국산 이중에너지 방사선흡수 골밀도 장치와 GE Lunar Prodigy의 교차분석 식 도출에 관한 연구

김정수[1] · 노영훈[2] · 이인주[2] · 김경아[3] · 이인자[4] · 김정민[2,*]

[1]충북보건과학대학교 방사선과, [2]고려대학교 대학원 바이오융합공학과
[3]분당차병원 영상의학과, [4]동남보건대학교 방사선과

Cross-Calibration of Domestic Devices and GE Lunar Prodigy Advance Dual-Energy X-Ray Densitometer Devices for Bone Mineral Measurements

Jung-Su Kim[1], Young-Hoon Rho[2], In-Ju Lee[2], Kyoung-Ah Kim[3], In-Ja Lee[4] and Jung-Min Kim[2,*]

[1]*Department of Radiologic-Technology, Chungbuk Health & Science University, Cheongju 27850, Republic of Korea*
[2]*Department of Bio-convergence Engineering , Korea University Graduate School, Seoul 02841, Republic of Korea*
[3]*Department of Diagnostic Radiology, CHA Bundang Medical Center, CHA University, Gyeonggi 13496, Republic of Korea*
[4]*Department of Radiologic Technology, Dongnam Health University, Gyeonggi 16328, Republic of Korea*

Abstract - Reliable follow-up of bone mineral density (BMD) by dual energy X-ray absorptiometry (DXA) is essential in clinical practice. When there is a difference in the BMD values from DXA systems in the same patient, cross calibration equation is required for the reliable follow-up. Unfortunately, no equation is existed in BMD measure between GE Lunar Prodigy Advance (US, GE Healthcare; LPA) and Osteosys Dexxum T (Korea, Osteosys; ODT) DXA systems. In this study, we evaluate the agreement of BMD values between LPA and ODT and suggest the cross calibration equation using European spine phantom (ESP) with two systems. We performed BMD measurements using ten scans with ESP in each DXA systems. We compared BMD values and calculated cross calibration equation by linear regression analysis. The comparison between the LPA and ODT bone densitometers used the ESP. Compared to the ESP BMD values, ODT underestimated 14.36% and LPA overestimated 12.96%. The average of total BMD measurement values acquired with ODT were 21.44% lower than those from LPA. Cross-calibration equation for LPA and ODT was derived from ESP. We calculated simple cross calibration equation for LPA and ODT DXA systems. Cross-calibration equation is necessary for the reliable follow-up of BMD values in two different systems.

Key words : Dual energy X-ray absorptiometry, Bone densitometry, Cross calibration, Osteoporosis

* Corresponding author: Jung-Min Kim, Tel. +82-2-3290-5685, Fax. +82-2-921-6434, E-mail. minbogun@korea.ac.kr

서 론

골다공증은 골격계의 강도가 감소됨으로써 골절의 위험도가 증가하는 질환이다. 이러한 골다공증을 진단하는 방법에는 방사선흡수법(Radiographic absorptiometry; RA), 이중에너지 방사선흡수법(Dual energy X-ray absorptiometry; DXA), 정량적 전산화단층촬영법(Quantitative computed tomography; QCT), 자기공명영상법(Quantitative magnetic resonance; QMR) 등이 있다. 이 중 DXA는 골다공증 진단에 가장 많이 사용되는 표준 측정법으로 장기적인 추적검사에서 골밀도의 변화를 관찰하기 위한 검사법으로 널리 사용된다(Heymsfield *et al*. 1989; Mazess *et al*. 1990; Pierson 1995; Park 2012). DXA의 추적검사에서 장시간에 걸친 골밀도의 변화는 환자의 병기와 치료 효과를 반영하는 중요한 지표로 사용된다. 국제골대사학회(International Society for Clinical Densitometry; ISCD)에서는 골밀도의 추적검사에서 중요한 원칙으로 동일한 장비에서 지속적으로 추적검사를 시행하도록 권고하고 있다. 뿐만 아니라 임상장비의 노화나 장비 교체를 위해 동일 제조사의 다른 장비로 교체되거나 다른 제조사의 새로운 장비로 교체될 때에는 반드시 교차분석을 시행하도록 하고 있다(Shepherd 2006; Saarelainen 2016). 이는 동일한 제조사의 DXA 장치라 하더라도 다른 X선 발생장치를 사용할 수 있고 다른 제조사 장치의 경우 X선 발생장치나 구조의 차이로 인한 X선의 흡수의 차이를 나타낼 수 있기 때문이다. 외국의 선행 연구에서 GE나 Hologic과 같은 외국산 장비 사이의 교차분석 식에 대한 연구는 진행되었으나 국내에서 제조된 골밀도 장치와 외국산 장비에 대한 교차분석은 보고되지 않았다. 국내의 경우 2016 현재 질병관리본부에 등록되어 있는 DXA 장치는 5,671대에 이른다. 이 중 75%가 국산 DXA 장치이다. 이에 본 연구에서는 국산 DXA 장치 중 가장 많은 부분을 차지하는 Osteosys Dexxum T 장치와 외국산 장비 중에서 ISCD에서 교차분석 식을 제공하고 있는 GE Lunar Prodigy Advance 장비에 대한 교차분석을 시행하였다.

대상 및 방법

본 연구에서는 국내에서 제조된 Osteosys Dexxum T (Korea, Osteosys)와 GE Lunar Prodigy Advance (US, GE Healthcare)에서 European spine phantom (ESP)을 이용한 교차분석을 시행하였다. Dexxum T 장치는 최대관전류 121 kV, 최대관전류 3.1 mA, 초점크기 0.5 mm인 텅스텐 타깃을 사용하는 펜슬빔 장치이며 GE Lunar Prodigy Advance는 최대관전압 76 kV, 최대관전류 3 mA, 초점크기 0.5 mm인 텅스텐 타깃을 사용하는 4.5° 각도의 좁은 선속의 펜빔 장치이다(Hull 2009). 교차분석에 사용된 팬텀은 가로 260 mm, 세로 180 mm, 높이 110 mm의 물 등가 플라스틱을 사용하였으며 해면골과 피질골의 골밀도 구현을 위해 수산화인회석으로 만든 인공요추를 포함하고 있다(Kalender 1995). ESP에서 L1, L2, L3의 DXA 골밀도는 0.5 g cm^{-2}, 1 g cm^{-2}, 1.5 g cm^{-2}이다(Lees 1999). 각 장비에서 교차분석을 위한 골밀도 산출은 ESP를 이용하여 위치 변경 없이 요추의 골밀도 측정을 10회 시행하였다. 골밀도 측정을 위한 장비의 연령 설정은 검사 당일을 기준으로 하는 40세 성인 남자로 하였으며 인종은 백인으로 설정하여 검사를 시행하였다. 골밀도의 측정은 팬텀을 위치시킨 후 연속으로 10회 측정하였으며 척추의 윤곽선 추출은 자동모드를 사용하였다. 측정된 골밀도 값은 OriginPro 8 V8 (OriginLab cop, US)를 사용하여 선형회귀분석을 시행하여 각 장비에 대한 교차분석을 수행하였다.

결 과

Osteosys Dexxum T에서 측정한 골밀도의 평균값은 L1, L2, L3에서 각각 0.405 g cm^{-2}, 0.879 g cm^{-2}, 1.320 g cm^{-2}을 나타내어 Table 1과 같다. GE Lunar Prodigy Advance에서 측정된 골밀도의 평균값은 L1, L2, L3에서 0.609 g cm^{-2}, 1.103 g cm^{-2}, 1.603 g cm^{-2}의 값을 나타내어 Table 2와 같다.

Osteosys Dexxum T는 ESP의 표준 값과 L1, L2, L3에서 각각 평균 −19%, −12.1%, −12%로 ESP의 골밀도보다 낮게 측정되었다. 각 측정값에 대한 ESP 골밀도 값의 오차는 Fig. 1과 같다. GE Lunar Prodigy Advance의 경우 ESP의 표준 값과 L1, L2, L3에서 각각 평균 21.8%, 10.3%, 6.8%의 오차를 나타냈다. 각 측정에서의 오차값은 Fig. 2와 같다.

Osteosys Dexxum T와 ESP의 골밀도 사이의 차이는 L1에

Table 1. BMD values of Osteosys Dexxum T DXA devices

	Dexxum T (g cm^{-2})					
	L1	L2	L3	L1-L2	L1-L3	L2-L3
1	0.334	0.826	1.248	0.519	0.805	1.040
2	0.405	0.860	1.309	0.625	0.843	1.081
3	0.400	0.882	1.299	0.631	0.850	1.092
4	0.399	0.851	1.303	0.618	0.837	1.074
5	0.398	0.889	1.317	0.635	0.859	1.104
6	0.416	0.880	1.330	0.647	0.872	1.103
7	0.425	0.889	1.371	0.647	0.878	1.127
8	0.405	0.919	1.376	0.651	0.884	1.146
9	0.416	0.873	1.313	0.642	0.860	1.090
10	0.452	0.924	1.331	0.680	0.895	1.130
SD	0.030	0.029	0.037	0.042	0.026	0.031
Mean	0.405	0.879	1.320	0.630	0.858	1.099

SD: standard deviation

Table 2. BMD values of GE Lunar Prodigy DXA devices

	Lunar Prodigy (g cm^{-2})					
	L1	L2	L3	L1-L2	L1-L3	L2-L3
1	0.605	1.114	1.603	0.879	1.140	1.365
2	0.609	1.100	1.612	0.893	1.163	1.361
3	0.615	1.105	1.649	0.885	1.157	1.377
4	0.617	1.096	1.600	0.878	1.140	1.353
5	0.598	1.105	1.577	0.871	1.132	1.352
6	0.600	1.091	1.645	0.866	1.140	1.368
7	0.607	1.114	1.561	0.875	1.127	1.348
8	0.620	1.102	1.580	0.882	1.138	1.348
9	0.610	1.103	1.598	0.878	1.138	1.355
10	0.604	1.103	1.604	0.872	1.130	1.356
SD	0.007	0.007	0.028	0.008	0.011	0.009
Mean	0.609	1.103	1.603	0.878	0.009	1.358

SD: standard deviation

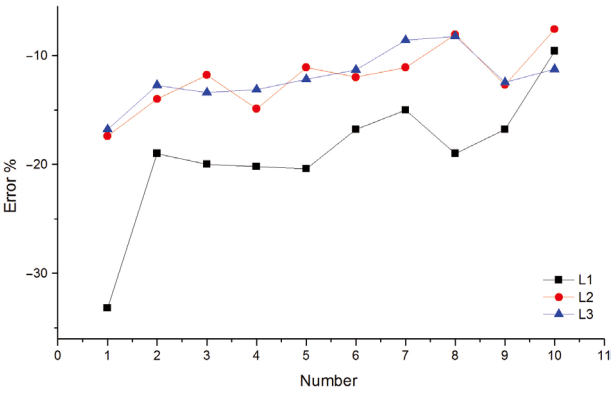

Fig. 1. Error rate of Osteosys Dexxum T BMD values between European Spine Phantom BMD values.

서 최대 −33.2%의 격차를 보였고 L2에서 −17.4%, L3에서 −12.7%의 차이를 나타냈다. GE Lunar Prodigy Advance는 ESP와 비교하여 L1에서 최대 23.4%, L2에서 11.4%, L3에서 9.9%의 오차를 나타냈다. 골밀도의 정밀도를 나타내는 표준편차는 Dexxum T의 L1, L2, L3에서 각각 0.03, 0.029, 0.037을 나타냈고, Lunar Prodigy의 L1, L2, L3에서 0.007, 0.007, 0.028을 나타냈다.

고 찰

WHO의 골다공증 진단 기준은 T값이 −2.5 이하인 경우 골다공증을 진단하며, −2.5~−1.0 범위는 낮은 골량(골감소증), −1.0 이상은 정상 골량으로 분류한다(Oh 2008). 이러한 골다공증의 진단과 치료는 지속적인 추적검사를 필요로 한다. 따라서 ISCD에서는 지속적인 추적검사를 위해서는 동일한 장비를 사용할 것을 권고 하고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 골밀도의 검사법에는 DXA, QCT, 정량적

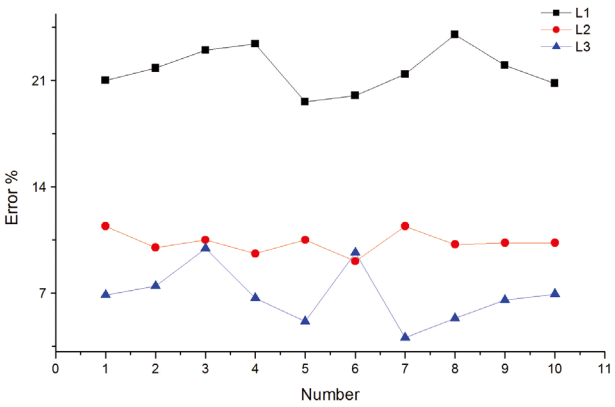

Fig. 2. Error rate of GE Lunar Prodigy BMD values between European Spine Phantom BMD values.

초음파(Quantitative ultrasound, QUS)등이 있다. 이들 중 국내의 건강보험 기준에서는 DXA 장치를 이용한 요추의 골밀도 검사법과 대퇴골 경부의 골밀도 검사법에 대해 보험급여를 인정해 주고 있다. 골다공증의 치료에 사용되는 약제로는 칼슘과 비타민 D제제, 비스포스포네이트 계열의 치료제, 여성 호르몬 요법, 티볼론, 여성호르몬 수용체, 카시토닌, 부갑상선 호르몬 등이 있다(Chung 2012). 이들 약제의 처방여부는 골밀도 검사의 결과여부에 따라 이루어진다. 하지만 서로 다른 장비에서 측정된 골밀도 검사의 결과는 진단의 오류를 일으킬 수 있기 때문에 환자에게 투여하는 약제의 오류를 일으키게 되고 이는 곧 약제로 인한 심각한 약물부작용을 나타낼 수 있다. 골다공증의 치료에 사용되는 칼슘 제제의 경우 심장병의 위험성을 높일 수 있고, 비스포스포네이트 계열의 치료제는 드물게는 턱뼈의 괴사와 같은 부작용을 나타낼 수 있어 치과 치료환자에서 치료의 지연 또는 중단을 권고한다(Favus 2010). 또한 여성호르몬 요법의 경우 여성의 유방암 발생확률을 24%까지 증가시킬 수 있다(Rossouw 2002). 이와 같은 약물 치료의 효과를 판정하기 위해서도 지속적인 골밀도 추적검사가 시행되어야 한다. 하지만 서로 다른 제조사 또는 동일 제조사라 하더라도 모델이 다른 장치에서 추적검사가 이루어진 경우 동일한 환자에서도 서로 다른 결과를 나타내기 때문에 반드시 교차분석이 이루어져야 한다. 본 연구에서 시행한 교차분석을 통하여 Dexxum T와 Lunar Prodigy의 교차분석 식은 Equation 1과 같다. 두 장비 간의 상관관계에서 Lunar Prodigy 골밀도 값을 Dexxun T의 골밀도 값으로 변환하기 위한 선형회귀분석 결과는 Fig. 3과 같으며, Dexxum T의 골밀도 결과를 Lunar Prodigy의 골밀도 결과로 변환하기 위한 선형회귀분석 결과는 Fig. 4와 같다. 이때 R^2 값은 0.989의 선형관계를 나타냈다. 이는 두 장비 간의 교차분석이 통계적으로 유의함을 의미한다.

골밀도 장치의 교차분석은 두 장비 간의 골밀도 값에 대

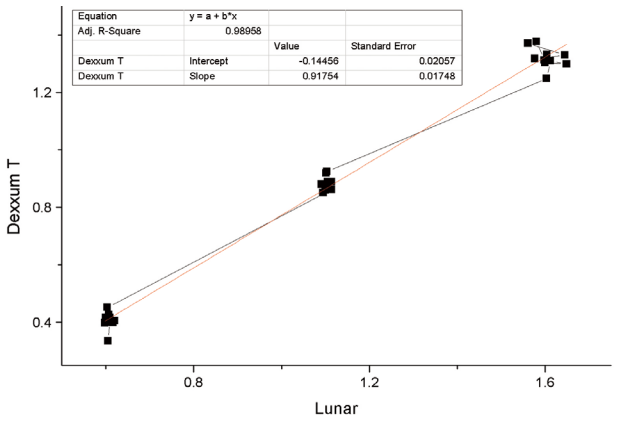

Fig. 3. Linear regression model of GE Lunar Prodigy BMD values to Oateosis Dexxum T BMD values.

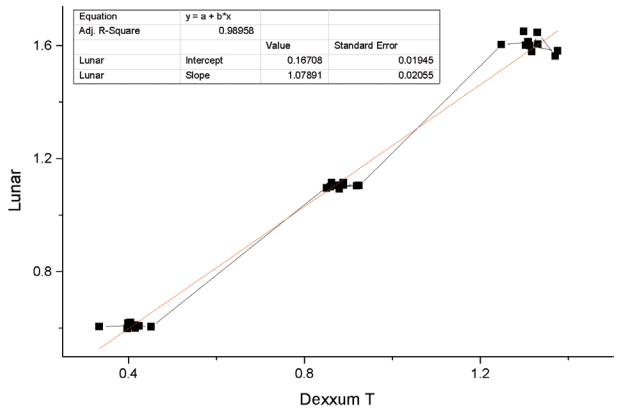

Fig. 4. Linear regression model for Osteosis Dexxum T BMD values to GE Lunar Prodigy BMD values.

한 통계적 유의성뿐 아니라 장비 간의 골밀도 값 보정을 위해 사용된다. Lunar Prodigy 장치에서 측정된 골밀도 값을 Dexxum T 장치의 추적검사 값에 적용하거나 Dexxum T 장치에서 측정된 골밀도 값을 Lunnar Prodigy에 적용하기 위해서는 Equation 1의 식을 적용하여야 한다. Saarelainen *et al*.의 연구에서는 동일 제조사의 Lunnar Prodigy와 iDXA 장치에 대한 교차분석 식을 도출하였다. Lunnar Prodigy와 iDXA에 대한 요추의 교차분석 식은 Equation 2와 같다 (Saarelainen 2016).

Equation 1. Cross calibration equation ware presented GE Lunar Prodigy and Oateosis Dexxum T.

$$Dexxum\ TBMD = -0.145 + 0.918 \times Lunar\ Prodigy\ BMD$$
$$Lunar\ Prodigy\ BMD = 0.167 + 1.078 \times Dexxum\ TBMD$$

Equation 2. Cross calibration equation ware presented GE Lunar Prodigy and iDXA (Saarelainen 2016).

$$iDXA\ BMD = 1.0146 \times Lunar\ Prodigy\ BMD$$
$$Lunar\ Prodigy\ BMD = 0.9853 \times iDXA\ BMD$$

DXA 골밀도의 결과 값을 이용하는 추적검사에서 교차분석은 기존의 골밀도 장비에서 하드웨어가 교체된 경우, 기존의 장비가 폐기되고 동일한 제조사 또는 다른 제조사의 새로운 장비가 도입된 경우, 동일한 장비를 이전 설치한 경우에는 반드시 시행되어야 한다(Shepherd 2006). 이때 1%보다 큰 차이가 나는 경우는 반드시 제조사의 기술자에게 연락하여 교정을 시행해야 한다. 또한 임상에서 새로운 장비가 설치되는 경우 반드시 교차분석을 시행하고 교차분석에 따른 식을 세워 적용하여야 한다. 환자가 여러 의료기관에서 골밀도 검사를 시행하는 경우 어떤 장비에서 시행하였는지 교차분석을 시행하여 장치의 변수에 대한 보정을 실시하여야 한다.

ISCD에서는 정확한 DXA 골밀도 검사를 위해 동일한 의료기관에서 동한 장비로 추적검사를 시행할 것을 권고한다. 교차분석 식이 없거나 불가능한 경우는 ISCD에서 제공하는 교차분석 툴을 이용하여 편리하게 교차분석 식을 얻을 수 있다.

결 론

선행 연구에서 외국 장비 간의 교차분석 식은 여러 논문에서 제공되고 있다. 하지만 본 연구를 통해 도출한 Osteosys Dexxum T와 GE Lunar Prodigy Advance의 교차분석 식은 국산 DXA 장비와 외국 DXA 장비 간의 교차분석 식으로 두 장비 간의 보정을 위해 적용할 수 있다. 향후 이를 바탕으로 임상에서 다른 국산 장비 간의 교차식이 개발될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

Chung Y-S. 2012. Current and Upcoming Treatments for Osteoporosis. *J. Rheum. Dis.* **19**(1):4-10.

Favus MJ. 2010. Bisphosphonates for osteoporosis. *N. Engl. J. Med.* **363**(21):2027-2035.

Heymsfield SB, Wang J, Heshka S, Kehayias JJ and Pierson RN Jr. 1989. Dual-photon absorptiometry: Comparison of bone mineral and soft tissue measurements in vivo with established methods. *Am. J. Clin. Nutr.* **49**:1283-1289.

Hull H, He Q, Thornton J, Javed F, Allen L, Wang J, Pierson RN and Gallagher D. 2009. iDXA, prodigy, and DPXL dual-energy X-ray absorptiometry whole-body scans: a crosscalibration study. *JCD* **12**(1):95-102.

Kalender WA, Felsenberg D, Genant HK, Dequeker J and Reeve J. 1995. The European Spine Phantom - a tool for standardization and quality control in spinal bone mineral measurements by DXA and QCT. *Eur. J. Radiol.* **20**(2):83-92.

Lees B, Garland SW, Walton C and Stevenson JC. 1997. Evaluation of the European Spine Phantom in a multi-centre clinical trial. *Osteoporosis Int*. **7**(6):570-574.

Mazess RB, Barden HS, Bisek JP and Hanson J. 1990. Dual energy X-ray absorptiometry for total body and regional bone mineral and soft tissue composition. *Am. J. Clin. Nutr.* **51**:1106-1112.

Oh KW. Osteoporosis. 2008. *Korean J. Med*. **75**(3):267-273.

Park Y-S. 2012. Diagnosis and treatment of osteoporosis. *J. Korean Med. Assoc*. **55**(11):1083-1094.

Pierson RN Jr, Wang J, Thorton JC, Kotler DP, Heymsfield SB, Weber DA and Ma RM. 1995. Bone mineral and body fat measurements by two absorptiometry systems: Comparisons with neutron activation analysis. *Calcif Tissue Int*. **56**:93-98.

Rossouw JE, Anderson GL, Prentice RL, LaCroix AZ, Kooperberg C, Stefanick ML, Jackson RD, Beresford SA, Howard BV, Johnson KC, Kotchen JM, Ockene J. 2002. Risks and benefits of estrogen plus progestin in healthy postmenopausal women: principal results From the Women's Health Initiative randomized controlled trial. *JAMA* **288**(3):321-333.

Saarelainen J, Hakulinen M, Rikkonen T, Kröger H, Tuppurainen M, Koivumaa-Honkanen H, Honkanen R, Hujo M and Jurvelin JS. 2016. Cross-Calibration of GE Healthcare Lunar Prodigy and iDXA Dual-Energy X-Ray Densitometers for Bone Mineral Measurements. *J. Osteoporosis* **2016**: 1-11.

Shepherd JA, Lu Y, Wilson K, Fuerst T, Genant H, Hangartner TN, Wilson C, Hans D, Leib ES. 2006. Cross-calibration and minimum precision standards for dual-energy X-ray absorptiometry: the 2005 ISCD Official Positions. *JCD* **9**(1):31-36.

Received: 25 October 2016
Revised: 15 December 2016
Revision accepted: 22 February 2017