《総 説》

無酸素性運動能力の評価
—ウインゲート無酸素性テストを中心に—岩 田 学^{*1} 近 藤 和 泉^{*2} 細川賀乃子^{*2}Evaluation of Anaerobic Performance
—A Description of the Wingate Anaerobic Test—Manabu IWATA,^{*1} Izumi KONDO,^{*2} Kanoko HOSOKAWA^{*2}

Abstract : It has been generally considered that physical fitness is represented by exercise performance under aerobic conditions. However, we are often required to exert highly powerful movements momentarily or within a few seconds in daily life. Therefore, when we evaluate physical fitness, it appears important to evaluate physical fitness not only under aerobic conditions, but also under anaerobic conditions, with the latter being represented by maximal muscle power. In the daily living of people with physical disabilities, whether or not they can achieve a specific activity (for example, standing up, getting up from the floor and sitting down, etc.) is considered to depend on their performance under anaerobic conditions rather than under aerobic conditions. The Wingate anaerobic test (WAnT) has been developed as one of the most precise tests to evaluate anaerobic exercise performance. The WAnT, established at the Wingate Institute in Israel in 1970s, is a test incorporating bicycle riding with a maximal effort for 30 seconds. An ergometer with equipment to load an examinee with a constant resistance from a suspended weight is used in this test. The WAnT is measured as the changes in mechanical power that are yielded by multiplying the resistance produced from a suspended weight by the rotation speed of pedaling during a period of 30 seconds. The WAnT has not been usually applied so far to disabled people due to some technical problems. However, we have been improving the test to overcome those problems so that we can adopt the WAnT in the field of rehabilitation. We expect that this modified WAnT would contribute to a comprehensive evaluation of physical fitness in people with disabilities.

Key words : ウインゲート無酸素性テスト (Wingate anaerobic test), 信頼性 (reliability), 妥当性 (validity), 筋力 (muscle strength), リハビリテーション (rehabilitation)

はじめに

体力関連の研究は、従来健常者やスポーツアスリートを対象として発展してきた経緯がある。最

近では高齢者や障害者を対象とした研究も多くみられ、また介護予防の観点から、地域での体力増進プログラムの導入が行われるようになってきている。しかしいずれにしてもそこで取り上げられる体力は、有酸素性の運動能力が主体であり、体

2005年8月29日受稿

^{*1} 弘前大学医学部保健学科理学療法学専攻/〒036-8564 青森県弘前市本町66-1
Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Hirosaki University

^{*2} 弘前大学医学部附属病院リハビリテーション部/〒036-8563 青森県弘前市本町53
Rehabilitation Center, Hirosaki University Hospital

力の構成要素の一つである無酸素性の運動能力に関する関心は少ないように思われる。その理由として、まず無酸素性の運動能力に対する理解が不十分であることが挙げられる。無酸素性運動とは、運動中にまったく酸素を使わない運動ではなく、運動中のエネルギーが、主として解糖系などの酸素を必要としない経路によって供給される運動といえる。最大筋パワーに代表される無酸素性の運動能力は、日常生活や運動競技において、瞬間的あるいは数秒間の高い強度のパワーを発揮する場合の能力を意味し、そのような能力が求められる機会は生活上少なくともはない。それにもかかわらず、無酸素的な運動能力を評価することに対して関心が薄いこと理由は、適切で簡単に行える検査が少ないことも影響していると考えられる。

そのような状況の中で、無酸素性の運動能力を的確に評価できるテストとして発展してきたのが、ウイングート無酸素性テスト (Wingate anaerobic test, 以下 WAnT) である。WAnT は 1970 年代にイスラエルのウイングート研究所で開発された 30 秒間の最大努力下でのサイクリングテストである。このテストには重錘の懸垂によって一定の抵抗力を負荷することができるエルゴメータを使用する。WAnT は、懸垂された重錘により生じる抵抗力とペダルの回転速度の積として算出される機械的なパワーの 30 秒間の変化をとらえたものである。現在までのところ、障害者を対象とした WAnT の報告は非常に少ないが、今後いくつかの改変を重ねることでリハビリテーション (以下、リハ) 領域への応用が可能になると考えられる。本稿では、リハ医療従事者に、無酸素性の運動能力についての理解を深めてもらうために、WAnT を主体に述べる。

無酸素性運動能力の評価

一般に無酸素性の運動能力の検査は、非常に高い強度で行われるが、運動時間としては 1 秒未満のものから数分に及ぶものまである。多くの無酸素性テストは、意欲がある人間を対象にする場合は信頼性があり、各検査ともに非常に高い相関を

示すことは意見が一致している。それらの無酸素性のテストは、運動強度と運動時間がそれぞれ異なっているが、極短時間 (1~10 秒間) のテストと短時間 (20~60 秒間) のテストに分類することが妥当と考えられる。

極短時間のテストとしては、階段の走り上がり¹⁾、跳躍²⁾、最大速度での大きな筋群の収縮^{3,4)}、短距離走⁵⁾、および自転車エルゴメータを使用した大きな抵抗下でのペダル漕ぎ^{6,7)} などがある。WAnT における初期の 3 秒間ないしは 5 秒間の最大パワーも、この種のテストから得られる情報と同一のものと考えられる。

一方短時間のテストでは、ほとんどの場合トレッドミルか自転車エルゴメータが使われる。これらのテストでの測定値には、特定の時間における、自転車エルゴメータ上で出されたパワーの総計⁸⁾、自転車で与えられた抵抗に抗してペダルを踏み、完全に消耗してしまうまでの時間⁹⁾、または同じくトレッドミル上で与えられた速度と傾斜で走って消耗してしまうまでの時間^{10~13)} などが挙げられる。WAnT では、初期の 3 秒間ないしは 5 秒間の最大パワーの計測に加えて、30 秒間の上肢または下肢で出せる平均パワーを計測することが行われており、これは短時間のテストから得られる情報とみなすことができる。

ところで、ある課題が有酸素的なあるいは無酸素的なエネルギー源の完全にどちらか一方のみを使ってなされるとみなすのは間違いであり、WAnT を行うためのエネルギーの一部が有酸素的な代謝経路から引き出されていることは当然考えられる。しかし WAnT を「無酸素性テスト」と見なすのであれば、無酸素的なエネルギー源の関与が大きくなければならない。数秒間以上のテストで、有酸素性の要素と無酸素性の要素がそれぞれの程度関与しているかを明らかにすることは困難であるが、Inbar ら¹⁴⁾ は、WAnT 中の機械的効率を 22~18% と見なした場合、WAnT における有酸素性の要素の関与が 28~13% になると述べている。

また Kavanagh ら¹⁵⁾ は WAnT に対する有酸素的な代謝の関連性を評価した報告を行っている

る。彼らの研究では、被検者が室内の空気を吸った場合と、12%の酸素を吸った場合（検査の5分前から開始）の両方の条件でWAnTを行っている。その結果、後者の状況では動脈血酸素飽和度が、97.2%から88.6%にまで低下した。しかし低酸素の状態であるにもかかわらず最大パワーと平均パワーの変化は有意ではなかったと報告している。この研究ではWAnTに対する有酸素的な要素の関与の程度を定量化することはできなかったが、低酸素状態が検査の成績に及ぼす影響がほとんどないことが明らかにされた。

ウイングート無酸素性テストの方法

WAnTがもっとも優れた無酸素性パワーの評価テストかどうかを明らかにすることは難しいが、WAnTほど最大筋パワーや筋持久力の評価に用いられているテストは他にはなく、機械的的最大パワーおよび局所の筋の耐久性の情報を提供するテストとしての高い信頼性と妥当性が多くの研究で確認されている。

WAnTでは一定の力に逆らって最大速度で30秒間にわたるペダル漕ぎあるいは腕でのクランク回しが要求される。この力は最大上の機械的パワーを出させ、最初の数秒間で顕著な疲労（つまりパワーの急速な減少）を起こす。現在市販されているWAnT用のエルゴメータ（図1）には解析

図1 ウイングートテスト用の機械式エルゴメータ

用のプログラムが付属されており、コンピュータと連動して回転数が自動的に入力されるようになっており、測定は非常に容易である。

実際の測定に際しては、テスト前にウォーミングアップを要する。5～10分間にわたる間欠的な運動が、WAnTでより優れた結果を出すために最も適していると報告されている¹⁰⁾。テスト開始時にまず被検者は、重錘を負荷する前の、フライホイールの慣性と摩擦抵抗だけの状態でペダルをできるだけ速く踏み、可能な限り短い時間で最大回転速度まで上げるように努力する。一旦重錘負荷をかけてしまうと、それ以上速度を上げることはできないので、検者はペダルの回転速度が最大速度に達したことを確認して、重錘を負荷する。抵抗が加えられると同時に、ペダルの回転数の計測が始まり、被検者は最大努力で30秒間それ続ける。検者は、30秒間のテストを通して、言葉による励ましを与え続ける。特に最後の10～15秒間は非常につらく、最大努力を続けてもらうためにも、声かけは重要である。テスト終了後被検者は、時としてめまいや悪心・嘔吐を起こすことがある。それらを防ぐために、検査直後に軽い抵抗下で2～3分間のクールダウンを行うことが強く勧められる。

図2は、典型的な下肢のWAnTにおけるパワー曲線であり、5秒ごとの区間の平均値をプロットしている。WAnTでは定常的な抵抗に対するペダルの回転数を数えて、機械的なパワーを計測する。それぞれの回転を完了するのに必要な時間が

図2 下肢の無酸素性パワーの典型的変化

変動するので、WAnT では 3 ないし 5 秒の区間の平均を使っている。

WAnT では、主に 2 つの運動能力の指標が計測される。

1) 最大パワー (Peak Power, 以下 PP) は、テスト中に出たもっとも高い機械的パワーであり、図 2 では点 PP として示されている。PP は最初の数秒間に出されることが多いため、ほとんどの場合、この指標は最初の 3~5 秒の区間の平均値を取るのが普通である。

2) 平均パワー (Mean Power, 以下 MP) は、30 秒間を通じて保持されたパワーの平均である。この値は 10 個の 3 秒間の区間または 6 個の 5 秒間の区間を平均して得られる。

WAnT では、それぞれの被検者でもっとも高い PP と MP が引き出せる負荷量の設定を選ぶことが重要である。至適負荷量 (Optima) は、検査対象肢 (上肢または下肢)、性別、年齢、活動レベル、使用するエルゴメータによって異なる¹⁷⁻¹⁹⁾が、すべての被検者群の Optima は報告されておらず、今後の継続的な研究が必要な部分である。ちなみに、Monark のエルゴメータを使用して、男子学生が下肢の WAnT を行う場合の Optima は体重比で 87 g/kg とされており¹⁸⁾、体重 60 kg の学生の場合では、5.22 kg の重錘を負荷することになる。

WAnT の検査時間は従来より 30 秒とされており、多くの研究データの蓄積が 30 秒の WAnT を用いて行われている。しかし Vandewalle ら²⁰⁾は、30~40 秒間も続く検査に比べれば、短いテストの方が被検者の身体的負担が少なく容易に行えるので、無酸素的な検査は 15~20 秒にすべきであると述べている。筆者らもテスト時間短縮の妥当性の検討を、32 名の健常人 (男子 17 名: 平均年齢 23 歳, 女子 15 名: 平均年齢 20.6 歳) でモナークエルゴメータを使用して検討してみた。Optima を、男子で 0.087, 女子で 0.085 とした場合、WAnT の 15 秒までと 30 秒までの平均パワーの級内相関係数は、0.99 ICC (3,1), 体重補正した場合でも 0.97 ICC (3,1) と非常に高い相関を得ている。今後この WAnT を高齢者や

障害者に応用する場合は、安全性の問題から、テスト時間の短縮が必要になると考えられるが、この結果は時間短縮版の WAnT が 30 秒の WAnT と類似の情報を提供する可能性を示唆していると思われる。

WAnT の信頼性については、一般的な環境下での検査—再検査の相関係数が、0.89 から 0.99 であったと報告されている^{21,22)}。相関係数は、PP より MP で高くなる傾向があり、これは PP の測定の誤差が大きいことを反映していると思われる。また検査の間に 30 分休みをはさめば、成人で十分に信頼性のある結果が得られることが報告されており²¹⁾、比較的短時間でテストを繰り返して行えることは WAnT の大きな長所と言える。

一方 WAnT の妥当性については、比較すべき最大パワーや上下肢の局所的な耐久性を測定するためのスタンダードとなるテストが存在しないため、一般的な妥当性の検証を行うことは困難である。そこでいくつかの研究では、無酸素性のパフォーマンス能力と WAnT の結果を比較している。それによると、WAnT の結果が短距離走、短距離の水泳、短時間のアイススケートの課題、垂直跳びの能力と相関することが報告されている²²⁾。これらの課題は、高い強度の激しい動きを要し、数秒~数十秒間継続されるので、かなり無酸素的な課題と考えられる。WAnT で得られる MP や PP と無酸素性の課題における運動遂行能力との関連性は非常に高いが、それぞれの競技で良い成績を出せるかどうかは、パワーだけではなく技術にも左右されるため、特定の課題における成績の予測に WAnT を使うことは難しいと考えられる。

ウイングート無酸素性テストと末梢筋力

WAnT では、いくつかの筋群が一体となった上肢あるいは下肢の能力を測定しており、そのため特定の筋や筋群に関する情報は本来提供できない。しかし両者の関連性を検討した研究がいくつか報告されている。

筆者ら²³⁾は、健常成人 32 名 (平均年齢 21.9

歳)で下肢の無酸素性パワーと下肢筋力との関連性について調査した。WAnTにはモナーク430Eエルゴメータを用い、PPとMPを算出した。下肢筋力の測定にはKIN-COM 500Hを使用し、膝屈曲60度における膝伸展筋の最大等尺性筋力(Isometric Force: ISO)と角速度120度で連続30回の最大膝伸展屈曲運動における平均等運動性筋力(Mean Torque: MT)を求めた。その結果、体重補正後のPPとISOの間の相関係数は $r=0.62$ で、MPとMTの間の相関係数は $r=0.64$ で、いずれも有意であった(図3)。

またStoneら²⁴⁾は、20名のサイクリストでWAnTの下肢の最大パワー($W \cdot kg^{-1}$)とパワートラックを用いた下肢の最大等尺性筋力($N \cdot kg^{-1}$)と間に $r=0.67$ の有意な相関を認めたと報告している。

末梢筋力は無酸素性パワーに影響を及ぼす基本的な要素であると考えられているが^{25~27)}、Takkenら²⁸⁾は、20名の若年発症の特発性炎症性ミオパシー患者で、WAnTにおける下肢の最大パワーと徒手筋力計による膝伸展筋力の関連性を検討し、両者の間に有意な相関を認めたが、膝伸展筋力だけでは、下肢の最大パワーの24%しか説明できないとし、他要因の関与を示唆している。

WAnTはいくつかの筋群が一体となった能力を測定しており、そのため特定の筋や筋群に関する情報は提供できない。従って筋の収縮力やカー

速度曲線の作成といった情報が必要であるならば、WAnTではなく、ダイナモメータ等による単関節検査を行うべきである。

ウインゲート無酸素性テストと環境温度

WAnTは、研究室ばかりでなく、屋外の競技場でも使えるように作られている。ただしBergh²⁹⁾が、深部体温が $1^{\circ}C$ 低下するとに無酸素性の運動能力が5%低下することを報告してからは、このテストを行うために気候・環境の条件が標準化されているかどうかを検討されるようになってきている。

環境温度のWAnTの結果への影響を検討した幾つかの研究がある。Dotanら³⁰⁾は、10~12歳の28人の小児が、常温($22 \sim 23^{\circ}C$ 、湿度55~60%)、高温乾燥($38 \sim 39^{\circ}C$ 、湿度25~30%)、温暖多湿($30^{\circ}C$ 、湿度85~90%)の環境下でテストし、各条件での運動能力を比較している。その結果MPではテスト-再テストの相関係数は0.89から0.93の範囲であった。またこれらの環境間のPPおよびMPの差は有意ではなかった。このため高温乾燥および温暖多湿気候下では、小児の運動能力は影響を受けないと報告している。

一方筆者らは、小児の無酸素性パワーに対する低温暴露の影響について検討した³¹⁾。被検者は10~12歳の男児12名で、低温暴露に人工気象室

図3 下肢の無酸素性パワーと膝伸展筋力との関係

PP: Peak Power, ISO: Isometric Force, MP: Mean Power, MT: Mean Torque, BW: Body Weight

図4 常温および低温環境における平均パワーおよびその回復率の比較
(文献 28 より引用)

を使用し、常温環境を 23°C、相対湿度 40%、低温環境を 5°C、相対湿度 40% に設定し、設定されたそれぞれの環境で 30 分間の安静の後、1 回目の WAnT を行い、2 分間休憩した後、2 回目の WAnT を行った。その結果図 4 に示すように、常温環境と低温環境で平均パワーの有意差が認められなかったが、平均パワーの回復率には有意差が認められ、低温環境下では小児の運動能力の回復が遅延することが示唆されている。

ウインゲート無酸素性テストと神経筋疾患

WAnT は従来健康人やスポーツアスリートに使われて来たが、慢性の疾患や身体障害のある人を評価するために使用されたこともある。ただしその際には、身体運動能力の制限因子が呼吸循環器ではなく神経・筋である場合に WAnT が適応となる。

Tirosh ら³²⁾ による研究では、痙直型脳性麻痺、アテトーゼ型脳性麻痺、Duchenne 型筋ジストロフィー、Becker 型筋ジストロフィー、脊髄性筋萎縮症、先天性筋萎縮症と筋緊張性ジストロフィーをもつ 6~20 歳の 66 名の少年少女で、上肢と下肢の WAnT が 2 度行われた。これらの被検者のうち、上肢のテストと下肢のテストはそれぞれ 92% と 61% がうまく行われた。いずれのテストも行うことができなかった子供たちは、たいていは Duchenne 型筋ジストロフィーであった。

一般に能力障害が進行していても、下肢のテストは松葉杖の有無にかかわらずまだ歩くことが可能な子供たちでは行うことができる。この研究では、信頼性の検討も行われているが、検査-再検査信頼性係数は、上肢の WAnT で PP が 0.94、MP が 0.98、下肢の WAnT では PP、MP ともに 0.96 であったと述べている。また Parker ら³³⁾ は、7~13 歳の 23 名の脳性麻痺児（片麻痺 5 名、両麻痺 5 名、四肢麻痺 13 名）を対象に WAnT を施行している。23 名の脳性麻痺児は、1 人を除いて移動に介助を要するか、自立していたとしても移動のための補助具（車椅子を含む）を必要とするレベルであったが、そのうち 22 名が上肢 WAnT を、17 名が下肢 WAnT を完遂できたと報告している。

一方 Fehlings ら³⁴⁾ は、WAnT を用いて小児ギラン・バレー患者の長期的な予後について調査している。小児ギラン・バレー患者では、下肢の筋パワーや筋持久力の回復が良好であるのに対して、上肢では回復が遅延するため、上肢の筋持久力を向上させるプログラムが必要であることが指摘されている。

健康な人に使われている Optima は、筋量/体量比が異常である能力障害のある患者には通常適用できず、患者のための最適な抵抗力は知られていない。これは筋萎縮あるいは顕著な肥満のある人で特に顕著である。そのようなケースでは筋肉量が体重から予測されるよりも小さいため、通常

の方法では最適な抵抗力を過大に設定してしまうことになる。

それに対して Van Mil ら³⁵⁾ は、最初に力一速度テストで最適な力を識別して、次にその力の65%を使って WAnT を行うことによって、脳性麻痺の若者に対する最適なブレーキング力を予測できることを示唆している。もう1つの可能なアプローチとしては、被検者の推定された除脂肪下肢（または上肢）容量に対する最適な力の選択を基にする方法が考えられる。しかしこの方法の適応には妥当性の検証が必要である。

おわりに

WAnT が身体的な障害がある人で行われる場合、WAnT の実行可能性と信頼性に関する問題が残っている。能力、フィットネスレベル、活動筋が異なるため、そのような人々のためにテストを標準化する方法をさらに研究していく必要がある。リハ領域で障害者の体力を包括的に評価して行くためには、有酸素性の運動能力だけではなく、無酸素性の運動能力の評価も重要である。障害者の日常生活においては、特定の課題（例えば立ち上がりや床から起き上がって座るなど）を達成できるかどうかの成否は、有酸素運動能力よりはむしろ最大筋パワーに代表される無酸素性の運動能力にかかっていると考えられる。その意味で、本稿で紹介した WAnT は障害者の無酸素性の運動能力を評価する上で、基本となるテストであると考えられ、今後日本においてもリハ領域への応用が期待される。

文 献

- Margaria R, Aghemo P, Rovelli E: Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J Appl Physiol* 1966; **21**: 1662-1664
- Davies CTM: Human power output in exercise of short duration in relation to body size and composition. *Ergonomics* 1971; **14**: 245-256
- Komi PV, Rusko H, Vos J, Vihko V: Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol Scand* 1977; **100**: 107-114
- Thorstensson A, Hulten B, von Döbeln W, Karlsson J: Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1976; **96**: 392-398
- Fox E, Mathews D: Interval Training. Saunders, Boston, 1974
- Crielaard JM, Pirnay F: Anaerobic and aerobic power of top athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1981; **47**: 295-300
- Weltman A, Moffatt RJ, Stamford BA: Supramaximal training in females: effects on anaerobic power output, anaerobic capacity, and aerobic power. *J Sports Med Phys Fitness* 1978; **18**: 237-244
- Szogy A, Cherebetiu G: A 1-min bicycle ergometer test for determination of anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1974; **33**: 171-176
- De Bruyn-Prevost P, Lefebvre F: The effects of various warming up intensities and durations during a short maximal anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980; **43**: 101-107
- Cunningham D, Faulkner J: The effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run. *Med Sci Sports Exerc* 1969; **1**: 65-69
- Houston ME, Thomson JA: The response of endurance-adapted adults to intense anaerobic training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1977; **36**: 207-213
- Roberts AD, Billeter R, Howald H: Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int J Sports Med* 1982; **3**: 18-21
- Sjodin B, Thorstensson A, Frith K, Karlsson J: Effect of physical training on LDH activity and LDH isozyme pattern in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1976; **97**: 150-157
- Inbar O, Dotan R, Bar-Or O: Aerobic and anaerobic components of a thirty-second supramaximal cycling task. *Med Sci Sports Exerc* 1976; **8**: S 51
- Kavanagh MJ, Jacobs IJ, Pope D, Hermiston A: The effect of hypoxia on performance of the Wingate anaerobic power test. *Can J Appl Sports Sci* 1986; **11**: 22 P
- Inbar O, Bar-Or O: The effects of intermittent warm-up on 7-9 year-old boys. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1975; **34**: 81-89
- Evans JA, Quinney HA: Determination of resistance settings for anaerobic power testing. *Can J Appl Sport Sci* 1981; **6**: 53-56
- Dotan R, Bar-Or O: Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983; **51**: 409-417
- Patton JF, Murphy MM, Frederick FA: Maximal power outputs during the Wingate anaerobic test. *Int J Sports Med* 1985; **6**: 82-85
- Vandewalle H, Peres G, Monod H: Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med* 1987; **4**: 268-289
- Hebestreit H, Mimura K, Bar-Or O: Recovery of

- muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J Appl Physiol* 1993; **74**: 2875-2880
- 22) Bar-Or O: The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med* 1987; **4**: 381-394
- 23) 岩田 学, 長谷川至, 近藤和泉, 佐藤能敬, 細川賀乃子, 相馬正始: 成人における無酸素性パワーと上下肢筋力との関連性. *リハ医学* 2002; **39** (Suppl): S 361
- 24) Stone MH, Sands WA, Carlock J, Callan S, Dickie D, Daigle K, Cotton J, Smith SL, Hartman M: The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J Strength Cond Res* 2004; **18**: 878-884
- 25) Henry FM: Specificity vs generality in learning motor skills. *Proc Coll Phys Educ Assoc* 1958; **61**: 126-128
- 26) Henry FM, Lotter WS, Smith LE: Factorial structure of individual differences in limb speed, reaction and strength. *Res Quart* 1962; **33**: 70-84
- 27) Macintosh D: The structure and nature of strength. *J Sports Med Phys Fit* 1974; **14**: 168-177
- 28) Takken T, van der Net J, Helders PJ: Anaerobic exercise capacity in patients with juvenile-onset idiopathic inflammatory myopathies. *Arthritis Rheum* 2005; **53**: 173-177
- 29) Bergh U: Human power at submaximal body temperature. *Acta Physiol Scand* 1980; (Suppl): 478
- 30) Dotan R, Bar-Or O: Climatic heat stress and performance in the Wingate Anaerobic Test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980; **44**: 237-243
- 31) 岩田 学, 近藤和泉, 細川賀乃子, 相馬正始, Henry RM, Bar-Or O: 小児の無酸素性パワーに対する低温暴露の影響. *リハ医学* 2001; **38**: 981-985
- 32) Tirosh E, Bar-Or O, Rosenbaum P: New muscle power test in neuromuscular disease. Feasibility and reliability. *Am J Dis Child* 1990; **144**: 1083-1087
- 33) Parker DF, Carriere L, Hebestreit H, Bar-Or O: Anaerobic endurance and peak muscle power in children with spastic cerebral palsy. *Am J Dis Child* 1992; **146**: 1069-1073
- 34) Fehlings D, Vajsar J, Wilk B, Stephens D, Bar-Or O: Anaerobic muscle performance of children after long-term recovery from Guillain-Barre syndrome. *Dev Med Child Neurol* 2004; **46**: 689-693
- 35) Van Mil E, Schoeber N, Calvert RE, Bar-Or O: Optimization of force in the Wingate Test for children with a neuromuscular disease. *Med Sci Sports Exerc* 1996; **28**: 1087-1092