

高齢者への異なる関節角度の 自重負荷スクワットトレーニングの効果

中 京 大 学 吉 子 彰 人
(共同研究者) 同 渡 邊 航 平

Effect of Two Different Knee Joint Angle Squat Trainings on Knee Extension Peak Torque, Muscle Thickness and Physical Functions in Older Individuals

by

Akito Yoshiko, Kohei Watanabe
*School of International Liberal Studies,
Chukyo University*

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of depth in squat exercise on knee extension peak torque, muscle thickness and physical functions. Twenty-one participants were randomly assigned large angle change squat (LAC-squat) groups (age, 69.1 ± 3.3) and small angle change squat (SAC-squat) groups (age, 72.1 ± 4.5). Participants touch the hip on the 40 cm and 60 cm height chairs during LAC-squat and SAC-squat. They performed 2 sets of 68 times squat per day, 3 days per week, for 12 weeks, and their knee extension peak torque, muscle thickness and physical functions were measured before and after the intervention. As the result, 30 sec sit-to-stand repetition and 1 repetition maximum of leg press were significantly improved after the training in both groups ($p < 0.05$). Muscle thickness was significantly increased only in LAC-squat group ($p < 0.05$). These findings indicated that the weight-bearing squat training in the older adults was recommended from the perspective of the prevention of sarcopenia and the maintenance of independent activities of daily living. On the other

hand, this result suggests that the difference of knee joint angle during squat training may relate with the effects of squat training.

要 旨

本研究では、異なる沈み込み条件の自重負荷スクワットを設定し、それらのトレーニング効果を検討した。異なる条件のスクワットとして関節角度変化の大きいスクワット (LAC-squat) と小さいスクワット (SAC-squat) を設定した。LAC-squat は40cmのイスに、SAC-squat はその椅子の上に置いた20cmのクッションに臀部をつけるよう指示され、それぞれ68回実施した。高齢者21名を対象に、各スクワットを用いて12週間トレーニングを実施した。その結果、両群にてイス座り立ちテストとレッグプレスの1RMが有意に増加し、LAC-squat 群において外側広筋の筋厚が有意に増加した。この結果は高齢者でのスクワットトレーニングの有用性を示した一方、スクワットの関節角度変化の違いはトレーニング効果の一部に影響を与える可能性が示唆された。

緒 言

加齢に伴う骨格筋量の減少はいわゆるサルコペニアとして広く知られている¹⁾。またそれに伴う運動機能や筋力の低下はダイナペニアと呼ばれ、生活自立度の低下、生活の質 (いわゆるQOL) の低下、さらには生命予後の短縮に関わる点から着目されている。これに対して、高齢者に対するレジスタンス運動がサルコペニアやダイナペニアを改善・抑制するとして着目されている。先行研究では、レジスタンス運動を継続的に実施することで、高齢者であっても筋量が増加し、筋力が向上するといった成果が数多く報告されている²⁾。

歩行、階段の昇り降りやイスからの立ち上がり

運動の一環として自重負荷スクワットが広く行われている。実際にスクワットを含むレジスタンストレーニングは、高齢者の筋量や筋力を有意に増加させることが先行研究で報告されている³⁾。我々の研究グループも、スクワットを含めた10週間の自重負荷トレーニングが筋厚の増加やイス座り立ちなどの身体機能を向上させることを報告した⁴⁾。またFujitaら⁵⁾は、自重負荷スクワット (立位から膝関節角度を45°屈曲させるクォータースクワット) を行なった際、高齢者の大腿四頭筋の筋活動量が随意最大収縮時の50%程度に相当することを報告している。さらに興味深いことに、高齢者の筋活動量が若齢者の約3倍であったことから、高齢者でのスクワットは筋への相対的な負荷が高いことを示唆している。これらのことから、高齢者での自重負荷スクワットは、科学的エビデンスのもと推奨されるトレーニングの一つとして認識されつつある。

スクワットの方法に関して「関節角度の変化=沈み込みの深さ」が重要であることは、複数の研究で明らかにされている⁶⁻⁸⁾。例えば、立位から膝関節を90°屈曲させた時 (最大伸展位が0°) の大腿部の筋活動量の変化量は、立位から20°屈曲させた時や140°屈曲させた時のそれよりも高いことが明らかにされている⁷⁾。またKuboら⁹⁾は、10週間のバーベルスクワットトレーニングが膝関節の伸展動作に貢献する筋量を増加させ、同動作の最大挙上重量 (1RM) を増加させること、その効果はハーフスクワット (立位から膝関節角度を45°屈曲させるまで沈み込むスクワット) よりもフルスクワット (立位から最も深くしゃがむ状態のスクワット) で高いことを報告している。しかしながら、これまで推奨されてきた高齢者を対

象とした自重負荷スクワットは方法論に一貫性がなく「どこまで沈み込むのが最も効果的か」「その効果はどの程度か」といった疑問は未だ解決されていない。スクワット運動は特別な機器が必要なく、手軽な実施が可能であることから高齢者向け運動教室などで広く用いられているが、現場では何となくの感覚で指導されているのが現状である。

そこで本研究では、自重負荷スクワット運動に対して実際の現場環境で想定されるような異なる2つの条件を設定し、それらの条件下での自重負荷スクワットトレーニングの効果を明らかにすることを目的とした。

1. 研究方法

1. 1 実験手順

本研究では、関節角度の異なる2つのスクワットのトレーニング効果を検証した。対象者は、立位から40cmの高さの椅子に臀部が付くまで沈み込むスクワット (Large angle change squat: LAC-squat) を実施する群、あるいは椅子の上に乗せた20cmのクッションに臀部が付くまで沈み込むスクワット (Small angle change squat: SAC-squat) を実施する群にランダムに分けられた。なおLAC-squat群とSAC-squat群に振り分ける際には、トレーニング実施前の等尺性最大膝伸展トルク、BMIおよび男女比に関してマッチングを行った。全ての対象者に対して、口頭と文書により本研究の目的、内容、考えられるリスクについて説明し、実験開始までに書面にて参加の同意を得た。本研究は中京大学「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を受けて実施された。

1. 2 関節角度変化の異なる2つのスクワット

本研究では、関節角度変化の異なる2つのスクワット (LAC-squatとSAC-squat) を設定した。各スクワットは8ビート、55bpmの曲に合わせて実

施された。LAC-squatは1ビートの立位安静後、3ビートで沈み込み、3ビートで立ち上がり、その後1ビートの立位安静を保つことを繰り返し、SAC-squatは2ビートの立位安静後、2ビートで沈み込み、2ビートで立ち上がり、その後2ビートの立位安静を保つことを繰り返した。なお対象者は、スクワット動作中、腕を胸の前に組むよう指示された。

1. 3 関節角度変化の異なる2つのスクワットトレーニングの効果

2つのスクワットトレーニングが骨格筋量、等尺性最大膝伸展トルク、レッグプレスの最大挙上重量 (1RM) および身体機能に与える影響を検討した。対象者は、65歳以上の高齢男女21名とし、LAC-squat群 (n=11; 年齢, 69.1±3.3歳; BMI, 22.3±2.4kg/m²) あるいはSAC-squat群 (n=10; 年齢, 72.1±4.5歳; BMI, 22.9±2.0kg/m²) にランダムに振り分けられた。対象者は各スクワットを自宅にて、68回×2セットを週3回実施するように指示された。トレーニング期間は12週間とし、トレーニング期間前後において、骨格筋量、等尺性最大膝伸展トルク、レッグプレスの最大挙上重量および各種身体機能の測定を実施した。

1. 3. 1 骨格筋量の測定

超音波断層装置 (Rogiq e Premium, GE Healthcare社製) を用いて、対象者の大腿部前面および外側面の横断画像を撮影した。対象者は仰向けの状態で10分ほど安静にした後、大転子と膝関節裂隙の midpoint にて、大腿直筋、外側広筋および中間広筋が確認できる部位から画像を測定された。得られて画像はパソコンに取り込まれ、専用のソフトで解析された。大腿直筋および外側広筋の筋厚は、皮下筋膜の下縁から深部筋膜までの距離とし、中間広筋の筋厚は、深部筋膜の下縁から大腿骨上縁までの距離とした。

1. 3. 2 等尺性最大膝伸展トルクの測定

張力計が搭載された膝関節伸展筋力測定器 (Vine社製) を用いて、右脚の等尺性最大膝伸展筋力 (maximal voluntary contraction, MVC) の測定を行った。検者は対象者の腰部をベルトによってイスに固定し、足首の部分を張力計に固定した。筋力は2秒かけて上昇させ、最大努力を4秒間維持させた。測定は、180°を最大伸展位とした際の70°, 90°, 110°, 150°の4つの膝関節角度で行われた。試行は各関節角度で2-4回程程度行い、試行間は1分以上の休憩を設けた。力のデータはAD変換機 (PowerLab, ADInstruments社製) を介して200Hzで専用のソフトウェア (Chart 7, ADInstruments社製) を用いてパソコンに記録した。各試行において発揮筋力の最大値が発現した時点の前後0.5秒間、計1.0秒間の平均値を算出し、最も高い2試行の平均値をMVCの値とした。メートルに換算した下腿長をMVCに乘じトルクを算出した。

1. 3. 3 最大挙上重量および身体機能の測定

最大挙上重量 (1RM, 1 repetition maximum) はシーテッドレッグプレスを用いて測定された。対象者は膝関節が90°になるよう測定イスに腰掛け、徐々に重りを上げていった。持ち上げることができる最大の重量とその反復回数から1RMを算出した。身体機能として、30秒間イス座り立ちおよび最大速度歩行時間を測定した。イス座り立ちでは、立位姿勢から40cmのイスに臀部が付くま

で腰を下ろし、再び立位に戻るまでの動作を1回とし、30秒間に実施した回数を測定した。対象者には可能な限り素早く行うよう指示した。歩行時間は、テープで記した7mの間隔を「できるだけ早く歩いてください」と指示された。前後1mを除く5m間隔を歩くのにかかった時間をストップウォッチで測定した。歩行時間と距離から歩行速度を算出した。

1. 4 統計処理

全ての値を平均と標準偏差で示した。データの解析に先立ちShapiro-Wilk検定にて正規性の検定を行なった。その結果、本研究データには正規性が認められないものがあつたため、以後の検定にノンパラメトリック検定を用いた。筋量、等尺性最大膝伸展トルク、1RM、イス座り立ちおよび歩行速度については、Wilcoxonの符号順位検定を用いて、LAC-squatとSAC-squatにおけるトレーニング前後の値を比較した。各群のトレーニング前後の変化率の比較には、Mann-Whitney検定を用いた。有意水準は5%未満とした。

2. 研究結果

全ての対象者が規定量のトレーニングを達成していたことを自作のトレーニングログで確認した。表1には、LAC-squat群とSAC-squat群のトレーニング前後における各関節角度の等尺性最大膝伸展トルク、イス座り立ち、歩行速度および1RM

表1 12週間のスクワットトレーニング前後 (Pre, Post) における各関節角度での等尺性最大膝伸展トルクおよび身体機能とその変化率

	Large angle change squat (n = 11)			Small angle change squat (n = 10)		
	Pre	Post	変化率 (%)	Pre	Post	変化率 (%)
70°KEPT (Nm)	67.74 ± 23.49	66.61 ± 20.38	-0.43 ± 9.55	68.67 ± 27.27	61.82 ± 20.30	-7.47 ± 9.54
90°KEPT (Nm)	81.44 ± 49.54	74.50 ± 29.91	3.71 ± 31.22	85.56 ± 32.65	76.67 ± 32.13	-10.02 ± 14.44
110°KEPT (Nm)	71.41 ± 34.62	70.98 ± 21.96	13.20 ± 36.09	64.37 ± 18.58	70.56 ± 26.04	9.61 ± 26.25
150°KEPT (Nm)	72.72 ± 24.49	76.09 ± 22.90	6.65 ± 14.91	63.03 ± 26.15	73.38 ± 26.51	20.77 ± 32.05
イス座り立ち (回)	24.30 ± 3.50	28.60 ± 3.72**	25.49 ± 12.09	23.88 ± 6.10	29.88 ± 8.43*	37.06 ± 26.30
歩行速度 (m/s)	1.96 ± 0.20	1.87 ± 0.28	-6.27 ± 10.13	1.96 ± 0.25	1.74 ± 0.73	-12.29 ± 35.35
1RMの重量 (kg)	63.46 ± 23.54	71.78 ± 21.54**	23.56 ± 18.99	53.46 ± 22.92	65.05 ± 20.87*	18.48 ± 14.65

値は平均 ± 標準偏差で示す; KEPT (knee extension peak torque), 最大膝伸展トルク; * p < 0.05, ** p < 0.01 vs. Pre

表2 12週間のスクワットトレーニング前後(Pre, Post)における皮下脂肪厚および筋厚とその変化率

		Large angle change squat (n = 11)			Small angle change squat (n = 10)		
		Pre	Post	変化率(%)	Pre	Post	変化率(%)
皮下脂肪厚	大腿部前面(cm)	0.83±0.34	0.87±0.36	3.87±12.92	0.81±0.32	0.84±0.27	5.66±12.01
	大腿部外側面(cm)	0.56±0.24	0.58±0.25	5.89±18.23	0.53±0.24	0.57±0.26	6.48±9.07
筋厚	大腿直筋(cm)	1.54±0.31	1.64±0.30	7.59±11.91	1.57±0.33	1.56±0.37	-0.02±12.68
	中間広筋前面(cm)	1.41±0.37	1.52±0.26	14.87±39.40	1.44±0.40	1.42±0.40	-0.14±14.17
	大腿部前面(cm)	2.95±0.56	3.16±0.47	8.99±16.68	3.02±0.63	2.99±0.67	-0.33±11.59
	外側広筋(cm)	1.57±0.37	1.69±0.37**	8.47±8.03	1.59±0.37	1.62±0.29	3.68±12.84
	中間広筋外側面(cm)	1.24±0.29	1.28±0.31	3.83±14.03	1.17±0.32	1.11±0.40	-5.62±13.31
	大腿部外側面(cm)	2.81±0.53	2.97±0.55*	6.10±7.12	2.76±0.59	2.74±0.59	-0.13±11.94

値は平均±標準偏差で示す; * p < 0.05, ** p < 0.01 vs. Pre

の結果を示した。トレーニング後の両群における30秒間イス座り立ち反復回数およびレッグプレスを用いた1RMは、トレーニング前と比較して有意に増加した。

表2にはLAC-squat群とSAC-squat群のトレーニング前後における皮下脂肪厚、筋厚、およびその変化率を示した。LAC-squat群における外側広筋の筋厚および外側部からの外側広筋と中間広筋の筋厚の和は、トレーニング後において有意に増加した。

3. 考 察

加齢に伴う筋量の減少はサルコペニアとして定義され、日常生活動作、転倒や生命予後との関係が示されている。これに対抗する処置として、筋への力学的負荷を課すトレーニング(いわゆるレジスタンストレーニング)の実施が推奨されている。特に高齢者の場合、理解がしやすく、コストがかからない手軽さが重視されることから、自宅で実施が可能なレジスタンス運動の一環として自重負荷スクワットが広く行われている。体重を負荷とする自重負荷スクワットは、膝関節角度の屈曲度合い(いわゆる沈み込みの深さ)によって強度を調節することができるが、異なる関節角度の自重負荷スクワットにおいてどのような効果が見込まれるかは明らかでない。また実際にスクワットを実施する際にも、沈み込みに対する明確な目安がなく、何となくの感覚で行われているの

が現状である。これまでバーベルを背中に背負った状態で負荷をかけたスクワット時の筋活動量について複数の研究が報告されている。例えば、da Silvaら⁸⁾らは、バーベルにて10RMの重さを調節し、パーシャルスクワット(沈み込みの浅いスクワット)とフルスクワットを行った際の筋活動量を比較した。その結果、膝伸展筋群(大腿直筋、外側広筋や内側広筋)では有意な差が見られなかった一方、大臀筋やハムストリングスの筋では、パーシャルスクワット時に高い筋活動が観察できることを報告している。つまりこれは、スクワットの沈み込み関節角度に依存して筋への負荷が変化する可能性を示唆している。本研究では、70°、90°、110°、150°での4つの膝関節角度における等尺性最大膝伸展トルクをトレーニング前後で測定した。Noorköivら¹⁰⁾は、膝関節伸展位(140°)での等尺性膝伸展動作を用いたトレーニングを行い、8つの関節角度(80°、90°、…、150°)のMVCに与える影響を調べた。その結果、伸展位(130°から150°)において有意なMVCの増加が見られた一方、屈曲位(80°から130°)のMVCには変化がみられなかったことを報告した。つまりトレーニングによるMVCや等尺性最大膝伸展トルクの変化は、トレーニング時の関節角度に依存する可能性がある。このことから、関節角度が常に変化するスクワットを用いた本研究において、LDLでは伸展位である膝関節角度150°において、SAC-squatでは屈曲位90°から伸展位150°

までにおいて等尺性最大膝伸展トルクが増加するのではないかと仮説を立てた。しかしながら本研究では、いずれの群およびいずれの関節角度においても有意な増加はみられなかった。これはつまり本研究で用いた自重負荷では、筋力を増加させるような負荷に至らなかった可能性が高い。また本研究の対象者に身体活動量に関するアンケートを実施したところ、複数名において日常的な身体活動量が非常に高い値を示したことから(国際標準化身体活動質問表による結果、未掲載資料)、対象者の身体的な特徴が本研究結果に影響する可能性も考えられる。Tsuzukuら³⁾は、高齢者を対象としたスクワットを含む12週間の自重負荷トレーニングが膝関節90°のMVCを有意に増加させたことを報告している。本研究ではトレーニング頻度を週3回に設定した一方、この研究ではトレーニングを週4回としていることから、トレーニング回数、頻度や期間などについても詳しく検討していく必要があると考えられる。

筋量の指標である筋厚をトレーニング前後において比較したところ、LAC-squat群の外側広筋において有意な増加がみられた(表2)。つまり12週間の自重負荷スクワットトレーニングによって、部分的な筋肥大が確認された。Caterisanoら⁶⁾は、パーシャルスクワット、パラレルスクワット、フルスクワット時の貢献度を外側広筋、内側広筋、大臀筋および大腿二頭筋の4つの筋で検討したところ、外側広筋の貢献度が29.3%から39.0%であったことを報告している。このことから外側広筋の部分的な筋肥大は、スクワット動作に対する外側広筋の貢献度の高さに起因すると推測される。一方で、高齢者にてウォーキングとスクワットを含む自重負荷トレーニングを10週間行った際に、外側広筋の筋厚が変化しないとの報告がある⁴⁾。両者の結果が一致しない要因は明らかでないが、先行研究においては沈み込みの深さを細かく定義しておらず、いわゆる“沈み込みの浅いス

クワット”になっていた可能性が考えられる。高齢者を対象とした自重負荷スクワットを用いたトレーニング効果に関する知見は未だ少ないのが現状で、その科学的効果の有無は十分でない。本研究では、スクワットがサルコペニアに対抗する措置として有用であるとの成果が得られたが、その条件(トレーニング頻度や期間、リズム、より深い沈み込みなど)に関して、今後さらにデータを蓄積していく必要がある。

4. 結 論

本研究では、異なる沈み込み条件(深い沈み込み; LAC-squat, 浅い沈み込み; SAC-squat T)の自重負荷スクワット運動を設定し、そのトレーニング効果を検討した。これらのスクワットを用いて週3回の頻度で12週間トレーニングを実施した結果、30秒イス座り立ち回数、レッグプレスの1RMの増加が確認された。一方で、外側広筋の筋厚はLAC-squatにおいてのみ有意に増加した。いずれの結果もサルコペニアの抑制や自立した日常生活関連動作の維持に貢献するもので、高齢者が行う自重負荷スクワットトレーニングの有用性が示された。しかしながら、そのトレーニング効果の一部に対して、スクワットの関節角度変化の違いが影響を与える可能性が示唆された。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究に参加していただいた対象者の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) Evans W.J., Campbell W.W., Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity, *J. Nutr.*, 123:465-468(1993)
- 2) McCartney N., Hicks A.L., Martin J., Webber C.E.,

- Long-term resistance training in the elderly: effects on dynamic strength, exercise capacity, muscle, and bone, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, 50:B97-B104(1995)
- 3) Tsuzuku S., Kajioka T., Sakakibara H., Shimaoka K., Slow movement resistance training using body weight improves muscle mass in the elderly: A randomized controlled trial, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 28:1339-1344(2018)
 - 4) Yoshiko A., Tomita A., Ando R., et al., Effects of 10-week walking and walking with home-based resistance training on muscle quality, muscle size, and physical functional tests in healthy older individuals, *Eur. Rev. Aging Phys. Act.*, 15:13(2018)
 - 5) Fujita E., Kanehisa H., Yoshitake Y., Fukunaga T., Nishizono H., Association between knee extensor strength and EMG activities during squat movement, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43:2328-2334(2011)
 - 6) Caterisano A., Moss R.F., Pellingier T.K., et al., The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles, *J. Strength. Cond. Res.*, 16:428-432(2002)
 - 7) Marchetti P.H., Jarbas da Silva J., Jon Schoenfeld B., et al., Muscle Activation Differs between Three Different Knee Joint-Angle Positions during a Maximal Isometric Back Squat Exercise, *J Sport Med.*, 2016:3846123(2016)
 - 8) da Silva J.J., Schoenfeld B.J., Marchetti P.N., Pecoraro S.L., Greve J.M.D., Marchetti P.H., Muscle Activation Differs Between Partial and Full Back Squat Exercise With External Load Equated, *J. Strength. Cond. Res.*, 31:1688-1693(2017)
 - 9) Kubo K., Ikebukuro T., Yata H., Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 119:1933-1942(2019)
 - 10) Noorkoiv M., Nosaka K., Blazevich A.J., Neuromuscular adaptations associated with knee joint angle-specific force change, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46:1525-1537(2014)