



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0076121
(43) 공개일자 2020년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 8/08 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01)
A61B 8/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 8/0875 (2013.01)
A61B 5/4509 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0164868
(22) 출원일자 2018년12월19일
심사청구일자 2018년12월19일

(71) 출원인
강원대학교산학협력단
강원도 춘천시 강원대학길 1 (효자동)
(72) 발명자
이강일
강원도 춘천시 방송길 70, 107동 3104호 (온의동,
온의롯데캐슬스카이클래스)
(74) 대리인
특허법인빛과소금

전체 청구항 수 : 총 6 항

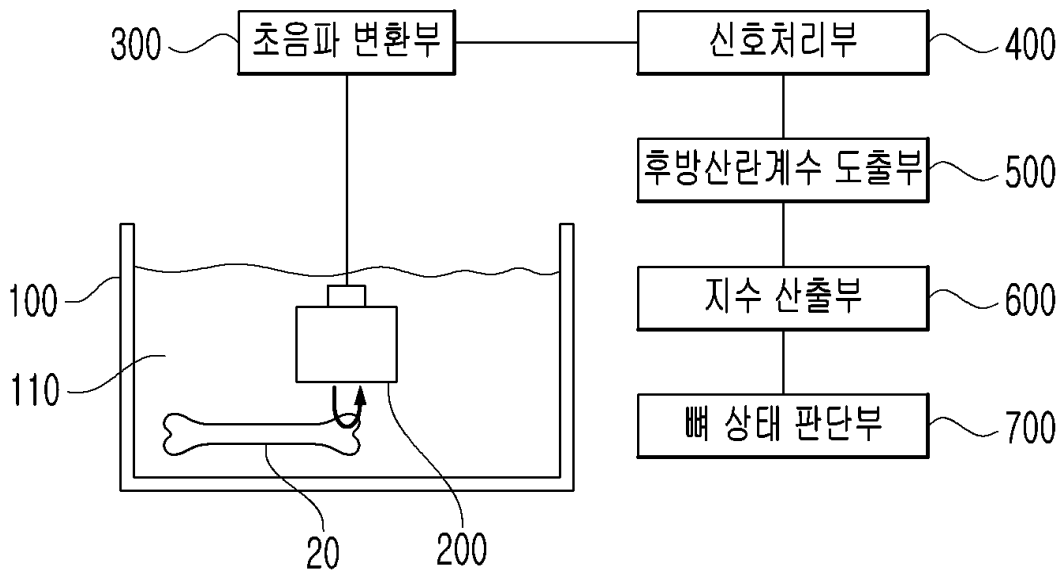
(54) 발명의 명칭 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치

(57) 요약

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치가 개시된다. 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치는 측정 대상의 뼈에 초음파를 조사하고, 상기 뼈로부터 반사된 초음파를 수신하는 초음파 송수신부; 전기적 신호를 초음파로 변환하여 상기 초음파 송수신부로 전송하거나

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



상기 초음파 송수신부가 수신한 초음파를 전기적 신호로 변환하는 초음파 변환부; 상기 초음파 변환부에 의해 변환된 전기적 신호를 검출하는 신호처리부; 상기 신호처리부에서 검출된 전기적 신호로부터 초음파 후방산란계수를 도출하는 후방산란계수 도출부; 상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 상기 후방산란계수 도출부에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하여 상기 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수를 산출하는 지수 산출부; 및 상기 주파수 의존성 지수를 이용하여 상기 뼈의 상태를 예측하는 뼈 상태 판단부;를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

A61B 5/7275 (2013.01)

A61B 8/44 (2020.05)

A61B 8/54 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A2B4007214

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구지원사업

연구과제명 치료용 초음파 의료기기의 성능 예측 및 평가 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 강원대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

측정 대상의 뼈에 초음파를 조사하고, 상기 뼈로부터 반사된 초음파를 수신하는 초음파 송수신부;

전기적 신호를 초음파로 변환하여 상기 초음파 송수신부로 전송하거나 상기 초음파 송수신부가 수신한 초음파를 전기적 신호로 변환하는 초음파 변환부;

상기 초음파 변환부에 의해 변환된 전기적 신호를 검출하는 신호처리부;

상기 신호처리부에서 검출된 전기적 신호로부터 초음파 후방산란계수를 도출하는 후방산란계수 도출부;

상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 상기 후방산란계수 도출부에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하여 상기 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수를 산출하는 지수 산출부; 및

상기 주파수 의존성 지수를 이용하여 상기 뼈의 상태를 예측하는 뼈 상태 판단부;를 포함하는 것을 특징으로 하는

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 지수 산출부는 상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 상기 후방산란계수 도출부에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하기 위해, 하기 수학식 1을 이용한 비선형 피팅(nonlinear fitting)을 통해 비선형 그래프를 만들되,

상기 수학식 1의 x값에는 상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 특정 주파수를 입력하고, 상기 수학식 1의 y값에는 상기 특정 주파수일 때 측정된 초음파 후방산란계수를 입력함으로써 만들어진 비선형 그래프에 의해 최종적으로 결정된 n값을 상기 주파수 의존성 지수로 정의하는 것을 특징으로 하는

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치.

[수학식 1]

$$y = x^n$$

(여기서, y는 초음파 후방산란계수, x는 초음파의 주파수, n은 지수)

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 뼈의 상태는 골밀도, 골소주 두께 및 골소주 간격 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 뼈 상태 판단부는 상기 지수 산출부로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골밀도 예측용 선형 방정식에 대입함으로써, 상기 뼈의 골밀도를 예측하되,

상기 골밀도 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골밀도를 독립변수로 설정하고, 상기 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 상기 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를

통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 상기 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출된 것을 특징으로 하는

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 뼈 상태 판단부는 상기 지수 산출부로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골소주 두께 예측용 선형 방정식에 대입함으로써, 상기 뼈의 골소주 두께를 예측하되,

상기 골소주 두께 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골소주 두께를 독립변수로 설정하고, 상기 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 상기 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 상기 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출된 것을 특징으로 하는

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 뼈 상태 판단부는 상기 지수 산출부로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골소주 간격 예측용 선형 방정식에 대입함으로써, 상기 뼈의 골소주 간격을 예측하되,

상기 골소주 간격 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골소주 간격을 독립변수로 설정하고, 상기 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 상기 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 상기 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출된 것을 특징으로 하는

초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 골다공증은 골량의 감소와 골구조의 파괴로 인해 작은 충격에도 골절이 쉽게 발생하는 전신적 골질환으로 정의되며, 고령 인구가 증가하고 있는 현대사회에서 골다공증은 당뇨병 및 심혈관 질환과 함께 가장 심각한 노인성 질환으로 인식되고 있다.

[0003] 골다공증은 발병하고 나면 정상 상태로 되돌릴 수 없는 비가역성 질환이라는 점에서 조기 진단 및 진단에 의한 예방이 중요시되는 질병으로, 종래에 골다공증 진단을 위한 여러 가지 진단방법 중 대표적으로 이중 에너지 X-선 흡수계측법(dual energy X-ray absorptiometry; DEXA)을 이용한 골밀도 측정이 있다.

[0004] 그러나, 골다공증 진단을 위한 골밀도 측정은 골다공증의 진단 뿐 아니라 치료반응의 평가를 위하여 반복적인 측정이 이루어져야 하기 때문에 방사선을 이용하는 이중 에너지 X-선 흡수계측법은 방사선에 반복적으로 노출되어야 하는 위험성이 존재하였으며, 특히 임산부의 골밀도 측정에는 어려움이 있었다.

[0005] 그에 따라, 인체에 무해한 골다공증 진단 방법에 대한 연구가 다각도로 이루어지고 있으며, 이러한 연구의 일환으로 초음파를 이용하여 골다공증을 진단하는 정량적 초음파(quantitative ultrasound; QUS) 기술이 제시되었다. 정량적 초음파 기술은 인체의 발 뒤꿈치 뼈 즉, 종골(calcaneus)에 초음파를 투과시키고, 종골의 음속(speed of sound; SOS) 및 광대역 초음파 감쇠(normalized broadband ultrasound attenuation; nBUA)와 같은 초음파 특성을 측정하여 전신의 골밀도(bone mineral density; BMD)를 간접적으로 예측하여 골다공증을 진단하는 방법으로서, 방사선을 이용한 골다공증 진단 방법에 비해 반복적인 검사에도 방사선 노출의 위험성이 전혀 없고, 진단기기의 가격 및 검진비용이 상대적으로 저렴하다.

[0006] 그런데, 동일한 골밀도를 갖더라도 연령이 높은 경우나 골절상의 병력 및 스테로이드류의 약물 치료를 받은 경우는 골절률이 더 높으며, 골다공증 약제의 골절률 감소 효과는 골밀도의 변화만으로는 설명하기가 어렵다. 따라서, 골밀도뿐만 아니라 골구조의 변화도 함께 고려하여 종합적으로 골강도를 예측해야만 골다공증의 원인을 규명하고 보다 정확하게 골다공증을 진단할 수 있다.

[0007] 전술한 진단 기술과 관련하여, 대한민국 등록특허공보 제10-1306543호(이하, '종래기술 1'이라 함)에는 대퇴골의 다공율과 초음파 후방산란계수를 이용하여 대퇴골의 골밀도를 예측하는 기술이 제시된 바 있고, 대한민국 등록특허공보 제10-1510525호(이하, '종래기술 2'라 함)에는 초음파 감쇠계수와 후방산란계수를 이용하여 대퇴골의 골구조를 예측하는 기술이 제시된 바 있다.

[0008] 그런데, 종래기술 1은 골밀도를 예측하기 위해 대퇴골의 다공율을 이용했으나, 뼈의 다공율은 골밀도와 밀접한 변수이기 때문에 다공율 만으로 골구조를 예측하기에는 한계가 있었고, 종래기술 2는 골 용적분율과 해면질골 두께 등과 같은 골구조를 예측하기에 최적화된 기술이어서 골밀도를 동시에 판단하기가 쉽지 않았다. 따라서, 전술한 기술적 한계를 극복하는 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 골밀도와 골구조를 동시에 판단할 수 있는 기술을 제공하는 데 그 목적이 있다.

[0010] 또한, 본 발명은 골밀도와 골구조의 예측시 절차를 간소화함으로써 보다 쉽고 편리하게 골밀도와 골구조를 동시에 예측할 수 있는 기술을 제공하는데 다른 목적이 있다.

[0011] 본 발명이 해결하려는 과제는 전술한 과제로 제한되지 아니하며, 언급되지 아니한 또 다른 기술적 과제들은 후술할 내용으로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 이러한 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시형태로서, 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치는 측정 대상의 뼈에 초음파를 조사하고, 상기 뼈로부터 반사된 초음파를 수신하는 초음파 송수신부; 전기적 신호를 초음파로 변환하여 상기 초음파 송수신부로 전송하거나 상기 초음파 송수신부가 수신한 초음파를 전기적 신호로 변환하는 초음파 변환부; 상기 초음파 변환부에 의해 변환된 전기적 신호를 검출하는 신호처리부; 상기 신호처리부에서 검출된 전기적 신호로부터 초음파 후방산란계수를 도출하는 후방산란계수 도출부; 상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 상기 후방산란계수 도출부에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하여 상기 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수를 산출하는 지수 산출부; 및 상기 주파수 의존성 지수를 이용하여 상기 뼈의 상태를 예측하는 뼈 상태 판단부;를 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 지수 산출부는 상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 상기 후방산란계수 도출부에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하기 위해, 상기 수학식 1을 이용한 비선형 피팅(nonlinear fitting)을 통해 비선형 그래프를 만들되, 상기 수학식 1의 x값에는 상기 초음파 송수신부로부터 조사된 초음파의 특정 주파수를 입력하고, 상기 수학식 1의 y값에는 상기 특정 주파수일 때 측정된 초음파 후방산란계수를 입력함으로써 만들어진 비선형 그래프에 의해 최종적으로 결정된 n값을 상기 주파수 의존성 지수로 정의할 수 있다.

[0014] [수학식 1]

$$y=x^n$$

[0015] (여기서, y는 초음파 후방산란계수, x는 초음파의 주파수, n은 지수)

[0016] 그리고, 뼈의 상태는 골밀도, 골소주 두께 및 골소주 간격 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0017] 아울러, 뼈 상태 판단부는 상기 지수 산출부로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골밀도 예측용 선형 방정식에 대입함으로써, 상기 뼈의 골밀도를 예측하되, 상기 골밀도 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골밀도를 독

립변수로 설정하고, 상기 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 상기 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 상기 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출될 수 있다.

[0019] 그리고, 뼈 상태 판단부는 상기 지수 산출부로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골소주 두께 예측용 선형 방정식에 대입함으로써, 상기 뼈의 골소주 두께를 예측하되, 상기 골소주 두께 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골소주 두께를 독립변수로 설정하고, 상기 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 상기 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 상기 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출될 수 있다.

[0020] 또한, 뼈 상태 판단부는 상기 지수 산출부로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골소주 간격 예측용 선형 방정식에 대입함으로써, 상기 뼈의 골소주 간격을 예측하되, 상기 골소주 간격 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골소주 간격을 독립변수로 설정하고, 상기 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 상기 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 상기 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출될 수 있다.

[0021] 상술한 과제에 해결 수단은 단지 예시적인 것으로서, 본 발명을 제한하려는 의도로 해석되지 않아야 한다. 상술한 예시적인 실시예 외에도, 도면 및 발명의 상세한 설명에 기재된 추가적인 실시예가 존재할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 의하면, 지수 산출부에 의해 산출된 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수를 이용하여 뼈의 골밀도, 골소주 두께 및 골소주 간격을 예측할 수 있다. 즉, 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수와 골밀도 간의 상관관계를 통해서 측정 대상의 골밀도를 예측할 수 있다.

[0023] 그리고, 주파수 의존성 지수와 골소주 두께 간의 상관관계를 통해서 측정 대상의 골소주 두께를 예측할 수 있고, 주파수 의존성 지수와 골소주 간격 간의 상관관계를 통해서 측정 대상의 골소주 간격을 예측할 수 있으므로 주파수 의존성 지수를 통해 측정 대상의 골구조를 예측하는 것이 가능하다.

[0024] 다시 말해, 일 실시예에서는 골밀도 및 골구조의 예측시 모두 활용될 수 있는 지표인 주파수 의존성 지수를 이용함으로써, 골밀도와 골구조를 동시에 예측할 수 있으므로 골밀도와 골구조의 예측 과정을 별도로 수행하던 종래에 비해 예측 절차가 간소화되어 보다 쉽고 편리하게 골밀도와 골구조를 동시에 예측하는 장점이 있다.

[0025] 본 발명의 다양한 실시예에 따른 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치를 개략적으로 도시한 개념도이다.

도2는 해면질골 샘플들로부터 획득한 골밀도 및 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수 간의 상관관계를 도시한 그래프이다.

도3은 해면질골 샘플들로부터 획득한 골소주 두께 및 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수 간의 상관관계를 도시한 그래프이다.

도4는 해면질골 샘플들로부터 획득한 골소주 간격 및 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수 간의 상관관계를 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 첨부된 도면을 참조하여 더 구체적으로 설명하되, 이미 주지되어진 기술적 부분에 대해서는 설명의 간결함을 위해 생략하거나 압축하기로 한다.

[0028] 본 명세서에서 본 발명의 "일" 또는 "하나의" 실시예에 대한 언급들은 반드시 동일한 실시예에 대한 것은 아니며, 이들은 적어도 하나를 의미한다는 것에 유의해야 한다.

[0029] 이하의 실시예에서, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다른 의미를 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0030] 이하의 실시예에서, 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징 또는 구성요소가 존재함을 의미하는 것이고, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.

[0031] 도면에서는 설명의 편의를 위하여 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다. 예컨대, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다.

[0032] 도1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치를 개략적으로 도시한 개념도이다. 도1을 참조하면, 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치(10)는 하우징(100), 초음파 송수신부(200), 초음파 변환부(300), 신호처리부(400), 후방산란계수 도출부(500), 지수 산출부(600) 및 뼈 상태 판단부(700)를 포함할 수 있다.

[0033] 하우징(100)은 매질(110)을 수용할 수 있는 내부 공간을 가지며, 상부가 개방된 형태로 적용될 수 있다. 일 실시예에서 매질(110)은 초음파를 전파하는 역할을 하며, 인체의 연부조직과 유사한 음향특성을 갖는 물(일 예로, 증류수)이 초음파 전파 매질(110)로서 이용될 수 있다.

[0034] 초음파 송수신부(200)는 측정 대상의 뼈에 초음파를 조사하고, 뼈로부터 반사된 초음파를 수신할 수 있다. 일 실시예에서 초음파 송수신부(200)는 중심주파수가 0.5MHz인 트랜스듀서로 적용될 수 있고, 초음파 송수신부(200)는 0.2~0.6MHz의 주파수 대역의 초음파를 조사할 수 있다.

[0035] 초음파 변환부(300)는 초음파 송수신부(200)의 일측과 연결되며, 전기적 신호를 초음파로 변환하여 초음파 송수신부(200)로 전송하거나 초음파 송수신부(200)가 수신한 초음파를 전기적 신호로 변환할 수 있다.

[0036] 일 실시예에서 측정 대상의 뼈(즉, 피검체)는 해면질골(20)로 적용될 수 있고, 해면질골(20)과 초음파 송수신부(200)는 매질(110)로 채워진 상태의 하우징(100)의 내부 공간에 위치할 수 있다. 또한, 실시하기에 따라, 하우징(100) 내에는 초음파 송수신부(200)와 해면질골(20)의 위치를 고정할 수 있는 별도의 고정장치(미도시)가 더 포함될 수도 있다.

[0037] 신호처리부(400)는 초음파 변환부(300)와 연결되며, 초음파 변환부(300)에 의해 변환된 전기적 신호를 검출할 수 있다. 후방산란계수 도출부(500)는 신호처리부(400)에서 검출된 전기적 신호를 분석하여 초음파 후방산란계수를 도출할 수 있다. 일 실시예에서 후방산란계수 도출부(500)는 하기 수학식 2를 통해 초음파 후방산란계수를 도출할 수 있다. 본 명세서에서 초음파 후방산란계수는 한 매질에 입사되는 광 진행의 반대 방향으로 산란되는 광의 정도를 나타내는 값으로서, 단위 매질의 거리당 후방 산란 정도를 의미한다.

[0038] [수학식 2]

$$\eta(f) = \left[\frac{R^2 |B_s(f)/B_o(f)|^2}{2W(f)c(f)\tau} \right] \exp[4\alpha(f)l] \left\{ \frac{\exp[\alpha(f)c(f)\tau] - \exp[-\alpha(f)c(f)\tau]}{2\alpha(f)c(f)\tau} \right\}^{-1}$$

[0039]

[0040] (여기서, $\eta(f)$ 는 초음파 후방산란계수, R은 초음파 송수신부로부터 피검체까지의 거리, $B_s(f)$ 는 피검체 내부로부터 후방산란된 초음파 신호의 파워스펙트럼레벨, $B_o(f)$ 는 완전반사체(스테인리스 스틸)로부터 반사된 초음파 신호의 파워스펙트럼레벨, $W(f)$ 는 초음파 초점에서 -3dB만큼의 빔폭, $c(f)$ 는 피검체의 위상속도, $\alpha(f)$ 는 피검체의 감쇠계수, τ 는 피검체로부터 반사된 초음파 신호 중 피검체의 표면에서 반사된 초음파 신호를 제외하고 피검체의 내부에서 후방산란된 초음파 신호가 차지하는 시간, l은 피검체의 중심으로부터 표면까지의 거리, exp는 지수함수)

[0041] 수학식 2에서 $B_s(f)$ 와 $B_o(f)$ 는 파워스펙트럼레벨은 신호처리부(400)에서 검출된 전기적 신호를 후방산란계수 도출부(500)가 고속 푸리에 변환함으로써 도출할 수 있다. $W(f)$ 는 반치 빔폭(half-maximum beam width)으로서, 초음파 초점에서 -3dB되는 두 점 사이의 각도를 측정하여 사전에 획득된 수치로 적용될 수 있다. 그리고, 피검체의 위상속도인 $c(f)$ 는 하기 수학식 3에 의해 계산될 수 있다.

[0042] [수학식 3]

$$c(f) = \frac{Cw}{1 - [Cw\Delta\Phi(\omega)/\omega d]}$$

[0043]

[0044] (여기서, $c(f)$ 는 피검체의 위상속도, ω 는 각진동수, C_w 는 수중에서의 음속, d 는 피검체의 두께, $\Delta \Phi(\omega)$ 는 피검체가 없는 경우와 있는 경우에 각각 수신된 초음파 신호의 위상차)

[0045] 수학식 3에서 각진동수 ω 는 초음파 주파수와 2π 를 곱한 값으로 정의되며, 수중에서의 음속 C_w 는 특정한 음속 값(일 예로, 1,480m/sec)으로 사전에 설정된 수치로 적용될 수 있다. 그리고, 피검체의 두께 d 는 버니어 캘리퍼스와 같은 측정 장치에 의해 사전에 측정된 수치로 적용될 수 있다.

[0046] 수학식 2에서 피검체의 감쇠계수인 $\alpha(f)$ 는 하기 수학식 4에 의해 계산될 수 있다.

[0047] [수학식 4]

$$\alpha(f) = \frac{8.686}{d} \left[\ln \frac{|A_o(f)|}{|A_s(f)|} \right]$$

[0048]

[0049] (여기서, $\alpha(f)$ 는 피검체의 감쇠계수, d 는 피검체의 두께, $A_o(f)$ 는 피검체가 없는 경우에 수신된 신호의 파워스펙트럼레벨, $A_s(f)$ 는 피검체가 있는 경우에 수신된 초음파 신호의 파워스펙트럼레벨, $\ln$ 은 자연로그)

[0050] 수학식 4에서 $A_o(f)$ 와 $A_s(f)$ 의 파워스펙트럼레벨은 신호처리부(400)에서 검출된 전기적 신호를 후방산란계수 도출부(500)가 고속 푸리에 변환함으로써 자동으로 도출될 수 있다.

[0051] 지수 산출부(600)는 초음파 송수신부(200)로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 후방산란계수 도출부(500)에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하여 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수를 산출할 수 있다. 본 명세서에서 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성이란 주파수에 따라 초음파 후방산란계수가 변화되는 것을 의미하며, 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수는 주파수 값이 커질수록 초음파 후방산란계수 값이 커지는 정도를 나타내는 지표이다.

[0052] 구체적으로, 지수 산출부(600)는 초음파 송수신부(200)로부터 조사된 초음파의 주파수 대역과 후방산란계수 도출부(500)에서 도출된 초음파 후방산란계수 간의 상관관계를 분석하기 위해, 하기 수학식 1을 이용한 비선형 피팅(nonlinear fitting)을 통해 비선형 그래프를 만들 수 있다.

[0053] [수학식 1]

$$y = x^n$$

[0054]

[0055] (여기서, y 는 초음파 후방산란계수, x 는 초음파의 주파수, n 은 지수)

[0056] 여기서, 피팅이란 측정된 데이터와 함수 간에 오차가 가장 적은 함수를 찾는 과정을 의미하며, 비선형 피팅은 측정된 데이터를 기반으로 하여 비선형 함수를 만드는 것을 의미한다.

[0057] 일 실시예에서 지수 산출부(600)는 지수 산출부(600) 내에 설치된 피팅 프로그램(일 예로, 오리진)을 이용하여 초음파의 주파수와 초음파 후방산란계수 간의 비선형 그래프를 만들 수 있다.

[0058] 지수 산출부(600)의 비선형 피팅시, 수학식 1의 x 값에는 초음파 송수신부(200)로부터 조사된 초음파의 특정 주파수를 입력하고, 수학식 1의 y 값에는 특정 주파수일 때 측정된 초음파 후방산란계수를 입력함으로써 소정의 비선형 그래프를 만들 수 있다. 그 후, 지수 산출부(600)는 만들어진 비선형 그래프에 의해 도출된 n 값을 주파수 의존성 지수로 정의할 수 있다.

[0059] 지수 산출부(600)가 주파수 의존성 지수를 산출하는 과정에 대해 보다 구체적인 예를 들어 설명하자면 다음과 같다. 먼저, 초음파 송수신부(200)가 0.2~0.6MHz의 주파수 대역에서 초음파를 조사하면 각 주파수별 후방산란계수가 얻어진다. 초음파 송수신부(200)가 피검체에 0.2MHz의 주파수를 조사했을 때, 후방산란계수 도출부(500)가 도출한 후방산란계수(단위는 $\text{cm}^{-1}\text{Sr}^{-1}$)는 0.008이고, 그 외에도 조사된 각 주파수별 후방산란계수를 정리하면 표 1과 같다.

표 1

[0060]

X값	Y값	좌표(x,y)
0.2	0.008	(0.2, 0.008)

0.3	0.027	(0.3, 0.027)
0.4	0.064	(0.4, 0.064)
0.5	0.125	(0.5, 0.125)
0.6	0.216	(0.6, 0.216)

[0061] 지수 산출부(600)는 비선형 피팅시에 수학식 1의 형태의 함수를 선택하고, 수학식 1의 X값에 표 1의 X값을 입력하고, 수학식 1의 Y값에 표 1의 Y값을 입력하면 표 1의 각 좌표를 통과하는 비선형 그래프가 만들어진다. 표 1의 좌표를 통과하는 비선형 그래프의 수식은 $y=x^3$ 으로 결정되므로 지수 산출부(600)는 만들어진 비선형 그래프에 의해 최종적으로 도출된 n값인 3을 주파수 의존성 지수라고 정의할 수 있다.

[0062] 뼈 상태 판단부(700)는 주파수 의존성 지수를 이용하여 피검체인 뼈의 상태를 예측할 수 있다. 일 실시예에서 뼈의 상태는 골밀도, 골소주(骨小柱) 두께 및 골소주 간격 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 아울러, 골소주 두께(trabecular thickness)와 골소주 간격(trabecular separation)은 피검체의 골구조를 판단하는 지표 중 하나로 사용될 수 있다.

[0063] 여기서, 골소주 두께는 골소주의 두께를 의미하며, 골소주 간격은 골소주들 간의 간격을 의미한다. 골소주의 두께를 나타내는 수치가 클수록 골구조가 양호하다고 볼 수 있고, 골소주 간격을 나타내는 수치가 클수록 골구조가 불량하다고 볼 수 있다.

[0064] 일 실시예에서 뼈 상태 판단부(700)는 지수 산출부(600)로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골밀도 예측용 선형 방정식의 Y값에 대입함으로써, 피검체의 골밀도를 예측할 수 있다. 여기서, 골밀도 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골밀도를 독립변수로 설정하고, 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출될 수 있고, 골밀도 예측용 선형 방정식은 하기 수학식 5로 표현될 수 있다. 아울러, 뼈 상태 판단부(700) 내에는 이러한 골밀도 예측용 선형 방정식이 기저장될 수 있다. 그리고, 해면질골 샘플은 사람을 제외한 동물(일 예로, 소)의 뼈 샘플을 의미한다.

[0065] [수학식 5]

[0066]
$$Y_1=A_1X_1+B_1$$

[0067] (여기서, Y_1 은 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수, A_1 은 기울기, X_1 은 해면질골 샘플의 골밀도, B_1 은 Y절편)

[0068] 수학식 5에서 후방산란계수와 주파수 의존성 지수는 전술한 방법과 같이, 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출할 수 있고, 마이크로 전산화 단층 촬영(micro-computed tomography)을 이용하여 각 해면질골 샘플을 촬영하고, 촬영된 이미지를 소정의 프로그램(일 예로, skyscan CTAn 소프트웨어)으로 분석하여 각 해면질골 샘플의 골밀도 값을 획득할 수 있다.

[0069] 도2는 해면질골 샘플들로부터 획득한 골밀도 및 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수 간의 상관관계를 도시한 그래프이다. 도2를 참조하면, 선형회귀분석을 통해 얻어진 피어슨(Pearson) 상관계수 R이 -0.89이므로 주파수 의존성 지수는 골밀도와 강한 음의 상관관계를 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 상관관계는 독립변수와 종속변수 간의 관계의 강도를 의미한다. 도2의 그래프에 도시된 1차 선형 방정식(즉, 골밀도 예측용 선형 방정식)은 전술한 수학식 1의 형태로 표현될 수 있다.

[0070] 한편, 일 실시예에서 뼈 상태 판단부(700)는 지수 산출부(600)로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골소주 두께 예측용 선형 방정식의 Y값에 대입함으로써, 피검체의 골소주 두께를 예측할 수 있다. 여기서, 골소주 두께 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골소주 두께를 독립변수로 설정하고, 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출될 수 있고, 골소주 두께 예측용 선형 방정식은 하기 수학식 6으로 표현될 수 있다. 아울러, 뼈 상태 판단부(700) 내에는 골소주 두께 예측용 선형 방정식이 기저장될 수 있다.

[0071] [수학식 6]

- [0072] $Y_2=A_2X_2+B_2$
- [0073] (여기서, Y_2 는 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수, A_2 는 기울기, X_2 는 해면질골 샘플의 골소주 두께, B_2 는 Y절편)
- [0074] 수학적 식 6에서 후방산란계수와 주파수 의존성 지수는 전술한 방법과 같이, 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출할 수 있고, 마이크로 전산화 단층 촬영을 이용하여 각 해면질골 샘플을 촬영하고, 촬영된 이미지를 소정의 프로그램(일 예로, skyscan CTAn 소프트웨어)으로 분석하여 각 해면질골 샘플의 골소주 두께 값을 획득할 수 있다.
- [0075] 도3은 해면질골 샘플들로부터 획득한 골소주 두께 및 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수 간의 상관관계를 도시한 그래프이다. 도3을 참조하면, 선형회귀분석을 통해 얻어진 피어슨 상관계수 R 이 -0.81 이므로 주파수 의존성 지수는 골소주 두께와 강한 음의 상관관계를 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 도3의 그래프에 도시된 1차 선형 방정식(즉, 골소주 두께 예측용 선형 방정식)은 전술한 수학적 식 6의 형태로 표현될 수 있다.
- [0076] 한편, 일 실시예에서 뼈 상태 판단부(700)는 지수 산출부(600)로부터 산출된 주파수 의존성 지수를 골소주 간격 예측용 선형 방정식의 Y 값에 대입함으로써, 뼈의 골소주 간격을 예측할 수 있다. 여기서, 골소주 간격 예측용 선형 방정식은, 해면질골 샘플의 골소주 간격을 독립변수로 설정하고, 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정한 상태에서 독립변수와 종속변수를 선형회귀분석함으로써 도출될 수 있고, 골소주 간격 예측용 선형 방정식은 하기 수학적 식 7로 표현될 수 있다. 또한, 뼈 상태 판단부(700) 내에는 골소주 간격 예측용 선형 방정식이 기저장될 수 있다.
- [0077] [수학적 식 7]
- [0078] $Y_3=A_3X_3+B_3$
- [0079] (여기서, Y_3 는 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출한 후방산란계수와 해면질골 샘플에 조사된 초음파의 주파수 대역 간의 상관관계를 통해 산출된 주파수 의존성 지수, A_3 는 기울기, X_3 는 해면질골 샘플의 골소주 간격, B_3 는 Y절편)
- [0080] 수학적 식 7에서 후방산란계수와 주파수 의존성 지수는 전술한 방법과 같이, 해면질골 샘플에 초음파를 조사하여 도출할 수 있고, 마이크로 전산화 단층 촬영을 이용하여 각 해면질골 샘플을 촬영하고, 촬영된 이미지를 소정의 프로그램(일 예로, skyscan CTAn 소프트웨어)으로 분석하여 각 해면질골 샘플의 골소주 간격 값을 획득할 수 있다.
- [0081] 도4는 해면질골 샘플들로부터 획득한 골소주 간격 및 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수 간의 상관관계를 도시한 그래프이다. 도4를 참조하면, 선형회귀분석을 통해 얻어진 피어슨 상관계수 R 이 0.67 이므로 주파수 의존성 지수는 골소주 간격과 양의 상관관계를 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 도4의 그래프에 도시된 1차 선형 방정식(즉, 골소주 간격 예측용 선형 방정식)은 전술한 수학적 식 7의 형태로 표현될 수 있다.
- [0082] 한편, 일 실시예에 따른 골밀도 및 골구조 예측 장치(10)는 출력부(미도시)를 더 포함할 수 있다. 출력부는 디스플레이 장치나 스피커 등으로 구현될 수 있고, 출력부는 뼈 상태 판단부(700)에서 예측된 피검체의 골밀도와 골구조(즉, 골소주 두께 및 골소주 간격) 결과값을 화면에 출력하거나 음성으로 안내할 수 있다.
- [0083] 본 발명자는 복수의 해면질골 샘플에 조사된 초음파 주파수 및 각 샘플의 후방산란계수 간의 상관관계를 통해 산출한 주파수 의존성 지수가 각 샘플의 뼈 상태(골밀도, 골구조)와 긴밀한 상관관계가 있다는 것을 밝혀냄으로써, 이를 이용하여 실제 환자의 골밀도와 골구조를 동시에 예측할 수 있는 기술을 완성하였다.
- [0084] 즉, 환자의 해면질골에 초음파를 조사한 이후, 조사된 초음파 주파수별 후방산란계수를 비선형 피팅시켜 주파수 의존성 지수를 산출할 수 있고, 산출된 주파수 의존성 지수를 뼈 상태 예측용 선형 방정식에 대입하면 환자의 뼈 상태를 쉽게 예측할 수 있다.
- [0085] 이에 대해 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 본 발명자는 소의 대퇴골 근위부를 이용하여 제작된 22개의 해면질골 샘플(두께 15mm의 직육면체 형태)을 대상으로 각각 초음파를 조사하였다. 각 샘플의 주파수 의존성 지

수는 전술한 방식과 같이, 실제 조사된 초음파의 주파수와 실제 측정된 초음파 후방산란계수를 이용하여 비선형 피팅을 수행하고, 만들어진 비선형 그래프에 의해 도출된 n 값을 주파수 의존성 지수로 정의한 것이다. 그리고, 각 샘플의 골밀도, 골소주 두께, 골소주 간격은 마이크로 전산화 단층 촬영을 이용하여 각 해면질골 샘플을 촬영하고, 촬영된 이미지를 소정의 프로그램으로 분석하여 도출한 것이다.

[0086] 그 후, 도출된 해면질골 샘플의 골밀도 값을 독립변수로 설정하고, 해면질골 샘플의 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정하며, 독립변수와 종속변수를 이용하여 선형회귀분석함으로써 도2의 1차 선형 방정식을 도출하였다. 그리고, 도출된 해면질골 샘플의 골소주 두께 값을 독립변수로 설정하고, 해면질골 샘플의 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정하며, 독립변수와 종속변수를 이용하여 선형회귀분석함으로써 도3의 1차 선형 방정식을 도출하였다. 또한, 도출된 해면질골 샘플의 골소주 간격 값을 독립변수로 설정하고, 해면질골 샘플의 주파수 의존성 지수를 종속변수로 설정하며, 독립변수와 종속변수를 이용하여 선형회귀분석함으로써 도4의 1차 선형 방정식을 도출하였다.

[0087] 따라서, 수학적 5 내지 수학적 7을 통해 이미 1차 선형 방정식이 뼈 상태 판단부(700) 내에 저장된 상태이므로, 뼈 상태 판단부(700)는 지수 산출부(600)로부터 산출된 환자의 뼈의 주파수 의존성 지수를 각 선형 방정식의 Y 값에 대입함으로써, 실제 환자의 해면질골의 골밀도, 골소주 두께 및 골소주 간격을 구할 수 있다. 물론, 이때 얻어지는 골밀도, 골소주 두께 및 골소주 간격 결과값은 해면질골 샘플의 실제 골밀도 및 골구조 데이터에 근거하여 환자의 골밀도와 골구조를 예측한 결과값이다.

[0088] 즉, 해면질골 샘플의 주파수 의존성 지수는 해면질골 샘플의 실제 뼈 상태 지표(예를 들어, 골밀도, 골소주 두께, 골소주 간격)와 밀접한 상관관계를 가지고 있기 때문에 이러한 상관관계를 이용하여 실제 환자의 해면질골의 주파수 의존성 지수만 알면 환자의 골밀도와 골구조를 예측할 수 있는 것이다.

[0089] 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치(10)는 지수 산출부(600)에 의해 산출된 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수를 이용하여 뼈의 골밀도, 골소주 두께 및 골소주 간격을 예측할 수 있다. 즉, 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성 지수와 골밀도 간의 상관관계를 통해서 측정 대상의 골밀도를 예측할 수 있다.

[0090] 그리고, 주파수 의존성 지수와 골소주 두께 간의 상관관계를 통해서 측정 대상의 골소주 두께를 예측할 수 있고, 주파수 의존성 지수와 골소주 간격 간의 상관관계를 통해서 측정 대상의 골소주 간격을 예측할 수 있으므로 주파수 의존성 지수를 통해 측정 대상의 골구조를 예측하는 것이 가능하다.

[0091] 다시 말해, 일 실시예에서는 골밀도 및 골구조의 예측시 모두 활용될 수 있는 지표인 주파수 의존성 지수를 이용함으로써, 골밀도와 골구조를 동시에 예측할 수 있으므로 골밀도와 골구조의 예측 과정을 별도로 수행하던 종래에 비해 예측 절차가 간소화되어 보다 쉽고 편리하게 골밀도와 골구조를 동시에 예측하는 장점이 있다.

[0092] 위에서 설명한 바와 같이 본 발명에 대한 구체적인 설명은 첨부된 도면을 참조한 실시예에 의해서 이루어졌지만, 상술한 실시예는 본 발명의 바람직한 예를 들어 설명하였을 뿐이기 때문에, 본 발명이 상기의 실시예에만 국한되는 것으로 이해되어져서는 아니 되며, 본 발명의 권리범위는 후술하는 청구범위 및 그 균등개념으로 이해되어져야 할 것이다.

부호의 설명

[0093] 10 : 초음파 후방산란계수의 주파수 의존성을 이용한 골밀도 및 골구조 예측 장치

100 : 하우징

110 : 매질

200 : 초음파 송수신부

300 : 초음파 변환부

400 : 신호처리부

500 : 후방산란계수 도출부

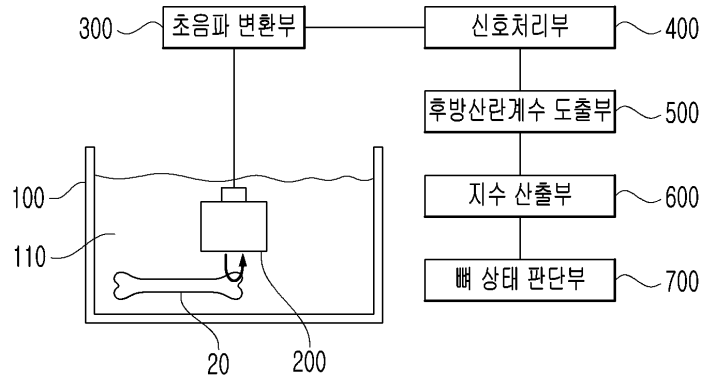
600 : 지수 산출부

700 : 뼈 상태 판단부

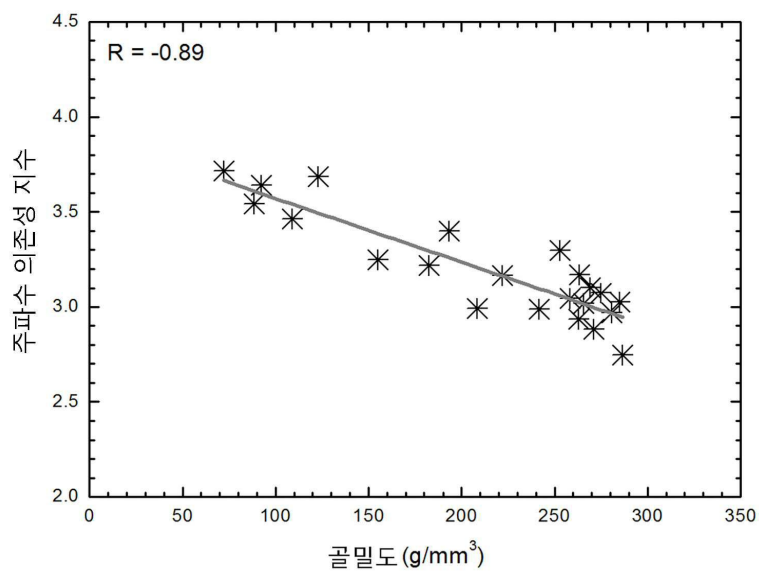
20 : 해면질골

도면

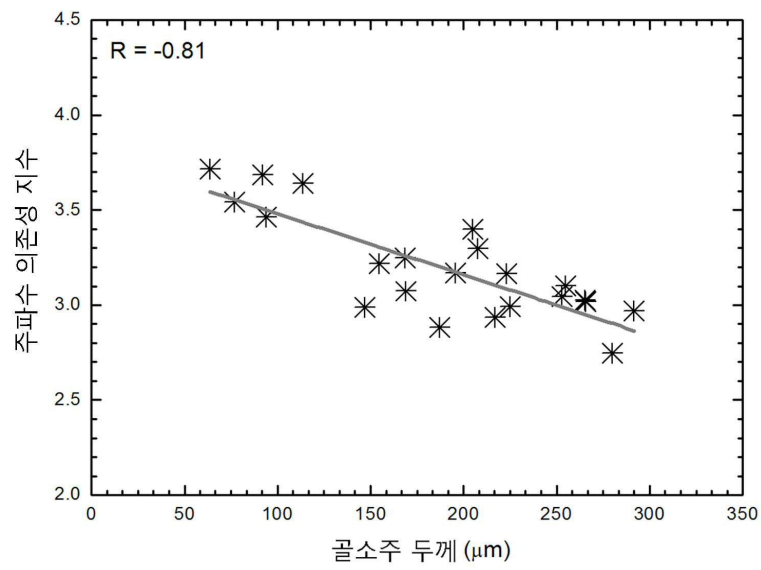
도면1



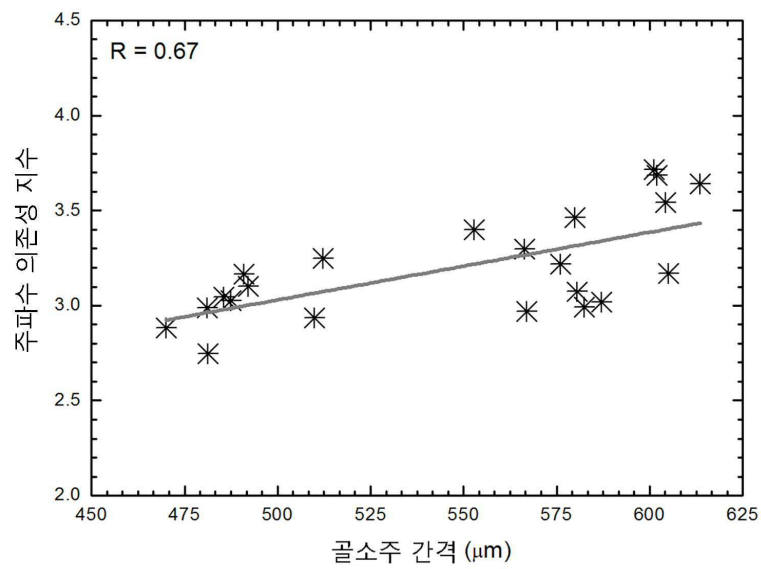
도면2



도면3



도면4



专利名称(译)	利用超声后向散射系数频率依赖性的骨密度和骨结构预测装置		
公开(公告)号	KR1020200076121A	公开(公告)日	2020-06-29
申请号	KR1020180164868	申请日	2018-12-19
申请(专利权)人(译)	江原道国家学术基金会		
[标]发明人	이강일		
发明人	이강일		
IPC分类号	A61B8/08 A61B5/00 A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/0875 A61B5/4509 A61B5/7275 A61B8/44 A61B8/54		

摘要(译)

公开了一种利用超声反向散射系数的频率依赖性来预测骨密度和骨结构的设备。一种利用超声反向散射系数的频率依赖性来预测骨密度和骨结构的设备,包括:超声收发器,其向要测量的骨骼照射超声波并接收从骨骼反射的超声波。一种超声波转换器,将电信号转换为超声波,并将其发送到超声波收发器单元,或者将超声波收发器接收的超声波转换为电信号;信号处理器,其检测由超声转换器转换的电信号;背散射系数推导单元,用于从由信号处理单元检测出的电信号中推导出超声波背散射系数。指标计算单元,通过分析从超声波收发器照射的超声波的频带与从后向散射系数推导单元导出的超声波后向散射系数之间的相关性,来计算超声波后向散射系数的频率依赖性指标。以及骨状态确定单元,其使用频率依赖性指数来预测骨的状态。

