

Key Words【レジスタンストレーニング：resistance training、エクササイズの種類：exercise selection、筋成長：muscle growth、不均一な筋肥大：inhomogeneous hypertrophy、筋量：muscle mass】

スクワットが下肢の筋肥大に及ぼす効果に関する簡潔なレビュー

A Brief Review on the Effects of the Squat Exercise on Lower-Limb Muscle Hypertrophy

Alex S. Ribeiro,^{1,2} Ph.D. Erick D. Santos,^{1,2} M.Sc. João Pedro Nunes,² M.Sc.
Matheus A. Nascimento,^{2,3} Ph.D. Ágatha Graça,³ M.Sc. Ewertton S. Bezerra,⁴ Ph.D.
Jerry L. Mayhew,⁵ Ph.D.

¹Center for Research in Health Sciences, University of Northern Paraná, Londrina, Brazil

²Metabolism, Nutrition, and Exercise Laboratory, Physical Education and Sport Center, Londrina State University, Londrina, Brazil

³Paraná State University—UNESPAR, Paranavaí Campus, Paranavaí, Brazil

⁴Human Performance Laboratory, Federal University of Amazonas, Manaus, Brazil

⁵Exercise Science Department, Truman State University, Kirksville, Missouri

要約

スクワットは、レジスタンストレーニングプログラムで最も広く用いられているエクササイズのひとつである。本ナラティブレビューの目的は、下肢の筋肥大に及ぼすスクワットの影響を分析することである。現在公表されている研究を基に簡単に説明すると、スクワットは、大腿四頭筋、主として広筋群の肥大を誘発するのに効果的なエクササイズであるが、程度は少ないものの、大腿直筋も肥大させることが明らかになっている。しかし、複数のエビデンスから、バックスクワットによるハムストリングスの肥大はほとんど起こらないことが示されている。大殿筋がバックスクワットに力学的に関与することは明らかであるが、このテーマに関する縦断的研究はほとんど存在しない。ス

クワットの筋肥大効果に関する限られたエビデンスによると、より深いスクワットは大殿筋を肥大させる可能性がある。また、膝関節の屈曲が90°を超える深さのスクワットを行なっても、膝関節伸張筋群のさらなる肥大はおそらく生じないと思われる。多数のスクワットのバリエーションが人気を集めているにもかかわらず、下肢の筋組織の肥大の可能性についてはいまだ論争が続いている。スクワットの様々なバリエーションだけでなく、スクワットの深さ、スタンス、バーベルの位置、スクワットで用いる器具やマシンの違いなどが、筋肥大に及ぼす効果に関しても、さらに研究が必要である。

はじめに

バックスクワットは、股関節、膝関節、足関節を含む多関節エクササイズであり、下肢の複数の筋群が動員される(6,33,34,39)。その人気にもかかわらず、このエクササイズとそのバリエーションが筋肥大を促進する役割については、依然、論争の的となっている。例えば、バックスクワットの深さに関して、最近のある研究では、より大きな関節可動域(ROM)でスクワットを行なうと、大腿四頭筋の肥大がより増大することが明らかにされた(4)。別の研究で同様の結果は得られなかったが(21)、どちらの研究も、バックスクワットの深さが特定の筋の肥大レベルに影響を及ぼすことを示唆している(4,21)。スクワットで下肢の筋群すべてを十分に肥大できると考える人もいるかもしれないが、スクワットの効果は、関与するすべての筋群間で同じ割合で生じるわけではないと思われる(4,16,21)。し

たがって、スクワットとそのバリエーションにより、どの筋が肥大するのか、またどの筋に追加の補完的エクササイズが必要なのかを理解することが重要である(33,35,42)。さらに、すべてのトレーニング参加者がバックスクワットを適切に行なえるとは限らないし、また、望ましい効果を得るためにはバリエーションが重要であると考えられる(33)。

そこで、本研究では、従来のバーベルバックスクワットとそのバリエーションが下肢筋群の肥大に及ぼす影響について非系統的レビューを実施した。この目的に対し、3名の筆者(Nunes, Ribeiro, Santos.)がPubMedとScopusのデータベース、および有力書籍を用いて関連論文を検索し、スクワットトレーニングについて調査

した論文の中から、このテーマに特有の用語、例えばスクワット(squat)、トレーニング(training)、スクワット動作(squatting)、筋肥大(hypertrophy)、筋サイズ(muscle size)、筋横断面積(CSA: cross-sectional area)、筋厚(MT: muscle thickness)などに言及している論文を抽出した。スクワットでは膝関節、股関節、足関節の主要な伸展筋群が活動すると仮定し、本稿では、バックスクワットがこれらの筋群の肥大に及ぼす効果に関するエビデンスを考察する。

スクワットと筋肥大

本稿に含まれる研究の概要を表1に示す。以下のセクションでは、大腿四頭筋、ハムストリングス、大殿筋、下腿三頭筋の筋肥大の測定値に及ぼすスク

ワットの効果についてそれぞれ論じる。バーベルスクワットを分析したすべての研究において、フリーウェイトまたはスミスマシンのバリエーションによるバックスクワットを調査した。さらに2件は、フライホイールマシンによるベルトスクワットを分析した研究である。スクワットトレーニングと他のエクササイズ種目による介入を比較した研究もあったが(例えば、Nakamura[26]は、スクワットとセット間にストレッチを挟んだスクワットを比較した。Wilsonら[51]は、スクワットとデッドリフトとヒップスラストとを比較した)、本稿では、スクワットトレーニング群のみを検討対象に加えた。

表1 本レビューに含まれる、下肢筋群の筋肥大に対するスクワットトレーニングの効果に関する研究の概要

研究	被験者	スクワット	介入	評価対象の筋群	主な効果
Akagiら(1)	非鍛錬者の若年男性	パラレルフリーバーベルバックスクワット	8週間、3回/週 3×8レップ 40% 1RM	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋	MRIで測定したMVは、広筋群(8~11%)と大腿直筋(4%)で増加したが、ハムストリングスでは増加しなかった(約0%)。
Barbalhoら(2)	鍛錬者の若年男性	フルフリーバーベルバックスクワット	12週間、週1回 6×4~15RM	大腿四頭筋前部、大殿筋	USで測定したMTは、大腿四頭筋前部(12%)と大殿筋(9%)で増加した。
Bloomquistら(4)	ダイエット中の若年男性	パラレル対クォーターフリーバーベルバックスクワット	12週間、週3回 3~5×3~10RM	大腿前面と後面	MRIで測定したMCSAは、パラレルスクワット群の大腿前面で増加したが(4~7%)、大腿後面では変化しなかった(約0.5%)。一方、クォータースクワット群では、大腿前面(-2~4%)と大腿後面(約0%)で減少した。
Earpら(10)	ダイエット中の若年男性	パラレルフリーバーベル対ジャンプバーベルバックスクワット	8週間、週3回 3×3~8レップ 75~90% 1RM 対 5~7×5~6レップ 0~30% 1RM	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋	両群とも、USで測定したMCSAは、大腿四頭筋では増加したが(約15%)、大腿直筋では有意な変化はなかった。従来のトレーニング群では、広筋群が近位、中間、遠位で約16%増加したが、ジャンプトレーニング群では、遠位の成長がより大きかった(12、14、20%)。
Fonsecaら(16)	非鍛錬者の若年男性	パラレルスミスマシンバックスクワット	12週間、週2回 4~9×6~10RM	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋	MRIで測定したMCSAは、広筋群で増加したが(約7~13%)、大腿直筋の変化は少なかった(約7%)。
Illera-Dominguezら(19)	非鍛錬者の若年成人	パラレルフライホイールベルトスクワット	4週間、週2~3回 5×10レップ	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋	MRIで測定したMCSAは、広筋群では増加したが(9~10%)、大腿直筋(5%)とハムストリングス(2%)の変化は少なかった。

表1 本レビューに含まれる、下肢筋群の筋肥大に対するスクワットトレーニングの効果に関する研究の概要(つづき)

研究	被験者	スクワット	介入	評価対象の筋群	主な効果
Kuboら (21)	非鍛錬者の若年男性	フル対ハーフフリーバーベルバックスクワット	10週間、週2回 3×8～10レップ 60～80% 1RM	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋、大殿筋	MRIで測定したMVは、広筋群では増加したが(4～7%)、大腿直筋(0%)とハムストリングス(0%)では変化がなかった。大殿筋のMVは、フルスクワット条件で、より大きく増加した(7%対3%)。
Nakamuraら (26)	非鍛錬者の若年男性	ハーフフライホイールベルトスクワット	5週間、週2回 3×10レップ	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋、大殿筋	USで測定したMTは、広筋群(約6～15%)と大腿直筋(3～9%)では増加したが、ハムストリングス(1%)と大殿筋(-1%)では増加しなかった。
Pareja-Blancoら (31)	鍛錬者の若年男性	フルフリーバーベルバックスクワット	8週間、週2回 約70～85% 1RM 3×速度が40%対20%低下するまで反復する	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋	MRIで測定したMVは、広筋群では増加したが(約9%)、大腿直筋では増加しなかった(-3%)。
Rosenbergerら (36)	非鍛錬者の若年男性	パラレルスミスマシンバックスクワット	6週間、週2～3回 3×約8レップ 約80% 1RM	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋、下腿三頭筋	MRIで測定したMCSAは、広筋群では増加したが(約10%)、大腿直筋と下腿三頭筋では増加しなかった(1%)。
Saeterbakkenら (37)	ディトレーニング中の若年男性	ハーフフリー対スミスマシン対ウォールボードバックスクワット	6週間、週2回 3～4×6～10RM	外側広筋	すべての条件で、USで測定した外側広筋のMTが増加した(約5%)。
Usuiら (46)	非鍛錬者の若年男性	パラレルフリーバーベルバックスクワット	8週間、週3回、 3×10レップ 50% 1RM 速いテンポ対遅いテンポで	外側広筋、内側広筋、中間広筋、大腿直筋	USで測定したMTは、中間広筋の中間と遠位(6～9%)および大腿直筋の遠位(10%)で増加したが、外側広筋と内側広筋は、どの部位でも増加しなかった(約2%)。速いテンポ群はいずれの筋や部位でも、MTの有意な増加は認められなかった。
Weisら (50)	非鍛錬者の若年男性	パラレルフリーバーベルバックスクワット	7週間、週3回 4×3～5RM 対13～15RM 対23～25RM	大腿前面と後面	トレーニング前とトレーニング後の生データは提供されていない。著者らは、USによる測定で、大腿前面ではMTの有意な増加が認められたが、大腿後面では認められなかったと示唆した。
Wilsonら (51)	非鍛錬者の若年成人	フルフリーバーベルバックスクワット	6週間、週3回 3～5×4～8レップ 75～85% 1RM	外側広筋、大腿直筋	USで測定したMTは、外側広筋(11%)と大腿直筋(9%)で増加した。
Zabaleta-Kortaら (54)	鍛錬者の若年男性	パラレルスミスマシンバックスクワット	5週間、週3回 4×約12RM	外側広筋、大腿直筋	USで測定したMCSAは、外側広筋では増加したが(約4%)、大腿直筋では増加しなかった(1%)。

MCSA=筋断面積、MRI=磁気共鳴映像法、MT=筋厚、MV=筋量、RM=最大挙上重量、US=超音波

大腿四頭筋に対するスクワットの効果

大腿四頭筋を構成する4つの筋群(内側広筋、外側広筋、中間広筋、大腿直筋)のうち、3つの広筋は、大抵、スクワット中に大腿直筋よりも大きく活性化(10,11,14,39)。これは、大腿直筋が膝関節だけでなく股関節もまた二

関節筋であることに起因するが、大腿直筋、特にその近位部は、股関節が屈曲している時の膝の伸展には大きく貢献しない(49)。そのため大腿直筋は、広筋群に比べると肥大効果が低いと考えられる(12)。

この意味で、スクワットトレーニ

ングが大腿四頭筋の筋肥大に及ぼす影響について分析した研究は複数存在する。Kuboら(21)は、トレーニング経験のない若年男性を被験者として、10週間のバーベルバックスクワットのトレーニング(週2回、8～10レップ×3セット、60～80% 1RM)をハーフス

クワットまたはフルスクワットで実施した後、磁気共鳴画像(MRI)により広筋群の容積を測定した際、有意な増加(+約4~7%)を観察したが、大腿直筋において肥大は観察されなかった(約0%)。Pareja-Blancoら(31)は、鍛錬者の若年男性を対象に、8週間のフルバーベルバックスクワット(週2回、約70~85% 1RMで3セット)の効果を速度低下閾値の40%と20%で調査したところ、MRIで評価した容積が、内側広筋(11%と12%)と外側広筋+中間広筋(9%と4%)は増加したことを確認したが、大腿直筋の容積には変化が認められなかった(-4%と-1%)。Akagiら(1)は、非鍛錬者の若年男性群に対し8週間のパラレルバックスクワットによるトレーニング(週3回、低速で8レップ×3セット、40% 1RM)を実施したところ、MRIで測定した広筋群の容積が8~11%増加し、大腿直筋も増加したが、その程度は4%と低かった。Rosenbergerら(36)は、非鍛錬者の若年男性を対象に、パラレルスミスマシーンバーベルバックスクワット(週2~3回、約8レップ×3セット、約80% 1RM)を6週間行なうプロトコルを作成し、MRIでCSAを評価したところ、広筋群のCSAの有意な増加を観察したが(約10%)、大腿直筋では有意な増加は認められなかった(1%)。Fonsecaら(16)の報告によると、非鍛錬者の若年男性を対象に、12週間のパラレルスミスマシーンバーベルバックスクワット(週2回、6~10RMで4~9セット)を行なった後、MRIを用いて中間部で測定した大腿直筋のCSAは、統計的に有意な増加がみられなかったが(約7%)、広筋群では統計的に有意な増加(約7~13%)が認められた。これとは対照的に、Wilsonら(51)は、非鍛錬者の若年男性を対象に、大腿直筋中間部(遠位から近位の脚長の57%)および外側広筋遠位部(遠位から近位の脚長の36%)で、超音波(US)を用い

てMTを測定し分析した後、6週間のフルフリーバーベルバックスクワット(週3回、4~8レップ×3~5セット、75~85% 1RM)を実施したところ、外側広筋(11%)と大腿直筋(9%)の両方で同様の改善が観察されたことを報告した。

Earpら(10)は、大腿四頭筋の筋長に応じて(大腿近位~遠位の33、50、67%)、各部位に特化した筋肥大を検討する研究において、デイトレーニング中の若年男性を対象に、8週間(週3回)にわたり、高負荷のパラレルフリーバーベルバックスクワットによるストレングストレーニング(3~8レップ×3セット、75~90% 1RM)と、高速ジャンプトレーニング(5~6レップ×5セット、0~30% 1RM)を実施して効果を調査した。US測定による大腿四頭筋のCSAの平均効果は、両条件間でほぼ同じであり(約16% vs約15%)、両群ともに、大腿直筋におけるCSAの統計的に有意な増加は示さなかった。興味深い結果は、スクワット様式の違いにより、異なる、不均一な肥大が生じたことである。ジャンプスクワットでは、広筋の遠位部がより大きく肥大した(近位部:約12%、中間部:約14%、遠位部:約20%)。また、大腿直筋の変化は有意ではないものの、遠位部のほうが近位部や中間部より大きかった。反対に、ストレングストレーニング群では、ジャンプトレーニング群よりも内側広筋の近位部が有意に増加したにもかかわらず、広筋群への平均的な効果は近位部(16%)、中間部(16%)、遠位部(16%)で同程度であった。

同様に、Bloomquistら(4)も、デイトレーニング中の若年男性に、パラレル(ディープ)フリーバーベルバックスクワット(週3回、3~10レップ×3~5セット)を12週間実施した後、MRIで評価した「大腿前面」筋群のCSAが脚長に沿って差がないこと(4~7%の範囲の増加)を明らかにした。しかし、浅い

クォータースクワット群では、著者らは、近位から遠位まで、CSAを増加させる効果がみられ、より近位部(+4%)の変化が、中間部(0%)や遠位部(-2%)より大きいことを明らかにした(4)。さらに、フルスクワット群のみ、二重エネルギー X線吸収法により測定した脚部の除脂肪量が、トレーニング後にはトレーニング前より有意に増加した(2.0%対1.5%)。また、Zabaleta-Kortaら(54)は、鍛錬者の若年男性(過去のトレーニング経験>2年)を調査し、5週間のパラレルスミスマシーンバーベルバックスクワット(週3回、約12レップを失敗するまで4セット)を実施した後の、外側広筋と大腿直筋の近位部(近位~遠位大腿骨長の25%)、中間部(50%)および遠位部(75%)のCSAの変化(US使用)を分析した。大腿直筋では有意な変化はみられなかったが(近位部:3%、中間部:1%、遠位部:-2%)、外側広筋の中間部のみ有意な増加が見られた(近位部:4%、中間部:6%、遠位部:1%)。平均すると、大腿直筋は1%、外側広筋は4%向上した(54)。一方Usuiら(46)は、非鍛錬者の若年男性2群に対し、パラレルフリーバーベルバックスクワット(8週間、週3回、10レップ×3セット、50% 1RM)を遅いテンポと速いテンポで行なわせて比較した。著者らは、遅いテンポ群では、大腿直筋の遠位部(10%)で、また中間広筋の中間部(6%)と遠位部(9%)で有意なMT(US使用)の増加を報告したが、外側広筋と内側広筋では、どの部位でも増加はみられなかった(約±2%の範囲)。一方、速いテンポ群では、どの筋や部位でもMTの有意な増加は認められなかった(46)。

Illera-Domínguezら(19)は、フライホイールトレーニング様式を用いて、非鍛錬者の若年成人を対象に、4週間(10セッション)のパラレルフライホイールベルトスクワット(週2~3回、10レップ×5セット)を行なった後、

MRIを用いて下肢の筋量を分析した。その結果、内側広筋(+10%)、外側広筋+中間広筋(+9%)、大腿直筋(+5%)の有意な増加が観察された。さらにNakamuraら(26)は、鍛錬者の若年男性を対象に、ハーフフライホイールベルトスクワットによるトレーニングを5週間(週2回、10レップ×3セット)行なった後、USによる大腿直筋のMTが、遠位部(+9%)、近位部(+3%)でそれぞれ有意に増加したことを明らかにした。また、外側広筋、内側広筋、中間広筋については、約6~15%の増加が観察された(26)。しかし、フライホイールトレーニングは、従来の等張性様式に比べ、より大きな伸張性筋活動を促すことに留意する必要がある(25)。したがって、短縮性負荷と伸張性負荷では部位に特異的な異なる肥大反応が生じるため(17,18)、フライホイールベルトスクワットを用いた研究結果を従来のウェイトルームで適用する際は、慎重に解釈する必要がある(25)。しかし、エクササイズ器具のバリエーション(フライホイールベルト、フリーウェイトバーベル、スミスマシーンバーベル)を変えても、上記の諸研究から得た結果は類似していると思われる。Saeterbakkenら(37)の前述の研究でも、ダイエット中の若年男性を対象に、6週間のフリーウェイト、スミスマシーンバーベル、ウォブルボード上でのフリーウェイトバーベルを用いたハーフバックスクワット(週2回、6~10RMで3~4セット)の効果を分析した。その結果、外側広筋のMT値(US測定)は、各条件で、フリー:4%、スミスマシーン:6%、ウォブルボード:4%となり、ほぼ同程度の改善がみられた。今後の研究では、他の下肢筋群に対する器具間の適応を比較することが考えられる。

以上をまとめると、研究からわかるように、大腿四頭筋の肥大は筋頭に特異的であり、そのため、大腿直筋の

肥大は広筋群に比べて抑制される傾向がある。複数の研究において、広筋群では有意な増加がみられたが、大腿直筋では効果がみられなかった(10,21,31,36,54)。他の研究では、大腿直筋に対する効果は広筋群に比べ少なかった(半分以下)(1,16,19)。一部の研究は、筋頭間で同様の効果を明らかにしたが、大腿直筋は遠位部のみで増大した(26,46)。また1件の研究は、大腿直筋と広筋の筋頭部のひとつが同程度の増加したことを示唆した(51)。大腿直筋に関するこのような矛盾した結果は容易に解消できないが、実験で採用した方法が異なることが関係していると思われる。顕著な違いとして、MRIで筋のCSA(2次元測定)または筋量(3次元測定)を評価したほとんどの研究では有意な効果が認められなかったが、USでMT(1次元測定)を分析したいくつかの研究では、有意な効果が認められたことである。おそらく、バックスクワットでは、大腿直筋のサイズの有意な増加を促進する可能性は低く、また、増加するとしても、筋の一部分だけであると思われる。さらに、部位/部分に特異的な肥大を分析した研究では、脚長に沿った増大にも、3つの広筋の筋頭間の増大にも、一貫性のある差は認められなかった。これは、スクワットを行なう際、様々な集団にわたり、広筋群はどの部位も同程度の肥大適応を示すことを示唆している。

ハムストリングス、大殿筋、下腿三頭筋に対するスクワットの効果

ハムストリングスは、半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋で構成されている。いずれも膝関節の屈曲に作用するが、大腿二頭筋の長頭、半腱様筋、半膜様筋は股関節の伸張筋としても働く。これらの筋群は二関節筋の特性をもつため、スクワットでみられるような股関節の伸張運動における効果は、膝の位置に依存する。そのため、これらの筋

群は、膝関節を屈曲する際、股関節付近では伸展するが、遠位部では短縮するため、股関節を伸展させる能力は低下する(39,52)。このように、ハムストリングスはスクワットにおいて、特に大腿四頭筋との関係において、活性化がゼロまたは減少していると想定される(33,35)。スクワットによるハムストリングスの肥大を検証した研究は少ないが、いずれもほとんど効果がないと報告している(1,4,19,21,26,50)。Kuboら(21)も、10週間のフルおよびハーフのフリーバーベルバックスクワットにおいて、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋のCSAには変化がないことを確認した(~0%)。Akagiら(1)は、パラレルフリーバーベルバックスクワットを8週間行なった後、大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋の筋量(約0%)に大きな変化がないことを確認した。Nakamuraら(26)もまた、ハーフフライホイールベルトスクワットによるトレーニングを5週間実施しても、ハムストリングスのMTに有意な変化は認められなかった(+1%)と報告している。Illera-Dominguezら(19)の観察によると、パラレルフライホイールベルトスクワットのトレーニングを4週間行なったところ、広筋群のMTが10%程度増加したにもかかわらず、大腿二頭筋短頭(+3%)、同長頭(+3%)、半腱様筋(+3%)、半膜様筋(+2%)の変化は少なかった。Bloomquistら(4)は、脚長の近位~遠位で、筋の種類を特定することなく、パラレル/クォーターフリーバーベルバックスクワットによる平均変化量を分析し、+0.5%(+3%~-2%の範囲)であると報告した。さらにWeissら(50)も、非鍛錬者の若年男女を対象に、様々な強度でパラレルフリーバーベルバックスクワットのトレーニングを7週間行なった後(週3回、3~5、13~15または23~25RMで4セット)、同様の状況を報告した。トレーニング前とトレーニング後の生

データは提供されていないものの、著者らは、USで測定した大腿前面のMTが有意に増加したにもかかわらず、大腿後面のMTに有意な時間効果は観察されなかったと指摘した。

大殿筋は主要な股関節伸筋であるため筋量が大きく、スクワットとそのバリエーション中に大いに動員される(20,34)。ROMがより大きな深いバックスクワットでは大殿筋が大きく伸長されるが、伸長された筋群における筋肥大関係により(24,28,29,32,38)、スクワットが大殿筋の筋サイズを大きく改善できると想定するのは妥当である。しかし、スクワットや股関節エクササイズいくつかのバリエーション中に、表面筋電図(sEMG)を用いて大殿筋の一時的な活性化を調査した研究は多数存在するが(6,20,22,23)、反対に、スクワット後の大殿筋の肥大について分析した研究は少ない。重要なこととして、激しい疲労状態下では、sEMGの振幅と筋肥大との間には関係がないことを示唆する多くのエビデンスが存在する(47)。例えば、低負荷に比べ高負荷のほうが筋の活性化が大きいことは、研究が示唆している(40)。しかし、筋肥大はどちらの条件でも同様である(43)。したがって、筋肥大の検証には長期的な研究分析が必要である。この意味において、Kuboら(21)は10週間のバーベルバックスクワットのトレーニングで、スクワットの深さがハーフ(3%)またはフル(7%)の場合に、大殿筋の筋量が有意に増加したことを観察した。Nakamuraら(26)の報告によると、フライホイールハーフベルトスクワットを5週間実施した後、大殿筋のMTに影響はなかった(-1%)。別の研究でも(2)、鍛錬者の若年女性を対象に、12週間のフルデプスフリーバーベルバックスクワット(週1回、4~15RMで6セット)を実施した後、大殿筋のMTを分析したところ、有意な向上(9%)が観察された。しかし現在、その

データの信頼性は、懸念を表明した論文(48)により疑問視されているため、結果の解釈には注意が必要である。したがって、前向き研究による数少ないデータは、バックスクワットが大殿筋の肥大を著しく促進する可能性を示唆してはいるが、その結果はスクワットのバリエーションに依存する。大殿筋の肥大には、より深くまでスクワットを行なうことが一層効果的であると思われる、これについては後節で説明する。

さらに、スクワットでは、腓腹筋の外側頭、内側頭およびヒラメ筋からなる足関節底屈筋群(45)の発達にも限界があると考えられる。足関節にかかる力は、スクワット時に股関節や膝関節の伸筋群が生み出す力よりもかなり小さいため(5,13,39)、足関節底屈筋群が大きく緊張することはない。しかも、スクワットではこれらの筋のROMは大きくはないため(39)、筋肥大の発達を妨げる可能性がある(30)。我々の文献検索では、スクワットだけを行なった結果としての足関節底屈筋群の肥大を調査したトレーニング研究はみつからなかった。しかし、前述のRosenbergerら(36)の研究では、非鍛錬者の若年男性群を対象に、パラレルスミスマシーンバーベルバックスクワットとスミスマシーンパーソナルカーフレイズ(約60~80%1RM、約12~20レップ×3セット)を含むトレーニングプログラムを実施した。この問題にもかかわらず、著者らはMRIで測定した下腿三頭筋のCSA(+1%)に対する効果は観察できなかった。この筋群に対するスクワットの効果に関する研究は数が少ないため、確たる結論を導き出すには限界があり、さらなる調査が必要である。

スクワットの深さの影響

スクワットは様々な深さで行なうことができる。最も一般的な2つの分類は、股関節と膝関節のROMがほぼ最大

になる(ハムストリングスがふくらはぎと完全に接触する)フルディープスクワットと、大腿部が地面と平行になるパラレルスクワットである(9,15)。フルフリーバーベルバックスクワットでは、膝関節の屈曲ROMは0~約140°(0°を膝関節の完全伸展とみなす)であり、パラレルバックスクワットでは膝関節の屈曲ROMは0~約110°ないし120°である。クォータースクワットとハーフスクワットは、膝関節屈曲ROMがそれぞれ0~約30°ないし60°と0~90°の場合を指す(4,9,15,21)。なお、これらの膝関節の角度は、伝統的なフリーウェイトを用いたバーベルバックスクワットを表すものであり、マシン(スミスマシーンやハックマシーンなど)でスクワットを行なう場合とは異なると思われる。したがって、クォータースクワットとハーフスクワットの各バリエーションのROMは、フルスクワットのROMと比較すると、1/2ないし1/4と考えられる。とはいえ、よく聞かれる疑問は、スクワットを行なう際、下肢の筋肥大を最適化するためにはどのROMを採用すべきか、というものである。

研究によると、大腿四頭筋については、最大限に活性化するのは膝関節の屈曲が90~100°に近い場合、つまりハーフスクワットとパラレルスクワットの間であることが示唆される(7,14,44)。異なるROMを比較してsEMGで筋活動を検証した研究はいくつかあるが(7,14,44)、下肢の筋肥大に関して異なるスクワットの深さを比較した研究は2件だけである(4,21)。Bloomquistら(4)は、非鍛錬者の若年男性を対象に、12週間にわたり、「深い」(パラレル：膝関節ROMが0~120°)または「浅い」(クォーター：膝関節ROMが0~60°)のフリーバーベルバックスクワットを行なった2群について分析を行なった。深いスクワット群では、近位から遠位のすべての部

位でCSAが増加した(平均6%)のに対し、浅いスクワット群では、大腿前面のCSA分析を行なった6部位中の2部位でのみ有意に増加し、近位部位(約3%)が内側-遠位部位(-2%)に比べて大きく増加した。Kuboら(21)は、若年男性を対象に、10週間にわたるフリーバーベルバックスクワットのフルスクワット(膝屈曲ROM0~140°)とハーフスクワット(膝屈曲ROM0~90°)によるトレーニングを比較した。大腿四頭筋の筋量については、フルスクワット群とハーフスクワット群で同様の結果が得られたが、内転筋(6%対3%)と大殿筋(7%対2%)では、フルスクワット群で統計的に有意な優れた向上が観察された(21)。両研究はハムストリングスに対する効果はないという点では一致しているが、大腿四頭筋の肥大については、両研究の結果は異なっている。これは比較したスクワットの深さと関係があると思われる。Bloomquistら(4)は、クォータースクワットと平行スクワットを、Kuboら(21)はハーフスクワットとフルスクワットを比較したからである。したがって、両研究における4つの膝関節屈曲ROM(クォーター:60°、ハーフ:90°、平行:120°、フル:140°)を考慮すると、スクワットの深さが大腿四頭筋のサイズ増加に影響を及ぼすと考えられる。そのため、大腿四頭筋に対する満足できる結果を促すためには、ハーフスクワットと平行スクワットの間ROMでスクワットを行なうことが必要と思われる。それ以上に深くスクワットを行なっても追加の利益は期待できないと思われる。

大殿筋については、スクワットの深さがこの筋に与える影響を直接分析した研究は1件のみであった。前述のとおり、Kuboら(21)はバーベルバックスクワットをROMがフルとハーフの場合を比較し、フルスクワット条件において、より大きな増加(7%

対3%)を観察した。さらに興味深いことに、Nakamuraら(26)はハーフスクワットが大殿筋のMTに影響を及ぼさないことを確認しているし、別の研究(2)では、フルスクワットを用いて有意な効果が観察されており、スクワットの深さが大殿筋の適応に影響を及ぼす可能性があることが示唆される。さらに、Yasudaら(53)は、健康な高齢者に10週間の低負荷の血流制限による下肢トレーニングを実施し、股関節屈曲を125°まで行なうインクラインレッグプレス(この股関節の角度はバーベルパラレルバックスクワットの角度と同程度)を含むトレーニングを行ない、MRIで評価した大殿筋のCSAが、トレーニングを行なわないコントロール群(-2%)に比べ6%増加したことを観察した。3件の研究デザインの違い(エクササイズの種類など)を考慮しても、大殿筋の肥大には股関節のROMが大きいほうが望ましいことが、漠然とではあるが示唆される(2,21,26,53)。

スクワットの深さを検証した研究において、いくつかの問題点を指摘しておくことも重要である。まず、スクワットの深さを標準化することは困難であり、スクワットは体格や可動性の違いにより、個人間で大きく異なって見える可能性がある。第2に、フルスクワットやパーソナルスクワットで骨盤をどの程度後方に突き出すかを標準化することは困難である。第3に、参加者が動作を開始したのが膝関節からか股関節からか、または両方同時なのかを報告した研究はほとんどない。この意味で、大殿筋の肥大に対する様々なスクワットのバリエーションを探求し確たる結論を引き出すためには、さらに研究が必要である。また、中殿筋への影響も不明であるため、さらなる研究が必要である。

現場への応用

コーチやトレーニング実践者は、大腿四頭筋と大殿筋の肥大を誘発するために、スクワットをトレーニングプログラムに加えることにより安心感が得られる。スクワットは、膝関節のROMが90~120°の範囲で行なうことにより、広筋群に最適な効果をもたらすことができるが、大腿直筋は、どのバリエーションでも(広筋群と比較すると)効果が少ない傾向がある。さらに、予備的エビデンスではあるが、フルスクワットを行なうことにより、大殿筋のサイズがさらに増加する可能性があることが示唆される。しかし、ハムストリングスと足関節底屈筋群は、スクワットトレーニングを行なうことによる増大はほとんど見込めないと思われる。したがって、これら後者の筋群の肥大を目的とする場合(「完璧な下半身トレーニング」を目指す場合は、レッグカール(24)やカーフレイズ(27)など、これらの筋群をターゲットとするエクササイズを加えることが必要である(35)。

さらに、スクワットは、バーベルの位置(ハイバー、ローバー、フロントバーなど)、スタンス幅(ナロースクワット、スモウスクワットなど)、器具(シシー、ハック、Vスクワット、ベルト、スミスの各マシーンなど)、その他のバリエーション(シングルレッグスクワット、ブルガリアンスクワット)など、多様な方法で行なうことのできるエクササイズである。バックスクワットとフライホイールベルトスクワット以外のバリエーションに関する縦断的研究はみつからなかったため、これらのバリエーションの効果を比較するためには、さらに研究が必要である。大腿四頭筋と大殿筋のトレーニングを目的とする場合には、クライアントはトレーニング計画に様々なスクワットのバリエーションを含めることができる。ただし、スクワットパターン内の各バリエーションにおけるそれぞれの筋肥大

の程度については、ほとんどエビデンスは得られていない。最後に、最近の研究では、興味深いことに、トレーニングセッション中のエクササイズを選択を変化させると、エクササイズを固定または変化させない条件と比較して、筋肥大反応(8,16)および感覚的なモチベーション(3)がわずかながら向上することが確認されたことを挙げておく。したがって、スクワットのバリエーションの選択は、クライアントの目標とバイオメカニクスの原理に基づく合理的な理論を用いて、各筋群をターゲットにデザインされた、統合的で一貫性のある方法を用いることが推奨される(41)。◆

References

- Akagi R, Sato S, Hirata N, et al. Eight-week lowintensity squat training at slow speed simultaneously improves knee and hip flexion and extension strength. *Front Physiol* 11: 893, 2020.
- Barbalho M, Coswig V, Souza D, et al. Back squat vs. hip thrust resistance-training programs in welltrained women. *Int J Sports Med* 41: 306-310, 2020.
- Baz-Valle E, Schoenfeld BJ, Torres-Unda J, Santos-Concejero J, Balsalobre-Fernández C. The effects of exercise variation in muscle thickness, maximal strength and motivation in resistance trained men. *PLoS One* 14: e0226989, 2019.
- Bloomquist K, Langberg H, Karlsen S, et al. Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *Eur J Appl Physiol* 113: 2133-2142, 2013.
- Brice SM, Doma K, Harland L, Spratford W. Impact of performing heavy-loaded barbell back squats to volitional failure on lower limb and lumbo-pelvis mechanics in skilled lifters. *J Sports Sci* 28: 100-105, 2020.
- Clark DR, Lambert M, Hunter AM. Muscle activation in the loaded free barbell squat: A brief review. *J Strength Cond Res* 26: 1169-1178, 2012.
- Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Beardsley C, Cronin JB. A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyography amplitude in the parallel, full, and front squat variations in resistance-trained females. *J Appl Biomech* 32: 16-22, 2016.
- Costa BDV, Kassiano W, Nunes JP, et al. Does performing different resistance exercises induce non-homogeneous hypertrophy? *Int J Sports Med* 42: 803-811, 2021.
- Cotter JA, Chaudhari AM, Jamison ST, Devor ST. Knee joint kinetics in relation to commonly prescribed squat loads and depths. *J Strength Cond Res* 27: 1765-1774, 2013.
- Earp JE, Newton RU, Cormie P, Blazevich AJ. Inhomogeneous quadriceps femoris hypertrophy in response to strength and power training. *Med Sci Sports Exerc* 47: 2389-2397, 2015.
- Ema R, Kawakami Y. Quantitative profiles of the quadriceps femoris in sport athletes. In: *Sports Performance*. Kanosue K, Nagami T, Tshuchiya J, eds. Tokyo: Springer Japan, 2015. pp. 175-185.
- Ema R, Sakaguchi M, Akagi R, Kawakami Y. Unique activation of the quadriceps femoris during single- and multi-joint exercises. *Eur J Appl Physiol* 116: 1031-1041, 2016.
- Escamilla RF, Fleisig GS, Lowry TM, Barrentine SW, Andrews JR. A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. *Med Sci Sports Exerc* 33: 984-998, 2001.
- Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1552-1566, 2001.
- Flores V, Becker J, Burkhardt E, Cotter J. Knee Kinetics during squats of varying loads and depths in recreationally trained women. *J Strength Cond Res* 34: 1945-1952, 2020.
- Fonseca RM, Roschel H, Tricoli V, et al. Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. *J Strength Cond Res* 28: 3085-3092, 2014.
- Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol*: 642-654, 2102.
- Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol* 8: 447, 2017.
- Illera-Dominguez V, Nuell S, Carmona G, et al. Early functional and morphological muscle adaptations during short-term inertial-squat training. *Front Physiol* 9: 1265, 2018.
- Krause Neto W, Soares EG, Vieira TL, et al. Gluteus maximus activation during common strength and hypertrophy exercises: A systematic review. *J Sport Sci Med* 19: 195-203, 2020.
- 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.
- Macadam P, Cronin J, Contreras B. An examination of the gluteal muscle activity associated with dynamic hip abduction and hip external rotation exercise: A systematic review. *Int J Sports Phys Ther* 10: 573-591, 2015.
- Macadam P, Feser EH. Examination of gluteus maximus electromyographic excitation associated with dynamic hip extension during body weight exercise: A systematic review. *Int J Sports Phys Ther* 14: 14-31, 2019.
- Maeo S, Meng H, Yuhang W, et al. Greater hamstrings muscle hypertrophy but similar damage protection after training at long versus short muscle lengths. *Med Sci Sports Exerc* 53: 825-837, 2021.
- Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, et al. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 20: 943-951, 2017.
- Nakamura M, Ikezu H, Sato S, et al. Effects of adding inter-set static stretching to flywheel resistance training on flexibility, muscular strength, and regional hypertrophy in young men. *Int J Environ Res Public Health* 18: 3770, 2021.
- Nunes JP, Costa BDV, Kassiano W, et al. Different foot positioning during calf training to induce portion-specific gastrocnemius muscle hypertrophy. *J Strength Cond Res* 34: 2347-2351, 2020.
- Nunes JP, Jacinto JL, Ribeiro AS, et al. Placing greater torque at shorter or longer muscle lengths? Effects of cable vs. barbell preacher curl training on muscular strength and hypertrophy in young adults. *Int J Environ Res Public Health* 17: 5859, 2020.
- Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, Cronin JB. Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scand J Med Sci Sport* 29: 484-503, 2019.
- Pallarés JG, Hernández-Belmonte A, Martínez-Cava A, et al. Effects of range of

motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sport* 31: 1866–1881, 2021.

31. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, et al. Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sport* 27: 724–735, 2017.

32. Pedrosa GF, Lima FV, Schoenfeld BJ, et al. Partial range of motion training elicits favorable improvements in muscular adaptations when carried out at long muscle lengths. *Eur J Sport Sci* 2021 [Epub ahead of print].

33. Ribeiro AS, Nunes JP, Schoenfeld BJ. Selection of resistance exercises for older individuals: The forgotten variable. *Sports Med* 50: 1051–1057, 2020.

34. Ribeiro AS, Schoenfeld BJ, Nunes JP. Large and small muscles in resistance training: Is it time for a better definition?. *Strength Cond J* 39: 33–35, 2017.

35. Ribeiro AS, Schoenfeld BJ, Sardinha LB. Comment on: "A review of the acute effects and long-term adaptations of single- and multi-joint exercises during resistance training. *Sports Med* 47: 791–793, 2017.

36. Rosenberger A, Beijer, Johannes B, et al. Changes in muscle cross-sectional area, muscle force, and jump performance during 6 weeks of progressive whole-body vibration combined with progressive, high intensity resistance training. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 17: 38–49, 2017.

37. Saeterbakken AH, Olsen A, Behm DG, Bardstu HB, Andersen V. The short- and long-term effects of resistance training with different stability requirements. *PLoS One* 14: e0214302, 2019.

38. Sato S, Yoshida R, Kiyono R, et al. Elbow joint angles in elbow flexor unilateral resistance exercise training determine its effects on muscle strength and thickness of trained and non-trained arms. *Front Physiol* 12: 734509, 2021.

39. Schoenfeld BJ. Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *J Strength Cond Res* 24: 3497–3506, 2010.

40. Schoenfeld BJ, Contreras B, Willardson JM, Fontana F, Tiryaki-Sonmez G. Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. *Eur J Appl Physiol* 114: 2491–2497, 2014.

41. Schoenfeld BJ, Fisher J, Grgic J, et al. Resistance training recommendations to maximize muscle hypertrophy in an athletic population: Position Stand of the IUSCA. *Int J Strength Cond* 1: 1, 2021.

42. Schoenfeld BJ, Grgic J, Haun CT, Itagaki T, Helms ER. Calculating set-volume for the limb muscles with the performance of multi-joint exercises: Implications for resistance training prescription. *Sport* 7: 177, 2019.

43. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low- versus high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31: 3508–3523, 2017.

44. da Silva JJ, Schoenfeld BJ, Marchetti PN, et al. Muscle activation differs between partial and full back squat exercise with external load equated. *J Strength Cond Res* 31: 1688–1693, 2017.

45. Stasinaki AN, Gloumis G, Spengos K, et al. Muscle strength, power, and morphologic adaptations after 6 weeks of compound vs. complex training in healthy men. *J Strength Cond Res* 29: 2559–2569, 2015.

46. Usui S, Maeo S, Tayashiki K, Nakatani M, Kanehisa H. Low-load slow movement squat training increases muscle size and strength but not power. *Int J Sports Med* 37: 305–312, 2016.

47. Vigotsky AD, Halperin I, Lehman G J, Trajano GS, Vieira TMM. Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences. *Front Physiol* 8: 985, 2018.

48. Vigotsky AD, Nuckols G, Heathers J, Krieger JW, Schoenfeld BJ, Steele J. Improbable data patterns in the work of Barbalho et al. *SportRxiv*, 2020. preprint.

49. Watanabe K, Vieira TM, Gallina A, Kouzaki M, Moritani T. Novel insights into biarticular muscle actions gained from high-density electromyogram. *Exerc Sport Sci Rev* 49: 179–187, 2021.

50. Weiss LW, Coney HD, Clark FC. Gross measures of exercise-induced muscular hypertrophy. *J Orthop Sport Phys Ther* 30: 143–148, 2000.

51. Wilson MT, Ryan AMF, Vallance SR, et al. Tensiomyography derived parameters reflect skeletal muscle architectural adaptations following 6-weeks of lower body resistance training. *Front Physiol* 10: 1493, 2019.

52. Wright GA, DeLong TH, Gehlsen G. Electromyographic activity of the hamstrings during performance of the leg curl, stiff-leg deadlift, and back squat movements. *J Strength Cond Res* 13: 168–

174, 1999.

53. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, et al. Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sport* 24: 799–806, 2014.

54. Zabaleta-Korta A, Fernández-Peña E, Torres-Unda J, Garbisu-Hualde A, Santos-Concejero J. The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial. *J Sports Sci* 39: 2298–2304, 2021..

From Strength and Conditioning Journal
Volume 45, Number 1, pages 58-66.

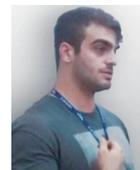
著者紹介



Alex S. Ribeiro :
University of Northern Parana(ブラジル、パラナ州)の生物・健康科学センターの教授で研究員。



Erick D. Santos :
University of Northern Parana(同上)のストレングストレーニングの研究員。



João Pedro Nunes :
Londrina State University(ブラジル、ロンドリナ州)の代謝・栄養・運動学研究室の調査研究員。



Matheus A. Nascimento :
Paraná State University, Campus de Paranavai(ブラジル、パラナ州)の教授で研究員。



Ágatha Graça :
Londrina State University(ブラジル、ロンドリナ州)の代謝・栄養・運動学研究室で体育学専攻修士課程の学生。



Ewertton S. Bezerra :
Federal University of Amazonas(ブラジル、アマゾンナス州)の体育・理学療法学科の教授で研究員。



Jerry L. Mayhew :
Truman State University (アメリカ、ミズーリ州)の健康・運動科学学科の教授で研究員。