

マスターズ・ウエイトリフティング選手の骨密度, 筋力, 筋断面積から見た
高強度レジスタンストレーニングの影響

Effects of heavy resistance training on bone mineral density, muscle strength
and cross-sectional area in Master's weightlifters.

岡田 純一*¹, 柳谷 登志雄*², 倉持 梨恵子*³, 鳥居 俊*¹

*¹ 早稲田大学スポーツ科学学術院

*² 順天堂大学スポーツ健康科学部

*³ 中京大学スポーツ科学部

キーワード: トレーナビリティ, レジスタンストレーニング, マスターズ, ウエイトリフティング

Key Words: Trainability, Resistance Training, Masters athletes, Weightlifting

抄 録

中高齢者におけるレジスタンストレーニングにおいては, 筋機能向上, 骨粗鬆症予防などの効果が期待されている。ウエイトリフティング競技者の身体は継続的に高強度レジスタンストレーニングの影響を受けており, その特徴を明らかにすることはレジスタンストレーニングの効果やその程度を知る手がかりとなる。そこで本研究は, マスターズ・ウエイトリフティング選手における長期的な高強度レジスタンストレーニングが筋力, 筋断面積および骨密度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

ウエイトリフティング群9名(WL 群)(52.6歳±6.8歳)および対照群6名(C 群)(52.0±8.3歳)が測定に参加した。WL 群は全日本マスターズ大会に参加しており, 最高挙上重量(1RM)はスナッチ 79.2±16.3kg, C&J102.5±23.8kg およびスクワット 155.0±53.5kg であった。

超音波法による踵骨骨密度(OSI)に有意差はなかったが, DEXA 法による腰椎骨密度において WL 群が 38%有意に高値であった($p < 0.01$)。一方, 等速性膝関節伸展筋力, 等速性膝関節屈曲筋力(60度/s), 等尺性股関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力において差は認められなかった。一方, 大腿前部, 大腿後部, 大殿筋および内転筋群の筋断面積において, WL 群はC群よりも高値を示したが, 大腰筋では差異が見られなかった。しかし, WL 群においては等速性膝関節屈曲筋力($r=0.73$), および等尺性股関節伸展筋力($r=0.81$)と大腿後部筋断面積との間に有意な相関関係が認められた。その要因として, ウエイトリフティング特有の運動によって長期間にわたり体軸骨格へ機械的刺激が与えられていること, ウエイトリフティングの挙上動作によって大腿後部の筋群が動員される頻度が高いことが考えられた。

これらのことから, ウエイトリフティング競技による長期的なレジスタンストレーニングの影響として, マスターズ・ウエイトリフティング選手の腰椎骨密度および下肢の筋断面積が対照群よりも高値であること, 他の部位に比べて大腿後部の筋群が強く影響を及ぼされていることが示唆された。

I 緒言

アスリートのみならず、中高年者の体力づくりプログラムにおいて、レジスタンストレーニングが盛んに取入れられてきている。さらに虚弱高齢者を対象とした介護予防の分野においても筋力の維持・向上が重要な課題となっている(Elizabeth Best-Martini et al. 2003)。中高齢者において、レジスタンストレーニングに期待されている効果は、筋力の増加に伴う身体活動レベルの向上が主である。しかし、その他にも筋量増加により基礎代謝量が高められ、肥満を改善し成人病予防に寄与すること、加齢にともなう骨密度の減少を予防する効果などが挙げられる(Westcott and Baechle 1998, Faigenbaum 2008)。

ウエイトリフティング競技はボディビルあるいはパワーリフティングと同様にレジスタンス・エクササイズを主とした活動である。とくにウエイトリフティングはスナッチおよびクリーン&ジャーク種目において、より重い重量を頭上に挙げるのが目的となっている。しかし、日常のトレーニングはこれらの競技種目および関連する補助エクササイズとともに一般的なレジスタンス・エクササイズから構成される(Garhammer and Takano 1992, Kanehisa et al. 1998)。したがって、ウエイトリフティング競技者の身体は継続的な高強度レジスタンストレーニングの影響を受けており、その特徴を明らかにすることはレジスタンストレーニングの効果やその程度を明らかにする一助となる。

骨密度に及ぼす運動の影響に関する横断的研究から、青少年期の激しい運動経験を有するスポーツ選手は中高年期における骨密度が同年代の平均値より高いこと(Conroy et al. 1993, 岡田ら 1994)、あるいはスポーツ選手は引退後に中高年期を迎えても非運動群より骨折の危険性が低いことが指摘されており(Guadalupe-Grau et al. 2009)、中高年期になっても高い骨密度を維持するためには、若い頃の運動が重要であると言わ

れている(Conroy et al. 1993, Ratamess 2008)。また縦断的研究では、55 歳から 75 歳を対象に実施した 50%1RM 強度のレジスタンストレーニングでは骨密度は維持されるに止まったが、54 歳から 61 歳の被験者においては 65-87%1RM に相当する 5-15RM のトレーニングを 4 ヶ月実施し、2.0% の腰椎骨密度の増加を報告している(Menkes et al. 1993)。30 歳から 40 歳で最大骨量(Peak Bone Mass)を迎え、その後加齢にともない減少していく骨量が、中高年あるいはそれ以上の年代に対して注目されるのは、低下した骨量が骨粗鬆症のリスクを高めるためである(Conroy et al. 1993, Heaney et al. 2000)。

Kanehisa ら(1998)は対照群(一般大学生)に比べてウエイトリフティング選手において、上肢および下肢の筋断面積および骨断面積が有意に高値(22~57%)であることを報告し、ウエイトリフティングへの長期間の参加によって、ウエイトリフティングのトレーニングが筋とともに骨の顕著な肥大を促したと考察しているが、骨密度は評価されていなかった。一方、Conroy ら(1993)は長期的かつより強い力学的ストレスの影響を受けているジュニア・ウエイトリフティング選手(17.4 歳)を対象に横断的調査を実施し、同年代の対照群より有意に高い腰椎および大腿骨骨密度であったことを報告している。また、その値は一般成人(20-39 歳)の標準値を 13~31% 上回っていたと報告している。青年期においては、これらのウエイトリフティング選手を対象とした先行研究から、長期的なレジスタンストレーニングによる筋肥大および骨密度への影響が見られている。しかし中高齢者に関する情報は乏しく、40 歳代~80 歳代の世界マスターズ・ウエイトリフティング選手権の参加者において、筋力およびパワー指標について報告されている(Pearson et al. 2002)が、筋断面積あるいは骨密度は含まれていない。

そこで本研究は、マスターズ・ウエイトリフティン

グ選手における長期的な高強度レジスタンストレーニングが筋力, 筋断面積および骨密度に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

II 方法

1. 対象

本研究の対象は、定期的なトレーニング習慣のあるマスターズ・ウエイトリフティング選手9名(WL 群), および対照群6名(C 群)とした。WL 群は全日本マスターズ・ウエイトリフティング選手権大会に出場経験があり, ウエイトリフティング競技のトレーニングあるいはレジスタンストレーニング

を継続的に(10 年~35 年)実施していた。彼らが測定6ヶ月以内に記録した最高挙上重量は、スナッチ 79.2±16.3kg, クリーン&ジャーク 102.5±23.8kg, スクワット 155±53.5kg(2 名は該当する記録なし;n=7)であった。一方C群は、ウォーキング, 水泳等の健康増進を意図した運動を定期的に(1 回~5 回/週)実施していたが, 両群の特性(年齢, 身長, 体重および体脂肪率)に有意差は無かった(表1)。被験者には、予め研究内容, 測定に関するリスク等を書面および口頭で説明し, 書面による同意を得た。

表1 被験者特性

		WL			C		
		n	Mean	SD	n	Mean	SD
年齢	歳	9	52.6	6.8	6	52.0	8.3
身長	cm	9	167.4	5.9	6	171.0	5.1
体重	kg	9	73.7	8.0	6	66.3	6.2
体脂肪率	%	9	24.7	4.9	6	22.3	3.4

2. 測定項目

身体組成, 骨密度および下肢筋力を両群において測定した。WL 群に対してはこれに加え, 競技に特異的な動作中のパワー測定を実施した。なお骨密度(DEXA)およびMRI撮影は協力医療機関において実施した。

4 極式インピーダンス体脂肪測定器(TBF-300, TANITA 社製)を用いて体重, 体脂肪率を求めた(Nuñez et al. 1997)。踵骨については超音波法(AOS-100, Aloka 社製, Tsuda-Futami et al. 1999), 腰椎(L2-L4)にはDEXA法(QDR-1000, Hologic 社製)を用いて骨密度を測定した。股関節の等尺性屈曲および伸展筋力をハンドヘルドダイナモメータ;Power Track II (Jtech Medical Industry)を用いて測定した。すなわち, 検者は大腿部遠位端にダイナモメータを当て, 腹臥位(伸展時)あるいは仰臥位(屈曲時)の被験者に

膝を伸ばした状態で右脚を全力で挙上させた。このとき床面から10cm程度脚部を持ち上げた位置で等尺性筋力を測定した(小林, 2001)。また両群ともに繰り返し測定の再現性(CV%)が5%以内の同一検者によって実施された(鳥居2003)。

等速性膝関節伸展および膝関節屈曲筋力(右脚)をCybex II+を用いて測定した。座位で膝を90度に屈曲した位置から最大伸展位まで動作させ, 一旦静止させた後に屈曲動作を実施した。角速度を60度/秒とし, 最大努力で3試行実施し, ピークトルクの最大値を分析に用いた。

大腿部の筋断面積を評価するために, MRI撮影を実施した。MRI(Signa 1.5T)の撮像条件をFOV300, TR/TE 500/17とし, スライス厚5mmとした。スライスは大腿長を基準に10%毎の位置から得た。同様に大腰筋の横断像を得るために,

第 5 腰椎 (L5) 上縁で体幹部の横断像を撮像した。これにより得られた画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像処理ソフトウェア (Image J; NIH) を用いて、大腿前部 (内側広筋, 外側広筋, 大腿直筋および中間広筋), 大腿後部 (大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋など), 内転筋群, 大殿筋および大腰筋を計測した。解析においては同一の検者が全対象者の筋断面積を計測した。

WL 群において競技およびトレーニング動作を模した動作中のパワーを計測するために、多用途パワー測定装置、パワープロセッサ (ヴァイン社製) を用いた (Funato et al, 2000)。この装置は本体に装備されたワイヤーを引き出すときに、ワイヤーにかかる張力と線速度を測定し、パワーを算出することができる。ロータリーエンコーダを備えた回転軸にワイヤーが巻き付けられており、このワイヤーを引き出すときの張力をトランスデューサーが検出している。さらに電圧制御のパウダーブレーキによって抵抗負荷を加えることができる。パワープロセッサの出力信号は A/D 変換されパーソナルコンピュータに 500Hz で取り込まれた。この張力と速度を乗じて経時的にパワーを求めている。装置のワイヤーに専用のアタッチメントを介して、競技で使用している公認バー (20kg) を連結し、競技種目に特異的な動作パワーを測定した。対象とした動作はスナッチを模した引き上げ (スナッチ動作) およびスクワットを模した立ち上がり (スクワット動作) であった。スナッチ動作においては、膝蓋骨上縁にバーを構えた姿勢 (ハングポジション) から動作を開始し、競技時と同様な動作で最大努力によるバーの牽引を行うよう指

示した。一方、スクワット動作においては、上背部 (僧帽筋) にバーを担ぐハイパーポジション (Baechle and Earle 2008), 膝関節角度 90 度を開始姿勢とし、同じく最大努力で立ち上がるよう指示した。パワーテストの手順において、被験者はブレーキ抵抗を最小にした 0V から試行を開始し、順次抵抗を高めた。それぞれの試行後にパワー値を確認し、負荷の増大にともなうパワーの増加を確認した。そしてパワーが最大値 (Pm) に達し、その後負荷が増してもパワーが低下したことを確認し測定を終了した。この Pm と Pm が出現した試行の張力のピーク値 Fm を分析に用いた。

測定の結果を平均値および標準偏差で表し、WL 群および C 群間の差の検定には対応のない t 検定を用いた。筋断面積における群間比較には分散分析 (反復測定) を用い、群間差が有意の場合は Bonferroni の検定を行った (Stat view 5.0)。また、筋力と筋断面積、パワーと挙上記録の関係については回帰分析を行い、いずれも有意水準を 5% 未満とした ($p < 0.05$)。

III 結果

両群の骨密度および筋出力指標の平均値および標準偏差を表 2 に示した。踵骨骨密度 (OSI; osteo sono-assessment index) は WL 群および C 群それぞれにおいて 2.987 ± 0.308 および 2.786 ± 0.421 (10^6) であり、有意差は認められなかった。一方、腰椎骨密度においては WL 群が C 群に比べて 38% 有意な高値を示した (WL; 1.387 ± 0.262 , C; $1.003 \pm 0.180 \text{g/cm}^2$; $p < 0.01$)。

表2 骨密度および筋出力

項目	WL			C			p		
	n	Mean	SD	n	Mean	SD			
骨密度	踵骨	OSI(10 ⁶)	9	2.987	0.308	6	2.786	0.421	0.008
	腰椎	g/cm ²	9	1.387	0.262	6	1.003	0.180	
等尺性股関節筋力	伸展	N	9	274.8	64.1	6	241.3	43.6	
	屈曲	N	9	222.6	57.7	6	186.5	27.8	
等速性膝関節筋力	屈曲	Nm	8	109.7	18.0	6	99.8	20.8	
	伸展	Nm	8	169.7	32.1	6	144.9	28.1	
模擬動作パワー	スナッチ	W	9	1536	445				
	スクワット	W	8	1613	473				

等尺性股関節伸展筋力, 等尺性股関節屈曲筋力, 等速性膝関節伸展筋力, および等速性膝関節屈曲筋力において両群間に差は見られなかった. WL 群においては, 競技およびトレーニング動作を模した動作中のパワーを測定した. スナッチ動作の平均値は 1,536±445W, スクワット動作においては 1,613±473W と個人差が大きく, それぞれ 991~2,146W, 834~2,122W の範囲であった. なお 1 名 (WL 群) が等速性膝関節筋力測定およびスクワット動作の測定において違和感を訴え測定を中止した.

大腿前部, 大腿後部, 内転筋群および大殿筋における大腿長の 10% 毎の筋断面積について平均値および標準偏差を図 1 に示した. 大腿前部 (内側広筋, 外側広筋, 大腿直筋および中間広筋) において, WL 群および C 群の筋断面積は 40% 部位で最大値 (WL; 82.6 ± 12.6, C; 63.33 ± 4.06cm²) を示すとともに, 20% ~ 80% 部位において, WL 群が高値であった. 大腿後部 (半腱様筋, 半膜様筋, 大腿二頭筋) においては 60% 部位が最大 (WL; 35.5 ± 4.3, C; 28.68 ± 5.65cm²) であり, 40 ~ 80% 部位に有意差が認められた. 同じく内転筋群では 10 ~ 60% 部位, 大

殿筋は 10 ~ 20% 部位において WL 群が有意に高い値を示した. また, 大腰筋の筋断面積は WL 群において右 12.2 ± 2.6, 左 12.1 ± 2.7cm², 同じく C 群において右 10.1 ± 3.0, 10.4 ± 2.9cm² であり, 両群間に有意差は認められなかった.

筋力と筋断面積の関係を大腿前部の筋断面積について図 2 に, 同じく大腿後部について図 3 に示した. 大腿前部が主に関与する等速性膝関節伸展筋力ならびに等尺性股関節屈曲筋力との関係を描画したが, 両群ともに有意な関係は認められなかった. 一方, 大腿後部と等尺性股関節伸展筋力 (r=0.81, p<0.01) および等速性膝関節屈曲筋力 (r=0.73, p<0.05) との間には WL 群においてだけ, 有意な相関関係が認められた.

図 4 にスクワット運動を模した動作中のパワーと実際のバーベルでの最高挙上記録の関係を示した. スクワットにおいてパワー測定を中止 (1 名) あるいは 1RM を実施しておらず, 一部で (2 名) 不明だったことから 6 名のデータとなった. スナッチにおいては有意な関係は認められなかったが, スクワットの挙上記録と Pm (r=0.91, p<0.05) および Fm (r=0.94, p<0.01) との間に有意な直線関係が認められた.

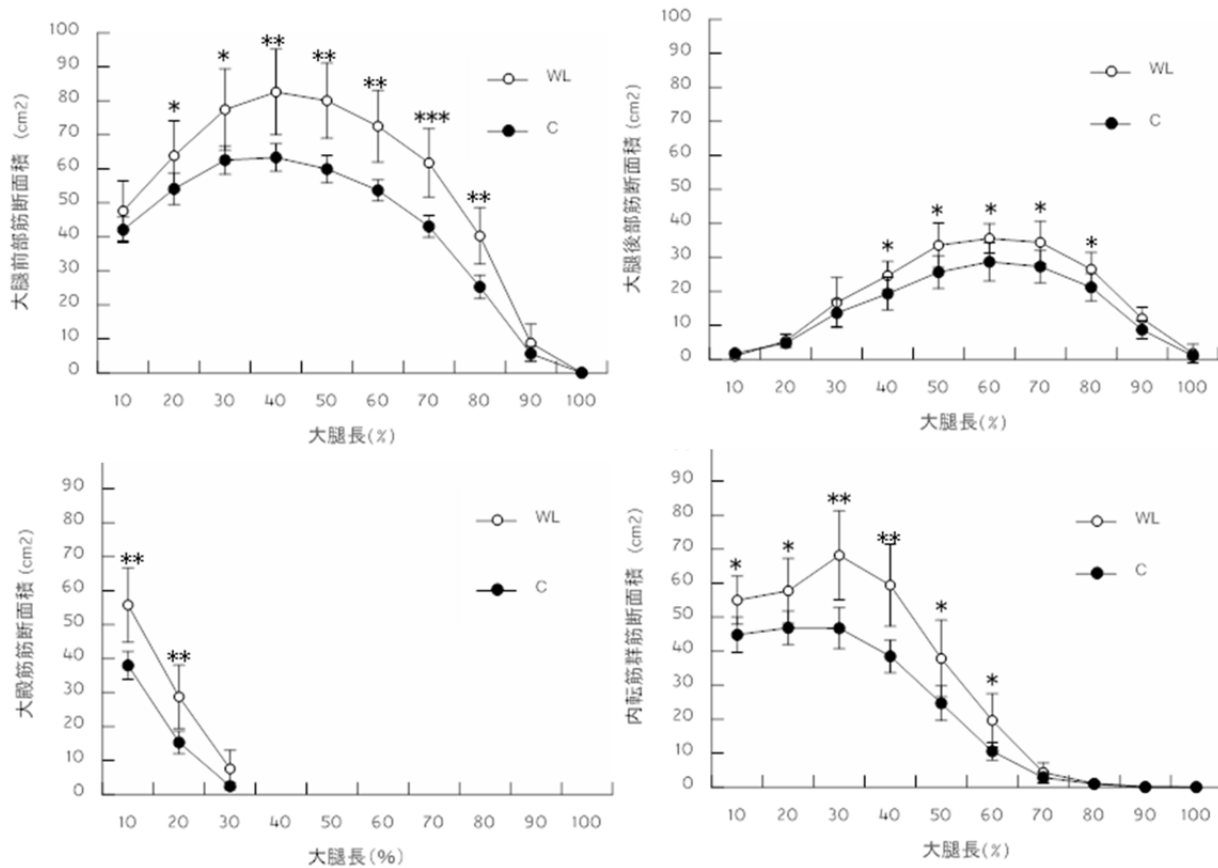


図1 MRIによる下肢の筋断面積
横断像は大腿長の10%毎に得た * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

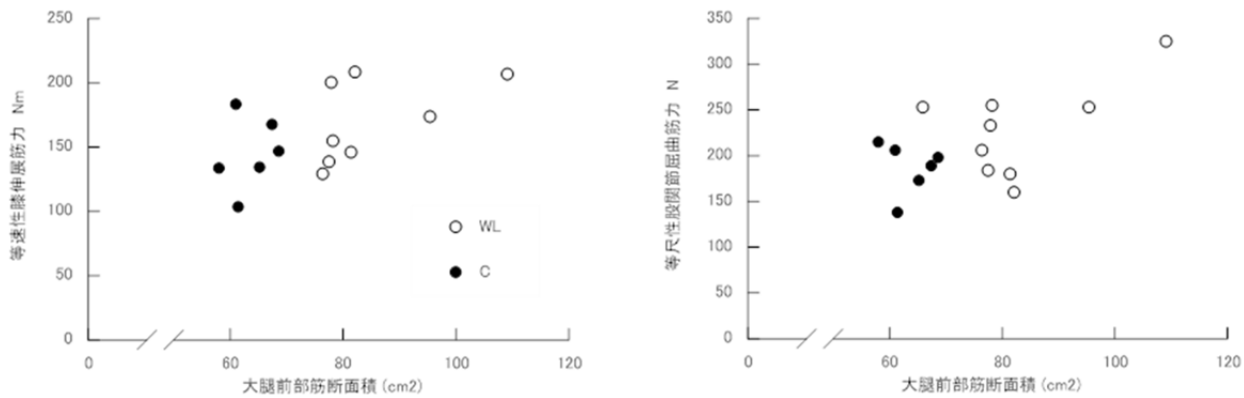


図2 等尺性股関節屈曲筋力および等速性膝伸展筋力 (60度/秒)と大腿前部筋断面積との関係
○ウエイトリフティング群 ●対照群

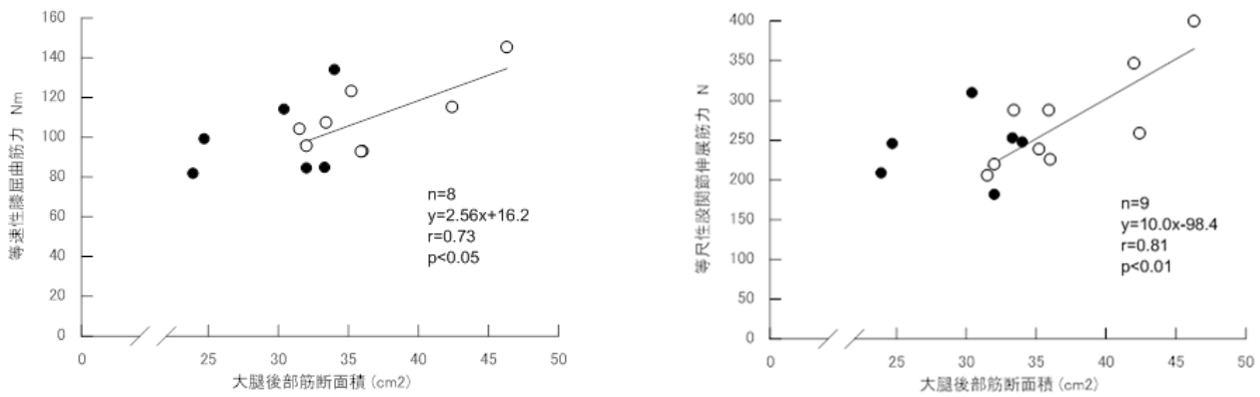


図3 等尺性股関節伸展筋力および等速性膝屈曲筋力 (60 度/秒)と大腿後部筋断面積との関係
○ウエイトリフティング群 ●対照群

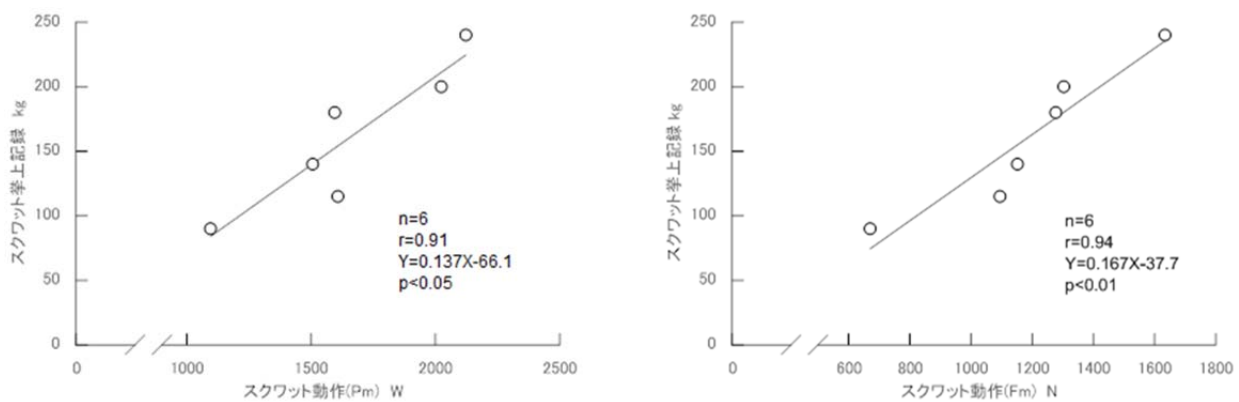


図4 スクワットの挙上記録とスクワット模擬動作時の最大パワー(Pm)および最大張力(Fm)との関係

IV 考察

本研究は、マスターズ・ウエイトリフティング選手(WL 群)を対象とし、骨密度、下肢筋力、筋断面積および模擬動作パワーを評価した。その結果、等速性膝関節伸展筋力、等速性膝関節屈曲筋力、等尺性股関節伸展筋力、および等尺性股関節屈曲筋力の平均値においては対照群(C 群)と差は認められなかったが、筋断面積および腰椎骨密度においてWL 群が有意に高い値を示した。

大学生 WL 選手と同年代の対照群を比較した先行研究(Kanehisa et al. 1998)において、50% 部位の膝関節伸展筋群の筋断面積が 53%、同膝屈曲筋群では 34%、WL 群が高値を示していた。本研究においてWL 群とC 群との間に年齢、

身長、体重に有意差を認めなかったが、同様に 50% 部位を比較すると大腿前部筋断面積において 34% ($p<0.01$)、同じく大腿後部において 31% ($p<0.05$)、C 群よりも WL 群の方が有意に高値を示していた。大殿筋(10-20%部位)および内転筋群(10-60%部位)も同様に WL 群が大きな値を示した。WL 群の競技特性として下肢および体幹の筋力、パワーが重要であることから、主要なトレーニング種目にスクワットが位置づけられている(Garhammer and Takano 1992)。中高齢のマスターズ選手においても、大学生と同様な対照群との差を有していることが示唆された。一方、大殿筋において有意差が認められなかったことは、WL 群において股関節屈曲が主要な動作ではないこと(Baumann et al. 1988)、あるいは C 群もウ

オーキングなどの股関節屈曲をとまなう運動習慣を有していることがその一因と推察された。

等速性膝関節伸展筋力, 等速性膝関節屈曲筋力, 等尺性股関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力の平均値において、両群間に有意差は認められなかった。WL 群が筋断面積においては高値を示したが、これら筋力の指標において両群に差が見られなかった。そのため本研究の等速性膝関節筋力と先行研究で多く用いられている 50%部位の大腿部筋断面積から単位筋断面積当たりの筋力を算出した。大腿前部では WL 群が 2.08 ± 0.03 , C 群では $2.41 \pm 0.41 \text{ Nm/cm}^2$, 同様に大腿後部では 3.43 ± 0.57 および $3.95 \pm 0.77 \text{ Nm/cm}^2$ となり、いずれも C 群の方が高値となったが有意差は認められなかった。一般にレジスタンストレーニングの効果として、神経系の適応, すなわち運動単位の動員が高まることで単位筋断面積当たりの筋力が増大することが知られている(福永 1978)。したがって、高い筋力発揮を要する競技を実施している WL 群は C 群より高い値を示すと考えられる。しかし、全日本選手権出場レベルの 11 競技種目の男子選手と一般人の単位筋断面積当たりの等尺性膝関節伸展筋力を種目別に比較した Kanehisa ら(1986)の報告では、サッカーおよびパワーリフティングが他の種目に比べて有意に高い値を示し、ウエイトリフティング, 柔道, 相撲といった種目の平均値は一般男子より低値であった。また、単位筋断面積当たりの筋力においては種目に関係なく個人差が大きく、筋力的要素の強い種目が必ずしも高い絶対筋力を示すとは限らないと報告されている。さらにスポーツ選手と一般人の男女を問わず、単位筋断面積当たりの筋力の分布範囲は等尺性膝伸展筋力では $4 \sim 11 \text{ N/cm}^2$ と広範囲であった(金久ら 1988)。その要因として筋線維組成および神経系の作用(福永 1983)あるいは筋線維の走行方向(Maughan and Nimmo 1984)

などの先天的あるいは解剖学的な要素が考察されている(金久ら 1988)。

大腿前部筋断面積の最大値とその筋群が主に貢献する等速性膝関節伸展筋力および等尺性股関節屈曲筋力の関係(図2), ならびに大腿後部筋断面積の最大値と等速性膝関節屈曲筋力および等尺性股関節伸展筋力の関係(図3)において、群毎で有意な関係が見られたのは WL 群における大腿後部筋断面積と等速性膝関節屈曲筋力および等尺性股関節伸展筋力においてだけであった。筋断面積と筋力に有意な関係が見られることは、他の部位に比べて、被験者の単位断面積当たりの筋力に個人差が少なく一様であったことを示している(福永 1978)。ウエイトリフティングのスナッチ動作の分析から、バーの引き上げ動作において足関節底屈および膝関節伸展よりも股関節伸展の貢献度が高く、挙上時の筋出力の約 60%と見積もられている。すなわち股関節伸展筋群(大腿後部, 殿部および背部)の重要性が競技動作の特徴として示されている(Baumann et al. 1988)。この引き上げ動作はクリーン&ジャーク競技においても同様であり、トレーニングにおいて高い頻度で動員されることから(Garhammer and Takano, 1992), ウエイトリフティングにおけるこの筋群の重要性が反映されている結果と考えられた。

マスターズ選手特有の問題として、若い選手と比較して、記録の向上より維持を目的とし、厳しいトレーニングに身を曝していないことが考えられる。青年期であれば痛みを我慢してでも必要なトレーニングを実施することもあるだろう。しかし、関節の痛みや苦手意識があるスクワット運動を敬遠していることも考えられる。挙上記録の聞き取りにおいて、スクワットの 1RM を実施していないとの回答が 2 名からあった。すなわち大腿前部の筋群の主要な強化手段であるスクワット(Baechle, 2008)について、WL 群が一様なトレーニング状

況ではないことも事実であった。また、本研究において、違和感を感じ膝伸展およびスクワット動作パワー測定を1名が中止している。マスターズ・ウエイトリフティング選手を対象とした先行研究においても、多くの選手がテスト中に膝の不快感を訴えたと述べられている(Pearson et al. 2002)。このようにマスターズ選手においては、競技に取組む姿勢が異なる可能性があること、あるいは傷害を有している可能性も高いことから、青年期のアスリートほど均質な集団ではないことが推察される。このことも筋力の平均値において C 群との差が見られなかった一因と考えられた。

WL 群において実施したスナッチおよびスクワットを模した動作中の最大パワー(模擬動作パワー; Pm)はスナッチ動作で $1536 \pm 445W$ 、スクワット動作では $1613 \pm 473W$ であった。この値は日本代表候補選手のスナッチよりグリップ幅が狭いクリーン模擬動作時のパワー($1766 \pm 576W$)より低く、同じくジュニア(中学生)選手($1238 \pm 397W$)より高い値(岡田 1995)であった。また、スナッチ動作の Pm と挙上記録の間に有意な正の相関関係($r=0.88$, $P<0.01$)が大学生選手において認められている(OKADA, 2000)。本研究においてスナッチにおける Pm および Fm(最大張力)と挙上記録の間に有意な関係は見られなかったが、スクワット動作においては Pm ($r=0.91$, $p<0.05$)および Fm($r=0.94$, $p<0.01$)との間に有意な関係が認められた。この要因として、スナッチとスクワットの動作特性および加齢にともなう筋力とパワーの低下率の差異が考えられる。最大筋力はパワー出力に影響する基礎的因子である(Schmidtbleicher 1992)とされ、Stone ら(1980)は最大筋力が爆発的パワースポーツに大きく影響すると結論している。したがって、最大パワーが高いこと、および最大パワーがより高い力発揮レベルで発現することが、スナッチおよびスクワットのような高強度エクササイズで必要な要素であると考えられる。しかし、

エクササイズとしてスナッチとスクワットを比較すると、一気に頭上へ挙上するスナッチの方が、動作自体がより高速でなければ成立しない(挙上が成功しない)ため、高いパワー出力が要求される。一方、スクワットはしゃがんで立ち上がるだけの運動で、スナッチに比して技術的影響も小さく、 $0.5m/s$ で 1RM 挙上が可能である(Garhammer, 1986)。さらに、一般高齢者と同様にマスターズ・ウエイトリフティング選手においても、加齢にともなう等尺性膝関節伸展筋力および脚伸展パワーの低下がみられ、パワー($1.3\%/年$)の方が筋力($0.6\%/年$)に比べて低下率が高い傾向にあった(Pearson et al. 2002)。このように加齢にともない、筋力よりもパワーの低下率が大きいことから、スナッチとスクワットを比較すると、スナッチの方が加齢による影響を受けやすく、最高挙上重量とパワーの関係が若年者と異なる傾向にあったと推察された。

本研究の踵骨骨密度において、 52.6 ± 6.8 歳の WL 群が 2.987 ± 0.31 、同じく 52 ± 8.3 歳の C 群は 2.789 ± 0.42 の踵骨骨密度(OSI)であったが、WL 群と C 群の間に有意差は認められなかった。しかし、WL 群は平均 35.2 ± 5.5 歳(14名)について報告されている 2.98 ± 0.36 (Tsuda-Futami et al. 1999)に匹敵し、C 群は同年代(50 ± 12 歳, 4,183名)の平均値 2.85 ± 0.32 より低い数値であった(Hirose et al. 2003)。骨量は成長とともに増加し 30 歳~40 歳にピークを迎え、その後低下していく。とくに女性においては閉経後に骨形成を促進するエストロゲンなどの分泌低下から、骨量の減少傾向が加速されると言われている(Heaney et al. 2000, Brown and Weir 2004)。骨粗鬆症予防においてライフスパンでみると、青少年期の運動が骨量の増大を促し、最大骨量(Peak Bone Mass)を高め、中年期以降の骨粗鬆症リスクを低減させると考えられている(Ratamess 2008)。体重の 10 倍に及ぶ床反力に

曝されている 9 歳の女子体操選手を対象とした研究では、同年代の対照群にくらべ 5.7% 高い骨密度であった (Daly 1999). 同じく 9 歳の男子サッカー選手を対象として研究では、下肢 4%, 腰椎 2%, 大腿骨頸部 5% 非活動的な同年の対照群に比べてそれぞれ高値であった (Alfredson 1996, Vicente-Rodriguez 2003, 2004). このように体枝, 体軸骨格へ作用する骨原性張力はジャンプ, キック, スプリント走, 急激な方向変換など様々なスポーツ場面で生じている. 一方, 重力の影響が少ない水泳や漕艇のようなスポーツでは体力への有効性はあるが, 骨形成に対する利得はみられないと言われている (Guadalupe-Grau et al. 2009). このように運動は骨形成に有効であるが, 運動の特性, 種類, とくに力学的内容によって, その影響に違いがあることが分かる. 中高年者を対象とした研究において, 運動の種類あるいは強度が骨密度に及ぼす影響が見られている. Menkes ら (1993) は, 54 歳~61 歳の男性において, 週 3 回 4 ヶ月のレジスタンストレーニングを 5-15RM の強度で実施させた. その結果, 2% および 3.8% の腰椎および大腿骨頸部骨密度の増加を認めた. 一方, 40~60% $\dot{V}O_{2max}$ の定期的な有酸素運動が 53 歳~62 歳の男性において 48 ヶ月継続されたが, 加齢にともなう大腿骨骨密度の減少に対する改善効果はみられていない (Huuskonen et al. 2001). しかし, 有酸素運動 (60~90% HRmax) が 50% 1RM の軽レジスタンストレーニングと合わせて 6 ヶ月実施された事例では, 男性において骨密度が維持されたが, 女性では減少していた (Stewart 2005). これらの先行研究から, 運動の種類によって骨密度に与える影響は異なること, 加齢にともない骨量が減少している中高年者においても運動時に加わる力学的な作用のより大きい運動が, 骨密度減少を抑制する, あるいは骨密度を増加へ転じさせることが示唆されている.

このような骨格への機械的ストレスの高いスポーツ選手のプロフィール (Daly 1999 Alfredson et al. 1996, Vicente-Rodriguez et al. 2003, 2004), あるいはレジスタンスエクササイズを用いたトレーニング実験 (Huuskonen et al. 2001) から, それらが骨密度増加に好影響を有することは明らかである. 本研究で評価した腰椎 (DEXA 法) の骨密度において WL 群が C 群に比べ有意に高値であった ($p < 0.01$). Conroy ら (1993) は長期的かつより強い力学的ストレスの影響をジュニア・ウエイトリフティング選手 (17.4 歳) を対象に検討し, 同年代の対照群より有意に高い腰椎および大腿骨骨密度であったことを報告している. また, その値は一般成人 (20-39 歳) の標準値を 13~31% 上回っていた. 本研究の WL 群は平均 52 歳であったが, 最低でも 10 年以上の競技経験があり, 学生時代から継続している者では 35 年に及ぶ競技歴を有していた. また, 単なるレジスタンストレーニング実践者ではなく, ウエイトリフティング競技を長期に実践していた. 従って, トレーニングマシンなどによる単関節運動あるいは特定の筋群に着目したレジスタンストレーニングだけではなく, スナッチおよびクリーン&ジャークというバーベルを頭上へ挙上する運動を競技種目として実施し, スクワットやデッドリフトを主な補強種目として実施していた (Garhammer and Takano 1992). これらはいずれも体枝だけに負荷の掛かる運動ではなく, 体軸性骨格である脊柱にストレスが加わるため, トレーニング科学の専門書ではとくに “Structural Exercise” として分類されている (Baechle et al, 2008, Ratamess 2008). Kanehisa ら (1998) は骨密度を評価していないが, 対照群に比べて大学生 WL 選手において, 上肢および下肢の骨断面積が有意に高値 (22~57%) であることを報告し, ウエイトリフティングへの長期間の参加によって, ウエイトリフティング動作が筋とともに骨の顕著な肥大を促したと考察している.

すなわち本研究において、踵骨における有意差は見られなかったが、腰椎においてWL群がC群より38%高い骨密度を示したことは、長期間にわたる“Structural Exercise”が体軸骨格へ機械的刺激を与えた影響であろうと考えられた。

これらのことから、ウエイトリフティング競技による長期的なレジスタンストレーニングの影響として、マスターズ・ウエイトリフティング選手の腰椎骨密度および下肢の筋断面積が対照群よりも高値であること、他の部位に比べて大腿後部の筋群が強く影響を及ぼされていることが示唆された。

参考文献

- ・ Alfredson H, Nordström P, Lorentzon R. (1996) Total and regional bone mass in female soccer players., *Calcif Tissue Int.* 59(6):438-42
- ・ Baechle TR and Earle RW (2008) Resistance training and spotting techniques. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.*325-376
- ・ Baechle TR and Earle RW, Wathen D (2008) Resistance training. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp.381-412
- ・ Baumann, W., Gross, V., Quade, K., Galbierz, P. & Schwirtz, A. (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 world championships. *International Journal of Sports Biomechanics*, 4:68-89
- ・ Brown, LE and Weir, JP (2004) Resistance training adaptations. Baechle TR and Earle RW Ed. *NSCA's Essentials of personal training.* pp:80-98
- ・ Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, Miller PD, Dalsky GP. (1993) Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med Sci Sports Exerc.* 25(10):1103-1109.
- ・ Elizabeth Best-Martini, Kim A. Botenhagen-DiGenova (2003) *Exercise for Frail Elders Human Kinetics*, pp121-150
- ・ Faigenbaum AD (2008) Age- and sex-related differences and their implications for resistance exercise. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp.141-158
- ・ 福永哲夫(1978)ヒトの絶対筋力—超音波法による体肢組成・筋力の分析—。杏林書院：東京, pp.182-227
- ・ 福永哲夫(1983)筋の活動性肥大と筋力. *J J Sports Sci.* 2:13-22
- ・ Funato K, Matsuo A, Fukunaga T(2000) Measurement of specific movement power application: evaluation of weight lifters.*Ergonomics* 43(1):40-54
- ・ Garhammer J and Takano B (1992) Training for weightlifting. *Strength and power in sport.* Komi PV Ed. pp.357-369
- ・ Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Guerra B, Calbet JA (2009) Exercise and bone mass in adults. *Sports Med.* 39(6):439-68
- ・ Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, Weaver C (2000) Peak bone mass. *Osteoporos Int.* 11(12):985-1009
- ・ Hirose K, Tomiyama H, Okazaki R, Arai T, Koji Y, Zaydun G, Hori S, Yamashina A. (2003) Increased pulse wave velocity associated with reduced calcaneal quantitative osteo-sono index: possible relationship between atherosclerosis and osteopenia. *J Clin Endocrinol Metab.*

- 88(6):2573-8
- ・ Huuskonen J, Väisänen SB, Kröger H, Jurvelin JS, Alhava E, Rauramaa R (2001) Regular physical exercise and bone mineral density: a four-year controlled randomized trial in middle-aged men. *The DNASCO study. Osteoporos Int.* 2001;12(5):349-55
 - ・ 金久博昭(1988)筋力のトレーナビリティー. *体育の科学*, 38:446-455
 - ・ 金久博昭, 福永哲夫, 池川繁樹, 角田直也 (1986) スポーツ選手の単位筋断面積当たりの脚伸展力. *J. J. Sports Sci.*, 5:409-414
 - ・ Kanehisa H, Ikegawa S, Fukunaga T. (1998) Body composition and cross-sectional areas of limb lean tissues in Olympic weight lifters. *Scand J Med Sci Sports* 8(5):271-278
 - ・ 小林武(2001)筋力計測機器<HHD>. 内山靖・小林武・間瀬教史編 計測法入門～計り方, 計る意味. 協同医書出版社:東京, pp.124-130
 - ・ Maughan RJ, Nimmo MA (1984) The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males. *J Physiol.* 351:299-311
 - ・ Menkes A, Mazel S, Redmond RA, Koffler K, Libanati CR, Gundberg CM, Zizic TM, Hagberg JM, Pratley RE, Hurley BF (1993) Strength training increases regional bone mineral density and bone remodeling in middle-aged and older men. *J Appl Physiol.* 74(5):2478-84
 - ・ Nuñez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z, Heymsfield SB. (1997) Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Med Sci Sports Exerc.* 29(4):524-531
 - ・ OKADA J (2000) Power and force output during a specific movement in weightlifters. *J Str Cond Res* 14(3):366
 - ・ 岡田純一, 船渡和男 (1995) ジュニアおよびシニア・ウエイトリフターの競技成績と除脂肪体重およびパワー発揮能力の比較. *日本オリンピック委員会スポーツ医科学研究報告 競技種目別競技力向上に関する研究第 19 報* 日本体育協会 278-282
 - ・ 岡田純一, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 原孝子, 加藤守 (1994) 一般人の骨量と運動に関する研究. 平成 6 年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告 No.X, 日本体育協会:東京. 1-12
 - ・ Pearson SJ, Young A, Macaluso A, Devito G, Nimmo MA, Cobbold M, Harridge SD (2002) Muscle function in elite master weightlifters. *Med Sci Sports Exerc.* 34(7): 1199-1206
 - ・ Ratamess NA (2008) Adaptations to anaerobic training program. Baechle TR and Earle RW Ed. *Essentials of strength training and conditioning 3rd.Humankinetics.* pp.93-119
 - ・ Stewart KJ, Bacher AC, Hees PS, Tayback M, Ouyang P, Jan de Beur S (2005) Exercise effects on bone mineral density relationships to changes in fitness and fatness. *Am J Prev Med.* 28(5): 453-60
 - ・ 鳥居 俊 (2003) 軽症変形性膝関節症に対する運動療法の有効例の特性. *Health Sciences*, 19(2):122-126
 - ・ Tsuda-Futami E, Hans D, Njeh CF, Fuerst T, Fan B, Li J, He YQ, Genant HK (1999) An evaluation of a new gel-coupled ultrasound device for the quantitative assessment of bone.

Br J Radiol. 72(859):691-700

- Vicente-Rodriguez G, Ara I, Perez-Gomez J, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2004) High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. Med Sci Sports Exerc. 36(10): 1789-95
- Vicente-Rodriguez G, Jimenez-Ramirez J,

Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JA (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. Bone. 33(5): 853-859

- Westcott WL and Baechle TR (1998) Strength training past 50. Humankinetics, pp.1-10