

総説

タバタトレーニング—その理論と発展—

田畑 泉

立命館大学 スポーツ健康科学部

本総説では、タバタトレーニングの理論と発展について記した。

タバタトレーニングとは、最大酸素摂取量の170%の強度での20秒の自転車エルゴメータ運動を10秒間の休息を挟み、6から7回で疲労困憊に至る高強度・間欠的運動トレーニングである。この運動の酸素借は最大酸素借に達し、運動最終期のセットの酸素摂取量は最大酸素摂取量に達することから、このトレーニングは無酸素性及び有酸素性エネルギー供給機構に同時に最大の負荷を掛け、無酸素性及び有酸素性エネルギー供給機構を最大に改善することが明らかとなった。

最近では、エリートスポーツ選手や一般人が、それぞれ、競技力向上や健康増進（楽しみ）のために、タバタトレーニングを行っている。しかし、それらの多くがバーピーのような自体重を用いていることが多いので、それらの特性を運動強度という観点から記した。

最後に、タバタトレーニングによるスポーツ競技力向上や健康増進に関連する生理学的機能を持つタンパク質発現量増加という観点から、蓄積された生物学的エビデンスを記した。

キーワード：高強度間欠的運動トレーニング 最大酸素摂取量 最大酸素借 自体重を用いた運動

I. はじめに

最近、欧米で流行している高い強度の運動が、我が国でも知られるようになってきた。このような高強度（high intensity）トレーニングは新しいものではない。従来、インターバル・トレーニング（interval training）と言われ、それを取り入れたチェコスロバキア（当時）のザトベック選手が、ヘルシンキオリンピック（1952年）の5000m、10000m、マラソン競技に優勝したなどで、その有効性が知られている。このインターバル・トレーニングについて、Foxらは1970年代に詳細な研究を行っているが¹⁾、ザトベックが、このトレーニングを実施する上で参考した研究は、第二次世界大戦前のものである。また、スウェーデンのGösta Holmérはファルトレーク・トレーニング（Fartlek training）として1930年代に使用し、また同年代にドイツのWoldemar Gerschler博士も同様な高強度・インターバル・トレーニングを開発している。Gerschler博士は、当時400m及び800m走の世界新記録を達成したRudolf Harbigを指導していた。

II. タバタトレーニング

しかし、このような1950年代に広まったインターバル・トレーニングは、最近のHIT（High intensity training）の流行には、それほど関係は無いようである。最近の高強度運動トレーニングの流行に影響を与えたと推察されるトレーニング法はTabata protocolというものである。命名は誰が行ったかは不明であるが、その根拠は小生等が1990年代に発表した論文である^{2), 3)}。このトレーニングは、10秒間の休息を挟み、最大酸素摂取量の170%の強度による20秒間の自転車エルゴメータ運動を間欠的にを行い、6から7セット目の運動で疲労困憊にいたるような高強度間欠的トレーニング（High intensity intermittent training）である（図1）。このトレーニング法は、1980年代においてスピードスケートナショナルチームのヘッドコーチであった入澤孝一先生（現 高崎健康福祉大学）が群馬県立嬬恋高校で黒岩彰選手等の指導時に考案されたものである。このトレーニング法の有用性と科学性に関する研究成果を発表したことにより、論文の筆頭者であった小生の名前から誰かが命名したのである。

タバタトレーニングの代謝特性

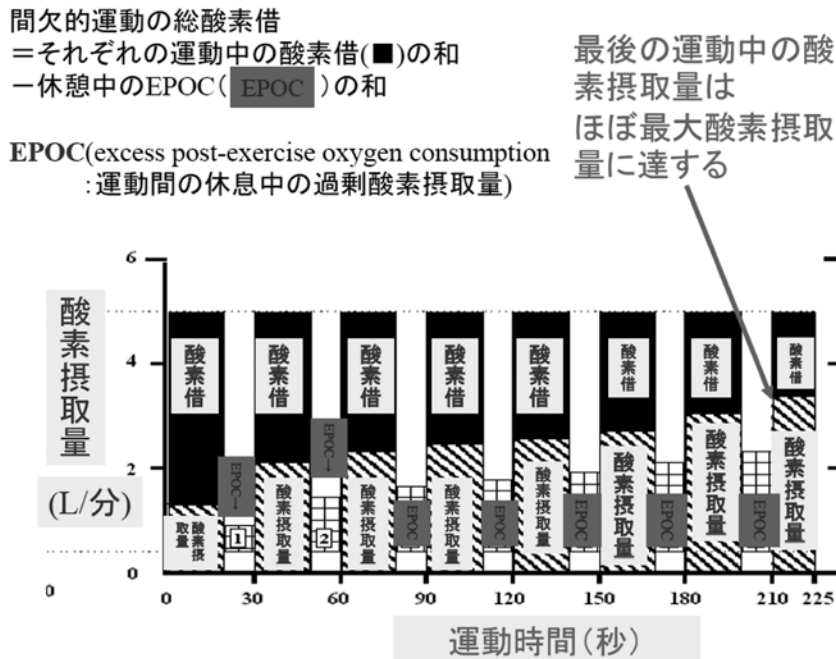


図1 高強度短時間・間欠的運動と、その総酸素借と運動中の酸素摂取量

この運動を週4回6週間行くと最大酸素摂取量（有酸素性エネルギー供給系の指標であり持久性体力）と最大酸素借（無酸素性エネルギー供給系の指標）が同時に、飛躍的に増加する²⁾。

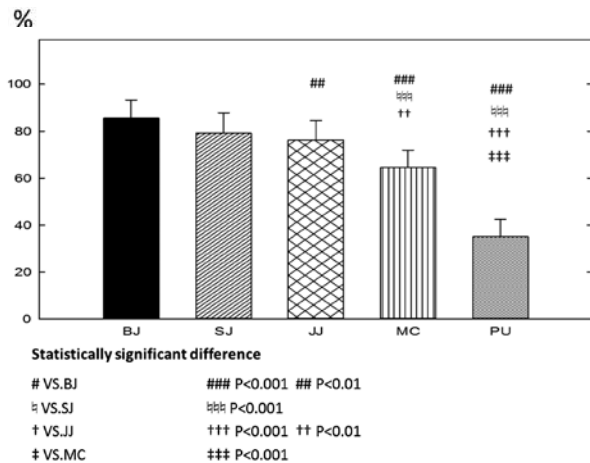
トレーニング効果は、その機能に対して、最大の負荷をかけたときに最大となることが知られている³⁾。この運動の最後のセットの酸素摂取量が最大酸素摂取量に達すること（つまり究極の“有酸素性トレーニング”である）、さらに総酸素借（図1のようにして計算）が最大酸素借に達することより、このトレーニングは有酸素性及び無酸素性エネルギー供給系の両方に最大の負荷をかけているからであると考えられている。ヒトには2つのエネルギー供給系しかなく、その両方に最大の負荷をかけていることより、エネルギー供給系という観点から言えばこのトレーニングが最高のトレーニングの1つである。

より高い強度の運動では無酸素性エネルギー供給系から、より低い強度の運動では有酸素性エネルギー供

給系からエネルギーを供給されているが、どちらか一つと言うことはなく、多くのスポーツ活動は有酸素性エネルギーと無酸素性エネルギーの両方からエネルギーを供給されている。したがって、両方のエネルギー供給系を同時にトレーニングでき、それも最大効果が得られるということは、このトレーニングがサッカーやラグビー等の球技を含む多くのスポーツ競技の競技力を最高に向上させることができる“最高のトレーニングの1つ”である。“一つである”とは、異なる運動様式で、同様に最大酸素摂取量が観察され、酸素借が最大酸素借に達するような“他の”トレーニング法があれば、それも“有酸素性あるいは無酸素性エネルギー供給機構を同時に最大に高める可能性のあるトレーニング”であるからである。このようなクリアなメッセージが論文に出たこともあり、学術論文と一般の愛好者の間をつなぐ雑誌にTabata protocolに関する記事が増加するようになったのが2005年くらいからである。これらの記事を読んだ欧米人が、Tabata protocolという名称を冠したのである。筆者は、protocolという

(注) インターバル・トレーニングと間欠的トレーニングの異同

高い強度の運動の間に低い強度の運動を連続的に入れた運動様式がインターバル・トレーニングである。一方、上述のタバタトレーニングは最大酸素摂取量の170%の強度の運動の間は全く自転車エルゴメータをこいでいない。つまり全くの休息であり運動を停止している。したがって、このような運動を用いたトレーニングは正確にいうと間欠的（intermittent）に運動を行うトレーニング、即ち間欠的運動トレーニングである。したがって、タバタインターバル・トレーニングというのは、科学的には正しくない。しかし、米国のトレーニング研究の大家に聞いてみたところ、“正確には間欠的と言うべきだが、インターバルということも良くある。どっちでも良い”ということであった。



BJ: バーピージャンプ
 SJ: スクワットジャンプ
 JJ: ジャンピングジャック
 MC: マウンテン・クライマー
 PU: 腕立て伏せ

図2 走運動の最大酸素摂取量に対するパーセンテージ (%)

言葉よりタバタトレーニング (Tabata training) と呼びたいと考えている。

どうして、20秒の運動を10秒の休憩を挟んで6から7セットなのかと言われると、それは、そのようなトレーニング方法を高い競技力の選手を輩出したコーチ (入澤先生) が開発し (すでに実績があり)、それが先述したように有酸素性及び無酸素性エネルギー供給系に最大の負荷を掛けていることが証明され、それ以上のものは、他にあるとしても、これが最高のものの一つであることは間違いないからである。

Ⅲ. 自体重を用いたタバタトレーニング

タバタトレーニングは、スピードスケート選手のトレーニングとして開発され、自転車エルゴメータを用いた。しかし、エルゴメータはフィットネスクラブ等にしかなく、YouTubeにおける欧米の一般人も各々、様々な運動を用いた“タバタトレーニング”を行っている。自体重を用いたタバタトレーニングは、どこでも実施することができる。自転車エルゴメータ運動では正確に強度が設定でき、また筆者らが1990年代に報告したように、最大酸素摂取量の170%の強度、連続して行えば50秒程度で疲労困憊に至る強度、あるいは同一強度の運動を20秒間、10秒間の休憩を挟んで、6から7回で疲労困憊に至る運動強度を用いれば、そのような運動の最終セットの酸素摂取量は最大酸素摂取量に達し、酸素借は最大酸素借に達する。しかし、自体重を用いた場合、すべての運動がそうであるか不明であり、本当に、タバタトレーニングの効果、すなわち、有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構に最大の負荷を掛けているかは不明である。そこで、筆者らは自

体重を用いて、最初のセットから最大努力 (20秒間の運動中にできるだけ多くの回数の運動を行う) で行った場合の最終セットの酸素摂取量を走運動で測定した最大酸素摂取量に対するパーセンテージ (%) として示したところ、バーピージャンプの酸素摂取量は、約90%となった (図2) (中村と田畑、未発表)。自転車エルゴメータ運動の最大酸素摂取量は走運動の最大酸素摂取量の90%程度であるので、バーピージャンプの酸素摂取量は自転車エルゴメータの最大酸素摂取量とほぼ同じくらい高いと考えられる。一方、腕立て伏せの酸素摂取量は、かなり低いことが分かる。運動に使われる筋量と、その運動における最大酸素摂取量は関係が深いことが明らかとなっていることを考えると、腕立て伏せに使われる筋肉の量は自転車エルゴメータ運動や走運動、さらにバーピージャンプのような運動で使われる筋量よりも少ないので酸素摂取量が低いものであると考えられる。また、腕立て伏せは、運動のセットを重ねると運動回数が急激に減少することも酸素摂取量が低いことも、酸素摂取量が低いことの理由と考えられる。これらの結果は、自体重を用いたタバタトレーニングが、種目によっては自転車エルゴメータ運動を用いたトレーニングと同等の効果が有酸素性エネルギー供給系に期待できることが明らかとなった。自体重を用いた各運動種目の酸素需要量を決定できないので、このような運動の酸素借を求めることができない。したがって、これらの運動の無酸素性エネルギー供給系に対する効果については、不明である。今後、同じような運動後の血中乳酸濃度等を指標に評価することが期待される。これらの結果より、自体重を用いたタバタトレーニングを構成するには、なるべく下肢や体幹の筋をできるだけ多く用いるようは運動を組み合わせた方が良いことを示唆している。

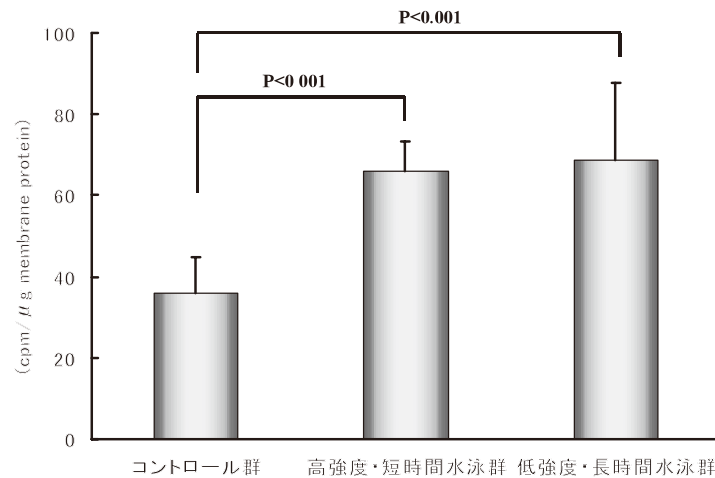
Ⅳ. タバタトレーニングを安全に行うために

メディカルチェック: 40歳以上の場合、運動負荷試験というような本格的なものではなく、質問紙によるメディカルチェックや問診を行うことが必要である。また、このような高強度のトレーニングでは運動中に血圧が、かなり上昇するので、元々血圧の高い方は、脳血管疾患を発症する可能性がある。また、自体重を用いて行なう場合にはかなり大きな負荷が関節にかかる場合がある。したがって血圧の高い方、関節に異常のある方は医師に相談した上で、実施の判断を仰ぐべきである。

Ⅴ. ウォーミングアップとクールダウン

高強度のトレーニングであるので入念なウォーミングアップが必要である。トレーニングに用いる筋のス

非常に高い強度での短時間運動でGLUT4濃度が従来の低強度・長時間運動トレーニングと同様に増加する。



(Terada et al. J Appl Physiol 90:2019-2024, 2001)

図3 高強度・短時間間欠的水泳トレーニングと低強度・長時間水泳トレーニングが滑車上筋（ネズミが水泳運動を行う場合に活動する筋）の GLUT4 濃度に与える影響⁴⁾

トレッチングや低い強度での運動（アクティブウォームアップ）などを行う。

また、運動後のストレッチも欠かせない。このトレーニングを行なうと最初は、トレーニング後に筋肉痛が起こることがある。一般的には、筋肉痛は、2日もすると消滅するが、それ以上、痛みがある継続する場合は、医療機関での受診が必要である。

VI. タバタトレーニングと肥満解消

インターネット上では、タバタトレーニングによる肥満解消が喧伝されている。しかし、筆者等が行なった6週間程度のトレーニング実験では体重が減少したというデータはない。一方で、食事習慣を変えずに、タバタトレーニングにより体重を15kg減少させたということも言われている。

エネルギー消費量という観点から見ると、タバタトレーニングのような高強度・短時間・間欠的運動で消費されるエネルギー量は、いわゆる有酸素性運動を30分程度行なった場合のそれに対して、かなり少ない。したがって、このような高強度短時間運動により減量効果や脂肪燃焼効果があるとは考えにくい。一方、このような運動では、運動後も酸素摂取量が高い状態（エネルギー消費量が安静時よりも高い）が長く続く（EPOC: Excess Post-exercise Oxygen Consumption: 運動後過剰酸素摂取量）。実際に運動終了後2時間程

度は、安静時の酸素摂取量が運動前の値に戻らない。しかし、その量は量的に少なく、これもこのような高強度・短時間運動による減量効果を説明できるものではない。運動中の酸素摂取量とEPOCを会わせても、タバタトレーニングによるエネルギー消費量は100～150kcal程度である。ただ、なかにはタバタトレーニングによって体重が減ったというケースもあるようであるが、恐らく体力が向上して日々の活動が活発になったことにより2次的な効果によるものと考えられる。

VII. HITが骨格筋に与える影響

タバタトレーニングは、有酸素性エネルギー供給機構（主に心臓の機能及び形態の変化による最大心拍出量の増加による）と無酸素性エネルギー供給機構（主に、活動筋の酸緩衝能力の向上）を同時に強化することは前述したが、実際に運動中に動員される骨格筋にも大きな変化を起こすことが知られている。

高い強度の運動トレーニングが骨格筋のGLUT4濃度に与える影響

体全体の糖代謝能を律速すると考えられ運動・トレーニングによる糖尿病の予防・治療の機序を説明すると推測されるGLUT4（glucose transporter 4：筋細胞外から筋細胞内へブドウ糖を輸送するタンパク質）濃度は、低強度から中等度の強度の長時間運動、

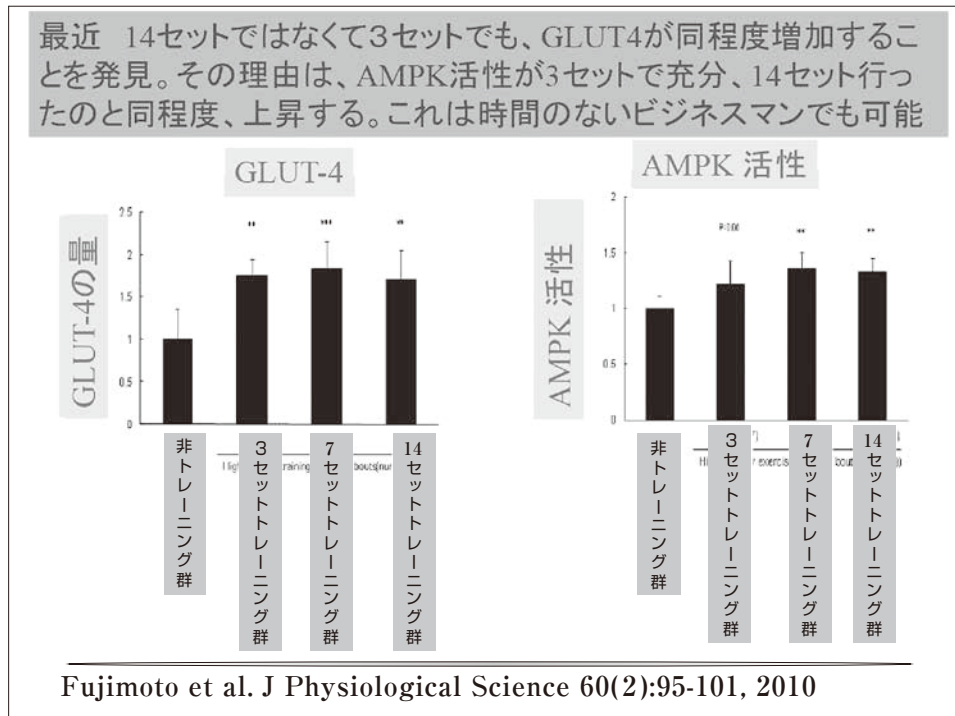


図4 高強度・間欠的水泳トレーニングの実施回数が、それぞれ運動後の活動筋のAMPK 活性及びトレーニング後の GLUT4 濃度に及ぼす影響⁵⁾

いわゆる“有酸素性運動”により、増加することが報告されていた。体力の低い糖尿病患者や高齢者を対象とすることが多いことから、安全性を重視してこのような運動処方を取り入れられてきた。一方、スポーツを含む高い強度の運動がGLUT4濃度に与える影響についての研究は少なかった。これに対して、実験動物を対象とした高強度短時間・間欠的水泳運動トレーニング(20秒の高強度水泳運動を10秒の休憩を挟み14回(総運動時間280秒)により水泳運動で活動する筋のGLUT4がたった1週間で、当時、GLUT4を増加させる最大の生理学的刺激であると考えられてきた6時間の低強度水泳運動を用いたトレーニング後のGLUT4濃度と差がないまで増加することが報告された⁴⁾(図3)。つまり280秒の高強度・間欠的運動と6時間(21600秒)の低強度運動と同じ効果があるということである。

図4に示すように、実験動物を対象にタバタトレーニングの運動回数を変えて1日1回、連続5日、課した次の日のGLUT4濃度の増加量は、14セット課した場合(疲労困憊に至る)とたった3セットの場合と同じ位(何もやらない場合の約2倍)である⁵⁾。また、GLUT4を増やす刺激であるAMPキナーゼ(AMPK)の酵素活性も、14セットやっても3セットでも同程度であることがわかった。タバタトレーニングはGLUT4を増加させる刺激が大きく、AMPKの活性は

3回でマックスに達するので、それ以上は増加しない結果、GLUT4もそれ以上の効果は期待できないということである。これは、ある講演会で筆者がGLUT4に対するタバタトレーニングの効果についてお話をしたら、ある健康運動指導士の方より、“先生は、ねずみの実験でそのような結果を得られて喜んでいますが、私たち健康運動指導士のように日々、一般の方や軽度の糖尿病に罹っている方にはこのような疲労困憊に至るような運動を指導することはできません。私たちが指導できるようなトレーニング方法についても“ちゃんと”研究成果を出してください”と言われたことから始まった“現場”研究である。最初は14回やれなくても運動セット数に比例して効果が現れ疲労困憊には至らない7セットくらい(ヒトでは3セットくらい)で半分くらいの効果(非トレーニング群より50%増加)が得られるのではないかと期待し、それなら糖尿病患者さんでもやる価値があると思って実験計画を立てた。しかし、予想に反して、3回でも大きな効果があったことは驚きであった。これらの結果より、ヒトに対しても最大酸素摂取量の50%の強度(楽であると感じる強度)の10分間の運動をウォーミングアップとして行ない、タバタトレーニング(最大酸素摂取量の170%の強度)の運動を10秒間の休憩を挟み3セットすれば糖尿病予防、ある程度の治療は可能と思われる。実際に、タバタトレーニングを5日間、行った翌日及

び翌々日の糖負荷試験の成績が向上した（金と田畑、未発表）。

もちろん覚えておいてもらわなければならないのは、3セット（ヒト）で良いのはGLUT 4に対する効果であり、最大酸素摂取量や最大酸素借を最高に増加させるには不十分であると推測される（3セット目の酸素摂取量は最大酸素摂取量に比べてかなり低く、酸素借も低い）。

VIII. 終わりに

欧米ではタバタトレーニングはフィットネスに関心を持つ多くの人々が実施しているようである。さらに、Tabataは普通名詞にもなり、複数形としてTabatasという表現もされているほどポピュラーになっているようである。多くの人々が彼らのタバタトレーニングを行っており、まるで多くの人々が開発に参加するコンピュータ言語の1つであるLinuxの様な、発展過程をたどっているように見える。したがって、彼らが行っているそれぞれのタバタトレーニングの効果についての検証はされていない。また、このトレーニングでは筋量は増えないし、体重減少もない（我々の実験の範囲では）、しかし一般の人々は、そう思っているヒトも多い。このような、エビデンスに基づかない“迷信”を生まないためにも、競技力向上及び健康増進を目的とした、高強度運動トレーニングの基礎的、応用的研究が必要である。

また、これらの運動トレーニングの開始期には筋損傷によると推察される筋肉痛が起こり、トレーニングの継続ができなくなる危険性がある。そのような症状を予防できるような適切な食事法などの開発ができれば、短い時間で簡単に実施できるタバタトレーニングの普及が進むと考えている。

最後に、筆者は、いくら科学的エビデンスがあっても、すべての人に高い強度の運動を無理に、勧めようとは思っていない。実施すると必ず効果のある運動や

運動療法を継続させるために、飽きの来ないバリエーションのある運動指導を行うための、一つのバリエーションとして用いるべきである。つまり、健康増進のために従来、行われてきた福岡大学の進藤先生や田中先生らが推奨されてきた低強度の運動や、一般的な中等度の強度の運動に加えて、このような高い強度の運動を対象者の嗜好性や実現可能性に合わせて処方すべきであると考え。最初は、“きつそう”で、実施をためらっていたヒトでも、一度、やってみると、いわゆる一般人の方でも、この運動トレーニングに“はまって”、健康増進効果を得た人もいようである。

また、競技力向上という観点からは2020年の東京オリンピック・パラリンピックに向けて多くの競技で体力向上が必要であるが、多くの競技（競技で行う動作）のあったタバタトレーニングが開発され（開発し）、結果としてメダルの獲得や、競技全体の底上げになればという希望を持っている。

文 献

- 1) Fox, E.L. et al.: Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power, J. Appl. Physiol. 38 : 481-484 (1975)
- 2) Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., et al. : Effects of moderate intensity-endurance and high intensity-intermittent training on anaerobic capacity and V_{O_2} max, Med. Sci. Sports Exerc. 28:1327-1330(1996)
- 3) Tabata, I., Irisawa, K., Kouzaki, M., et al. : Metabolic profile of high intensity intermittent exercises, Med. Sci. Sports Exerc. 29 : 390-395 (1997)
- 4) Terada, S., Yokozeki, T., Kawanaka, K., et al. : Effects of high-intensity intermittent swimming training on GLUT-4 and glucose transport activity in rat skeletal muscle, J. Appl. Physiol. 90 : 2019-2024 (2001)
- 5) Fujimoto, E., Machida, S., Higuchi, M., et al. : Effects of nonexhaustive bouts of high-intensity intermittent swimming training on GLUT-4 expression in rat skeletal muscle, J. Physiol. Sci. 60 : 95-101 (2010)

Review

Tabata training-its theory and development

Izumi Tabata

Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

ABSTRACT

In this review, theory and developments of Tabata training is described. Tabata training is an exhaustive intermittent bicycle exercise consisting of 6-7 sets of 20 sec exercise bouts with 10 sec rest between the bouts. Since oxygen uptake during the last bouts of the training reaches to maximal oxygen uptake and total oxygen deficit of the exercise amounts to be maximal oxygen deficit, this training was demonstrated to load both aerobic and anaerobic energy releasing system maximally and simultaneously, enabling these two energy releasing system to be improved maximally.

Nowadays, not only elite sportsmen and women, but also ordinary people enjoy this training for improving sports performance and health promotion (and fun), respectively. They uses body-weight bearing exercise, for example, berpee jump. In this review, physiological characteristics of the body-weight bearing exercises were described especially from view point of exercise intensity.

Furthermore, biological evidences of the Tabata training which have accumulated for explaining adaptations of skeletal muscle to the training in terms of elevated expression of proteins that have physiological functions regarding sports performance and health promotion were described briefly.

Keywords: high intensity intermittent training, Maximal oxygen uptake, Maximal oxygen deficit, Weight-bearing exercise