Volumetric Bone Mineral Density Measurement: for Surgery Specific Bone Volumes

Yeon Soo Lee*

Department of Biomedical Engineering, Daegu Catholic University, Korea

Received: February 11, 2022. Revised: February 25, 2022. Accepted: February 28, 2022.

ABSTRACT

DEXA, as the standard areal bone mineral density (aBMD) measurement method, often shows an insuficient correlation between aBMDs of the measured bones and referring bones and is inaccurate due to the mass effect. In contrast, quantitative computer tomography (QCT), as a volumetric BMD (vBMD) measurement method, is being advanced so that it uses less radiation before, owing to improved CT device and computer imaging technology. Because dual-energy CTs can modulate the image signals showing tumor or specific chemicals as well as the ability to measure vBMD, they are expanding their application. For pre-checking vBMD of surgeon-specific bone volume at implantation candidate sites, a finite element creation-based local vBMD measurement technique was developed. The local vBMD measurement function for surgeon-specific shape volumes will be added to clinical imaging systems.

Keywords: Areal bone mineral density(aBMD), DEXA, Volumetric bone mineral density(vBMD), QCT, Local

I. INTRODUCTION

인간을 보행할 수 있게 하는 근골격계 구성요소 중에서 골격은 체형의 형태와 힘의 지지 및 전달하는 역할을 담당한다. 나이가 들어감에 따라 골밀도(BMD, Bone Mineral Density)가 낮아져서 골다공증이나 골 이상증을 앓게 된다면 골절에 의한 이동불가나 치아골 약화로 인한 음식 섭취 능력 저하를 경험하게 된다.

X-ray 영상기반 골밀도는 분석되는 영상에 따라 크게 두 가지로 분류된다. 분석대상이 2차원 영상 자체이면 면적골밀도(aBMD. Areal BMD), 그리고 컴퓨터영상처리에 의한 재구성된 3차원체적영상이면 체적골밀도(vBMD, volumetric BMD)로 분류할 수 있다. 골밀도는 중요한 건강지표로서 통상적인 건강검진 항목인데, 주로 이중에너지엑스레이흡수계수법(DEXA)에 의한 면적골밀도측정이 행해지고 있다[1]. 정량적컴퓨터단층촬영법(QCT, Quantitative Computed Tomography)은 대표적인 체적골밀도측정법으로 정확한 3차원적 형상 정보와 스캔방향에 영향을 덜 받는 체적골밀도를 측정할 수 있는 방법이다. QCT를 이용하면 다른 뼈와 중첩되지 않게 3차원적으로 뼈를 분리할 수 있어 한 개의 뼈의 전체 골밀도 측정으로 할 수가 있다.

최근에 뼈 전체가 아니라 외과적으로 뼈의 특정한 위치와 방향을 향하는 골형상에 대한 체적골밀도 분석이 요구되기도 한다. 외과적 수술을 하기에 앞서, 나사와 같은 임플란트를 삽입하고자 하는 특정한 뼈부위가 초기식립안정성을 확보할 수 있는 골밀도인지를 알면 수술의 시행여부 결정에 도움이 되고 수술성공확률을 높일 수 있다. 이런 특정부위의 수술적 예비검토를 위한 국부 체적골밀도의 측정이 가능하기 위해서는 기존 QCT 장비에 특정한 위치와 형상을 갖는 체적을 규정할 수 있는

* Corresponding Author: Yeon Soo Lee E-mail: yeonsoolee@cu.ac.kr Tel: +82-53-850-2514
Address: 13-13, Hayang-ro, Hayang-eup, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

기능이 추가되어야 한다. 이 기능이 아직은 임상현장의 CT장비에 도입되지 않은 상태이다. 현재까지는 특정부위의 체적골밀도를 측정은 연구개발 수준에서 이루어지고 있는데, 주로 유한요소해석 모델링기법이 활용되고 있다.

본 논문은 현재 사용되고 있는 의료영상 기반 골밀도 측정법의 기술적인 측면을 장단점, 한계 측면에서 최신의 기술동향을 분석하고자 한다. 특히, 최근 CT를 이용한 영상진단에서 예전보다 많은 조직의 상태를 가능하게 한 이중에너지 CT와 이를 이용한 체적골밀도 측정법의 용어를 체계적으로 정리하였다. 상용화되지 않은 기술이지만 임상적으로 중요한 위치에 특정한 체적형상에 대한 국부 체적골밀도를 측정하는 방법에 대해서는 본 저자의 연구를 통해 설명하고자 한다.

II. BONE MINERAL DENSITY MEASUREMENT METHODS

1. 면적골밀도 측정법

단일에너지엑스레이흡수계수법(SEXA or SXA, Single-Energy X-ray Apsorptiometry)은 투사 경로상의 연부조직의 영향을 보정하기 위해 물욕조에 피측정 부위를 담군 상태에서 X-ray 영상을 촬영하여 면적골밀도를 측정해야 하므로 주로 말단부의 측정에 한정되었다.

이중에너지엑스레이흡수계수법(DEXA or DXA, Dual-Energy X-ray Apsorptiopmetry)는 High energy 이외에도 Low energy X-ray beam으로 조사하여 연부조직의 영향을 골밀도 계산에서 보정해주게 되어 물욕조가 필요 없으므로 SEXA와 달리 말단부 이외의 몸통 내부의 골밀도도 평가할 수 있게 된다[2]. 그러나 DEXA를 사용하더라고 고관절이나 어깨와 같은 관절운동 부위의 DEXA영상에서는 관절을 이루는 두 뼈가 겹쳐 나타나는 영역이 있는 경우엔 DEXA방법으로 골밀도를 직접 측정하는 것은 유효하지 않다. WHO에서 지정한 DEXA에 의한 골다공증 판정기준으로 제정되었고 대퇴골이나 요추의 골밀도 통계데이터에 집중되어 있다. 반면, 그 이외의 뼈에 대해서는 DEXA골밀도 통계데이터가 부족하여, 대퇴골이나 요추의 DEXA에 의한 aBMD를 측정하고 이를 어깨나 고관절뼈의 수술할 곳의 고정나사부분의 골밀도로 추정하는 간접방법이 시행돼 왔다. 하지만, 요추부의 해면골 aBMD 측정값은 실제 상완골의 골밀도를 반영하지 못한다는 결과가 최근 보고되었다[3]. 특히나 요추부의 강직성척추염이 있거나 고관절부에 무혈성괴사증이 있는 경우는 간접측정법은 정확도와 적용 부위에 있어 한계가 많다. 공간학적으로는 X-ray는 방사상으로 퍼져나가서 피사체를 통과해 검출판에 상이 맺히기 때문에, X-ray 광원에서 멀어질수록 상대적으로 치수가 작게 나타나게 된다. 이 투사거리상의 위치에 따른 치수의 왜곡은 피사체가 두꺼울수록 더 크게 나타나게 될 수밖에 없다.

개별CT단층면측정법은 DEXA와는 다른 면적골밀도를 측정하는 간단한 방법으로서, 개별CT단층영상면 자체에서 면적골밀도를 측정하는 것으로 PACS 단말기에서 신속하게 측정할 수 있어서 임상현장에서 빈번히 활용되고 있다. CT스캔으로 얻어진 일정두께의 스캔체적을 컴퓨터가 모아서 스캔된 대상전체의 3차원인 스캔체적을 만들게 되고, 이를 통상 스캔방향을 따라 지정된 간격에서 스캔방향에 수직인 2차원 단층영상을 만들어 PACS로 볼수 있게 보관하게 된다. 일반 임상의는 PACS단말기에서 특정한 단층영상면에서의 자기가 원하는 위치의 2차원형상의 국부 면적골밀도 분석할 수도 있다. 하지만, 이 방법은 CT스캔방향에 대한 특정한 수직단면에서만 측정할 수 있으며, 뼈의 전두께에 해당하는 골밀도를 측정이 어렵다는 한계가 있다.

X-ray 영상기반 면적골밀도측정법이라도 측정방법에 따라 사용되는 2차원영상의 나타나는 대상은 공간특성이 다르다. 즉, DEXA는 3차원적인 X-ray가 통과한 경로상에 있는 3차원 체적질량 전체의 방사선흡수가 검출면에 축적되어진 결과로 만들어진 2차원 X-ray영상을 분석 한다. 반면, 개별CT단층면측정법은 체적질량이 아닌 특정절단면 그 자체만의 2차원 X-ray 영상을 분석하는 것이다. 이 두가지 면적골밀도 측정법은 X-ray 투과방향이나 CT스캔방향을 해부학적으로 재현하기 어렵고 같은 골밀도의 뼈도 두께에 따라 다른 값을 보일 수 있

기 때문에 시간적 추이검사(longitudinal study)에 활용할 경우 재현성 확보가 어렵다.

2. 체적골밀도분석법

X-ray 영상기반 체적골밀도측정법은 몇 가지가 있지만, 모두 컴퓨터단층촬영(CT) 영상을 기반으로 하고 있다.

대표적인 체적골밀도측정법은 3차원적으로 재구성된 CT스캔영상을 이용하는 것으로 정량적전산화단층촬영법 (QCT, Quantitative Computed Tomography)이고, 이는 DEXA로 대표되는 aBMD측정법의 부정확성을 개선할 수 있는 가장 일반적인 대체 방법으로 사용되고 있다. QCT측정법은 스캔된 다중 X-ray영상을 컴퓨터영상처리기술로 3차원적으로 구성하여 3차원 화소 각각에 X-ray흡수율을 HU(Hounsefield Unit)로 환산해 음영값의 차이로 시각화된 HU구름(HU cloud)을 얻게 된다. 이 HU구름에서 특정한 뼈 전체에 대한 HU구름분포의 통계적 분석을 할 수 있다. 팔이나 다리와 같은 주변말단부(Peripherals)의 뼈를 보다 고해상도로 스캔하도록 만든 소형 말단용 CT스캐너를 이용해 체적골밀도를 측정하는 QCT를 pQCT라고 특정해 부르기도 한다.

QCT골밀도측정법은 위해서 1가지 에너지의 광원과 1개의 검출기로 된 단일에너지CT (SECT, Single-energy CT)를 사용해 왔다. 이런 전통적인 단일에너지CT영상은 뼈 이외에 종양이나 골수, 뇌나 장기를 같이 보고자 할 경우 SECT는 어려움이 있다.

면적골밀도 측정법이 SEXA에서 DEXA로 바뀌어 보다 높은 정확도를 달성하였듯이, 체적골밀도 측정법인 QCT에서도 한개의 에너지로 스캔하는 것보다 두가지 에너지로 스캔하면 신호대잡음비(CNR, contrast-to-noise ratio)를 높일 수 있어 연부조직과 경부조직을 동시에 더 잘 구별할 수 있게 된다[4]. 두가지 에너지는 각각 80-100 kVp 와 140-150 kVp로 사용된다. 이런 저에너지대와 고에너지대로 나누어 스캔하는 CT를 이중에너지단층촬영기(DECT, Dual-energy CT)라 하며, 이 DECT를 이용한 스캔을 Dual scanning (DS) 혹은 Dual energy scanning 이라 칭한다[5]. 이 DECT도 CT광원의 갯수와 조사방식, 검출기의 배열에 따라 다양한 방식이 존재한다. Fig. 1은 현재까지 상용화 된 세 가지 방식의 DECT를 도시하고 있다[6].

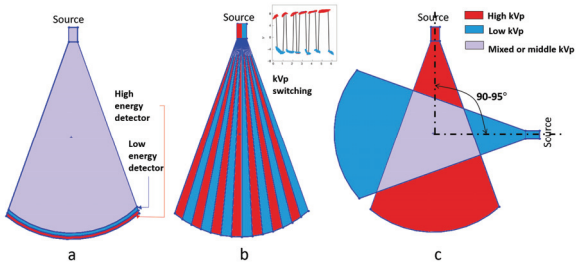

Fig. 1. Dual-energy CTs. (a) ssDLDECT (the single source dual-layer detector dual-energy CT is manufactured by Siemens Co. (b) ssVSDECT (the single source Fast kVp-switching dual-energy CT) is manufactured by GE or Canon, (c) dsDECT (the Dual source dual-energy CT) is manufactured by Philips.

첫째 방식은 한개의 CT광원과 그 반대편에 저에너지검출판과 고에너지검출판 두개를 반경방향에 순차적으로 배치한 것으로 단일광원2중스캔이중에너지CT (ssDLDECT, single source Dual-layer Detector Dual-Energy CT)로 샌드위치검출기방식CT 혹은 다중검출기CT(ssMDDECT, Multi detector row dual energy CT)라고도 불린다. ssDLDECT는 하나의 120 kVp정도의 전압의 빛을 발사하여 반대편 2개의 검출기는 각각 저에너지와 고에너지대의 영상신호를 동시에 검출한다[4,7].

두 번째 방식은 1개의 광원과 1개의 검출기를 사용하지만 1개의 광원에서 고에너지와 저에너지를 매우 빠른 속도로 교대로 발사되는 단일광원신속관전압변환이중에너지CT (ssVSDECT, single source Fast kVp-Switching Dual-Energy CT)이다. 이 ssVSDECT방식에서 switching이라는 용어는 CT장치가 회전하는 동안 계속 0.5 ms 정도의 주기로 고에너지와 저에너지 빛이 바뀌어 조사된다는 것을 의미한다.

셋째 방식은 2006년에 나온 조직들의 분별력이 향상된 DECT로서, 90도 혹은 95도의 각도로 배치된 발사전압이 다른 2개의 광원과 그에 대응하는 에너지 영상신호를 받는 2가지의 검출판을 사용하는 이중광원이중에너지CT (dsDECT, Dual Source Dual-Energy CT)가 있다[8]. 이중광원 DECT는 단일

광원 DECT에 비해 mA조정하여 검출하고자 하는 조직이 잘 보이도록 할 수 있다. 하지만, dsDECT는 두 개의 X-ray 빛이 겹치는 공간만 스캔되므로 단일광원 DECT보다 스캔공간(SFoV, scan field of View)이 50% 내외로 좁고, 환자의 위치를 두 가지의 빛이 겹치는 공간 안으로 위치하기 어려운 단점이 있다.

QCT를 위해 DECT를 사용하면 전통적인 CT에 비해 같거나 낮은 수준의 방사선량만 사용해도 되고, 골수나 종양도 동시에 검사할 수 있는 장점이 있다. mA를 낮추면서도 신호대잡음비를 높이는 최신 기술인 적응식통계적반복구성법 (ASiR, Adaptive statistical iterative reconstruction)을 DECT에 적용하면 골수나 종양과 함께 골밀도도 동시에 정확하게 분별할 수 있는 컴퓨터단층촬영이 가능할 것으로 예상된다[4]. Philips 사의 ssDLDECT를 사용한 사체 척추뼈의 골밀도측정이 높은 정확도를 보였고[9], 광평행유도기(Collimator)와 ASiR 기술을 접목한 GE사의 ssFSDECT 를 이용한 환자의 골밀도 측정 또한 높은 정확도를 보였다. DECT는 또한, CT조영제의 발현을 강화시킬 수 있을 뿐 아니라 약화시킬 수도 있어서 조영제를 주사한 환자로 부터 조영제가 있는 CT영상과 없는 CT영상을 한번의 처방으로 얻을 수 있다. DECT는 특정한 화학물질의 발현을 증강할 수 있기 때문에 신장결석진단에 유리하고, 몸속에 삽입된 임플란트와 같은 금속에 의한 인체조직의 영상왜곡을 줄일 수 있는 장점이 있다.

3. 특정형상 국부체적골밀도분석법

골밀도의 증감은 노화나 운동 정도에 따라 몸전체 뼈에 공통으로 양상이 나올 수도 있지만, 국부적인 손상, 질환에 의해 몸전체와 다르게 특정 부분의 골밀도가 급격히 낮아진 경우가 있다. 이런 국부적인 골밀도 현상은 골종양이나 무혈성괴사증, 인대나 힘줄의 손상, 그리고 임플란트 삽입에 의한 주변 뼈에 하중이 전달되지 않는 경우에 볼 수가 있다. 한데, 이처럼 국부골밀도 감소가 있는 부분에 골절 고정나사나 힘줄 고정 앵커를 삽입해야 할 경우, 그 나사나 앵커가 빠지지 않을 것이란 예측이 된다면 수술의 결정을 보다 확신을 두고 할 수 있고, 수술의 성공 가능성도 커질 것이다.

이처럼 국부 체적골밀도의 측정이 필요한 예를 들어 보겠다. 먼저, 치과 임플란트의 식립될 곳의 치조골은 방향에 따라 골밀도가 달라서, 나사가 들어갈 치조골 공간의 크기와 방향에 맞도록 원통체적을 설정하고 그곳의 국부체적골밀도를 수술 전에 점검해야 할 필요가 있다[10]. 그리고, 정형외과적으로 보더라도 척추간고정을 위해 나사가 삽입되는 척추의 골밀도는 그 위치와 삽입방향에 뼈의 골밀도에 영향을 받게 된다[11,12].

실제 사용자가 알고자 하는 뼈의 일부분을 특정형상으로 지정하여 국부체적골밀도를 측정한 방법은 본 저자 연구에서 볼 수 있다[13,14]. 회전근계 중 극상근이나 극하근과 상완골을 잇는 힘줄이 끝어진 경우, 이 힘줄의 상완골두로의 고정은 앵커를 사용하게 된다. 이 앵커가 수술 후 안정된 고정안정성을 결정할 중요한 예측인자가 앵커가 삽입될 위치의 국부골밀도이다. Fig. 2는 상완골두에서 극상근과 극하근이 붙는 상완골두의 표면과 그 아래를 사각기둥으로 잘라 만들어진 형상의 국부체적골밀도를 시각화한것이다. 회전근의 힘줄이 끊어진 지 1년 정도된 오른쪽 상완골두에 비해 경우 정상인 왼쪽은 최대골밀도 및 평균골밀도가 낮게 측정되었다. 이는 극상근과 극하근으로 부터 하중이 상완골두로의 전달이 줄어들게 되니 필요한 영양분의 공급를 할 필요가 없고 오래된 뼈를 싱싱한 뼈로 교체할 필요성이 줄어들어, 결과적으로 골밀도가 감소하는 현상을 확인할 수 있다.

국부 체적골밀도의 측정법은 유한요소생성법을 이용하여 이루어져 왔다[11,12]. 유한요소법은 무한한 점들의 연결로 이루어진 개체를 매우 많은 유한한 숫자의 요소로 나누어 효율적으로 역학시뮬레이션하는 방법이다. CT영상을 기반으로 3차원 뼈모델을 만들고, 이를 수 많은 삼각형으로 이어진 다각형 메쉬모델을 만들게 된다. 이 삼각형 메쉬모델의 절점을 이어서 3차원의 매우 많은 수의 사면체(Tetrahedron)요소를 만들게 된다.

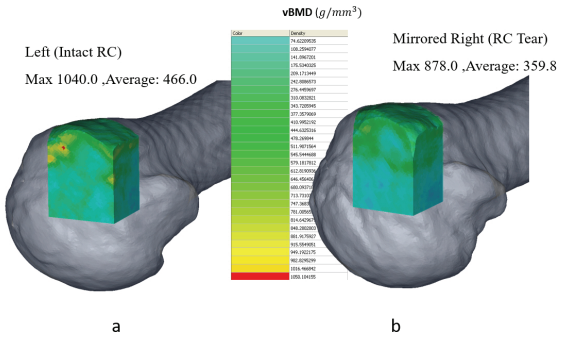

Fig. 2. Anatomically reproducible local vBMD measurement of the humeral head at an anchoring site for the rotator cuff tendon fixation. (a) an intact humeral head on that rotator cuff tendons have kept strong attachment, (b) a humeral head on that rotator cuff tendons have been torn 1 year ago. Because the right humerus model could be transformed into a left humerus by using the mirroring function, an anatomiccaly identical comparison of bilateral humeral head models was possible.

각각의 요소마다 그 위치에 따라 독립적인 골밀도값을 지정하게 되고, 이러한 많은 수의 유한요소로 이루어진 개체는 구조측면에서 물성의 방향성과 위치에 따른 비등방성을 반영할 수 있게 된다. Fig. 3은 실제 사체뼈의 체적골밀도, CT영상의 HU, 그리고 실험으로 측정한 수직탄성계수(Young's moduls)간의 관계를 회귀분석해 방정식을 얻고, 이 방정식에 의해 유한요소 각각에 골밀도와 물성치를 입력하게 되는 과정을 도식화 하고 있다.

인체의 특정한 부위의 국부 뼈의 체적골밀도를 기간을 두고 추적관찰하기 위해서는 해부학적으로 그 같은 위치에 형상이 재현성 있게 지정되어야 한다. 뼈에 좌표계를 설정하거나 관찰하고자 하는 특정한 형상의 체적을 해부학적은 측면에서 재현성 있게 지정하는데 가장 어려운 부분 중의 하나는 표지점을 재현성 있게 잡는 것이다. 인체뼈는 특정한 점을 직접적으로 재현성 있게 지정할 수 없고 특히나 컴퓨터상에 모델은 만져서 접촉하는 인간의 감각반응을 이용할 수 없어 직접적이고 직관적으로 재현성 있는 지정이 어렵다. 특정한 위치에 임상적으로 보고자 하는 특정한 형상의 국부체적을 지정d은, 대상으로 하는 뼈에 국부좌표계를 설정하고 CAD (computer aided design)의 도형생성 기능을 통해 이루어진다. 뼈에 종속된 하나의 좌표계는 하나의 원점과 그 원점을 지나는 2개의 직선을 정의하게 되면 하나의 직교좌표계를 수학적으로 자동생성하게 할 수 있다. 이에 대한 자세한 방법은 본 저자의 논문에 제시되어 있다[13,14].

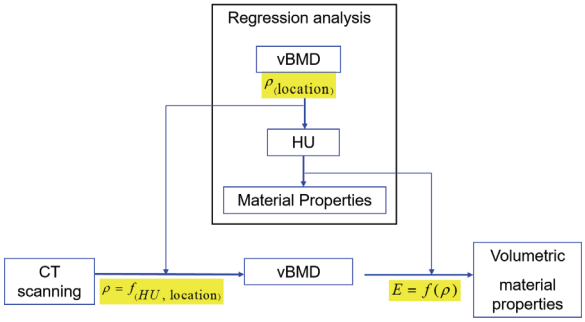

Fig. 3. The process scheme for vBMD and Young's modulus calculation. The empirical regression equations, i.e. vBMD-HU and HU-Material Properties, are obtained through experimental measurements. The empirical equations are utilized in assigning a point-wise vBMD or material properties to each finite element.

III. CONCLUSION

방사선 의료영상을 이용한 골밀도 측정법은 이중에너지의 방사선을 이용한 이중방사선흡수계수법(DEXA)가 WHO가 표준임상진단법으로 제시되어 사용되고 있다. 하지만, DEXA는 면적골밀도측정법으로 척추나 근위대퇴골 이외의 뼈와의 상관성이 떨어지는 경우가 많고 체적의 크기가 다르면 방사선이 지나가는 질량이 달라져 골밀도가 다르게 나오는 질량효과에 의한 부정확성의 근본 원인을 가지고 있다.

CT영상을 기반으로 한 QCT는 CT장비와 컴퓨터 영상처리기술의 발전과 함께 적은 방사선 투과량으로도 체적골밀도를 측정할 수 있는 방향으로 크게 발전하고 있다. 특히 이중에너지CT의 사용은 단단한 뼈와 동시에 종양이나 연부조직의 이상을 같이 볼 수 있는 영상을 얻을 수 있게 되어 QCT 골밀도와 함께 특정 연부조직이나 장기를 검사할 수 있으므로 이중에너지CT는 그 사용이 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 치과나 정형외과적 임플란트 수

술과 그 추적검사를 위해, 지정한 위치에 해부학적으로 특정한 형상체적에 대한 국부골밀도측정 방법은 머지않아 방사선 촬영실의 CT장비 혹은 영상분석실의 컴퓨터, PACS 네트워크에 기능으로 추가되어 임상적으로 다양하게 활용될 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 대구가톨릭대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음(2019).

Reference

[1] J. S. Kim, "Cross Calibration of Dual Energy X-ray Absorptiometry Equipment for Diagnosis of Osteoporosis: between Domestic Manufacturers and Global Manufacturers", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 12, No. 7, pp. 833-844, 2018. http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2018.12.7.833

[2] J. E. Adams, "Single and dual energy X-ray absorptiometry", European Radiology, Vol. 7, pp. S20-S31, 1997. http://dx.doi.org/10.1007/PL00006861

[3] H. J. Jeong, J. M. Ahn, J. H. Oh, "Trabecular Bone Score Could Not Predict the Bone Mineral Density of Proximal Humerus", Journal of bone metabolism, Vol. 28, No. 3, pp. 239-247, 2021.

[4] M. Tsurusaki, K. Sofue, M. Hori, K. Sasaki, K. Ishii, T. Murakami, M. Kudo, "Dual-Energy Computed Tomography of the Liver: Uses in Clinical Practices and Applications", Diagnostics, Vol. 11, No. 2, pp. 161, 2021. http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics11020161

[5] C. C. T. Hsu, G. N. C. Kwan, D. Singh, J. Pratap, T. W. Watkins, "Principles and Clinical Application of Dual-energy Computed Tomography in the Evaluation of Cerebrovascular Disease", Journal of clinical imaging science, Vol. 6, No. 1, pp. 27, 2016. http://dx.doi.org/10.4103/2156-7514.185003

[6] H. W. Goo, J. M. Goo, "Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging", Korean Journal of radiology, Vol. 18, No. 4, pp. 555-569, 2017. http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.555

[7] R. A. Robb, E. L. Ritman, "High Speed Synchronous Volume Computed Tomography of the Heart", Radiology, Vol. 133, No. 3, pp. 655-661, 1979. http://dx.doi.org/10.1148/133.3.655

[8] B. Schmidt, T. Flohr, "Principles and applications of dual source CT", Physica Medica, Vol. 79, pp. 36-46, 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.10.014

[9] K. Mei, et al., "Bone mineral density measurements in vertebral specimens and phantoms using dual-layer spectral computed tomography", Scientific Reports, Vol. 7, No. 1, pp. 17519, 2017. http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-17855-4

[10] S. H. Wang, Y. W. Shen, L. J. Fuh, S. L. Peng, M. T. Tsai, H. L. Huang, J. T. Hsu, "Relationship between Cortical Bone Thickness and Cancellous Bone Density at Dental Implant Sites in the Jawbone", Diagnostics, Vol. 10, No. 9, pp. 710, 2020. http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics10090710

[11] K. Ishikawa, et al., "A Novel Method for the Prediction of the Pedicle Screw Stability: Regional Bone Mineral Density Around the Screw", Clinical Spine Surgery, Vol. 31, No. 9, pp. E473-E480, 2018. http://dx.doi.org/10.1097/BSD.0000000000000703

[12] L. Weiser, G. Huber, K. Sellenschloh, L. Viezens, K. Püschel, M. M. Morlock, W. Lehmann, "Time to augment?! Impact of cement augmentation on pedicle screw fixation strength depending on bone mineral density", European Spine Journal, Vol. 27, No. 8, pp. 1964-1971, 2018. http://dx.doi.org/10.1007/s00586-018-5660-7

[13] Y. S, Lee, T. Mihata, J. H. Oh, "Anatomically reproducible assessment of volumetric bone mineral density—based on clinical computed tomography", Journal of biomechanics, Vol. 46, No. 4, pp. 767-772, 2013. http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.11.015

[14] J. H. Oh, B. W. Song, Y. S. Lee, "Measurement of volumetric bone mineral density in proximal humerus using quantitative computed tomography in patients with unilateral rotator cuff tear", Journal of Shoulder and Elbow Surgery, Vol. 23, No. 7, pp. 993-1002, 2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.jse.2013.09.024

체적골밀도 측정법 동향: 수술부위 골밀도 분석

이연수

대구가톨릭대학교 의공학과

요 약

CT영상을 기반으로 한 QCT는 CT장비와 컴퓨터영상처리기술의 발전과 함께 적은 방사선 투과양으로도 체적골밀도를 측정할 수 있는 방향으로 크게 발전하고 있다. 방사선 의료영상을 대표적인 골밀도 측정법인 이중방사선흡수계수법(DXA)은 척추나 근위대퇴골과 다른 뼈와의 상관성이 떨어지는 경우가 많고질량효과에 의한 부정확성의 근본 원인을 가지고 있기 때문에 체적골밀도측정법인 단일에너지CT영상을 이용한 QCT법이 가장 보편적인 정확한 골밀도 측정법이다. 이중에너지CT의 사용은 단단한 뼈와 동시에 종양이나 연부조직의 이상을 같이 볼 수 있는 영상을 얻을 수 있게 되어 QCT 골밀도와 함께 특정연부조직이나 장기를 검사할 수 있어 그 사용이 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 임상수술이나 추적검사가 필요한 위치에 사용자가 해부학적으로 특정한 형상체적에 대한 국부골밀도측정 방법도 병원의 임상현장에서 활용할 기술로 대두되고 있다.

중심단어: 면적골밀도(aBMD), DXA, 체적골밀도(vBMD), QCT, 국부

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(단독저자)	이연수	대구가톨릭대학교 의공학과	교수