

上肢における直線偏光近赤外線照射が持続的把握作業の主観的疲労感覚及び皮膚血流量に及ぼす影響

著者	元祐 謙吾, 出村 慎一, 山次 俊介, 中田 征克, 長澤 吉則
雑誌名	サーキュラー = circular
巻	61
ページ	135-141
発行年	2000-01-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/29367

上肢における直線偏光近赤外線照射が 持続的把握作業後の主観的筋疲労感覚及び皮膚血流量に及ぼす影響

元祐 謙吾¹⁾出村 慎一²⁾山次 俊介³⁾中田 征克⁴⁾長澤 吉則⁵⁾

The effect of linear polarized near-infrared light irradiation on subjective muscle-fatigue sensation and cutaneous blood flow in upper limb after sustained handgrip exertion

Kengo MOTOSUKE¹Shinichi DEMURA²Shunsuke YAMAJI³Masakatsu NAKADA⁴Yoshinori NAGASAWA⁵

Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of linear polarized near-infrared light (PL) irradiation on muscular exertion, subjective muscle-fatigue sensation, cutaneous blood flow and skin temperature in the upper limb after sustained handgrip exertion. Subjects were thirty healthy college students. In the PL irradiation condition, each subject was PL irradiated for three-minutes at the fatiguing muscles of the upper limb during five-minutes rest. It was considered that the effect of the PL irradiation on parameters selected in this study is negligible.

緒 言

疲労は身体的疲労と精神的疲労に大別され^{1, 5)}, いずれも生理的・心理的に生体の恒常性が一時的に乱れることにより機能や作業能力が低下した状態であるといわれている⁴⁾。競技スポーツにおいて、競技中に生起する疲労を抑えて、いかに高いパフォーマンスを持続できるかが重要とされる。また、競泳や陸上競技における予選と決勝、トーナメント方式による勝ち抜き戦など、一日の間に短い休息を挟み何度も試合を行うことが多い。各試合において高いパ

フォーマンスを発揮するためには、疲労を短時間に効率的に回復することが必要となる。先行研究において、筋疲労の回復にはマッサージや軽運動、ストレッチングなどにより積極的に筋血流量を増加させ、乳酸などの代謝産物を除去する方法が効果的であると報告されている^{3, 13)}。これらの積極的な疲労回復法には、軽運動やストレッチングのような自発的に筋血流量の増加を期待する方法とマッサージや鍼灸、ホットパックのような外部からの刺激、温熱効果により効果を期待する方法がある。特に後者は、競技中やその後のリラクゼーションを兼ねて積極的

1) 金沢大学大学院教育学研究科

2) 金沢大学教育学部

3) 福井工業高等専門学校

4) 金沢美術工芸大学

5) 秋田県立大学短期大学部

1. Kanazawa University, Graduate School of Education

2. Kanazawa University, Faculty of Education

3. Fukui National College of Technology

4. Kanazawa College of Art

5. Akita Prefectural College of Agriculture

に利用されつつある。しかし、これらの方法は、知識や手技を習得した専門家を必要とし、誰もが手軽に行える方法とはいえない。

近年、直線偏光近赤外線照射（以下、近赤外線照射）が疼痛軽減に有効であることから、理学療法の一手段として利用されている。近赤外線照射は、これまでのレーザー治療器に比べ、出力レベルや生体透過性が高い。したがって、照射により、光線の温熱刺激や光線刺激が生体深部まで到達し、照射部位全体に広がる。その結果、皮膚温、筋温の上昇や血流量の増加などが報告されており、また、障害者の疼痛緩和に対する臨床成績も非常に高いことが明らかにされている^{7, 12)}。近赤外線照射により温熱刺激を与えることが可能であるから、マッサージや鍼灸と同様に、外部刺激により筋血流を促進する効果が期待できる。近赤外線照射は、操作が簡便で、安全に誰にでも扱うことができ、積極的な疲労回復法としての利用可能性が高いと考えられる。しかし、近赤外線照射が筋疲労回復に及ぼす効果を検討した研究はほとんどみられず、また近赤外線照射による生理学的応答についても十分に検討されているとはいえない。

本研究の目的は、近赤外線照射が運動直後の上肢における主観的筋疲労感覚及び皮膚血流量に及ぼす影響を明らかにすることである。

方 法

1. 被験者

本研究の被験者は、健康な大学生男女各15名、計30名であった。体格特性（表1）は男女ともに、同年齢段階の標準値と比べ、体重はやや重く、身長及び握力はほぼ同じであった¹¹⁾。被験者には、実験前に本研究の主旨、実験手順及び内容を十分説明し、実験参加の同意を得た。

表1 被験者特性（男子15名、女子15名）

		平均値（標準偏差）	
		男子	女子
身長	cm	172.9 (5.61)	160.1 (5.37)
体重	kg	68.4 (10.17)	56.8 (5.30)
年齢	歳	21.6 (2.01)	21.2 (0.57)
握力	kg	46.8 (4.97)	31.6 (5.62)

注) 握力：2回測定の平均値

2. 測定変量

筋疲労の指標として、本研究では、持続的把握作業における筋力発揮値（以下、把握筋持久力）、主観的筋疲労感覚を選択した。また、近赤外線照射による生理学的応答の指標として、皮膚温及び皮膚組織内ヘモグロビン量（以下、皮膚 Hb 量）を選択した。皮膚 Hb 量は、皮膚血液量の増減と高い相関関係にあり、皮膚血流量をある程度推定可能である¹⁰⁾。

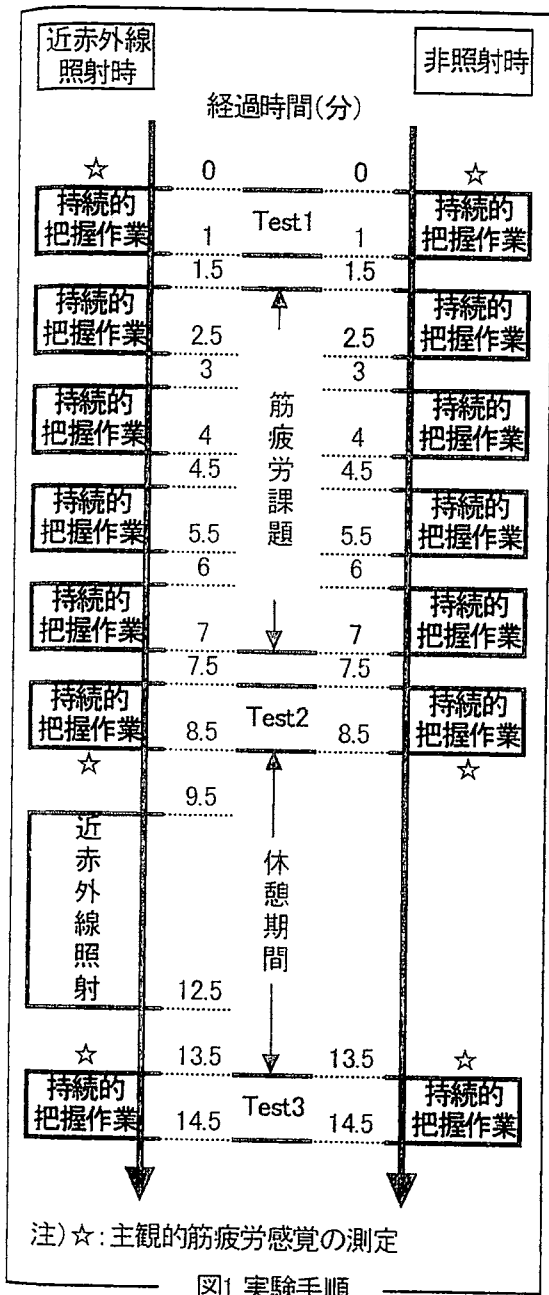
把握筋持久力は、最大努力による1分間の持続的把握作業における筋力発揮値の総和を時間で除したもの（単位時間力積）とした。主観的筋疲労感覚の測定は、Borg²⁾の尺度を邦訳して利用した（表2）。皮膚温及び皮膚 Hb 量は利き手の橈骨突出部においてプローブを装着し測定した。皮膚温及び皮膚 Hb 量の測定は、PSA-III（バイオメディカルサイエンス）を利用した。皮膚 Hb 量はプローブを装着する位置により測定値が変動することから、安静時を100とした時の相対値に変換した。

3. 実験装置

近赤外線照射には SUPER LIZER HA-30（東京医研製）を用いた。先行研究⁷⁾を参考に、照射強度80%、照射時間5秒、休止時間1秒の断続照射を3分間行った。照射部位は、把握作業に関与すると考えられる前腕内側の筋群とした。

表2 主観的筋疲労感覚

0	疲れが無い
0.5	疲れを感じる
1	ほんの少し疲れた
2	少し疲れた
3	疲れた
4	ある程度疲れた
5	かなり疲れた
6	
7	非常に疲れた
8	
9	
10	殆ど疲れの限界である
●	もはや動かすことはできない



定した。測定値は握力計からの信号を A/D 変換し、パソコンに1/20秒毎に取り込んだ。実験中は把握作業による筋力発揮値がパソコン画面上に表示されており、被験者はそれを見ながら最大努力による1分間の持続的の把握作業を行った。

4. 実験手順

実験は図1に示す手順で行った。被験者は1日以上の間隔を空け、近赤外線照射と非照射の条件に参加した(被験者内測定計画)。測定は座位姿勢で行い、利き手を用いた。握り幅は被験者の任意としたが、2回の実験条件(照射及び非照射)で統一した。把握筋持久力及び主観的筋疲労感覚は、筋疲労課題前(Test1)、終了30秒後(Test2)、及び5分間の休息後(Test3)の、計3回測定した。皮膚温及び皮膚Hb量は、実験前の安静時、及び実験全体(図1の全域)を通じて測定した。近赤外線照射条件の場合、休息期間中に3分間の近赤外線照射を行った。筋疲労を生起させる課題(以下、筋疲労課題)として、Test1~3と同様の、1分間の持続的の把握作業を、30秒の休息を挟み1回繰り返した。

5. 統計解析

把握筋持久力について、近赤外線照射の有無(要因1)と筋疲労課題(Test1~3: 要因2)を要因とした二要因とも対応のある二要因分散分析を行った。主観的筋疲労感覚についても同様の分析を行った。筋疲労課題実施前後における皮膚温及び皮膚Hb量の変動を検討するために、Test1~3の持続的の把握作業中の皮膚温及び皮膚Hb量(1分間の平均値)の変化を、近赤外線照射の有無別に、対応のある一要因分散分析により検討した。各変量において、有意な交互作用あるいは主効果が認められた場合はTukeyのHSD法を用いて多重比較検定を行った。なお、本研究の統計的有意水準は5%とした。

結 果

図2-1及び図2-2は把握筋持久力及び主観的

射には皮膚上の1点を刺激できるユニットを用いたことから、断続照射の休止時間中に照射箇所を移動し、前腕内側の筋群全体に照射するように配慮した。握力及び把握筋持久力は、握力解析システム EG-100(酒井医療製)により測

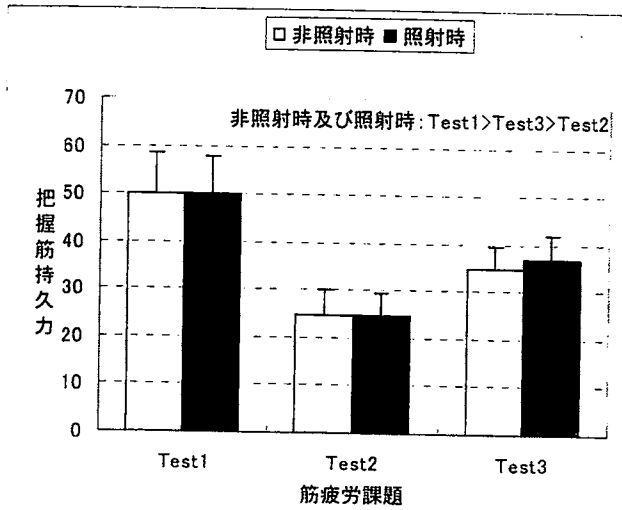


図2-1 筋疲労課題実施前後における把握筋持久力の変動

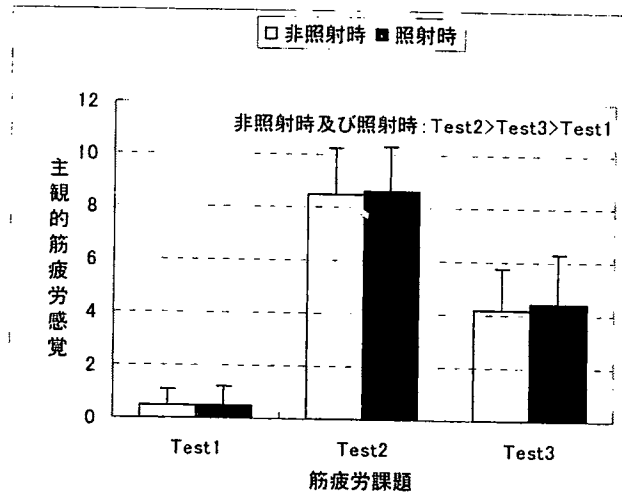


図2-2 筋疲労課題実施前後における主観的筋疲労感覚の変動

筋疲労感覚の分散分析の結果を示している。いずれも有意な交互作用は認められず、筋疲労課題に有意な主効果が認められた。多重比較検定の結果、近赤外線照射の有無に関係なく、Test1, Test3, Test2の順に、把握筋持久力は高い値を示し、主観的筋疲労感覚は低い値を示した。

表3は、皮膚温及び皮膚Hb量の変動を示している。いずれも筋疲労課題において有意な主効果が認められた。多重比較検定の結果、皮膚温は把握テストごとに上昇し、皮膚Hb量は筋疲労課題実施前よりも実施後及び休息後に高い傾向にあった。

表3 筋疲労課題実施前後における皮膚温及び皮膚Hb量の変動 (n=30)

		平均値 (標準偏差)			分散分析結果		
		Test1	Test2	Test3	筋疲労課題	個人差	多重比較
非照射時	皮膚温	32.6 (1.30)	33.2 (0.88)	33.7 (0.79)	26.101 **	6.652 **	Test3>Test2>Test1
	皮膚Hb量	91.7 (25.46)	107.8 (31.10)	116.3 (36.10)	22.999 **	12.850 **	Test2, Test3>Test1
照射時	皮膚温	32.3 (2.05)	33.1 (1.19)	33.6 (0.96)	22.975 **	10.103 **	Test3>Test2>Test1
	皮膚Hb量	96.8 (26.70)	116.3 (37.01)	125.0 (42.49)	21.680 **	11.962 **	Test2, Test3>Test1

注) **: $p < 0.01$, Test1~3及び筋疲労課題は図1を参照

考 察

筋疲労課題において持続的の把握作業は合計4セット行われた。把握筋持久力はその直後の持続的の把握作業において最も低く、5分間の休息後の持続的の把握作業において有意に高くなったが、安静時よりも低かった。一方、主観的筋疲労感覚は、筋疲労課題直後が最も高く、休息後に有意に低下したが、安静時よりも高かった。以上の結果から、筋疲労課題実施による筋疲労により把握筋持久力は低下し主観的筋疲労感覚は高まった、そして、5分間の休息により把握筋持久力はある程度回復し主観的筋疲労度も軽減したが、安静時レベルには戻らなかったと考えられる。

李ら⁸⁾は、最大努力の10%を断続的に発揮する把握作業を用いて、発揮間の休息時間を時間経過と共に短くし、最終的に一定時間の連続発揮を要求する筋疲労課題を実施し、その時の主観的筋疲労感覚の変動を測定した。また、斉藤ら⁹⁾は、最大随意収縮(MVC)の25%の持続的の把握作業を用いて、MVCの25%の筋収縮を維持できなくなるまで把握作業を続けさせる筋疲労課題を実施し、その時の主観的筋疲労感覚を測定した。両研究において、主観的筋疲労感覚は把握作業の進行とともに上昇傾向を示した。また、筋疲労課題終了時の主観的筋疲労感覚は、それぞれのスケールの最高値を100%とした時、李ら⁸⁾の結果では約55% (疲労感が強い)であり、斉藤ら⁹⁾の結果では殆ど100% (決められた張力を維持できない)であった。本研究の筋疲労課題は、最大努力で1分間の持続的の把握作業を30秒の休息を挟み4回繰り返すもので、李

ら⁸⁾や斉藤ら⁹⁾の筋疲労課題とは異なった。また、本研究における筋疲労課題終了直後の主観的筋疲労感覚は、最高値の約85% (非常に疲れた~殆ど疲れの限界)で、筋疲労課題直後の把握テストにおける把握筋持久力は握力の25%以下であった。よって、本研究の筋疲労課題は筋疲労をほぼ生起させる内容であったと考えられる。

長澤ら⁴⁾は、握力最大値の25、35、50及び75%を要求値とした握力持続発揮時の力量と主観的筋疲労感覚の関係を検討し、より高い要求値ほど、要求値の発揮を維持できなくなった時点、及びその30秒後の主観的筋疲労感覚がともに低値であったこと、あるいはすべての要求値において、要求値を維持できなくなった後も筋力発揮を続けた時に主観的疲労感覚が最高になることを報告している。本研究では、筋疲労課題直後における主観的筋疲労感覚の平均値は8.5~8.6であり、得点範囲は非照射条件で5.0~10.0、照射条件で3.0~10.0であった。最高値10.0に達した人数は、それぞれ12人と8人であった。この結果から被験者は、本研究における筋疲労課題によって筋疲労の限界に達していなかった者が半数以上いたと考えられる。

本研究の結果、休息後における把握筋持久力の回復、及び主観的筋疲労感覚の軽減に、近赤外線照射の効果は認められなかった。山本ら³⁾は、激運動後の作業能力及び血中乳酸濃度に及ぼす筋疲労回復法の効果を検討し、ストレッチング及びスポーツマッサージでは作業能力の回復に、軽運動では血中乳酸濃度の回復に効果が認められたが、ホットパックはいずれにも効果が認められなかったと報告している。ホット

バックの結果に関しては、血流の改善が認められなかったためと考察し、作業能力を早く回復させるためには、能動的、受動的に関わらず、疲労した筋を動かす必要があると述べている。出村ら³⁾は、激運動後の等速性筋力発揮値及び主観的筋疲労感覚に及ぼす近赤外線照射の影響を検討し、経穴照射及び大腿筋群照射の効果が低速の伸展動作において認められたと報告している。さらに、経穴照射では主観的筋疲労感覚がより軽減されたこと、及び大腿筋群照射では中速の伸展動作においても等速性筋力発揮値の回復が認められたことを報告している。

山本ら¹³⁾及び出村ら³⁾の研究結果と比較し、本研究では筋疲労回復の効果が認められなかった理由として以下のことが考えられる。

1. 筋疲労回復法を実施した時間、つまり、照射時間及び休息時間の違い。本研究の近赤外線照射は3分であったが、両研究では、筋疲労回復法を10分間実施している。
2. 筋疲労課題の違い。山本ら¹³⁾や出村ら³⁾の筋疲労課題は下肢の動的な筋力発揮であったが、本研究では上肢の静的な筋力発揮であった。また、同じ下肢の筋力発揮でも、自転車エルゴメーターの全力駆動を用いた山本ら¹³⁾では効果がなく、等速性筋力発揮を用いた出村ら³⁾の近赤外線照射では効果が認められた。筋疲労課題の設定や、その筋収縮特性、及び運動する部位などによって、筋疲労回復の効果は異なる可能性がある。

一方、本研究において筋疲労課題実施前後の皮膚温及び皮膚 Hb 量を検討した結果、近赤外線照射の有無に関係なく、皮膚温及び皮膚 Hb 量は安静時レベルに比べ、筋疲労課題直後及び5分間の休息後に高かった。よって、皮膚温及び皮膚 Hb 量の増加は運動実施によるもので、5分間の休息でも回復しなかったと考えられる。また運動後の休息中に行った近赤外線照射は、皮膚温や皮膚血流量を著しく増進させるほどの効果はなかったと推測される。先行研究^{7, 12)}では、安静時において、近赤外線照射による皮膚温及び皮膚血流量の増加が報告されている。以上のことから、運動直後の生体は代謝亢進な

ど、安静時と比較して様々な変化が起きており、その時に近赤外線照射を実施しても、運動による生体への影響が大きいいため、その影響は相対的に小さいと推測される。本研究では、先行研究⁷⁾を参考に、照射時間及び照射強度を設定した。本研究で運動直後の休息期間中に実施した3分間の近赤外線照射は、筋疲労の回復を促進するものではなく、筋力発揮値や主観的筋疲労感覚に影響しなかったと考えられる。

まとめ

上肢の筋疲労回復に及ぼす近赤外線照射の効果を検討した結果、以下の知見が得られた。近赤外線照射は、筋疲労課題後の5分間の休息中に3分間実施した。

- 1) 本研究で設定した筋疲労課題は、筋疲労を生起させる内容である。
- 2) 近赤外線照射の有無に関係なく、把握筋持久力及び主観的筋疲労感覚は、筋疲労課題後有意に変化し、休息後も安静時レベルにまでは回復しなかった。よって、本研究の条件では、把握筋持久力及び主観的筋疲労感覚に及ぼす近赤外線照射の効果はない。
- 3) 近赤外線照射の有無に関係なく、筋疲労課題直後で皮膚温及び皮膚 Hb 量は高まり、皮膚温は休息後も上昇した。運動後の近赤外線照射は皮膚温及び皮膚 Hb 量に影響しない。

文 献

- 1) 相澤好治 (1990) 運動負荷と疲労 からだの科学 148:43-46.
- 2) Borg, G. (1982) A category scale with ratio properties for intermodal and interindividual comparisons. In: Geissler, H. G. and Petzold, P. (Eds.) Psychophysical judgment and the process of perception. North-Holland Publishing Company: Amsterdam. pp. 25-34.
- 3) 出村慎一・山次俊介・長澤吉則・小林秀紹・南 雅樹・豊島慶男 (2000) 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.
- 4) 伊藤 朗・秦野伸二 (1985) 最近の疲労の測定 臨床検査 29(10):1153-1159.
- 5) 松井秀治 (1986) スポーツにおける疲労 (疲労の科学(特集)) 臨床スポーツ医学 3(5):495-503.

- 6) 長澤吉則・出村慎一・吉村喜信・山次俊介・中田征克・松澤基三郎 (2000) 握力持続発揮時の力量と主観的筋疲労感覚の関係 体力科学 49(4):495-502.
- 7) 長多好恵・談 勇・藤本一弘・小川秀道 (1992) 直線偏光型近赤外線照射による組織血流量の変化 第26回日本ペインクリニック学会抄録 pp.33-36.
- 8) 李 傳房・勝浦哲夫・原田 一・菊池安行 (1995) ニューラルネットワークを用いた生理的指標による疲労感の推定 人間工学 31(4):277-285.
- 9) 斉藤 満・間野忠明 (1989) 疲労感覚を手がかりとした交感神経活動の随意調節 疲労と休養の科学 4(1):97-104.
- 10) 田村 守 (1997) 近赤外分光法—人体内部を探る 計測と制御 36(5):344-348.
- 11) 東京都立大学体育学研究室編 (1989) 日本人の体力標準値(第四版) 不味堂出版(東京) pp.21-101.
- 12) 輪嶋善一郎・設楽敏朗・井上哲夫・小川 龍 (1996) 直線偏光型近赤外線治療器(スーパーライザー TM)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(4):433-438.
- 13) 山本正嘉・山本利春 (1993) 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—作業能力及び血中乳酸の回復を指標として— 体力科学 42:82-92.