

부산대학교 병원 핵의학과 미팅(2018.07.28)

개관

- Trabecular Bone Score(TBS) 정의, 이해
- 상관관계 분석방법
- TBS 외의 Image Segmentation 기법을 이용한 지표소개
- 방향성을 고려한 새로운 지표 개발 아이디어
- 참고논문

Trabecular Bone Score(TBS) 정의, 이해

TBS는 2008년 Correlations between grey-level variations in 2D projection images (TBS) and 3D microarchitecture: Applications in the study of human trabecular bone microarchitecture 에서 처음 소개된것으로 보이며, 그 정의는 아래와 같습니다. Notation을 먼저 보겠습니다.

Notation

기호	정의
(x,y,z)	coordinates in the X,Y, and Z axes, respectively
P	the 2D projection image
$P(x,y)$	the grey-level value corresponding to the pixel of coordinates (x,y) in the 2D projectino image
Ω	the 3D binary image
$\Omega(x, y, z)$	the binary value (porous=0, solid=1) corresponding to the voxel of coordinates (x,y,z) in Ω
N_Z	the projection thickness (size of Ω following the Z axis)
k	the unit distance (varying from 0 to 10, in steps of 1 pixel)
$V(k)$	the experimental variogram function, representing the grey level variations in function of the distance k ;

기호	정의
$\overrightarrow{M_0}$	the initial point in the 2D projection image P
θ	the angle defining a direction from the horizontal line passing through $\overrightarrow{M_0}$
$\overrightarrow{u_\theta}$	the unit vector in the θ direction

$$P(x,y) = \sum_{z=1}^{N_z} \Omega(x,y,z)$$

$$V(k) = \langle [P(\overrightarrow{M_0} + k * \overrightarrow{u_\theta}) - P(\overrightarrow{M_0})]^2 \rangle$$

Definition

TBS is defined as the slope at the origin of the log-log representation of V(k), evaluated from least square regression line calculation.

Note

Averaging was performed across a large number of calculations (n= 5.106) with different $(\overrightarrow{M_0}, \theta)$ initialization points. In order to perform mean evaluations of grey-level differences between two points in the 2D projection image, independent of the orientation of this pair of points, each initialization $(\overrightarrow{M_0}, \theta)$ was determined randomly with iso-probability for each angle over the 2π rotation.

사진 하나에 대응하는 TBS값을 계산하기 위하여,
k값을 0~10까지 변화시키면서 총 10개의 점을 생성하게 된다.

10개의 점은 이렇게 생성한다.

각 점은 $V(k)$ 값에 의존하고, $V(k)$ 값은 $\overrightarrow{M_0}$ 와 θ 에 의존하기 때문에 $(\overrightarrow{M_0}, \theta)$ 쌍을 (5.10^6) 번 정도 뽑아서 $V(k)$ 값을 구하고 이에대한 평균을 계산하여 점을 만든다.

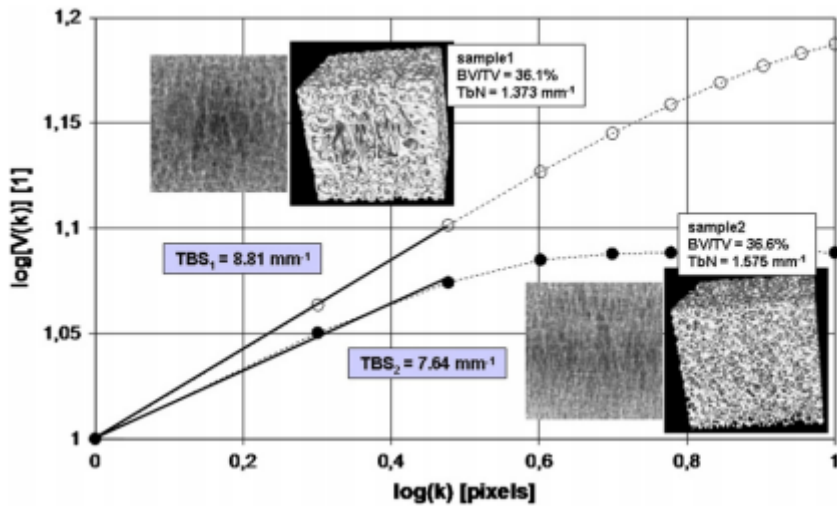


그림 : Illustrating calculation of TBS as the slope at the origin of the experimental variogram, in the case of two samples with similar values of BV/TV: sample1 with BV/TV= 36.1% and sample2 with BV/TV = 36.6%. The sample with the lower trabecular number (TbN1= 1.373 mm⁻¹ vs. TbN2= 1.575 mm⁻¹), which also means more widely-spaced trabeculae, was characterized in the 2D projection image as having a higher TBS value (TBS1>TBS2). In other words, the more widely-spaced the trabeculae were in the 3D volume, the greater the degree of grey-level variation in the 2D projection image.

상관관계 분석방법

TBS와 관련하여 상관관계를 분석한 사전연구를 찾아보았습니다.

(2011) Trabecular Bone Score (TBS) the new parameter of 2D texture analysis for the evaluation of 3D bone microarchitecture status.

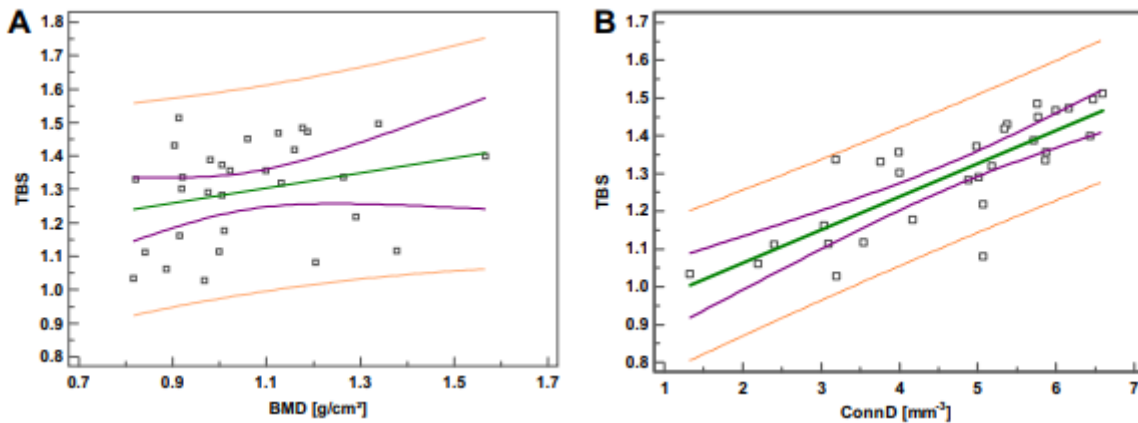
(2013) Three-Dimensional (3D) Microarchitecture Correlations with 2D Projection Image Gray-Level Variations Assessed by Trabecular Bone Score Using High-Resolution Computed Tomographic Acquisition: Effects of Resolution and Noise

(2011) Correlations Between Trabecular Bone Score, Measured Using Anteroposterior Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Acquisition, and 3-Dimensional Parameters of Bone Microarchitecture: An Experimental Study on Human Cadaver Vertebrae

위 두개의 논문은 CT image를 2D로 Projection 시킨 후 TBS를 구하고, 3D parameter와 TBS의 상관관계를 분석하였습니다. 이중에 13년도에 나온 논문은 resolution과 noise를 고려하였다는 점에서 그 의미가 있습니다.

마지막 논문은 DXA image에서 TBS를 계산하고 CT image에서 3D parameter를 구하여 이 지표들간의 상관관계를 분석하였습니다. 상관관계를 분석하기위하여 쓴 도구는 'multivariate linear model' 그리고 'pearson correlation' 이었습니다.

새로운 지표를 만든다면 위 세개의 논문중 가장 아래에 있는 논문을 본보기로 삼아서 3D parameter와 상관관계를 분석하면 좋을것입니다.



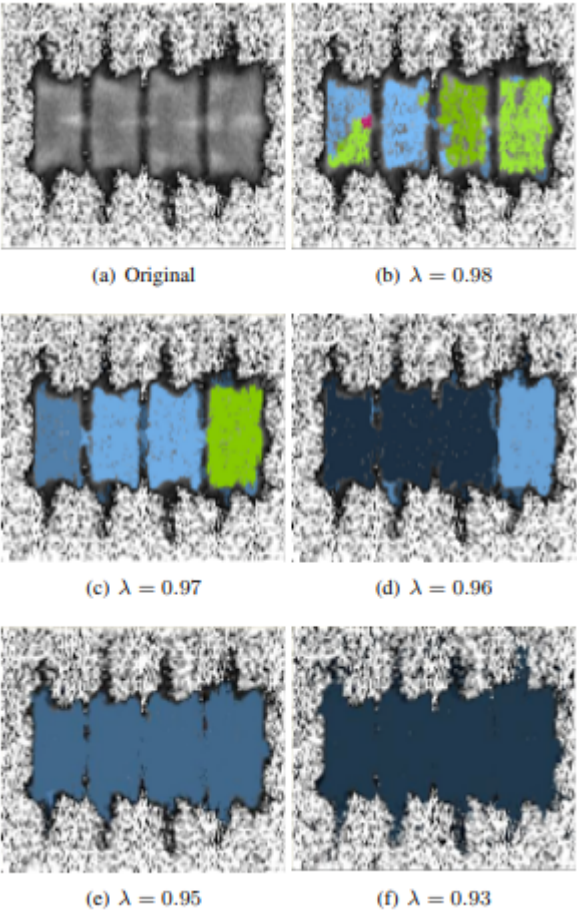
새로운 지표의 타당성을 평가할때 상관관계 분석외에 실제로 골다공증 판단에 의미있는 변수로 쓰였는지 테스트 해야겠습니다. 이는 아래 논문을 참고할 수 있겠습니다.

(2012) Trabecular bone score improves fracture risk prediction in non-osteoporotic women: the OFELY study

TBS 외의 Image Segmentation 기법을 이용한 지표소개

2017년에 나온 Measuring Bone Density Connectivity Using Dual Energy X-Ray Absorptiometry Images 논문을 보면, DXA image에서 BMD TBS 외에 사용할 수 있는 지표를 하나 제안합니다.

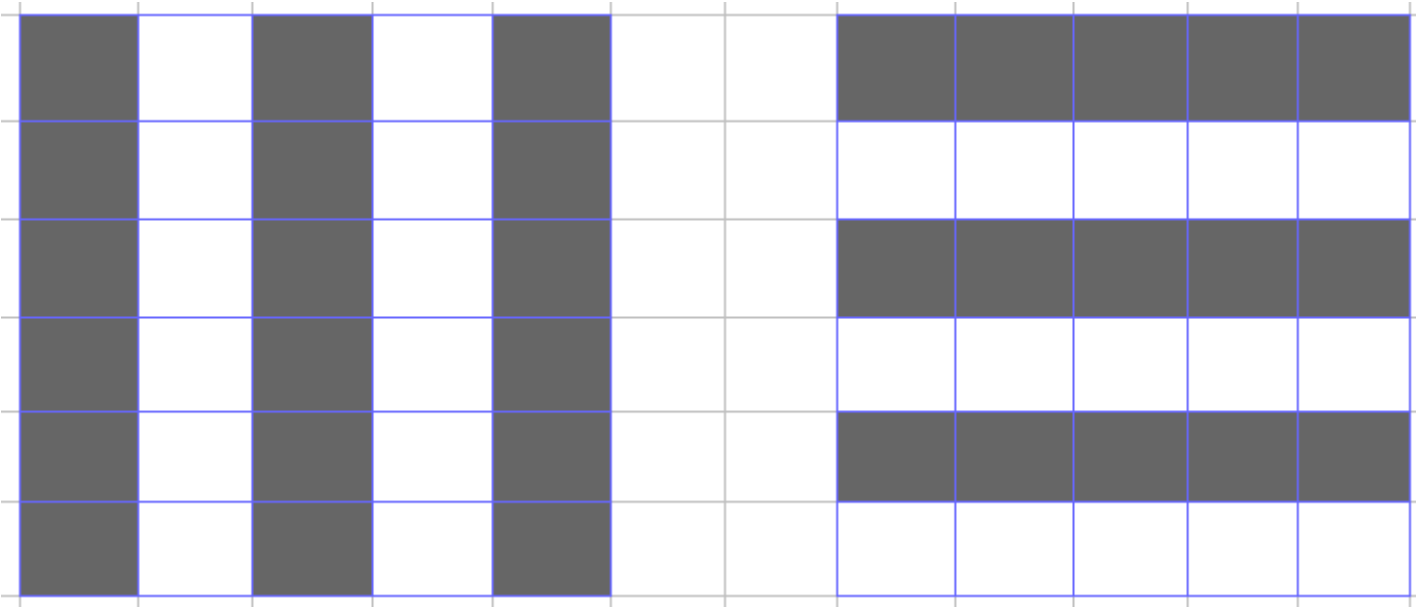
2D image의 pixel값을 바탕으로 값의 차이가 급격히 변하지 않는 선에서 하나의 segment로 구분하는 방식으로, 값의 차이가 얼마나 났을때 다른그룹으로 볼까를 결정해 줘야하는 모형입니다. 여기서 이 기준값이 특정한 범위안의 값일때 segment가 뼈 // 그외의 것으로 분명히 나누어 지게되는데, 이 값을 활용하여 새로운 지표를 제안합니다.



다만 이 지표에대한 어떤 상관관계 분석이나 유효성 분석은 되어있지 않았습니.

방향성을 고려한 새로운 지표 개발 아이디어

아래 그림은 저희가 이해한대로 BMD와 TBS값이 똑같은 뼈모양의 예입니다.
이를 위에서 압박할시에 더 취약한 뼈는 왼쪽의 뼈로, 이를 구분할 수 있게하는 지표가 필요합니다.



이에대한 답으로 Constrained Trabecular Bone Score를 제안합니다.

CTBS는 TBS를 계산하는 과정에서 약간의 제약을 주는 방식으로 계산합니다.

사진 하나에 대응하는 TBS값을 계산하기 위하여,

(\vec{M}_0, θ) 쌍을 (5.10^6) 번 정도 뽑아서 $V(k)$ 값을 구하고 이에대한 평균을 계산하여 점을 만드는 과정이 있었습니다.

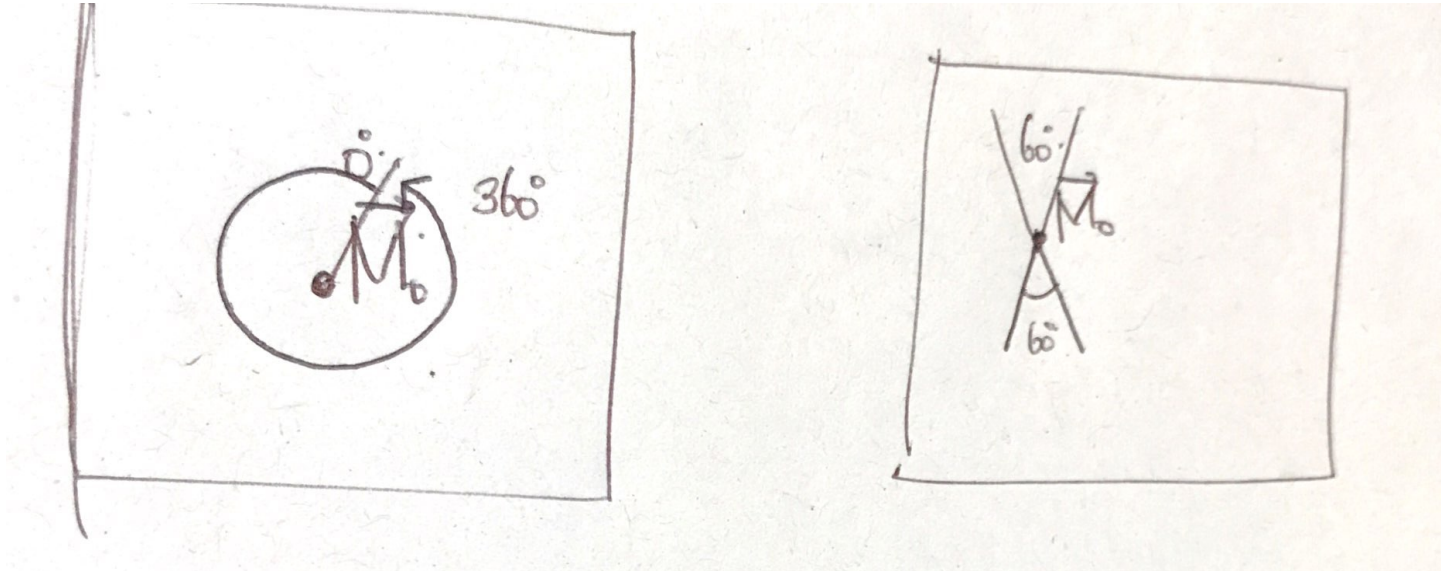
이때에 뽑는 θ 를 임의로 뽑지 않고 0도 ~ 60도 정도로 제약을 주자는 것입니다.

왼쪽 그림은 기존의 TBS를 나타내는 그림입니다.

대략 50만개의 임의의 점에대해서 임의의 방향에 대해 $V(k)$ 값의 변화율을 계산합니다.

오른쪽 그림은 제안하는 CTBS를 나타내는 그림입니다.

임의의 점에대해서 '제한된' 방향에 대해 $V(k)$ 값의 변화율을 계산합니다.



참고논문

(2008) Correlations between grey-level variations in 2D projection images (TBS) and 3D microarchitecture: Applications in the study of human trabecular bone microarchitecture

(2017) Measuring Bone Density Connectivity Using Dual Energy X-Ray Absorptiometry Images

(2014) Trabecular Bone Score: A Noninvasive Analytical Method Based Upon the DXA Image

(2012) Trabecular bone score improves fracture risk prediction in non-osteoporotic women: the OFELY study

(2011) Trabecular Bone Score (TBS) the new parameter of 2D texture analysis for the evaluation of 3D bone microarchitecture status.

(2013) Three-Dimensional (3D) Microarchitecture Correlations with 2D Projection Image Gray-Level Variations Assessed by Trabecular Bone Score Using High-Resolution Computed Tomographic Acquisition: Effects of Resolution and Noise

(2011) Correlations Between Trabecular Bone Score, Measured Using Anteroposterior Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Acquisition, and 3-Dimensional Parameters of Bone Microarchitecture: An Experimental Study on Human Cadaver Vertebrae