

大学アメリカンフットボール選手を対象としたレジスタンストレーニングによる骨形成への影響についての考察

井口 順太¹, 藤澤 義彦², 真野 功³

Analysis for bone formation by the effect of resistance training among the collegiate American football players.

Junta Iguchi¹, Yoshihiko Fujisawa², Isao Mano³

Although there have been many studies for athletes focusing on muscular strength and lean body mass, to date, little studies have been conducted on the relationship between bone formation and sport performance. Thus, our aim of this study was to examine how the indexes of bone (e.g., bone mineral density) were related to the performances by the collegiate American football players using a superior ultrasonic bone densitometry system (the LD-100 system, Oyo Electric, Kyoto, Japan). Our main results were that, although many previous studies have confirmed a positive relationship between muscular strength and bone mineral density, there was a negative relationship between power and bone mineral density. Also, we confirmed that the thickness of radius, which is directly related to diameter of bone, was positively related to power. This may be due to the fact that most of the players started resistance training from college, which may cause the adaptation that increases the diameter of bone, instead of bone mineral density. Therefore, we may need a new training method which can increase bone mineral density as well as muscular strength.

【Keywords】 American football, bone formation, performance tests, power, muscular strength

アスリートを対象に筋力や除脂肪体重などに焦点を当てた研究は数多くなされているが、骨の指標に注目し、パフォーマンスとの関係性について着目した研究は、我々の知る限り殆ど存在しない。本研究では骨密度などの骨指標を簡易に測定できる2波検出型超音波骨密度計を用い、大学アメリカンフットボール選手の筋力やパワーなどのパフォーマンスとの関連性を検証した。主な結果として、先行研究で見られた骨密度と筋力の正の相関は見られず、骨の直径と関連している橈骨厚と power において正の相関が認められた。また Power と骨密度は負の相関をしていた。これは対象者の多くが大学から本格的なレジスタンストレーニングを開始しているため、骨密度より骨の直径を増加させる適応が優先的に発生しているためと考えられる。今後は筋力増加だけでなく、骨密度も増加させる新たなトレーニング方法の開発の必要性が示唆された。

【キーワード】 アメリカンフットボール, 骨形成, パフォーマンステスト, パワー, 筋力

I. 緒言

これまでアスリートの身体組成や運動能力などを様々な計測をすることで、その選手の競技能力との関係について多くの研究がなされてきた。その一つの指標として骨密度も幾つかの先行研究によって筋力や除脂肪体重などとの関連が検証されてきた。しかしながら、骨密度以外の骨に関する指標はこれまで測定方法の限界などで測定することが出来なかったが測定方法

の発展により、骨の強度を表す骨弾性定数など骨の質に関する測定が近年可能になっている。藤澤 (2009) は、フェンシング、水泳、硬式野球、バスケットボール、アメリカンフットボール、ラグビー選手からなる被験者を集め、橈骨骨厚、透過波減衰、皮質骨厚、海面骨骨量体積比、海面骨弾性定数などの項目を測定し、幾つか興味深い発見している。例えば、同じ被験者でも利き腕と非利き腕間で幾つかの骨の指標で相違が出たり、コンタクトスポーツであるアメリカンフッ

1 同志社大学アディポサイト & マッスルサイエンス研究センター研究協力員
(Center of adipocyte and muscle science, Doshisha University)

2 同志社大学スポーツ健康科学部 (Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University)

3 同志社大学理工学部電気系超音波エレクトロニクス・応用計測研究室 研究員
(Laboratory of Ultrasonic Electronics, Doshisha University)

トボールやラグビー選手では他の選手より高い骨密度であることが判明した。特に衝撃を伴う競技選手は若干偏った骨の形成になるが、逆に衝撃がなく身体全体に均一に負荷が掛かるような水泳選手などは均等な骨形成がなされていることがこの研究によって明らかになった。

現在までコンタクトスポーツの代表的競技であるアメリカンフットボールは様々な角度から選手の競技能力を計測する試みがなされている。チームの平均筋力やパワー、スピード、身体組成などを同リーグ内で比較したり、他のリーグ間、1部と2部リーグ間、プロアメリカンフットボールリーグ（National Football League：NFL）のドラフトにかかった選手とそうでない選手間などあらゆる角度から比較・検討がなされてきた。これらの研究結果では一様に優れた選手、チームは筋力、パワー、スピード、除脂肪体重量などがそうでない選手、チームと比較して優れていたということが判明している。しかしながら、我々の知る限り骨に関する指標からアメリカンフットボール選手を分析した研究は存在しない。今回はX線を用いず、超音波による測定で骨密度だけでなく、骨強度などを測定することが出来る2波検出型超音波骨密度計（LD-100、応用電機株式会社）を用いて橈骨単位面積骨密度、海綿骨骨密度 [mg/cm^3]、透過波減衰 [dB]、橈骨厚 [mm]、皮質骨厚 [mm]、海綿骨弾性定数 [GPa] の6つの項目に加えて骨の曲げに対する強度を表す断面係数の計7つの項目に着目して調査を行った。

本研究の目的は以下のものである。1) コンタクトスポーツの代表的競技であるアメリカンフットボール選手の骨の質を調査する。2) アメリカンフットボールのポジション間での骨の質の相違に着目する。3) 同年代の一般人と比較してアメリカンフットボール選手の骨の質がどのように異なるか検証する。4) アメリカンフットボール選手の筋力のみならずパワー等と骨密度や骨の質がどのように関連しているかを検証する。以上4つである。

II. 方法

1. 被験者

今回は同志社大学アメリカンフットボール部（関西学生アメリカンフットボールリーグ、Div.1 所属）の部員31名（年齢：19.9歳 \pm 0.8、身長：176.5cm \pm 5.1、体重：85.9kg \pm 15.3）をランダムに抽出し、対象とした。またこのグループをBacks（Defensive Back：DB, Running Back：RB, Line Backer：LB, Wide Receiver：WR, Quarter Back：QB）とLinemen（Offence Linemen：OL, Defense Linemen：DL）の2つのグルー

プに分けた（Table.1）。

Table.1 Mean subjects characteristics by positions

	All \pm SD (n = 31)	Backs \pm SD (n = 20)	Linemen \pm SD (n = 11)
Age (year)	19.9 \pm 0.8	19.8 \pm 0.8	20.1 \pm 0.8
Height (cm)	176.5 \pm 5.1	176.0 \pm 5.9	177.5 \pm 3.2
Weight (kg)	85.9 \pm 15.3	77.3 \pm 8.0	101.6 \pm 12.0
BMI	27.5 \pm 4.2	25.0 \pm 2.1	32.2 \pm 2.9

2. 測定方法

骨密度の測定は2012年の3月から4月の間に実施され、2波検出型超音波骨密度計（LD-100、応用電機株式会社）を用いて計測され、非利き腕の手首部にある橈骨遠位端から測定して前腕長の5.5%の位置において、海綿骨骨密度 [mg/cm^3] の他に透過波減衰 [dB]、橈骨厚 [mm]、皮質骨厚 [mm]、海綿骨弾性定数 [GPa] も計測された。また上記のデータを基に円筒の機械的強度の指標となる断面係数 [mm^3]（Section Modulus：SM）も算出した。骨の指標に関する説明は以下の通りである（Figure 1）。

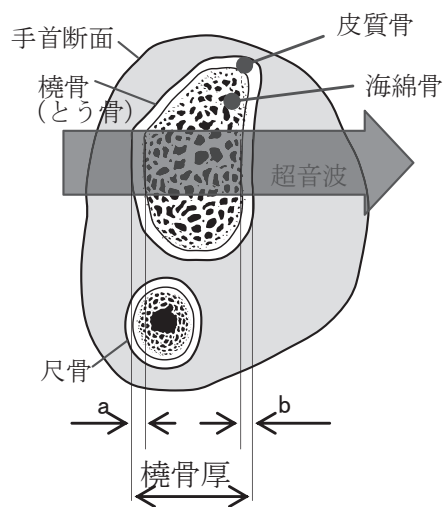


Figure 1

(1) 海綿骨骨密度 [mg/cm^3]

骨の内側にある海綿骨の単位体積当たりの骨密度。海綿骨は網目状の骨と骨髄より構成されており、海綿骨骨密度が低いということは、骨髄が占める割合が多いということになる。

海綿骨は表面積が多いため代謝が早く、変化が早期に現れやすい。

(2) 透過波減衰 [dB]

超音波が手首を伝搬した際に減衰した量。皮質骨と

海綿骨を合わせた骨量に依存した値。透過波減衰が大きいほど骨量が多い。

(3) 橈骨厚 [mm]

橈骨の外形の幅。超音波が伝搬した部分の橈骨の一方の表面ともう一方の表面との距離。

(4) 皮質骨厚 [mm] (a+b)

骨の外側にある皮質骨の厚み。超音波が伝搬した部分の2枚の皮質骨の厚みの合計。

(5) 海綿骨弾性定数 [GPa]

骨の内側にある海綿骨部のひずみにくさ(硬さ)。海綿骨弾性定数が大きいほど、ひずみにくい。海綿骨の網目状の骨の部分の伝搬する音の速さより算出。骨質に関わる値とされており、現在 LD-100 のみで取得可能な値。

(6) 断面係数 (Section Modulus : $SM = \pi/32$ (橈骨厚⁴ 海綿骨厚^{4/3} 橈骨厚))

橈骨を皮質骨のみの円筒と仮定した場合の、曲げに対する強度。断面係数が小さいほど、曲がりやすく骨折しやすいことになる。

また同年3月から4月に筋力測定(1Repetition Maximum (RM) 測定:ベンチプレス:BP, スクワット:SQ, クリーン:HC)と垂直跳び(VJ)を測定した。パワー

(Power)はLewisの公式($\sqrt{4.9 \times \text{体重[kg]} \times \text{VJ[cm]}/100}$)を用いて算出した(Iguchi et al., 2011)。測定はNational Strength and Conditioning Association (NSCA)のCertified Strength and Conditioning Specialist(CSCS)が全て目視で確認した上で行われた。更に今回得た骨に関する指標をSai et al.(2010)(20-24歳, 男性250名)が得たデータを比較対象として用いた。本研究は各被験者から同意を得て、更に同志社大学倫理審査委員会の承認を得たうえで実施された。

3. 統計学的分析

骨に関する指標と筋力、パワーなどの相関分析には、ピアソンの積率相関係数を用いた。また今回の研究で得た骨に関する指標とSai et al. (2010)の研究で得られた同年代の指標との比較には、1サンプルのt検定を用いた。なお有意水準は5%未満とした。全ての統計分析はIBM SPSS ソフト (Japanese version 20.0 : IBM, Inc, New York, NY, USA)を用いて行われた。

Ⅲ. 結果

相関で見ると、被験者全員では橈骨厚がHC($r=0.39$, $p<0.05$)、Power ($r=0.37$, $p<0.05$)、海綿骨骨密度がPower ($r=-0.42$, $p<0.05$)とそれぞれ有意な相関を示した(Table.2)。Backsのみでは、橈骨厚と海綿骨骨密度がPower ($r=0.48$, $-0.45p<0.05$)とそれぞれ有意な相関を示した(Table.3)。Linemenのみの

Table.2 Correlation matrix (r values) among related factors for the backs and linemen

Variables	SQ (kg)	BP (kg)	HC (kg)	VJ (cm)	Power (kg·m/s)
透過波減衰 [dB]	-.09	.13	.08	.02	.02
橈骨厚 [mm]	.27	.20	.39*	.17	.37*
皮質骨厚 [mm]	-.19	-.13	.00	.10	-.21
海綿骨骨密度 [mg/cm ³]	-.32	-.17	-.22	-.02	-.42*
海綿骨弾性定数 [GPa]	-.15	-.16	-.04	.13	-.22
断面係数 [mm ³]	.23	.13	.37*	.13	.30

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table.3 Correlation matrix (r values) among related factors for the backs

Variables	SQ (kg)	BP (kg)	HC (kg)	VJ (cm)	Power (kg·m/s)
透過波減衰 [dB]	-.08	.28	.12	.02	-.31
橈骨厚 [mm]	.40	.36	.35	-.09	.48*
皮質骨厚 [mm]	.10	.29	.30	-.11	-.09
海綿骨骨密度 [mg/cm ³]	-.18	.09	-.03	-.07	-.45*
海綿骨弾性定数 [GPa]	.07	.07	.18	.27	-.07
断面係数 [mm ³]	.43	.33	.45	-.13	.45

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

データでは、橈骨厚がSQ ($r=0.79$, $p<0.01$), Power ($r=0.78$, $p<0.01$) と、海綿骨骨密度がSQ ($r=-0.91$, $p<0.01$), BP ($r=-0.76$, $p<0.01$), HC ($r=-0.62$, $p<0.05$), Power ($r=-0.60$, $p<0.05$) と有意に相関していた (Table.4). また海綿骨弾性定数はSQ ($r=-0.68$, $p<0.05$), BP ($r=-0.74$, $p<0.01$), Power ($r=-0.64$, $p<0.05$) と相関していた (Table.4). 更に断面係数はSQ ($r=0.73$, $p<0.05$), HC ($r=0.69$, $p<0.05$), Power ($r=0.78$, $p<0.05$) と有意に相関していることが確認された (Table.4).

全被験者と Sai et al. (2010) によって収集された同年代の男性データとの比較では、海綿骨骨密度、皮質骨厚、断面係数で有意差が確認された ($p<0.01$) (Table 5). また Backs と Sai et al. (2010) との比較では、海綿骨骨密度、皮質骨厚、断面係数で有意差が確認された ($p<0.05$) (Table 6). 更に Linemen との比較では、皮質骨厚で有意差が確認された ($p<0.01$) (Table 7). Backs と Linemen との比較では、体重、BMI, SQ, BP, Power, VJ, HC において有意な差が認められた ($p<0.05$) (Table 8).

Table.4 Correlation matrix (r values) among related factors for the linemen

Variables	SQ (kg)	BP (kg)	HC (kg)	VJ (cm)	Power (kg·m/s)
透過波減衰 [dB]	-.31	-.04	.00	.19	.15
橈骨厚 [mm]	.79**	.58	.75**	.43	.78**
皮質骨厚 [mm]	-.45	-.53	-.28	.07	-.23
海綿骨骨密度 [mg/cm ³]	-.91**	-.76**	-.62*	-.29	-.60*
海綿骨弾性定数 [GPa]	-.68*	-.74**	-.47	-.35	-.64*
断面係数 [mm ³]	.73*	.50	.69*	.64	.78*

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table.5 Comparison of Athletes(ALL) Versus Nonathletes

Variables	Athletes			Nonathletes			<i>t</i>
	<i>n</i>	Mean	± SD	<i>n</i>	Mean	± SD	
海綿骨骨密度 [mg/cm ³]	31	312.45**	119.65	250	241.00	67.8	3.29
皮質骨厚 [mm]	31	6.84**	1.34	250	5.23	1.04	6.66
海綿骨弾性定数 [GPa]	31	6.48	6.66	250	4.09	1.52	2.00
断面係数 [mm ³]	28	248.18**	91.85	250	188.29	44.5	3.45

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table.6 Comparison of Athletes (Backs) Versus Nonathletes

Variables	Athletes			Nonathletes			<i>t</i>
	<i>n</i>	Mean	± SD	<i>n</i>	Mean	± SD	
海綿骨骨密度 [mg/cm ³]	20	318.65*	135.2	250	241.00	67.8	2.54
皮質骨厚 [mm]	20	7.00**	1.49	250	5.23	1.04	5.60
海綿骨弾性定数 [GPa]	20	6.85	7.65	250	4.09	1.52	1.61
断面係数 [mm ³]	19	259.09**	103.16	250	188.29	44.5	2.99

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table.7 Comparison of Athletes (Linemen) Versus Nonathletes

Variables	Athletes			Nonathletes			<i>t</i>
	<i>n</i>	Mean	± SD	<i>n</i>	Mean	± SD	
海綿骨骨密度 [mg/cm ³]	11	301.18	89.3	250	241.00	67.8	2.21
皮質骨厚 [mm]	11	6.55**	1.21	250	5.23	1.04	3.60
海綿骨弾性定数 [GPa]	11	5.82	4.60	250	4.09	1.52	1.25
断面係数 [mm ³]	9	225.12	60.38	250	188.29	44.5	1.83

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table.8 Comparison of Backs Versus Linemen

Variables	Backs			Linemen			<i>t</i>
	<i>n</i>	Mean	± SD	<i>n</i>	Mean	± SD	
身長 [cm]	20	176.0	5.90	11	177.5	3.20	-0.83
体重 [kg]	20	77.3 **	8.00	11	101.6	12.00	-6.75
BMI [kg/m ²]	20	25.00**	2.13	11	32.16	2.88	-7.96
海綿骨密度 [mg/cm ³]	20	318.00	135.25	11	301.18	89.31	0.38
皮質骨厚 [mm]	20	7.00	1.41	11	6.55	1.21	0.89
海綿骨弾性定数 [GPa]	20	6.85	7.65	11	5.82	4.6	0.41
橈骨厚 [mm]	20	14.05	1.64	11	13.55	1.51	0.84
断面係数 [mm ³]	19	259.09	103.16	9	225.12	60.38	0.91
Squat [kg]	20	135.50**	14.77	11	169.00	18.95	-5.47
Bench Press [kg]	20	93.65**	10.97	11	119.09	14.8	-5.46
Power [kg·m/s]	20	143.15**	14.12	11	167.73	18.6	-4.14
Vertical Jump [cm]	20	69.05**	5.37	11	54.73	5.18	7.2
High Clean [kg]	20	94.10*	7.21	11	101.45	9.93	-2.37

p* < 0.05, *p* < 0.01

IV. 考察

1. 全被験者

本研究では、被験者全員、Backs, Linemen の全てのグループが橈骨厚と Power が正の有意な相関、また Power と海綿骨密度と負の有意な相関をしていた ($p < 0.05$)。先行研究では、長期的にレジスタンストレーニングを行った群 (Rector et al., 2009) やエリートレベルのウェイトリフターら (Conroy et al., 1993) がコントロール群より有意に骨密度 (Bone Mineral Density: BMD) が高かったことが報告されている。また骨密度とそこに付着する筋肉の筋力 (Pocock et al, 1989), 筋肉量 (Rector et al., 2009) が強く正の相関をすることも判明している。しかし、本研究では筋力だけではなく、Power もパラメーターとして加えた初の研究であるといえる。Baechle & Earle (2000) は、1RM などの最大筋力は低速での筋力を反映し、Power は高速での筋力発揮能力を表すと定義している。更にスポーツ動作は一般的に速い動きのため、Power の方がスポーツの特異性を最大筋力よりも反映していると考えられている。

本研究においても、Sai et al. (2010) の同年代の参照データとの比較では骨密度が有意に本被験者の方が高い値を示していた。しかし、本研究の被験者内では筋力と骨密度の相関は見られず、反対に Power と負の相関を示していた。幾つかの先行研究 (Conroy et al., 1993; Raab et al., 1991; Uhtoff et al., 1985) において、レジスタンストレーニングによってそこに付着する筋肉が収縮することで、その部分の骨膜上に新たな骨形成を刺激し、結果的に骨の直径を増加させるこ

とで骨にかかるストレスを減少させていることが判明している。本研究においても、参照データとの比較では、有意に皮質骨厚が本被験者の方が高く、また Power と橈骨厚は正の相関を見せており、これは本学アメリカンフットボール部が年間を通して大きな負荷を挙げるトレーニングを実施しているため、骨密度より骨の直径を増加させる適応が優先的に発生していると考えられる。また HC と断面係数、橈骨厚が正の相関を示していたが、これは一般的に HC は筋力よりもパワーを反映した種目であることと、断面係数は主に橈骨厚から算出したためと考えられる。

2. Backs vs. Linemen

2 群間の比較では、Linemen の方が Backs より体重、BMI、筋力 (SQ, BP)、HC、Power が有意に優れていたが、骨に関する指標では有意差は確認されなかった。相関関係で見ると、Linemen は橈骨厚と Power、SQ、HC の間で正の相関が見られた。被験者全員とポジション別では Backs とともに橈骨厚と Power との間での正の相関関係は認められたものの、筋力の指標である SQ との相関は Linemen だけであった。これと関連性があるものとして、骨密度と SQ、BP、HC、Power との負の相関が Linemen で確認され、一方 Backs は Power との負の相関が確認されただけであった。この比較で興味深いのは、Linemen が Power だけでなく、SQ においても橈骨厚、骨密度と相関していたことである。これは Linemen は Backs より重い負荷を挙げるため、前述した様に骨の直径が増加する適応がより顕著に表れており、それと同時に海綿骨部分の骨梁以外の骨髓領域が拡張し結果的に単位体積当たりの

骨密度が減少したのではないかと予想される。また Linemen のみ骨弾性定数が SQ, BP, Power と負の相関しており、ひずみやすい海綿骨という結果になったが、これは言い換えれば重い負荷を挙げる選手の方が柔軟な骨構造を持っているとも考えられる。

今回断面係数が Linemen の幾つかの指標 (SQ, HC, Power) と正の相関していた。断面係数は曲げに対する骨の強度を表すものであり、数値が高い程曲げへの強度が高いことを表す。これらのことを考慮すると、Linemen は負荷が上がるにつれ曲げに対する強度が増加していると考えられる。一般的に骨格筋は収縮の際、起始側はほとんど動かず、停止側のみが動くと考えられている。レジスタンストレーニング中は筋収縮が負荷によって更に強くなるため、この曲がりのストレスへ骨が適応したのではないかと考えられる。

本学アメリカンフットボールは大学から競技を開始する選手も多いため、筋力トレーニングを開始するのにも大学に入ってから学生も多い。Eriksen et al. (1984) の研究によればレジスタンストレーニングによる骨格筋が適応を起こす期間と比較して、骨密度増加などの適応はより時間が掛かると述べられている。また Ryan et al. (2004) は、レジスタンストレーニングによって増加した筋力は必ずしも骨密度を増加させるわけではないということも述べている。上記のことを考慮すると、本学アメリカンフットボールの選手はレジスタンストレーニングによって筋力は順調に強化されているが、骨の強化はまだ不十分である可能性が示唆された。

V. 結論

本研究の結果によりコンタクトスポーツであるアメリカンフットボール選手は、同年代の骨と比較して一般的に強度の高いことが判明した。これは普段から定期的、長期的に高強度のレジスタンストレーニングを行っているためと考えられる。しかし、被験者内の比較では必ずしも先行研究で示されたような筋力と骨密度の正の相関は見られず、逆に power やポジションによっては筋力などと負の相関していた。これは本被験者の多くは大学からレジスタンストレーニングを開始した者が多く、骨密度より骨の直径が優先的に適応を起したためと考えられる。今後は筋力だけではなく、骨密度も十分な適応を起こす新たなトレーニング方法の開発などを考案する必要性が示唆された。

謝辞

今回筋力のデータをご提供いただいた同志社大学スポーツ支援課のストレンクス & コンディショニング

スペシャリスト西村幸治氏にこの場を借りて厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- Baechele TR., and Earle RW. Essentials of Strength Training and Conditioning. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, pp 395-425, 2000.
- Conroy BO., Kraemer WJ., Maresh CM., Fleck SJ., Stone MH., Fry AC., Miller PD., and Dalsky GP. Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(10), pp1103-1109, 1993.
- Eriksen EF., Gundersen HJG., Melsen F., and Mosekilde L. Reconstruction of the formative site in iliac trabecular bone in 20 normal individuals employing a kinetic model for matrix and mineral apposition. *Metabolic Bone Disease and Related Research*, 5, pp243-252, 1984.
- 藤澤義彦 スポーツ選手の資質の検討における骨密度測定の可能性 (そのⅢ) *Doshisha Journal of Health & Sports Science*, 1, pp19-26, 2009
- Iguchi J., Yamada Y., Ando S., Fujisawa Y., Hojo T., Nishimura K., Kuzuhara K., Yuasa Y., and Ichihashi N. Physical and Performance characteristics of Japanese division 1 collegiate football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), pp3368-3377, 2011.
- Pocock N., Eisman J., Gwinn T., Sambrook P., Kelly P., Freund J., and Yeates M. Muscle strength, physical fitness, and weight but not age predict femoral neck bone mass. *Journal of Bone and Mineral Research*, 4(3), pp441-448, 1989.
- Raab DM., Crenshaw TD., Kimmel DB., and Smith EL. A histomorphometric study of cortical bone activity during increased weight-bearing exercise. *Journal of Bone and Mineral Research*, 6(7), pp 741-749, 1991.
- Rector RS., Rogers R., Ruebel M., Widzer MO., and Hinton PS. Lean body mass and weight-bearing activity in the prediction of bone mineral density physically active men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), pp427-435, 2009.
- Ryan AS., Ivey FM., Hurlbut DE., Martel GF., Lemmer JT., and Sorkin JD. Regional bone mineral density after resistive training in young and older men and women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14, pp 16-23, 2004.
- Sai H., Iguchi G., Tobimatsu T., Takahashi K., Otani T., Horii K., Mano I., Nagai I., Lio H., Fujita T., Yoh K., and Baba H. Novel ultrasonic bone densitometry based on two longitudinal waves: significant correlation with pQCT measurement values and age-related change in trabecular bone density, cortical thickness, and elastic modulus of trabecular bone in a normal Japanese population. *Osteoporosis International*, 21(10), pp 1781 – 1790, 2010.
- Uthoff HK., and Jaworski ZFG. Periosteal stress-induced reactions resembling stress fracture. A radiologic and histologic study in dogs. *Clinical Orthopedics*, 199, pp 284-291, 1985.