

前腕の疲労困憊作業後に作業部位を冷水や温水に浸けることが 疲労回復に及ぼす効果

北村 潔和・江連 司朗*

(2004年10月15日受理)

Effects of Immersion in Warm and Cold Water on Recoveries of Work Capacity
after Strenuous Handgrip Exercise

Kiyokazu KITAMURA and Shiro ETURE

E-mail : kkitamur@edu.toyama-u.ac.jp

キーワード：前腕の把握作業、疲労回復、温水と冷水、作業成績

Key words : handgrip exercise, recovery, warm and cold water, work capacity

I. 目的

筋作業によって生じる疲労を回避することは難しい。また、疲労を残した状態で次の作業を行うと、作業成績は低下する。このことは、繰り返して試合が行われるスポーツでは、限られた休憩時間内でいかに速やかに疲労回復を促すかが、高い競技成績を残すための重要な課題となることを示している。

積極的な疲労回復方法として、軽運動、マッサージ、ストレッチ、ホットパック、近赤外線照射、低周波電気刺激の効果が、下肢のパワー的な運動や前腕の等尺性の最大筋力発揮作業などによって生じる乳酸の除去や運動（作業）成績、または、主観的疲労感を指標に検討されてきている^{1,2,3,5,6,7,8,10,12,17,18,19)}。これらの研究結果は必ずしも一致していないが、軽運動^{1,2,5,6,10,17,18,19)}と近赤外線照射⁸⁾

は、安静休息による消極的な疲労回復方法よりも乳酸の除去を促進する。マッサージ、ストレッチ、ホットパックは^{1,19)}、乳酸の除去に効果が認められないとの報告が多い。

一方、競技選手が最も興味のある運動成績については、軽運動、ストレッチ、マッサージ、近赤外線照射で効果が認められたとする報告^{7,12,19)}もあるが、同じ疲労回復方法を用いても、一致した見解が得られていないのが現状である。また、これらの方法の多くは、特別な知識や機器が必要であり、実施する人の技量によって効果が大きく左右するという問題もある。スポーツの現場で指導にあたっている人に、これらの機器を揃えることや技量を持つことを期待するのは難しく、誰でもが、どこでもいつでも、手軽にできる積極的な疲労回復方法を早急に検討する必要がある。

これまでの報告で、運動成績と乳酸の除去の両

*園部町立園部中学校非常勤講師（京都府）

方に効果が認められた積極的な疲労回復方法は、近赤外線照射による作業部位の保温^{7,8)}と軽運動¹²⁾である。しかし、軽運動は、運動強度を間違えると運動成績にマイナスの影響が出るとの報告¹⁰⁾もあり、さらに詳細な検討が求められる。近赤外線照射は、運動部位や動作様式によって効果の異なる^{7,8)}ことや、機器が高価で特別な知識や技術を要することから、一般に普及させるには無理があろう。仮に、近赤外線照射のように、作業部位を暖めることで作業成績を高めることができるとすれば、誰にでも、どこでもいつでも、手軽に実施できる保温方法を検討することは有意義であろう。

最近では、これらの積極的な疲労回復方法に加えて、運動中や運動後に運動部位を冷やすことが行われている。その目的は様々であるが、運動部位を冷やすことで疲労を遅らせることや炎症を押さえることができるとすると、繰り返される運動では、運動間の休憩中に運動部位を冷やすことによって、運動成績や主観的疲労感に効果が期待できるであろう。しかし、これらを確かめた報告はみられない。

本研究は、前腕の持続的な疲労困憊作業を繰り返して行わせ、その作業間の休憩中に、作業部位を積極的に温めることや冷やすことが、作業成績や主観的筋疲労感に、どのような効果をもたらすかを検討するために企画した。

II. 方法

被験者は、男子大学生5人と女子大学生5人の合計10人である。その年齢、身体的特徴及び運動歴は、表1に示した。

表1 被験者の性、年齢、身体的特徴及び運動歴。

被験者	性	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	運動歴
1	女	20	160	48.0	陸上競技、バレーボール
2	女	20	157	47.5	ハンドボール
3	女	20	166	50.0	ソフトテニス、硬式テニス
4	女	20	161	56.0	柔道
5	女	21	162	51.0	バスケットボール、ダンス
6	男	20	175	83.0	サッカー
7	男	21	169	63.0	剣道、野球
8	男	20	176	64.0	陸上競技(短距離)
9	男	21	168	80.0	柔道
10	男	21	174	66.0	ラグビー、バスケットボール

疲労困憊までの前腕の律動的な把握作業は、7分間の休憩を挟んで繰り返して6回行わせた。実験は作業間に設けられた休憩中に、手と前腕部(以後は前腕部とする。)を環境温度条件下(25℃)で安静にする(以後は無処置条件とする。)、15℃の冷水に浸ける(以後は冷水条件とする。)、40℃の温水に浸ける(以後は温水条件とする。)3条件とした。冷水や温水に前腕部を浸ける時間は、作業間に設けた7分間の休憩中の作業終了直後からの4分間とした。残りの3分間は、濡れた腕を拭くなどの次の作業への準備に当てた。

前腕部を温水や冷水に浸ける場合は、深さ30cm、横50cm、縦50cmのプラスチックの容器に肘関節を90度に屈曲して入れさせた。また、容器に満たした水温は、水銀温度計で確認し、ポットに用意した温水や冷水を加えることによって調節した。しかし、本実験では、前腕部を浸けている間に、水温が変化することはなかった。なお、無処置条件においても、作業終了直後からの4分間は、冷水条件や温水条件と同じように空の容器に肘関節を90度に屈曲して入れさせた。

本実験の作業間の休憩時間を7分間としたのは、Lind¹⁰⁾の報告を参考にして決定した。すなわち、Lind¹⁰⁾は作業間の休憩時間を3分、7分、20分、40分として、前腕の静的な疲労困憊作業をそれぞれについて5回繰り返して行わせ、休憩時間と作業持続時間との関係を検討し、休憩時間が10分程度までは急速な回復を示し、それ以上時間が長くなっても回復の程度はほぼ同じであることを報告している。本実験では、疲労回復が急速に起こる時間帯に、積極的な疲労回復方法を施すとその効果も大きくなるものと考え、最も回復が促される時間である7分間の休憩を設定した。

疲労困憊までの前腕の把握作業は、被験者を椅子に座らせ、胸の高さのテーブル上に設置されたハンドエルゴメータのハンドル部分を握力測定用の要領で握らせて行わせた。その際、ハンドエルゴメータまで腕が真っ直ぐ前方に伸びるように、可動できる木製の板で胸とハンドエルゴメータとの距離を調節した。また、手首と肘の下には、硬いスポンジを置いて腕の高さを調節した。

前腕の把握作業は、北村^{13,14)}の作成したハンド

エルゴメータを用いて、メトロノームのリズムに合わせて1秒間に1回、負荷を2cmの高さに持ち上げることで行わせた。その作業負荷は、握力計（竹井機器工業株式会社）を用いて、右手の最大握力を立位で2回測定し、高い方の値を最大筋力として採用し、その25%とした。なお、疲労困憊の判定は、2cmの高さに負荷が持ち上がらなくなることや作業がリズムに合わなくなることを目安に、検者が主観的に判断した。作業成績は、疲労困憊までの作業回数とした。

主観的筋疲労感は、作業開始直前と作業終了直後に表2のような尺度を被験者に提示し、その数値を指し示すことで調査した。

表2 主観的筋疲労感の尺度。

5. かなり疲労を感じる(痛い)
4. 疲労を感じる
3. 少し疲労を感じる
2. 疲労を感じない
1. 楽である

なお、全ての実験は、室温 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度60% $\pm 5\%$ に設定された恒温恒湿室で、無処置条件、冷水条件、温水条件の順序で行わせた。実験と実験の間には、最低3日間の特別な運動を行わない日を置き、同一被験者ではほぼ同じ時間帯で実施した。

作業条件間の差の検定には、対応のあるStudentのt-検定を用いて行い、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

これまでの報告では、最大筋力に対する相対的な負荷を用いた筋持久力に、男女差のないことが明らかにされている^{11,19}。本実験の3条件での1回目の作業回数（平均値 \pm 標準偏差）は、無処置条件の女子では 97.8 ± 12.1 回、男子では 171.0 ± 171.5 回、冷水条件の女子では 99.0 ± 20.2 回、男子では 170.0 ± 160.6 回、温水条件の女子では 115.6 ± 13.5 回、男子では 180.2 ± 181.0 回であり、統計的に男女差は認められなかった($P > 0.05$)。男子の作業回数の平均値が、女子の2倍程度であったにもかかわらず有意差が認められなかったのは、男子被験

者の1人の作業回数が、他の被験者の作業回数に比べて4倍程度であったことによるものである。したがって、本研究では、男女被験者を1つのグループとして検討した。

7分間の休憩を挟んで繰り返して行わせた6回の疲労困憊までの作業回数は、作業条件別に表3と図1に示した。温水条件で行わせた6回の疲労困

表3 疲労困憊までの作業回数（平均値 \pm 標準偏差）。無処置：無処置条件、冷水：冷水条件、温水：温水条件を示す。

実験回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
無処置	134.5 ± 121.0	104.8 ± 105.7	82.2 ± 65.5	74.2 ± 68.7	62 ± 56.6	53.3 ± 46.8
冷水	134.5 ± 114.2	125.8 ± 140.4	112.4 ± 135.7	103 ± 117.2	83.8 ± 85.5	68.4 ± 52.7
温水	147.9 ± 125.7	121.2 ± 103.9	111.9 ± 94.8	95.2 ± 70.6	88.9 ± 77.3	81.2 ± 61.6

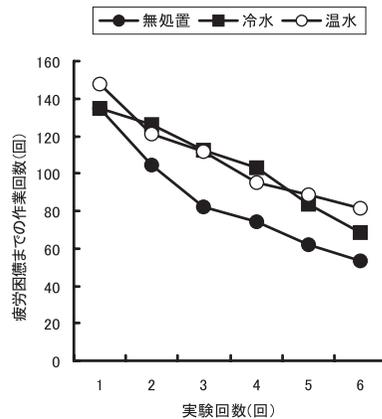


図1 6回の疲労困憊作業における作業回数の変化。無処置：無処置条件、冷水：冷水条件、温水：温水条件を示す。

憊作業での作業回数は、無処置条件に比べて全ての作業で有意に高い値を示した($P < 0.01$)。また、冷水条件で行わせた6回の疲労困憊作業での作業回数は、無処置条件に比べて1回目と3回目の作業回数に有意差が認められなかった($P > 0.05$)他は、有意に高い値を示した($P < 0.05 \sim 0.01$)。一方、温水条件と冷水条件では、6回目の作業回数が温水条件に比べて冷水条件で有意に低かった($P < 0.05$)他には、有意差が認められなかった($P > 0.05$)。

図2は、それぞれの作業で得られた1回目の作業回数を100%にして、それに対する低下率を作業条件別に示したものである。2回目以降の低下率には、冷水条件と温水条件の間に有意差は認められなかった($P>0.05$)。しかし、冷水条件と温水条件の低下率は、無処置条件に比べて10%~15%程度低いものであり、これらは統計的に有意であった($P<0.05\sim 0.01$)。

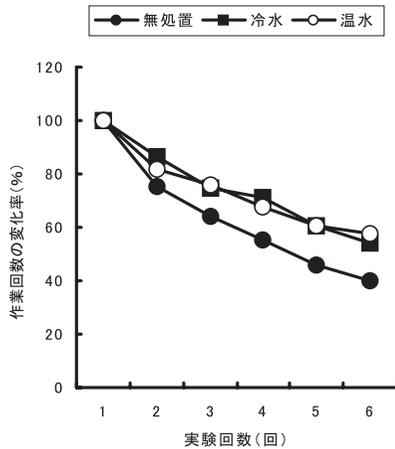


図2 1回目の疲労困憊作業回数に対する相対的作業回数の変化。無処置：無処置条件、冷水：冷水条件、温水：温水条件を示す。

作業開始直前や作業終了直後の主観的筋疲労感は、表4に示した。表4でも明らかのように、作業終了直後の主観的筋疲労感は、3条件ともに高い値を示し、繰り返された6回の疲労困憊作業でほぼ同じであった($P>0.05$)。作業開始直前の主観的筋疲労感は、作業終了直後よりも有意に低くなり($P<0.01$)、その値は繰り返された6回の疲労困憊

表4 作業終了直後と作業開始直前の主観的筋疲労感(平均値±標準偏差)。無処置：無処置条件、冷水：冷水条件、温水：温水条件を示す。

実験回数	無処置		冷水		温水	
	直前	直前	直前	直前	直前	直前
1回目	—	4.6±0.53	—	4.7±0.48	—	4.8±0.42
2回目	2.8±0.79	4.8±0.42	2.6±0.68	4.8±0.42	2.5±0.85	4.8±0.42
3回目	3.0±0.47	4.8±0.42	2.8±0.92	4.8±0.43	2.8±0.79	4.9±0.31
4回目	3.2±0.63	4.7±0.48	3.2±0.69	4.7±0.95	3.1±0.74	4.7±0.62
5回目	3.3±0.48	4.7±0.48	3.2±0.69	4.6±0.70	3.5±0.53	4.7±0.67
6回目	3.5±0.53	4.8±0.42	3.3±1.16	4.7±0.67	3.4±0.52	4.9±0.32

作業で徐々に高くなる傾向を示した。しかし、それらの主観的筋疲労感は、3つの作業条件でほぼ同じであった($P>0.05$)。

IV. 考察

先にも述べたように、積極的に疲労回復を促す方法が、特別な知識や技術を必要とし、実施する人の技量によって効果が大きく左右するようでは、その必要性を認識しても実際に実施されることは少ないであろう。本研究では、誰にでも、いつでもどこでも、特別な機器、専門的な技術や知識などが必要のない方法をと考え、作業部位を暖めることや冷やすことの効果を検討した。この方法は、プラスチック容器と保温ポットに入れた温水か冷水を用意することで、誰にでも、いつでもどこでも、実施できる。

積極的な疲労回復方法を検討してきたこれまでの研究の多くは、下肢のパワー的な運動^{1,19)}や前腕の最大筋力を発揮する作業^{3,8)}を対象にしており、前腕の持久的な作業については見られない。しかし、前腕筋群(握力)の持久力は、全身的な競技においても勝敗を決定する重要な要因の1つである。たとえば、握力が低下すれば、柔道競技では襟や袖が握れない、レスリングでは相手の身体をしっかりと抱えられない、剣道では竹刀がさばけない、バドミントンやテニスではラケットのコントロールが難しくなることなどが考えられる。また、これらの競技では、予選から決勝までの試合が、比較的短い休憩時間を挟んで1日で行われることが多い。

温水条件と冷水条件の効果を検討する場合には、それぞれの作業がいつも同じように疲労困憊まで行われていたことが大切になる。本実験では、無処置条件、冷水条件、温水条件の順序で作業を行わせた。3条件での1回目の作業回数は、温水条件が冷水条件や無処置条件に比べて有意に高い値を示した。しかし、疲労困憊作業終了直後の主観的筋疲労感は、3条件ともに4.6~4.9の高い値を示しており、いずれも疲労困憊までの作業が行われていたものと考えた。

これまでの研究の多くは、運動によって生じる

疲労物質の乳酸を速やかに除去することが、その後の運動成績を高めるとの考えから、乳酸の除去を指標に行われてきた。乳酸の除去に効果のみられた疲労回復方法は、軽運動^{2,5,6,10,17,18)}と近赤外線照射⁸⁾である。乳酸の除去が促進された生理学的機序は、運動中に増大した筋への血流量を運動後も高い値で維持できたことによるものと考えられている。それに対し、乳酸の除去が促進されなかった、ストレッチ、マッサージ、ホットパックでは^{1,19)}、筋への高い血流量が運動後に維持できなかったと推測されている。運動後の筋血流量が、どの程度の高さで維持されているかを確かめる必要があるが、これらの報告は乳酸を速やかに除去するためには、運動によって増大した筋血流量を運動終了後も高い値で維持することが不可欠であることを示している。

Barcroft and Edholm⁴⁾は、前腕を温水に浸けると皮膚血流量が増大し、冷水では皮膚血流量を減少させることを、また、Hymanら⁹⁾は、環境温度を高くすると皮膚血流量が増大し、筋血流量は変わらないことを報告している。いずれも筋血流量に大きな影響を与えないことが知られており、本実験の温水条件と冷水条件では、作業によって増大した筋血流量^{13,14)}を作業後も高い値で維持できたとは考えにくい。冷水から25℃の部屋に作業部位を戻した場合についても、収縮していた皮膚血管の拡張による皮膚血流量の増大が起こるだけであろう。本実験では乳酸を測定していないが、ホットパック^{1,19)}と同様に温水条件と冷水条件ともに、無処置条件に比べて速やかに乳酸の除去が行われていたとは考えられない。

乳酸の除去に促進が認められたとする、近赤外線照射による作業部位の保温との相違⁸⁾については、さらに検討する必要はあるが、この方法は、生体深達部への到達度の高い高出力レーザーを用いているため、筋を直接暖めていることにより筋血流量を高い値で維持できたのであろう⁸⁾。

一方、これまでの報告では、乳酸の除去と運動成績が必ずしも一致していない。たとえば、安静休憩に比べて、軽運動は乳酸の除去を促したが、運動成績は変わらなかった¹⁹⁾。また、ストレッチやマッサージは、乳酸の除去に効果は認められな

かったが、運動成績は高まったことが^{1,12,19)}報告されている。本実験の冷水条件と温水条件の作業成績は、無処置条件に比べて毎回10%~15%程度有意に高い値を示し、疲労回復が促進されたと考えられる。本研究やストレッチとマッサージの報告は^{1,12,19)}、山本と山本¹⁹⁾が指摘しているように、疲労回復後に行う運動に効果を及ぼす要因が、乳酸のみでないことを示している。

山本と山本¹⁹⁾は、乳酸の除去に効果のみられなかったストレッチやマッサージで運動成績に効果が認められたことは、運動部位に物理的な刺激を与えたことが、軽運動と同じような心理的ウォーミングアップの効果をもたらしたためであろうと考えている。また、ストレッチやマッサージでは、運動部位が軽くなった¹⁹⁾、疲労感が低下した、筋肉痛がなくなった¹²⁾といった主観的疲労感の軽減が報告されており、このような心理的ウォーミングアップや運動部位に感じる主観的疲労感の軽減が、運動成績にいい効果を及ぼしたことが推測できる。しかし、本実験では、ホットパック¹⁹⁾や近赤外線照射⁸⁾による作業部位の保温と同じように、温水条件と冷水条件ともに作業開始直前の主観的筋疲労感を軽減することはできなかった。

主観的疲労感が軽減した積極的な疲労回復方法は、ストレッチとマッサージであり、主観的疲労感が軽減しなかった積極的な疲労回復方法は、ホットパック、近赤外線照射である。本実験結果を考え合わせると、主観的疲労感が軽減した積極的な疲労回復方法は、能動的にせよ受動的にせよ、疲労した筋を動かしている。それに対して主観的疲労感が軽減しなかった積極的な疲労回復方法は、静的な状態で実施されている。したがって、温水条件と冷水条件での主観的筋疲労感が軽減しなかった要因の1つは、作業筋を動かさなかったことが考えられる。

以上のことから、冷水条件と温水条件は、無処置条件に比べて、疲労回復を促進して作業成績を高めるが、主観的筋疲労感を軽減することはできないといえよう。作業成績を高めた要因については、乳酸の除去や主観的筋疲労感以外の観点からさらに検討を要するが、冷水条件と温水条件の共通点は、作業部位を水中に浸けたことであり、浮

力によるリラックス感などが、何らかの生理的変化を引き起こして作業成績を高めたことが推測できる。

V. 要約

本研究は、積極的疲労回復方法として、作業後に作業筋を温水(40℃)や冷水(15℃)に浸けることが、次の作業に効果があるか否かについて検討するために企画した。被験者は、健康な男女大学生、合計10名である。

前腕の律動的な疲労困憊作業は、7分間の休憩を挟んで6回行わせた。作業はハンドエルゴメータを用いて、最大筋力の25%の負荷を1秒に1回、2cmの高さに持ち上げることで行わせた。温水や冷水に作業部位を浸ける場合は、作業終了直後からの4分間、肘を90度に曲げた状態で温水か冷水に満たされたプラスチックの容器に入れさせた。実験では、疲労困憊までの作業回数、作業終了直後と作業開始直前の主観的筋疲労感を調査した。疲労困憊作業終了直後に冷水や温水に作業部位を浸けると、作業回数は何もしないとときに比べて毎回10~15%程度高い値を示した。また、作業終了直後や作業開始直前の主観的筋疲労感は、温水や冷水に浸けても軽減することはなかった。

文献

- 1)青木純一郎、富田寿人、高岡邦夫：間歇的短時間最大運動のパフォーマンスに及ぼすホットパック、マッサージ、低周波電気刺激および関連運動の効果。昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告、No. VI. ウォームアップとクーリングダウンに関する研究、27-33,1983.
- 2)Angelo,N.B. and A.Bonen: Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. J.Appl.Physiol.,39: 932-936,1975.
- 3)浅見俊雄、福永哲夫：筋のストレッチあるいは軽負荷での動的筋収縮が間欠的等尺性最大筋力の連続発揮能力におよぼす効果。昭和58年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。27-33,1983.
- 4)Barcroft,H. and O.G.Edholm: Temperature and blood flow in the human forearm.J. Physiol.,104:366-376,1946.
- 5)Belcastro,A.N. and A.Bonen: Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. J.Appl.Physiol.,39: 932-936,1975.
- 6)Bryant,A.S., A.Weltman, R.Moffatt, and S.Sady: Exercise recovery above and below anaerobic threshold following maximal work.J.Appl.Physiol.,51:840-844,1981.
- 7)出村真一、山次俊介、長澤吉則、小林秀紹、南雅樹、豊島慶男：激運動後の等尺性筋力発揮の回復に及ぼす直線偏光処理近赤外線照射の効果。体力科学、49：459-468,2000.
- 8)出村真一、山次俊介、小林秀紹、長澤吉則：筋力発揮回復に及ぼす近赤外線照射の効果。デサントスポーツ科学、23：17-26,2002.
- 9)Hyman,C.,T.Greenson,M.Clem and D.Winsor: Capacitance-plethysmograph for separating blood flow in muscle and skin in the human forearm. Amer.Heart J.,68:508-514,1964.
- 10)池上晴夫、稲沢見矢子、近藤徳彦：乳酸消失からみたクーリング・ダウンに関する研究。特に漸減強度の回復期運動の効果について。筑波大学体育科学紀要、9：151-554,1986.
- 11)猪飼道夫、石井喜八、中村淳子：血流量から見た筋持久力 II—筋持久力の測定—、体育の科学、15：281-287,1965.
- 12)石田浩司、高石鉄雄、宮村美晴：筋疲労回復にはどのような方法が最も効果的か？デサントスポーツ科学、13：176-184,1992
- 13)北村潔和：各種負荷強度の律動的作業中にみられる前腕血流量の変動。体力科学、32：66-75, 1983.
- 14)北村潔和：前腕の筋持久力トレーニングが作業中及び回復期血流量に及ぼす影響。体力科学、35:127-133,1986.

- 15) 北村潔和、堀田朋基、山地啓司：19～75歳男女にみられる前腕の筋持久力と血流量に関する横断的研究。体力科学、36：53～60, 1987.
- 16) Lind A.R.: Muscle fatigue and recovery from fatigue induced by sustained contractions. *J. Physiol.*, 127:162-171, 1959.
- 17) 駒井説夫、白石龍生、上林久雄：短時間の激運動後の最大下運動が血中乳酸及び血清FFAに及ぼす影響。体力科学、31：306-311, 1982.
- 18) Lawrence L.S., M.I. Lindinger, L.R.S. Mckelvie, et. al.: Muscle glycogenolysis and H^+ concentration during maximal intermittent cycling. *J. Appl. Physiol.*, 66:8-13, 1989.
- 19) 山本正嘉、山本利春：激運動後のストレッチ、スポーツマッサージ、軽運動、ホットパックが疲労回復におよぼす効果—作業能力および血中乳酸の回復を指標にして—。体力科学、42：82—92, 1993.

