©NSCA JAPAN
Volume 28, Number 5, pages 38-43

Key Words【部分可動域：partial range of motion、全可動域：full range of motion、レジスタンストレーニング：resistance training、局所的・部分的筋肥大：regional or local hypertrophy】

部分可動域によるレジスタンストレーニング：ボディビルに適した局所的・部分的筋肥大のためのトレーニング処方

Partial Range of Motion Resistance Training: A Feasible Bodybuilding Training Regimen for Local or Regional Muscle Hypertrophy?

Daniel E. Newmire, [1] Ph.D.　**Darryn S. Willoughby,** [2] Ph.D.

[1] Exercise Physiology and Biochemistry Lab, Department of Kinesiology, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas

[2] Human Performance Lab, School of Exercise and Sport Science, University of Mary Hardin-Baylor, Benton, Texas

要約

ボディビルはアクティブなライフスタイルであり、レジスタンストレーニング(RT)を介して得られる肉体美を競うことへの関心と定義される。審美的造型によって評価されるこの競技の最終目標は、バランスよく均整の取れた筋肉質な身体を披露することにある。ボディビルのトレーニングは筋肥大に適した指針に沿って処方される。しかし近年の研究によって、至適筋長特異的トレーニングあるいは部分可動域トレーニングと呼ばれるRT様式が、標準的な全可動域RTと同等の筋肥大効果を与えることが示された。さらに、部分可動域RTは、局所的・部分的筋肥大にも効果のあることが示された。これは、ボディビルダーがある筋群を集中的に刺激することを可能にする。よりよいバランスと均整を生み出すために、未発達の筋群を焦点とすることにも役立つであろう。部分可動域RTを調査した結果、筋肥大に及ぼす影響はプラスではあるが決定的ではないと結論づけられている。今後の調査によって、ボディビルダーに対する妥当性を評価する必要がある。ボディビルでは、バランスよく均整の取れた筋肉質な身体が評価される。部分可動域RTは、ボディビルダーにとって有益である可能性がある。

序論

ボディビル(BB)は、肉体美や逞しさを競うことへのアクティブな関心として広く定義される。レジスタンストレーニング(RT)を体系的に実施することによって、筋(筋サイズと筋の張り)と均整をバランスよく向上させるとともに、体脂肪量の増加を最小限に留める(10)。ウエイトリフティングやパワーリフティングなどの競技は、ウェイトに対して有効な筋力やパワーを最大限に向上させることが第一の目標であり、それらは他競技に転移したり、他競技のパフォーマンスを向上させたりする可能性がある(10)。この点でBBのトレーニングはそれらの競技とは明らかに異なる。しかし、あらゆる競技と同じく、ニーズに対して時間的および運動量的に効率のよい方法で筋量を増加させることが求められる。さらに、BBなどのボディメイク系競技の審査は、バックスクワット、デッドリフト、ベンチプレスなどの最大挙上重量を基準とせず、それらの尺度が直接的に順位に反映されることもない。

世界最大のプロBB団体とされる国際ボディビルダーズ連盟(IFBBプロ)の審査基準に従うと、BBでは、全身の部位と筋をバランスよく調和した方法で最大限に発達させる必要がある。未発達の筋、すなわち「弱点」は減点対象となる。ポージングによって筋の輪郭をくっきりと浮き立たせることができれば高得点が得られる。全身がバランスよく鍛えられていることも必要である。IFBBプロによると、バランスがよいとは「肩幅が広く腰回りが引き締ま

り、上半身と脚の長さのバランスが取れていること」である(IFBB.com)。審査基準はBBの最高水準を定めるものである。競技者は筋肥大を第一の目標として、均整、バランス、審美的造型を維持する必要がある。そのため、客観的あるいは主観的によく発達しているとみられる筋群よりも、弱点とみられる未発達な局所的・部分的筋群を集中的にトレーニングしようとする。

筋の発達のためにBBの競技者がよく利用する基本的な多関節レジスタンストレーニングとしてバーベルベンチプレスがある。ベンチプレスでは、グリップ、荷重、上昇／下降に関連して、第一主働筋、第二主働筋、第三主働筋が働く。第一主働筋は大胸筋であり、鎖骨頭(上部)と胸骨頭(下部)からなる。鎖骨頭と胸骨頭の複合収縮による主な関節動作は上腕骨の水平内転と内旋である。しかし、鎖骨頭は独立して肩関節の屈曲を助け、胸骨頭は独立して肩関節の屈曲位からの伸展を助ける(22)。Duffey(9)によると、バーベルフラットベンチプレスにおいて、大胸筋の相対的筋電図のピーク振幅は下降局面の後半で観察された。これに対して上昇局面では、前半で筋電図(EMG)の振幅が増加した。ただし、振幅の大きさは下降局面に及ばなかった。同じく上腕三頭筋も、下降局面の後半と上昇局面の前半で振幅が大きかった。しかし、最大筋力発揮時における振幅と動作時間を用いて正規化すると、それらの局面では大胸筋のほうが上腕三頭筋よりも数値が大きかった(9)。これは、ベンチプレスでは、バーベルが挙上者の胸部に近いほど(つまり、ベンチプレスの特定の可動域において)、大胸筋のEMGの振幅が大きくなることを示している。興味深いことに、グリップ幅は前述のEMGの変数にいかなる影響も及ぼさなかった(9)。この結果は、ボディメイク系競技者が、特定範囲の可動域でトレーニングすることにより、大胸筋などの特定筋群に焦点を絞る助けとなるだろうか。Newmire&Willoughby(10)は最近、部分可動域RTが従来の全可動域RTと同等の筋適応を示すことを説明しうるメカニズムについて短いレビューを発表した(32)。本稿は、部分可動域を取り上げた研究に注目し、ボディメイク系競技者、愛好家、指導者などがトレーニングで利用する方法を検討する。これは、レジスタンスエクササイズの追加様式として、参加競技の目標に沿った好ましい利益を筋にもたらす可能性がある。

RTが誘発する骨格筋の不均一な肥大

骨格筋の肥大は、RTを介した(つまり力学的負荷による)筋組織量の増大と定義されてきた。筋肥大は、サルコメアが既存の筋原線維と平行に追加されることによる筋線維直径(筋横断面積)の増加と関連しており、RT後に筋タンパク質合成率が累積的に上昇することによると考えられている。ほとんどの場合、筋の成長は既存の筋線維の増大による(4,33)。しかしこの定義は、骨格筋の肥大の程度とその評価方法(磁気共鳴映像法：MRI、コンピュータ断層撮影法、二重エネルギーX線吸収法、超音波測定法、生体検査法など)に従って拡大されてきた。本稿では簡便性と実用性を考慮し、ミオシンとアクチンが骨格筋で最も多くのタンパク質を含む(約60～70%)ことに注目して(18)、骨格筋の肥大を筋原線維のタンパク質含有量の増加と定義する。

RTは、骨格筋の肥大を最もよく刺激するとみられてきた。しかし、筋内および筋間に観察される変化が不均一であることが示されている(2,31,42,44)。つまり、筋肥大、すなわち筋横断面積の増大は、上腕三頭筋などの筋腹において一様ではなく、筋群(外側広筋と内側広筋と大腿直筋など)によっても異なっている。Wakaharaら(42,43)によると、ダンベルベンチプレスでもライイングトライセップスエクステンションでも、上腕三頭筋の近位部や遠位部よりも、中央部分のほうが筋横断面積の増大が大きかった。さらに、骨格筋の不均一な肥大は様々な筋活動においてみられた(31)。Franchiら(13)によると、伸張性RTは筋の遠位端の筋肥大を促し、短縮性RTは筋腹中央部の筋肥大を促した。これらの調査結果に従うと、相対的または特異的な力学的負荷は局所的・部分的筋肥大の因子になる可能性がある。

至適筋長特異性説

フィットネス界の有名人、インフルエンサー、愛好家がソーシャルネットワークにおいて、筋肥大には至適エクササイズプロトコルが存在することをエピソードとして主張している。近年、それらの筋特異的レジスタンスエクササイズについて、エビデンスに基づく調査が行なわれている。これは、特定の筋群を肥大させたいBB競技者に大きな利益をもたらす可能性がある。例えばContrerasら(6)は、ヒップスラストは、上部および下部大殿筋のEMGの平均振幅とピーク振幅がバックスクワットよりも大きいことを見出した。そのため、主に女子のフィギュアとビキニの競技者の間でバーベルヒップスラストの人気が再燃した。ヒップスラストは大殿筋を第一主働筋としており、その部位に特異的な筋の適応をもたらす可能性がある点で、筋特異的エクササイズとみなされている(6)。女子フィジークでは殿部が厳格に評価されるため、競技者にもフィットネス愛好家にも需要が高い。ヒップスラストはヒップエクステンションエクササイズであり、別の観点からみると、ヒップスラストの可動域は、スクワットなどの全可動域エクササイズに対して部分可動域であると考えられる。Contrerasら(6)は、このレジスタンスエクササイズを調査した結果、特

定の筋群を焦点として、局所的・部分的適応を促進する可能性があると報告した。これは、BB競技者の目標とニーズに合致する。ヒップスラストにみられるEMGは、エクササイズの実施姿勢によって説明される可能性がある。つまり、膝関節を屈曲し、ハムストリングスがいわゆる「能動的不全」すなわち弛緩した状態にあることに起因する可能性がある。ハムストリングスの動員が制限されることによって、ヒップエクステンションの十分なトルクを生み出すには大殿筋の大きな筋活動が必要になるため、大殿筋のEMGの振幅が大きくなる(6)。このようなRTの様式は「至適筋長特異説」とも呼ばれるが、元はMcMahonらによって「平均筋長特異的トレーニング」と名づけられていた。これは、筋長-張力関係が、RTによって誘発される筋肥大の因子である可能性を示唆している。これらの発見以前にPintoら(35)は、Pertuzon(34)が発表した至適肘関節屈曲トルク(筋力)曲線分析を参照して、エルボーフレクション(バイセップスカール)の至適部分可動域(50～100°)を選択した。筋による力発揮は、筋収縮にかかわるミオシンフィラメントとアクチンフィラメントの相互作用と直接関係する。最大の力発揮は、ミオシンとアクチンの重なりが形成するクロスブリッジ数が最大の時に発生し、最大数のクロスブリッジの形成は、サルコメアが至適長である時に生じる。発揮される力は、サルコメア長、クロスブリッジの数、筋の短縮／伸張の速度に依存する(14)。関節で行なわれる筋活動すなわちトルクは、モーメントアームと力の積である。モーメントアーム(レバーアーム)は、力の作用点から回転が発生する関節までの垂直距離に等しい。したがって、筋力とモーメントアームが全可動域で生み出されるトルクに及ぼす作用は、筋が骨格に付着する点に相対する。さらに、Pintoら(35)が選択したエルボーフレクションには、3つの主な肘関節屈曲筋、すなわち上腕筋、上腕二頭筋、腕橈骨筋が含まれている。これら3つの協働する肘関節屈曲筋は上肢への付着点が明らかに異なっており、肘関節における至適トルクのプロフィールが異なっていると考えられる(11)。しかし、多関節エクササイズ(ベンチプレス、スクワット、ヒップスラストなど)では、全可動域を通して異なる筋が異なる長さで収縮することも示唆されている(35)。さらに、同じ筋群がすべて、最大の力発揮を行なう至適トルク長にあるとは限らない。そのため、いかなる関節角度においても、最大の力発揮を行なう筋もあればそうでない筋もある(35)。McMahonら(27)もPintoら(35)も、部分可動域RTを利用することによってこの現象を調査し、関節角度によって、ある筋群が収縮に至適な長さではない可能性があるとまとめた。Contrerasら(6)では筋(ハムストリングスなど)の動員能力が最小限に抑制されていたが、多関節エクササイズでは大殿筋などの他の筋群の動員が大きくなる可能性もある(21,27,35)。BBの審査基準と審美的目標を考えると、局所的・部分的な筋の成長が優先される筋肥大RTは、ボディメイク系競技者の目標に合致する可能性がある。

可動域をめぐる現在のRTの推奨基準

アメリカスポーツ医学会もNSCAも、筋量増大を最も効果的に促進するトレーニングプロトコルとして筋肥大モデルを推奨している。筋肥大モデルとは、初心者や中級者の場合は70～85％1RM(最大挙上重量)、上級者の場合は70～100％1RMの強度(負荷)でトレーニングを行なうことを指す。トレーニング量は、初心者や中級者の場合は1～3セット×8～12レップ、上級者の場合は3～6セット×1～12レップが推奨される。休息時間は、高負荷による高強度運動では2～3分、低負荷による低強度運動では1～2分とされる(36)。しかしSteeleら(12)によって指摘されたように、筋肥大を大きくあるいは小さくする因子としての至適可動域は、特定も裏づけもされていない。このような情報の欠如の原因は、先行研究の大多数が対象変数として筋力を調査し、可動域が筋肥大に及ぼす影響を直接調査した研究がほとんど存在しないことにあるのかもしれない。しかし、RTの研究文献とそれに依拠する専門職らは、筋適応の至適可動域として常に全可動域を支持してきた。圧倒的多数のデータは、そのようなトレーニングが筋力の増大に適していることを示している(3,5,8,19,25-28)。筋力増大を一番のニーズとするアスリートには、これらのエビデンスに基づく指導がなされる。しかしそのニーズは必ずしもBB競技者には当てはまらない。確かに、筋肥大と筋力増大の間には、正の相関関係が存在することが先行研究によって示されている。その反面、筋肥大と筋力増大の関係は弱いことを示すトレーニング研究も存在する。つまり、筋力が増大しても筋横断面積にはほとんど変化がみられない、あるいは逆に筋横断面積が増大しても筋力には有意な変化が認められないケースが報告されている(15,20,37)。最後に、筋肥大促進の点で、全可動域RTが部分可動域RTよりも大幅に優れていることを示す決定的な公式見解や決定的なエビデンスは存在しない。最近の系統的レビュー(38)では、反応は筋特異的な可能性があるものの、可動域のバリエーションが筋肥大を促す可能性のあることが指摘されている。また、新たにオリジナルの研究も発表されている。それらの研究結果は、トレーニングプログラムに部分可動域レジスタンスエクササイズを組み込むことを検討している、あるいはすでに組み込んでいるボディメイク系競技者の役に立つであろう(3,16,27,35,41)。

部分可動域RTと筋肥大の研究

可動域が筋肥大に及ぼす影響を調査した研究が若干あるが、明白な結果は得られていない。Pintoら(35)による研究は、可動域が筋適応に及ぼす影響への関心を再燃させた論文のひとつであろう。被験者はトレーニング経験がなく、全可動域(0～130°屈曲)によるバイセップスフレクション群、部分可動域(50～100°屈曲)によるバイセップスフレクション群、エクササイズを実施しない対照群の3群に分けられた。超音波検査を利用して上腕二頭筋の筋厚を測定した結果、筋厚増加について、全可動域群と部分可動域群の間に統計的な有意差は見出されなかった(それぞれ9.5%と7.4%)(35)。この研究では、興味深いユニークな指摘がなされている。すなわち、複数の自由度を伴う多関節のレジスタンスエクササイズ(スクワット、ベンチプレス、デッドリフトなど)では、可動域の特定部分において、筋長-張力関係に従って、異なる主働筋群が異なる関節角度で至適収縮を行なっている可能性のあることが指摘されている。

筋長-張力関係とは、それぞれの筋について、ミオシンとアクチンの大多数が重なり相互作用する特定のポイントが存在し、そこで至適力発揮が行なわれることを示している。さらに、この重なりを超えて筋が短縮あるいは伸張されると、アクチンと相互作用できるミオシンの割合が減少して、力発揮能力が低下する。加えて、サルコメア長は筋間および筋内で場所によって異なっている。これが、相対的な力学的負荷が筋肥大に不均一な影響を及ぼす因子である可能性が指摘されている(17,24,30)。最後に、力学的負荷は筋の成長を決定する主要な因子であり、多関節レジスタンスエクササイズでは筋群への力学的負荷を変化させることが可能である。これは、力学的負荷の「操作」のために部分可動域エクササイズを利用する根拠となるであろう(1,7)。

全可動域の支持者によってたびたび引用される有名なBloomquistら(3)の研究では、様々な分析装置を用いて、スクワットの可動域が、筋力、除脂肪体重、筋肥大に及ぼす影響が調査されている。RTプロトコルがもたらす身体組成の変化を測定するために、筋厚の測定には超音波検査法、筋横断面積の測定にはMRI、除脂肪体重の変化の測定には二重エネルギーX線吸収法が利用された。スクワットはディープスクワット群(全可動域群)とシャロウスクワット群(部分可動域群)に分けられた。全可動域群は膝関節の屈曲角度0～120°で実施し、約120°または大腿部が床と平行になるまで身体を下降させた。部分可動域群は膝関節の屈曲角度0～60°で実施させた。興味深いことに、身体組成尺度の間に矛盾する結果が見出された。筋横断面積は、全可動域群と部分可動域群の間に有意差がみられ、全可動域群のほうが横断面積の増大が大きかった。全可動域群には、大腿前部、特に縫工筋、大腿四頭筋、内転筋群の筋横断面積に顕著な影響がみられた。しかし大腿近位部では、全可動域群と部分可動域群の結果は類似していた。これは、選択した部分可動域の角度に基づく、部分的な筋の適応反応によって説明される可能性がある。さらに、除脂肪体重については、全可動域群のほうが脚部の増加量が大きかった(約1.7kg)。部分可動域群は筋横断面積に変化がみられず、測定に利用したMRIは生体の身体組成を示す基準測定法とみなされていることを考えると、これ以上検討する余地もないと考えるべきである。しかし、どの身体組成尺度も同じであるが、内在する限界と標準誤差に対する理解の程度は尺度によって異なる。例えば、二重エネルギーX線吸収法を利用してわずかな除脂肪体重の変化を測定することは(29,39,40)、水分状態の差、精度誤差、被験者の姿勢の違いなどの点で吟味されている(3)。さらに、Bloomquistら(3)はPintoら(35)と同じく、右外側広筋の筋厚の超音波検査の結果は群間に差異が認められず、羽状角の変化も同様であったことを報告している(3,35)。最後に、部分可動域スクワットにおける0～60°という膝関節屈曲角度は、この角度が膝蓋腱に最大の負担を与えて腱肥大を促す可能性があることを示唆する先行研究に基づいて選ばれたものである。この角度が「至適部分可動域角度」と考えられ、さらに、膝関節周辺への負担と肥大が、直接かつ等しく大腿四頭筋への負担と肥大に関連するならば、スクワットに関しては全可動域が筋肥大に最適であると想定するべきであろう。しかし、部分可動域レジスタンスエクササイズに至適可動域が存在するかどうかは不明であり、膝蓋腱と大腿四頭筋にかかる力は、負荷や関節角度に応じてかなり動的なものである可能性がある(23)。RTがもたらす差を評価するにあたって、筋肥大の尺度には若干の食い違いがみられることが指摘されており(18)、その食い違いが、可動域を因子として筋肥大適応を評価した先行研究の評価に影響している可能性がある。いずれにせよ、部分可動域トレーニングが、大腿前部近位部の横断面積の変化にみられるような部分的な筋適応に影響力をもつ可能性を示すエビデンスが存在する。すなわち、大腿近位部はMRIによる横断面積尺度に群間の差が見出されなかった。大腿前部近位部における横断面積の増大は、内転筋群、主として大腿四頭筋の外側広筋と大腿直筋によって構成されると考えられる。したがって、特定部位(近位部)の筋適応を促進するためにスクワットの部分可動域(0～60°)を利用することは、それを求める競技者にとって有効な方法かもしれない(3)。これだけでも、トレーニングの特異性の原則にかなうであろう。つまり、特

定の可動域でトレーニングを実施することは、筋の特定部位を動員し、その部位を集中的に収縮させることによって部分的な筋適応を促す可能性がある。これは、全身のバランスと均整を追求するために、特定の筋組織の増大を求めるボディメイク系競技者の要求に応えるものである。

最後に、至適筋長特異説に関連するもうひとつの研究(27)では、フリーウェイト、レジスタンスマシーン、自重エクササイズを利用して、膝関節の様々な可動域の効果が検証された。被験者は部分可動域群(膝関節の完全伸展から50°の屈曲)、完全可動域群(膝関節の完全伸展から90°の屈曲)、トレーニングを実施しない対照群に無作為に割り当てられた。超音波検査によって、0～8週(トレーニング期)、10週と12週(ディトレーニング期)に、大腿部の長さの25%、50%、75%の位置で筋横断面積が測定された。2つのトレーニング群は8週目で大腿部のすべての位置の筋横断面積に有意な増大が認められ、群間の差異は観察されなかった。トレーニング群の筋横断面積の測定はディトレーニング期にも続けられ、10週目と12週目のどちらにおいても大腿部の長さの50%と75%の位置で基準値よりも大きいことが見出された(27)。この研究デザインには多くの制限が存在することを考えても、選択された2つの可動域が、被験者において同様の筋適応を誘発したように思われる。

現場への応用

機能的RTの一様式として部分可動域を利用している、あるいは利用を検討しているボディメイク系競技者は、これらの研究結果をどのように解釈するべきであろうか。近年のデータは、全可動域RTと部分可動域RTが同等の筋肥大反応を示す可能性を示唆している。しかし現在のところ、部分可動域が多用されることはなく、重視されてもいない。なぜなら、部分可動域トレーニングが従来の全可動域トレーニングよりも、筋肥大に大きな影響を及ぼすことを裏づける決定的なデータが存在しないからである。血流制限RTの生理学的効果が幅広く調査されているのと同じく、RTにおける可動域変更の影響についても、利用する成果尺度を拡大し、利点、結果、適切な利用方法を個別に検証する必要がある。さらに、最新の調査において、至適筋長特異説を裏づけるとみられる局所的・部分的な筋適応が示されているとはいっても、筋群全体の適応をもたらすとはかぎらず、近位部や遠位部の筋肥大が大きいからといって全身の筋の均整に繋がるとはかぎらない。つまり、部分可動域の利用は、ボディメイク系競技の成功にほとんど影響しない可能性もある。しかし、現在の審査基準に従ってバランスよく均整の取れた身体造型を求め、筋力の増大ではなく審美性を目指す人々にとっては、部分可動域によるトレーニングが有効とみられるデータが示されている。つまり、ボディメイク系競技者、あるいは純粋に審美的造型を求める人々にとっては、完全可動域と部分可動域が筋肥大に対してほぼ同等の影響を及ぼすことが示されている。特定部位の筋組織を刺激する方法として、この様式をトレーニング実施の選択肢に付け加えることは、ボディメイク系競技者に何らかの利益をもたらす可能性がある。具体的にいうと、BBの競技者が、バランスと均整を向上させるために三角筋中部における筋組織の発達を第一目標としているならば、その部分を対象とするエクササイズの可動域を変更することは、より効果的かつ効率的に焦点を絞ることに役立つのではないだろうか。残念ながら、RTの多くの信奉者は、一般的なガイドラインに従わないRT様式を頑として拒み、新たな実証的データが存在するにもかかわらず、それらは禁忌であり、効果的ではなく、一時的な流行でしかないと考える可能性がある。しかし、新しい研究は、現在の風潮に対して新たな疑問を投げかけ、パフォーマンスの向上に役立つ新たなレジスタンスエクササイズ様式を模索している。ただしそれは、特定の集団についての評価かもしれない。部分可動域を利用することは、BBやフィジークの競技者が、全身の均整のために特定の筋群の発達を目標とする場合に、全可動域と類似したあるいは優れた部分的筋肥大をもたらす可能性がある。◆

References

1. Adams GR, Bamman MM. Characterization and regulation of mechanical loading - induced compensatory muscle hypertrophy. *Compr Physio* 2: 2829–2870, 2012.
2. Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* (1985) 103: 1565–1575, 2007.
3. Bloomquist K, Langberg H, Karlsen S, Madsgaard S, Boesen M, Raastad T. Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *Eur J Appl Physiol* 113: 2133–2142, 2013.
4. Brook MS, Wilkinson DJ, Smith K, Atherton PJ. The metabolic and temporal basis of muscle hypertrophy in response to resistance exercise. *Euro J Sport Sci* 16: 633–644, 2016.
5. Clark RA, Humphries B, Hohmann E, Bryant AL. The influence of variable range of motion training on neuromuscular performance and control of external loads. *J Strength Cond Res* 25: 704–711, 2011.
6. Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Beardsley C, Cronin J. A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyographic activity in the back squat and barbell hip thrust exercises. *J Appl Biomech* 31: 452–458, 2015.
7. Davis JP, Tikunova SB, Janssen PM. Mechanisms of muscle contraction and relaxation. In: *Muscle and Exercise Physiology*. San Diego: Elsevier, 2019. pp. 39–50.
8. Drinkwater EJ, Moore NR, Bird SP. Effects of changing from full range of motion to partial range of motion on squat kinetics. *J Strength Cond Res* 26: 890–896, 2012.
9. Duffey M. *A Biomechanical Analysis of the Bench Press* [PhD dissertation]. State College,

PA: Pennsylvania State University, 2008.
10. Dutton KR, Laura RS. Towards a history of bodybuilding. *Sporting Trad* 6: 25–41, 1989.
11. Enoka RM, Duchateau J. Muscle function: Strength, speed, and fatigability. In: *Muscle and Exercise Physiology*. San Diego: Elsevier, 2019. pp. 129–157.
12. Fisher J, Steele J, Smith D. Evidence-based resistance training recommendations for muscular hypertrophy. *Med Sport* 17: 217–235, 2013.
13. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol* (Oxf) 210: 642–654, 2014.
14. 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.
15. Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, Evans WJ. Strength conditioning in older men: Skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 64: 1038–1044, 1988.
16. Goto M, Maeda C, Hirayama T, et al. Partial range of motion exercise is effective for facilitating muscle hypertrophy and function through sustained intramuscular hypoxia in young trained men. *J Strength Cond Res* 33: 1286–1294, 2019.
17. Handsfield G, Knaus K, Fiorentino N, Meyer C, Hart J, Blemker S. Adding muscle where you need it: Non-uniform hypertrophy patterns in elite sprinters. *Scan J Med Sci Sports* 27: 1050–1060, 2017.
18. Haun CT, Vann CG, Roberts BM, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Roberts MD. A critical evaluation of the biological construct skeletal muscle hypertrophy: Size matters but so does the measurement. *Front Physiol* 10: 247, 2019.
19. Helms ER, Fitschen PJ, Aragon AA, Cronin J, Schoenfeld BJ. Recommendations for natural bodybuilding contest preparation: Resistance and cardiovascular training. *J Sports Med Phys Fitness* 55: 164–178, 2015.
20. Jones EJ, Bishop PA, Woods AK, Green JM. Cross-sectional area and muscular strength. *Sports Med* 38: 987–994, 2008.
21. Kulig K, Andrews JG, Hay JG. Human strength curves. *Exerc Sport Sci Rev* 12: 417–466, 1984.
22. Lauver JD, Cayot TE, Scheuermann BW. Influence of bench angle on upper extremity muscular activation during bench press exercise. *Euro J Sport Sci* 16: 309–316, 2016.
23. Li G, Kawamura K, Barrance P, Chao EY, Kaufman K. Prediction of muscle recruitment and its effect on joint reaction forces during knee exercises. *Ann Biomed Eng* 26: 725–733, 1998.
24. Mangine GT, Redd MJ, Gonzalez AM, et al. Resistance training does not induce uniform adaptations to quadriceps. *PLoS One* 13, 2018.
25. Massey CD, Vincent J, Maneval M, Johnson J. Influence of range of motion in resistance training in women: Early phase adaptations. *J Strength Cond Res* 19: 409–411, 2005.
26. Massey CD, Vincent J, Maneval M, Moore M, Johnson J. An analysis of full range of motion vs. partial range of motion training in the development of strength in untrained men. *J Strength Cond Res* 18: 518–521, 2004.
27. McMahon GE, Morse CI, Burden A, Winwood K, Onambele GL. Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength. *J Strength Cond Res* 28: 245–255, 2014.
28. Mookerjee S, Ratamess N. Comparison of strength differences and joint action durations between full and partial range-of-motion bench press exercise. *J Strength Cond Res* 13: 76–81, 1999.
29. Nana A, Slater GJ, Hopkins WG, Burke LM. Effects of daily activities on dual-energy X-ray absorptiometry measurements of body composition in active people. *Med Sci Sports Exerc* 44: 180–189, 2012.
30. Narici MV, Hoppeler H, Kayser B, et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* 157: 175–186, 1996.
31. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59: 310–319, 1989.
32. Newmire DE, Willoughby DS. Partial compared with full range of motion resistance training for muscle hypertrophy: A brief review and an identification of potential mechanisms. *J Strength Cond Res* 32: 2652–2664, 2018.
33. Paul AC, Rosenthal N. Different modes of hypertrophy in skeletal muscle fibers. *J Cell Biol* 156: 751–760, 2002.
34. Pertuzon E. Relation force-lomgueur isometorique du muscle humain en contraction maximale. *CR Soc Biol* 165: 328–333, 1971.
35. Pinto RS, Gomes N, Radaelli R, Botton CE, Brown LE, Bottaro M. Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *J Strength Cond Res* 26: 2140–2145, 2012.
36. Ratamess N, Alvar B, Evetoch T, Housh T, Kibler W, Kraemer W. Progression models in resistance training for healthy adults (ACSM position stand). *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
37. Sale D, Martin J, Moroz D. Hypertrophy without increased isometric strength after weight training. *Eur J Appl Phys Occup Physiol* 64: 51–55, 1992.
38. Schoenfeld BJ, Grgic J. Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Med* 8: 2050312120901559, 2020.
39. Toombs RJ, Ducher G, Shepherd JA, De Souza MJ. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. *Obesity* 20: 30–39, 2012.
40. Toomey CM, McCormack WG, Jakeman P. The effect of hydration status on the measurement of lean tissue mass by dual-energy X-ray absorptiometry. *Euro J Appl Physiol* 117: 567–574, 2017.
41. Valamatos MJ, Tavares F, Santos RM, Veloso AP, Mil-Homens P. Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *Eur J Appl Physiol* 118: 1969–1983, 2018.
42. Wakahara T, Fukutani A, Kawakami Y, Yanai T. Nonuniform muscle hypertrophy: Its relation to muscle activation in training session. *Med Sci Sports Exerc* 45: 2158–2165, 2013.
43. Wakahara T, Miyamoto N, Sugisaki N, et al. Association between regional differences in muscle activation in one session of resistance exercise and in muscle hypertrophy after resistance training. *Eur J Appl Physiol* 112: 1569–1576, 2012.
44. Wells AJ, Fukuda DH, Hoffman JR, et al. Vastus lateralis exhibits non-homogenous adaptation to resistance training. *Muscle Nerve* 50: 785–793, 2014.

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 42, Number 5, pages 87-93.

著者紹介

Daniel E. Newmire：
Texas A&M University-Corpus Christiの身体運動学部の助教。

Darryn S. Willoughby：
University of Mary Hardin-Baylorの運動スポーツ科学学部の教授。