

柔道競技におけるウォーミングアップの至適強度

Optimum intensity of the Warming up in the judo game

斉藤 仁*, 木村 昌彦**, 松崎 愛***
正木 嘉美****, 篠原 信一****

Hitoshi SAITO *, Masahiko KIMURA **, Ai MATUZAKI ***
Yoshimi MASAKI **** and Shinishi SHINOHARA ****

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the optimum intensity of W-up for the intermittent exercise in the judo game.

The load of the W-up was 30%, 60% and 75% of the maximum oxygen in-take and condition of without the W-up as a contrast. Performance test using the bicycle ergo meter was carried out after the rest for 10 minutes after the warm-up in the each measurement condition, and simultaneously, the change of the body faculty was measured.

The results were as follows.

In flexibility and for whole body reaction time, in the item on the ability in the motion start, 60% condition 70% condition. However, the 75% condition showed the low value in performance test of the 1 set. The 60% condition is the highest for the value of the power from the performance test of 1 set to 10 sets, and it is the lowest of 75% condition. Performance test start near blood lactic acid content of the 75% condition was very high, and it was a disadvantageous condition, when the an aerobics exercise was carried out. 30% condition measurement item either significantly high not. And, in the warm-up making condition 3 item negative. It was indicated that the load of the warm-up of the interval motion was not effective in 30% or less of the largest oxygen.

It was indicated that optimum intensity from the above result in this study of the W-up of the intermittent exercise was 60% of maximum oxygen in-take. However, various factors such as environment and physical fitness influence in the effect of the W-up. In the future, it seems to be necessary to carry out the examination, which diversified type and time of the warm-up, when the many factors, which affect the effect of the W-up, were controlled.

Key words; Judo, Training, warming-up, Movement intensity, Conditioning

* 国士舘大学 (Kokushikan University)

** 横浜国立大学 (Yokohama National University)

*** 東京学芸大学連合大学院生

**** 天理大学 (Tenri University)

I. 目 的

スポーツ選手はもとより、健康・体力作りに運動を行っている人たちにとっても、ウォーミングアップ（以下W-up）は常識的な行為となっている。しかし、スポーツにはジョギングに代表されるような有酸素運動や短距離走のような無酸素運動、そして柔道競技のような間欠的運動があり、それぞれに適したウォーミングアップがあると思われる。

一般的に、スポーツの前にW-upが実施される理由の1つは、W-upの実施が、競技成績の向上やトレーニングの能率化を図る上で効果があると考えられるからである。運動は身体諸機能の速やかな動員を必要とするが、その適応過程は漸進的であり、運動開始後ただちに要求される水準に達するわけではない。しかし、あらかじめW-upを行って各器官系の適応性を向上させておけば、安静から運動への移行は円滑になされ、無理なく能率的に運動を実施することが可能だと考えられる。

理由の2つ目は、W-upを実施することによって、筋や腱の断裂、捻挫あるいは関節障害などの予防効果が期待されるからである。また、W-upの過程で徐々に集中度が高められ、主運動に対する心理的準備が整えられることも理由の1つとしてあげられる。

W-upには様々な方法が用いられているが、Shellock²⁴⁾は、①受動的、②一般のおよび③専門的W-upの3つのカテゴリーに分類している。

W-upの主たる効果が筋温や体温の上昇にあるとするならば、必ずしも身体運動による積極的な体熱産生に依存しなくても、目的は達成されることになる。このような観点から、単に筋温や体温の上昇だけを目的として行われるのが、受動的W-up (passive warming-up) である。赤外線照射、超音波、ホットシャワー、温水浴、ジアテルミー、マッサージなどがこれにあたる。これらの方法は身体活動をほとんど伴わないのでエネルギー源の消耗がなく、パフォーマンスが損なわれる危険性

が小さいと考えられている。

一方、W-upとして主運動には直接関係のない身体運動、たとえばストレッチング、柔軟体操、徒手体操、ランニングなどの一般的な全身運動を用いるやり方が、一般的W-up (general warming-up) である。この方法は、身体の様々な器官系に影響を与え、身体の高めるのに役立ち、特に、深部の筋温を効果的に高めることができる。また、野球であればキャッチボールやバッティングなどのように、主運動と同じ運動を用いてW-upを行うのが、専門的W-up (specific warming-up) である。この方法は、筋温や体温の上昇はもとより、W-upに実際のスポーツやトレーニング運動と同じ動作を用いて主運動のリハーサルを行うことによって、必要とされる神経筋協調能に刺激を与えることをねらいとしているのが特徴である。従って、この種のW-upは、特にスキルや動作の微妙な調整を必要とされる運動を行う際に重要であると考えられている。

また、浅見と万木ら²⁾の調査によると、W-upをどんな目的でどの程度の重点をおいて行うかは、試合時と練習時とで若干異なると報告している。さらには個人によっても内容に差があり、その方法は決して統一されたものとは言えない。特に試合時には身体に負荷を掛けたくないという意識から技術やフォームの確認、心理的な準備に比重が高くなっており、生理学的準備（身体的に負荷をかける運動）は状況によって軽視されてしまうこともある。

W-upの生理学については、その効果や持続時間などに関する研究は現在までに多くなされてきた^{16) 18) 19) 20) 21) 22)}。また、W-upの至適強度についての研究も古くから行われている。GrođijnovskyとMagel⁹⁾は軽度のW-upと強度のW-upが走タイムに及ぼす影響を調べ、短距離走では両W-up間で差はなかったが、中距離走（1マイル走）では強度のW-upの方がタイムの短縮が大きいことを知見した。このことから、長距離走（有酸素運動）のW-upとしては心臓血管系に大きなストレスを

かける激しいものがよく、それは強いW-upによって高いレベルの有酸素運動に必要な生理的調整の時間が短縮されるからだとしている。一方、無酸素運動については、*Asmussen*²⁴⁾らは自転車エルゴメータを用いた実験を行い、75% $\dot{V}O_2$ max以下あるいはAT以下の範囲内の強度であればW-upの強度が高いほど短時間運動のパフォーマンスタイムの短縮も大きかったことを報告している。しかしながら、柔道競技のような間欠的運動についてのW-upの至適強度に関する報告は、あまり見られない。

間欠的運動の発揮パワーの持続能力は有酸素系能力に大きく依存しているといわれている。山本ら²⁵⁾は5種類の球技種目の優秀な選手を対象に間欠的な全力ペダリングを行わせた結果、バスケットボールのように相対的に運動期の時間が長く休息期の時間が短い種目の選手ほど、高い有酸素系能力が要求されるため発揮パワーの低下率が低く、一方、アメリカンフットボールのように運動期が短く休息期の長い種目の選手は発揮パワーの低下率が大きいと報告している。また山本ら²⁵⁾は、5秒間の間欠的な全力ペダリングを行わせ休息時間とATP-CP系能力および有酸素系能力の相関関係も報告している。それによると間欠的運動の初期にはATP-CP系、中期～終末期には有酸素系と有意な相関関係が認められたと報告している。また、総仕事量に対する貢献度をみると、休息時間が長くなるにつれてATP-CP系の貢献度が増し、

休息時間が短くなるにつれ有酸素系の貢献度が大きくなり、休息時間が20秒間までは有酸素系能力のみに有意な相関が見られるが、休息時間が40秒になるとATP-CP系能力とも相関が見られると報告している。

以上のように間欠的運動は有酸素系能力と高い相関があり、そのW-upの至適強度は有酸素系能力に有効な心臓血管系にストレスをかける高い負荷のものが有効であるとも考えられる。

そこで、本研究では間欠的運動の中でもより強度負荷で運動を行なう柔道競技について、そのW-upの至適強度を求めるため、3種類の負荷でW-upを行った。その後、パフォーマンステストとして自転車エルゴメータの全力ペダリングによる間欠的運動を行い、W-upの負荷の違いによるパフォーマンス、生理学的効果等の結果を検討することを目的とした。

II. 実験方法

被験者は健康な柔道部学生7名を用いた(年齢 22.0 ± 2.1 歳、身長 170.3 ± 4.4 cm、体重 76.0 ± 14.5 kg)。

運動のプロトコールはW-up15分、安静10分および電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター(コンビ社製、パワーマックスV)による5秒間全力ペダリングの間欠的運動によるパフォーマンステストからなっている(図1)。実験はすべて人工気

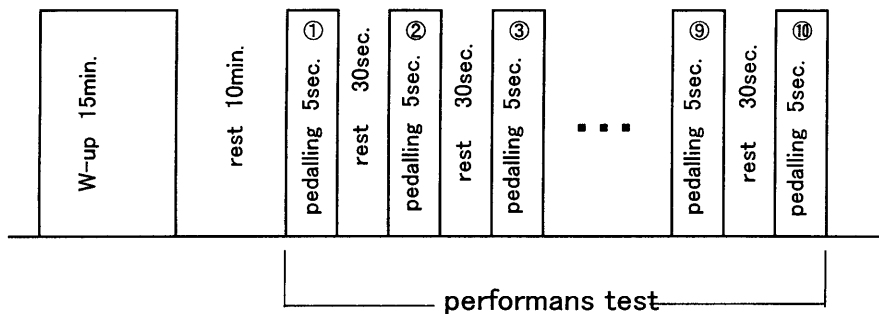


図1 運動のプロトコール

象室で行い、室温25℃、湿度60%とした。W-upは電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター（コンビ社製、パワーマックスV）を用い、負荷は被験者の $\dot{V}O_2\max$ のそれぞれ75%、60%、30%（それぞれ以下75%条件、60%条件、30%条件）の3種類と、対象条件としてW-upを行わない条件（以下コントロール条件）の4種類とした。

間欠的運動によるパフォーマンステストは5秒間の全力ペダリング運動を10セット行った。有酸素系およびATP-CP系の両方のエネルギー供給機構に関わっていると思われる運動間の休息時間を設定するため、運動間の休息時間は山本ら²⁵⁾の報告をもとに30秒間とした。負荷はWingate testに従って被験者の体重1 kg当たり0.075kpとした。

間欠的運動を行う競技種目の場合、徐々に身体機能が向上していくのではなく、試合開始時から最大限の能力を発揮できる状態になくならない。特に試合時間の柔道競技などは試合開始時に100%の能力を発揮できることが非常に重要である。つまり、W-up後の運動開始時から十分に能力を発揮することが出来、なおかつそれが持続できることが理想である。そこで、測定項目はA.W-up後の運動開始時に最大限に能力を発揮できる常態にあるための項目、およびB.その後の運動能力の持続や低下に影響する項目とに分けて測定を行った。測定項目は以下のとおりである。

A. 運動開始時のパフォーマンスに影響をおよぼす項目

1. 柔軟性

W-up開始前とパフォーマンステスト開始直前に長座位体前屈によって指尖移動距離を1 cm単位で測定した。

2. 全身反応時間

ストレンゲージを裏面に貼りつけた踏み台にアンプ、記録器、光刺激ランプを接続した装置を用いた。記録は1/100秒単位でW-up開始前とパフォーマンステスト開始直前に測定した。被験者には膝関節を軽く（120から160° くらい）曲げて台上

に立たせ、光刺激を合図にできるだけすばやく台から垂直に跳び離れるように指示し、2～3回練習を行った後5回の測定を行った。その際、被験者が刺激の呈示を予測できないように、被験者が準備姿勢をとってからランダムな時間間隔で刺激を呈示した。5回の記録のうち最も良い記録と悪い記録を除いた3回の記録の平均値をデータとして用いた。

B. パフォーマンスの持続・向上能力に関する項目

1. 間欠的パワー

1セット目から10セット目までの各セットにおいて、全力ペダリングのパフォーマンステストによって発揮されたパワーを測定した。各セットで発揮されたパワーは、自転車エルゴメーターに内蔵されている計算機によってセット毎に表示される値（5秒間の平均パワー）を用いた。

また、パフォーマンステスト1セット目のパワーの値を100とした低下率を1セット目から10セット目までの各セットにおいて求めた。また、求めたパワーの値はすべて体重あたりの相対値（w/kg）を用いた。

2. 血中乳酸濃度

Lactate Pro（京都第一科学社製）を用い、W-up

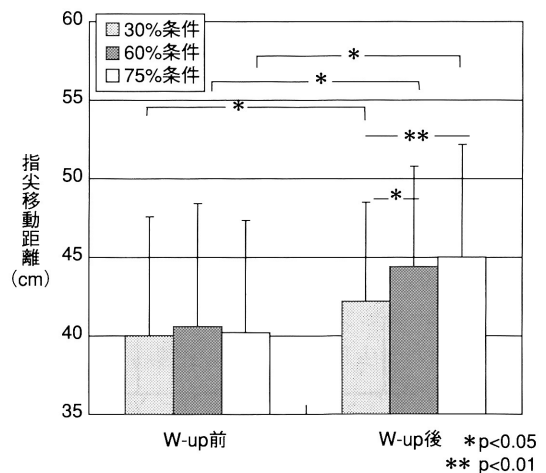


図2 長座位体前屈による指尖移動距離の変化

開始前、W-up開始7分後、W-up終了後、パフォーマンステスト開始直前、パフォーマンステスト5回目、10回目終了時においてそれぞれ測定した。

3. 酸素摂取量

ガス分析器を用いプレス・バイ・プレス方式でパフォーマンステスト開始時から10秒ごとにパフォーマンステスト終了時まで測定した。

4. 心拍数

ハートレートモニター（キャノン社製PE-300S）を用い、W-up開始からパフォーマンステスト終了まで15秒毎に測定した。

Ⅲ. 結 果

A. 運動開始時のパフォーマンスに影響を及ぼす項目

1. 柔軟性

長座位体前屈による柔軟性の変化を図2に示した。

W-up前とW-up後を比較すると、全ての測定条件においてW-up後の方が5%水準で有意に高い値を示した。W-up後における各測定条件を比較すると、75%条件、60%条件、30%条件の順に高い値を示し、30%条件 ($42.2 \pm 6.3 \text{cm}$) に比べ60%条件 ($44.4 \pm 6.4 \text{cm}$) の方が5%水準で有意に高い値を示した。同様に75%条件 ($45 \pm 7.1 \text{cm}$) でも30%条件と比べ1%水準で有意に高い値を示した。しかし、60%条件と75%条件の間には有意な差は認められなかった。

2. 全身反応時間

各測定条件におけるW-up前後の全身反応時間の変化を図3に示した。

W-up前とW-up後とを比較すると、30%条件、60%条件、75%条件の全ての条件においてW-up前よりも後の方が反応時間が短縮されていた。特に60%条件においては、W-up前 ($0.262 \pm 0.192 \text{秒}$) に比べW-up後 ($0.248 \pm 0.021 \text{秒}$) では5%水準で有意に低い値を示した。

また、W-up後の各測定条件を比較すると、反

応時間は60%条件、30%条件、75%条件の順に短かったが、それぞれの条件間に有意な差は認められなかった。

3. パフォーマンステスト1セット目のパワー

パフォーマンステスト1セット目の各測定条件におけるそれぞれのパワーを図4に示した。

パワーの値は60%条件 ($11.2 \pm 0.4 \text{w/kg}$)、30%条件 ($10.9 \pm 0.5 \text{w/kg}$)、コントロール条件 ($10.9 \pm 0.4 \text{w/kg}$)、75%条件 ($10.6 \pm 0.3 \text{w/kg}$) の順に高い値を示した。特に60%条件は75%条件と

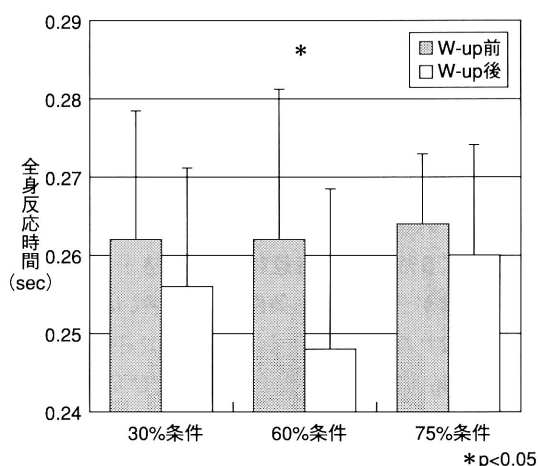


図3 各条件におけるW-up前後の全身反応時間の変化

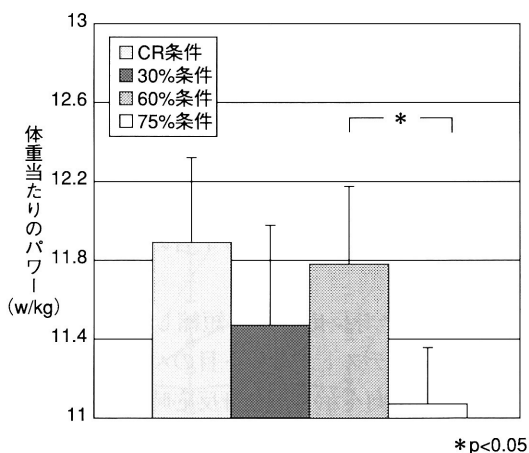


図4 各条件におけるパフォーマンステスト1セット目のパワー

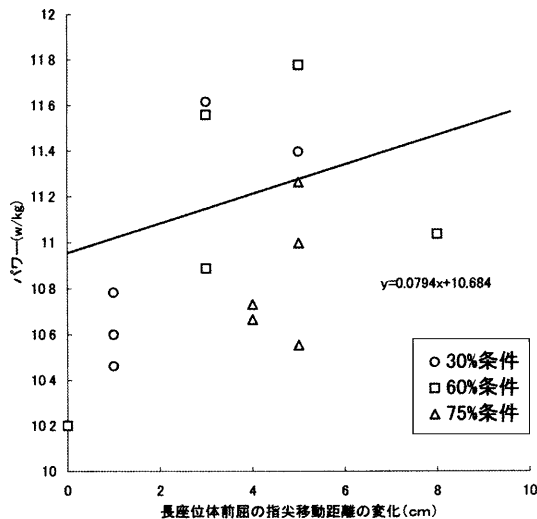


図5 W-up前後の長座位体前屈の変化

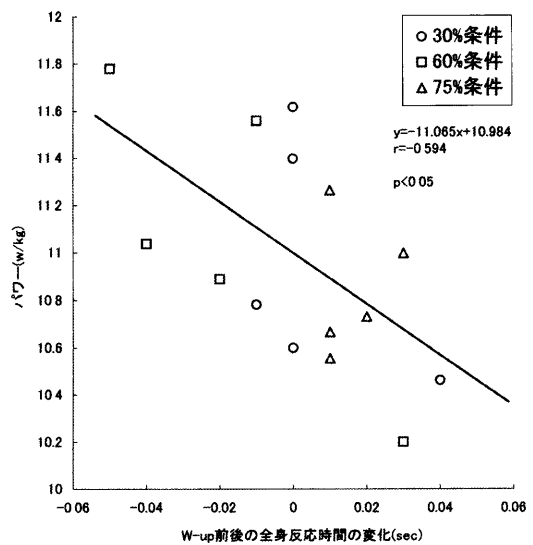


図6 W-up前後の全身反応時間の変化と1セットめパワーの関係

比較して5%水準で有意に高いパワーを示した。しかしながら他の測定条件間においては、有意な差は見られなかった。

4. W-up前後における柔軟性および全身反応時間の変化とパフォーマンステスト1セット目のパワーとの関係

長座位体前屈の指尖距離の変化とパフォーマンステスト1セット目のパワーの関係を図5に示した。

全体的には指尖距離の増加が少ないほどパフォーマンステスト1セット目のパワーの値が小さいという傾向を示したが、指尖距離と1セット目パワーとの間に有意な相関関係は見られなかった。また、W-up前後における全身反応時間の変化とパフォーマンステスト1セット目のパワーの関係を図6に示した。

W-up後に全身反応時間が短縮しているほどパフォーマンステスト1セット目のパワーの値が大きいという傾向を示し、全身反応時間の変化と1セット目パワーとの間に5%水準で有意な負の相関関係がみられた ($r = -0.594$)。

B. パフォーマンスの持続・向上能力に関する項目

1. パフォーマンステストのパワーの推移

各測定条件におけるパフォーマンステスト開始1セット目から10セット目までの各セットにおける発揮パワーの推移を図7に示した。

各測定条件を比較すると1セット目から10セット目までのパワーの推移は60%条件、30%条件、コントロール条件、75%条件の順に高い値を示す傾向にあった。特に60%条件はいずれのセットにおいても他の3条件よりも高い値を示した。また、30%条件はいずれのセットにおいても75%条件およびコントロール条件よりも高い値を示し、コントロール条件は9セット目以外の全てのセットにおいて、75%条件よりも高い値を示した。

30%条件は4セット目 ($10.7 \pm 0.5w/kg$)、7セット目 ($9.9 \pm 0.5w/kg$)、8セット目 ($9.6 \pm 0.4w/kg$)、9セット目 ($9.2 \pm 0.4w/kg$) において、60%条件は2セット目 ($11.5 \pm 0.4w/kg$)、3セット目 ($11.2 \pm 0.4w/kg$)、7セット目 ($9.9 \pm 0.2w/kg$)、8セット目 ($9.9 \pm 0.4w/kg$)、9セット目 ($9.3 \pm 0.4w/kg$) においてそれぞれコントロール条件と比べ5%水準で有意に高いパワーを示

した。75%条件とコントロール条件との間においてはすべてのセットで有意な差は認められなかった。また、30%条件も60%条件およびコントロール条件との間に有意な差は認められなかった。60%条件は75%条件と比較して1セット目から7セット目までにおいて5%水準で有意に高い値を示し、8セット目においては1%水準で有意に高い値を示した。同様に30%条件は75%条件と比較

して1セット目から4セット目及び6セット目から8セット目において5%水準で有意に高い値を示した。

また、パフォーマンステスト1セット目の値を100%とした各セットのパワーの低下率を図8に示した。

コントロール条件が8セット目 ($79.5 \pm 3.5\%$) において他の3つの条件よりも5%水準で有意に低い値を示した。しかし他のセットにおいては有意な差は見られず、低下率については各測定条件間での傾向に差は見られなかった。10セット目が終了した時点での低下率は75%条件 ($78.8 \pm 3.5\%$) が最も高く、コントロール条件 ($77.6 \pm 2.7\%$) が最も低かった。

2. 血中乳酸濃度

各測定条件の血中乳酸濃度の経時的変化を図9に示した。

各測定条件を比較すると、W-up前から10セット目終了までにおいて、コントロール条件と30%条件の間には有意な差は見られずほぼ同様の傾向を示しながら

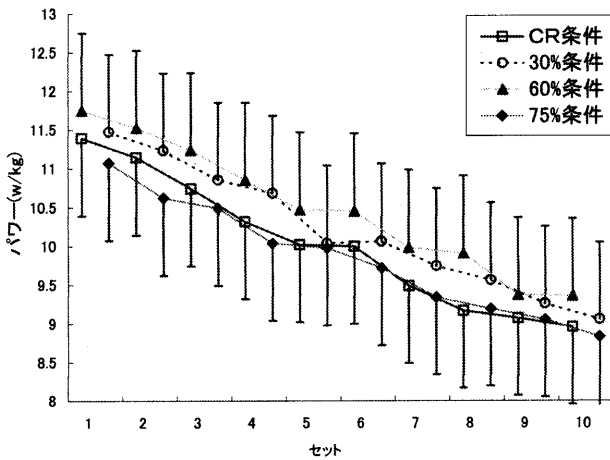


図7 各セットにおけるパフォーマンステストのパワーの推移

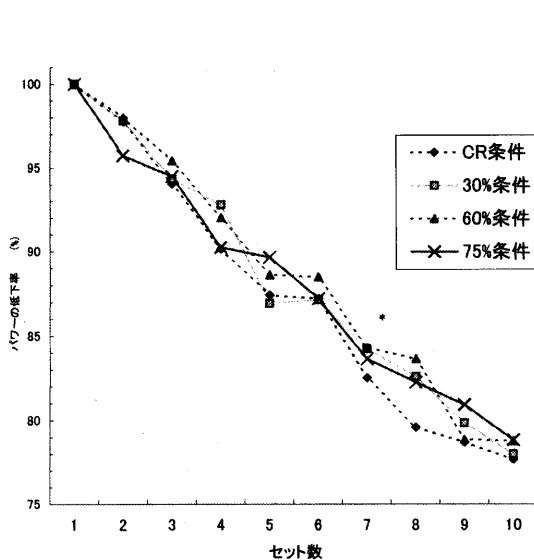


図8 パワーの低下率

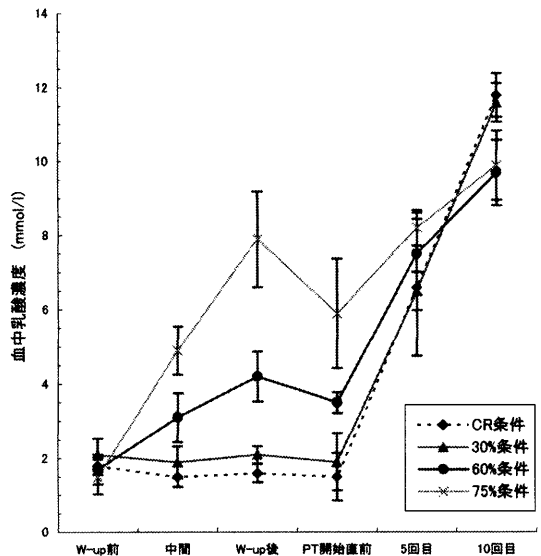


図9 血中乳酸濃度の変化

上昇した。パフォーマンステスト開始直前においてみると、各測定条件で値が変化しており、特に60%条件 ($3.5 \pm 0.6 \text{ mmol/l}$) では30%条件 ($1.9 \pm 0.6 \text{ mmol/l}$) に比べ1%水準で、コントロール条件 ($1.5 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$) よりも0.1%水準で有意に高い値を示した。

パフォーマンステスト5セット目の時点において、75%条件 ($8.2 \pm 2.3 \text{ mmol/l}$) は30%条件 ($6.5 \pm 2.5 \text{ mmol/l}$) およびコントロール条件 ($6.6 \pm 1.9 \text{ mmol/l}$) と比べて1%水準で有意に高い値を示した。また、60%条件 ($7.5 \pm 2.1 \text{ mmol/l}$) は30%条件およびコントロール条件と比べて5%水準で有意に高い値を示した。

一方、10セット目終了時においては、60%条件 ($9.7 \pm 2.5 \text{ mmol/l}$) および75%条件 ($9.9 \pm 1.5 \text{ mmol/l}$) は30%条件 ($11.6 \pm 2.1 \text{ mmol/l}$) およびコントロール条件 ($11.8 \pm 1.9 \text{ mmol/l}$) よりも1%水準で有意に低い値を示した。

3. 酸素摂取量

酸素摂取量の径時的变化を図10に示した。

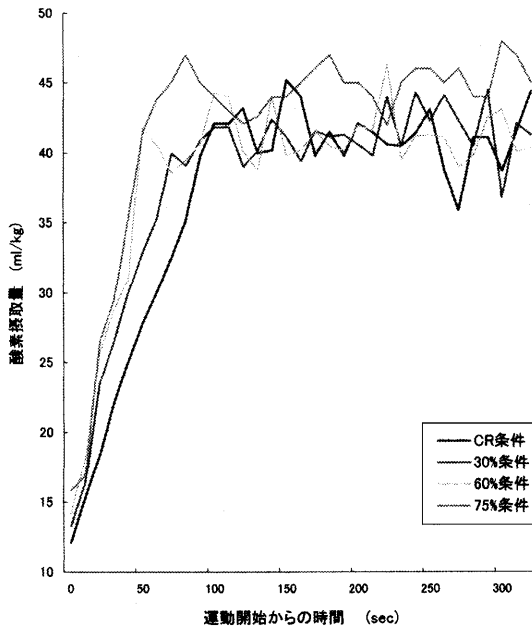


図10 酸素摂取量の径時的变化

コントロール条件はパフォーマンステスト開始から80秒後まで他の3つの条件と比較して5%水準で有意に低い値を示した。また75%条件はパフォーマンステスト開始後40秒 ($35.1 \pm 3.5 \text{ ml/kg}$) および50秒 ($41.4 \pm 2.9 \text{ ml/kg}$) の時点において30%条件 (40秒: $26.5 \pm 2.3 \text{ ml/kg}$ 、50秒: $29.9 \pm 3.1 \text{ ml/kg}$) と60%条件 (40秒: $28.7 \pm 2.5 \text{ ml/kg}$ 、50秒: $30.9 \pm 3.6 \text{ ml/kg}$) に比べ5%水準で、コントロール条件 (40秒: $25.1 \pm 2.3 \text{ ml/kg}$ 、50秒: $27.8 \pm 1.3 \text{ ml/kg}$) に比べ1%水準で有意に高い値を示した。パフォーマンステスト開始後90秒以降は運動終了まで、4つの条件はそれぞれ酸素摂取量の上昇は止まり、ほぼ一定の値を示すようになり、いわゆる定常状態となった。定常状態での値はパフォーマンステスト開始150秒以降からほとんどの時間において他の3つの条件と比較して5%水準で有意に高い値を示した。また、定常状態への移行までの時間は75%条件、60%条件、30%条件、コントロール条件の順で速かった。

4. 心拍数

心拍数の径時的变化を図11に示した。

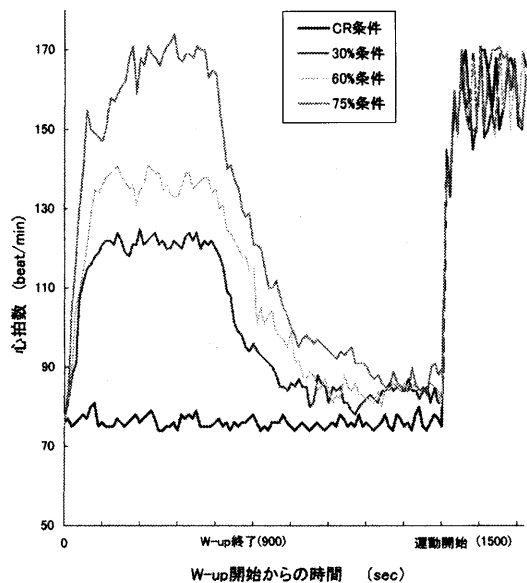


図11 心拍数の径時的变化

心拍数の変化はW-up中においては負荷の高い条件ほど高い値を示した。パフォーマンステスト開始直前の時点では75%条件(90±6.8beat/min)および60%条件(85±5.2beat/min)がコントロール条件および30%条件と比較して、高い値を示した。特に75%条件はコントロール条件(75±4.8beat/min)に対して5%水準で有意に高い値を示した(図12)。パフォーマンステスト開始後から終了までは4つの条件がほぼ同様の値を示した。

IV. 考 察

A. 運動開始時のパフォーマンスに影響を及ぼす項目

1. 柔軟性

柔軟性においては75%条件が最も高い値を示した。阿久津¹³⁾はW-upによる体温の上昇は筋の粘性や弾性などの物理的変化や関節の可動範囲の増

加に作用し、身体の柔軟性を向上させると報告している。また、柔軟性の増加には、筋の物理的性状の変化、拮抗筋の緊張度の低下、関節可動範囲の増加などの要因が関与している^{1) 22)}。関節可動範囲の増加は腱、靭帯及びその他の結合組織の伸展性に依存している。W-upによる体温の上昇はこのような身体の柔軟性に関与する身体各部の伸展性に影響を与える。そのため、強度の大きい負荷でW-upを行った75%条件が最も高い値を示し、小さい負荷でW-upを行った30%条件が低い値を示したのではないかと考えられる。

2. 全身反応時間

全身反応時間においては60%条件が高い値を示した。これはW-upによって反応時間が短縮したことは中枢の興奮性を高め、運動刺激に対する神経系の反応性を向上させていることを示唆している^{12) 20) 22)}と考えられる。筋収縮に影響を与える神経線維の興奮性や伝導性は温度(体温)によって影響され、それは温度が高いほど大きい¹⁵⁾。そのため、柔軟性と同様に全身反応時間はW-upの負荷の大きい60%条件および75%条件において高い値を示し、30%群およびコントロール条件においては低い値を示したといえる。

3. パフォーマンステスト1セット目のパワー

パフォーマンステスト1セット目のパワーにおいては60%条件がもっとも高い値を示し、75%条件が最も低い値であった。これは、60%条件は最大運動開始時の血中乳酸濃度がLT(乳酸性作業閾値)に近い値にあり、最大限に能力を発揮できる状態であったのに対し、75%条件は乳酸の蓄積によって筋の働きが阻害されたためと考えられる。

一般には乳酸が上昇する点をAT(無酸素性作業閾値)とする考えが用いられているが²³⁾、屈曲点が1つしかないため抽象的になりがちである。LTには乳酸のたまり始める点(LT1)と乳酸の急激にたまり始める点(LT2)とがあり²³⁾、本研究における60%条件はLT2に近い値であった。図13の結果から見ると血中乳酸濃度が4 mmol/l

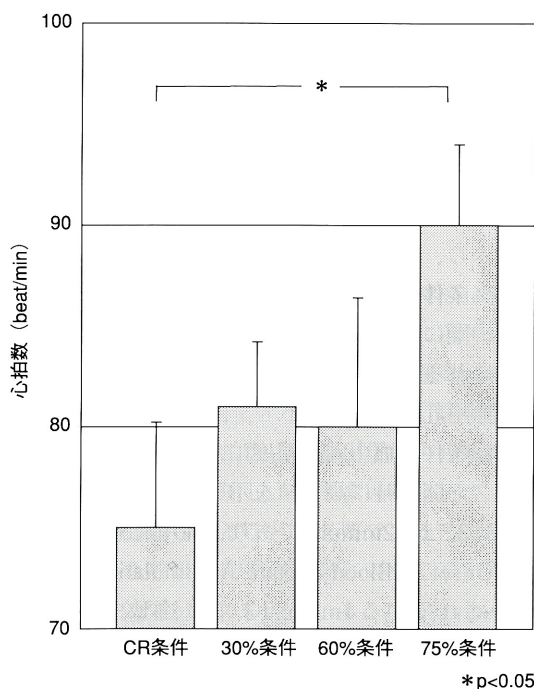


図12 パフォーマンステスト直前の心拍数

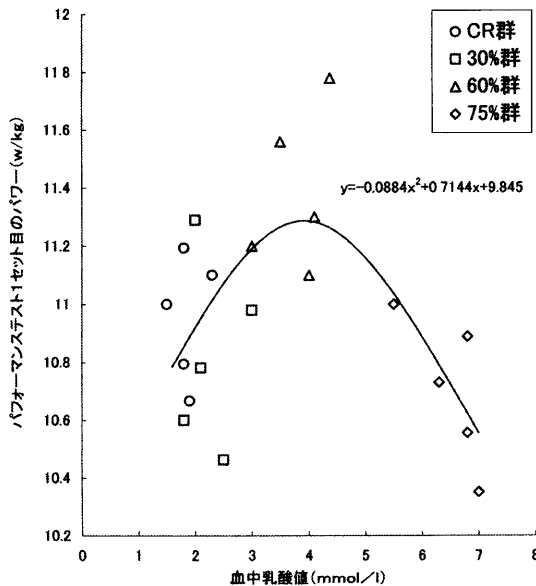


図13 パフォーマンステスト開始直前の血中乳酸値とパワーの関係

前後のときに最も高いパフォーマンスが得られると考えられる。

4. W-up前後における柔軟性および全身反応時間の変化とパフォーマンステスト1セット目のパワーとの関係

パフォーマンステスト1セット目のパワーとW-up後の柔軟性の増加値との間には有意な相関関係はみられなかった。これは最も柔軟性の増加した75%条件では1セット目のパワーが低かったからで、柔軟性の向上は筋の疲労とは関係なく向上するためだと考えられる。

一方、パフォーマンステスト1セット目のパワーと全身反応時間の変化との間に5%水準で有意な負の相関関係がみられた。これは全身反応時間の短縮には神経系の反応性の向上と筋収縮速度が関わっているため、体温の上昇によって神経系の適応がなされており、かつ筋疲労の少ない状態であった60%条件が全身反応時間、パフォーマンステスト1セット目の値ともによかったと考えられる。また、60%条件以外の測定条件においても全

身反応時間の短縮が大きかった被験者はパフォーマンステスト1セット目の値も大きいという傾向があった。

B. パフォーマンスの持続・向上能力に関する項目

1. パフォーマンステストのパワーの推移

パフォーマンステストのパワーの推移は60%条件、30%条件、コントロール条件、75%条件の順に高い値を示した。75%条件がいずれにおいても低い値を示したのは、W-upの過剰な負荷による疲労のためと考えられる。4セット目までに60%条件が特に高い値を示したのは、W-upによって十分に体温が上昇しており、1セット目から十分に力が発揮できる状態にあったからだと考えられる。また、後半の2セット（9セット目、10セット目）において各条件の間で有意な差が見られなかったのは8セット目までに体温の上昇や呼吸循環器系の適応がなされ、4条件がほぼ同じ状態で運動が行われたからではないかと推測される。

また、パワーの低下率については、それぞれの条件の間に差は見られず同様の低下傾向を示した。つまり、運動開始時のパワーには各条件間によって差があるが、その後はその差を保ったまま同様の低下率でパワーが低下していくといえる。言い換えると、1セット目のパワーの値が高ければその後も全体的に高い値を示すといえる。このことから、最大運動1セット目のパワーの値が高い60%条件、30%条件、コントロール条件、75%条件の順にパフォーマンスに対して有利に働くと考えられる。

2. 血中乳酸濃度

60%条件は血中乳酸濃度においてパフォーマンステスト開始時に高い値を示していた。しかしその値は $3.5 \pm 1.2 \text{ mmol/l}$ であり、血中乳酸蓄積開始点 (Onset of Blood Lactate Accumulation; OBLA) と呼ばれている 4 mmol/l までは達していない。OBLAは長時間維持できる限界の運動強度であり、このとき乳酸の作られる量と使われる量とが等しい状態である¹⁰⁾。マラソンなどのスポーツ種目は

この強度で行われている。つまり1セット目の全力ペダリング開始時に乳酸の蓄積によって筋の働きを阻害されることはなく、十分な力が発揮できる状態にあったといえる。

75%条件は運動開始時にパフォーマンスにマイナスに作用すると思われる値を示した。この値は乳酸が筋中に蓄積し、筋の働きを阻害するため無酸素運動を行う上で非常に不利に働くと考えられる。そのことから75%条件のパフォーマンステスト1セット目のパワーが他の3条件と比較して低いことの説明ができると考えられる。

一方でパフォーマンステスト終了後においては75%条件および60%条件は30%条件およびコントロール条件に対して5%水準で有意に低い値を示した。このことは最大運動に伴う血中乳酸濃度の上昇はW-upを行うとW-upなしの場合より低水準になることが、IngjerとStromme¹¹⁾、Martinら¹⁶⁾によっても報告されている。本実験の場合は各測定条件におけるW-upの負荷の大きさの違いにより、負荷の大きなW-upを行った測定条件はパフォーマンステスト終了後の血中乳酸濃度が低水準に抑えられたものと推測される。そのため75%条件は1セット目から8セット目までは60%条件よりも有意に低い値を示していたが、9セット目、10セット目においては有意な差が認められなかったのではないかと考えられる。

3. 酸素摂取量

酸素摂取量の定常状態までの移行の時間は75%条件、60%条件30%条件、コントロール条件の順に速かった。多くの場合、激しい身体運動に対するパフォーマンスを向上させるためには、運動開始とともに換気量、心拍数、心拍出量等の呼吸循環系機能が速やかに増加し、有酸素系によるエネルギー供給が促進されることが必要である¹²⁾。W-upはこのような呼吸循環系の運動に対する高い適応性の獲得に効果が認められている。Di Prampero⁷⁾は、運動開始時の酸素摂取量の立ち上がりは、軽い運動後引き続いて激運動に移行したときのほうが安静状態から運動へと移行したときよりも速い

ことを報告している。W-upに伴って運動開始時の酸素摂取量や心拍数応答が促進されることは、BusuttilとRuhling⁵⁾も観察している。

また、定常状態での酸素摂取量の値は75%条件がほかの3条件よりも高い値を示した。これはW-upの実施が、最大運動時の酸素摂取水準を高めると報告されている^{6) 8) 16)}。W-upが高い酸素摂取水準をもたらす生理学的背景をしてMartinら¹⁶⁾は、①筋温や直腸温の上昇によるヘモグロビンからの酸素解離の増加が筋へのO₂放出を増加させること、および②作業筋への血流が増し、内臓や皮膚への血流は減少するという血流の再配分が起これ、これが主運動時における速やかな心拍出量の増加をもたらすからだと考えられる。

4. 心拍数

パフォーマンステスト開始直前の心拍数は75%条件および60%条件が高い値を示した。小林¹⁴⁾によると最大運動を行う直前の心拍数が100~110beat/minの水準にあるときにパフォーマンスにより成績が得られ、逆に心拍数が120beat/minを超えた場合や80beat/minの水準では良い成績が得られない傾向にあると報告している。75%条件はパフォーマンステスト開始直前の時点で100beat/minに近い90±6.8beat/minであった。つまり心拍数においては75%条件がパフォーマンスに有利な値を示したといえる。

酸素摂取量の立ち上がりの速さや最大運動時の酸素摂取水準、あるいは心拍数といった呼吸循環機能調節の適応においてはW-upの負荷の大きい75%条件が他の条件と比べてパフォーマンスに有利と思われる値を示した。つまり、心臓血管系や呼吸循環系の機能を高めるためのW-upの負荷は大きいほうがよいということが推測される。酸素摂取量や心拍数の値から考えると75%条件が最もパフォーマンスに有利に働く要因が多い。しかしながら、実際にはパフォーマンステストの結果は75%条件が最も低かった。75%条件が最もパフォーマンスの値が低かったのは、血中乳酸濃度の値からわかるように筋中の乳酸の蓄積によるマイナ

表1 各測定項目に対する各条件の効果

項目 負荷	柔軟性	全身反 応時間	1回目 パワー	パワー 低下率	血中乳 酸値	酸素摂 取量	心拍数
CR%群	—	—	—	↓	—	↓	↓
30%群	↑	↑	—	—	—	—	—
60%群	c	c	c	—	↑	↑	—
75%群	c	↑	↓	—	d	c	↑

—：効果なし ↑：プラス傾向 ↓：マイナス傾向
c：有意なプラス傾向 d：有意なマイナス傾向

スの影響が非常に大きかったからであると推測される。

W-upの効果は様々な要因によって影響されると考えられ、これらの要因のコントロールのされ方は、研究によって異なり様ではない。一般論からいえば、W-upは一般的手段によって筋温の上昇や各器官系の機能の亢進を図り、専門的手段によって主運動に対する神経筋の協調能をも高めるのが賢明な方法であると思われる。事実、専門的手段だけではパフォーマンスに対する効果が認められなくても、これと一般的手段とを合わせたW-upでは効果が報告されている⁹⁾。

また、W-upの効果が体力によって影響されるという報告は、W-upが個別的になされなければならないものであることを示しているといえる。各測定項目に対する各測定条件の効果をまとめたものを表1に示した。

本実験においては間欠的運動のW-upとしては60% $\dot{V}O_2$ maxの負荷で行った場合が各測定項目の効果を検討した結果有効であることが示唆された。今後W-upの效果に影響を与える多くの要因をコントロールした上での検討が必要と思われる。

V. ま と め

本研究では柔道競技のような間欠的運動を行う場合において、そのW-upの至適強度を求めるこ

とを目的とした。W-upの負荷は最大酸素摂取量のそれぞれ30%、60%、75%の3条件と比較のためのW-upを行わない条件の計4条件とした。各測定条件においてW-up後10分間の休息の後、自転車エルゴメータを用いたパフォーマンステストを行うと同時に身体機能の変化を6項目にわたって測定し、その結果を比較検討した。

得られた結果は以下の通りである。

- 1) 運動開始時の能力に関する項目の中では柔軟性と全身反応時間で60%条件と75%条件が高い値を示したが、75%条件は1セット目のパフォーマンステストでは低い値を示した。
- 2) パフォーマンステスト1セット目から10セット目までのパワーの値は60%条件が最も高く、75%条件が最も低かった。低下率は各測定条件間においても差がないので1セット目のパワーが高いほうがパフォーマンスに有利である。
- 3) 75%条件のパフォーマンステスト開始直前の血中乳酸濃度は非常に高く、無酸素運動を行う上で不利な状態であった。
- 4) 30%条件においてはいずれの測定項目においても有意に高い値を得られず、コントロール条件においては3項目にマイナスの傾向が見られた。このことから、間欠的運動のW-upの負荷は30% $\dot{V}O_2$ max以下の負荷では効果がないことが示唆された。

以上の結果から本研究では間欠的運動のW-up

の至適強度は60% $\dot{V}O_2$ maxであることが示唆された。

しかし、W-upの効果は環境や体力などの様々な要因によって影響されると考えられている。今後W-upの効果に影響を与える多くの要因をコントロールした上で、W-upの種類や時間を多様化した検討が必要と思われる。

参考文献

- 1) 阿久津邦夫：ウォーミングアップの生理。体育科教育, 7(3) : 42-46, 1969
- 2) 浅見俊雄, 万木良平：Ⅵ. ウォーミングアップとクーリングダウンに関するアンケート調査。昭和58年度日本体育協会スポーツ科学報告Ⅵ. ウォーミングアップとクーリングダウンに関する研究 : 51-73, 1984.
- 3) Asmussen, E. and O. Boje: Body temperature and capacity for work. Acta physiol. Scand., **10**:1-22, 1945
- 4) Bangsbo, J.: The physiology of soccer ;with special referefce to intense intermittent exercise. Acta physiol. Scand., **151**(Suppl.619):1-155, 1994
- 5) Busuttill, C.P. and R.O. ruhling: Warm-up and circulo-respiratory adaptations. J. Sport. Med., **17**:69-74, 1977
- 6) De Bruyn-Prevost, P.: The effects of various warming up intensities and durations uponsome physiological variables during an exercize corresponding to the PWC170 Eur. J. Appl. Physiol., **43**:93-10, 1980
- 7) Di prampero, P.E., et al.: An analysis of O2 debt contracted in submaximal exercise. J. Appl. Physiol., **29**:547-551, 1970
- 8) Elbel, E.R. and W.J. Mikols* The effects of passive warm-up upon certain physiological measures. Int. Z. angew. Physiol., **31**:41-52, 1972
- 9) Grodjinovsky, A. and J.R. Magel: Effect of warm-up on running performan- ce. Res. Quart., **41**:116-119, 1970
- 10) 八田秀雄：乳酸を作る能力, 使う能力。コーチングクリニック, ベースボールマガジン社, **4**, 1997, 6-8
- 11) Ingjer, F. and S.B. Stromme: Effect of active, passive or no warm-up on the physiological responses to heavy exercise. Eur. J. Appl. Physiol., **40**:273-282, 1979
- 12) 形本静夫：ウォーミングアップの生理学, SPORTS SCIENCES. vol.7 No.10 October 1988 :620-627
- 13) 小林寛道：陸上競技のウォーミングアップとクールダウン, SPORTS SCIENCES. vol.7 No.10 October 1988 :628-632
- 14) 小林寛道ほか：温度環境 (19℃, 32℃) とウォーミングアップ運動が最大運動遂行能力に与える影響について。昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告No.Ⅵウォーミングアップとクーリングダウンに関する研究, 日本体育協会スポーツ科学委員会, 1984, 4-19
- 15) 小林新吉：ウォーム・アップとクーリング・ダウンの生理学。日本体育協会競技力向上委員会編, スポーントレーナー教本 (1級用) 改訂版, 日本体育協会, 東京, 1972, 87-95
- 16) 真島英信：生理学。第17版, 文光堂, 東京, 1981, pp.47-72
- 17) Martin, B., et al.: Effects of warm-up on the metabolic responses to strenuous exercise. Med. Sci. Sports, **7**:146-146, 1975
- 18) Massey, B.J., et al.: Effect of warm-up exercise upon muscular performance using hypnosis to control the psychological variable. Res. Quart., **32**:63-71, 1961.
- 19) Muido, L.: The influence of body temperature on performance in swimming. Acta Physiol. Scand., **12**:102-109, 1946
- 20) 仲原圭相：Warming-upの生理学的研究 (その1), Warming-upによる中枢神経系の興奮水準の変動について。体力科学, **13** : 189-197, 1964
- 21) Nakada, A., und E.A. Muller: Hauttemperatur und Leistungsfahigkeit in Extrenmitaten bei dynamischer Arbeit. Int. Z. angew. Physiol., **16**:61-73, 1955
- 22) Naughton, J., and W. Leach: the effect of a simulated warm-up on ventricular performance. Med. Sci. Sports, **3**:169-171. 1971
- 23) 大後栄治：神奈川大学陸上部における乳酸のとりえ方。コーチングクリニック, ベースボールマガジン社, **4**, 1997, 14-17
- 24) Shellock, F.G. and W.E. Prentice: warming-up and stretching for improved perfo rmance. Res. quart., **28**:147-152, 1957
- 25) 山本正嘉, 金久博昭：間欠的運動における血中乳酸の蓄積；運動強度, 急速時間, および運動時間との関連から。 Jpn. J. Sports Sci., **10**:764-770, 1991