

GE Lunar Expert와 GE Lunar Prodigy Advance의 골밀도 측정값에 대한 상호 보정 (Cross Calibration)

아주대학교 의과대학 내분비대사내과학교실, 아주대학교병원 내분비검사실¹

최용준 · 이병주¹ · 김혜진 · 김대중 · 이관우 · 정윤석

Cross-calibration of GE Lunar Expert and GE Lunar Prodigy Advance for Bone Mineral Density Measurements

Yong Jun Choi, Byung Joo Lee¹, Hae Jin Kim, Dae Jung Kim, Kwan Woo Lee, Yoon-Sok Chung

Department of Endocrinology and Metabolism, Ajou University School of Medicine, Laboratory of Endocrinology and Metabolism¹, Ajou University Hospital, Suwon, Korea

Objectives: Wide fan beam dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is replaced with narrow fan beam DXA. However, information has been lacking regarding the cross calibration of bone mineral density (BMD) between two devices. We have compared BMD using narrow fan beam (GE Lunar Prodigy Advance, Prodigy) and wide fan beam (GE Lunar Expert, Expert) instruments.

Methods: Lumbar spine and hip DXA scans were performed in 96 patients (82 female, 14 male) on the same day on both devices. European spine phantom (ESP), two lunar spine phantom were also measured for in vitro cross calibration

Results: L1-L4, femoral trochanter, total femur BMD were significant different between two devices, but the differences were small. Regression analysis between two devices revealed close correlation and the values for r^2 are all nearly 1.0. However, after Bland and Altman analysis, Expert and Prodigy could not be interchangeable. The phantom calibration was not close to the in vivo calibration at the spine.

Conclusion: When replacing Expert with Prodigy, in vivo cross calibration has to be performed.

Key Words: Bone mineral densitometry, Cross calibration, DXA, GE lunar expert, GE lunar prodigy

서 론

1987년 처음 도입된 이래로 이중 에너지 X선 흡수 계측법 (dual energy X-ray absorptiometry, DXA)은 골밀도 측정의 가장 중요한 수단이 되어왔다^{1,4}. 특

히 DXA는 골다공증의 진단뿐만 아니라 골다공증 치료 반응에 대한 추적관찰에 중요한 역할을 해 왔다⁵⁻⁶. 따라서 골밀도 측정에 대한 신뢰성은 골다공증 치료에 있어서 중요한 문제라 할 수 있다. 같은 제조업자의 같은 측정 기계로 같은 환자를 계속 추적 관찰하는 것이 가장 이상적이라 할 수 있겠으나, 장비의 노후화와 새로운 장비, 새로운 소프트웨어의 개발로 인하여 DXA의 교체는 불가피한 문제이다.

따라서 환자에 대한 연속적인 진단 및 치료 그리

접수일: 2008년 2월 23일, 승인일: 2008년 4월 25일
책임저자: 정윤석, 아주대학교 의과대학 내분비대사내과학교실
Tel: 031)219-5127, Fax: 031)219-4497
E-mail: yschung@ajou.ac.kr

고 치료 효과에 대한 지속적인 평가를 위해서 장비 교체 시 신 장비에 대한 구 장비의 상호 보정 (cross calibration)은 중요한 문제라 하겠다. 이러한 상호 보정은 편이성 때문에 일반적으로 모형 (phantom)을 통하여 이루어져 왔으나 몇몇 연구에서 실제 인체를 대상으로 한 상호 보정과 상당한 차이를 보여 최근에는 인체 측정 보정 (in vivo calibration)이 추천되고 있다^{7,8}.

Pencil beam 이중 에너지 X선 흡수 계측법에서 fan beam 흡수 계측법이 개발되면서 측정 시간 및 해상도에 있어서 획기적인 발전이 있었다⁹. 그러나 이와 반대로 방사능 노출량 증가 및 확대 측정 문제가 지적되어 왔으며¹⁰, 이의 개선을 위해 협각 fan beam 장비인 GE Lunar Prodigy Advance (Prodigy)가 개발되었다. 이 장비는 협각 beam X선 (4.5°)과 더불어 아주 민감한 cadmium zinc telluride 탐지자를 사용하여 이전의 광각 fan beam 장비와 비교하여 더 낮은 방사능 노출량, 더 적은 측정시간으로 더 좋은 해상도를 얻을 수 있게 되었다¹¹.

GE Lunar사의 pencil beam 측정 장비와 Prodigy의 상호 보정에 대한 많은 연구가 있어 왔으나¹¹⁻¹³, 광각 fan beam 장비인 GE Lunar Expert (Expert)와 Prodigy에 대한 상호 보정 연구는 부족한 실정이며, 골밀도 측정 장비의 상호 보정에 대한 국내 연구¹⁴ 또한 부족하였다. 아주대학교병원에서는 1996년 3월 Expert를 2005년 3월 Prodigy를 도입하여 2대 모두 운영 중이며, 본 연구에서는 이 2개 장비의 측정값에 대한 차이를 실제 골밀도 측정과 모형 측정값을 통하여 비교하고, 이 2개 측정값 간의 관련성 및 상호 보정식, 또한 이 상호 보정에 영향을 주는 변수에 대해 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

2006년 2월부터 2007년 3월까지 아주대학교병원에 골다공증 진료를 위해 내원한 96명 (남자 14명, 여자 82명)의 환자를 대상으로 하여 요추 및 근위부 대퇴골의 골밀도 (BMD) (g/cm^2), 골함유량 (Bone mineral content, BMC) (g), 면적 (cm^2)을 측정하였다. 요추 부위는 L1-L4를 근위부 대퇴골은 대퇴골 경부, 대퇴골

전자부, 위드 삼각부 및 총 대퇴골을 측정하였으며, 각각의 환자들을 같은 날 광각 fan beam 방식으로 측정 후 곧 바로 협각 fan beam 방식으로 측정하였다. 모든 환자들은 전자측정기를 통하여 체중 및 신장을 측정하였으며 이를 통하여 체질량지수 (kg/m^2)를 계산하였다.

1. 골밀도 측정

광각 fan beam 방식으로는 GE Lunar Expert (Madison, WI, USA)를 협각 fan beam 방식으로는 GE Lunar Prodigy Advance (Madison, WI, USA)를 이용하였다. Expert는 High PrecX2 Turbo3방식으로 Prodigy는 standard 방식으로 측정하였다. 모형으로는 European spine phantom (ESP), Lunar Aluminum spine phantom (LASP) Expert용 (LASP 4691번)과 Prodigy용 (LASP 19005번)을 사용하였으며, ESP는 총 10회, LASP는 총 15회 측정되었다. 모든 골밀도 측정은 1명의 숙련된 방사선기사에 의해 측정되었다.

2. 통계분석

골밀도 측정 자료는 2개 측정 장치의 관련성을 알아보기 위하여 paired t-test, 선형회귀분석을 하였으며, 2개 측정 장비 간 상호교차가능성 (interchangeability)을 Bland-Altman plot¹⁵을 통하여 분석하였다. 선형회귀분석 시 선형회귀식 절편의 95% 신뢰구간이 0을 포함할 경우, Faulkner 등¹⁶이 기술한 방법과 같이 절편이 원점을 통과하도록 분석을 반복하였다. 회귀선으로부터의 산포도는 제공된 평균 표준 오차 (root mean standard error, RMSE)로 나타내었다.

RMSE를 최소로 줄인 2개 측정장비 간의 상호 보정식을 구하기 위하여 환자들의 연령, 성별, 체중, 신장, 체질량지수를 포함한 다중회귀분석을 시행하였다. 통계분석은 SPSS for Windows (ver. 12.0; SPSS Inc, Chicago, USA)를 이용하였고, 통계학적 유의수준은 $P < 0.05$ 로 하였다.

결 과

ESP를 총 10회 측정한 결과 총 요추 골밀도의 평균값은 Expert, Prodigy 각각 1.134, 1.127로 Expert가 약

Table 1. Mean (SD) values and short-term precisions (%CV) for repeated phantom (In vitro) measurements performed on GE-Lunar Expert and GE-Lunar Prodigy Advance

Phantom		LUNAR Expert			LUNAR Prodigy Advance		
		BMD*	BMC [†]	AREA	BMD*	BMC [†]	AREA
Prodigy Al [†]	Mean (SD)	1.180 (0.005)	53.92 (0.25)	46 (0)	1.171 (0.002)	60.2 (0.23)	51.37 (0.14)
	(n=15) %CV	0.476	0.466	0	0.194	0.392	0.291
Expert Al [†]	Mean (SD)	1.182 (0.011)	53.99 (0.46)	45.64 (0.08)	1.174 (0.002)	60.04 (0.24)	51.13 (0.12)
	(n=15) %CV	0.945	0.858	0.182	0.244	0.411	0.245
ESP [§]	Mean (SD)	1.134(0.006)	34.49 (0.18)	30.43 (0.12)	1.127 (0.003)	32.37 (0.11)	28.7 (0.09)
	(n=10) %CV	0.549	0.537	0.411	0.329	0.353	0.313

* Bone mineral density, [†]Bone mineral content, [†]Aluminum spine phantom, [§]European spine phantom

Table 2. Demographic data for women and men in Prodigy cross-calibration study

	Women (n=82)	Men (n=14)
Age (yr)	62.1 (11.5) (31 to 82)	54.0 (12.5) (36 to 77)
Height (cm)	152.6 (6.8) (136.9 to 175.1)	166.8 (6.1) (158.5 to 181.7)
Weight (kg)	55.4 (8.2) (32.0 to 77.2)	63.3 (2.2) (52.4 to 78.8)
BMI (kg/m ²)	23.8 (3.3) (16.7 to 33.9)	22.8 (2.2) (19.4 to 26.5)

Data are mean (SD) (range); BMI, body mass index

Table 3. BMD of patients scanned on GE-Lunar Expert and GE-Lunar Prodigy Advance

Scan Region	Expert (g/cm ²)	Prodigy (g/cm ²)	Statistical significance
Posteroanterior spine (L1-L4)	0.930 (0.153)	0.940 (0.146)	<i>P</i> =0.006
Femoral neck	0.785 (0.137)	0.783 (0.129)	<i>P</i> =0.46
Femur trochanter	0.647 (0.125)	0.634 (0.117)	<i>P</i> <0.001
Femur Ward's triangle	0.584 (0.156)	0.584 (0.150)	<i>P</i> =0.90
Femur total	0.837 (0.135)	0.828 (0.129)	<i>P</i> <0.001

Data are mean (SD)
BMD, bone mineral density

0.6% 더 컸다. 골함유량의 경우 각각 34.49, 32.37로 Expert가 6.2% 더 컸으며, 면적의 경우도 각각 30.43, 28.7로 5.7% 더 컸다. LASP Prodigy-용을 총 15회 측정 결과 총 요추 골밀도의 평균값은 Expert, Prodigy 각각

1.180, 1.171로 Expert가 0.8% 더 컸으나, 골함유량은 각각 53.92, 60.2, 면적은 46, 51.37로 Prodigy가 각각 10.4%, 10.5% 더 컸다. LASP Expert-용을 총 15회 측정 결과 총 요추 골밀도의 평균값은 Expert, Prodigy 각각

Table 4. Bone mineral content and Area of patients scanned on GE-Lunar Expert and GE-Lunar Prodigy Advance

Scan Region	EXPERT (g)	Prodigy (g)	Statistical significance
Bone mineral content			
Posteroanterior spine (L1-L4)	52.640 (12.555)	50.380 (12.185)	<i>P</i> <0.001
Femoral neck	3.628 (0.677)	3.610 (0.677)	<i>P</i> =0.153
Femur trochanter	7.923 (2.063)	7.549 (2.033)	<i>P</i> <0.001
Femur Ward's triangle	1.397 (0.421)	1.391 (0.433)	<i>P</i> =0.644
Femur total	30.469 (4.025)	29.875 (2.514)	<i>P</i> <0.001
Area			
Posteroanterior spine (L1-L4)	56.229 (6.671)	53.232 (6.531)	<i>P</i> <0.001
Femoral neck	4.627 (0.405)	4.609 (0.384)	<i>P</i> =0.148
Femur trochanter	12.204 (1.715)	11.821 (1.640)	<i>P</i> <0.001
Femur Ward's triangle	2.398 (0.428)	2.376 (0.402)	<i>P</i> =0.117
Femur total	30.469 (4.025)	29.875 (2.514)	<i>P</i> =0.073

Table 5. Results of linear regression analysis comparing Prodigy and Expert BMD data

Scan region	Intercept (SE)	Slope (SE)	SEE
Posteroanterior spine (L1-L4)	0.078 (0.021)	0.927 (0.022)	0.0329
Femoral neck	0.059 (0.016)	0.922 (0.020)	0.0267
Femur trochanter	0.038 (0.012)	0.922 (0.018)	0.0225
Femur Ward's triangle	0.033 (0.012)	0.945 (0.019)	0.0290
Femur total	0.032 (0.010)	0.950 (0.012)	0.0154

BMD, bone mineral density; SE, standard error; SEE, standard error of the estimate for the linear regression equation

Table 6. Results of linear regression analysis comparing Prodigy and Expert BMD data

Scan region	Intercept (SE)	Slope (SE)	SEE
European Spine Phantom	1.241 (0.235)	-0.100 (0.208)	0.0388
Lunar Expert Aluminum Phantom	1.239 (0.082)	-0.054 (0.070)	0.0291
Lunar Prodigy Aluminum Phantom	0.912 (0.111)	0.220 (0.094)	0.0198

BMD, bone mineral density; SE, standard error; SEE, standard error of the estimate for the linear regression equation

1.182, 1.174로 Expert가 0.7% 컸으나, 골함유량은 각각 53.99, 60.04, 면적은 45.64, 51.13으로 Prodigy가 각각 10.1, 10.7% 더 컸다 (Table 1).

총 96명의 환자 (남자 14명, 여자 82명)를 인체 측정 상호보정 대상으로 하였으며, 연구 대상자 평균 연령은 60.9±11.9세, 신장은 154.7±8.4 cm, 체중은

56.5±8.5 kg, 체질량지수는 23.6±3.1 kg/m²이었으며, 남녀간 연령, 신장, 체중, 체질량지수의 비교는 Table 2에 나타내었다.

2 골밀도 측정장비의 요추 및 대퇴골 부위 골밀도 측정 결과 비교를 Table 3에 나타내었다. 요추 부위는 L1-L4를 대퇴골 부위는 대퇴골 경부, 전자부, 위

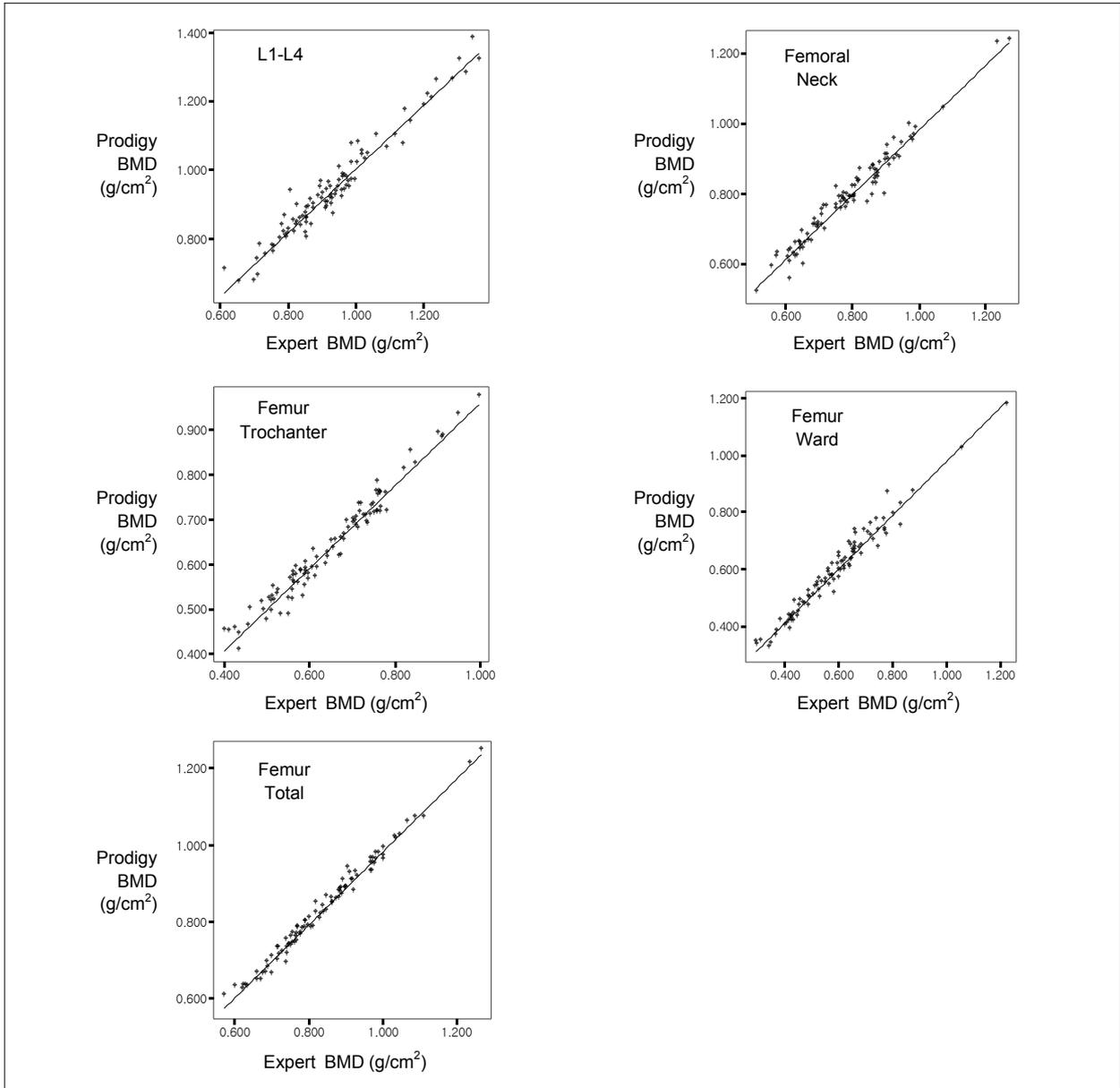


Fig. 1. Linear regression of BMDs measured on Prodigy as a function of Expert

드 삼각부, 총 대퇴골의 골밀도를 비교하였다. L1-L4의 평균 골밀도는 Prodigy가 약 1.1% 정도 더 컸으나, 대퇴골의 경우 대퇴골 경부와 워드 삼각부는 2개 측정장비 간 유의한 차이가 없었으며, 대퇴골 전자부와 총 대퇴골 골밀도는 Expert가 Prodigy에 비해 각각 2.0%, 1.1% 더 컸다.

2 골밀도 측정장비의 골함유량 및 면적의 측정 결과 비교를 Table 4에 나타내었다. L1-L4, 대퇴골 전

자부는 2개 측정장비 간 유의한 차이를 보였으며, 모두 Expert가 더 높은 결과를 보였다. 대퇴골 경부, 워드 삼각부는 양 측정장비 간 유의한 차이가 없었으나, 총 대퇴골은 골함유량에서만 유의한 차이를 보였다.

2 측정장비의 골밀도 결과에 대한 선형회귀분석 결과에 따라 인체 측정정보를 Table 5에 나타내었으며, 모형에 대한 상호 보정은 Table 6에 나타내었다.

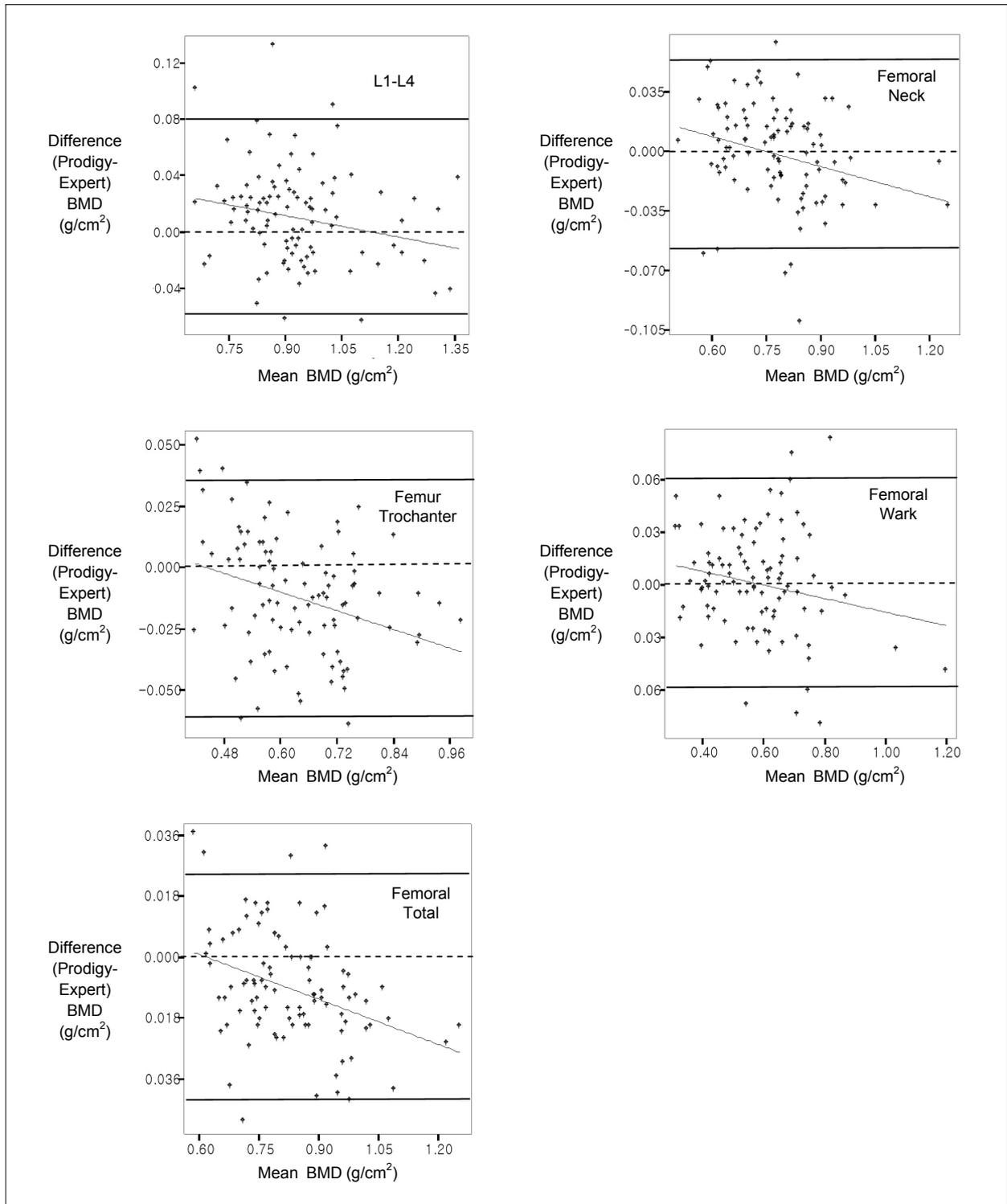


Fig. 2. Agreement between Prodigy and Expert according to Bland-Altman analysis: The difference between two scans as a function of the mean value for the two DXA scanners. Mean difference (d), limits of agreement ($d \pm 1.96 \times SD$)= straight lines, dashed line=0

Table 7. Results of multivariate regression analysis comparing Prodigy and Expert BMD data

Scan region	Variable	Coefficient (SE)	Student's <i>t</i>	Statistical significance	<i>r</i> ²
Posteroanterior spine* (L1-L4)	Expert BMD	0.938 (0.022)	42.150	<i>P</i> <0.001	0.950
	Sex	0.020 (0.010)	2.095	<i>P</i> =0.039	0.952
Femoral neck [†]	Expert BMD	0.915 (0.019)	47.466	<i>P</i> <0.001	0.957
	Sex	-0.025 (0.007)	-3.433	<i>P</i> =0.001	0.962
Femur trochanter [‡]	Expert BMD	0.922 (0.018)	49.891	<i>P</i> <0.001	0.964
Femur Ward's triangle [§]	Expert BMD	0.913 (0.020)	46.025	<i>P</i> <0.001	0.963
	Height	0.001 (0.000)	3.696	<i>P</i> <0.001	0.968
Femur total	Expert BMD	0.937 (0.012)	76.877	<i>P</i> <0.001	0.986
	Height	0.001 (0.000)	2.764	<i>P</i> =0.007	0.987

BMD: bone mineral density, SE: Standard error, Sex: male=1, female=2

* Prodigy BMD = 0.938 × Expert BMD + 0.020 × Sex + 0.030

† Prodigy BMD = 0.915 × Expert BMD - 0.025 × Sex + 0.112

‡ Prodigy BMD = 0.922 × Expert BMD + 0.038

§ Prodigy BMD = 0.913 × Expert BMD + 0.001 × Height (cm) - 0.161

|| Prodigy BMD = 0.937 × Expert BMD + 0.001 × Height (cm) - 0.041

인체 측정 분석에서는 모든 측정부위에서 절편이 통계학적으로 0과 달랐으며, 2 측정값은 강한 연관성을 보였다 ($0.95 \leq r^2 \leq 0.99$) (Fig. 1). 반면에 모형 측정값에 대해서는 2 측정장비 간 연관성은 낮았으며 LASP Prodigy용을 제외하고는 모든 인체모형에서 통계학적 유의성을 보이지 않았다.

2개 측정장비간 상호교차가능성 (interchangeability)을 알아보기 위해 Bland-Altman 분석을 시행하였다 (Fig. 2). 그 결과 대퇴골 위드 삼각부를 제외한 모든 측정부위에서 2개 측정장비 값의 차이에 대한 2개 측정장비 값 평균의 *r*값은 통계학적으로 0과 달라 유의한 상관성을 보여 주었다.

성별, 체중, 신장 및 체질량 지수를 포함한 다중회귀분석 결과를 Table 7에 나타내었다. 총 요추 골밀도 및 대퇴골 경부에서는 성별이 최종식에 포함되었으며, 위드 삼각부 및 총 대퇴골 골밀도에는 신장이 최종식에 포함되었다. 대퇴골 전자부에는 어느 변수도 최종식에 포함되지 않았다.

다중회귀분석을 통한 상호보정으로 단순회귀분석 결과와 비교하여 RMSE는 총 요추는 1.8%, 대퇴경부는 4.1%, 대퇴골 위드 삼각부는 4.8%, 총 대퇴골은

3.2% 감소하였다.

고 찰

전 세계적으로 골다공증이 중요한 질환으로 인식되면서 골다공증의 진단 및 치료에 있어서 획기적인 발전이 있었으며, 진단과 치료에 필수적인 골밀도 측정 장비 또한 많은 향상이 있었다. 보다 쉽고 정확하게 측정 가능한 장비가 개발되고, 사용 중인 측정장비가 노후화되면서 장비의 교체는 불가피해진다. 그러나 골다공증은 장기간의 추적관찰이 필요한 질환으로 환자에 대한 정확한 추적관찰을 위해서는 신장비에 대한 구 장비 측정값의 상호 보정은 중요하고도 어려운 문제이다. 이러한 상호 보정을 위하여 모형이 개발되어 있으나 이를 통한 상호 보정은 논란이 되어 왔다⁷⁻⁸. 본 연구에서는 실제 인체 측정을 통한 상호 보정과 비교하여 2개 측정 장비간 모형 측정의 연관성은 크지 않았다. 모형으로 측정 시 자세 및 측정 대상자의 체지방 두께 등에 영향을 받지 않아 실제 인체 측정보다 이론 상 더 큰 연관성을 보여야 하는 것과 상반된 결과이다. 이는 본 연구가

타 연구에 비해 상대적으로 적은 회수로 모형 측정을 했기 때문에 초래된 결과라고 생각된다. 그러나 골밀도 측정 결과 ESP에 대해서는 Expert가 Prodigy에 비해 높게 측정된 반면 Lunar사가 제공한 모형들에서는 Prodigy가 Expert에 비해 높게 측정되는 등 각각 상이한 결과를 보여 모형을 통한 상호 보정은 실제 인체 측정에 비해 정확성이나 신뢰성에서 떨어진다고 생각된다. 최근 ISCD는 이러한 문제들 때문에 골밀도 측정장비 교체 시 가능한 실제 인체 측정을 통한 상호 보정을 권장하였다¹⁷.

광각 fan beam 장비인 Expert는 방사능 노출량 증가 및 확대 측정 문제가 지적되어 왔다¹⁰. 이것을 개선하기 위해 협각 fan beam 장비인 Prodigy가 개발되어, 더 낮은 방사능 노출량, 더 적은 측정시간으로 더 좋은 해상도를 얻을 수 있게 되었다¹¹.

실제 본 연구에서도 통계학적 유의성 유무의 차이는 있었으나 Expert로 측정된 모든 인체 측정값이 Prodigy 측정값에 비해 높게 측정되었다. 그러나 실제 임상에서 이용되는 골밀도 값에 대해서 통계학적인 차이를 보였던 총 요추, 대퇴골 전자부, 총 대퇴골의 골밀도 값이 각각 1%, 2%, 1%의 상대적으로 적은 차이를 보인 반면, 골 함유량 및 면적에 있어서는 3~5% 정도의 차이를 보인 점은 골함유량을 면적으로 나누어 측정되는 골밀도의 특성상 Expert가 Prodigy에 비해 골함유량 및 면적이 모두 같은 정도로 높게 측정되어 그 차이가 상쇄된 것으로 생각된다. 실제 선형회귀분석을 통해 2개 측정장비의 골밀도 측정값 간 연관성은 r^2 값이 모두 1과 가까운 높은 연관성을 보였다 (Fig. 1).

그러나 2개 측정장비간 측정값의 평균이 흡사하고 강한 상호 연관성을 보인다고 해서 이것이 직접적인 상호교차가능성을 의미하지 않는다. 평균값은 연구 대상자들의 평균값일 뿐, 이것을 골감소증, 영양실조, 비만 등 다양한 임상적 조건을 가지고 있는 개개인의 환자에게 적용하기는 힘들다. 또한 2개 측정장비간 상호교차가 가능하다면 2개 측정장비 간 측정값의 차이가 2개 측정 장비간 측정값 평균과 독립된 상관성을 보여야 한다^{15,18}. 그러나, 본 연구에서는 워드 삼각부를 제외한 모든 측정값에서 독립된 상관성을 보이지 않았다 (Fig. 2). 따라서 Expert와

Prodigy 간 상호교차는 가능하지 않으며 상호 보정식을 통해 2개 측정값을 서로 적용해야 한다.

본 연구에서 선형회귀분석을 통한 2개 측정장비간 상호 보정식은 다음과 같았다.

$$\text{Prodigy}_{L1-L4} = 0.927 \times \text{EXPERT}_{L1-L4} + 0.078$$

$$\text{Prodigy}_{\text{Neck}} = 0.922 \times \text{EXPERT}_{\text{Neck}} + 0.059$$

$$\text{Prodigy}_{\text{Trochanter}} = 0.922 \times \text{EXPERT}_{\text{Trochanter}} + 0.038$$

$$\text{Prodigy}_{\text{Ward}} = 0.945 \times \text{EXPERT}_{\text{Ward}} + 0.033$$

$$\text{Prodigy}_{\text{Total Femur}} = 0.950 \times \text{EXPERT}_{\text{Total Femur}} + 0.032$$

RMSE를 최소화하기 위해 성별, 신장, 체중, 체질량지수를 이용하여 다중회귀분석을 시행한 결과 총 요추와 대퇴골 경부는 성별이, 대퇴골 ward 및 총 대퇴골은 신장이 최종 모델에 포함되었으나, RMSE의 감소는 5% 이내로 크지 않았으며, 각 부위간 포함되는 변수에도 일관성은 없었다. 이전 Fan beam 측정 장비에 대한 pencil beam 측정장비에 대한 상호 보정 논문에서는 체중 등이 중요한 변수로 포함되어 대략 40% 정도의 RMSE 감소 효과를 보인 것에 비해 본 연구에서는 골밀도 측정값 이외에 다른 변수는 상호 보정에 큰 영향을 주지 않았다. 이는 2 측정 장비가 모두 같은 제조 회사에서 만든 같은 fan beam 방식의 골밀도 측정 방식을 이용했기 때문인 것으로 추측되나, 본 연구가 같은 인종을 대상으로 비교적 균등한 체중과 신장을 가진 성인을 대상으로 했던 이 유일 가능성도 배제할 수 없다. 이에 대해서는 좀 더 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 모형을 통한 골밀도 측정이 총 10회에서 15회로 다른 일반적인 상호 보정 연구에서 총 30회 정도의 인체 모형을 측정하는 것에 비해서는 상대적으로 측정수가 적었으며, 이 때문에 2개 측정장비가 인체 모형 측정값이 상대적으로 적은 연관관계를 보여 인체 모형을 통한 상호 보정식은 구하지 못하였다. 또한 본 연구에서 구한 상호보정식을 본 연구 대상자 이외 다른 환자에게 적용하여 그 정확성을 검증하지는 못하였다. 향후 이에 대한 보완 및 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 인체 모형에 의한 상호 보정은 정확도에 있어서 신뢰성이 떨어져, 실제 인체 측정을 통한 상호 보정이 필요하다. Expert와 Prodigy간 평균값은 큰 차이를 보이지 않았고, 상호 강한 연관관계를 보

였으나, 이것이 상호교차가능성을 의미하지는 않으며 이들 2개 장비 간 측정값을 비교할 때는 반드시 상호 보정이 필요하다. 그러나 본 연구에서 골밀도 측정값 이외에 다른 변수는 2개 장비 간 상호 보정에 큰 영향을 주지 못하였다.

요 약

목적: 광각 fan beam 골밀도 측정기는 협각 fan beam 골밀도 측정기로 교체되어 왔으나 이 2개 장비에 대한 상호 보정 연구는 부족하였다. 따라서 본 연구는 2개 장비간 골밀도 값을 비교하고 상호 보정식을 구해 보았다.

방법: 총 96명(여자 82명, 남자 14명)의 요추 및 대퇴골 골밀도를 2개 장비로 측정하여 비교하였으며, 아울러 European spine phantom 및 2개의 Lunar aluminum spine phantom의 골밀도 또한 측정하였다.

결과: L1-L4, 대퇴골 전자부, 총 대퇴골 골밀도에 서 2개 장비간 유의한 차이를 보였으나, 그 차이는 크지 않았다. 또한 선형회귀분석 결과 2개 측정 장비간 r^2 가 1에 가까운 강한 상관관계를 보였으나 Bland-Altman 분석 결과 2개 장비는 상호교차 가능하지 않았다. 인체 모형을 통한 회귀분석결과 2개 측정장비는 상대적으로 작은 상관관계를 보였다.

결론: Expert 장비를 Prodigy 장비로 교체 시 반드시 실제 인체 계측을 통한 상호 보정이 필요하다.

중심단어: 상호보정, 이중 에너지 X선 흡수 계측법, 골밀도, GE Lunar Expert, GE Lunar Prodigy

참 고 문 헌

1. Genant HK, Engelke K, Fuerst T. Noninvasive assessment of bone mineral and structure: state of the art. *J Bone Miner Res* 1996;11:707-30.
2. Baran DT, Faulkner KG, Genant HK. Diagnosis and management of osteoporosis: guidelines for the utilization of bone densitometry. *Calcif Tissue Int* 1997;61:433-40.
3. Kanis JA, Delmas P, Burckhardt P, Cooper C,

- Torgerson D. Guidelines for diagnosis and treatment of osteoporosis. *The European Foundation for Osteoporosis and Bone Disease. Osteoporos Int* 1997;7:390-406.
4. Kanis JA, Glüer C-C. An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. *Osteoporos Int* 2000;11:192-202.
5. Baran DT, Faulkner KG, Genant HK, Miller PD, Pacifici R. Diagnosis and management of osteoporosis: guidelines for the utilization of bone densitometry. *Calcif Tissue Int* 1997;61:433-40.
6. Meunier PJ, Delmas PD, Eastell R, McClung MR, Papapoulos S, Rizzoli R, et al. Diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women: clinical guidelines. *International committee for osteoporosis clinical guidelines. Clin Ther* 1999;21:1025-44.
7. Blake GM. Replacing DXA scanners: cross calibration with phantoms may be misleading. *Calcif Tissue Int* 1996;59:1-5.
8. Bouyoucef SE, Cullum ID, Jell P. Cross calibration of a fan beam X ray densitometer with a pencil beam system. *Br J Radiol* 1996;69:522-31.
9. Eiken P, Barenholdt O, Bjorn J, Gram J, Pors Neilsen S. Switching between DXA pencil-beam to fan-beam I: studies in vitro at four centres. *Bone* 1994;15:671-6.
10. Griffiths MR, Noakes KA, Pocock NA. Correcting the magnification error of a fan beam densitometer. *J Bone Miner Res* 1997;12:119-23.
11. Crabtree NJ, Shaw NJ, Bolvin CM, Oldroyd B, Truscott JG. Pediatric in vivo cross-calibration between the GE Lunar Prodigy and DPX-L bone densitometers. *Osteoporos Int* 2005;16:2157-67.
12. Blake GM, Harrison EJ, Adams JE. Dual X-ray absorptiometry: cross-calibration of a new fan-beam system. *Calcif Tissue Int* 2004;75:7-14.
13. Oldroyd B, Smith AH, Truscott TG. Cross-calibration of GE/Lunar pencil and fan-beam dual energy densitometers bone mineral density and body com-

- position studies. *Eur J Clin Nutr* 2003;57:977-87.
14. 정인철, 박윤경, 강영화, 박현성, 김현정, 김미란 등. 이중에너지 방사선 흡수법을 이용한 골밀도 측정 시 기기 간의 골밀도 값 비교와 표준화. *대한폐경학회지* 2007;13:192-9.
 15. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1:307-10.
 16. Faulkner KG, Glüer C-C, Estilo M, Genant HK. Cross-calibration of DXA equipment: Upgrading from a Hologic QDR 1000/W to a QDR 2000. *Calcif Tissue Int* 1993;52:79-84.
 17. Shepherd JA, Lu Y, Wilson K, Fuerst T, Genant H, Hangartner TN, et al. Cross-calibration and minimum precision standards for dual-energy X-ray absorptiometry: The 2005 ISCD official positions. *J Clin Densitom* 2005;9:31-6.
 18. Ellis KJ, Shypailo RJ. Bone mineral and body composition measurements: Cross-calibration of pencil-beam and fan-beam dual-energy X-ray absorptiometers. *J Bone Miner Res* 1998;10:1613-8.