

Key Words【筋量: muscle mass、筋肥大: hypertrophy、相対筋力: relative strength、神経の適応: neural adaptations、
バイオメカニクス: biomechanics】

筋量の増加:どの程度がパフォーマンスに最適なのか?

Development of Muscle Mass: How Much Is Optimum for Performance?

Warren Young, Ph.D. Scott Talpey, Ph.D. Rogan Bartlett, BESS Mitchell Lewis, BESS

Stephanie Mundy, BESS Andrew Smyth, BESS Tim Welsh, BESS

School of Health and Life Sciences, Federation University Australia, Ballarat, Australia

要約

筋肥大を目的としたトレーニングは、ある程度の体重増加を引き起こすことが予想され、それは競技パフォーマンスにとって有益にも悪影響にもなりうる。有益な効果としては、筋力の向上、押しのける動作に抵抗しやすくなること、および走る際の運動量の増加が考えられる一方、起こりうる悪影響として、加速、減速、方向転換、および跳躍の能力が低下することが考えられる。筋量と体重の増加をもたらすこれらの影響は、ストレングス&コンディショニングコーチが、アスリートの能力強化の過程を通じて処方する筋肥大トレーニングの量を慎重に考慮し、アスリートの個別のニーズを踏まえて決定する必要があることを示唆している。

序論

筋量の増加(筋肥大)を目的としたレジスタンストレーニングは、ストレングス&コンディショニング(以下S&C)において設定されることの多い目標である。筋量を増やすことは、筋力とパワーを向上させ、また一部の競技では、体重を増加させるのに望ましいと考えられる(12)。最も効果的な筋肥大トレーニングの手法を探究しているS&Cコーチもいると思われるが、本稿の目的は、この問題を探究することではない。この議論の目的は、様々な競技の個別のアスリートについて、最適な筋量と体重を見極めるための考察を示すことである。

筋量の増加は、筋力の向上に繋がる可能性があり、それは個々の筋線維が肥大する一因として、収縮力(筋力)を生み出すタンパク質のアクチンとミオシンを含む収縮性組織が合成されるためであることは、よく知られている(16)。筋肥大は、形態学的変化と組織の増加を伴うため、脂肪など他の組織が比例して異化(分解)されない限り、筋量の増加は、総合的な体重の増加に

関連づけることができる。以下の議論では、バイオメカニクスの原理に基づき、筋量および体重の増加がもたらすような有益な効果と悪影響について探求する。

筋量と体重の増加がもたらす利益

一般的に、筋横断面積と絶対筋力の間には、正の相関関係が存在する(8)。すなわち通常、筋は大きいほど力も強いのである。この関係は特に、筋量の増加が、力発揮に直接貢献しない物質、例えば毛細血管、筋形質、およびミトコンドリアの増加によってではなく、収縮性組織の増加(筋原線維肥大)によって生じた場合に認められる(21)。例えば、オーストラリアンフットボールのプロ選手をU18のエリート選手と比較した場合、競技レベルの高い選手のほうが除脂肪軟部組織量が有意に多く、また、下半身のパワーと上半身の筋力の測定値でも上回っていた(3)。このような観察結果は、筋量の増加が常に競技パフォーマンスの向上に繋がるとの結論に繋がりがかねない。

よく知られる物理学の法則を用い

て、力と質量、運動の関係性を探ることが出来る。ニュートンの運動の法則は、ほとんどのバイオメカニクスの教科書に記載されている(10)。第1の法則である慣性の法則とは、外から力が作用しない限り、物体は静止または等速運動を続けるというものである。物体の慣性が大きいほど、静止または運動状態が変化することへの抵抗も大きい。そして物体の慣性は、その質量に比例する。したがって、質量が大きい物体ほど、その静止または運動状態を変化させることは困難となる。これはすなわち、体重の重いバスケットボール選手のほうが、軽量の選手に比べて、ゴール下のリバウンド争いで押しつけられにくいことを意味する。同様に、体重の重いレスリング選手ほど倒されにくく、格闘技が体重別の階級制をとっている場合が多い理由のひとつとなっている。

体重増加のもうひとつの潜在的利点はあることである。運動量=質量×速度であるため、走る速度が一定なら、体重が重いアスリートのほうが大きな運動量を有する。運動量が大きいことは、実際の競技においてはコンタクト局面で与える効果の増大に繋がる。自動車事故に例えると、自動車とトラックが同じ速度で互いにぶつかった場合、より重量のあるトラックのほうが運動量が大きいので、衝突時に与える影響も大きく、自動車のほうがより「ダメージ」を受ける。同様に、アメリカンフットボールまたはラグビー選手2人が衝突した場合も、運動量の大きい選手のほうが有利になる可能性が高い。実際、ラグビーユニオン選手が試合で実施した正面からのタックルを分析したところ(11)、タックルの結果は、体重と速度のいずれか単独よりも、運動量によ

り強く関連していた。そのため、コンタクトスポーツ選手のスプリントテストを実施する際、速度だけでなく運動量を考慮するコーチもいる(2)。しかし、アスリートが徐々に体重を増やしていったとしても、ランニングの運動量が増加するのは、運動量の増加を無効化するほど速度が低下しない場合に限られる。したがって、体重の増加後により速く走ることは困難な可能性があり、以下のセクションではこれについて議論する。

筋量と体重の増加がもたらす不利益

ニュートンの第2の法則(加速度)は、数式で表すと現場に当てはめて考えやすくなる。

$$力(F) = 質量(m) \times 加速度(a)$$

すなわち、 $F=ma$ である。これを書き直すと、 $a=F/m$ となり、この数式は次のようなことを示す。

- ・力(筋力)が質量以上に増加すると、加速度は上昇する。
- ・質量が力以上に増加すると、加速度は低下する。
- ・力と質量が同等に変化すると、加速度は維持される。

加速能力が変化することは、スポーツにきわめて大きな影響をもたらす。例えば高く跳躍するためには、高い鉛直方向の加速度を発揮することで、離地時の速度を高くしなくてはならない。また水平方向の加速度も、スプリントを伴う多くの競技、特にバスケットボールやテニスのコートといった比較的狭いプレーエリアを使用し、スプリントの距離に限られる競技に必要である。また、ニュートンの第2の法則は、減速度にも等しく当てはまる。減速する能力(速度を急激に落とす、また

は急停止するなど)も、例えばサッカーなどの競技において、アタッカーが追ってくるディフェンダーとの距離を開けようとする際に重要となる。また側方へ方向転換するには、それまでの進行方向で減速してから、新たな方向へ加速しなくてはならない。したがって、方向転換のスピードやアジリティの動作もまた、アスリートの有する力(筋力)と体重の特性に影響を受ける。

また上記の数式を、筋量ではなく体脂肪量による体重の変化にも当てはめることができる。例えば、アスリートが筋量や筋力を増やすことなく、体脂肪量だけを3kg増やしたとする。仮の数値を用いて計算すると、それが加速度に及ぼす悪影響を容易にみてとることができる。

体脂肪量の増加前は、力=2,000 N、体重=70 kgとする。したがって、加速度= $2,000/70=28.6 \text{ m/s}^2$ である。

体脂肪量の増加後は、力=2,000 N、体重=73 kgとなる。したがって、加速度= $2,000/73=27.4 \text{ m/s}^2$ である。

この例が示しているのは、他の要素がすべて等しい場合、より大きな力を発揮する能力の向上なしに体重が増加すると、跳躍、加速、減速、方向転換、およびアジリティのパフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性があるということである。

同様の分析を、持久力のパフォーマンスに対しても行なうことができる。有酸素性パワーの代表的な指標は、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\text{max}$)であり、これはml/kg/分で表される(19)。すなわち、アスリートが体重70 kgで4,000 ml/分の酸素を摂取していた場合、 $\dot{V}O_2\text{max}=57.1 \text{ ml/kg/分}$ と

る。しかし、体重が(筋量または体脂肪量により)73kgに増加して酸素摂取量が増加しなかった場合、 $\dot{V}O_2\text{max}$ = 54.8 ml/kg/分となり、持久力パフォーマンスは4%低下する。この場合、ランニング主体のフィールドスポーツ(サッカーなど)において不利になるだけでなく、体重が増加した分、走る際にアスリートに加わる地面反力が増加する可能性も考えられる。多量のランニングを求められるアスリートでは、繰り返し地面反力を受けることで、オーバユース障害のリスクが高まる可能性がある(13)。年齢の高いアスリートは特にリスクが大きいと考えられるため、年齢とともに体重を制限することは、競技生活を長く続ける上で役立つ可能性がある。

なお、上記の例では、筋力や持久力を単純に体重で除している。筋力を標準化して個人間で比較したり、競技パフォーマンスを予測したりする方法には他にも、より複雑な形式のアロメトリック(相対成長)スケールを用いた様々なものがある(14,15)。上記の例に用いた計算は単に、体重変化が及ぼす一般的な影響を示すことを目的としている。

とはいえ、上記の議論が明らかにしているのは、体重の増加は慣性の増大によって有益となりうるが、多くの場合、利益を得られるのは、筋力がそれに比例して向上した場合に限られるということである。これはすなわち、アスリートが自身の身体という負荷に抵抗しながら力を発揮しなければならない多くの競技において、相対筋力(体重で除した筋力)のほうが、絶対筋力(体重にかかわらず最大筋力)の向上よりも重要な可能性があることを意味する。実際、下半身の相対筋力およびパワーの測定値のほとんどは、スプリン

トパフォーマンスとの相関の強さが絶対値を上回っている(1)。したがって、そのような場合には、筋肥大と体重増加を最小限に抑えつつ、筋力を最大限に高めるトレーニング方法を特定することが課題となる。

相対筋力を高めるトレーニング

相対筋力の向上は、主に神経の適応によって筋力向上が引き起こされた場合に生じるという説が一般的である(4)。神経系の適応は、運動単位の動員、発火頻度、および同期の増大、神経の抑制メカニズムの低下といった筋内の要素(18,20,21)、ならびに共同筋の効果的な共縮といった筋間の要素を含む(5)。Zatsiorsky(21)によれば、90% 1RMなどの比較的高い負荷を挙上すると、神経的なメカニズムによる筋力向上が引き起こされ、筋肥大が抑えられるという。競技レベルの高いボディビルディング、パワーリフティング、およびウエイトリフティング選手を比較した研究では(6)、ボディビル選手が他の選手に比べて大腿筋断面積の推定値がやや高かったにもかかわらず、バックスクワットの筋力は、パワーリフティング選手とウエイトリフティング選手のほうが統計的に有意に高かったことが明らかになっている。著者らは、パワーリフティング選手とウエイトリフティング選手が一般的に行なっている高強度のトレーニングによって、神経系の適応が引き起こされた可能性が高いと推測している。十分にトレーニングを積んだアスリートにおいて、神経的要因による筋力向上を引き起こすことは困難な可能性がある。しかし、エリートウエイトリフティング選手を対象とした研究において、12ヵ月の間、大腿部周囲径と体重には有意な変化がなかったにもかかわ

らず、一定期間トレーニング強度を高めたところ、大腿四頭筋の活動が増大し、競技パフォーマンスが向上したことが明らかになっている(9)。筋肥大の促進には、幅広い負荷のレジスタンストレーニングが効果をもたらす(17)、筋力向上を最大化するには、比較的高い負荷に重点を置くべきである(7,17)。また、パワーは力(筋力)と速度の積であるため、相対筋力の向上は、相対パワーの向上に繋がることも認識すべきである。

現場への応用

筋力の向上と体重の変化を最適化することは、微妙なバランスを必要とする可能性があり、それがスプリント、跳躍、方向転換、およびアジリティのパフォーマンスに加え、多様な競技におけるボディコンタクトの局面に影響を及ぼすことがある。筋量と体重の増加は、パフォーマンスにとって有益にも悪影響にもなりうる。したがって、S&Cコーチは、レジスタンストレーニングと食事による身体組成(筋量と体脂肪量)の変化がもたらす影響を慎重に考慮しなければならない。筋量や体重の増加は常に有益であると決めつけるのではなく、コーチはどの程度が最適であるかを見極める必要がある。以上のことから、筋量と体重の増加は、比較的トレーニング歴の浅いアスリートには効果的かもしれないが、アスリートを強化する過程においては、どこかの時点で、相対筋力およびパワーに重点を置き、筋肥大トレーニングを減らし、神経的要因を強調して、さらなる筋力とパワーの向上を目指すべき段階がくると考えられる。またチームスポーツにおいては、最適なレベルを見極めるにあたり、アスリートの個別のニーズを、各自のポジションやチー

ム内での役割を踏まえて考慮しなくてはならない。◆

References

1. Baker D, Nance S. The relationship between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 13: 230-235, 1999.
2. Baker DG, Newton RU. Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 22: 153-8, 2008.
3. Bilsborough JC, Greenway KG, Opar DA, Livingstone SG, Cordy JT, Bird SR, Coutts AJ. Comparison of anthropometry, upper-body strength, and lower-body power characteristics in different levels of Australian football players. *J Strength Cond Res* 29: 826-834, 2015.
4. Bompa T, Buzzichelli CA. *Periodization Training for Sports* (Vol. 25) (3rd ed). Champaign, IL: Human Kinetics, 2015.
5. Bosch F. *Strength Training and Coordination: An Integrative Approach*. Rotterdam, the Netherlands: Uitgevers, 2015. pp. 191-193.
6. Di Naso J, Pritschet B, Emmett J, Owen J, Willardson J, Beck T, DeFreitas J, Fontana F. Comparing thigh muscle cross-sectional area and squat strength among national class Olympic weightlifters, power lifters, and bodybuilders. *Int Sportmed J* 13: 48-57, 2012.
7. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* 34: 663-679, 2004.
8. Hakkinen K, Alen M, Komi P. Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur J Appl Physiol* 53: 97-105, 1984.
9. Hakkinen K, Komi P, Alan M, Kauhanen H. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol* 56: 419-427, 1987.
10. Hall SJ. *Basic Biomechanics* (5th ed). New York, NY: McGraw-Hill, 2007. pp. 388-389.
11. Hendricks S, Karpul D, Lambert M. Momentum and kinetic energy before the tackle in rugby union. *J Sports Sci Med* 13: 557-563, 2014.
12. Howe L, Read P, Waldron M. Muscle hypertrophy: A narrative review on training principles for increasing muscle mass. *Strength Cond J* 39: 72-81, 2017.
13. Hreljac A. Impact and overuse injuries in runners. *Med Sci Sports Exerc* 36: 845-849, 2004.
14. Jacobson B. A comparison of allometric scaling methods for normalizing strength, power, and speed in American football players. *J Sports Med Phys Fitness* 55: 684-690, 2015.
15. Oba Y, Hetzler RK, Stickley CD, Tamura K, Kimura IF, Heffernan TP Jr. Allometric scaling of strength scores in NCAA division I-A football athletes. *J Strength Cond Res* 28: 3330-3337, 2014.
16. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857-2872, 2010.
17. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31: 3508-3523, 2017.
18. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The importance of muscular strength: Training considerations. *Sports Med* 48: 765-785, 2018.
19. Withers R, Gore C, Gass G, Hahn A. Determination of maximal oxygen consumption or maximal aerobic power. In: *Physiological Tests for Elite Athletes*. Gore CJ, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2000. pp. 114-127.
20. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 74-83, 2006.
21. Zatsiorsky V. *Science and Practice of Strength Training* (Vol. 63). Champaign, IL: Human Kinetics, 1995. pp. 100-101.

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 41, Number 3, pages 47-50.

著者紹介



Warren Young:
Federation University Australiaの准教授でストレンクス&コンディショニング学修士課程のプログラムコーディネーター。



Scott Talpey:
Federation University Australiaのストレンクス&コンディショニング学上級講師。



Rogan Bartlett:
Ballarat Basketballのアシスタント・ストレンクス&コンディショニングコーチで、Federation University Australiaの大学院に在籍。



Mitchell Lewis:
Sebastopol Vikingsサッカークラブのストレンクス&コンディショニングコーチで、Federation University Australiaの大学院に在籍。



Stephanie Mundy:
Maribyrnong Sports Academyのストレンクス&コンディショニングコーチで、Federation University Australiaの大学院に在籍。



Andrew Smyth:
WestVic Academy of Sport (オーストラリア、バララット)のストレンクス&コンディショニングコーチで、Federation University Australiaの大学院に在籍。



Tim Welsh:
Ballarat City Football Club (ナショナルプレミアリーグ)の身体パフォーマンス担当マネージャーで、Federation University Australiaの大学院に在籍。