

○ Session I 講演

漸減負荷法を用いたエネルギー供給系トレーニング

尾崎 隼朗
(東海学園大学准教授)



1. 初めに 〜私が考えるトレーニングとパフォーマンスの関係〜

2021年に延期・開催された東京オリンピックやFIFAワールドカップ・カタール2022,そして、2023ワールド・ベースボール・クラシックなど、華やかな国際舞台での選手の活躍の裏で、パフォーマンス向上のために日々トレーニングに励むアスリートの姿を想像することは難しくない。一方で、自転車通勤や屋外でのランニング、そして、スポーツジムでの筋トレなど、健康の維持増進のためにトレーニングに励む個人も少なくない。こうしたトレーニングの内容や強度は、その実施者によって様々であるが、そこに共通する目的は体力の向上であり、これを効率的かつ効果的に実現する方法の開発を進めることは、我々、スポーツ科学(トレーニング科学)を専門とする研究者の大きな責務の一つである。ここではまず、体力やトレーニング、そして、パフォーマンスとの関係について、少し考えてみたい。

そもそも、『トレーニング』とは何であろうか。『トレーニング』はパフォーマンスの向上にどのように貢献するのだろうか。例えば、宮下(2019a, b)は、スポーツ選手を支える2つの柱が体力とスキルであるとし、体力とはスポーツ実施中に必要とされるエネルギーを産生できる能力、一方、スキルとはその生み出されるエネルギーを動作の目的に合うように使う能力であり、体力を増強させる目的を持つトレーニングと、スキルを向上させる目的を持つ練習を分けて考えることが重要であると述べている。こ

れまでの経験から、筆者は、この考え方に共感する部分が多く、こうした考え方を参考に、現時点で私が考えるトレーニングと体力・パフォーマンスの関係を簡易的に示したのが図1である。パフォーマンス発揮の土台となるのが体力であり、前述のように、これはある動作の遂行に必要なエネルギーを産生できる能力のことである。体力を身体的要素と精神的要素の総合的能力であるとし、さらにこれらを行動体力と防衛体力に分けるとする猪飼の考え方に基づけば(猪飼, 1967), 図1に記載した体力は身体的要素の行動体力ということになる。従って、ここでは『(狭義の) 体力』と記載している。そして、その産生されるエネルギーを動作の目的に合わせて用いる能力がスキルである。このスキルは基礎的動作スキルと専門的動作スキルに分けて考えると理解しやすい。例えば、『走る』動作を考えた場合、100m走における『走る』スキルとサッカーのような球技で必要とされる『走る』スキルの間には、多くの共通するスキルもあるだろうが、異なるスキルも存在するはずである。100m走では、100mという区間を最速で走り抜けることが目的であるのに対して、サッカーでは、仲間や相手、ボールの動きに合わせて、得点する、もしくは失点を防ぐために、最適な『走る』を選択し続ける必要がある。もう一つ、『投げる』という動作を例に考えてみても、野球、ハンドボール、ドッジボールのように、投げるボールの質量や大きさが異なれば、全く同じ投げ方というわけにはいかない。そこで、ある動作において、共通する

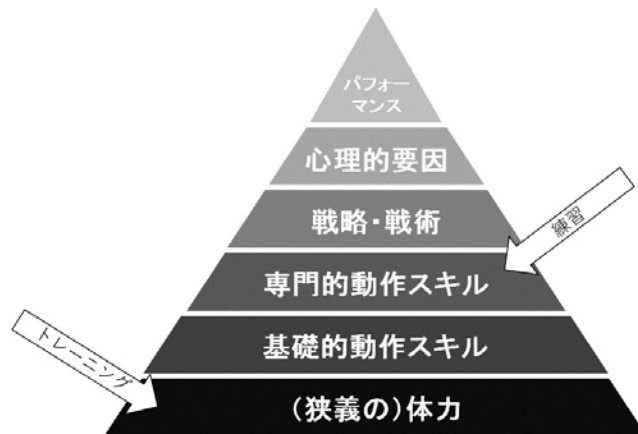


図1 トレーニングと体力・パフォーマンスの関係

スキルの部分を『基礎的動作スキル』、各々の競技に特異的な部分を『専門的動作スキル』と考えた方が、各々に対する改善策を打ち出しやすいのではないだろうか。そして、この体力やスキルを、『いつ』『どこで』『どのように』使うかといった戦略・戦術がなければ、これらは十分に生かされない。さらに、ここまでの準備がどれだけ優れていても、それを実際の試合で発揮する判断力や意欲（心理的要因）が伴わなければ、最終的にパフォーマンスとして発揮されることはないだろう。もちろんこの三角形の形や大きさは、傷害や病気などを含めたコンディションの変動によって変化することに加えて、環境や用具、ルール等の変化によって求められる三角形も変化するために、これらを考慮した対策が必要である。

さて、本稿のテーマは漸減負荷法を用いた『トレーニング』(Ozaki et al. 2020)である。『トレーニング』であるから、前述のように、その目的は体力の向上である。物体に一定の力 F [N] をを加え続けて、その力の向きに距離 s [m] だけ動かしたとき、その積 ($F \times s$) を力が物体にした仕事という。ヒトが発揮する力は筋の収縮によるものであり、これが物体に働いて運動を生じさせる。筋が発揮する力は筋力と呼ばれ、力がどれくらいの時間働くかによって仕事量（持久力）が決まり、どれだけ大きい速度で

働くかによって仕事率（パワー）が決定する。つまり、筋力・持久力・パワーは体力の基本要素であり、これらを向上させることがトレーニングの基本目的であると言えるだろう。従って、体力向上のためにはまず、これらの3要素を骨格筋の力発揮の観点から鍛えようと試みるレジスタンストレーニングと、エネルギー供給の観点から鍛えようと試みる持久性トレーニングの実施が検討されるわけである。

図1に示した通り、体力はパフォーマンスを支える土台であるにも関わらず、パフォーマンスから最も遠いところに位置しているために、これを向上させる『トレーニング』の効果は、パフォーマンスという観点からはある意味実感しにくいかもしれない。従って、『トレーニング』は辛く大変なものとして感じられやすく、敬遠されやすいのではないかと筆者は考えている。だからこそ、『トレーニング』は『効率的に』ということになる。体力の3要素を中心として効率的に向上させるために、我々が考案した方法が漸減負荷法である。

2. 漸減負荷法の着想

トレーニングに対する骨格筋の適応は非常に特異的である。例えば、Mitchell ら (2012) 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, いずれの条件でも挙上ができなくなるまでトレーニングを行った。10週間のトレーニングの結果, いずれの条件においても, 筋肥大(形態)効果は同程度であった一方で, 最大筋力(1RM)の増加の程度は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:相対的筋持久力)は30%1RMの条件でのみ向上した。このように, 特に機能面においてはトレーニングの負荷に特異的な適応が認められており, こうした適応は鍛錬者においても同様に観察される(*Schoenfeld et al.* 2015)。従って, より高い負荷を用いたトレーニングでは最大筋力が, より低い負荷では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をすることで, 1つのトレーニングによって, 筋肥大に加えて最大筋力と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, より高い負荷で挙上ができなくなったとしても, 負荷を減らせば休息なしに運動を継続できることから, 負荷間に休息を設定しない方法を採用する場合には, 運動時間の短縮も期待できる。

この仮説を検証するために, 我々は下記の通りに研究を実施した(*Ozaki et al.* 2018)。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, 3つの条件(80%1RM条件, 30%1RM条件, 漸減負荷条件)でダンベルカールを実施した。セット間休息を80%1RMでは180秒, 30%1RMでは90秒として, 各々3セット実施した。漸減負荷条件では, 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った。全ての条件において, 各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。トレーニングの結果, 上腕屈筋群の横断面積は全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条件と漸減負荷条件で有意に増加した一方で, 30%1RMでの反復回数は, 30%1RM条件と漸減負荷条件で有意に増加した。つまり, 仮説通り, 高負荷と低負荷がともに含まれる漸減負荷条件でのみ, 筋肥大に加えて, 最大筋力と筋持久力がともに向上したのである。また, 介入期間全体での総トレーニング量(負荷×レップ数)は, 30%1RM条件(15,365±325kg)で, 80%1RM条件(4,724±354kg)と漸減負荷条件(5,308±408kg)と比較して有意に大きく, セッション当たりの平均トレーニング時間(セット間休息を含む)は漸減負荷条件(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。従って, 漸減負荷法を用いたレジスタンストレーニングでは, 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, より少ないトレーニング量と時間で, 当初の仮説通り, 筋肥大に加えて, 筋力と筋持久力がともに向上したことになる。

3. 漸減負荷法によるエネルギー供給系トレーニング

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の優劣が運動パフォーマンスの質に大きく影響する(*Beneke & Boning.* 2008, *Girard et al.* 2001, *McMahon & Jenkins.* 2022, *Noordhof et al.* 2013)。従って, 両エネルギー供給系の能力を測定・評価することは, 対象者の能力を把握し, 有効なトレーニングを処方するために重要である。有酸素性エネルギー供給系, すなわち酸素摂取量の最大速度は, 一般に最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)で評価される(*Poole & Jones.* 2017)。一方, 無酸素性エネルギー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(*Noordhof.* 2010)。さらに, 短時間の最大努力での運動に

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 (Driss & Vandewalle. 2013). 例えば、最大努力で実施される運動における初めの数秒間に供給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るものであり、その供給速度は、とりわけ、スプリントやジャンプのように短時間で大きなパワーを発揮するパフォーマンスの質を決定する重要な因子である (Gastin. 2001). さらに、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は、こうしたスプリントやジャンプが間欠的に繰り返される。つまり、短時間で大きなパワーを単発的に発揮できるだけでなく、これらを高いレベルで繰り返し発揮できることが求められる。このためには、高い $\dot{V}O_2\text{max}$ と最大酸素借が要求される (Girard et al. 2011).

従って、最大酸素摂取量、最大酸素借、最大無酸素パワーの3つを向上させることは、エネルギー供給の観点から非常に重要であるが、一つのトレーニングによってこれら全てを向上させたトレーニングはこれまで報告されていなかった。これを実現させるために、筆者らは、漸減負荷法を用いたレジスタンストレーニング

の研究結果を参考に、以下の通りに仮説を立てた。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推察される、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。従って、最大無酸素パワーに相当する強度から、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3つ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。

この仮説を検証するために、以下の通り研究を実施した (Ozaki et al. 2019). 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、以下に示す漸減負荷法を用いたトレーニングを実施した。図2に示すように、トレーニングは5つの連続したパート (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。対象者はまず、最大無酸素パワーが出現する負荷 (平均で $7.7 \pm 1.5\text{kp}$, 体重の 11% 程度) で 5 秒間、最大努力でペダリングを行った (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

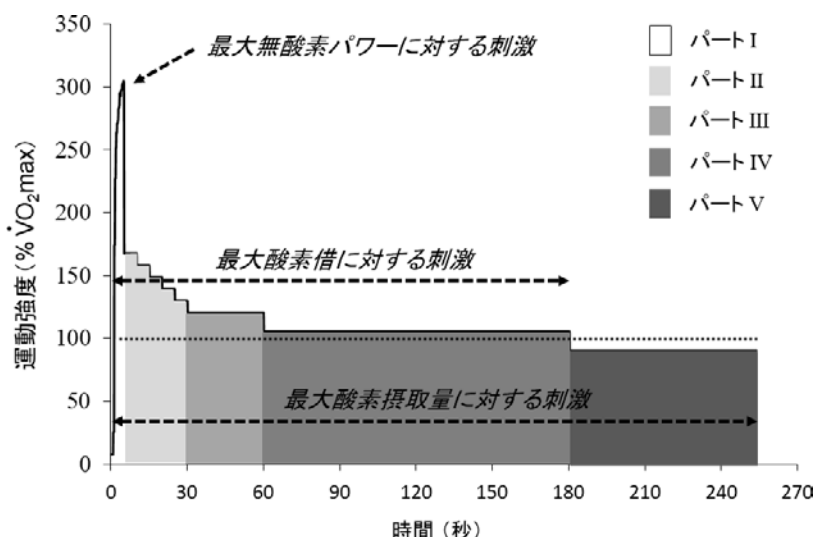


図2 漸減負荷法を用いたエネルギー供給系トレーニングの実施例

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 $5.3 \pm 1.0 \text{kp}$)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、負荷はそのまま回転数を60rpmまで低下させて30~60秒間ペダリングを行った(パートIII)。続けて、回転数は60rpmのままで、運動強度が $105\% \dot{V}O_2\text{max}$ 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 $90\% \dot{V}O_2\text{max}$ 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。トレーニング頻度と期間は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、測定した全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、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、最大酸素借と最大無酸素パワーの全てが同時に向上した。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。従って、漸減負荷法を用いたエネルギー供給系のトレーニングでは、短時間でこれら3つの体力要素をともに向上させたことになる。

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、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、最大酸素借、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、現場での指導を想定した際に、これら全ての情報を全ての選手で取得することは難しい場面も想定される。そこで、現場でより簡易的に本トレーニング法を実施する方法について、筆者が実際に指導・実践している方法を2つ紹介したい。

まずは、自転車エルゴメータを用いた方法である。実施に際して、エルゴメータを用いて、次の3つの負荷を決定する。回転数が60rpmで

2~3分間運動できる負荷、5分間程度運動を継続できる負荷、最大無酸素パワーが出現する負荷の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 $100\% \dot{V}O_2\text{max}$ 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。従って、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つの負荷を決定できる。さらに、最大無酸素パワーはPower Max(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単に評価できる。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つの負荷をもとに、表1のようにトレーニングを構成する。パートVで用い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60rpmで運動を5分程度継続できる負荷であることから、仕事率・負荷・回転数の関係から、55rpm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つの負荷を決定するための運動テスト自体も、各々、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、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プログラムに組み込むことで、漸減負荷法によるトレーニングの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。

続いて、ランニング動作によってグラウンド等で実施する方法である。私は専任校の男子サッカー部のフィジカルコーチを務めており、そこで実践している方法を紹介したい。サッカーコートの手前を使用して、折り返し走を実施している。本サッカー部では有酸素性持久力の評価のために定期的に20mシャトルランを実施しており、各選手の最大酸素摂取量に相当

表1 自転車エルゴメータを用いた簡易的な漸減負荷トレーニングの実施例

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	65rpmまで 徐々に低下	25秒
III	2-3分運動を継続できる負荷	60rpm	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	60rpm	60rpm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	55rpm	55rpmを維持でき なくなるまで

表2 サッカーコートにおける簡易的な漸減負荷トレーニングの実践例

パート	距離	平均速度	時間	指示
I	92.5m往復走 行き：47.5m 帰り：45.0m	6.16 m/s	15秒	最大努力で 残り時間で
II	87.5m往復走 行き：45.0m 帰り：42.5m	4.375 m/s	20秒	ベース走
III	85m往復走 行き：42.5m 帰り：42.5m	4.25 m/s	20秒 ペースが維持 できなくなるまで	ベース走
IV	75m往復走 行き：37.5m 帰り：37.5m	3.75 m/s	20秒 ペースが維持 できなくなるまで	ベース走

する走速度を把握している。本稿では、20m シャトルランの記録が120回であった場合のトレーニングの実施例を示す。20m シャトルランの記録が119～131回（レベル13）の場合、テスト終了時の走速度は14.5km/hであり、これを秒速に変換すると約4.03m/sである。つまり、この速度より速い速度でランニングを実施した場合、最大酸素摂取量を超える速度で走行していると推察され、無酸素性持久力（最大酸素借）の向上に有効であると考えられる。一方で、この速度、もしくは、この速度よりもやや遅い速度でランニングを実施した場合には、有酸素性持久力（最大酸素摂取量）の向上により有効であると考えられる。そこで、この走速度を基準に表2のようにトレーニングを構成する。パートIの行き47.5mは、パワーの最大値を発揮させるために、最大努力でスプリントさ

せる。帰り45mは15秒のうち残りの時間で走行させる。経験的に、50m走の記録が7秒未満の対象者であれば、おおよそこの条件でトレーニングが実施可能である。続いて、パートIIでは計87.5mを20秒で往復する。そして、パートIIIでは片道42.5mの往復走を20秒で走行させ、このペースが維持できなくなるまで、これを繰り返す。ここまでは、4.03m/sを超える速度であり、無酸素性持久力の向上に有効なパートであると考えられる。一般に、5分間走の平均速度が最大酸素摂取量に相当する走速度であることを考えると、パートIIIまでで走行時間が4～5分を超えてくる場合、運動強度の設定が低いと推測されるため、パートIIIまでの走行距離を延長することで走速度を増加させる。最後に、パートIVでは、片道37.5mの往復走を20秒で走行させ、このペースが維持できなくなる

まで、これを繰り返す。これは、4.03m/sを若干下回る速度であり、このパートを設けることで、有酸素性持久力により一層の刺激を与えることができると考えている。

4. おわりに

筆者らは近年、漸減負荷法と名付けた新たなトレーニング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同時に向上させることが出来ると仮説を立て、研究を進めている。特に、各負荷や強度の間に休息を設けずにトレーニングした場合には、トレーニング時間の短縮も期待できる。筆者らはまず、この仮説をレジスタンストレーニングで検証し、約2分間/回という短時間の運動で、筋肥大のみならず、最大筋力と筋持久力が同時に向上することを証明した。続いて本法をエネルギー供給系のトレーニングに適用したところ、約4分半/回という短時間の運動で、最大無酸素パワー、最大酸素借、最大酸素摂取量の3つ全てがともに向上することを証明した。本稿ではさらに、漸減負荷法を用いたエネルギー供給系トレーニングについて、現場でも実施可能な方法について紹介した。トレーニングプログラムを一定期間(数ヶ月～数年間)に渡って実施する場合、その目的や対象者のコンディション等によって、各時期に実施すべきトレーニングの内容を変化させる必要があると考えられる。従って、1つのトレーニングのみを長期間に渡って実施することは現実的ではないが、様々な体力要素を短時間で向上させる可能性のある漸減負荷法はトレーニングプログラムにおける魅力的な選択肢の一つになると考えている。読者の皆様にも、是非、適切な場面で適切な方法で活用して頂きたい。

文献

- Beneke, R., Boning, D.: The limits of human performance. *Essays Biochem*, **44**: 11-25, 2008.
- Driss, T., Vandewalle, H.: The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: a critical review. *Biomed Res Int*, **2013**: 589361, 2013.
- Gastin, P. B.: Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, **31**: 725-741, 2001.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., Bishop, D.: Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports Med*, **41**: 673-694, 2011.
- 猪飼道夫：日本人の体力 心とからだのトレーニング。日経新書, 1967.
- McMahon, S., Jenkins, D.: Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med*, **32**: 761-784, 2002.
- 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**(1), 71-77, 2012.
- 宮下充正：スポーツ科学再考1 力が強いと動きがうまいは、違うことを知っておこう。 *Sports-medicine*, **31**(9) : 36-37, 2019a.
- 宮下充正：スポーツ科学再考2 トレーニングと練習の目的は、違うことを理解しよう。 *Sports-medicine*, **31**(10) : 34-35, 2019b.
- 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.
- 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.
- 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**(6): 691-696, 2018.
- 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.
- Ozaki, H., Abe, T., Loenneke, J. P., Katamoto, S.*: Step-wise Load Reduction Training: A New Training Concept for Skeletal Muscle and Energy Systems. *Sports Med*, **50**(12): 2075-2081, 2020.
- Poole, D. C., Jones, A. M.*: Measurement of the maximum oxygen uptake $\text{Vo}_{2\text{max}}$: $\text{Vo}_{2\text{peak}}$ is no longer acceptable. *J Appl Physiol*, **122**: 997-1002, 2017.
- 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.