©NSCA JAPAN
Volume 27, Number 10, pages 2-9

特集 feature

漸減トレーニング：新たなトレーニングの考え方と今後の展望

尾崎 隼朗, Ph.D., CSCS, 東海学園大学 スポーツ健康科学部 講師

1. 漸減トレーニングとは ～新たなトレーニングの可能性～

関節を介して身体動作を生み出す骨格筋の収縮力、そして、その収縮のためのエネルギー源を供給する能力の増加は、運動パフォーマンスの向上に貢献すると期待される(11,12,38)。したがって、これらを向上させる様々なトレーニング方法が考案されてきたが、現状のトレーニング方法と比較して、より少ない時間でより多くの体力要素に対する最大限の効果が得られる、つまり、効率的かつ効果的なトレーニング方法の開発を進めることは、我々研究者の大きな責務のひとつであると考えている。この実現のために、我々は近年、漸減トレーニングと名付けた新たなトレーニング方法の開発に取り組んでいる。これは、ターゲットとする複数の体力要素を向上させるために必要とされる負荷や強度を各々設定し、これらを高い順から休みなく配列してトレーニングする方法である。これにより様々な体力要素を短時間で同時に向上させることができると仮説を立て、研究を進めている。実際に、レジスタンストレーニング、そして、ランニングやサイクリングのようなエネルギー供給能力の向上に、より特化したトレーニング(以下、エネルギー供給系のトレーニングと記載する)において、仮説どおりの結果が得られている。漸減トレーニングは、1セッション当たり数分間の運動で、複数の体力要素を同時に向上させる可能性がある。本稿では、まずはじめに、これまでの代表的なトレーニング例と研究小史、そして漸減トレーニングを着想するに至るまでの経緯について説明し、漸減トレーニングの方法と効果について紹介した後に、現場への応用と今後の展望について考えてみたい。

2. レジスタンストレーニングで用いられる負荷に対する適応の特異性と研究小史、そして漸減トレーニングを着想するに至るまで

運動の強度やその努力度の表現方法については様々な議論が存在するが(37)、本稿では、主にレジスタンストレーニングにおいて負荷という言葉を用いる。これは、多くの場合、最大筋力に対する割合を意味する。ここではまず、レジスタンストレーニングで用いられる負荷に対する適応の特異性について、骨格筋の機能(最大筋力と筋持久力)と形態(筋サイズ)に分けて考えていきたい。

まずは機能について、1982年に出版されたAnderson＆Kearneyの論文は、広範囲な負荷に対する適応を検討した初期の研究として有名である(2)。この論文では、6～8RM、30～40RM、100～150RMの3つの負荷を用いたレジスタンストレーニングの各々の効果が検証されている。最も負荷の高い群では最大筋力(1RM)が、最も負荷の低い群では筋持久力(40％1RMでの挙上回数)が最も向上したことが示されている。ここで、局所的な筋持久力の測定について考えてみると、その測定は絶対的、もしくは相対的な筋持久力の2つに大きく分類される(8)。絶対的な筋持久力はある一定の負荷(例えば50kg)で挙上できる回数であり、相対的な筋持久力は個人の最大筋力に対する割合で示した負荷(例えば50％1RM)で挙上できる回数を意味する(8,47)。例えば、トレーニング実施前に50kgで3回挙上できた者が、トレーニング後に50kgで5回挙上できるようになれば、絶対的な筋持久力が向上したと考えることができる。そして、この結果に基づいて、指導

者やトレーニング実践者の多くは、最大筋力（1RM）も向上していると推測するであろう。実際に先行研究においても、絶対的な筋持久力は1RMとともに向上する傾向にある(47)。一方で、相対的な筋持久力の向上には、必ずしも1RMの向上は伴わない(31,36)。したがって、最大筋力と対比的に捉えた場合、筋持久力の指標として、相対的な筋持久力がより適切であると考えられる。この意味において、前述したAnderson＆Kearneyの研究では、トレーニング実施前に40％1RMの負荷での挙上回数を評価し、トレーニング実施後にも、これと絶対的に同一な負荷を用いて測定をしていることから、絶対的な筋持久力を評価したものであったといえる(2)。続いて、Camposら(5)の研究は、レジスタンストレーニングに用いられる負荷に対する特異的な適応の問題を検討する際に、最も引用される論文のひとつであり、トレーニング効果の指標に相対的な筋持久力テストを採用している(5,8)。非鍛錬者を負荷の異なる3つのトレーニング群（3～5RM、9～11RM、20～28RM）とコントロール群の4群に分けた。結果として、最も負荷の高い群では1RMが、最も負荷の低い群では相対的な筋持久力（60％1RMでの最大挙上回数）が、他の群と比較して最も高い向上率を示した。一方で、いくつかの研究において、トレーニング時の負荷に非特異的な最大筋力の向上が示されている(9,19)が、これには、研究期間を通じて繰り返される最大筋力テスト自体のトレーニング効果、または、トレーニングとは異なる様式での最大筋力の評価などが影響している可能性がある。いずれにしても、とりわけ、トレーニング実施時とトレーニング効果の評価時において、同一の運動様式を採用している場合には、全体として、より高い負荷では最大筋力が、より低い負荷では局所的な筋持久力が向上しやすい傾向にある(28,32)。

続いて、骨格筋の形態として、レジスタンストレーニングに対する筋サイズの変化について考えていきたい。1900年代後半までは、レジスタンストレーニングによって筋肥大を引き起こすためには60～65％1RM以上の高負荷が必要であると一般に考えられていた(20)が、ここ20年ほどの研究によって、より低い負荷であっても筋肥大が引き起こされることが明らかになってきた。低負荷トレーニングの筋肥大効果が注目される契機となったのは、活動筋への血流を制限しながら行なうトレーニングに関する研究結果であろう。例えば、Takaradaら(42)は、30～50％1RM程度の負荷でのアームカールを2回／週、16週間実施した結果、活動筋への血流を制限した群では、上腕二頭筋の筋横断面積が有意に増加したことを示した。その後、複数の研究によって、20％1RM程度のより低い負荷のトレーニングによっても、活動筋への血流制限を加えることで筋肥大が生じることが示された(1,43)。さらに2012年には、低負荷を用いたレジスタンストレーニングにおいて、挙上ができなくなるまで実施した場合には、活動筋への血流制限を実施せずとも、筋肥大が引き起こされることが証明された(24)。Mitchellら(24)は、定期的にレジスタンストレーニングを実施していない若年男性を3つの条件（80％1RM×3セット、80％1RM×1セット、30％1RM×3セット）に分けてトレーニングを実施した。いずれの条件においても挙上ができなくなるまでトレーニングを行なった。10週間のトレーニングの結果、筋肥大効果は条件間で同程度であることが示されたのである。一方で、最大筋力（1RM）の増加の程度は30％1RMの条件よりも80％1RMを用いた2つの条件で有意に大きく、筋持久力（30％1RMでの反復回数）は30％1RMの条件でのみ向上したことを示しており、前述のとおり、機能面では負荷に特異的な適応が認められている。こうした低負荷トレーニングにおける筋肥大効果は、鍛錬者を対象とした研究でも観察されている(36)。さらに、2020年に発表された最新の論文では、トレーニング中の挙上速度を測定し、40％1RMでの挙上速度が各セットにおけるはじめの10レップの平均速度から20％低下するまで運動を継続した場合と、同負荷で挙上ができなくなるまで運動した場合を比較すると、筋肥大の程度に統計的な有意差が認められなかったことを示している(17)。したがって、低負荷であっても、トレーニング量を増やし、一定程度疲労を引き起こすことによって筋肥大は生じるようである。

このように、より高い負荷では最大筋力が、より低い負荷では相対的な筋持久力が向上しやすいことを考慮すれば、負荷を高いところから低いところまで漸減しながらトレーニングすることで、筋肥大に加えて最大筋力と相対的な筋持久力を同時に向上させることができると我々は仮説を立てた。さらに高い負荷で疲労が生じても、負荷を減らせば休息なしに運動を継続できることから、この方法では運動時間の短縮も期待できる。この方法はいわゆるドロップセットと類似していると考えた読者もいるであろう。確かに、ある一定の負荷で挙上ができなくなるまで運動を実施した後に、一定程度負荷を減らしてこれを繰り返す点では同じである。しかしながら、ドロップセットでは、はじめのセットと最終セットで用いる負荷について明確な定義がないのに対して、漸減トレーニングは、最大筋力と相対的な筋持久力を同時に向上させるために、1RMに対する高い割合から低い割合に相当する負荷まで漸減していくことを要求する。

3. レジスタンストレーニングにおける漸減トレーニング

前述の仮説を検証するために、以下のとおり研究を実施した。定期的にレジスタンストレーニングを実施していない若年男性を対象とし、被験者の各腕に対して、以下の3つの条件のうちいずれかを割り当てた。80％1RM×3セット（80％1RM条件）、30％1RM×3セット（30％1RM条件）、80％1RMで1セット実施した後に30％1RMまで負荷を漸減させる条件（漸減トレーニング条件）の3つである（31）。この論文を執筆した当時は、3つ目の条件をドロップセットと表記していたが、前述のとおり、漸減トレーニングと定義し直したい。すべての条件において、各セット指定された負荷で挙上ができなくなるまでトレーニングを実施した。コンセントリック局面はできるかぎり素早く挙上し、エキセントリック局面は2秒間かけてコントロールした。各条件における適応の特異性を考慮して、セット間休息を80％1RM条件では3分間、30％1RM条件では90秒間に設定した。漸減トレーニング条件では、80％1RMでトレーニングを実施した後に、65％、50％、40％、30％と段階的に負荷を減らし、各負荷間に休息を設けずにトレーニングを行なった。また、各々の負荷に相当するダンベルを予め5つ用意し、5秒以内でダンベルを交換した。トレーニングの頻度と期間は2～3日／週、8週間とし、計20回のトレーニングを実施した。

トレーニングの結果、上腕屈筋群の横断面積はすべての条件で有意に増加し、その程度に条件間で有意な差は認められなかった。1RMおよび等尺性最大筋力は80％1RM条件と漸減トレーニング条件で有意に増加した一方で、30％1RMでの反復回数（相対的な筋持久力）は30％1RM条件と漸減トレーニング条件で有意に増加した。したがって、仮説どおり、漸減トレーニング条件でのみ、筋肥大に加えて筋力と筋持久力が同時に向上した。また、介入期間全体でのトレーニング量（負荷×レップ数）は、30％1RM条件（15,365±3,251 kg）において80％1RM条件（4,724±354 kg）と漸減トレーニング条件（5,308±408 kg）よりも有意に大きく、セッション当たりのトレーニング時間（セット間休息を含む）は漸減トレーニング条件（2.1±0.1分）、80％1RM条件（6.8±0.1分）、30％1RM条件（11.6±2.3分）の順に短かった。したがって、漸減トレーニング条件では、高負荷もしくは低負荷のみを用いた典型的なトレーニングと比較して、より短時間（約2分間）で、筋肥大に加えて筋力と筋持久力が同時に向上したことになる。

本研究では、研究デザインを考慮して、負荷の上限を80％1RM、下限を30％1RMに設定したが、トレーニングに対する適応の特異性を考慮すれば、最大筋力を最大限に高めるために、より1RMに近い負荷をプロトコルに含めることを検討する余地がある。しかしながら、90～100％1RMと70％1RMでのトレーニングの効果を検討した研究では、1RMの増加の程度に有意な差がなかったことが示されており（6,35）、少なくとも数週間から数ヵ月程度のトレーニングにおいては、80％1RMよりも大きな負荷を含めても、トレーニング効果に大きな違いはないかもしれない。一方で、相対的な筋持久力の向上を最大限に高めるためには、30％1RMより低い負荷を含める必要があるかもしれない。加賀谷ら（16）は、最大筋力の1/2、1/3、1/4の負荷でトレーニングを実施した場合に、1/4の負荷で相対的な筋持久力が最も向上したことを示している。また、等尺性最大筋力の20～30％未満の力発揮では、それよりも大きな力発揮の場合と比較して、疲労に至るまでの時間が大きく延長されることが示唆されている（13,46）。つまり、30％1RMよりも低い負荷を用いることで、相対的な筋持久力はさらに向上するものの、トレーニング時間が大きく延長される可能性があると推測される。したがって、この点については、トレーニング効果と時間効率を最適化することを念頭に、今後、研究を重ねていく必要がある。

4. エネルギー供給系のトレーニングの代表例と研究小史、そして漸減トレーニングを着想するに至るまで

身体活動のエネルギー源であるATPは、有酸素性および無酸素性エネルギー供給系によって絶え間なく再合成されており、このエネルギー供給能力が運動パフォーマンスの質に大きく影響する（3,12,21,27）。有酸素性エネルギー供給系、すなわち酸素摂取の最大速度は、一般に最大酸素摂取量（$\dot{V}O_2max$）で評価される（34）。一方で、無酸素性エネルギー供給系によって再合成されるATPの最大量を評価する方法として、最大酸素借が提案されている（26）。例えば、サッカーやハンドボール等の多くのスポーツ活動において観察される間欠的なスプリント運動中に必要とされるエネルギーは、有酸素性および無酸素性の両エネルギー供給系によって供給されている。したがって、そのスプリントパフォーマンスを高いレベルで維持するためには、高い$\dot{V}O_2max$と最大酸素借が必要である（12）。最大酸素借の測定方法に関して、その妥当性や再現性に懐疑的な意見も存在する（22,26）が、現時点でその代替となる確立された評価方法は見当たらない。さらに、短時間のスプリント運動によって評価される最大無酸素パワーは、無酸素性エネルギー供給系によって再合成されるATPの最大速度を反映すると考えられている（7）。最大努力で実施される運動において、はじめの数秒間に必要とされるエネル

ギーの大部分は無酸素性エネルギー供給系によって供給されており、その供給速度は、とりわけ、短時間で大きなパワーを発揮する必要があるスプリントやジャンプなどのパフォーマンスの質を決定する重要な因子となる(11)。したがって、こうした有酸素性および無酸素性エネルギー供給能力を効率的に向上させることは、運動パフォーマンスの向上のために重要である。

1920年代にHillらによって、$\dot{V}O_2max$が有酸素性作業能力を評価する指標として確立されて以来、ランニングやサイクリングなどの大筋群を用いた持続的な運動は有酸素性エネルギー供給能力を向上させることが多くの研究によって証明されてきた(4,45)。$\dot{V}O_2max$を向上させるためには、50～100%$\dot{V}O_2max$の一定強度での持続的な運動を実施することが一般的である(本稿において強度とは$\dot{V}O_2max$に対する割合を意味する)。例えば、アメリカスポーツ医学会では、40～50%$\dot{V}O_2max$以上の強度で20～60分間の持続的な運動を週に3～5日実施することを推奨している(10)。より高い強度で運動を実施する場合、それに伴って、無酸素性エネルギー系の貢献度が増加する(11)。無酸素性エネルギー供給系は、有酸素性エネルギー供給系よりも迅速にATPを再合成することが可能なためである。しかしながら、その迅速な供給を長時間継続することはできないため、運動中の強度が高くなると、一般的にトレーニングの時間や量は低下する。したがって、目的とする体力要素の向上のために、より大きなトレーニング量が必要である場合、休息を挟みながら、その運動を繰り返し実施することになる。これが、いわゆるインターバルトレーニングである。運動間の休息時に比較的低強度の運動を実施するものをインターバルトレーニング、完全休息を設けるものをレペティショントレーニングと称して使い分ける場合もあるが、これらは、同様の意味で用いられることも多い。本稿では、これらをまとめてインターバルトレーニングとして扱うことにする。インターバルトレーニングは第二次世界大戦後に世界的な広まりをみせた(4)。1952年のヘルシンキオリンピックにおいて、5000m、10000m、マラソンの3つの種目で金メダリストに輝いたチェコのトップランナーであったエミール・ザトペックがインターバルトレーニングを実施していたことで、その後、世界的に普及したトレーニング方法である。学術雑誌に初めて登場したのは1959年であったとされている(4,39)。インターバルトレーニングにおいて最も有名なプロトコルのひとつとして、タバタプロトコルが挙げられる。これは、1980年代にスピードスケートの日本代表ヘッドコーチであった入澤氏が導入したものである。その後、1996年にTabataらが、およそ170%$\dot{V}O_2max$の強度での20秒間の自転車エルゴメータ運動を10秒間の完全休息を挟んで7～8セット繰り返す6週間のトレーニングによって、$\dot{V}O_2max$と最大酸素借が向上することを報告した(39)ために、タバタプロトコルと呼ばれている。しかしながら、最大無酸素パワーについては評価されていない。運動強度は170%$\dot{V}O_2max$と最大酸素摂取量に相当する強度を超える水準であるものの、最大無酸素パワーが発揮されるようなより高い強度での最大努力のペダリングは含まれていない。したがって、トレーニング刺激に対する特異的な適応を考慮すれば、このプロトコルによって最大無酸素パワーが大きく向上することは考えにくい。

簡便性の観点から、無酸素パワーの評価にはウィンゲートテスト、つまり、体重(kg)の7.5%の負荷(kp)を用いた30秒間の最大努力でのスプリント運動中のピークパワーが用いられることが多い。例えば、体重の7.5%の負荷で6秒間の最大努力でのスプリントを12本×2セット実施したIkutomoら(14)の研究では、ウィンゲートテストにおけるピークパワーが向上したことが示されている。しかしながら、非鍛錬者と鍛錬者ともに、体重の7.5%よりも高い負荷を用いて30秒間の最大努力でのスプリントを実施した場合に、より高いピークパワーが得られると指摘されており(15,33)、“最大”無酸素パワーを発揮するためには、体重の7.5%より高い負荷が必要である可能性が高い。実際に、非鍛錬者を対象とした我々の研究においても、最大無酸素パワーが出現する負荷(至適負荷)は、平均で体重の11%程度であった(30)。自転車エルゴメータを用いて決定される最大無酸素パワーは、複数の負荷に対して、各々6～10秒程度の最大努力でのスプリントを実施して得られる「力-速度」の直線関係と「力-パワー」の放物線関係から算出される(25,44)。適応の特異性を考慮すれば、至適負荷を用いて最大努力での短時間(～10秒程度)のスプリント運動を実施することにより、最大無酸素パワーが向上すると推察される。しかしながら、最大無酸素パワーを指標としてトレーニング効果を検討した研究は見当たらず、今後の研究によって、そのトレーニング方法の詳細な検討が望まれる。

前述したように、インターバルトレーニングの代表例であるタバタプロトコルでは、最大酸素摂取量と最大酸素借が同時に向上するが、これらに最大無酸素パワーを加えた3つが同時に向上したことを報告した研究例はない。ひとつのトレーニングによって、最大無酸素パワーも向上させるためには、そのために必要な刺激も含めなければならない。これを実現させるために、我々は、レジスタンストレーニングにおける漸減トレーニングの研究結果を参考に、下記のように仮説を立てた。

最大無酸素パワー、最大酸素借、最大酸素摂取量の順に、これらの向上に必要と考えられる、もしくは、これらを最大限に刺激するために必要な運動強度は低下していく。したがって、最大無酸素パワーが出現する強度から、最終的に最大酸素摂取量に相当する強度まで、強度を漸減させながら運動を継続すれば、これらの体力要素を短時間で同時に向上させることができると考えたのである。

5. エネルギー供給系に対する漸減トレーニング

上記の仮説を検証するために、以下のとおり研究を実施した。定期的にトレーニングを実施していない若年男性を、コントロール群とトレーニング群に分け、トレーニング群は、自転車エルゴメータを用いて、以下に示す漸減トレーニングを実施した(30)。**図1**に示すように、漸減トレーニングは5つの連続したパート(パートⅠ～Ⅴ)から構成された。各パート間に休息は設けなかった。各パートにおける運動強度はペダリングの負荷と回転数によって調節され、漸減された。被験者はまず、トレーニング実施前に評価された最大無酸素パワーが出現する負荷(平均で7.7±1.5kp、体重の11%程度)で5秒間、最大努力でペダリングを行なった(パートⅠ)。続いて、5秒間のペダリングを5回実施した(パートⅡ)。パートⅡでは、トレーニング実施前に最大酸素借を評価するためのテストで設定した負荷(平均で5.3±1.0kp)を用い、回転数は85rpmから5秒ごとに5rpmずつ漸減された(85rpmから65rpmまで)。その後、負荷はそのままで回転数を60rpmまで低下させて30～60秒間ペダリングを行なった(パートⅢ)。続けて、回転数は60rpmのままで、運動強度が105%$\dot{V}O_2max$程度になるように負荷を設定し、回転数が3秒間57rpmを下回るまで運動を継続した(パートⅣ)。最後に、回転数が55rpm、かつ、運動強度が90%$\dot{V}O_2max$程度になるように負荷を設定し、回転数が3秒間52rpmを下回るまで運動を継続し(パートⅤ)、1回のセッションを終了した。パートⅢの運動時間は、はじめ30秒間に設定された。被験者が設定された回転数、つまり60rpmで、指定された時間まで運動を継続できた場合には、次のトレーニングセッション時に運動時間を10秒間延長した。セッションごとにこれを繰り返し、パートⅢにおいて60秒間運動を継続できた場合には、トレーニング実施前に評価された$\dot{V}O_2max$を基準に、パートⅢ～Ⅴまでの運動強度が5%$\dot{V}O_2max$分増加するようにペダリング負荷を設定するとともに、パートⅢの運動時間を30秒間に戻した。トレーニングの頻度と期間は2～3日／週、8週間とし、計20回のトレーニングを実施した。

8週間の介入期間後に、コントロール群では、測定したすべての項目で変化は認められなかったが、トレーニング群では、$\dot{V}O_2max$、最大酸素借と最大無酸素パワーがすべて向上した。加えて、セッション当たりの平均トレーニング時間は275±135秒、つまり、4分半程度であった。したがって、漸減トレーニングでは、短時間でこれら3つの能力を向上させることができた。レジスタンストレーニングと同様に、エネルギー供給系のトレーニングに対する適応も特異的である。Wenger&Bellは90～100%$\dot{V}O_2max$の強度でトレーニングが実施された時に、$\dot{V}O_2max$の向上率が最も高くなることを示している(45)。$\dot{V}O_2max$と比較して、最大酸素借の向上のためのトレーニング方法に関する情報は非常に少ないが、原則として$\dot{V}O_2max$を超える強度でのトレーニングが必要である(23,41)。最大酸素借を向上させるトレーニングとして、前述したタバタプロトコルがよく知られている。繰り返しになるが、Tabataらは、170%$\dot{V}O_2max$の強度で20秒間の運動を10秒間の休息を挟んで7～8セット反復するトレーニングによって、$\dot{V}O_2max$と最大酸素借が向上することを示した(41)。同様の結果がKouzaki&Tabata(18)の研究にお

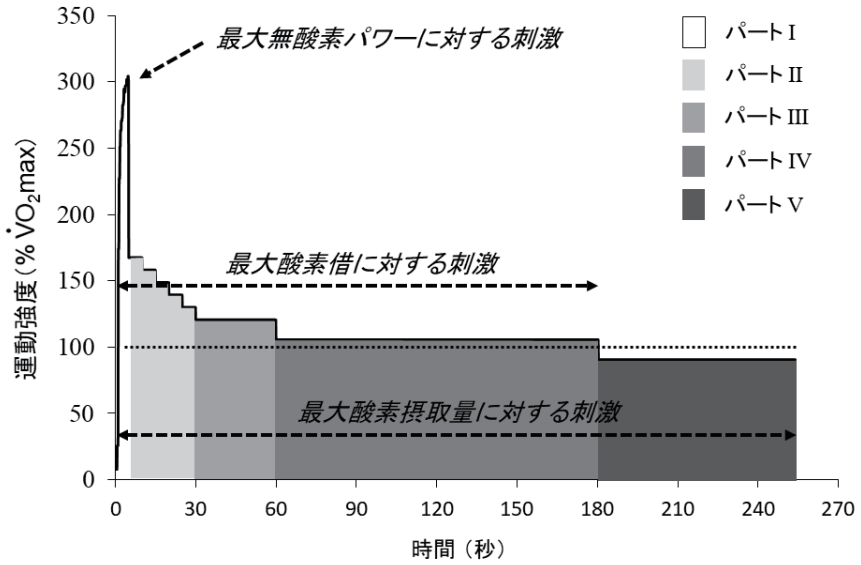

図1　エネルギー供給系に対する漸減トレーニングの実施例と期待される効果
(文献30をもとに作図)

いても示されている。これらの研究では、運動中の蓄積酸素借が最大酸素借に、さらに、酸素摂取量の最高値が$\dot{V}O_2$maxに匹敵していたことを示している(40)。本研究においても、最後のトレーニングセッション(20回目)時に、運動中の酸素摂取量と蓄積酸素借を評価した。その結果、酸素摂取量は運動開始1分程度で90%$\dot{V}O_2$max程度に達し、その後も$\dot{V}O_2$maxに相当するレベルを維持していたこと、さらに、パートⅠ～Ⅳにおける蓄積酸素借は平均して最大酸素借の9割程度に達していたことを確認している。こうした知見から、トレーニング効果を獲得するためには、狙いとするエネルギー供給系を最大限働かせることが重要であると理解できる。一方で、最大無酸素パワーに関して、自転車トレーニングがこれに与える影響を検討した研究は見当たらない。前述のとおり、無酸素パワーを評価している介入研究の多くで、ウィンゲートテストにおけるピークパワーが用いられているためである(7,25)。したがって、最大無酸素パワーを向上させるためのトレーニング条件の詳細は明らかではないが、適応の特異性を考慮すれば、パートⅠにおける5秒間の最大努力でのペダリングが、本研究における最大無酸素パワーの向上に大きく貢献したと推察される。

6. 現場への応用と今後の展望

本稿では、ターゲットとする複数の体力を向上させるために必要とされる負荷や強度を各々設定し、これらを高い順から配列してトレーニングする漸減トレーニングの方法と効果について解説した。このトレーニング方法は、アスリートやトレーニング愛好家にも適用できると推測されるが、現時点では、非鍛錬者を対象とした研究結果を示しているのみである**(図2)**。トレーニング効果に大きな影響を与える変数を運動強度(負荷)と量の2つであると仮定した場合、漸減トレーニングを鍛錬者に適用する際に主として検討すべき変数は、後者である。つまり、漸減トレーニングは、目的とした適応を引き起こすために必要な強度(負荷)が含まれたトレーニングであるから、鍛錬者においても、相対的な運動強度(負荷)を設定しさえすれば、強度という観点からは最大限の刺激が加えられるはずである。一方で、非鍛錬者を対象とした我々の研究におけるトレーニング量は必要最小限のものであり、このトレーニング量で鍛錬者においても十分な適応が引き起こされるか否かについては、今後検討する必要がある。

また、レジスタンストレーニングの研究では、漸減トレーニングによって引き起こされた筋肥大と筋力増加の効果は、高負荷(80%1RM)トレーニングによる効果と同程度であったが、筋持久力の増加の程度は、低負荷(30%1RM)トレーニングよりも低かった。低負荷条件におけるトレーニング量(負荷×回数)は漸減トレーニング条件の3倍程度であったことが影響しているかもしれない。さらに、この研究では、ダンベルカール、つまり上肢の単関節トレーニングが採用されており、下肢、または多関節トレーニングにおける効果についても確認する必要がある。負荷の変えやすさを考慮すれば、漸減トレーニングにマシーントレーニングを取り入れることも選択肢のひとつとなるかもしれない。

エネルギー供給系のトレーニングにおいては、最大無酸素パワーが出現する強度から$\dot{V}O_2$maxに相当する強度まで、強度を漸減させるトレーニングによって、$\dot{V}O_2$max、最大酸素借と最大無酸素パワーのすべてが向上した。生理学的な背景に則って、本トレーニングを厳密に実施する場合には、前述のように、$\dot{V}O_2$max、最大酸素借および最大無酸素パワーとこれらに相当する運動強度をトレーニング実施前に評価する必要がある。一方で、こうした生理学的な情報が取得できない場合であっても、エルゴメータを用いて次の3つの情報を取得することによって、ある程度再現が可能であると考えられる。回転数60 rpmで2～3分間運動を継続できる負荷、5分間程度運動

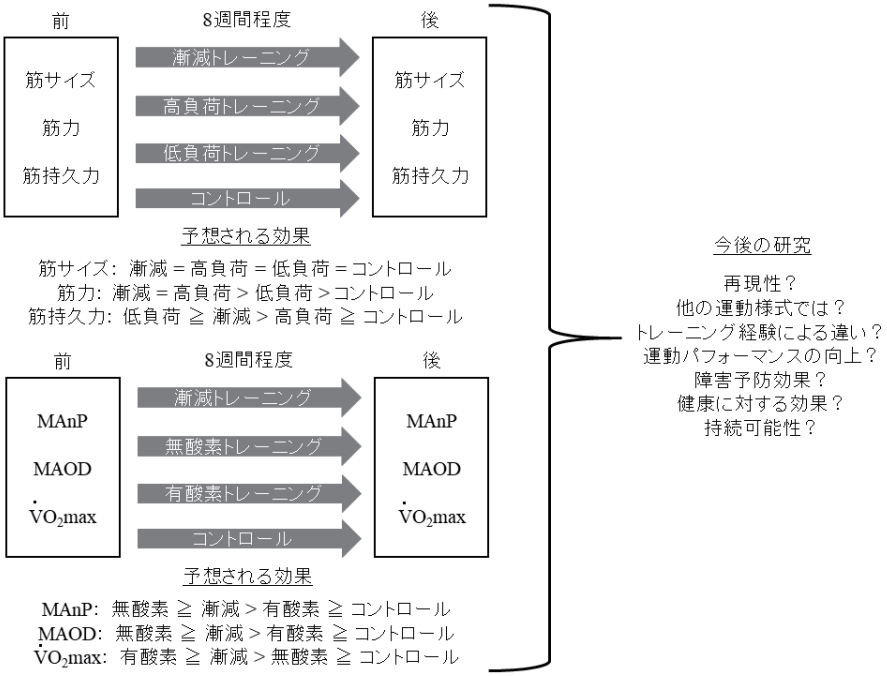

図2　漸減トレーニングの予想される効果と今後の研究課題(文献29をもとに作図)
MAnP：最大無酸素パワー、MAOD：最大酸素借、$\dot{V}O_2$max：最大酸素摂取量

を継続できる負荷、最大無酸素パワーの3つである。運動強度と継続時間の関係から、酸素借が最大になる強度、そして100％$\dot{V}O_2$maxの強度で運動をした場合に継続できる時間は、各々、2～3分と5分程度であることが知られている。したがって、これらの時間運動を継続できるペダリング負荷をエルゴメータによって評価すれば、はじめの2つの情報を取得できる。さらに、最大無酸素パワーは、PowerMax（エルゴメータ）に内蔵された『無酸素パワーテスト』を用いることで比較的簡便に評価できる。他のエルゴメータであっても、3つの異なる負荷を用いて、最大努力で10秒程度のペダリングを行ない、各々の負荷での最高回転数を取得できれば、最大無酸素パワーが出現する負荷（至適負荷）を算出することができる。これら3つの情報をもとに、**表1**のようにトレーニングを構成することが可能である。パートⅤで使用する負荷については少々注意が必要である。事前に評価したのは60 rpmで運動を5分程度継続できる負荷であるため、仕事率・負荷・回転数の関係から、55 rpmの場合の負荷を算出する必要がある。適応の特異性を考慮すれば、これら3つの情報を得るための運動テストは、各々$\dot{V}O_2$max、最大酸素借および最大無酸素パワーを刺激するトレーニングにもなりうる。これらのテストを定期的にトレーニングメニューに組み込むことで、漸減トレーニングにおける強度の調整に役立つばかりでなく、トレーニングの効果測定や体力評価も同時に実施できると考えられる。また、ランニングで漸減トレーニングを実施したい場合にも、2～3分および5分間継続して運動できるペースを把握すれば、再現可能であろう。最大努力でスプリントを5秒間実施した後、もしくは、最大疾走速度に到達した後に、上記の2つのペースを基にプロトコルを設定してみてはどうだろうか。こうした簡易的なプロトコルによって得られる効果については、今後、確認を進める予定である。

表1　自転車エルゴメータを用いた漸減トレーニングの簡易プロトコルの例

パート	負荷	回転数	時間
Ⅰ	至適負荷	最大努力	5秒
Ⅱ	2～3分運動を継続できる負荷	65 rpmまで漸減	25秒
Ⅲ	2～3分運動を継続できる負荷	60 rpm	30～60秒
Ⅳ	5分程度運動を継続できる負荷よりもわずかに高い負荷	60 rpm	60 rpmを維持できなくなるまで
Ⅴ	5分程度運動を継続できる負荷よりもわずかに低い負荷	55 rpm	55 rpmを維持できなくなるまで

最後に、レジスタンストレーニングとエネルギー供給系のトレーニングの両方において、トレーニング効果と時間効率を最適化するプロトコルについて、今後の研究によって検討する必要がある。漸減トレーニングによって向上した体力が、実際にフィールドでの運動パフォーマンスに及ぼす影響に加えて、障害予防や健康に対する効果などを検討することも興味深い。漸減トレーニングに関して、現時点で我々が提示できるエビデンスは最低限のものであるが、読者の皆様がトレーニング実施計画を立案する際に、本稿が少しでも参考になれば幸いである。◆

参考文献

1. Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., Koizume, K., Ishii, N. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*. 1: 6-12. 2005.
2. Anderson, T., Kearney, J. T. Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res Q Exerc Sport*. 53: 1-7. 1982.
3. Beneke, R., Boning, D. The limits of human performance. *Essays Biochem*. 44: 11-25. 2008.
4. Billat, L. V. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*. 31: 13-31. 2001.
5. Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., Staron, R. S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*. 88: 50-60. 2002.
6. Dankel, S. J., Counts, B. R., Barnett, B. E., Buckner, S. L., Abe, T., Loenneke, J. P. Muscle adaptations following 21 consecutive days of strength test familiarization compared with traditional training. *Muscle Nerve*. 56: 307-314. 2017.
7. Driss, T., Vandewalle, H. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *Biomed Res Int*. 2013: 589361. 2013.
8. Fisher, J. P., Steele, J., Androulakis-Korakakis, P., Smith, D., Gentil, P., Giessing, J. The strength-endurance continuum revisited: a critical commentary of the recommendation of different loading ranges for different muscular adaptations. *J Trainol*. 9: 1-8. 2020.
9. Fisher, J. P., Steele, J. Heavier and lighter load resistance training to momentary failure produce similar increases in strength with differing degrees of discomfort. *Muscle Nerve*. 56: 797-803. 2017.
10. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., Swain, D. P. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 43: 1334-1359. 2011.
11. Gastin, P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*. 31: 725-741. 2001.
12. Girard, O., Mendez-Villanueva, A., Bishop, D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*. 41: 673-694. 2011.

13. Hunter, S. K., Enoka, R. M. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *J Appl Physiol*. 91: 2686-2694. 2001.
14. Ikutomo, A., Kasai, N., Goto, K. Impact of inserted long rest periods during repeated sprint exercise on performance adaptation. *Eur J Sport Sci*. 18: 47-53. 2018.
15. Jaafar, H., Rouis, M., Attiogbe, E., Vandewalle, H., Driss, T. A Comparative Study Between the Wingate and Force-Velocity Anaerobic Cycling Tests: Effect of Physical Fitness. *Int J Sports Physiol Perform*. 11: 48-54. 2016.
16. 加賀谷淳子. 筋の持久性とトレーニング. *Jpn J Sports Sci*. 2: 35-44. 1983.
17. Terada, K., Kikuchi, N., Burt, D., Voisin, S., Nakazato, K. Low-load resisitance training to volitional failure induces muscle hypertrophy similar to volume-matched, velocity fatigue. *J Strength Cond Res*. in press.
18. Kouzaki, M., Tabata, I. Effects of high intensity intermittent training on maximal oxygen deficit and maxima oxygen uptake. *J Training Sci*. 9: 83-94 (in Japanese). 1998.
19. Lim, C., Kim, H. J., Morton, R. W., Harris, R., Phillips, S. M., Jeong, T. S., Kim, C. K. Resistance Exercise-induced Changes in Muscle Phenotype Are Load Dependent. *Med Sci Sports Exerc*. 51: 2578-2585. 2019.
20. McDonagh, M. J., Davies, C. T. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 52: 139-155. 1984.
21. McMahon, S., Jenkins, D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med*. 32: 761-784. 2002.
22. Medbo, J. I. Is the O-2 Deficit an Accurate Quantitative Measure of the Anaerobic Energy-Production during Intense Exercise - Reply. *J Appl Physiol*. 73: 1208-1209. 1992.
23. Medbo, J. I., Burgers, S. Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*. 22: 501-507. 1990.
24. Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., West, D. W. D., Burd, N. A., Breen, L., Baker, S. K., Phillips, S. M. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol*. 113: 71-77. 2012.
25. Nakamura, Y., Mutoh, Y., Miyashita, M. Determination of the peak power output during maximal brief pedalling bouts. *J Sports Sci*. 3: 181-187. 1985.
26. Noordhof, D. A., de Koning, J. J., Foster, C. The maximal accumulated oxygen deficit method: a valid and reliable measure of anaerobic capacity? *Sports Med*. 40: 285-302. 2010.
27. Noordhof, D. A., Skiba, P. F., de Koning, J. J. Determining anaerobic capacity in sporting activities. *Int J Sports Physiol Perform*. 8: 475-482. 2013.
28. Ozaki, H., Abe, T., Alan E. Mikesky, Sakamoto, A., Machida, S., Naito, H. Physiologocal stimuli necessary for muscle hypertrophy. *J Phys Fitnesss Sports Med*. 4: 43-51. 2015.
29. Ozaki, H., Abe, T., Loenneke, J. P., Katamoto, S. Stepwise Load Reduction Training: A New Training Concept for Skeletal Muscle and Energy Systems. *Sports Med*. in press.
30. Ozaki, H., Kato, G., Nakagata, T., Nakamura, T., Nakada, K., Kitada, T., katamoto, S., Naito, H. Decrescent intensity training concurrently improves maximal anaerobic power, maximal accumulated oxygen deficit, and maximal oxygen uptake. *Physiol Int*. 106: 355-367. 2019.
31. Ozaki, H., Kubota, A., Natsume, T., Loenneke, J. P., Abe, T., Machida, S., Naito, H. Effects of drop sets with resistance training on increases in muscle CSA, strength, and endurance: a pilot study. *J Sports Sci*. 36: 691-696. 2018.
32. Ozaki, H., Loenneke, J. P., Buckner, S. L., Abe, T. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Medical Hypotheses*. 88: 22-26. 2016.
33. Patton, J. F., Murphy, M. M., Frederick, F. A. Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. *Int J Sports Med*. 6: 82-85. 1985.
34. Poole, D. C., Jones, A. M. Measurement of the maximum oxygen uptake Vo2max: Vo2peak is no longer acceptable. *J Appl Physiol*. 122: 997-1002. 2017.
35. Schmidtbleicher, D., Buehrle, M. Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. *Biomechnics X-B*. 6-B: 615-620. 1987.
36. Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., Sonmez, G. T. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res*. 29: 2954-2963. 2015.
37. Steele, J. Intensity; in-ten-si-ty; noun. 1. Often used ambiguously within resistance training. 2. Is it time to drop the term altogether? *Br J Sports Med*. 48: 1586-1588. 2014.
38. Suchomel, T. J., Nimphius, S., Stone, M. H. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med*. 46: 1419-1449. 2016.
39. Tabata, I. Tabata training: one of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *J Physiol Sci*. 69: 559-572. 2019.
40. Tabata, I., Irisawa, K., Kouzaki, M., Nishimura, K., Ogita, F., Miyachi, M. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 29: 390-395. 1997.
41. Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., Yamamoto, K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_2$max. *Med Sci Sports Exerc*. 28: 1327-1330. 1996.
42. Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., Ishii, N. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol*. 88: 2097-2106. 2000.
43. Takarada, Y., Tsuruta, T., Ishii, N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol*. 54: 585-592. 2004.
44. Vandewalle, H., Peres, G., Monod, H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med*. 4: 268-289. 1987.
45. Wenger, H. A., Bell, G. J. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med*. 3: 346-356. 1986.
46. West, W., Hicks, A., Clements, L., Dowling, J. The Relationship between Voluntary Electromyogram, Endurance Time and Intensity of Effort in Isometric Handgrip Exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 71: 301-305. 1995.
47. William J. Stone, S. P. C. Strength/Endurance Effects From Three Resistance Training Protocols With Women. *J Strength Cond Res*. 8: 231-234. 1994.

著者紹介

尾崎 隼朗：
早稲田大学スポーツ科学部卒業。東京大学大学院修士課程、順天堂大学大学院博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員DC2・PD、順天堂大学スポーツ健康科学研究科助教を経て、2019年4月より現職。日本トレーニング科学会編集委員。『より強く、より速く、より高く、そして、より健やかに！』を実現するために、年齢・性・体力レベルを問わず、科学的根拠を基に運動をより良くデザインできるよう研究に取り組んでいる。詳細は研究室HP（http://hozaki.net/index.html）まで。