

W-up の効果に関する研究

——全身反応時間からみた一考察——

小 泉 智 也
中 尾 美喜夫
野 村 国 彦
楠 本 秀 忠

要旨

本研究は、2種の異なる W-up が全身反応時間にどのような影響を及ぼすのかを比較検討した。今回は2通りの実験を行い、それぞれを実験Ⅰ、実験Ⅱと名付けた。実験Ⅰでは全身単純反応時間、実験Ⅱでは全身選択反応時間の測定を行った。実験Ⅰでは、健常男子大学生20名を被験者とし、Wup-G と Con-G に10名ずつ分けた。Wup-G には、W-up としてトレッドミル走 (8km/h, 140bpm) を課した。全身単純反応時間の Up 率は Wup-G と Con-G ではそれぞれ $-2.6 \pm 5.55\%$ 、 $0.2 \pm 5.05\%$ であり、Wup-G では減少、Con-G では増大する傾向を示したが、有意な差はみられなかった。実験Ⅱでは、健常男子大学生17名を Wup-G (n=7) と Con-G (n=10) に分けた。Wup-G には、W-up として全身選択反応労作を10回行わせた。全身選択反応時間の Up 率は Wup-G と Con-G ではそれぞれ $-6.8 \pm 4.50\%$ 、 $2.0 \pm 6.25\%$ となり、Wup-G の方が Con-G より有意 ($p=0.009$) に減少した。これらの結果は W-up の種類によって効果が異なることを示し、全身選択反応労作を課した場合、全身選択反応時間を短縮させることが示された。その要因の一つとして全身反応時間の短縮には脳内処理速度である Pre-motor time の影響が考えられた。

1. 目 的

従来、ウォーミングアップ (W-up) は試合など主運動の前に行うことによってその成果に良い影響を与えることが認知されており、数多くの場面に適用されている。W-up とは筋系、神経系、呼吸循環器系の万全な準備をすることである [1]。W-up を行うことで筋温を高め、上昇した筋温や深部温が代謝の反応やその効率を改善し、その結果として筋出力の向上や収縮速度の増加につながる事が指摘されている [2]。その効果について、これまでに種々の側面から検討されている。呼吸循環器系において、後藤ら [2] は80% $\dot{V}O_2\max$ 強度の5分間ペダリングを課題作業として、W-up の有無による血中乳酸蓄積の差異について検討した。その結果、W-up を行った場合の方が W-up を行わなかった場合に比べて課題作業後3分、5分、および7分目の血中乳酸値の最高値 (ピーク La) が有意に低く、また課題作業中に蓄積した血中乳酸 (ピーク La と課題作業直前の血中乳酸値

との差)も有意に少ないことを報告した。同様の報告は他にもみられる [3, 4]。筋の柔軟性に関して, Aguilar et al [5] は被験者を W-up としてランニングを行った群, 静的なストレッチを行った群並びに安静を保った群 (対照群) の3群に分け, 大腿屈筋, 大腿四頭筋と股関節屈筋の柔軟性を比較した。その結果, 対照群や静的ストレッチを行った群よりもランニングを行った群の方が大腿屈筋の柔軟性が有意に改善することを示した。

一方, 筋-神経系への影響に関して, Pearce et al [6] は 65%HRmax を目安とする5分間のランニングを W-up とし, その W-up の前後における経頭蓋磁気刺激 (TMS) を用いて M 波を計測し, その影響について検討した。その結果, W-up 後では筋伝導時間が有意に短縮することを報告した。さらに Hough et al [7] はストレッチによる筋-神経系の影響をみた。11名の被験者について動的ストレッチ (DS), 静的ストレッチ (SS) 並びにストレッチ無し (NS) の3条件を設定し, 3群の垂直跳び (VJ) の成績と外側広筋の EMG を測定した。その結果, VJ の運動成果は, SS, NS, DS の順に有意 ($p < 0.05$) に高くなった。また, その際の EMG の振幅は SS よりも DS の方が有意 ($p < 0.05$) に高くなることを示した。この結果は, 動的なストレッチによって筋-神経系が改善されることを示唆している。楠本ら [8] は W-up による一桁の連続足し算並びに最大ステッピング作業への影響を検討した。ランニング (140bpm) を W-up として用いて, W-up 群と安静を保つ対照群に分け, 両者の違いをみた。その結果, W-up 群の一桁の連続足し算並びに連続ステッピング回数の Up 率が有意 (それぞれ $p = 5.10E-06$, $p = 1.44E-04$) に大きくなることを示した。

W-up によって全身反応時間がどのような影響を受けるかについて, これまでの報告を見る。衣笠ら [9] は全身選択反応時間測定用の反応ランプが点灯する前に, 被験者が1秒の準備期間, 警告ランプ点灯から反応ランプ点灯までの時間に自由にジャンプ動作を行った場合と行わなかった場合の応答時間, 反応時間, 運動時間を比較した。ここでは事前に行うジャンプの準備動作を W-up と想定している。その結果, 事前にジャンプ動作を行うことで全身選択反応時間の短縮を認め, これには反応時間の短縮が大きく寄与していることを示した。與谷ら [10] は衣笠ら [9] の報告を受けて, 筋電図を用いて再度検討した。その結果, 全身選択反応時間は事前にジャンプを行った群が有意に短縮したこと, 全身選択反応時間を神経系 (Pre-motor time), 筋系 (Motor time), 動作系 (Action time) の時間要素で区分したところ, Pre-motor time が有意に短縮していることを示した。これらの報告 [9, 10] より, W-up が全身反応時間に何らかの影響を与える可能性が示唆される。しかし, どのような刺激がより有効であるかについては明確にされていない。そこで今回はこの点を検討する目的で, W-up 後に全身反応時間を測定する2通りの実験を行った。それぞれを実験 I, 実験 II と呼ぶ。実験 I では W-up としてトレッドミル走を行わせ, W-up 群と対照群の全身単純反応時間の比較を試みた。実験 II は W-up として全身選択反応動作を行わせ, W-up 群と対照群の全身選択反応時間を比較し, W-up による影響について検討した。

2. 方 法

本研究では、W-up の有無における全身単純反応時間の測定と全身選択反応時間の測定の2つの実験を行った。各実験方法の詳細について述べる。

2.1 実験 I : 全身単純反応時間の測定

2.1.1 被験者

健常男子大学生20名を被験者とした。被験者を無作為に10名ずつの2群に分け、それぞれを Wup-G, Con-G とした。table. 1 に示す様に、Wup-G と Con-G における年齢はそれぞれ 20.7 ± 1.00 歳, 20.5 ± 1.69 歳, 身長は 174.4 ± 2.20 cm, 175.4 ± 5.72 cm, 体重は 68.3 ± 6.91 kg, 64.7 ± 8.98 kg であった。本実験は被験者に実験の主旨並びにそれによって起こりうる身体的変化について十分に説明し、実験に参加することに同意を得た。

table. 1 実験 I に用いた被験者の身体的特徴

sub.	Wup-G			Con-G		
	年齢	身長	体重	年齢	身長	体重
Mean	20.7歳	174.4cm	68.3kg	20.5歳	175.4cm	64.7kg
SD	1.00歳	2.20cm	6.91kg	1.69歳	5.72cm	8.98kg

Wup-G : n=10, Con-G : n=10

2.1.2 機能足と支持足の判別

左右側のいずれに機能足があるかを決定するために、麓 [11] のラテラルティ現象の質問紙法を参考に楠本ら [8] が作成した10項目の設問からなる機能足と支持足の判別用紙を用いた。評価方法は Oldfield [12] の The Edinburgh Inventory を参考にした。被験者には各項目において一貫して右足を使う場合は RIGHT に ++, どちらかといえば右足を使う場合は RIGHT に + を記入させた。左の場合は LEFT に同様に記入させた。両方共に使うという場合は RIGHT と LEFT の両方に + を記入するように指示した。このアンケートの結果を Oldfield [12] と同様に判別のための指数 Laterality quotient (L.Q. 指数) を用いて機能足の傾向を数量化した。L.Q. 指数の計算方法を式(1)に示す。L.Q. 指数は $-100 \leq L.Q. \leq 100$ で表され, $L.Q. > 0$ なら機能足が右足, $L.Q. < 0$ なら左足にその傾向が強いことを示す。

$$L.Q. = \frac{\text{RIGHT の + の合計} - \text{LEFT の + の合計}}{\text{RIGHT の + の合計} + \text{LEFT の + の合計}} \times 100 \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

2.1.3 W-up 方法

fig. 1(a) に示すプロトコルに従って、Wup-G の被験者は心拍数を計測するためにバンテージ (POLAR 社製, VANTAGE XL) を装着した状態でトレッドミル走を行った。トレッドミル走を開始後、徐々に速度を速め、最大 8km/h で速度を維持した。心拍数が 140bpm

に達した後、さらに1分間のランニング継続後、W-upを終了した。なお、W-upに要した平均時間は7分20秒±1分31秒であった。

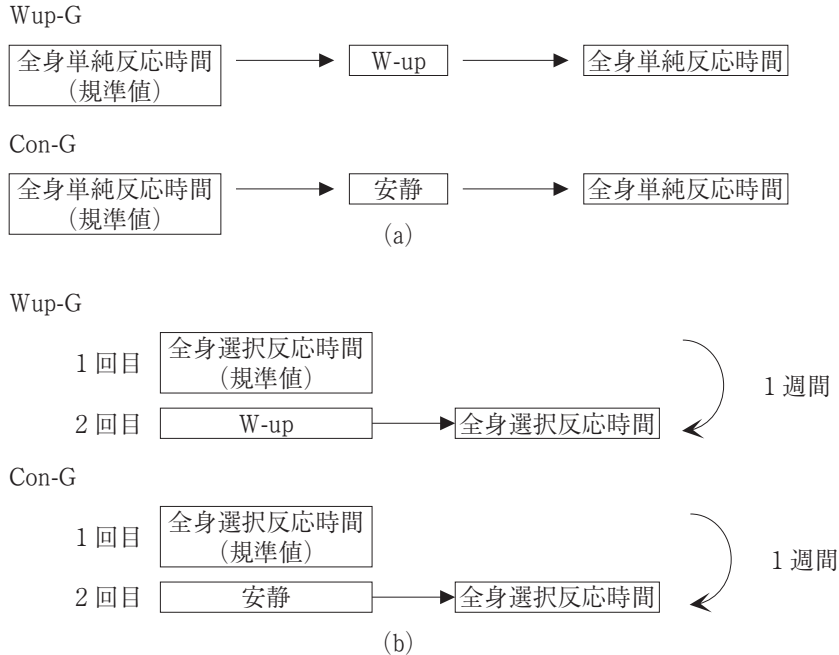


fig. 1 実験 I 並びに実験 II のプロトコル
(a) 実験 I, (b) 実験 II

2.1.4 全身単純反応時間の測定方法

全身単純反応時間はリアクション MR (竹井機器工業社製, T. K. K. 1264e) を用いて測定した。被験者には目前に設置された刺激板によって発信される信号 (赤色 LED) を合図に、機能足方向のプレートへ移動するように指示した。あらかじめ信号を 5 回発信するように設定した。信号の発信から次の信号の発信までの間隔を 1 秒から 4 秒の間でランダムに設定し、被験者が予測できないようにセットした。中央プレートから左右それぞれのプレートの間隔は 15cm とした。

2.1.5 分析方法

fig. 1(a) に示す各被験者の全身単純反応時間測定において得られた規準値と W-up 後並びに安静後の測定値は 5 回分の測定値から最大値と最小値を除いた 3 回分の測定値の平均値で示した。被験者による規準値に対する増減率 (Up 率) は以下の式 (2) により算出した。

$$\text{全身単純反応時間のUp率} = \frac{\text{W-up後あるいは安静後の測定値} - \text{規準値}}{\text{規準値}} \times 100 \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

2.2 実験Ⅱ：全身選択反応時間の測定

2.2.1 被験者

健常男子大学生17名を被験者とした。被験者の中には実験Ⅰに参加した者も含まれていた。実験Ⅰと同様に被験者を無作為に Wup-G と Con-G の2群に分けた。それぞれ7名と10名であった。table. 2 に示す様に、Wup-G と Con-G における年齢はそれぞれ19.4±0.49歳、19.9±0.94歳、身長は175.6±3.25cm、173.4±4.86cm、体重は62.6±1.92kg、63.4±5.57kgであった。本実験は被験者に実験の主旨並びにそれによって起こりうる身体的変化について十分に説明し、実験に参加することに同意を得た。

table. 2 実験Ⅱで用いた被験者の身体的特徴

sub.	Wup-G			Con-G		
	年齢	身長	体重	年齢	身長	体重
Mean	19.4歳	175.6cm	62.6kg	19.9歳	173.4cm	63.4kg
SD	0.49歳	3.25cm	1.92kg	0.94歳	4.86cm	5.57kg

Wup-G : n=7, Con-G : n=10

2.2.2 W-up 方法

W-up として、実験Ⅰで用いたリアクション MR を使用した全身選択反応労作を行わせた。被験者には目前に設置された刺激板によって発信される左あるいは右方向の信号を合図にできる限り速く、示された方向に移動するように指示した。信号は10回発信するように設定した。信号の発信は1秒から4秒の間隔でランダムに設定し、被験者が予測できない様にセットした。中央プレートから左右それぞれのプレートの間隔は15cmとした。

2.2.3 左右への全身選択反応時間の測定方法

W-up と同様の手順で全身選択反応時間を測定した。信号は5回発信するように設定し、5回分の全身選択反応時間を測定した。fig. 1(b) に示す様に1回目の全身選択反応時間の測定と2回目の測定との間は1週間空けた。

2.2.4 分析方法

fig. 1(b) に示す各被験者の左右への全身選択反応時間測定において得られた規準値と W-up 後並びに安静後の測定値は5回分の測定値から最大値と最小値を除いた3回分の測定値の平均値で示した。被験者による規準値に対する増減率 (Up 率) は以下の式(3)により算出した。

$$\text{左右への全身選択反応時間のUp率} = \frac{\text{W-up後あるいは安静後の測定値} - \text{規準値}}{\text{規準値}} \times 100 \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

なお、統計処理は標本間の比較の際、まず F 検定を行い、その結果により、等分散を仮定した2標本による検定もしくは分散が等しくないと仮定した2標本による検定のいずれ

れかの t 検定を用いた。なお有意水準は 5 % 未満とした。

3. 結 果

3.1 全身単純反応時間の結果

fig. 2(a) は Wup-G の規準値と W-up 後の測定値, fig. 2(b) は Con-G の規準値と安静後の測定値をそれぞれ比較したものである。Wup-G では規準値は 259.7 ± 17.69 ms, W-up 後の値は 252.4 ± 13.00 ms であった。Wup-G では, 全身単純反応時間は短縮される傾向を示したが両者には有意な差は見られなかった。Con-G では規準値は 267.4 ± 19.60 ms, 安静後の値は 267.5 ± 19.62 ms であった。両者はほぼ同等の値を示し, 有意な差は見られなかった。fig. 3 に Wup-G と Con-G の Up 率を比較した。Up 率は Wup-G では $-2.6 \pm 5.55\%$ の減少を示したが, Con-G では $0.2 \pm 5.05\%$ の増大がみられた。しかし, 両者には有意な差は見られなかった。

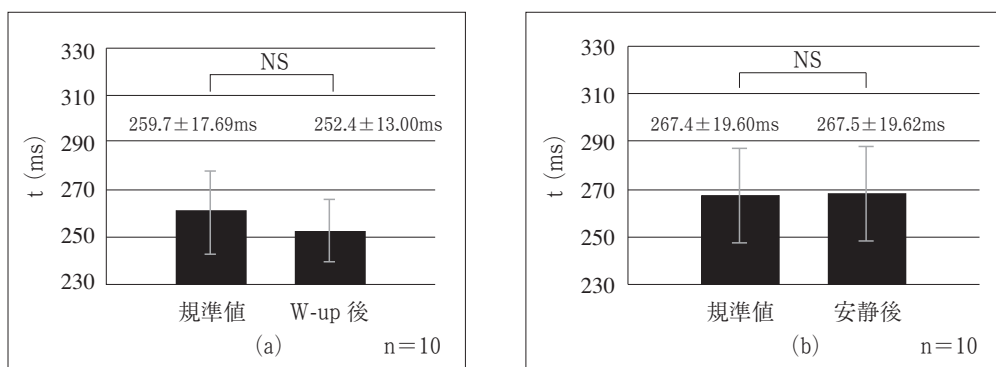


fig. 2 Wup-G と Con-G の全身単純反応時間の規準値と W-up 後と安静後の値との比較
(a) Wup-G, (b) Con-G

NS : No significant difference

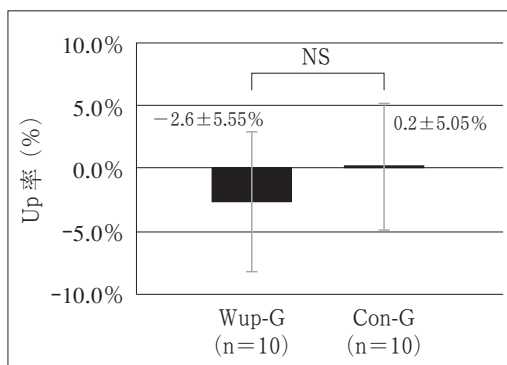


fig. 3 Wup-G と Con-G の全身単純反応時間の Up 率の比較

NS : No significant difference

3.2 全身選択反応時間の結果

fig. 4(a) は Wup-G の規準値と W-up 後の値, fig. 4(b) は Con-G の規準値と安静後の値をそれぞれ比較したものである。Wup-G では規準値は 286.9 ± 27.09 ms, W-up 後の値は 266.7 ± 20.44 ms であった。両者を比較すると有意 ($p=0.012$) に W-up 後の値の方が短縮することを示した。Con-G では規準値は 281.7 ± 25.97 ms, 安静後の値は 286.3 ± 22.31 ms であり, 両者には有意な差は見られなかった。fig. 5 に Wup-G と Con-G の Up 率を比較した。Up 率は Wup-G では $-6.8 \pm 4.50\%$ の減少を示したが, Con-G では $2.0 \pm 6.25\%$ の増大がみられた。Wup-G と Con-G の Up 率を比較すると, 有意 ($p=0.009$) に Wup-G の Up 率が減少することを示した。

4. 考 察

本研究では, W-up が全身反応時間に与える影響について観察した。実験 I ではトレッドミル走を W-up として用いて Wup-G と Con-G の全身単純反応時間を比較した結果, 全

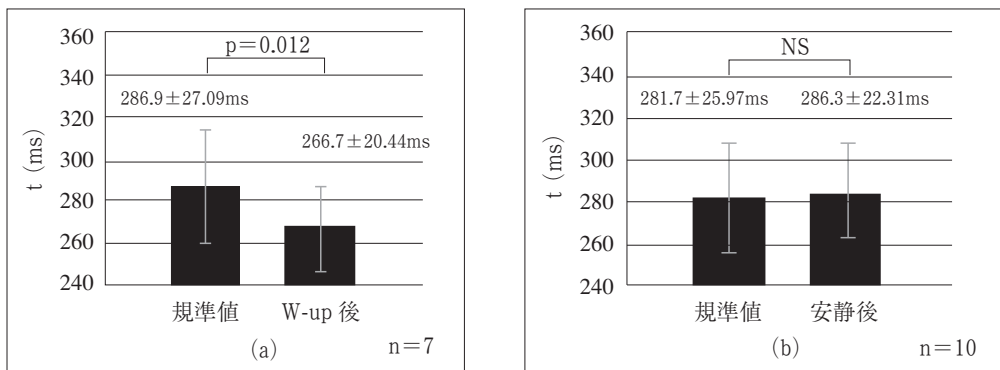


fig. 4 Wup-G と Con-G の全身選択反応時間の規準値と 1 週間後の値との比較
(a) Wup-G, (b) Con-G

NS : No significant difference

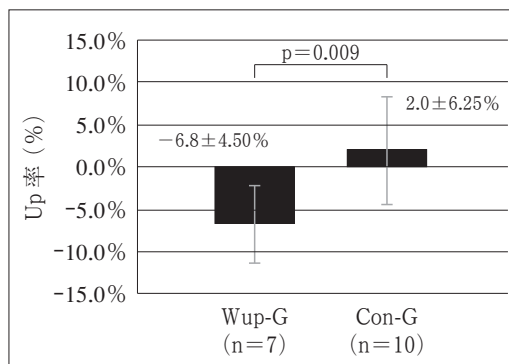


fig. 5 Wup-G と Con-G の全身選択反応時間の Up 率の比較

身単純反応時間の Up 率は Wup-G で -2.6% の減少, Con-G は 0.2% の増大を示し, Wup-G の方が大きくなる傾向を示したが, 両者の間に有意な差は認められなかった。実験 II により全身選択反応時間を比較した場合, Wup-G と Con-G の全身選択反応時間の Up 率はそれぞれ -6.8%, 2.0% であり, Wup-G が有意 ($p=0.009$) に減少することを示した。実験 II の結果から全身選択反応労作を W-up として行うことによって全身選択反応時間が短縮することが示された。しかし, 実験 I によって示された全身単純反応時間においては, Wup-G の Up 率の方が大きくなる傾向は見られたものの, 両者に有意な差を認めることができなかった。

今回の実験 I に用いたトレッドミル走のような単純に動作を繰り返す運動を W-up とした場合, 全身単純反応時間の短縮傾向を示したものの有意な差はみられなかった。これは一定の行動を行うと次第に無意識化し, 注意力の低下が起こったことも考えられる。河辺ら [13] は被験者の眼前を一定速度で移動するランプの視標を刺激として指で電鍵を押す単純反応時間の測定を行った。被験者は一定速度の慣れから電鍵を押すタイミングではないにもかかわらずスイッチを押していることから無意識に刺激を予測して反応動作を行っていることを示した。つまり無意識のうちに出力が入力とは無関係に将来を予測して修正するフィードフォワード制御されるようになっていくと述べている。今回, 実験 I ではランニングを W-up として用いたが, ランニングは速度に慣れると次第に単純に走動作を繰り返す運動である。すなわち, それは脳への刺激の減少を生み, 全身反応時間に影響を与えなかったことも考えられる。見正ら [14] は 2 日間にわたって自転車エルゴメーターによる 20 分間の負荷運動 (60% HR Range) の前後および安静時の前後に H 反射と脳波を測定し, 有酸素運動のリラクセーション効果について検討した。その結果, H/M 振幅比において, 運動を行った群が安静群よりも低下することを示した。また, 運動を行った群の脳波成分による δ 波, α 波が安静時と比較して有意に増加することを認め, δ 波は眠りが深くなるにつれて出現し, α 波は安静状態にある時に出現することから有酸素運動は中枢神経系へのリラクセーション効果があると推察している。

また, 実験 I で設定した 140 bpm は 220-年齢から最大心拍数の 70% にあたるため疲労による影響についても注意する必要がある。Kamijo et al [15] は自転車エルゴメーターによる運動の強度を低, 中, 高に分けて刺激や認知に対してどれほどの注意をしたのかを脳波を測定することにより指標とする P300 成分を観察した。その結果, 中強度運動を行った後, 注意処理資源量が上がり認知機能の向上が考えられた。一方で, 高強度運動では認知機能の低下がみられると報告している。高澤ら [3] は短時間激運動前の至適 W-up における運動強度と時間の検討を行ったところ, 低強度や短時間の W-up では十分な効果が得られず, 中強度の運動 ($57.1 \pm 5.9\% \dot{V}O_2 \text{ max}$) では 30 分, 高強度の運動 ($76.0 \pm 8.0\% \dot{V}O_2 \text{ max}$) では 15 分経過した時点で高値を示した。高強度の運動においてもパフォーマンスの向上がみられている点は W-up において十分な筋温の上昇, 多くの MU の recruitment, そして rate coding をもたらしたと考察している。今回, 実験 I で用いたトレッドミル上でのランニング強度は速度 8 km/h で 140 bpm に達してから 1 分間後に終了すると

いう設定であり、その継続時間は7分20秒±1分31秒であった。有意差は認められなかったもののUp率ではWup-Gで-2.6%の減少、Con-Gでは0.2%の増大が認められた。実験Iで用いた速度は分速にすると134mであり、運動時間は10分未満であった。上記[3],[14],[15]の報告とは運動強度並びに主運動が異なっており、現時点で結論することはできない。今後、被験者の数を増やし、さらに検討を加える必要がある。

W-upが全身反応時間にどのような影響を及ぼすのか検討されてきたこれまでの報告をみる。衣笠ら[9]は全身選択反応時間測定用の反応ランプが点灯する前に、被験者が1秒の準備期間、警告ランプ点灯から反応ランプ点灯までの時間に自由にジャンプ動作を行った場合と行わなかった場合の応答時間、反応時間、運動時間を比較した。ここでは事前に行うジャンプの準備動作をW-upと想定している。その結果、事前にジャンプ動作を行うことで全身選択反応時間の短縮を認め、これには反応時間の短縮が大きく寄与していることを示した。さらに、衣笠ら[9]は反応時間の短縮がみられたことについてSchmidt et al[16]の報告を紹介し、事前の筋活動は、反応動作のための一部の運動プログラムがすでに含まれて開始されていることと同等であり、そのために事前の筋活動が大きくなる程、残りの反応すべき運動プログラムの量が減少したと推察した。その報告を受け、與谷ら[10]は筋電図を用いて再度検討した。その結果、全身選択反応時間は事前にジャンプを行った群が有意に短縮したと、全身選択反応時間を神経系(Pre-motor time)、筋系(Motor time)、動作系(Action time)の時間要素で区分したところ、Pre-motor timeが有意に短縮していることを示した。これらの報告は、W-upが主運動に関係した動作であれば、運動プログラムが脳内に既に存在するため中枢神経系の処理時間の改善がなされることを示唆している。

さて、Pre-motor timeが全身選択反応時間の短縮に関わっているという観点からすれば、脳のどの部位がその影響を受けているのであろうか。Huppert et al[17]は機能的近赤外分光法(fNIRS)を用いて、視覚刺激を受けた後、横方向へステップする全身反応課題を行った場合の前頭前野、一次運動野並びに運動前野の活動の変化を測定した。その結果、前頭前野の活性化を認めた。彼らは複雑なステップング指示に対する脳内処理が認知に関わる領野を活性化させると仮定した。さらに、脳磁図(MEG)計測を用いて、3つの条件下で視覚刺激に対する示指の外転運動が観察されている[18, 19]。それらの報告ではMEG計測結果から一次運動野での活動様式の解析を行っている。その結果、一次運動野の活動は2つの成分が時間的に重なりあった結果であり、活動初期成分は、運動条件(課題)や運動の結果(反応時間)によらず刺激に同期した活動パターンを示し、後期成分は、運動の実行に関連した活動であった。このことから、刺激の知覚処理の早い段階で直接的に一次運動野を賦活する系がまず存在し、知覚処理した結果、形成される運動開始指令によって実際の運動が開始されていると推察した。Sugawara et al[20]は被験者に3日間のGo/NoGo課題の運動練習を行わせ、ヒトの視覚反応課題時の大脳皮質情報処理過程の経時的変化と視覚反応課題の運動練習が大脳皮質情報処理過程に及ぼす影響を検討した。その結果、Go刺激時の運動練習前後における視覚誘発脳磁の第一ピークに有意な変化は

見られなかったものの、Pre-motor time の有意な短縮が認められ、それに伴い頭頂連合野 (PPC) の活動潜時も短縮することを報告した。彼らは運動練習により PPC における視覚情報の処理・統合と視覚刺激への反応に変化が生じたことが要因と考え、運動練習が外部刺激の提示から運動遂行に至る過程における大脳皮質情報処理過程に与える影響を明らかにした。

以上のことから、今回の実験Ⅱで用いた全身選択反応労作は脳の認知に関する領域を刺激したものと推察され、主運動に対して脳内、特に一次運動野、前頭前野、頭頂連合野の処理速度が速められた結果、Wup-G の Up 率が有意に減少したものと考えられる。また、Tashiro et al [21] はランニング中のヒトの脳領域の代謝変化を調べた結果、対照群に比べて側頭頭頂連合野、後頭皮質、運動前野並びに小脳虫部でエネルギー消費量が増加し、対照的に前頭前野、側頭皮質、小脳半球、脳幹では減少することを認めている。つまり、実験Ⅰのランニングでは前頭前野の活性が低かったことが全身単純反応時間の測定において脳内の認知に関わる情報処理速度が早まらなかった可能性が考えられる。

5. ま と め

本研究は、W-up が全身反応時間に与える影響について2通りの実験を行い検討した。実験Ⅰは被験者 (n=10) にトレッドミル走 (140bpm, 8km/h) を W-up として課し、その後、全身単純反応時間の測定を行った Wup-G と安静を保った Con-G を比較した。実験Ⅱでは被験者7名に対して10回の全身選択反応労作を W-up として課した後、全身選択反応時間の測定を行った Wup-G と安静を保った Con-G を比較検討した。以下に結果を要約する。

- 1) 実験Ⅰより、Wup-G と Con-G の全身単純反応時間の Up 率はそれぞれ $-2.6 \pm 5.55\%$ 、 $0.2 \pm 5.05\%$ となり、Wup-G では減少、Con-G では増大する傾向を示したが、有意な差はみられなかった。
- 2) 実験Ⅱより、Wup-G と Con-G の全身選択反応時間の Up 率はそれぞれ $-6.8 \pm 4.50\%$ 、 $2.0 \pm 6.25\%$ となり、Wup-G では Con-G に対して有意 ($p=0.009$) に減少した。
- 3) 1), 2) より、W-up の種類により、その効果は異なり、全身選択反応労作を課した場合、全身選択反応時間を短縮させることが示された。その要因の一つとして脳内処理速度の向上による Pre-motor time の短縮が示唆された。

引用文献

- [1] 勝田茂 (1994) : 運動生理学20講, 朝倉書店, p. 156
- [2] 後藤真二, 池上晴夫 (1987) : 運動中の血中乳酸動態に対するウォーミング・アップの影響, 体力科学, 36(2), 78-84
- [3] 高澤元, 石井好二郎, 瀧澤一騎, 木目良太郎, 米澤一也 (2002) : 常温環境下におけるウインゲートアネロビックテスト前の至適ウォーミングアップについて, 日本運動生理学雑誌, 9(2), 77-84
- [4] 権五晟, 鍋倉賢治, 池上晴夫 (1991) : 急に始まる激運動時の循環反応に及ぼすウォー

- ミング・アップの効果, 体力科学, 40(2), 174-186
- [5] Aguilar AJ, Distefano LJ, Brown CN, Herman DC, Guskiewicz KM, Padua DA (2012): A dynamic warm-up model increases quadriceps strength and hamstring flexibility, *J Strength Cond Res*, 26(4), 1130-1141
- [6] Pearce AJ, Rowe GS, Whyte DG (2012): Neural conduction and excitability following a simple warm up, *J Sci Med Sport*, 15(2), 164-168
- [7] Hough PA, Ross EZ, Howatson G (2009): Effects of dynamic and static stretching on vertical jump performance and electromyographic activity, *J Strength Cond Res*, 23(2), 507-512
- [8] 楠本秀忠, 谷所慶, 野村国彦, 小泉智也 (2014): W-up の効果に関する研究——桁の連続足し算の作業結果からみた一考察——, *大阪経大論集*, 65(4), 207-219
- [9] 衣笠隆, 藤田紀盛, 田中英彦 (1985): 全身選択応答時間に及ぼす事前のジャンプの効果, *体育学研究*, 30(1), 45-53
- [10] 與谷謙吾, 荒川真理, 幸篤武, 桐本光, 荻田太, 田巻弘之 (2014): 事前ジャンプ動作による選択的全身反応時間への効果, *トレーニング科学*, 25(2), 157-164
- [11] 麓信義 (1989): ラテラルリティ現象の質問紙法による研究: 主として利き足の定義に関して (第2報), *体育学研究*, 33(4), 321-329
- [12] Oldfield RC (1971): The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory, *Neuropsychologia*, 9, 97-113
- [13] 河辺章子, 大築立志 (1980): 移動視標の方向変化に対する反応時間, *体育学研究*, 24(4), 301-311
- [14] 見正富美子, 松本珠希, 森谷敏夫 (1990): 有酸素性運動の脳波・脊髄反射への影響, *体育学研究*, 35(3), 261-269
- [15] Kamijo K, Nishihira Y, Hatta A, Kaneda T, Wasaka T, Kida T, Kuroiwa K (2004): Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system, *Eur J Appl Physiol*, 92(3), 305-311
- [16] Schmidt RA, Alan Stull G (1970): Premotor and motor reaction time as a function of preliminary muscular tension, *J Mot Behav*, 2(2), 96-110
- [17] Huppert T, Schmidt B, Beluk N, Furman J, Sparto P (2013): Measurement of brain activation during an upright stepping reaction task using functional near-infrared spectroscopy, *Hum Brain Mapp*, 34(11), 2817-2828
- [18] Endo H, Takeda T, Kizuka T, Masuda T, Kumagai T (2000): Analysis of movement-related brain activities elicited by external instructions, *Biomag96*, 741-744
- [19] 遠藤博史, 木塚朝博, 増田正, 武田常広 (2000): MEG による知覚-運動制御機構の解析, *信学技報*, M12000-216-2000-7, 13-18
- [20] Sugawara K, Onishi H, Yamashiro K, Soma T, Oyama M, Kirimoto H, Tamaki H, Murakami H, Kameyama S (2013): Repeated practice of a Go/NoGo visuomotor task induces neuroplastic change in the human posterior parietal cortex: an MEG study, *Exp Brain Res*, 226(4), 495-502
- [21] Tashiro M, Itoh M, Fujimoto T, Fujiwara T, Ota H, Kubota K, Higuchi M, Okamura N, Ishii K, Bereczki D, Sasaki H (2001): 18F-FDG PET mapping of regional brain activity in runners, *J Sports Med Phys Fitness*, 41(1), 11-17