

## 筋力発揮回復に及ぼす近赤外線照射の効果

金 沢 大 学 出 村 慎 一  
(共同研究者) 福 井 工 業 山 次 俊 介  
高等専門学校  
同 小 林 秀 紹  
秋 田 県 立 大 学 長 澤 吉 則

### **The Influence of Linear Polarized Near-Infrared Light Irradiation on the Recovery of Muscle Fatigue After Sustained Static Gripping Work**

by

Shinichi Demura,  
*Kanazawa University*  
Shunsuke Yamaji, Hidetsugu Kobayashi  
*Fukui National College of Technology,*  
Yoshinori Nagasawa  
*Akita Prefectural College of Agriculture*

#### **ABSTRACT**

The purpose of this study was to examine the influence of linear polarized near-infrared light (PL) irradiation on the recovery of a force exertion value and the physiological response after sustained static gripping work (SSGW). Eighteen healthy college students participated in the experiment under the conditions of both irradiation and no irradiation. They performed the SSGW (W1 and W2) for 3 minutes before and after the rest period. After the W1, the muscle fatigue state was confirmed. In case of the PL irradiation condition, during the rest for 16 minutes, each subject was irradiated in an area surrounding the flexor digitorum superficialis muscle for 10 minutes. After the rest, W2

was carried out. Blood lactate accumulation and subject's perception of muscle fatigue were measured before W1 and before and after the rest. There was no significant difference between irradiation and no irradiation conditions for the recovery rate of a force exertion value and muscle fatigue perception. It is considered that PL irradiation is not greatly effective in contributing to the recovery of force exertion after the W1. However, the influence of PL irradiation was found on blood lactate accumulation and muscle oxygenation kinetics during PL irradiation. It was inferred that PL irradiation influences an increase of blood flow, and promotes the elimination of blood lactate. The influence of PL irradiation for total hemoglobin (Hb) and Oxy-Hb tended to appear in the latter period of the rest. It was suggested that the influence of PL irradiation on the recovery of muscle fatigue becomes clearer by extending the irradiation period. Further, it will be necessary to examine the influence of PL irradiation on the recovery of a greater degree of muscle fatigue using a longer irradiation period.

## 要 旨

本研究では、持続的把握作業直後の直線偏光処理近赤外線 (PL) 照射が筋力発揮値の回復、および生理学的応答に及ぼす影響を検討することを目的とした。18名の健常な学生がPL照射条件、非照射条件の各条件にそれぞれ参加した。被験者は、3分間の持続性把握作業 (W1とW2) を休息期間前後に行った。被験者は、W1終了後には筋疲労状態であった。その後、16分間の休息をとり、照射条件は浅指屈筋の周辺に10分間のPL照射を行った。休憩後、再度持続性把握作業 (W2) を3分間行った。血中乳酸と主観的筋疲労感覚はW1前、および休息前後に測定した。休息前後の筋力発揮値、および主観的筋疲労感覚の回復率において、照射条件間で有意差は認められなかった。PL照射の効果は、3分間の持続性把握作業後の筋力発揮値の回復に反映するほど大きくないと考えられる。しかしながら、血中乳酸濃度、照射中の筋酸素動態に及ぼすPL照射の影響が認められた。PL照射が筋血流量の増大に貢献し、血中乳酸の除去を促進していると推測された。また、総Hb

量とOxy-Hb量に及ぼすPL照射の影響は、照射期間の後半に認められる傾向にあった。照射時間の延長により、筋疲労回復に対するPL照射の影響が顕著になる可能性が示唆された。今後、照射時間を長くし、より高い筋疲労の回復に及ぼすPL照射の影響を検討する必要がある。

## 緒 言

軽運動、ストレッチング、スポーツマッサージ、鍼灸、キネシオテーピング (KT) などの筋疲労の積極的回復方法は安静休息による消極的 (静的) な回復方法よりも疲労回復を促進することが明らかにされている<sup>1-4)</sup>。そのため、これらの積極的回復方法は、柔道や競泳のように一日に短時間の休息をはさんで試合を行う競技選手にとって、重要なコンディショニング方法の一つとして欠かせないものとなっている。筋疲労の積極的回復方法として、主観的・経験的な臨床成果に基づく方法が利用される場合もあるが、その場合の主たる生理学的作用機序は、筋血流量を増大させ、活動筋中に蓄積した乳酸を除去することと考えられている<sup>1,4-6)</sup>。スポーツマッサージ、鍼灸、KTなどは

外部刺激により短時間で血流量の増加や皮膚温の上昇などの効果が期待され、非常に有効な回復方法である。しかし、これらの方法の手技には専門的な技術と知識を必要とし、実施する人の技量によって効果が大きく左右するという問題点がある。また、実際にこれらの専門的技術を有する指導者やコーチは非常に少なく、素早い疲労回復の重要性を認識しつつも実践されていないのが実状である。

近年、直線偏光処理近赤外線 (linear polarized near-infrared light ; PL) を利用した光線照射器による筋への照射が、温感や刺激感を有することが報告されている<sup>7-10)</sup>。本来、この光線照射器は理学療法現場において鎮痛効果や消炎効果を目的として開発されたが、その生理学的効果として血流量の増加や皮膚温の上昇なども報告されている<sup>11,12)</sup>。また、PL照射は温熱刺激であるので、過度に照射するとやけどを負う危険性もあるが、通常の照射強度と時間で発生することはない。われわれは、PL照射が簡便で、専門的な技術を必要としない利点から有効な筋疲労回復方法の一つになりうると考え、先行研究<sup>3)</sup>において等速性筋力発揮による疲労困憊までの膝関節伸展屈曲運動後の筋力発揮値、および主観的筋疲労感覚の回復に及ぼすPL照射の効果を検討し、PL照射が激運動後の筋力発揮値、および主観的筋疲労感覚の回復に効果があることを明らかにした。

しかし、身体疲労は、主として使用する身体部位やその動作様式、および作業継続時間などにより、その程度や回復時間は異なる。また、これまでの筋疲労回復に関する研究は下肢に注目することが多く<sup>1-4,13)</sup>、上肢の筋疲労回復に関する報告は限られている<sup>9)</sup>。さらに、PL照射による筋疲労回復の効果について、筋力発揮値や血中乳酸などの生理学的変数の変化や両者の対応関係を詳細に検討した研究はみられない。

本研究では持続的把握作業直後の上肢における

PL照射が筋力発揮値や主観的疲労感覚の回復、および生理学的応答に及ぼす影響を検討することを目的とした。

## 1. 研究方法

### 1.1 被験者

被験者は健康な青年男子7名(年齢 $19.6 \pm 1.4$ 歳, 身長 $174.7 \pm 6.1$ cm, 体重 $66.5 \pm 7.9$ kg), 女子11名(年齢 $20.5 \pm 1.8$ 歳, 身長 $164.0 \pm 6.4$ cm, 体重 $55.3 \pm 4.6$ kg)であった。被験者の体格は同年代の全国標準値と同程度であった<sup>14)</sup>。被験者には予め実験の方法、実験に伴う苦痛および危険性について十分説明を行い、実験参加の同意を得た。

### 1.2 実験装置

最大握力および持続的把握作業の測定は、握力解析システム(EG100, 酒井医療)を用いた。握力発揮値は、ロードセル握力計で測定され、A/D変換後にパソコンにサンプリング周波数20Hzで取り込まれた。また、取り込まれた握力発揮値は即時にパソコン画面上に力-時間曲線として表示し、被験者にフィードバックした。血中乳酸濃度は、簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro, アークレイ)を用いた。血液サンプリングは採血器具によって指先から約 $5 \mu\text{l}$ の血液を採取した。筋酸素動態は、近赤外分光法測定装置(PSA-IIIIN, バイオメディカルサイエンス)を利用し、サンプリング周波数10Hzにて連続的に測定した。この装置は、プローブと計測システムからなり、プローブには波長 $\lambda_1: 700\text{nm}$ ,  $\lambda_2: 750\text{nm}$ ,  $\lambda_3: 830\text{nm}$ のライトエミティングダイオード(LED)光源と光源から15mmと25mmの距離に2つの受光(第1受光, 第2受光)が含まれている。プローブからのLED光は組織内で散乱もしくは吸収される。この装置では、散乱した光は2つの受光部に到達し、皮膚の表面から深さ15~25mmの筋酸素動態を絶対値で評価可能であった。酸素飽和

度 (StO<sub>2</sub>) と総ヘモグロビン量 (総Hb量) は3波長の吸光度より Lambert-Beer の法則に基づき算出される. この装置 (PSAIII) の測定原理は近接した3波長のLED光の吸収係数が概ね等しいことに基づいている. この測定原理については, 酒井と斎藤<sup>15)</sup>によって詳細に検討されている. 近赤外線照射には, スポット型近赤外線治療器 (Super Lizer, 東京医研: HA-30,出力1800mW, 焦点径10mm, 波長帯0.6 μm ~ 1.6 μm) を用いた. 照射ユニットには, 皮膚上の1点を刺激できるタイプを選択した.

### 1. 3 実験計画

被験者はPL照射条件と非照射条件の2条件で各2回の測定に参加した (交差測定計画: crossover design). 順序効果を相殺するために, 被験者を無作為に9名ずつ2群にわけ, 1回目に行う実験条件が, いずれかの条件に偏らないように考慮した. 各条件の測定間隔は約2日であった. しかし, 近赤外線照射のプラセボ効果を考慮し, 被験者には, 温熱刺激による血流量増加や筋疲労回復の効果などのPL照射に期待される効果について告知しなかった.

### 1. 4 実験手順

実験は図1に示す手順で行った. 被験者は実験前に激しい運動を行っていないこと, 自覚的な疲労感がないこと, および実験の実施に問題がないことを確認した. 被験者は, 実験前に5分~10分の座位安静をとった. 持続的把握作業を行う前に, 安静時の筋酸素動態 (3分間), 血中乳酸濃度 (La), 最大握力, およびBorg's CR-10 scale<sup>16)</sup>を利用して, 主観的筋疲労感覚 (Fs) を測定した. 持続的把握作業 (W1) は等尺性最大握力発揮を3分間持続する作業であった. 被験者には, 握力計を体につけたり, 握り直さないように注意し, 最大努力による握力発揮を持続するように指示し

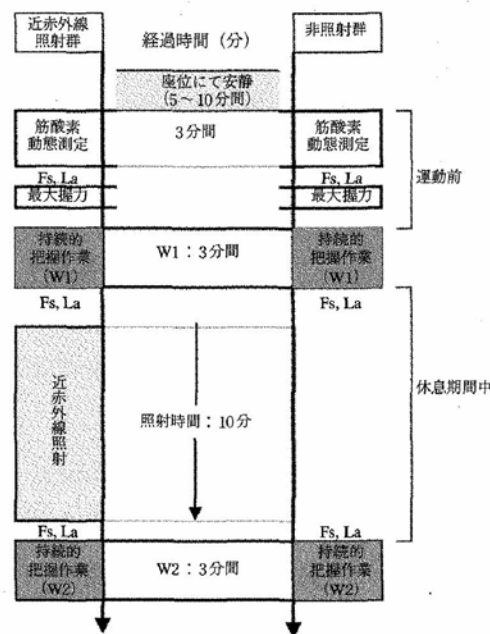


図1 実験手順

Fs: 主観的筋疲労感覚 La: 血中乳酸濃度  
 持続的把握作業 (W1) 終了直後より, 近赤外線照射終了までの16分間, 筋酸素動態を連続的に測定している

た. W1終了後, 被験者は16分間の休息をとった. 休息期間中, 腕は机の上に置いて休め, 照射条件は近赤外線照射を10分間行い, 非照射条件は机上で静的な休息 (何もしない休息) をとった. La およびFsは, W1終了直後 (休息前) とW2開始前 (休息終了後) に測定した (図1参照). PL照射は, 前腕内側の浅指屈筋を中心とした筋群全体に対して行い, 照射強度100%, 照射5秒, 休止1秒の断続照射で10分間実施した. 休息終了後, W1と同様の作業条件で再度, 持続的把握作業 (W2) を行った. また, 休息期間中において, W1終了後から照射条件の照射時間が終了するまでの間, 筋酸素動態を継続的に測定した. なお, 実験中の室温は常に24℃, 湿度は30~40%に設定した.

### 1. 5 測定変量

近赤外分光法より測定された総ヘモグロビン量 (総Hb量), および酸素飽和度より, 筋酸素動態の指標として, 酸素化ヘモグロビン量 (Oxy-Hb),

脱酸素化ヘモグロビン量 (Deoxy-Hb) を算出した。Oxy-Hb, Deoxy-Hb の算出式は以下の通りである。すなわち, 血中の Oxy-Hb と Deoxy-Hb の和は総 Hb 量と一致すると仮定している<sup>15)</sup>。

$$\text{Oxy-Hb} = \text{総Hb量} \times \text{組織酸素飽和度 (StO}_2\text{)} (\text{cm} \cdot \text{g} / \ell)$$

$$\text{Deoxy-Hb} = \text{Hb} - \text{Oxy-Hb} (\text{cm} \cdot \text{g} / \ell)$$

PSA-IIIINで得られた値は, 同次元でOxy-HbやDeoxy-Hbの変動を検討するために, 個々人の測定値は全て安静時の値を基準に相対値に変換した。

持続性把握作業における, 筋力発揮値の評価変数は, 把握作業開始から10秒, 30秒, および60秒間の力積とし, 休息前の把握作業 (以下, W1) から休息後の把握作業 (以下, W2) の低下率を算出した。同様に, 主観的筋疲労感覚, 血中乳酸濃度も休息前後の低下率を算出した。

### 1. 6 統計解析

W1における筋力発揮値, およびW1実施前の血中乳酸と主観的筋疲労感覚の各評価変数について, 対応のあるt検定を利用し, 照射条件間の平均値の差を検定した。各評価変数の休息前後の低下率について, 対応のあるt検定を利用し, 照射条件間の差を検定した。PL照射が筋酸素動態に

及ぼす影響を検討するために, 休息中の筋酸素動態を照射条件間で比較した。なお, 本研究における統計的仮説検定の有意水準は5%とした。

### 2. 実験結果

表1および表2は筋力発揮値, 主観的筋疲労感覚, 血中乳酸の各測定時における基礎統計値を示している。W1の握力発揮値, およびW1実施前の血中乳酸と主観的筋疲労感覚の各評価変数において, 照射条件間に有意差は認められなかった。図2は照射・非照射条件におけるW1の握力発揮値について, 全被験者の平均値を時系列に算出した力-時間曲線と相互相関係数を示している。W1における力-時間曲線は照射条件間で非常に類似した低下傾向を示し, 両条件の発揮値の相互相関係数は非常に高い値であった ( $R_{xy}=0.996$ )。W1終了までの照射条件間は, 筋力発揮値, 生理学的応答, および自覚的応答とも同質であると推測された。

表3は, W1からW2の筋力発揮値の低下率, および休息前後の血中乳酸と主観的筋疲労感覚の低下率における照射条件間の差の検定結果を示している。照射条件は非照射条件に比べ, 10秒間

表1 休息期間前後における持続的把握作業の基礎統計値

		休息前 Mean (SD)		休息後 Mean (SD)	
最大値	(%) 非照射時	89.5	6.2	82.6	7.7
	照射時	88.0	9.4	82.6	9.2
10秒力積	(%) 非照射時	270.6	79.3	236.1	68.9
	照射時	257.9	89.1	234.4	72.0
30秒力積	(%) 非照射時	35502.7	6545.2	30320.2	6041.3
	照射時	34955.1	6150.3	30167.8	6931.0
60秒力積	(%) 非照射時	59506.1	12294.5	49209.4	10019.8
	照射時	58625.0	10603.5	48471.8	10846.8

表2 主観的筋疲労感覚, 血中乳酸の基礎統計値

		運動前 Mean (SD)	運動後 Mean (SD)	休息後 Mean (SD)
主観的筋疲労感覚	非照射時	0.4 (0.51)	6.8 (2.32)	2.4 (1.85)
	照射時	0.5 (0.56)	6.8 (2.39)	2.4 (1.85)
血中乳酸濃度	mmol/ℓ 非照射時	1.7 (0.52)	2.3 (0.75)	1.8 (0.44)
	照射時	1.8 (0.54)	2.4 (0.85)	1.6 (0.65)

表3 休息前後における各変数の変化率の差 (n =18)

	Mean (SD)		t
	照射時	非照射時	
10秒力積変化率	10.0 (17.0)	14.8 (10.6)	-1.20 ns
30秒力積変化率	14.2 (10.5)	14.6 (6.6)	-0.18 ns
60秒力積変化率	17.8 (8.2)	17.0 (6.6)	0.34 ns
主観的筋疲労感覚変化率	33.3 (21.1)	33.0 (19.8)	0.01 ns
血中乳酸変化率	60.2 (45.0)	17.2 (25.9)	2.24 *

注) 変化率 = {(休息前-休息後) / 休息後} × 100

ns : 有意差なし, \*: p<0.05

10, 30, 60秒力積: 静的握力発揮(3分)の前半10秒, 30秒, 60秒間の力積

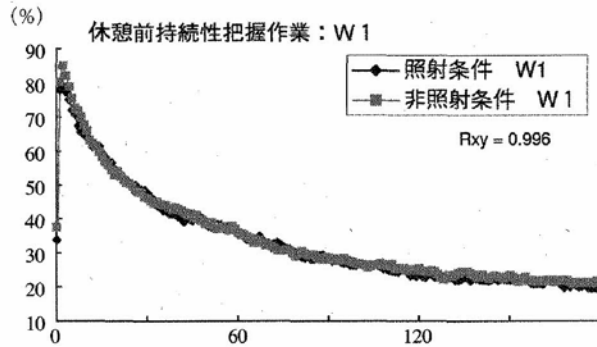


図2 照射・非照射条件におけるW1の力-時間曲線  
Rxy: W1の照射・非照射条件間の筋力発揮値の相互相関係数

の力積の低下率が小さく、主観的筋疲労感覚の低下率は大きい傾向にあったが、いずれの変数間にも照射条件間で有意差は認められなかった。血中乳酸濃度の休息前後の低下率は、照射条件間に有意差が認められ、照射条件の方が非照射条件より高かった。

図3-1, 図3-2, および図3-3は、それぞれ休息中(W1終了直後から照射終了まで)の照射・非照射条件における総Hb量, Oxy-Hb量およびDeoxy-Hb量の変動について、全被験者の平均値を時系列に算出し、グラフ化したものである。いずれの変数も休息開始直後は両条件間ともに高い値を示し、休息開始約2分後まで低下した。その後、非照射条件では、総Hb量およびOxy-Hb量は緩やかな低下傾向にあるが、PL照射条件では、それらは維持もしくは緩やかな増加傾向にあった。PL照射期間中における総Hb量およびOxy-Hb量について、照射条件間の平均値の差の検定を行った結果、有意差が認められ、PL照射条件の方が大きい値を示した(それぞれ、t=2.703, df=17,

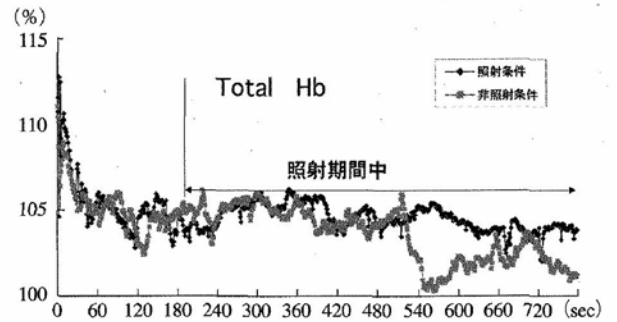


図3. 1 休息中のTotal Hbの変動

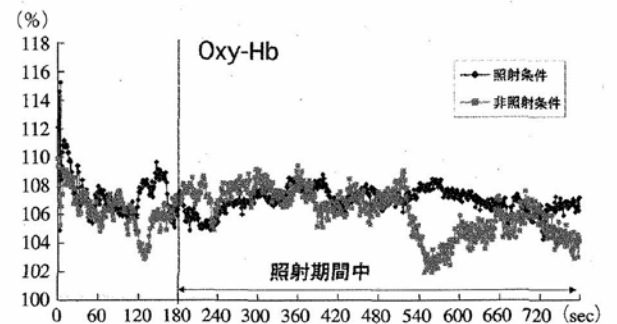


図3. 2 休息中のOxy-Hbの変動

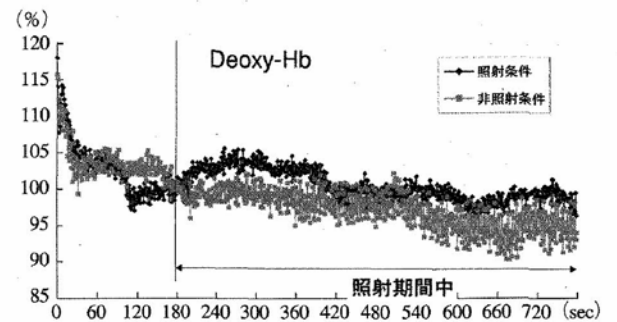


図3. 3 休息中のDeoxy-Hbの変動

p<0.05, t=2.450, df=17, p<0.05).

### 3. 考察

本研究では、筋疲労回復に及ぼすPL照射の影響を検討するために、持続的な筋力発揮作業



(W1) 後の筋力発揮値および主観的筋疲労の回復率と、血中乳酸および筋酸素動態の変化率に着目した。休息前の3分間の持続的把握作業において、筋力発揮値は最大握力の約20%まで低下し、作業2分後からはほぼ定常状態に到達した。この低下傾向は、先行研究による報告<sup>17-20)</sup>と一致していた。また、W1直後の主観的筋疲労感覚の平均値は $6.8 \pm 2.4$ で、「非常に疲れた」を示し、血中乳酸濃度は安静時と比較して約40%の有意な増加が認められたことから、W1の作業直後は、筋疲労状態であったと考えられる。

激しい運動後の積極的疲労回復（マッサージ、ホットパック、軽運動、鍼灸など）が、安静状態に比べ疲労回復を促進することが先行研究において報告されている<sup>1, 3, 4, 13, 21, 25)</sup>。これら積極的疲労回復の生理学的作用機序は筋疲労した部位の血流量を増加させることによって、活動筋に産生された乳酸などの疲労物質を除去させることであると推測されている。先行研究<sup>1-4, 24)</sup>では、比較的大きな筋を対象に、動的な全身運動を利用することが多く、本研究のような静的な把握作業に及ぼすPL照射の影響はほとんど検討されていない。これは、比較的小さな筋の静的な持続性作業では、疲労回復が速く、積極的疲労回復の効果を検討しにくいことによると考えられる。しかし、本研究の作業においても、筋力発揮値は臨界力付近まで低下し、かつ血中乳酸も増加していることから、積極的疲労回復による筋血流量の増加により、乳酸の除去の促進が期待される。また、持続性の把握運動は、競技場面において野球の投手の投球や柔道の組み手などのように多くの競技動作に利用される。

休息後の握力発揮値（10秒間力積、30秒間力積、および60秒間力積）は、両照射条件において、W1の82.2~94.9%まで低下し、10秒間力積においてPL照射条件の低下率が小さい傾向にあったが、いずれの変数においてもPL照射の有無

による差は認められなかった。休息後の主観的筋疲労感覚の平均値は、照射条件で $2.4 \pm 2.4$ 、非照射条件で $2.5 \pm 2.3$ で、いずれも「少し疲れた」まで低下した。その低下率は、PL照射条件の方が大きい傾向にあったが、PL照射の有無による有意差は認められなかった。したがって、持続性把握作業後の筋疲労状態からの回復において、PL照射は筋力発揮値や主観的筋疲労感覚に反映するほど大きな影響を及ぼさないと推測される。出村ら<sup>4)</sup>は、等速性筋力発揮における膝関節伸展屈曲動作において、疲労回復効果のある経穴と筋力発揮の主動筋に、それぞれPL照射した結果、両条件とも非照射条件よりも筋力発揮値および主観的疲労感覚に回復効果が認められたと報告している。特に、負荷強度の大きい膝関節伸展動作の60d/sにおいて、PL照射による筋疲労回復の効果が顕著となり、筋力発揮や主観的疲労感覚の回復に対する効果は負荷強度の大きさと関係があると推測している。本研究は上肢の等尺性筋力発揮を利用しており、先行研究とは筋力発揮部位および動作が異なるため、PL照射の影響が筋力発揮値に現れるほどの負荷強度ではなかったと推測される。また、本研究では、筋疲労状態を引き起こす作業として、3分間の持続性把握作業を利用し、作業前後で筋力発揮値の低下、主観的筋疲労感覚の上昇、および血中乳酸の上昇が認められ、筋疲労状態であったと考えられる。しかし、本研究では、全ての被験者が3分間の持続的把握作業を行うのに対し、出村ら<sup>4)</sup>は「もはや動かすことができない」と主観的に判断される、疲労困憊まで反復的な等速性筋力発揮を行っており、作業時間も5分~10分と長かった。つまり、本研究に比べ、休息前の作業負荷は高く、筋疲労度も高かったと推測され、これらが筋力発揮値に及ぼすPL照射の効果の違いに影響したことも考えられる。

一方、血中乳酸濃度は、PL照射時の方が有意に高い低下率（回復率）を示した。したがって、

持続的把握作業後の筋疲労状態におけるPL照射は、筋力発揮値や主観的筋疲労感覚に反映するほど大きなものではないが、血中乳酸濃度の低下などの生理学的応答には影響すると推測される。山本ら<sup>1)</sup>は、激運動後の筋力発揮および血中乳酸濃度に及ぼす筋疲労の積極的回復方法の影響を検討し、ストレッチングおよびマッサージでは筋力発揮の回復に、軽運動は血中乳酸濃度の回復にそれぞれ効果が認められたと報告している。また、ホットパックは血流量の増加が認められず、血中乳酸濃度、筋力発揮の回復にも効果が認められなかったと報告している。この結果について、山本らは作業能力を回復させるには、能動的にしる他動的にしる、筋の収縮が積極的筋疲労回復には必要であると述べている。しかし、本研究では、ホットパックと同様、休息中は筋を動かさずPL照射による温熱刺激のみであったが、血中乳酸濃度の回復が認められた。血中乳酸濃度の回復は、筋血流量の動態と関係が深い。石丸ら<sup>26)</sup>は半導体低出力レーザーを経穴（俠脊穴）に15分間照射することにより、局所的血流量が $20.6 \pm 6.3 \text{ ml/min/100g}$ から $31.3 \pm 6.0 \text{ ml/min/100g}$ に有意に上昇することを報告している。また、輪島ら<sup>12)</sup>も同様にPL照射による物理的効果として、照射部位の皮膚温上昇や局所血流量の増加を報告している。本研究で利用したPL照射は半導体低出力レーザーやヘリウムネオンレーザーに比べ、高出力（1800mW）であり、生体深達部への到達度が高いことから、表層部だけでなく筋組織部の血流量上昇や温熱効果が期待できる。本研究では、皮膚の表面から深さ15～25mmの筋酸素動態を測定した。両照射条件とも持続性把握作業から2分後あたりまでは、作業による血管拡張による運動後充血<sup>27)</sup>によって総Hb量、Oxy-Hb量の増加が認められ、その後、急激に減少した。照射期間中の総Hb量およびOxy-Hb量は、非照射条件において休息約8分後から緩やかに減少したのに対し、

照射条件において安静時よりも高いレベルを維持した。照射中の総Hb量およびOxy-Hb量は、PL照射条件の方が大きい値を示した。休息期間中は安静時と同じ姿勢であったため、筋内圧の上昇など、血流を阻害する要因が殆どないと考えられる。このような状態では総Hb量が血流量を反映していると推測されることから<sup>15)</sup>、PL照射による温熱刺激が血管拡張を引き起こし、血流量を増加させたと考えられる<sup>9,12)</sup>。総Hb量および脱酸素化Hbのいずれも、非照射条件において照射の後半局面で低下が起こったため、本研究で行った10分よりも長く照射した場合、照射条件間の差はさらに大きくなる可能性がある。

以上、休息期間後における持続的把握作業値、および主観的筋疲労感覚の回復は、PL照射の有無によってその回復傾向には差異はないと考えられる。しかし、持続的把握作業後のPL照射が血中乳酸濃度の低下および総Hb量やOxy-Hb量の増加に影響を及ぼすことが認められ、PL照射が生理学的応答（筋酸素動態、血中乳酸濃度）に作用していると推測された。また、PL照射時間の延長により、筋酸素動態に及ぼすPL照射の影響が顕著になる可能性が唆された。今後、休息時間と照射時間を長く設定し、PL照射の影響を検討する必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

健常な学生18名（男子7名、女子11名）を対象として、直線偏光型近赤外線照射（近赤外線照射）が持続性把握作業後の筋疲労回復に及ぼす効果を検討した。以下のことが明らかにされた。

3分間の持続的把握作業後の筋力発揮値、および主観的筋疲労感覚の回復において、PL照射の効果は認められない。一方、照射前後の血中乳酸濃度、および照射中の筋酸素動態などの生理学的変数にPL照射の影響が認められる。これらは試合間隔が短く、速やかに筋疲労を回復しなければ



ならないような競技場面における PL 照射の有効性を示唆するものである。また、照射時間の延長により、総 Hb 量と Oxy-Hb 量に及ぼす PL 照射の影響が顕著になる可能性が示唆された。

## 謝 辞

本研究に対して、研究助成を賜った、財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。

## 文 献

- 1) 山本正嘉, 山本利春. 激運動後のストレッチング, スポーツマッサージ, 軽運動, ホットパックが疲労回復に及ぼす効果—作業能力および血中乳酸の回復を指標として—. 体力科学, 42, 82-92 (1993)
- 2) 山次俊介, 出村慎一, 長澤吉則, 中田征克, 松澤甚三郎, 島田茂. キネシオテーピングが下肢の等速性筋力発揮に及ぼす効果. 体力科学, 48, 281-290 (1999)
- 3) 出村慎一, 山次 俊介, 長澤吉則, 松沢甚三郎. キネシオテーピングが激運動前後の等速性筋力発揮および膝関節可動域に及ぼす効果. 教育医学, 45, 821-831 (1999)
- 4) 出村慎一, 山次俊介, 長澤吉則, 小林秀紹, 南雅樹, 豊島慶男. 激運動後の等速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)
- 5) 渡辺俊男 疲労と休養. 体育の科学, 32, 552-555 (1982)
- 6) 松井秀治. スポーツにおける疲労—疲労の科学—. 臨床スポーツ医学, 3, 495-503 (1986)
- 7) 和辻直, 石丸圭荘. 低出力レーザーの臨床効果に関する検討—腰痛に対する治療効果について—. 日本東洋医学会雑誌, 42, 71-76 (1991)
- 8) 出村慎一, 戎利光, 豊島慶男. 大腿前部へのレーザー光線照射が垂直跳びパフォーマンスに与える影響について. 北陸体育学会紀要, 30, 9-16 (1994)
- 9) 小林秀紹, 出村慎一, 松澤甚三郎, 多田信彦, 南雅樹. 経穴に対する直線偏光近赤外線による手指循環動態. 教育医学, 42, 132-137 (1996)
- 10) 松澤甚三郎, 出村慎一, 中比呂志. 足関節に対する近赤外線照射が足首柔軟性に及ぼす効果. 教育医学, 41, 316-322 (1996)
- 11) 吉澤明孝, 峯島孝雄, 関誠. 低出力レーザー, 直線偏光近赤外線による星状神経節近傍への照射効果について, 理学療法, 5, 13-18 (1994)
- 12) 輪島善一郎, 設楽敏夫, 井上哲夫, 小川龍 直線偏光型近赤外線 (スーパーライザー™) による星状神経節近傍照射の皮膚温, 皮膚血流量に及ぼす影響. 麻酔, 45, 433-8 (1996)
- 13) 青木純一郎・富田寿人・富岡郁夫. (1983) 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. ウォーミングアップとクーリングダウンに関する研究, 27-33 (1983)
- 14) 東京都立大学体育学研究室編, 日本人の体力標準値, 第 4 版, 不昧堂, 東京, 98-101.
- 15) 酒井秋男, 斎藤建夫. 近赤外線分光法を用いた組織酸素消費量の無侵襲連続測定, *Therapeutic Research*, 16, 247-250 (1995)
- 16) Borg, G. Administration of the Borg Scales. In : Borg G.(Ed.) Borg's perceived exertion and pain scales. Human Kinetics : United States, pp.44-52 (1998)
- 17) Royce, J. Isometric fatigue curves in human muscle with normal and occluded circulation. *Res. Quart.*, 29 : 204-212 (1958)
- 18) Stephens, J.A. & Taylor, A. Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J. Physiol.*, 220, 1-18 (1972)
- 19) 石黒光祐, 北村潔和. 競技者と一般学生の最大握力と最大握力の持続能力. *J.J.S.S.*, 4, 61-67 (1985)
- 20) 山次俊介, 出村慎一, 長澤吉則, 中田征克, 吉村喜信, 松沢甚三郎, 豊島慶男. 持続性最大握力発揮における静的筋持久力の評価変数の検討, 体育学研究, 45, 695-706 (2000)
- 21) 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および血清 FFA に及ぼす影響. 体力科学, 31, 306-311 (1982)
- 22) 市川紀則明, 吉田正樹. 筋疲労回復におけるストレッチングの効果-筋電図の周波数解析による検討-. 運動生理, 6, 181-185 (1991)
- 23) 石田浩司, 高石鉄夫, 宮村実晴. 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)
- 24) 後藤真二, 櫻崎龍一. 水泳による積極的回復がその後の血中乳酸動態およびパフォーマンスに及ぼす影響, デサントスポーツ科学, 16, 209-216 (1995)

- 25) Tiidus, P.M. Manual massage and recovery of muscle function following exercise: a literature review. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 25, 107-12 (1997)
- 26) 石丸圭莊, 篠原昭二, 和辻直, 山際賢, 北出利勝. 皮

膚接触式半導体低出力レーザー照射および鍼刺激が上肢末梢循環におよぼす影響. *日本レーザー医学会誌*, 13, 33-40 (1992)

- 27) 斎藤満, 加賀谷淳子, 循環-運動時の酸素運搬システムの調節-, *NAP*, 東京, 167 (1999)