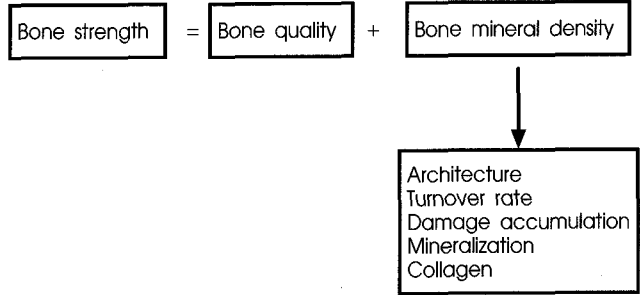


Fig. 1. Determinants of bone strength

골의 질에 대한 연구가 활발하게 진행중이다. 해면골의 골소주 두께, 연결성과 방향, 구조 등과 같이 3차원 정보를 제공하는 micro-CT, micro-MRI 등이 빠른 속도로 발전하고 있고 직접 인체에 적용할 수 있는 고해상도 CT, MRI도 소개되고 있다.¹⁵⁾ 따라서 골강도를 결정하는 요소에 대하여 종합적으로 평가해야 골다공증을 정확하게 진단할 수 있다. 이와 같은 분위기에도 불구하고 현재 임상에서 이용할 수 있는 도구는 골밀도와 골표지자 뿐이다. 더욱이 골밀도는 골강도의 66-74%를 반영하며 직접적인 상관관계가 증명되어 현재까지도 골다공증 진료에 가장 중요한 역할을 담당하고 있다.¹⁶⁾

2. 골밀도 측정법의 종류와 적응증

현재 측정부위나 방법이 다양한 여러 종류의 골밀도 측정기가 사용되고 있기 때문에 임상적으로 많은 논란이 야기되고 있으나

Table 1. Comparison of densitometric techniques

Method	Advantage	Disadvantage
Dual energy X-ray absorptiometry (DXA)	1. High accuracy and precision 2. Multiple sites of assessment including spine, femur, forearm and total body 3. Application of WHO criteria* 4. Evaluation of compression fracture and hip axis length 5. Evaluation of total body composition	1. Relatively high cost 2. Need for experienced technologists
pDXA (peripheral DXA), Radiographic absorptiometry (RA)	1. Relatively high precision 2. Low cost 3. Saving space	1. Restricted to peripheral bones 2. Inability to apply WHO criteria
Quantitative ultrasound (QUS)	1. Low cost 2. No radiation 3. Saving space 4. Portability 5. Possible evaluation of some aspects of bone quality	1. Restricted to peripheral bones 2. Inability to use for monitoring 3. Inability to apply WHO criteria
Quantitative computed tomography (QCT), pQCT (Peripheral QCT)	1. Three-dimensional data 2. Discrimination of bone mass between cortex and medulla 3. Early monitoring of treatment effect	1. High cost 2. Influence by bone marrow fat 3. High radiation 4. Need for an experienced technologists 5. Inability to evaluate femoral bone density 6. Inability to apply WHO criteria

* WHO criteria ; World Health Organization criteria for diagnosis of osteoporosis

Table 2 Indications for bone mineral density testing (ISCD* official positions)⁸⁾

- Women aged 65 and older
- Postmenopausal women under age 65 with risk factors
- Men aged 70 and older
- Adults with a fragility fracture
- Adults with a disease or condition associated with low bone mass or bone loss
- Adults taking medications associated with low bone mass or bone loss
- Anyone being considered for pharmacologic therapy
- Anyone being treated, to monitor treatment effect
- Anyone not receiving therapy in whom evidence of bone loss would lead to treatment
- Women discontinuing estrogen should be considered for bone density testing according to the indications listed above.

* ISCD : International Society of Clinical Densitometry

DXA가 골다공증 진료에 가장 적합한 표준기준으로 인정되고 있다.⁸⁾ 골밀도측정기의 종류에 따른 장단점은 Table 1에 정리하였다.

말단골 골밀도측정법은 DXA에 비하여 가격이 저렴하고 공간을 적게 차지하며 방사선 피폭량도 적기 때문에 개원가나 검진센터에서 흔히 사용되고 있다. ISCD 권고안에서는 말단골측정법의 단점으로 첫째, 골다공증의 WHO (World Health Organization) 진단기준은 말단골 골밀도 측정법에 적용할 수 없고, 둘째, 각 기기마다 골다공증 진단에 적합한 수치가 설정되어야 하며, 셋째, 치료후 변화를 판정하거나 추적검사에는 사용할 수 없음을 지적하였다.¹⁷⁾ 특히 정밀도가 나빠서 추적 검사에 사용할 수 없는 점은 골다공증 검사기기로서 결정적인 약점이라 할 수 있다. 이에 비하여 DXA는 골다공증의 진단과 치료후 효과 판정에 모두 사용할 수 있다.

ISCD에서 제시하는 골밀도검사의 적응증은 Table 2와 같다.⁹⁾ 국내에서도 가까운 시일 내에 이 적응증이 심사평가원의 보험인정기준으로 사용될 전망이다.

3. 측정부위와 평가방법

골다공증의 유병율은 측정부위, 해부학적 관심영역 선택과 측정 방법에 따라 변한다. 이는 측정부위에 따라 골조성 비가 다르고 골소실 정도에 차이가 있기 때문이다. 예를 들어 폐경후 여성에서는 척추의 골밀도가 대퇴골에 비하여 골다공증 빈도가 높게 측정된다. 고령에서는 대퇴골 골밀도 감소가 특징적이며 척추는 퇴행성 변화로 오히려 높게 측정되는 경향이 있다.

척추와 대퇴골은 골다공증성 골절이 흔히 발생하는 부위이므로 이 두 부위를 측정하여 골밀도가 낮은 부위를 기준으로 진단한다.¹⁸⁾ 일차성부갑상선기능항진증과 같이 피질골의 소실이 더 뚜렷한 경우는 요골 1/3 부위의 골밀도를 측정한다.

1) 척추 골밀도 검사

척추는 해면골이 풍부하여 폐경후 여성에서 골대사의 변화를

예민하게 반영한다. L1은 압박골절이 흔히 발생하고 L5는 골밀도의 편차가 너무 심하여 L2-L4의 골밀도 평균치를 이용한 바 있으나 ISCD 권고안에서는 L1-L4 평균치를 기준으로 진단하도록 하였다.¹⁸⁾ 65세 이상에서는 퇴행성 변화로 오차가 발생할 위험성이 높다. 따라서 압박골절, 퇴행성 변화가 있는 부위를 배제한 후 진단한다. 정상적으로는 L1에서 L4로 가면서 골밀도가 증가하는데 이런 경향이 역전되거나 T-score가 주위 척추와 1표준 편차 이상의 차이를 나타내면 퇴행성 변화 등이 있는 부위일 가능성이 높다. 퇴행성 변화 등으로 한 부위만 평가할 수 있는 경우 그 부위의 골밀도만을 기준으로 진단할 수 있는가에 대해서는 아직 뚜렷한 결론이 없다.

척추 측면 골밀도는 측정 오차가 발생할 위험성이 높고, 일반적으로 낮게 측정되어 골다공증이 과잉진단되는 경향 등 골다공증 진단에 적합한 기준이 확립되어 있지 않아 사용이 권장되지 않는다. 최근에는 T4에서 L4까지 척추 측면 영상을 얻어 압박골절 여부를 확인할 수 있는 척추 계측 (morphometry) 소프트웨어를 사용하기도 한다. T4 상부는 골다공증성 골절이 드물기 때문에 포함시키지 않는다.

2) 대퇴골 골밀도 검사

임상적으로 심각한 문제를 야기하는 대퇴골 골절의 발생을 예측하는데는 다른 부위에 비하여 대퇴골에서 측정된 골밀도가 가장 높은 연관성을 나타낸다.^{19,20)} 대퇴골 전체, 경부, 전자부의 골밀도 중 낮은 부위로 진단한다.²¹⁾ 최근에는 대퇴골 전체 골밀도가 중요시되는데 이는 대퇴골 경부, 전자부를 모두 포함할 뿐만 아니라 정밀도가 가장 우수하여 치료후 반응 평가에 유리하기 때문이다.¹⁸⁾

Ward 부위는 대사변화를 잘 반영하지만 정밀도가 나쁘고 골다공증이 과잉진단될 위험성이 있어 사용하지 않는다.²²⁾ 우측 전완부의 골밀도가 좌측에 비하여 높게 측정되는 경향이 있는 것과는 달리 좌, 우 대퇴골 중 어떤 부위를 측정하여도 좋다.¹⁸⁾ 척추에

비하여 퇴행성 변화가 적은 편이나 병소가 없는 대퇴골을 선택하여 측정한다. 양측 대퇴골을 동시에 측정하는 것이 골다공증 진단에 유리하다는 의견도 있으나 아직 검증된 자료가 충분하지 않으며 경과 추적에 양측 전체 대퇴골의 평균을 이용할 수 있다.²³⁾

4. WHO 골다공증 진단 기준과 문제점

골밀도가 1표준편차만큼 감소하면 골절 위험도가 1.5-2.5배 증가한다. WHO 진단기준에 따르면 T-점수가 -2.5 이하인 경우를 골다공증으로, -1.0이하를 골감소증으로 정의하고 있다.²⁴⁾ T-점수란 '(측정값-젊은집단의 평균값)/표준편차'로 골절에 대한 절대적인 위험도를 나타내기 위해 골량이 가장 높은 젊은 연령층의 골밀도와 비교한 값이다. 따라서 골밀도측정기에 따라 측정단위나 절대수치가 달라도 비교가 가능하다. 골밀도를 기준으로 골다공증, 골감소증, 건강인으로 분류한 WHO 진단기준은 골절에 대한 위험정도를 고위험, 중등도 위험, 저위험 군으로 분류하고자 한 것이다. 또한 WHO 진단기준은 역학조사에서 위험도 비교를 목적으로 가상 역치를 설정하기 위한 것이었기 때문에 개인에서 골다공증의 진단과 치료 기준에 사용하기에는 많은 제한점이 있다. 이 기준은 폐경후 백인 여성을 기준으로 작성된 것이므로 한국인에서도 그대로 적용하여도 되는지에 대하여 알려진 바 없으나 광범위한 역학조사가 시행되기 전에는 WHO 진단기준을 적용하는 것이 합당할 것으로 보여진다.

Z-점수는 특정인의 골밀도와 성별과 나이를 연계시킨 정상 평균값과의 차이를 동일 연령대의 정상치의 표준편차로 나누어서 나타내는 것이다. 즉 Z-점수는 동일 연령층의 골밀도와 비교한 개념으로 이차성 골다공증의 평가나 소아나 폐경전 여성, 20-50세 사이 남성이나 50-64세 남성 중 골다공증에 대한 위험인자가 없는 경우에 적용한다.²⁵⁾

T-점수의 심각한 문제점은 동일인에서도 측정부위와 기종에 따라 그 점수가 달라지는 것이다. 그 이유는 첫째, 골격의 부위에 따라 골조성과 골소실의 정도가 다르고, 둘째, T-점수 산정의 기준이 되는 젊은 연령층의 정상 골밀도 데이터가 기종마다 다르며, 셋째, 골밀도 측정기마다 정확도에 차이가 있기 때문이다.²⁶⁾

또한 WHO 진단기준은 척추와 대퇴골 골밀도를 기준으로 설정되었기 때문에 말단골에는 적용할 수 없다. 이런 문제를 해결하기 위하여 각 기기마다 새로운 진단기준을 설정하는 'T-점수 등가치(equivalence)' 개념과 5년 혹은 10년내에 골절이 발생할 확률 등 다양한 평가방법이 시도되고 있다.²⁶⁾

WHO 진단기준은 골다공증의 진단 목적에 국한하여 설정되었기 때문에 치료의 직접적인 지침이 될 수 없다. 골다공증의 치료 여부를 골밀도만으로 평가할 수는 없으나 미국의 NOF

Table 3. Accuracy errors of dual energy x-ray absorptiometry

Intrinsic	Extrinsic	Clinical cause
1. Variations of soft tissue	1. Normal database	1. Vertebral deformity
2. Patient positioning	2. Calibration	2. Osteomalacia
3. Edge detection of region of interest		3. Osteoarthritis
		4. Scoliosis
		5. Obesity
		6. Ascites
		7. Operation

(National Osteoporosis Foundation) 가이드라인에서는 T-점수가 -2.0 이하에서 약물치료를 시작하고 T-점수가 -1.5에서-2.0 사이는 위험인자 유무에 따라 치료를 결정할 것을 권고한다.²⁷⁾

정확 오차의 원인과 관리

여러 인자가 정확도에 영향을 줄 수 있다(Table 3). 정확오차의 발생을 피검자, 검사자, 골밀도측정기에 의한 요인으로 구분하기도 한다. 정확오차중 일부는 동시에 정밀 오차의 원인이 되기도 한다.

1. 피검자에 따른 오차

골격의 퇴행성 변화와 압박골절, 대동맥 석회화 등에 의해 흔히 측정오차가 발생한다.²⁸⁾ 측정 부위의 인공물 즉 속옷에 부착된 단추, 보석류, 금속물, 수술에 의한 변화, 장내 조영제 등도 흔히 발생하는 오차의 원인이다. 또한 과도 비만과 간질환으로 복수가 있는 경우 복부의 두께가 30 cm 이상이면 검사 결과를 신뢰할 수 없다. 방사성동위원소에 의해서도 검사 수치에 변화를 초래할 수 있다.²⁹⁾ 따라서 뼈스캔과 동시에 시행하게 되면 방사성의약품 주사전에 골밀도검사를 먼저 시행하는 것이 좋다.

2. 검사자에 따른 오차

흔히 발생하는 오차는 검사자세를 올바르게 취하지 못하고, 요추의 위치 선정을 잘못하거나 대퇴골의 관심영역을 제대로 설정하지 못하는 것 등이다.

각 요추를 정확하게 구분하기 위하여 X-선 검사를 참고하기도 한다. 요추와 요추사이의 분리선을 정확하게 위치시키지 않고, 위, 아래의 요추에 분리선이 중복된다면 오차가 발생한다. 대퇴골에서는 하지를 내전시키는 각도가 중요하다.

3. 골밀도측정기에서 발생하는 오차

진단기기 자체와 기계적 보정(calibration)에 의한 오차는 흔히 발생한다.

골밀도 측정시 측정 부위의 테두리를 기계가 자동적으로 인식하여 그려주는데 골밀도가 매우 낮은 일부가 빠져 인식되지 않을 수 있으므로 직접 수정해 주어야 한다.

현재 국내에서 사용하는 골밀도의 정상 표준치는 골밀도측정기 제조회사마다 많은 차이를 나타내고 있어 동일인에서도 진단이 달라지는 문제점이 있다.

정밀도 관리

골밀도측정기가 다른 의료검사장비에 비하여 높은 정밀도를 나타냄에도 불구하고 골다공증 환자의 추적검사시 골밀도의 변화폭이 매우 적기 때문에 상대적으로 더 엄격한 정밀도를 요구한다.

1. 적절한 추적검사 기간

일정기간 후에 골밀도 변화를 관찰할 때 측정된 수치가 생체내 골밀도 변화를 직접 반영하는 것인지 측정 오차인지를 감별하는 것이 매우 중요하다. 즉 '최소한 의미있는 변화(Least significant change, LSC)'보다 큰 변화를 나타내야만 유의한 변화로 정의할 수 있다. LSC를 산출할 때 80% 혹은 95% 신뢰구간을 설정할 것인가에 대하여 논란이 있어왔다. 최근 ISCD에서는 95% 신뢰구간을 적용하도록 규정하였는데 이 경우 LSC를 산출하려면 정밀오차에 2.77을 곱해준다.³⁰⁾ 골소실이 예상될 때는 95% 신뢰구간, 골밀도의 증가가 예측될 때는 80%의 신뢰구간이 적합하다는 견해도 있다. 80%의 신뢰구간에서는 정밀오차에 1.81을 곱해준다.

골밀도의 적절한 추적기간은 LSC와 치료에 대한 골밀도의 변화폭에 따라 결정된다. 환자의 연령, 기저 골밀도치 외에 골소실과 연관된 요인들을 고려한다. 또한 예상되는 치료효과 등을 감안하여 가장 적합한 추적기간을 계산하는 것이 이상적이나 실제로는 복잡하여 임상진료에 적용하기 어렵다. 정밀오차가 일반적으로 알려진 범위 내에서 조절되고 있다면 척추나 대퇴골에서는 1-2년마다 골밀도 측정을 시행한다. 이보다 짧은 기간에 측정하면 정밀오차 범위 내에 있으므로 실제 변화여부를 평가할 수 없다. 스테로이드에 의한 골소실은 매우 빨리 진행될 수 있으므로 6개월마다 측정할 수 있다.

2. 추적검사 시 점검사항

골밀도 결과를 판독할 때 동일한 조건에서 얻어진 결과인지 확인한다. 먼저 시행한 검사와 비교하여 척추의 범위를 잘못 설정하거나 척추 사이를 구분하는 선의 위치가 일정하지 않고 척추

압박골절이 새로 발생한 것을 고려하지 않는 것 등이 흔히 발생하는 오차이다. 동일한 척추에서는 같은 면적의 관심영역이 설정되었는지 확인한다. 대퇴골 골밀도에서는 환자의 위치가 일정하지 않고 경부의 관심영역이 달리 설정되거나 테두리 선정이 잘못된 경우가 흔히 발생한다. 이를 위해서는 검사자의 역할이 매우 중요하다. 정밀도에 영향을 미치는 요소와 질관리에 대하여 적절하게 대처할 수 있어야 한다. 검사자의 잦은 교체는 정밀도에 지대한 영향을 초래하므로 전담근무체제를 유지하고 정기적인 교육 프로그램이 필요하다.

DXA의 단점은 연부조직의 분포에 따라 측정오차가 발생하는 것이다. 따라서 추적 검사기간동안 환자체중이나 체지방 조성 등이 크게 변화하면 골밀도에 영향을 준다.^{31,32)}

3. 단기간 정밀도의 평가

원칙적으로 각 기관마다 직접 시행한 정밀도 자료를 확보해야 한다. 최소한 30명 이상에서 2번씩 골밀도 측정을 시행하거나, 15명에서 3번씩 측정된 결과에서 정밀오차를 산출한다.³³⁾ 이때 피검자를 골밀도측정기에서 내려오게 한 후 다시 위치를 선정해야 측정오차를 정확하게 평가할 수 있다. 또한 검사자가 2사람 이상이면 각 개인마다 정밀오차자료를 얻어야 한다. ISCD 홈페이지 (<http://www.iscd.org>)에서 엑셀 파일로 된 측정오차 산출표를 쉽게 얻을 수 있으며 측정결과를 입력하면 정밀도를 구할 수 있다. 단기간의 정밀오차 즉 변이계수는 표준편차를 평균치로 나눈 값에 100%를 곱한 수치로 표시한다.³⁴⁾ 가능하면 환자군과 유사한 연령층을 대상으로 정밀오차를 설정하도록 한다. 척추와 대퇴골 등 측정 부위에 따라 정밀오차가 따로 측정되어야 한다.

병원의 규모가 작아 정밀도를 얻기 어려우면 일반적으로 잘 알려진 정밀오차를 참고하여 사용한다. 많은 연구에서 척추와 대퇴골의 단기간 DXA 정밀도는 1-3% 정도로 알려져 있다. Miller 등은 척추에서 연간 0.04 g/cm² 이상, 대퇴골에서 0.05 g/cm² 이상의 변화라야 95% 신뢰구간에서 의미있는 변화라고 하였다.³⁵⁾

팬텀(phantom)에서 얻어진 정밀도는 골밀도측정기의 질관리와 기계자체의 정밀도를 잘 반영한다. 그러나 환자나 측정자에 의해 발생하는 정밀오차를 반영할 수 없기 때문에 인체에서 측정된 정밀도 검사를 대체할 수 없다. 또한 제조회사에서 제공하는 정밀도는 참고자료일 뿐 그대로 적용해서는 안된다.

4. 장기간 정밀도

수개월 혹은 수년간 발생할 수 있는 정밀오차를 평가하려면 단기간 정밀도에 관여하는 인자의외에 추가적으로 여러 요소를 고려해야 한다. 즉 측정기의 보정이 전반적으로 미세한 변화를 나

타내어 매일 팬텀으로 시행하는 질관리에서 확인되지 못한 경우, 환자의 체중과 연부조직의 조성 변화, 소프트웨어의 변화, 측정자의 교체 등이 관여한다. 환자에서도 장기간 동안 골밀도의 변화가 초래되기 때문에 기본적으로 골밀도의 변화를 전제로 장기간 정밀도를 평가해야 한다. 따라서 골다공증에 대한 치료를 받지 않는 성인에서 장기간 동안 골밀도가 일정한 속도로 소실된다는 가정하에 회기분석을 통해 얻어진 측정치의 표준오차(standard error of the estimate, SEE)로 무작위 오차(random error)를 구한다.^{36,37)} 따라서 장기간 정밀도는 SEE를 평균치로 나눈 값에 100%를 곱하여 얻어진 변이계수로 평가한다.³⁸⁾

5. 팬텀을 이용한 일상적인 질관리

제조회사에서 정한 지침에 따라 팬텀을 이용하여 질관리를 정기적으로 시행한다. 가능하면 매일 아침마다 팬텀을 이용하여 질관리를 시행하는 것이 좋으며 ISCD에서는 최소한 일주일에 1회 이상을 권장하고 있다.²³⁾ 여러 가지 질관리방법이 소개되고 있는데 예를 들어 팬텀 측정치가 평균치의 1.5% 이상 혹은 2회 연속 측정에서 1.0% 이상의 변화를 나타내면 측정기의 오차 가능성이 있으므로 기계점검을 의뢰한다.

팬텀은 hydroxyapatite로 조성되어 뼈를 반영하는 부분과 물에 해당되는 epoxyresin으로 연부조직을 반영하도록 되어 있으며 평가 목적에 따라 여러 종류의 팬텀이 사용되고 있다.

References

1. Kim YI, Park JH, Lee JS, Kim JW, Yang SO, Jeon DJ, et al. Prevalence and risk factors of the osteoporosis of perimenopausal women in the community population. *Korean J Med* 2002;62:11-24.
2. Yoon HK, Kim SW, Yim CH, Chung HY, Oh HJ, Han KO, et al. Metabolic characteristics and prevalence of osteoporosis among women in Tae-An area. *J Korean Med Sci* 2001;16:323-7.
3. Kim CH, Kim YI, Choi CS, Park JY, Lee MS, Lee SI, et al. Prevalence and risk factors of low quantitative ultrasound values of calcaneus in Korean elderly women. *Ultrasound and Med Biol* 2000;26:35-40.
4. Goodwin PN. Methodologies for the measurement of bone density and their precision and accuracy. *Semin Nucl Med* 1987;17:293-304.
5. Thomsen K, Gotfredsen A, Christiansen C. Bone turnover in healthy adults measured by whole body retention and urinary excretion of ^{99m}Tc-MDP. Normalization by bone mass. *Scan J Clin Lab Invest* 1986;46:587-92.
6. Kim DY. Biochemical markers of bone turnover. *Korean J Nucl Med* 1999;33:341-51.
7. Wahner HW. Single- and dual-photon absorptiometry in osteoporosis and osteomalacia. *Semin Nucl Med* 1987;17:305-15.
8. Lenchik L, Leib ES, Hamdy RC, Binkley NC, Miller PD, Watts NB. Executive summary international society for clinical densitometry position development conference. *J Clin Densitom* 2002;5:S1-3.
9. Leib ES, Lewiecki M, Binkley N, Hamdy RC. Official positions of the international society for clinical densitometry. *J Clin Densitom*

- 2004;7:1-5.
10. NIH consensus development panel on osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA* 2001;285:785-95.
11. Hui SL, Slemenda CW, Johnston CC Jr. Age and bone mass as predictors of fracture in a prospective study. *J Clin Invest* 1988;81:1804-9.
12. Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. *JAMA* 2001;285:320-3.
13. Chesnut CH, Silverman S, Andriano K, Genant H, Gimona A, Harris S, et al. A randomized trial of nasal spray salmon calcitonin in postmenopausal women with established osteoporosis: The Prevent Recurrence of Osteoporotic Fracture study. *Am J Med* 2000;102:267-76.
14. Ettinger B, Black DM, Mitlak BH, Knickerbocker RK, Nickelsen T, Genant HK, et al. Reduction of vertebral fracture risk in postmenopausal women with osteoporosis treated with raloxifene; results from a 3-year randomized clinical trial. *JAMA* 1999;282:637-45.
15. Genant HK. Imaging of bone micro-structure in osteoporosis. *Top Magn Reson Imaging* 2002;13:295-6.
16. Lotz JC, Cheal EJ, Hayes WC. Frature prediction for the proximal femur using finite element models: Part I-linear analysis. *J Biomech Eng* 1991;113:353-60.
17. Miller PD, Njeh CF, Jankowski LG, Lenchik L. What are the standards by which bone mass measurement at peripheral skeletal sites should be used in the diagnosis of osteoporosis? *J Clin Densitom* 2002;5:S39-45.
18. Hamdy RC, Petak SM, Lenchik L. Which central dual X-ray absorptiometry skeletal sites and regions of interest should be used to determine the diagnosis of osteoporosis? *J Clin Densitom* 2002;5:S11-7.
19. Marshall D, Johnell O, Wedel H : Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ* 1996;312:1254-9.
20. Kanis JA, Gluer C-C : An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. *Osteoporosis Int* 2000;11:192-202
21. Faulkner KG. bone densitometry: choosing the proper skeletal site to measure. *J Clin Densitom* 1998;1:279-85.
22. Aoki TT, Grecu EO, Srinivas PR, Prescott P, Benbarka M, Arcangeli MM. Prevalence of osteoporosis in women: variation with skeletal site of measurement of bone mineral density. *Endocr Pract* 2000;6:127-31.
23. The writing group for the ISCD position development conference. Technical standardization for dual-energy X-ray absorptiometry. *J Clin Densitom* 2004;7:27-36.
24. Kanis JA, Melton LJ, 3rd, Christiansen C, Johnston CC, Khaltaev. The diagnosis of osteoporosis. *J Bone Miner Res* 1994;9:1137-41
25. The writing group for the ISCD position development conference. Diagnosis of osteoporosis in men, premenopausal women, and children. *J Clin Densitom* 2004;7:17-26.
26. Miller PD. Bone mineral density- clinical use and application. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2003;32:159-79.
27. National Osteoporosis Foundation : Physicians Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. Washington DC: *National Osteoporosis Foundation* 1998.
28. Masud T, Langley S, Wiltshire P, Doyle DV Spector TD : Effects of spinal osteophytosis on bone mineral density measurements in vertebral osteoporosis. *BMJ* 1993;379:172-3.
29. Mueller B, O'Connor MK. Effects of radioisotopes on the accuracy of dual-energy X-ray absorptiometry for bone densitometry. *J Clin Densitom* 2002;5:283-7.
30. Lenchik L, Kiebzak GM, Blunt BA. What is the role of serial bone mineral density measurements in patient management? *J Clin*

- Densitom* 2002;5:S29-38.
31. Svendsen OL, Hassager C, Skodt V, et al. 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: 868-873.
 32. Phillipov G, Seaborn CJ, Phillips PJ. Reproducibility of DXA: potential impact of serial measurements and misclassification of osteoporosis. *Osteoporosis Int* 2001;12:49-54.
 33. Bonnick SL, Johnston CC, Kleerekoper M, et al. Importance of precision in bone density measurements. *J Clin Densitom* 2001;4: 105-10.
 34. Gluer CC, Blake G, Lu Y, et al. Accurate assessment of precision errors: how to measure the reproducibility of bone densitometry techniques. *Osteoporosis Int* 1995;5:262-70.
 35. Miller PD, Bonnick SL. Clinical application of bone densitometry. In: Primer in the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. 4th ed. Philadelphia: *Williams and Wilkins* ; 1999. p. 158
 36. Bonnick SL. Monitoring osteoporosis therapy with bone densitometry: a vital tool or regression toward mediocrity ? *J Clin Endocrinol Metab* 2000;85:3493-5.
 37. Blake GM, Fogelman I. Monitoring treatment for osteoporosis by using bone densitometry. *Semin Nucl Med* 2001;31:212-22.
 38. Patel R, Blake GM, Rymer, Fogelman I. Long-term precision of DXA scanning assessed over seven years in forty postmenopausal women. *Osteoporosis Int* 2000;211:68-75.