

유소년기 골밀도와 성장과의 상관관계

홍성민* · 신정식** · 한은옥*** · 안중환** · 한승무†

(2003년 10월 30일 접수, 2004년 8월 23일 심사완료)

The Relationship of Bone Mineral Density to Growing Age

Sung Min Hong, Jung Sik Shin, Eun Ok Han,
Joong Hwan Ahn and Seung Moo Han

Key Words: Bone Density(골밀도), Ultrasound(초음파), Medical Image(의료영상), Growth(성장)

Abstract

Bone density parameters of children, unlike that of adult, might reflect growth effect along longitudinal direction as well as bone mass. The clinical test was performed for 859 male/female children with age 6~16 years. Ultrasonic imaging system was used to measure bone density, and relationship of bone density to age was evaluated. The bone quality index appeared to be highly correlated with age for male/female children. It was found that bone quality index rose rapidly in the first growth period. The bone quality index was then kept almost unchanged in the period of puberty, and slowly rose after puberty. It was also found that growth of female stopped earlier than that of male. Also, if more clinical examinations are performed by applying various sizes of region of interest, relationship between bone density and age is expected to be more reliable.

1. 서 론

과거에는 골밀도의 측정이 성인에서의 골반, 척추 등의 골절 판별 및 골다공증 진단에 사용되었으나 최근에는 성인뿐만 아니라 어린이의 골밀도 측정에 날로 관심이 증대되고 있다. 어린이의 골밀도 값은 뼈의 질을 평가할 뿐만 아니라 뼈의 길이방향 성장을 반영하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 이에 골밀도를 측정하고 뼈의 최종적인 성장 시기를 예측하는 방법도 제시되고 있다.^(2,3) 골밀도는 골연령을 반영하는 것으로 뼈의 길이방향 성장뿐만 아니라 인체 골격을 구성하는 뼈의 나이를 판별할 수 있는 것으로 신체의 성장에 대한

분석에 중요한 기준이 된다.

현재 골밀도를 측정하기 위하여 많이 쓰이고 있는 방법으로는 Dual Energy X-ray Absorptiometry (DEXA)와 Quantitative Ultrasound (QUS)를 이용한 방법이 있으며, 이를 이용하여 골밀도와 성장과의 관련성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. QUS 방법은 인체에 유해한 방사선 기반의 측정 방법을 대체하여 어른과 어린이들의 뼈 상태를 평가하는 방법으로 제안되었으며⁽⁴⁻⁷⁾ 종골 초음파 측정을 통한 골밀도 진단에 대한 연구는 계속 발표되고 있다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ 많은 종골 초음파 장비가 상업적으로 이용되고 있으며 broadband ultrasound attenuation (BUA)와 speed of sound (SOS)가 QUS방식의 parameter로 주로 사용된다.⁽¹¹⁾ 그러나 QUS 측정방식은 종골의 이질성 때문에 region of interest (ROI)의 위치와 크기에 영향을 받는다. 이를 극복하기 위하여 ultrasound imaging method를 사용하게 되며, 이는 종골 후위 부분에서 초음파가 최소로 감쇠되는 영역을 자동

† 책임저자, 회원, 경희대학교 동서의학대학원 의료공학전공
E-mail : smhan@khu.ac.kr

TEL : (031)201-2171 FAX : (031)204-6117

* 경희대학교 동서의학대학원 의료공학전공

** 부산대학교 기계공학과

*** 이화여자대학교 보건교육학과

으로 측정할 수 있어 ROI의 영향을 줄일 수 있다.⁽¹²⁾

어린이에 있어서 골밀도 측정은 뼈의 상태의 부작용을 평가하는 데 있어서 중요하다.⁽¹³⁾ 최근 들어 어린이와 6~15세 사이의 소년 소녀의 골밀도에 대한 연구가 보고되고 있기는⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ 하지만 어린이에 대해서 골밀도 값과 나이의 연관성에 대한 체계적인 연구가 매우 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 종골 초음파 영상 시스템을 사용하여 성장하는 어린이의 전체 연령에 대해서 종골에서의 초음파 골질 영상을 얻고 이를 이용하여 초음파 골밀도 측정 파라미터를 구하여 골연령으로 정의하고 나이의 연관성을 조사함으로써 성장기 어린이의 골밀도와 성장과의 상관관계를 여부를 확인하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험대상

초등학교와 중학교 6~16세 사이의 남/녀 어린이 859명 (남 464명: 9.81 ± 2.57 years, 여 395명: 9.83 ± 2.54 years)이 본 연구에 참가하였다. 실험 참가 여부를 학교에 문의하여 학교장의 결정에 따라 실험에 참가할 학급을 결정하였다. 실험 참가자의 부모님들께 실험에 대한 안내문을 발송하였으며 실험에 대한 동의서를 받았다. 또한 뼈의 대사에 영향을 미치는 치료와 골밀도에 손상을 끼치는 질병을 앓지 않은 정상의 건강한 아동에 대해서만 분석을 실시하였다.

실험 참여자의 키와 몸무게는 표준조건에서 골밀도 측정 전에 측정하였다. 키는 stadiometer를 사용하여 1mm 단위로 측정하였으며 몸무게는 전자저울을 사용하여 0.1kg 단위로 측정하였다.

2.2 측정 파라미터

초음파를 이용한 골질 평가 시 사용되는 진단 파라미터는 초음파가 종골을 투과할 때 파형이 변화되는 양상을 분석하여 얻을 수 있으며, 그 변화 양상에는 속도의 변화, 에너지의 감소 등이 있다. 이 중에서 속도의 변화는 골밀도와 관계되며, 에너지의 감소는 뼈의 미세구조와 관련되는 것으로 이는 초음파가 뼈를 투과하면서 발생하는 산란과 흡수에 기인한다.

이러한 초음파의 전파 특징을 이용한 초음파 골밀도 진단 파라미터에는 주파수 영역의 신호처리를 통해 얻을 수 있는 초음파 광역 감쇠와 시간 영역의 신호처리를 통해 얻을 수 있는 초음파 속도가 있으며, 이들 파라미터들은 발뒤꿈치 양 측면에 한 쌍의 초음파 탐촉자를 위치시키고 초음파 투과법을 적용시켜 얻어진 초음파 신호를 처리하여 얻을 수 있다. 골밀도 측정에는 뼈의 내부 구조와 측정에 의한 평가의 범위를 감안하여 중심 주파수가 0.5MHz인 저주파의 광대역 탐촉자가 이용된다.

초음파 광역 밴드 감쇠 (BUA)는 증류수만을 통과하여 수신된 초음파 신호를 주파수영역으로 변환하고 증류수 속의 종골을 통과하여 수신된 초음파 신호를 주파수영역으로 변환한 뒤 얻어진 두 주파수 스펙트럼을 dB단위의 진폭으로 나타내어진다. 얻어진 두 초음파 신호의 주파수 스펙트럼에서의 진폭의 차이를 0.3~0.7MHz대역에서 주파수별로 구한 뒤, 이 값들을 선형회귀 분석하여 구해진 직선의 기울기가 초음파 광역 밴드 감쇠 값이 된다.

초음파 속도 (SOS)는 초음파 신호의 도달 시간 차이에 의해 계산되어 진다. 먼저 증류수만을 통과하여 수신되는 초음파 신호의 도달시간(t_1)과 종골을 통과하여 수신되는 초음파 신호의 도달시간(t_2)를 계산하여 도달시간의 차이($t=t_1-t_2$)를 계산할 수 있다. 계산된 초음파 신호의 도달시간 차이 및 종골의 두께(d)를 이용하여 종골에서의 초음파 속도가 구하여 진다.

이전 연구에서 초음파 파라미터에 의한 인체 연골의 압축강도의 예측에 있어서 고변형률과 저변형률에서 각 초음파 파라미터의 예측 능력이 크게 다를 것을 증명하였다. 또한 속도 파라미터와 감쇠 파라미터의 선형 조합은 저변형률 및 고변형률 모두에서 골강도의 예측을 가능하게 한다고 보고되어 있다.⁽¹⁶⁾ 이와 같이 초음파 광역 감쇠와 초음파 속도가 뼈의 서로 다른 골질상태를 반영하기 때문에 BUA와 SOS를 동시에 반영하기 위하여 두 파라미터의 선형조합으로 이루어진 Bone Quality Index (BQI)를 도입하였다.

3. Ultrasonic Measurement System

현재까지 많은 연구들이 어린이의 초음파 parameter

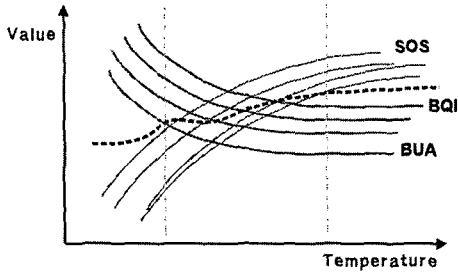


Fig. 1 Relationships among SOS, BUA and BQI

를 구하기 위해 non imaging method를 사용하였다. 본 연구에서는 종골 초음파 imaging method를 사용하였는데, 이 방법은 종골을 영상화함으로써 나이에 따라 변하는 어린이의 종골을 측정하는데 도움이 된다. 종골에서의 초음파 골질 영상을 얻고 이를 이용하여 종골 중심 위치에 9mm의 ROI를 적용하여 초음파 골밀도 측정 파라미터를 구하였다.

골밀도를 측정하기 위해서 ultrasonic imaging bone densitometer(OsteoImager Plus, BMtech 21, Korea)를 사용하였다. 사용된 초음파 골밀도 시스템은 종골 전체를 스캔하여 ROI를 자동으로 선정하고 그 영역에서 초음파 파라미터 BUA와 SOS를 동시에 측정하였다. 초음파 골밀도 측정은 초음파의 산란 등으로 인해 뼈가 너무 크거나 중첩이 심한 곳에서는 이루어질 수 없다. 종골을 측정 부위로 선택한 이유는 종골이 골밀도와 관련이 높은 연골로 대부분이 구성되어 있으며, 초음파 측정에 가장 적합한 부위이기 때문이다.

또한 구해진 BUA와 SOS를 선형조합하여 새로운 골질 파라미터 BQI를 얻었다. 그 후 남, 녀 각각의 어린이들에 대해서 BQI와 연령과의 상관성을 분석하였다.

Fig. 2는 골밀도 측정 시스템의 다이어그램을 나타내고 있다. 이 스캐너는 중심 주파수가 0.5MHz인 수침식 광역 초음파 탐촉자(Panametrics, V318-SU, USA) 한 쌍을 사용하였고, 이 탐촉자는 2개의 스텝핑 모터에 의해 구동된다. 또한 초음파 탐촉자의 위치 제어를 위해 2조의 커플링 및 볼스크류 기구를 사용하였다. 초음파 스캐너는 스캐닝이 이루어지는 스캐닝 수조,

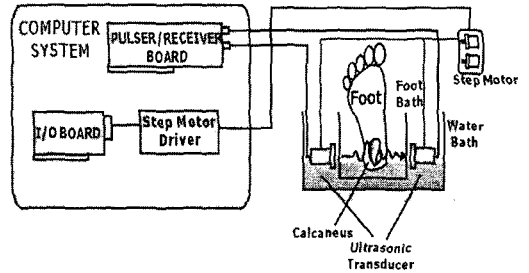


Fig. 2 Schematic diagram of ultrasonic bone densitometer

스텝핑 모터의 오작동 방지를 위하여 각 축 당 2개씩 설치된 리미트 스위치, 초음파 탐촉자의 위치 검출을 위한 1쌍의 엔코더, 스캐닝 시 공급되는 물의 가열을 위한 히터, 가열되는 물의 일정 온도 유지를 위한 온도조절 센서, 스캐닝 수조로의 물의 공급을 담당하는 공급 펌프 및 수조, 스캐닝 후의 물의 배출을 위한 배출 펌프 및 배출 수조, 공급되는 물의 양을 감지하기 위한 수위감지센서 등으로 구성되어 있다.

4. 영상처리 알고리즘

Fig. 3은 골밀도 평가를 위한 초음파 스캐닝 시의 신호처리 알고리즘을 나타내고 있다. 스캐닝이 시작되면 각 스캐닝 지점에서 초음파 신호의 송수신이 이루어진다. 각 지점에서 수신된 초음파 신호는 10Ms(mega sampling)의 샘플링 속도로 A/D변환된 뒤 초음파 감쇠 파라미터의 추출을 위해 신호가 최고치를 가지는 부분의 전후 일정 영역의 신호만을 분리한 뒤, Fast Fourier Transform(FFT)처리한다. 이러한 신호의 분리 목적은, 노이즈 제거 및 신호의 고주파 성분의 저감에 있다. 또한 FFT처리 시 추출된 초음파 신호의 양 끝단에서의 잘려나간 신호의 성분에 따른 FFT결과의 오차를 제거하기 위해서 창함수(Hanning window)가 적용되었다. 위와 같은 방법으로 증류수에서 초음파 신호를 수신하여 처리하였고, 종골이 있는 상태에서 각 스캐닝 포인트에서 초음파 신호를 수신하여 처리하여, 각 스캐닝 포인트에서의 감쇠 파라미터 계산에 사용하였다.

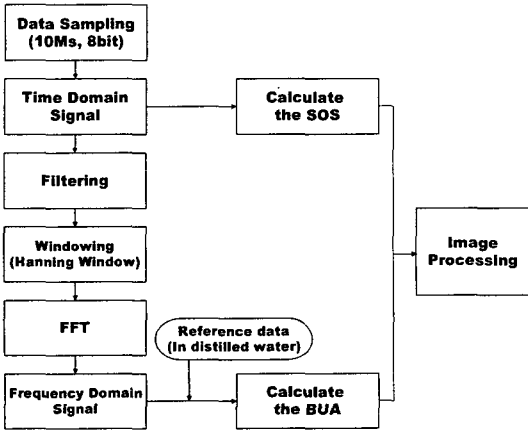


Fig. 3 Flow chart of data analysis process

또한 얻어진 초음파 신호와 각 스캐닝 포인트에서의 종골의 두께를 이용하여 각 스캐닝 포인트에서의 초음파 속도 파라미터의 계산에 이용하였다. 이로써 스캐닝 중에 각 스캐닝 포인트에서의 뼈의 두께, 속도, 형상 및 감쇠 파라미터의 계산이 가능하게 되었으며 이를 이용한 골질 분포의 영상 처리 및 종골의 영상화가 가능하게 되었다.

5. 결 과

연령과 골밀도와와의 관계를 분석하기 위해 6세~16세의 어린이 859명(남 464명, 여 395명)에 대해 골밀도의 측정이 이루어졌다. 측정된 골밀도 파라미터 값들은 Table 1에 나타내었다. 통계 분석은 SAS (Statistical Analysis System) 프로그램을 이용하여 각 항목의 결과에 대한 평균 및 표준편차를 산출하였다.

BQI와 연령과의 상관관계는 1차, 2차, 및 3차 다항식을 적용하여 분석한 결과 3차 보간곡선이 적합하였다. BQI는 남자 및 여자 어린이 모두의 경우에서 연령과 유의성 있는 ($r=0.70$, $p<0.0001$ for male, $r=0.74$, $p<0.0001$ for female) 관계를 나타내었다. 연관성 곡선에서 남/여 각각 6~16세 사이에서 3개의 구간으로 구분되었다. 3구간은 사춘기 이전(구간 A), 사춘기(구간 B), 그리고 사춘

Table 1 Results of measured ultrasound parameters

(a) For male (mean±SD)

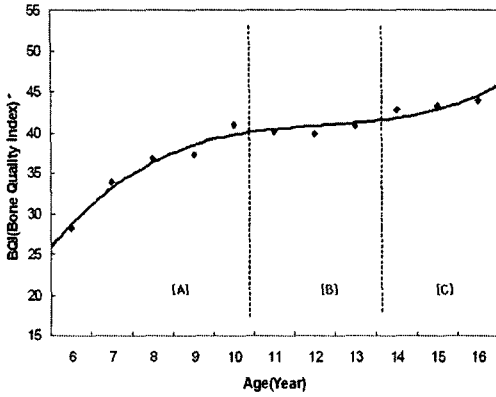
나이	BUA (dB/MHz)	SOS (m/s)	BQI
6	23.6±3.7	1520.4±3.9	28.2±2.2
7	25.4±4.5	1520.2±5.9	33.9±1.7
8	28.3±4.6	1520.6±4.7	36.8±2.7
9	31.3±6.1	1522.3±5.9	37.2±3.5
10	36.0±6.1	1526.2±4.6	40.9±3.3
11	36.9±8.0	1519.5±7.1	40.1±2.5
12	34.8±5.6	1529.1±3.5	39.8±2.5
13	36.5±7.2	1522.2±5.9	40.8±1.8
14	40.4±9.6	1527.7±5.8	42.7±3.0
15	42.8±6.1	1522.6±8.1	43.2±2.8
16	42.3±8.6	1527.3±8.2	43.9±5.4

(b) For female (mean±SD)

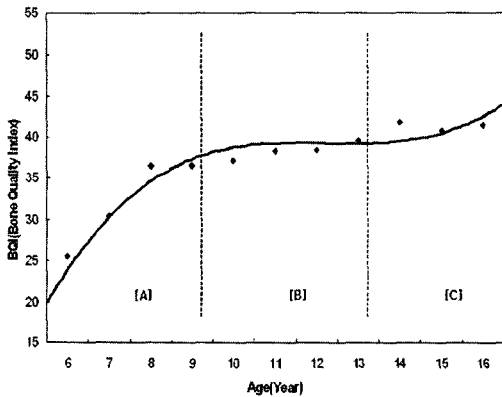
나이	BUA (dB/MHz)	SOS (m/s)	BQI
6	22.8±3.7	1518.2±5.6	25.5±1.8
7	24.3±4.7	1475.9±9.7	30.4±1.9
8	27.6±5.0	1522.9±3.8	36.4±2.5
9	28.2±6.3	1518.5±4.7	36.6±3.1
10	32.4±7.5	1510.8±5.7	37.1±2.9
11	33.1±6.9	1518.1±7.4	38.3±2.8
12	35.2±5.9	1493.4±9.9	38.4±2.8
13	34.7±5.6	1526.5±9.4	39.6±2.8
14	37.8±4.9	1524.7±5.4	41.8±3.0
15	36.8±6.6	1520.5±3.5	40.7±2.9
16	37.1±8.2	1526.6±5.7	41.3±3.3

기 이후(구간 C)이다.

Fig. 4(a)는 남아의 경우 BQI와 연령과의 상관성을 나타내고 있다. A구간은 골밀도의 급격한 상승이 유발됨을 볼 수 있고 뼈의 길이방향 성장이 서서히 일어나는 1차 성장 시기로 생각된다. B구간은 사춘기 시기로 분류할 수 있는데 이 기간동안 성호르몬의 분비가 이루어지며 신체적으로도 2차 급성장이 이루어진다. B구간에서는 골밀도 값이 거의 일정하게 유지되며 C구간은 골밀



(a) For male (n=464)



(b) For female (n=395)

Fig. 4 Graphs of BQI vs. Age

도의 완만한 상승이 유발됨을 알 수 있다. 이 구간은 사춘기 이후 성장이 어느 정도 멈추기 시작하는 것으로 사료된다.

Fig. 4(b)는 여아의 경우 BQI와 연령과의 상관성을 나타내고 있는 것으로 남아의 경우와 마찬가지로 골연령 결과 분포표에서 3구간(A,B,C)으로 나눌 수 있다. A구간은 1차 성장시기로 남아보다 골밀도의 급격한 상승이 유발되고, B구간은 신체적인 2차 급성장이 일어나는 사춘기 시기에 골밀도 값이 남아보다 더 일정하게 유지됨을 알 수 있으며 이는 여아의 경우 남아보다 성장이

일찍 멈추기 때문으로 사료되며 사춘기가 빠름을 알 수 있다. C구간은 골밀도 값이 거의 일정하게 유지되며 성장이 멈추기 시작하는 것을 확인할 수 있다.

6. 토 의

이상의 결과에서 1차 성장 시기의 경우에는 여아의 경우가 남아에 비해 급격한 성장이 있음을 확인할 수 있었으며, B구간은 성호르몬의 분비가 증대되는 사춘기 구간으로 남아의 경우 10.4~13.6세, 여아의 경우 9.4~12.5세로 나타났다. 이는 사춘기의 시작이 여자 어린이의 경우가 더 빠름을 알 수 있으며 대략 3년 정도의 기간을 가짐을 알 수 있었다. C구간은 사춘기가 지난 후의 연령에서의 골밀도 변화 추이를 나타내고 있는 것으로 골밀도의 증가 양상이 점차 줄어들음을 확인할 수 있었다. 또한 여자 어린이가 남자 어린이에 비해 증가 양상이 크게 줄어들음을 확인할 수 있었는데, 이는 사춘기 시기를 지나면서 성호르몬의 분비에 의한 성장호르몬의 분비가 남자 어린이에 비해 크게 줄어들음을 반영하는 결과로 생각되어진다. 또한 여아의 경우 남아보다 A구간에서는 골밀도가 급격히 상승하지만 남아보다 사춘기가 빠르고 B, C구간에서 대체적으로 골밀도 값이 완만히 유지됨으로 남아에 비해 성장이 일찍 멈춤을 확인할 수 있었다. 이는 성장에 있어서 남자 어린이가 여자 어린이에 비해 동일 연령대에서 큰 신장 및 골질의 차이를 반영하는 결과라 할 수 있다.

사춘기 이후 (구간 C)는 구간 A, B와 달리 남녀의 경우에 BQI 값의 산포도가 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 남자의 경우 키의 분포가 여자의 경우에 비해 폭넓게 분포하는 것을 반영하는 결과임을 알 수 있다.

본 연구에서 적용되어진 ROI는 9mm인 원형 영역으로 골다공증에 진단되고 있는 13mm에 비해 작게 설정되어졌다. 그 이유는 종골의 크기가 성인에 비해 작아서 ROI가 뼈의 영역을 벗어남을 방지하기 위함과 뼈의 크기에 대한 영향을 반영하고자 함이었다. 그러나, 임상을 통해 얻어진 종골의 영상을 분석한 결과 C구간에 해당되는 대상자의 종골 크기가 어느 정도 성인의 크기와 비슷해짐을 알 수 있어서 각 연령 및 뼈의 크기에

따라 다른 직경의 ROI를 적용한다면 좀 더 신뢰성 있는 측정결과를 얻을 수 있을 것으로 기대되어진다. 이는 뼈의 특정 부분에서 추출되어진 크기에 관련된 파라미터와 연관지어 생각할 수 있는 것으로 좀 더 다양한 크기 단계를 가지는 ROI를 개인별로 적용한다면 보다 높은 신뢰성을 갖는 결과를 보일 것으로 생각된다. 이는 향후 데이터 분석을 통하여 보완되어야 할 과제이다.

이 실험 결과로 미루어 볼 때 성장이 완전히 끝나는 20세까지는 골밀도 값이 서서히 증가할 것으로 생각되어지며 더 많은 임상실험을 통한다면 골밀도 값과 연령과의 상관성이 보다 명확해질 것으로 기대된다

7. 결 론

(1) 1차 성장 시기에서 여아의 경우가 남아의 경우보다 골밀도의 변화가 급격히 상승되며 빠른 성장을 이룬다.

(2) 사춘기는 대략 3년간의 기간을 가지며 여아가 남아에 비해 빨리 시작된다. 이 기간동안은 성호르몬의 분비에 의해 골밀도 값이 유지된다.

(3) 사춘기 이후에는 골밀도 값이 크게 변하지 않으며 성장이 멈추기 시작한다.

참고문헌

- (1) Han, S.M. and Davis, J., 1997, "A Comparison Between The Patella and the Calcaneus in Ultrasound Velocity and Attenuation as Predictors of Bone Mineral Density," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 42, pp. 1 ~ 9
- (2) Lequin, M.H., van Rijn, R.R., Robben, S.G.F., Hop, W.C.J. and van Kuijk, C., 2000, "Normal Values for Tibial Quantitative Ultrasonometry in Caucasian Children and Adolescents(Age 6 to 19 Years)," *Calcif Tissue Int*, Vol. 67, pp. 101~105
- (3) Rauch F. and Shonenu, E., 2001, "Changes in Bone Density During Childhood and Adolescence: An Approach Based on Bone's Biological Organization," *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol. 16, No. 4, pp. 597~604
- (4) Genant, H.K., Engelke, K., Fuerst, T., et al, 1996, "Noninvasive Assessment of Bone Mineral and Structure: State of the Art," *J Bone Miner Res*, Vol. 11, No. 6, pp. 707~730.
- (5) Gluer. C.C., 1997, "Quantitative Ultrasound Techniques for the Assessment of Osteoporosis: Expert Agreement on Current Status. The International Quantitative Ultrasound Consensus Group," *J Bone Miner Res*, Vol. 12, No. 8, pp. 1280~1288.
- (6) Mughal, M.Z., Langton, C.M., Utretch, G., Morrison, J. and Specker, B.L., 1996, "Comparison Between Broad-Band Ultrasound Attenuation of the Calcaneum and Total Body Bone Mineral Density in Children," *Acta Paediatr*, Vol. 85, pp. 663~665.
- (7) Jaworski, M., Lebedowski, M., Lorenc, R.S., Trempe, J., 1995, "Ultrasound Bone Measurement in Pediatric Subjects," *Calcif Tissue Int*, Vol. 56, pp. 368~371.
- (8) Bauer, D.C., Gluer, C.C., Cauley, J.A., et al., 1997, "Broadband Ultrasound Attenuation Predicts Fractures Strongly and Independently of Densitometry in Older Women. A Prospective Study. Study of Osteoporotic Fractures Research Group," *Arch Intern Med*, Vol. 157, No. 6, pp. 629~634.
- (9) Hans, D., Dargent-Molina, P., Schott, A.M., et al., 1996, "Ultrasonographic Heel Measurements to Predict Hip Fracture in Elderly Women: the EPIDOS Prospective study," *Lancet*, Vol. 348, pp. 511~514.
- (10) Pluijm, S.M., Graafmans, W.C., Bouter, L.M. and Lips, P., 1999, "Ultrasound Measurements for the Prediction of Osteoporotic Fractures in Elderly People" *Osteoporos Int*, Vol. 9, No. 6, pp. 550~556.
- (11) Han, S.M., Medige, J., Davis, J., Fishkin, K., Mihalko, W. and Ziv, I., 1997, "Ultrasound Velocity and Broadband Attenuation as Predictors of Load-Bearing Capacities of Human Calcanei," *Calcified Tissue International*, Vol. 60, No. 1, pp. 21 ~ 25
- (12) van den Bergh J.P.W., Noordam, C., Ozyilmaz, A., et al., 2001, "Measuring Skeletal Changes with Calcaneal Ultrasound Imaging in Healthy Children

- and Adults: The Influence of Size and Location of the Region of Interest," *Osteoporos Int*, Vol. 12, pp. 970~979.
- (13) Gilsanz, V., 1998, "Bone Density in Children: a Review of the Available Techniques and Indications," *Eur J Radiol*, Vol. 26, pp. 177~182.
- (14) Mughal, M.Z., Langton, C.M., Utretch, G., Morrison, J., Specker, B.L., 1996, "Comparison Between Broadband Ultrasound Attenuation of the Calcaneum and Total Body Bone Mineral Density in Children," *Acta Paediatr*, Vol. 85, pp. 663~665
- (15) Jaworski, M., Lebidowski, M., Lorenc, R.S., Trempe, J., 1995, "Ultrasound Bone Measurement in Pediatric Subjects," *Calcif Tissue Int*, Vol. 56, pp. 368~371.
- (16) Han, S.M., Medige, J., Faran, K., Feng, Z. and Ziv, I., 1997, "The Ability of Quantitative Ultrasound to Predict the Mechanical Properties of Trabecular Bone Under Different Strain Rates," *Medical Engineering & physics*, Vol. 19, No. 8, pp. 742~787.