

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 7 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560082

研究課題名（和文）MRI を用いたヒト海綿骨の 3 次元構造および力学的性質の
評価に関する研究研究課題名（英文）Study on Three-dimensional Structure and Mechanical Property of
Human Trabecular Bone Using MRI

研究代表者

坂本 信（SAKAMOTO MAKOTO）

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号：80215657

研究成果の概要（和文）：本研究では、非侵襲かつ放射線被曝がない MRI（核磁気共鳴画像）を用いて、海綿骨の 3 次元構造や海綿骨を構成する骨梁の力学的性質を評価する新たな骨臨床診断方法を開発し、海綿骨の生体適合性を明らかにした。特に、ヒト大腿骨のデータを基に、ヒト距骨および踵骨等を対象とした生体内での 3 次元骨梁構造の定量的評価を行い、身長および体重等が骨梁構造に及ぼす影響について示した。

研究成果の概要（英文）：Recent developments in high-resolution magnetic resonance (MR) imaging techniques have opened up new perspectives for structural characterization of trabecular bone by non-invasive methods. The purpose of this study was to use in vivo high-resolution MR imaging combined with image analysis to investigate the three-dimensional trabecular structure and anisotropy of femoral, talar and calcaneal bone.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：機械材料・材料力学，生体力学，海綿骨，MRI，三次元骨構造解析

1. 研究開始当初の背景

骨粗鬆症患者は、日本国内では女性 800 万人、男性 100 万人程度であり、寝たきりの原因として脳卒中に次いで第 2 番目の疾病である。こらからの高度高齢化社会や食生活の欧米化等により、骨粗鬆症患者は益々増加すると考えられ、大きな社会問題となると思われる。

現在、骨診断法として用いられている DXA（Dual energy X-ray Absorptiometry；2 重エネルギー X 線吸収）法や定量的 qCT（quantitated

Computed Tomography；定量的 X 線断層）法は、骨粗鬆症で問題となる部位である脊椎等における海綿骨の骨量（カルシウム量）を大まかに測定しているに過ぎず、海綿骨の剛性や強度に深く影響がある骨梁の 3 次元構造や骨梁内部の骨密度および力学的性質は全く評価されていない。これらのことより確かな骨折予知は未だに不可能であるのが現状である。

一方、骨の基礎研究においても海綿骨を構成する骨梁の強度等については不明な点が

多い。したがって、新たな骨の臨床診断法を開発するためには、診断装置の応用技術研究と骨に関する生体力学的基礎研究が不可欠である。また、DXA法では2重のエネルギーX線を骨に照射し、その吸収量から2次元的な骨量を測定しているために、放射線被曝の問題から若年者の骨診断においては、人体に及ぼす放射線の影響が危惧される。以上が研究開始当初の当該研究分野および臨床での状況であった。

2. 研究の目的

上記のような背景の下、ヒトを対象とした *in vivo* (生体内) において放射線被曝がなく非侵襲的に骨梁構造を評価する手法が望まれている。本報告書では、ヒト海綿骨のMRIによる3次元骨構造解析に関する内容を中心に以下に述べる。

最近、MRI (Magnetic Resonance Imaging; 核磁気共鳴画像) 法によって海綿骨の3次元骨梁構造解析の試みが行われているが、微細な骨梁解析が必要なために3 Tesla (3 T) 以上の超高磁場MRI装置が使用された研究例が見受けられる。

これに対して、Krugらは健常被験者6名(男性3名、女性3名、年齢: 25~32歳)の大腿骨近位部の海綿骨を対象に1.5 Tと3 TのMR装置を用いて *in vivo* において骨梁構造解析を行い、関心領域内の見かけの骨体積分率については、1.5 Tと3 Tの結果は一致性が高い ($r=0.86$) ことを示した。また、Phanらはホルマリン固定した49の献体(男性26名、女性23名、平均年齢: 79.5 ± 11 歳)の左踵骨について、1.5 Tおよび3 TのMRIによる骨形態学に基づいた3次元骨梁構造解析を行うとともに、micro-CTの結果と比較した結果、理論上は3T-MR画像のSNR (Signal-to-Noise Ratio; 信号対雑音比) は1.5T-MR画像の2倍になるが、SNRの上昇が骨梁構造解析結果の精度改善にそれほど寄与していないことを示している。

そこで本研究では、初めに臨床で一般的に用いられている1.5T-MRIを用いて抽出したヒト大腿骨頭の3次元骨梁構造パラメータの定量的解析を行うとともに、micro-CTによる測定結果と比較した。さらには、pQCT (peripheral Quantitative Computed Tomography) による単位体積当たりの骨密度vBMD (volumetric Bone Mineral Density) とMRIによる見かけの骨体積分率との比較を行い、1.5T-MRIによる骨梁構造解析の精度と臨床応用の可能性について検討を行った。

一方、足部位の骨梁微細構造に対する研究では、従来から踵骨を対象としたMRIを用いた骨梁微細構造に関する *in vitro* (生体外) 解析がみられるが、これらはいずれもMRIによる骨梁構造解析の方法論の検証によるもの

がほとんどである。また、MRIによる踵骨の骨梁構造評価を *in vivo* において行った例としては、超音波骨診断との対応を検討した研究が多い。Tomihaらは健常女性416名(年齢: 16~79歳、平均年齢40.4歳)の踵骨を対象にコンパクトMRI (0.21 T) を用いて海綿骨の見かけの骨体積分率を測定するとともに、超音波伝播試験を行い踵骨内部の超音波速度(SOS)を求め、見かけの骨体積分率とSOSとの間に正の相関関係が存在することを示している。

他方、*in vivo* での距骨の海綿骨の骨梁微細構造に関する研究は極めて少なく、最近では距骨関節軟骨変性に伴う2次元骨梁構造の変化をX線画像から調査したSchiffらの研究例があげられる程度である。

上記のようなことから本研究では、次に1.5T-MRIによりヒト距骨および踵骨を対象として *in vivo* で3次元骨梁構造解析を行い、MR画像から見かけの骨梁構造パラメータを求め、足部位による骨梁構造の比較や骨梁微細構造に及ぼす体格および距骨形状との関係を調べ、生体力学的観点から考察した。

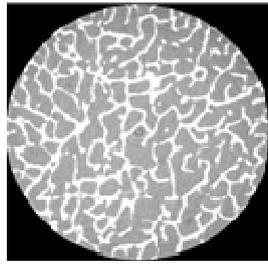
3. 研究の方法

(1) 抽出大腿骨頭を用いたmicro-CTとMRの骨梁構造パラメータの比較

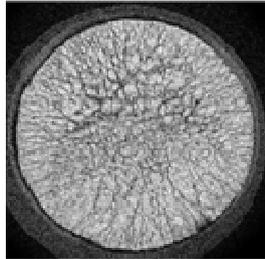
実験対象として大腿骨頸部骨折で抽出された11名(女性10名、男性1名、平均年齢: 81.0 ± 11.0 歳)の大腿骨頭を用いた。いずれの骨頭も実験直前まで約 -30°C で冷凍保存した。

初めに、micro-CT (SMX-130CT-SV, 島津社製) により骨頭海綿骨の骨梁撮影を行った。その際の撮影条件は、管電圧50kV、管電流は試料の大きさに合わせて調節を行い、micro-CTの解像度およびスライス厚さは約 $50\ \mu\text{m}$ に設定した。なお、骨頭の最近位端の荷重部の直径20 mm、高さ20 mmの円柱状範囲を撮影対象部とした。図1(a)にmicro-CTにより得られた骨頭海綿骨の横断スライス画像を示す。

次に、MRI (Intel Achieva 1.5 T, Philips 社製) を用いて骨頭海綿骨の断層撮影を行った。骨頭は直径60 mm、高さ60 mmの円柱状プラスチックケース内に生理食塩水を満たした状態で、撮影時の試料の動きを防止するためにガーゼで固定した。撮像シーケンスはスピンエコー法で、小型の円形サーフェイスコイルを使用し、T1強調で横断面の画像を取得した。MRの撮像条件は、繰り返し時間 $\text{TR} = 500\ \text{msec}$ 、エコー時間 $\text{TE} = 12.0\ \text{msec}$ 、スライス厚 $\text{Slice thickness} = 1.0\ \text{mm}$ 、フィールド・オブ・ビュー $\text{FOV} = 100 \times 100\ \text{mm}$ 、解像度 $\text{Pixel size} = 0.195 \times 0.195\ \text{mm}$ と設定し、撮影時間は約12分であった。MRで撮像した大腿骨頭の横断スライス画像を図1(b)に示す。



(a)



(b)

図1 骨頭海綿骨の横断スライス画像、
(a) micro-CT による像、(b) MRI による像。

micro-CT と MRI で撮影された原画像に対し、骨梁構造を抽出するために2値化処理を行った。micro-CT 画像は骨梁が高輝度になるが、MRI 画像は骨梁が低輝度になるので階調の反転を行った。2値化の際の閾値は、2値化画像と原画像を比較し、骨梁全体が閾値以上になるように決定した。図2に示すように、撮影範囲における骨頭の最近位端の荷重部に直径12 mmの球を関心領域 (VOI; Volume of Interest) として設定し、骨梁の構造を表すパラメータとして、骨体積分率 BV/TV (Bone Volume / Tissue Volume), 骨梁厚 Tb.Th (Trabecular Thickness), 骨梁数 Tb.N (Trabecular Number), 骨梁間隔 Tb.Sp (Trabecular Separation) を算出した。ここで、BV/TV は VOI 内において骨に相当する voxel 数と VOI 内の全 voxel 数の比とした。Tb.N は検査線1 mm あたりの骨梁との交点の平均から得た。なお、この Tb.N は後述する MIL を求める際に同時に求めた。すなわち、本研究の Tb.N は VOI 内の3次元的な値である。Tb.Th および Tb.Sp は、直接画像から得られた BV/TV と Tb.N を用いて次式より求めた。

$$\text{Tb.Th} = \frac{\text{BV/TV}}{\text{Tb.N}} \quad (1)$$

$$\text{Tb.Sp} = \frac{1 - \text{BV/TV}}{\text{Tb.N}} \quad (2)$$

さらに、骨梁の構造異方性評価のために MIL (Mean Intercept Length) 法を用いた。MIL 法で

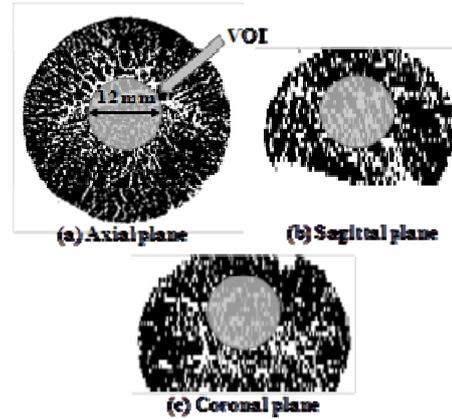


図2 MR の2値化画像と関心領域 (VOI)。

は、画像に任意角度 θ の平行線群を描き、その平行線が骨梁によって区切られる切片の平均長さ (MIL) を初めに求める。これは平行線の角度を変数とした関数となるので、角度 θ に対し得られた MIL を極座標にプロットすると回転楕円体に近似することができる。本研究では、MIL 楕円体の最大半径 a と最小半径 c との比 a/c を骨梁構造が有する異方性の強さの程度とする異方性度 (Degree of Anisotropy; DA) と定義した。

一方、海綿骨の単位体積当たりの骨密度と MRI による見かけの体積分率 BV/TV とを比較するために、pQCT (XCT 3000 Research, Stratec Medizintechnik 社製) を用いて、骨頭の vBMD を求めた。pQCT の撮影条件は Voxel size = $0.1 \times 0.1 \times 2.05 \text{ mm}^3$ で、骨頭を 2.05 mm 間隔で最近位部から遠位部にかけて体軸と水平方向に 10 スライス撮影し、直径 12 mm の VOI 球における vBMD (mg/cm^3) を算出した。

(2) 距骨および踵骨海綿骨の MRI による生体内構造解析

健康成人男性 9 名 (平均年齢: 24.0 ± 2.7 歳) の右足を対象に、1.5T-MRI 装置 (Intel Achieva 1.5 T, Philips 社製) を用いてスピノエコー法により距骨および踵骨の海綿骨画像を取得した。撮像条件は、解像度 $0.195 \times 0.195 \text{ mm}^2$, スライス厚 1.0 mm とした。骨梁構造解析の関心領域 VOI は直径 14 mm の球形とした。距骨では内外側方向の中心を VOI の中心とし、踵骨では上方 2 箇所最上部点を結ぶ直線の中点と底部の最高点を結んだ線の中点を VOI の中心とした。VOI に対して見かけの骨梁構造パラメータ (骨体積分率, 骨梁厚, 骨梁数, 骨梁間隔) を求めた。さらに VOI 領域内において MIL 解析を行い、骨梁の構造的異方性および異方性主軸と頭尾方向のなす角度 (OAA; Off-Axis Angle) を求めた。

距骨関節面形状は脛骨と距骨の関節接触面積を in vivo で MRI により解析した報告者らの研究より、身長と距骨関節面形状との間

には相関関係があることが明らかとなつている。そこで本研究においても同様に、距骨の近位関節面形状に関する指標として、距骨滑車の底部長さ (l) と骨滑車の高さ (h) の比を距骨ドーム曲率 (Curvature of Talus Dome; $CTD = h/l$) と定義した。すなわち、CTD の値が高いほど近位関節面のドームは丸まり、CTD の値が低いほど関節面は平坦になることを示す。

4. 研究成果

(1) 摘出大腿骨頭を用いた micro-CT と MRI の骨梁構造パラメータの比較結果

表 1 に micro-CT と MRI で得られた各 3 次元骨梁構造パラメータの 11 大腿骨頭における平均値と両者の値の比率を示す。MRI で求められた見かけの骨体積分率 BV/TV は micro-CT で求められたそれよりも約 0.9 倍低く、骨梁数 Tb.N は約 0.6 倍低く、骨梁厚 Tb.Th および骨梁間隔 Tb.Sp はそれぞれ約 1.6 倍および 1.8 倍高い値となった。また、MRI で得られた見かけの異方性度 DA は、micro-CT の異方性度よりも約 2.2 倍高い値を示した。

MRI で得られた見かけの骨体積分率 BV/TV と micro-CT で得られた BV/TV との関係の散布図と線形回帰を図 3 に示す。なお、図中の破線は、MRI と micro-CT で求められたパラメータが一致する理想的関係を表している。micro-CT と MRI の各パラメータの相関係数は、それぞれ BV/TV では $r = 0.57$,

表 1 micro-CT と MRI で得られた各 3 次元骨梁構造パラメータの平均値と両者の値の比率。

Structural Parameters	Absolute Measures		Measurement Ratios
	MRI	Micro-CT	MRI/Micro-CT
BV/TV (%)	0.28 ± 0.06	0.30 ± 0.02	0.93 ± 0.16
Trabecular Thickness (mm)	0.42 ± 0.12	0.26 ± 0.03	1.62 ± 0.39
Trabecular Number (mm ⁻¹)	0.69 ± 0.07	1.17 ± 0.11	0.59 ± 0.06
Trabecular Separation (mm)	1.05 ± 0.11	0.60 ± 0.06	1.76 ± 0.16
Degree of Anisotropy	4.09 ± 0.52	1.87 ± 0.24	2.20 ± 0.30

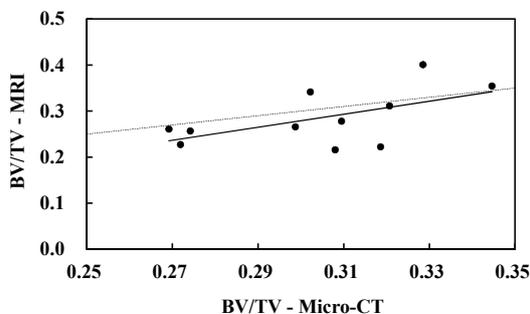


図 3 MRI で得られた見かけの骨体積分率 BV/TV と micro-CT で得られた BV/TV との関係。

Tb.Th では $r = 0.40$, Tb.N では $r = 0.45$, Tb.Sp では $r = 0.59$, DA では $r = 0.40$ であり、MRI による見かけの各骨梁構造パラメータと micro-CT で求めた値との間にはいずれも相関関係が認められた。また、pQCT による単位体積当たりの骨密度 vBMD と MRI による見かけの BV/TV との間には正の相関 ($r = 0.40$) が認められた。

(2) 距骨および踵骨海綿骨の MRI による生体内構造解析結果

距骨と踵骨の見かけの 3 次元骨梁構造パラメータの比較を表 2 に示した。距骨の骨梁構造パラメータのうち骨体積分率 BV/TV, 骨梁厚 Tb.Th, 骨梁数 Tb.N と異方性度 DA が踵骨のそれらより有意に大きかったが、骨梁間隔 Tb.Sp は踵骨より有意に小さかった。距骨と踵骨の偏差角 OAA はともに 0 に近くなっており、これは骨梁の主配向方向がほぼ頭尾方向であることを示しているが、踵骨の骨梁方向は頭尾方向よりもわずかながら傾いている。また、異方性度 DA は、踵骨に比べて距骨の方が有意に大きい値を示した。

表 3 は、体格が骨梁構造に及ぼす影響について調べたもので、距骨と踵骨の見かけの各骨梁構造パラメータと身長および体重との相関係数についてそれぞれ示した。

表 2 距骨と踵骨の見かけの 3 次元骨梁構造パラメータの比較。

	Talus	Calcaneus	Talus/Calcaneus
BV/TV	0.28 ± 0.04**	0.12 ± 0.04	2.41 ± 0.92
Tb.Th [mm]	0.39 ± 0.03**	0.26 ± 0.04	1.49 ± 0.23
Tb.N [mm ⁻¹]	0.72 ± 0.10**	0.45 ± 0.17	1.61 ± 0.61
Tb.Sp [mm]	1.02 ± 0.20**	2.21 ± 0.79	0.46 ± 0.19
DA	5.02 ± 0.62**	3.23 ± 0.79	1.55 ± 0.43
OAA [deg]	0.78 ± 0.57 ⁺	1.70 ± 1.07	0.46 ± 0.44

**: $p < 0.01$ ⁺: $p < 0.1$

表 3 距骨と踵骨の見かけの各骨梁構造パラメータと身長および体重との相関係数。

Bone	Apparent Bone Structure parameters	Correlation: r	
		vs Body height	vs Body weight
Talus	BV/TV	0.69*	0.25
	Tb.Th [mm]	-0.03	0.12
	Tb.N [mm ⁻¹]	0.66*	0.16
	Tb.Sp [mm]	-0.66*	-0.19
	DA	-0.52	-0.09
	OAA [deg]	0.05	0.34
	CTD	-0.61 ⁺	-0.19
Calcaneus	BV/TV	0.19	0.04
	Tb.Th [mm]	-0.21	-0.45
	Tb.N [mm ⁻¹]	0.23	0.23
	Tb.Sp [mm]	-0.22	-0.17
	DA	0.37	0.46
	OAA [deg]	-0.22	-0.21

距骨の BV/TV, Tb.N は身長と正の相関 ($r = 0.69, 0.66$) を示し, Tb.Sp は負の相関 ($r = -0.66$) を示した. 距骨の Tb.Th は他のパラメータに比べ, 身長との相関は認められなかった. また, 関節面形状を表す距骨ドーム曲率 CTD は, 身長が高いほど小さな値となった ($r = -0.61$).

一方, 踵骨の構造パラメータと身長および体重との相関関係は確認できなかった.

(3) 考察

表 1 の *in vitro* での摘出大腿骨頭を用いた実験結果において, MRI で得られた見かけの骨梁構造パラメータは micro-CT で得られた骨梁構造パラメータよりも Tb.Th, Tb.Sp および DA が過大評価されたが, Tb.N は反対に過小評価された. また, BV/TV はほぼ 1 に近い値となった. この理由としては, 本研究で用いた MRI が, micro-CT よりも解像度が低いことや磁化率アーチファクトの影響により, 骨梁の細部が抽出されず, MRI で求めた Tb.N を低く見積もってしまうために, 結果として式(1), (2)より Tb.Th および Tb.Sp が過大に評価されたものと考えられる. また, MRI のボクセル形状が直方体であることも骨梁構造パラメータの解析に誤差を及ぼす要因である.

本研究では, 大腿骨頸部骨折患者より摘出した大腿骨頭を用いたために, 海綿骨試料は比較的同様の骨梁構造を有していたことが推察される. したがって, 健常者と骨粗鬆症および変形性関節症患者等による骨梁構造が変化した海綿骨を本手法によって調べることで, micro-CT と MRI で得られる骨梁構造パラメータ同士の相関および vBMD と見かけの BV/TV との相関関係は, 本結果よりも向上する可能性が予想される.

本手法を用いた *in vivo* による骨梁解析では, 表 2 の足部位の測定結果より, 踵骨よりも距骨で見かけの骨体積分率 BV/TV, 骨梁厚 Tb.Th, 骨梁数 Tb.N が大きく, 骨梁間隔 Tb.Sp が小さいことは, 距骨が踵骨よりも骨梁が厚く, また, 3 次元的に密な骨梁構造となっていることを示している. 本研究では MIL 法により骨梁構造の配向性を調べており, 距骨の異方性度 DA は踵骨よりも高く, 偏差角 OAA は両者ともにほぼ 0 に近かったが, 踵骨の骨梁方向は頭尾方向よりもわずかながら傾いている. したがって, 距骨と踵骨における骨梁構造の支配方向はほぼ頭尾方向を向いており, その傾向は踵骨よりも距骨のほうが強いことが示唆された.

表 3 で示した距骨と踵骨の見かけの各骨梁構造パラメータと身長および体重との相関関係の結果より, 距骨の BV/TV および Tb.N は身長と正の相関を示し, Tb.Sp は負の相関を示した. また, 距骨は身長が高い程, 距骨

ドーム曲率 CTD は小さい, すなわち関節面が平坦になることが明らかとなった. これは, 身長が高くなると距腿関節(距骨と脛骨からなる関節)に大きな荷重が作用する可能性が高くなるため, 距骨は関節接触面積を大きく確保するとともに, 関節面下の海綿骨構造は緻密となり, 強固な構造となることを示唆しているものと考えられる. 上記のパラメータと体重との相関がみられない理由は, 体重は成長期が過ぎてからの 2 次的な因子であり, 骨格形状は成長期の身長で決定されることが多いと予想される. しかしながら, 体重変動による海綿骨の骨梁構造変化(骨の力学的環境適応に基づくリモデリング)も考えられるため, 体格と下肢関節の骨梁構造に関する評価は更なる検討が必要である.

(4) 成果の総括

本研究では 1.5T-MRI を用いて, 摘出したヒト大腿骨頭の 3 次元骨梁構造パラメータの解析を行うとともに, micro-CT および pQCT による測定結果と比較, 検討を行った. その結果, 各骨梁構造パラメータについて micro-CT に対する MRI の相関や vBMD と見かけの BV/TV との相関関係が認められた. これらより 3 次元骨梁構造を 1.5T-MRI で評価する手法の可能性が示唆された.

次に, 1.5T-MRI を利用して *in vivo* におけるヒト距骨と踵骨の見かけの 3 次元骨梁構造パラメータを解析し, 距骨と踵骨の骨梁構造に関する考察を生体力学的観点から行った. その結果, 距骨は踵骨に比べて 3 次元的に密な骨梁構造であり, 距骨関節面下の骨梁は体の頭尾方向に多く配向していることを明らかにした. さらには, 距骨は身長が高くなるにつれて, 距骨関節滑車面は平坦になり, 海綿骨の骨梁は緻密な構造となることを明らかにした. 他方, 踵骨は身長や体重による骨梁構造の差異は認められないことを示した.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① 坂本信, 海綿骨の MRI による構造解析, 非破壊検査, 査読有, Vol. 60, 2011, pp. 653-657.
- ② 坂本信, 牧岡諒太, 吉田秀義, 小林公一, 笹川圭右, 田邊裕治, MRI を用いた脛距関節における接触領域の *In Vivo* 解析, 臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 32, 2011, pp. 215-223.
- ③ 坂本信, 野田口洋成, 田邊裕治, 笹川圭右, 窪田陽介, 小林公一, *In Vivo Contact Areas of Tibiotalar Joint Measured with Magnetic Resonance Imaging*, Journal of the Japanese Society of Experimental Mechanics, 査読有, Vol. 10, 2010, pp. 234-239.
- ④ 笹川圭右, 坂本信, 小林公一, 古賀良生, 田邊裕治, 大森豪, 佐藤卓, MRI 骨・軟骨モデルを用いた 3 次元下肢アライメント評価システムの精度評価, 臨床バイオ

- メカニクス, 査読有, Vol. 31, 2010, pp. 341-348.
- ⑤ 坂本信, 小林公一, 吉田秀義, 笹川圭右, 窪田陽介, 距骨および踵骨海綿骨のMRIによるIn Vivo構造解析, 臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 31, 2010, pp. 13-20.
- ⑥ 坂本信, 小林公一, Estimation of Trabecular Bone Structure Using Magnetic Resonance Imaging, Proceedings of the 4th Japan-US Symposium on Emerging NDE Capabilities for a Safer World, 査読有, Vol. 4, 2010, pp. 88-93.
- ⑦ 坂本信, ヒト関節接触領域の生体内解析, トライボロジスト, 査読有, Vol. 55, 2010, pp. 166-171.
- ⑧ 坂本信, 比護祐介, 笹川圭右, 小林公一, 吉田秀義, 宮尾益尚, MRIによる海綿骨の3次元構造解析, 臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 30, 2009, pp. 27-33.

〔学会発表〕(計17件)

- ① 坂本信, 小林公一, Assessment of Trabecular Bone Structure Using Magnetic Resonance Imaging, 日本機械学会 Japan-Korea Symposium, “Biomechanics and Biomaterials for Hard Tissue”, 2012年1月8日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府).
- ② 坂本信, 長田郁美, 吉田秀義, 川上健作, 小林公一, Magnetic Resonance Imagingを用いたヒト膝蓋腱長さ変化の生体内解析, 日本機械学会第22回バイオエンジニアリング講演会, 2012年1月7日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府).
- ③ 坂本信, 長田郁美, 小林公一, 川上健作, MRIによるヒト膝蓋腱長さ変化の生体内測定, 日本非破壊検査協会平成23年度秋季講演大会, 2011年10月18日, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県).
- ④ 坂本信, 長田郁美, 川上健作, 吉田秀義, 小林公一, ヒト膝蓋腱のMRIによる生体内におけるひずみ解析, 日本実験力学会2011年度年次講演会, 2011年8月31日, 奈良県文化会館(奈良県).
- ⑤ 長田郁美, 坂本信, 小林公一, ヒト膝蓋腱の生体内における変形測定, 日本非破壊検査協会平成23年度春季講演大会, 2011年5月26日, アルカディア市ヶ谷(東京都).
- ⑥ 坂本信, 牧岡諒太, 笹川圭右, 田邊裕治, 吉田秀義, 小林公一, 脛距関節における接触面積の生体内評価, 2011年1月8日, 熊本大学(熊本県).
- ⑦ 坂本信, 牧岡諒太, 吉田秀義, 小林公一, 笹川圭右, 田邊裕治, MRIを用いた脛距関節における接触領域のin vivo解析, 第37回日本臨床バイオメカニクス学会, 2010年11月2日, 京都国際会議場(京都府).
- ⑧ 坂本信, 笹川圭右, 田邊裕治, 小林公一, ヒト脛距関節におけるMRIによる関節接触面積の生体内評価, 日本機械学会M&M2010材料力学カンファレンス, 2010年10月10日, 長岡技術科学大学(新潟県).
- ⑨ 坂本信, 吉田秀義, 小林公一, 牧岡諒太, 笹川圭右, 田邊裕治, MRIによる脛距関節における接触面積のIn Vivo評価, 日本実験力学会2010年度年次講演会, 2010

- 年8月17日, 長崎大学(長崎県).
- ⑩ 坂本信, 笹川圭右, 小林公一, In Vivo Contact Areas of Tibiotalar Joint Measured with Magnetic Resonance Imaging, 6th World Congress on Biomechanics, 2010年8月3日, Singapore Suntec Convention Centre(シンガポール).
- ⑪ 笹川圭右, 坂本信, 吉田秀義, 小林公一, 田邊裕治, Analysis of In Vivo Wrist Joint Mechanics during Wrist Motion Using MRI, 2010年8月3日, Singapore Suntec Convention Centre(シンガポール).
- ⑫ 坂本信, 笹川圭右, 小林公一, 距骨および踵骨のMRIを用いた3次元骨梁構造解析, 日本機械学会北陸信越支部第47期総会・講演会, 2010年3月10日, 新潟大学(新潟県).
- ⑬ 坂本信, 笹川圭右, 小林公一, MRIによるヒト海綿骨の生体内骨梁構造解析, 日本機械学会第22回バイオエンジニアリング講演会, 2010年1月9日, 岡山理科大学(岡山県).
- ⑭ 笹川圭右, 坂本信, 小林公一, 古賀良生, 田邊裕治, 大森豪, 佐藤卓, MRI骨・軟骨モデルを用いた3次元下肢アライメント評価システムの精度評価, 第36回日本臨床バイオメカニクス学会, 2009年10月16日, 愛媛県県民文化館(愛媛県).
- ⑮ 坂本信, 小林公一, 吉田秀義, 笹川圭右, 窪田陽介, 距骨および踵骨海綿骨のMRIによるIn Vivo構造解析, 第36回日本臨床バイオメカニクス学会, 2009年10月16日, 愛媛県県民文化館(愛媛県).
- ⑯ 坂本信, 笹川圭右, 小林公一, 海綿骨のMRIによる生体内骨梁構造測定, 日本実験力学会2009年度年次講演会, 2009年8月5日, 拓殖大学(東京都).
- ⑰ 坂本信, 小林公一, 吉田秀義, 笹川圭右, ヒト海綿骨のMRIによる骨梁構造解析, 日本非破壊検査平成21年度春期大会, 2009年5月20日, アルカディア市ヶ谷(東京都).

〔その他〕

ホームページ等

http://www1.clg.niigata-u.ac.jp/kyoin/makoto_sakamoto/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 信 (SAKAMOTO MAKOTO)

新潟大学・医歯学系・教授

研究者番号: 80215657

(2) 研究分担者

小林 公一 (KOBAYASHI KOICHI)

新潟大学・医歯学系・助教

研究者番号: 70296317

田邊 裕治 (TANABE YUJI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号: 60143020

大森 豪 (OMORI GO)

新潟大学・超域研究機構・教授

研究者番号: 70283009