©NSCA JAPAN
Volume 29, Number 10, pages 5-11

特集 feature

HIITとは？
～タバタトレーニングを中心に～

田畑 泉, Ph.D., 立命館大学スポーツ健康科学部 特命教員（教授）

1. HIITとは

近年、高強度・短時間・間欠的（インターバル）トレーニング（High intensity intermittent/interval training）（HIIT）が欧米で流行している。アメリカスポーツ医学会が毎年、次の年はどんなフィットネスアイテムが流行するかという調査を行なっているが、HIITは2014年と2018年が1位、2016年、2017年が3位、2020年が2位、2021年が5位、2022年は7位であった（19）。徐々にランクは低下しているが、HIITは現在のフィットネスクラブのプログラムには、依然欠かすことのできないエクササイズである。

Wikipedia（英字版）には、High intensity interval trainingの説明として、1980年（モスクワ）と1984年（ロサンゼルス）の両オリンピック1,500 m走で金メダルを獲得したSebastian Coeを育てた父Peter Coeの開発したPeter Coeトレーニングや、Gibalaトレーニング（4）、Zunigaトレーニング、Vollardトレーニング、および筆者らが1996年と1997年に報告した論文（13,14）で紹介したタバタトレーニングが紹介されている。

米国で出版されている教科書には、これらのHIITの端緒は筆者らの論文であると記載されており（5）、極端な例では、筆者らが報告しているトレーニング＝HIITであると言い切っている文献もある（16）。このタバタトレーニングといわれる方法は、超最大強度で20秒の運動を10秒の休息を挟み実施し、6～7セットで疲労困憊に至るものであるが、筆者らの論文（13,14）発表後に、“タバタプロトコル”や“タバタトレーニング”というように誰からともなく命名された。このようなプロトコルで疲労困憊に至る強度は、自転車エルゴメータでは最大酸素摂取量の170%、走運動では最大酸素摂取量の160%程度である。筆者らのオリジナルの研究では前述のとおり6～7セットで疲労困憊に至る運動としているが（13）、トレーニング研究においては8セットまで行なったので（14）、6～8セットで疲労困憊に至るものをタバタトレーニングと定義している（15,16）。一般の方の多くが行なっている自体重を用いたタバタトレーニングでは、ほとんどが8セット（最大努力）となっている（12）。

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く、従来はインターバルトレーニング（interval training）といわれ、それを取り入れたチェコスロバキア（当時）のEmil Zátopek選手が、ヘルシンキオリンピック（1952年）の5,000 m、10,000 m、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。また、スウェーデンのGösta Holmérは、ファルトレク・トレーニング（Fartlek training）として1930年代に用いていた。さらに同年代、ドイツのWoldemar Gershler博士も、同様の高強度インターバルトレーニングを開発している。Gershler博士は、当時400 mおよび800 m走の世界新記録を達成したRudolf Harbigを、高強度インターバルトレーニングを用いて指導していた。以上のように、前述のCoe氏らも含め、このようなトレーニングはインターバルトレーニングといわれ、すでに多くの成功を収めていた。

ちなみに、高強度運動の間に低強度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、タバタトレーニングは最大酸素摂取

量の170％強度における運動の間（休息時）は全く自転車エルゴメータを漕いでおらず、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言えば間欠的（intermittent）に運動を行なうトレーニング、すなわ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このことについて聞いてみたところ、「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よくある。どちらでも良い。」ということであった。幸運なことに、intervalであれintermittentであれ、両方とも頭文字が"i"であるので、どちらを用いるにせよHIITと表現できる。

研究面から考えると、インターバルトレーニングについて、Emil Zátopekが参考にした研究は、第二次世界大戦前のものである。また、Foxらは1970年代に、有酸素性エネルギー供給機構（最大酸素摂取量）に与える影響について詳細な研究を行なっていた(2,3)。したがって、HIITのオリジナルとして紹介されたタバタトレーニングは、我々の研究論文を読んだ欧米の研究者あるいはフィットネス関係者が、同様式のトレーニングを実践した結果として効果を実感し、多くのスポーツ選手や健康増進のためのクライアントに指導し始めたのだと推測される。従来のインターバルトレーニングやサーキットトレーニングとは異なる、欧米人を虜にする"何か"をHIIT／タバタトレーニングはもっているのかもしれない。

日本において筆者は、HIITについて、日本体育学会（現 日本体育・スポーツ健康学会）において1991年および1992年に研究を発表している(8,9)。また、1999年にベースボールマガジン社発行のコーチングクリニック(10)、2015年に本誌(11)で紹介させていただいている。しかし欧米とは異なり、タバタトレーニングの認知は我が国でそれほど早くなかった。これは、筆者らが学術研究の発表を海外の学術論文に限定したことにより、国内の研究者やフィットネス関係者が直接目にする機会が限定され、海外でのトレンドとして国内に入ったこと、また国内のメディアに対して積極的に紹介しなかったことなどがあるかと考えられる。

強度の概念の重要性

当初このような様式のトレーニングはタバタプロトコル（Tabata protocol）と呼ばれており、筆者による本誌寄稿(11)でも、表題は『Tabata Prtocoloとは？』であった。これを最近、筆者を含めタバタトレーニング（Tabata Training）と称しているのには理由がある。それは、プロトコルとは運動の仕方であり、強度の要素が入っていないためである。特定のトレーニングを科学的に伝えるには、方法（自転車エルゴメータやトレッドミルを用いた運動など）、強度、時間（セット数や休息時間）、頻度、期間を示すことが必要である。よって、強度の設定が抜けていると、正確にそのトレーニングを表すことができない。プロトコル（20秒の運動を10秒の休息を挟み8セット）が提示されていても、もしその運動が普通歩行であったら、そのトレーニング効果はほとんどないと考えられる。以上のことから、運動強度を重視してタバタトレーニングという表現をすることにしている。

これまで、多くの研究が本運動とインターバルの割合、および強度の観点からインターバルトレーニングを評価している。しかし、それらの組み合わせがどのような生理学的指標と関連づけられているか（もちろん心拍数で評価することは可能であるが）を示していなかった。その点で、無酸素性エネルギー供給機構という観点からHIITを評価した筆者らの研究が評価され、それを用いたトレーニングが世界的に標準となったと推察される。HIITのひとつであるGibalaトレーニングを開発したカナダのマクマスター大学のGibala教授は、筆者らのネズミ版タバタ水泳トレーニングが骨格筋のGLUT 4（糖代謝に関連する）を中強度運動と同程度まで増加させるという論文(17)を読んで、高強度・短時間・間欠的運動（当時はまだ、HIITという用語はなかった）における筋代謝の研究を始めたと言っていた。

HIITといっても、トップの競技選手が行なう場合と、心臓リハビリテーションを目的として行なうものとは運動強度が異なる。臨床では最高心拍数の80％以上、実際には85～90％の強度を対象としている(22)。一方、タバタトレーニングも含めて、競技選手対象のものは最大酸素摂取量の100％以上の強度（超最大強度）を用いている。ここで、スポーツ科学（運動生理学）において"最大強度"というのは、最大酸素摂取量が観察される最も低い強度を意味する（運動強度と酸素摂取量の直線関係が崩れて［レベリングオフ］が観察される、それ以上運動強度を高めても酸素摂取量が増加しない強度）。それ以下の強度は最大下（submaximal）と表現される。つまり、酸素摂取量とのかかわりなく"最大"とか"超最大"とかという表現を用いてはならない。

一方で、"最大筋力"というと、等尺性最大随意筋力（握力測定のように筋長が変わらないような筋活動での力の最大値［単位はkg重あるいはN：ニュートン］）または1RM（Repetition max：等張性筋活動［筋にかかる力が一定］で1回持ち上げることのできる質量［単位はkg］*）のどちらを指すか？筆者の所属する学部の関連の同僚に聞いてみたところ、等尺性最大随意筋力と想定する方が4名、1RMを想定す

る方が1名であった。トレーニング指導の現場では、おそらく最大筋力というと1RMが使われていることを考えると、これは学術場面と現場でのミスマッチであると考えられ、今後、両者を繋ぐディスカッションが必要であると考えられる。

*現在は地球上での実施がほとんどであるため質量で表現するが、将来、重力の異なる、例えば月面でのトレーニングを行なう場合には単位はkg重とする必要がある。

2. タバタトレーニングに関するオリジナル研究

タバタトレーニングが、多くの研究者に対してインパクトを与えた理由として、科学的エビデンス、つまり、それまでなかったトレーニングで用いられた運動の無酸素性エネルギー供給機構に関する知見が報告されたことが挙げられる。筆者は1983～1985年まで、ノルウェーのオスロにある筋生理学研究所で、運動中の無酸素性エネルギー研究の第一人者であった故Hermansen博士の下に留学し、運動中における無酸素性のエネルギー供給量を酸素借として定量すること、また、その最大値である最大酸素借(MAOD：Maximal accumulated oxygen deficit)の測定法を習熟していた。酸素借とは、総酸素需要量(酸素需要量[ℓ/分]×運動時間[分])から、総酸素摂取量(運動中における酸素摂取量の合計)を引いたものであり、無酸素性エネルギー供給量の指標である。すなわち酸素需要量とは、当該運動において酸素としての必要量である(酸素借、最大酸素借については文献11,12を参照のこと)。それを日本体育協会(当時)の派遣コーチとして、筆者と同時期にノルウェーのオスロに滞在していた入澤孝一先生(現 高崎健康福祉大学)が開発した2つのトレーニング方法の解析に用いた。

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時に最大となる。この運動(タバタトレーニング)における最終セットの酸素摂取量が最大酸素摂取量に達すること(13)から、この運動は有酸素性エネルギー供給機構に最大の負荷をかける究極の“有酸素性トレーニング”であることが明らかとなった(**図1**)。このような高強度・短時間・間欠的運動は「非常にきつい」ことにより“無酸素性運動”と考えがちであるが、実際には有酸素性トレーニングである。したがって、**図2**のようにこの運動を週4日行なえば、有酸素性エネルギー供給機構の指標である最大酸素摂取量が大きく増加するのである(14)。

このような運動を用いてトレーニングを行なえば最大酸素摂取量が増加することは、1970年代にFoxにより詳細な研究がなされており、ことさら新しい知見ではない(3)。しかし、みるからに無酸素性運動のような運動の酸素摂取量を測定するという“ナンセンス”を行なったため、このような結果が得られたと思われる。このようなナンセンスな測定を行なった理由は、もともと筆者も、この様式の運動は無酸素性運動であると考えて無酸素性エネルギー供給量である総酸素借を求めたかったのだが、そのために酸素摂取量を測定する必要があったからである。

また、この運動の総酸素借(**図1**のようにして計算)は最大酸素借と差がなかった(13)。つまり、この運動は究極の無酸素性運動であることも明らかとなった。インターバル／間欠的運動の代謝特性を、総酸素借として無酸素性エネルギー供給量を評価した研究はそれまでなかったため、この研究は高強度・短時間・間欠的運動(トレーニング)に新しい見地を与えた。それまでは、運動時間や運動-休息比等でインターバルトレーニングを分類していたが、それらは多くの組み合わせがあり、実際には試行錯誤でトレーニング効果を明らかにすることが従来行なわれてきた(7)。しかし、本研究により有酸素性および無酸素性エネルギー供給系という観点から、高強度・短時間・間欠的運動(トレーニング)を評価するという科学的方法が確立されたことが、多くの欧米の研究者やフィットネス関係者を納得させたと推測される。

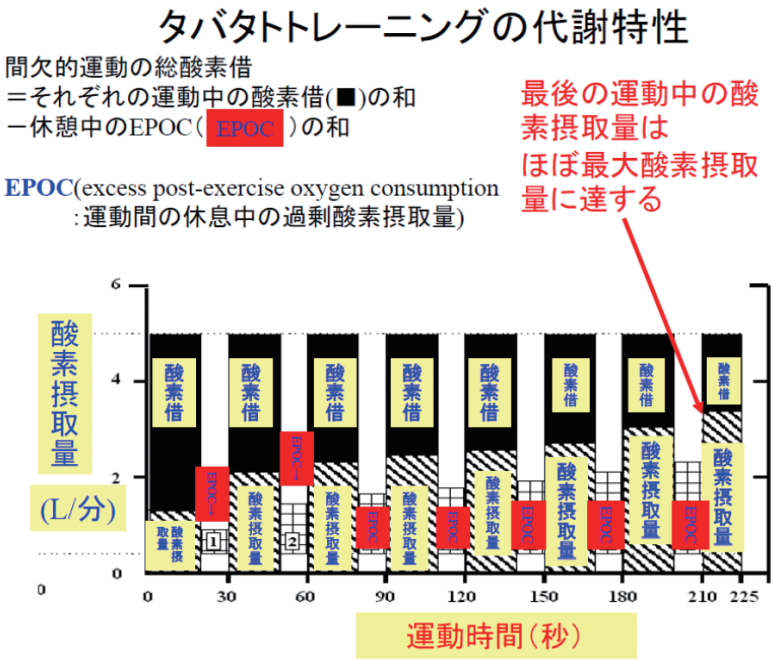

図1 タバタトレーニング運動中の酸素摂取量と総酸素借の測定方法(13)

筆者らの研究において、タバタトレーニングにより無酸素性エネルギー供給機構の指標である最大酸素借が6週間で35％も増加することが示された(14)**(図3)**。これらの研究成果から、タバタトレーニングにより、最大酸素摂取量と最大酸素借が同時に、かつ顕著に増加するのは、このトレーニングが有酸素性およ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により、エネルギー供給系という観点から、このトレーニングが最高のトレーニングのひとつであるといえる。一方で多くの方から、タバタトレーニングとは異なる運動の強度、時間、休息時間の組み合わせで、ほかにも運動中の酸素摂取量が最大酸素摂取量に達し、総酸素借が最大酸素借と等しくなるような運動があるのではという質問を受ける。それは正しく、ほかにもそのような運動方法が存在する(5)。したがって、筆者はいつも、最大酸素摂取量と最大酸素借という観点から、少なくともタバタトレーニングは最高のトレーニングのひとつであると考えている。

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が供給されているが、どちらか1つということはなく、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が供給されている。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一つである”。このようなクリアなメッセージが論文に出たことも

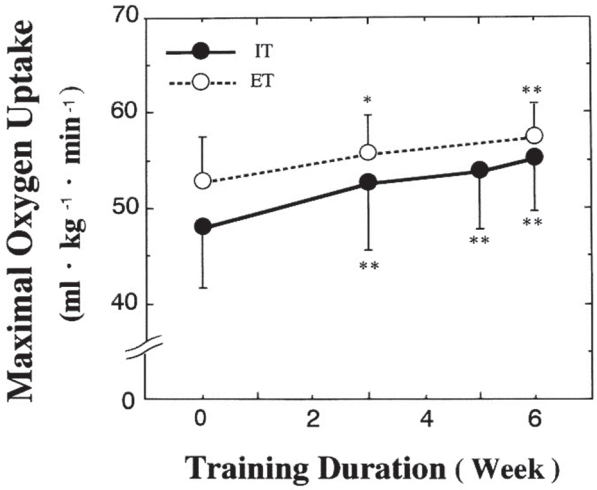

図2　タバタ・トレーニング●(IT)が最大酸素摂取量(Maximal oxygen uptake)に及ぼす影響(2)。○(ET)は最大酸素摂取量の70％強度にて1時間実施する中等度運動を用いたいわゆる“有酸素性トレーニング”が最大酸素摂取量に及ぼす影響(14)。
*と**は、それぞれトレーニング前(0週)の値から$p<0.05$あるいは$p<0.01$の水準で有意に増加したことを示す。

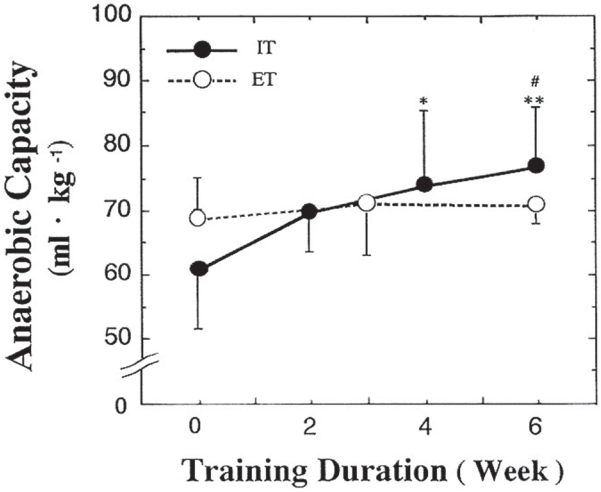

図3　6週間のタバタ・トレーニング●(IT)が最大酸素借(Maximal accumulated oxygen deficit)に及ぼす影響(2)。○(ET)は最大酸素摂取量の70％強度にて1時間実施する中等度運動を用いたいわゆる“有酸素性トレーニング”が最大酸素借に及ぼす影響(14)。
*と**は、それぞれトレーニング前(0週)の値から$p<0.05$あるいは$p<0.01$の水準で有意差が増加したことを示す。　#はトレーニング開始2週目の値(2週)から$p<0.05$の水準で有意に増加したことを示す。

あり、学術論文と一般の愛好者の間を繋ぐ雑誌にTabata protocolとして、紹介され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。

前述したように、このトレーニング方法は入澤氏が考案したものである。ちなみに、この入澤氏が開発したトレーニングが“タバタプロトコル・タバタトレーニング”と名づけられたが、命名者が誰であるかは不明である。おそらく、我々が公表した論文の筆頭著者がIzumi Tabataであったことによると推測される。論文では、このトレーニング方法は入澤氏が考案したものであると記載してあるため、筆者が「パクった」ものではないことをご理解し

ていただきたいと思っている。

この2つの論文で得られた結果の新規性から考えて、多くの研究者が興味をもち、それを競技者に伝達してくれるであろうと期待し、実際に多くの研究者や競技者から「タバタトレーニングを実施している」という話を聞く。これまで多くのトレーニング方法が欧米からの知識としてもたらされたが、タバタトレーニングは、故田中宏暁先生のスロージョギング(18)、石井直方先生らのスロートレーニング(21)のように、日本発の世界共通のトレーニングである。

3. 自体重を用いたタバタトレーニング

トレーニングを行なう場合、意識性の原則に従って、そのトレーニングがどのような目的で、どのような効果があるかを意識する必要がある。これに関連して、最近、筆者は多くの中高生に「恨まれている」ことが判明した。筆者の所属する立命館大学スポーツ健康科学部の1年生に、タバタトレーニングの紹介ビデオを見せたところ、以下のようなコメントが寄せられた。「*タバタトレーニングは中学に入って部活を始めてからずっと行なっていました。このトレーニングは無酸素運動と有酸素運動を同時に行なうことができるという点と、短時間で身体に負荷をかけられるという点がすごいなと思っています。トレーニング効果は最大の負荷をかけた場合に最大に向上するということを知り、また、トレーニング中に得ることのできる2つのエネルギー供給能力を両方同時に最大向上できるトレーニングだということに驚きました。中学や高校の間はなんでこんなにしんどいトレーニングを週に3回もしないといけないのか、効果が本当にあるのかなど、あまり分からずにやっていたため、とてももったいない時間を過ごしていたなと思いました。もし、今の講義を聞いた後、タバタトレーニングを行なっていたら、意識が変わってもっと自分のために取り組めていたのかなとも思いました。普通のトレーニングをするよりも、短時間で効果があるので、これから夏の試合に向けてしっかり身体を作るためにも頑張ってタバタトレーニングを日常生活に組み込んで頑張っていきます。*」

他にも似たようなコメントが複数あったが、これらを見ると、多くの中高生が、タバタトレーニングによる効果の理由を知らずに(教えてもらえずに)、無理矢理やらされている場合があることが明らかとなった。このような状況では、それを開発した筆者が恨み節をぶつけられるのも理解できる。ただ、確かにきついが、それには理由があり、競技力や体力の向上に直結するということがわかれば、より頑張れるのではないか。つまり、非常にきついタバタトレーニングを含むHIITをやる際には、その有効性をしっかり意識して行なうことが必要不可欠である。実際、筆者らの研究でも、モチベーションの低い被験者ではタバタトレーニングの効果は限定的であった。

もともとのタバタトレーニングは、自転車エルゴメータなど、強度を規定することのできる運動機器を用いて実施・分析が行なわれた。一方、そのような機器のない場合には、一般的に“自体重を用いたタバタトレーニング”を行なうことが多い。この場合は、運動強度が物理量として測定できない。また、このような自体重を用いた運動、例えばバーピージャンプやスクワットジャンプの場合、自転車エルゴメータのようにワット(W)、あるいはペダルの回転数(回/分、kP)で強度を一定にして行なうことができない。そこで筆者らは、バーピージャンプを最初のセットからできるだけ多く行なうようにと指示している。そうすると、バーピージャンプの場合、最後の8セット目における運動中の酸素摂取量は、走運動の9割、自転車運動の最大酸素摂取量と差がない程度まで増加することが明らかになっており、有酸素性エネルギー供給機構にほぼ最大に負荷をかけることができ、最大酸素摂取量を増加させることが可能なトレーニングとなる。実際に、バーピージャンプ等の自体重を用いたトレーニング(週3回、6週間)で、若年男女の最大酸素摂取量を6.4%増加させたことが示されている(16)。

自体重を用いたタバタトレーニングの場合、大筋群を動員するダイナミックな運動が最大酸素摂取量を高めるのには有効であると考えられる。というのは、前述したようにバーピージャンプのような運動において、最初からできるだけ多くの回数を行なえば、8セット目の酸素摂取量は最大酸素摂取量に近づくが、腕立て伏せでは、走運動の最大酸素摂取量のたった34.2±7.6%(n=10)であった。下肢に比べて小さな上肢の筋群は、酸素を使う筋量が少なく、また疲労しやすいので、最初のセットと最後の8セットの腕立て伏せの回数の減少が多く、酸素摂取量を高める刺激が少ないのではないかと推測される。YouTubeに公開されているタバタトレーニングの動画には、腕立て伏せを用いたものがあるが、走運動の最大酸素摂取量を高めることを目的とした場合、腕立て伏せは適切でないと考えられる(16)。

自体重を用いてトレーニングする場合、その成長度合いを定量化することは難しい。確かに、同じ自体重を用いたタバタトレーニングを行なって、若干、楽になったという感触を得ることもできる。トレーニングにおける意識性の原則に鑑み、自体重を用いたタバタトレーニングを実施する場合は、一定期間ごとに当該運動を何回できたか測定することが大切である。特に、終盤の7、8セット目の運動中における運

動回数にトレーニング効果が出やすく、つまりトレーニングの後半に持久性がついてくることが実感されると考えられる。このような測定を行なってモチベーションを高めることも、タバタトレーニングのようなHIITを継続するためには必要である。

また、タバタトレーニングの効果を得るためのトレーニング頻度に関して、自転車エルゴメータ等の運動機器や自体重を用いて疲労困憊まで行なう場合は、週2日行なえば、最大酸素摂取量が増加すると考えられる。トップレベルのスピードスケート選手においては、シーズン前のトレーニング期に週3回の自転車エルゴメータを用いたタバタトレーニングを行なっているということである。また、競技会の2週間前からは、頻度を低下させるということであった。

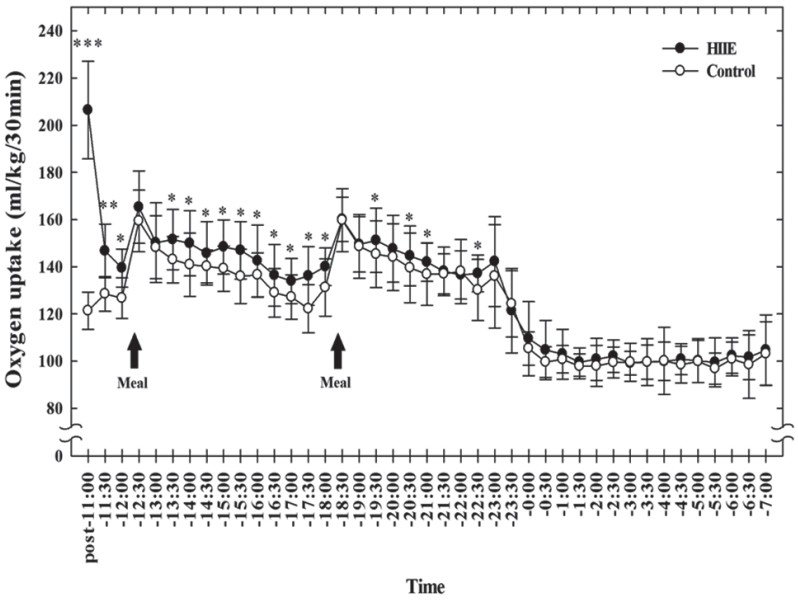

図4　タバタトレーニング運動後のEPOC（Excess Post-exercise Oxygen consumption）。食事（Meal）前（11：00～）の*は、運動を行なった日と行なわなかった日の安静時酸素摂取量に有意差があることを示す（$p<0.05$）。食事（Meal）後（12：30～および18：30～）の*は、タバタトレーニング運動により食事誘発性熱産生が増加していることを示す。

4. これからの展望

HIITというと、ダイエット（減量）に効果があると期待する人もいる。しかし、一般的に超最大強度の短時間運動におけるエネルギー消費量は、期待されるほど多くはなく、さらに運動後のEPOC（excess post-exercise oxygen consumption：運動後に長く続く、安静時酸素摂取量［安静時エネルギー消費量］の高値）も、定量的には多くない（20）。**図4**にあるように、タバタトレーニングを午前10時から行なった場合、運動後、安静時の酸素摂取量は高くなるが、昼食前の12時には、運動しなかった時と差がなくなる。つまり、“アフターバーン”と呼ばれる現象は1.5時間くらいで消滅する。その後、昼食をとると、酸素摂取量が増加する。これはDIT（食事誘発性熱産生）といわれ、その量はタバタトレーニングを行なった日と行なわなかった日で差はなかった。昼食摂取後、安静時の酸素摂取量は低下するが、タバタトレーニングを行なった日の値は、行なわなかった日より高い値を維持する。この差は、夕食を食べる前になくなるが、夕食後また差が観察される。前述したように、運動そのものの影響、つまりEPOCは消失しているので、このタバタトレーニング運動からの食事後における安静時酸素摂取量の増加は、運動そのものの代謝の影響ではなく、HIITによるDIT増加作用である。このDIT増加作用は、最大酸素摂取量の70％強度で30分間行なう運動よりも多いことから、運動後のDIT増加作用は、HIITにより関係のある、新しい運動による代謝量増加作用である。

男性被験者（体重：66.4±6.0kg、最大酸素摂取量：52.1±6.6ml/kg/min）において、運動前の安静時を基準として、最大酸素摂取量の50％強度による10分間の運動中、タバタトレーニング中、運動直後から昼食までの間（EPOC）、昼食後から就寝までのDIT増加量は、各々74.3±5.2kcal、39.8±6.3kcal、37.5±12.7kcal、47.8±32.0kcalであり、総計でも約199.4±12.4kcalであった。このエネルギー消費量は、毎日行なえば減量可能な量であるが、週2回の運動では減量は望めない。実際に、筆者らのタバタトレーニングの研究では、トレーニングで体重が有意に低下した例はない。一方、このようなHIITの前後にダイナミックな運動を用いたウォーミングアップとクールダウンを行なうと、250kcal程度のエネルギーが運動のみで消費されるので、週3回程度行なえば減量の可能性もある。実際、欧米の研究では、思春期女性のハンドボール選手が週2回、自体重を用いたタバタトレーニングを8週間行なったところ、体脂肪率が有意に低下したという研究成果もある（1）。今後、タバタトレーニングを含むHIITが体組成に及ぼす影響に関する長期的介入研究の実施が期待される。

さらに、HIITの疾病予防効果を明らかにするために、HIIT実施者を対象とした大規模疫学研究の実施が期待される。◆

参考文献

1. Alonso-Fernández, D., Lima-Correa, F., Gutiérrez-Sánchez, Á., and Abadia-Gracia De Vicuná, O. Effects of a high-intensity interval training protocol based on functional exercises on performance and body composition in handball female players. *J Human Sport Exerc*. 12(4): 1186-1198, 2017.
2. フォックス, エドワード. *選手とコーチのためのスポーツ生理学*. 渡辺和彦訳. 東京: 大修館書店. 1982.
3. Fox EL and Mathews DK. *Interval training: Conditioning for Sports and General Fitness*. Philadelphia, USA: W. B. Saunders Co., 1974.
4. Gibala, M. and Shulgan, C. *The One-Minute Workout: Science Shows a Way to Get Fit That's Smarter, Faster, Shorter*. New York, USA: Avery Publishing, 2017.
5. Kenney, W.L., J.H. Wilmore, J.H., and Costill. D. L. *Research Perspective 9.2 Tabata training: The Original HIIT. Physiology of Sport and Exercise*. 7th Edition. Champaign, Illinoi, USA: Human Kinetics. 241. 2019.
6. 神崎素樹, 田畑泉. 高強度・強度漸減間欠的トレーニングが最大酸素借と最大酸素摂取量に及ぼす影響. *トレーニング科学*. 9: 83-94, 1998.
7. Laursen,P. and Buchheit,M. *Science and Application of High-intensity interval training*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics, 2019.
8. 田畑泉, 荻田太, 宮地元彦, 芝山秀太郎. スピードスケートの陸上トレーニングに用いられているインターバルトレーニングの代謝特性. 日本体育学会第42回大会. 1991.
9. 田畑泉, 荻田太, 宮地元彦, 芝山秀太郎. スピードスケートの陸上トレーニングに用いられている間欠的トレーニングが最大酸素摂取量およびアネロビックキャパシテイーに与える影響. 日本体育学会第43回大会, 1992.
10. 田畑泉. 無酸素性エネルギー供給量の評価とトレーニング. *コーチング・クリニック*. 1999年3月号: 6-9. 1999.
11. 田畑泉. Tabata Protocolとは？ *Strength cond J Japan*. 22(3): 2-6, 2015.
12. 田畑泉. *1日4分 世界標準の科学的トレーニング 今日から始める「タバタトレーニング」*(ブルーバックス). 東京: 講談社. 2022.
13. Tabata, I., Irisawa, K., Kouzaki, M., Nishimura, K., Ogita, F., and Miyachi, M. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 29: 390-395. 1997.
14. Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., and Yamamoto, K. Effects of moderate intensity-endurance and high intensity-intermittent training on anaerobic capacity and VO2max. *Med Sci Sports Exerc*. 28: 1327-1330. 1996.
15. Tabata, I. Tabata training: One of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *J Physiol Sci*. 69(4): 559-572. 2019.
16. Tabata, I. Tabata Training. *The history and sciences of HIIT*. Academic Press. USA. 2022.
17. Terada, S., Yokozeki, T., Kawanaka, K., Ogawa, K., Higuchi, M., Ezaki, O., and Tabata, I. 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.
18. Tanaka, H. and Jackowska, M. *Slow Jogging: Lose Weight, Stay Healthy, and Have Fun with Science-Based, Natural Running*. Inc., New York, USA: Skyhorse Publishing, 2020.
19. Thompson, W. R. Worldwide Survey of Fitness Trends for 2022. *ACSM's Health & Fitness Journal*. 26:11-20.
20. Tsuji, K., Xu, Y., Liu, X., and Tabata, I. Effects of short-lasting supramaximal-intensity exercise on diet-induced increase in oxygen uptake. *Physiol Rep*. 5(22): e13506. 2017. DOI: 10.14814/phy2.13506
21. Watanabe, Y., Tanimoto, M., Ohgane, A., Sanada, K., Miyachi, M., and Ishii, N. Increased muscle size and strength from slow-movement, low-intensity resistance exercise and tonic force generation. *J Aging Phys Act*. 21(1): 71-84, 2013.
22. Weston KS, Wisløff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 48(16): 1227-34, 2014.

著者紹介

田畑 泉

博士(教育学)、立命館大学スポーツ健康科学部 特命教員(教授)、厚生科学審議会 地域保健健康増進栄養部会 委員、日本学術会議会員、日本体力医学会理事、日本体育学会理事 副会長、アメリカスポーツ医学会 fellow。厚生労働省運動所要量・運動指針の策定検討委員会、日本人の食事摂取基準策定委員会等において委員を歴任。