

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

出 村 慎 一¹⁾ 山 次 俊 介²⁾ 長 澤 吉 則³⁾
小 林 秀 紹²⁾ 南 雅 樹⁴⁾ 豊 島 慶 男⁵⁾

EFFECT OF LINEAR POLARIZED NEAR-INFRARED LIGHT IRRADIATION ON THE RECOVERY OF ISOKINETIC MUSCLE EXERTION AFTER STRENUOUS EXERCISE

SHINICHI DEMURA, SHUNSUKE YAMAJI, YOSHINORI NAGASAWA, HIDETSUGU KOBAYASHI,
MASAKI MINAMI and YOSHIO TOYOSHIMA

Abstract

This study aimed to examine the effect of linear polarized near-infrared light (PL) irradiation on the recovery of isokinetic muscle exertion and subjective fatigue sensation in muscles after strenuous exercise. Eighteen healthy college students participated in the experiment for all conditions of meridian point irradiation (MPI), femurs muscles irradiation (FMI), and no irradiation (NI). They all took isokinetic knee extension and flexion tests (IK test) before and after strenuous exercise up to exhaustion. Each subject was irradiated at the meridian point or in femurs muscles after the second IK test. The third IK test was carried out after ten-minutes rest.

The effects of PL irradiation were confirmed on the recovery rate of muscle fatigue in knee extension motion with high load intensity (PT 60 d/s and TW 60 d/s : MPI, FMI > NI, $p < 0.05$; 16.2%, 13.4% > 8.5%, and 16.1%, 14.1% > 8.3%, respectively). Also, in flexion motion, significant differences in the recovery-degree for each condition were found, and the effect of PL irradiation was suggested. There was no difference between the effect of MPI and FMI. In addition, subjective fatigue sensation in muscles after rest decreased significantly in MPI as compared with NI (MPI : 52.1% > NI : 36.6%, $p < 0.05$). From the above, it was suggested that PL irradiation is effective on recovery in muscle fatigue after strenuous exercise regardless of irradiation conditions, MPI or FMI.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2000, 49 : 459~468)

key word : linear polarized near-infrared light, recovery of muscle fatigue, strenuous exercise

I. 緒 言

激しい運動後の筋疲労状態からの積極的な回復方法として、軽運動^{1~3)}、ストレッチング^{2,4)}、スポーツマッサージ^{5,6)}、鍼灸^{7~11)}、キネシオテーピング(KT)¹²⁾などが利用されている。これらの積極的な筋疲労の回復法は安静休息による消

極的な回復法よりも疲労回復を促進することが明らかにされており^{1,2,4,5)}、競技スポーツ選手のコンディショニング法として欠かせないものとなっている。積極的な疲労回復の方法として、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

¹⁾ 金沢大学教育学部
〒920-1164 石川県金沢市角間町

²⁾ 福井工業高等専門学校
〒916-8507 福井県鯖江市下司町

³⁾ 秋田県立大学短期大学部
〒010-0444 秋田県南秋田郡大潟村

⁴⁾ 金沢美術工芸大学
〒920-8656 石川県金沢市小立野

⁵⁾ 秋田大学医療技術短期大学
〒010-8543 秋田県秋田市本道1-1-1

Kanazawa University, Faculty of Education. Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa (920-1164)

Fukui National College of Technology. Geshi-cho, Sabae, Fukui (916-8507)

Akita Prefectural College of Agriculture. Ohgata-mura, Minamiakita-gun, Akita (010-0444)

Kanazawa College of Art. Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa (920-8565)

Akita University College of Allied Medical Science. Hondo, Akita-shi Akita (010-8543)

た乳酸を除去することと考えられている^{2,3,13)}。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、非常に有効な疲労回復法である^{1-4,5,12)}。しかし、これらの方法には専門的な技術と知識が必要とされ、実施する人の技量によって効果が大きく左右され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、生体深達性の高い波長の半導体レーザーやヘリウムネオンレーザーの光線治療が鎮痛効果、消炎効果、あるいは創傷治療に有効であるとして理学療法現場で注目されている¹⁴⁻¹⁶⁾。光線治療は痛みがなく、安全性が高く、操作も簡単であることから普及してきたが、レーザーの出力レベルが低いため、温熱感や刺激感とはほとんどなかった^{15,17-21)}。その後、出力レベルが比較高い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が開発され、半導体レーザーと同等の治療効果、並びに照射による温熱感や刺激感を有することが報告されている²⁰⁻²³⁾。理学療法現場では、疼痛部位や神経走行、または経穴に照射する方法と筋走行にそって照射する方法が主に利用されているが^{17,19,20,23)}、いずれの照射方法においても生理学的効果として血流量の増加や皮膚温の上昇などが報告されており¹⁴⁾、前述の積極的疲労回復の方法として有効と考えられる。

本研究の主たる目的は激運動後の筋力発揮値および主観的疲労度に及ぼす近赤外線照射の効果を検討することであった。

II. 研究 方 法

A. 被験者

被験者は健康な18名の学生(男子8名:年齢 21.4 ± 0.45 歳, 身長 171.8 ± 3.81 cm, 体重 68.5 ± 5.18 kg, 女子10名:年齢 21.4 ± 0.54 歳, 身長 160.7 ± 5.12 cm, 体重 57.8 ± 4.38 kg)であった。被験者には予め実験の方法、実験に伴う苦痛及び危険

性について十分説明を行い、実験参加の同意を得た。

B. 実験計画

被験者は経穴照射(MPI)、大腿筋群照射(FMI)、及び非照射(NI)の3条件で各3回の筋力発揮テストを行った(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3名ずつ6群にわけ、全ての組み合わせ順序(6組)にて実験を行った。各条件の測定間隔は約1週間であった。近赤外線照射のプラセボ効果が実験結果に影響すると考えられたため、予備実験では、対照群として照射条件と同じ部位に照射の真似をするプラセボ条件(偽照射条件)を設定した。しかし、近赤外線照射には温感と軽い刺激感を伴うため、被験者が全ての条件に参加する交差測定計画では偽照射条件であることが被験者に察知されることが明らかになった。よって、偽照射条件はプラセボ効果を考慮した条件になり得ないと判断し、統制群として非照射条件のみを設定した。なお、被験者には近赤外線照射のプラセボ効果を考慮し、実験の目的について近赤外線照射に期待される効果は告知しなかった。

C. 実験手順

本研究は図1に示す実験手順にて行った。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、及び実験の実施に問題がないことを確認した。各被験者はウォーミングアップとしてストレッチングと軽い自転車エルゴメータ運動を行った。ストレッチングの内容は被験者に一任したが、自転車エルゴメータ運動は心拍数が120~140拍/分に上昇するまで(運動時間:約10~15分)行うことを指示した。ウォーミングアップ終了後、等速性筋力測定器(Lumex社製 Cybex 325)を用いて膝関節屈曲及び伸展動作の等速性筋力測定(Isokinetic test: IK テスト)を行った。IK テストは60 d/s, 180 d/s 及び240 d/sの角速度でそれぞれ4回、4回、及び10回行った。各角速度における測定時間は約10秒、各角速度間の休憩は90秒に設定した。

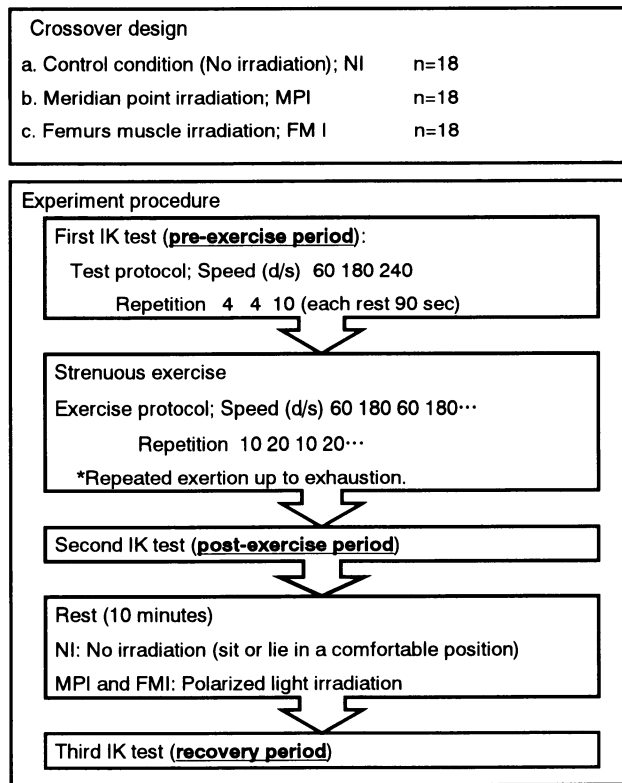


Fig. 1. Experimental design and procedure.

Note) The protocols in the second and third IK tests were the same as in the first IK test.
 The same subjects participated in the 3 IK tests.

1回目のIKテスト終了後、激運動として、60 d/s で10回、240 d/s で20回を10秒の休憩を挟んで、筋力発揮が不可能になるまで繰り返した。激運動継続時間には個人差が認められたが、5分～10分程度であった。

激運動後、IKテストを1回目と同じ作業プロトコルで再度行った。MPI、FMI条件はそれぞれの照射部位にスポット型近赤外線治療器(東京医研製 Super Lizer HA-30, 出力 1800 mW, 焦点径 10 mm, 波長帯 0.6 μ m～1.6 μ m)を用いて10分間の近赤外線照射を行った。また、NI条件は長座姿勢及び仰臥姿勢で5分、伏臥姿勢及び横臥姿勢で5分、計10分間の休憩した。休憩後、3回目のIKテストを1、2回目と同じ作業プロトコルで行った。

脚の主観的疲労度は、斎藤ら^{24,25)}が作成した

主観的疲労度の尺度を利用して、実験前、各IKテスト後、激運動後、及び休憩後にそれぞれ測定した。実験は一人1日あたり1回とし、測定時刻は被験者毎に午前あるいは午後の同じ時刻に行うように計画した。なお、実験中の室温は常に24℃に設定した。

D. 近赤外線照射方法

光線治療における一般的な照射方法は、経穴照射、神経照射、及び筋照射に分類される。それぞれの照射方法による生理的作用機序は明確にされていないが、臨床効果において血流量増加、疼痛軽減などが報告されている¹⁴⁾。経穴照射(MPI)は末梢神経系を刺激することから、ほぼ同じ作用機序による効果が期待される²³⁾。本研究では、照射方法として局所的な筋疲労状態の筋群に直接照

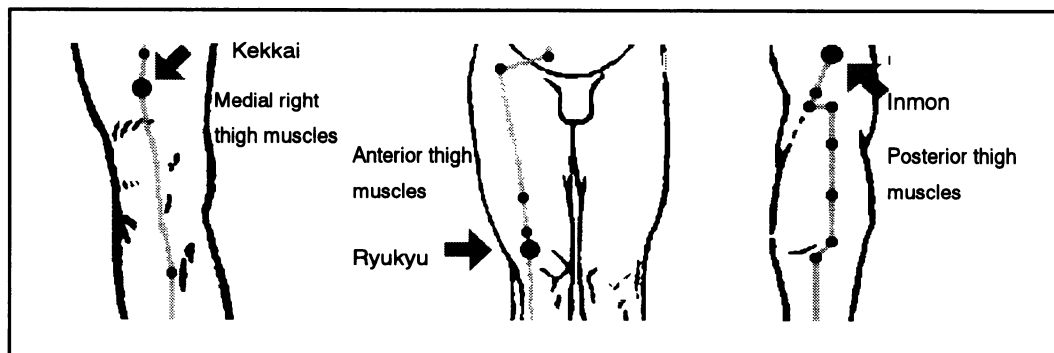


Fig. 2. Irradiation points in condition of meridian point.

射できる経穴照射及び筋照射を選択した。経穴照射(MPI)部位は大腿神経を刺激する血海、梁丘、及び殷門の3部位とした。図2は経穴照射部位を示している。血海は膝蓋骨の上縁から指4本分にあたる外側広筋上、梁丘は膝蓋骨の上縁から指4本分にあたる内側広筋上、殷門は大腿二頭筋の中央部にそれぞれ存在し、これらは臨床経穴図解²⁶⁾を参考に取穴した。大腿筋照射(FMI)部位は膝関節伸展屈曲の主動作筋である大腿直筋、外側広筋、内側広筋、及び大腿二頭筋の4部位とした。大腿直筋、外側広筋、及び内側広筋は筋腹の広い中央部を中心に照射し、大腿二頭筋は上部と下部の2箇所を中心に照射した。照射方法は照射強度100%、照射時間10分、5秒照射-1秒休憩(5 on-1 off)の様式を用いて、皮膚上に照射レンズを接触させるハンドイン法で近赤外線照射を行った。本研究で用いた近赤外線照射器は高出力(1800 mW)で深達性が最も高い波長帯(0.6 μ m~1.6 μ m)の光でスポット状に照射可能である。

E. 評価変量

各IKテストにおける筋力発揮の評価変量として、筋力発揮中の最大トルク値を示すピークトルク(Peak Torque; PT, ft·lbs)、全発揮値の総和を示す最大仕事量(Total Work; TW, ft·lbs)を算出した。また、持続的な筋力発揮の評価変量として、10回(240 d/s)の反復筋力発揮による、総仕事量(Work Set; WS, ft·lbs)を算出した。脚の主観的疲労度は、0:疲れていない~10:もはや動かす

ことはできないまでの12段階からなる^{24,25)}。

F. 解析方法

近赤外線照射が激運動後の筋疲労から筋力発揮回復に及ぼす効果を検討するために、式1より各照射条件の回復率を算出し、対応のある一要因分散分析により条件間の差を検定した。また、激運動前後、及び休憩後と照射条件の二要因とも対応のある二要因分散分析により、各照射条件による筋力発揮力量の差異、及び筋疲労からの回復過程の差異を検定した。有意な交互作用が認められた場合、単純主効果の検定を行った。

筋力発揮回復率:

$$\{(\text{IK test 3} - \text{IK test 2}) / \text{IK test 1}\} \times 100$$

——式1

激運動後から休憩後の主観的疲労度の低下率を式2より算出し、各照射条件間で対応のある一要因分散分析により検定した。

低下率:

$$\{(\text{激運動後の疲労度} - \text{休憩後の疲労度}) / (\text{激運動後の疲労度})\} \times 100$$

——式2

分散分析において有意な主効果あるいは単純主効果が認められた場合、水準間及び各セル平均間の有意差をScheffé法により一対比較で確認した。

先行研究において、近赤外線照射による生理学的反応、臨床効果などに性差の報告がみられず^{20,23)}、また、予備実験においても照射後の皮

膚温, 血流量に性差は認められなかったため, 解析は男女込みにして行った. なお, 本研究の統計的有意水準は5%とした.

Ⅲ. 結 果

表1は各照射条件による激運動前後, 休憩後の膝関節伸展及び屈曲動作(以下, 伸展, 屈曲)における各筋力発揮変量の基礎統計値を示している. 図3は各照射条件における休憩後の回復率の有意差検定の結果をそれぞれ示している. ほとんどの

変量において, 経穴照射(MPI)及び大腿筋群照射(FMI)条件の回復率が非照射(NI)条件より高い傾向にあった. 伸展のPT60とTW60においてMPI及びFMI条件がNI条件より, PT180とTW180においてFMI条件がNI条件より, それぞれ有意に高い回復率を示した.

表2は伸展と屈曲の各筋力発揮評価変量における照射条件間(主効果A)と激運動前後・休憩後(主効果B)の二要因分散分析の結果をまとめたものである. 伸展におけるPT60 d/s及びTW60

Table 1. Mean and SD of each parameter for NI, MPI and FMI conditions, respectively in pre-and post-strenuous exercises and ecovery period. (n=18)

Parameters (ft·lbs)	NI			MPI			FMI		
	PRE	POST	REC	PRE	POST	REC	PRE	POST	REC
Flexion									
PT 60 d/s	80.9 21.2	61.2 13.8	70.8 17.2	81.1 19.4	61.4 12.9	74.7 17.4	79.2 20.1	61.1 13.6	71.9 17.0
PT 180 d/s	68.1 18.7	60.7 16.5	63.4 17.3	68.0 19.6	58.7 12.3	63.6 15.8	68.1 20.5	60.6 14.6	62.0 16.4
PT 240 d/s	56.6 15.8	51.3 14.3	53.5 13.1	56.8 16.2	51.1 10.7	53.7 15.1	57.1 16.8	51.0 12.9	53.9 13.2
TW 60 d/s	99.9 28.6	68.7 18.2	84.5 24.7	102.9 24.9	67.6 15.3	88.9 21.6	100.4 27.2	69.2 15.5	87.1 19.9
TW 180 d/s	81.2 24.5	66.4 19.7	72.7 23.9	82.6 26.0	63.2 13.5	71.6 20.6	83.5 25.1	66.4 17.5	71.4 17.9
TW 240 d/s	71.9 22.7	60.7 19.3	65.3 20.2	73.3 22.3	59.9 12.2	66.3 19.2	73.9 22.1	58.8 15.8	66.6 15.8
WS 240 d/s	629.6 203.0	537.7 162.6	585.9 182.0	641.7 195.7	529.7 111.1	601.9 171.2	657.9 190.2	524.3 139.1	599.0 141.6
Extension									
PT 60 d/s	147.3 33.2	114.7 20.0	128.8 28.7	146.2 31.5	115.6 18.2	139.2 28.6	149.8 31.8	118.2 23.7	138.7 30.0
PT 180 d/s	107.1 27.7	92.7 16.6	96.8 22.9	105.4 23.9	92.2 15.7	99.3 21.2	107.5 30.3	92.2 18.7	100.9 22.2
PT 240 d/s	88.2 23.8	76.5 15.9	81.9 20.7	87.0 21.9	79.0 15.9	82.8 20.1	86.7 23.5	77.3 15.3	82.6 18.4
TW 60 d/s	148.3 37.0	110.6 18.1	125.3 31.5	145.9 31.6	110.9 18.8	136.8 28.6	151.3 34.4	115.8 19.5	138.0 26.3
TW 180 d/s	108.3 31.0	88.1 16.8	96.1 26.2	107.5 27.1	89.9 15.9	99.1 23.2	109.8 31.5	89.7 18.9	102.2 26.6
TW 240 d/s	97.4 29.9	81.1 20.1	89.5 26.3	96.3 27.2	81.9 19.5	90.3 23.3	96.8 28.0	81.7 16.5	90.7 21.1
WS 240 d/s	865.3 264.0	723.3 171.4	804.8 231.1	847.3 219.7	744.4 167.8	821.2 211.0	875.8 254.0	733.0 149.9	823.2 180.3

Note) PRE, POST and REC mean pre- and post-strenuous exercises and recovery period, respectively. SD means standard deviation.

NI, MPI and FMI mean no irradiation, meridian point irradiation and femurs muscles irradiation condition, respectively.

PT : Peak torque= maximal torque during four muscle exertions.

TW : Total work=work when exerted PT (area enveloped under the torque curve).

WS : 10 total work=sum of total work during 10 muscle exertions at 240 d/s.

Upper figure in each parameter shows the mean value and the lower one SD.

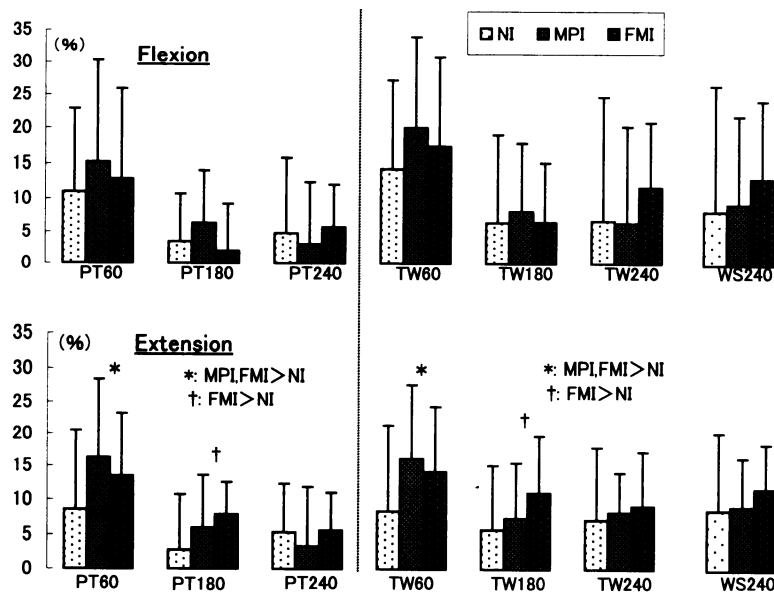


Fig. 3. Repeated one-way ANOVA among recovery rates of muscle exertion in 3 conditions.

Note) Parameters are the same as those in table 1.

Recovery rates of muscle exertion ; $[(\text{IK test 3} - \text{IK test 2}) / \text{IK test 1}] \times 100$

IK test 1 ; IK test in pre-strenuous exercise (SE), IK test 2 ; IK test in post-SE.

IK test 3 ; IK test in post-recovery period.

FMI > NI : Recovery rate of FMI is significantly greater than that in NI.

* , † : $p < 0.05$

Table 2. The results of repeated two-way ANOVA in each parameter of IK test.

Parameter	two-way ANOVA			post-hoc			B REC
	A	B	Inter- action	NI	A MPI	FMI	
Flexion							
PT 60d/s		*		pre>rec>post	pre,rec>post	pre,rec>post	
PT 180d/s		*		pre>post,rec	pre,rec>post	pre>post,rec	
PT 240d/s		*		pre>post	pre>post	pre>post	
TW 60d/s		*		pre>rec>post	pre>rec>post	pre>rec>post	
TW 180d/s		*		pre>post,rec	pre>rec>post	pre>post,rec	
TW 240d/s		*		pre>post,rec	pre>rec>post	pre>rec>post	
WS240d/s		*		pre>post	pre,rec>post	pre,rec>post	
Extension							
PT 60d/s	*	*	*	pre>post,rec	pre>post	pre>post	FMI, MPI > NI
PT 180d/s		*		pre>post,rec	pre>post	pre>rec>post	
PT 240d/s		*		pre>post,rec	pre>post	pre>post	
TW 60d/s	*	*	*	pre>post,rec	pre,rec>post	pre,rec>post	FMI, MPI > NI
TW 180d/s		*		pre>post,rec	pre,rec>post	pre,rec>post	
TW 240d/s		*		pre>rec>post	pre,rec>post	pre,rec>post	
WS240d/s		*		pre>rec>post	pre,rec>post	pre,rec>post	

Note) A : main factor A (NI, MPI, and FMI conditions).

B : main factor B (3 conditions of pre- and post-strenuous exercise and recovery period). pre>post : value of pre-strenuous exercise is significantly greater than that of post one. Shaded portions mean that significant difference was found between NI and irradiation conditions.

PT, TW, WS, MPI, FMI and NI correspond to those in Table 1.

* : $p < 0.05$

d/s に有意な交互作用が認められた。その他の屈曲と伸展における全ての変量の主効果B (運動実施前後・休憩後) に有意差が認められた。多重比較検定の結果、各照射条件の全ての変量において激運動前後で有意な低下が認められた。屈曲と伸展の PT 180 d/s 及び TW 180 d/s、屈曲の TW 240 d/s 及び WS、及び伸展の TW 60 d/s において、NI 条件では激運動後から休憩後に有意な回復が認められなかったのに対し、MPI 条件では伸展の PT 180 d/s、FMI 条件では屈曲の PT 180 d/s と TW 60 d/s を除き有意な回復が認められた。また、屈曲と伸展の PT 60 d/s、伸展の PT 240 d/s、TW 240 d/s 及び WS において、NI 条件は休憩後が激運動前より有意に低くかったのに対し、MPI 及び FMI 条件は休憩後と激運動前に有意差が認められず、回復が認められた。さらに伸展における PT 60 d/s と TW 60 d/s において休憩後に MPI 及び FMI 条件が NI 条件より有意に大きかった。

主観的疲労度は実験前 0～0.5 (疲れていない) であったが、激運動直後には 7～9 (非常に疲れている～最大限に疲れている) に変化した。休憩後の主観的疲労度は照射条件によって個人差が認められ、NI、MPI、及び FMI 条件のそれぞれの平均値は 4.56 ± 2.09 , 3.72 ± 1.48 , 及び 4.27 ± 1.41 であった。図 4 は激運動後から休憩後の主観的疲労度の低下率の条件差を検討した結果を示している。MPI 条件が NI 条件より有意に大きな低下率を示し、休憩後に疲労感が軽減した。

Ⅳ. 考 察

激しい運動後の局所的な筋疲労の積極的な回復方法として、軽運動^{1～3)}、ストレッチング^{2,4)}、スポーツマッサージ^{5,6)}、鍼灸^{7～11)}、キネシオテーピング(KT)¹²⁾、ホットパック²⁾などが競技スポーツ選手に利用されている。これらの多くは筋疲労部位の筋血流量を増加させ、疲労物質の除去を促進することを目的としており、客観的な資料に基づきその効果がいくつか報告されている^{1, 2,4,5,12)}。しかし、これらの実施には専門的な知識や技量が必要とされるため誰もが簡単に実施できる方法とはいえない。

近年、理学療法現場に広く普及している光線照射治療は安全性、簡便性が高く、且つ疼痛軽減などの臨床効果も高いといわれている¹⁹⁾。従来、刺激感がなく、非温熱作用として疼痛軽減、消炎、創傷治癒促進などの効果が期待されるヘリウムネオンレーザーや半導体レーザーなどの低出力(100 mW)レーザーが主に利用されてきたが、比較的输出が高く(1800 mW)、温感、刺激感があり、且つ低出力レーザーと同等以上の生体深達性の高い、直線偏光処理近赤外線(PL; linear polarized near-infrared light)が注目を集めている。石丸ら¹⁸⁾は半導体低出力レーザーを経穴(俠脊穴)に照射することにより、局所的血流量が安静時 20.6 ± 6.3 ml/min/100 g から 31.3 ± 6.0 ml/min/100 g (照射後15分後)に有意に上昇することを報告している。また、輪島ら¹⁴⁾も同様に PL 照射による物理的效果として、照射部位の皮膚温上昇や局所

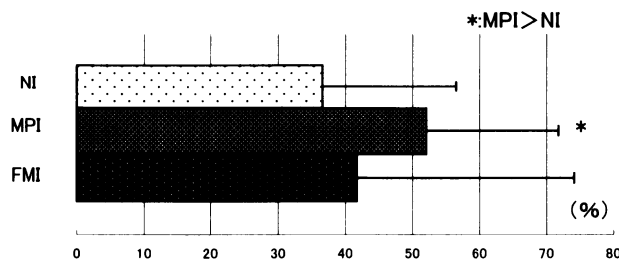


Fig. 4. Repeated ANOVA among decrease-degrees in subjective fatigue sensation after the rest.

Note) MPI > NI : decrease-degree of MPI is significantly greater than that in NI.

的血流量の増加を報告している。本研究で用いた PL 照射は従来の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(1800 mW)であり、生体深達部に到達度が深いことから、表層部だけでなく、生体深部の血流量上昇や温熱効果が期待でき、筋疲労の積極的回復方法として有効と考えられる。しかも PL の照射は機械的に実施可能であるため、誰もが簡便に実施でき、実用性が高い。PL が有効な積極的な疲労回復法として期待できるが、筋疲労後の筋力発揮の回復に及ぼす PL の効果について客観的資料より十分な検討はされていない。

本研究では、筋疲労回復に及ぼす PL 照射の効果を検討するために、疲労困憊まで下肢の等速性筋力発揮を実施し、激運動後からの等速性筋力発揮値の回復量に着目した。なお、激運動後における筋力発揮は有意に低下し、主観的疲労度^{15,24)}も 7 (非常に疲れている)以上を示した。したがって、本研究における激運動後は筋疲労状態にあったと考えられる。

膝関節屈曲動作(屈曲)において、休憩後の筋力発揮の回復率は経穴照射(MPI)及び大腿筋照射(FMI)条件の方が大きい傾向にあったが、非照射(NI)条件と照射条件の間に有意差は認められなかった。一方、膝関節伸展動作(伸展)において、照射条件の角速度 60 d/s 及び 180 d/s の PT, TW の回復率が NI 条件より大きく、PL 照射による筋疲労回復の効果が示唆された。しかし、伸展においても角速度の大きい 240 d/s では PL 照射の効果は認められなかった。角速度が大きくなると負荷強度が低くなるため、激運動前後の筋力低下率が小さくなり、NI 条件の回復率との差も小さくなったと考えられる。つまり、PL 照射の効果は負荷強度が低く、筋力発揮速度が大きい動作における筋力発揮の回復に対する効果は大きくないと推測される。

激運動前後、及び休憩後における筋力発揮の絶対値の変動から PL 照射の効果を検討した結果、ほとんど全ての角速度、変量において激運動後・休憩後の回復の程度が NI 条件と照射条件では異なった(表 2 網掛け部分)。例えば、NI 条件にお

いて屈曲の PT 60 d/s は激運動後より休憩後が有意に回復しているものの激運動前より有意に低い。しかし、照射条件は激運動後より休憩後が有意に回復し、また激運動前との差は認められない。つまり、回復の程度の観点から解釈すると屈曲の PT 240 d/s 及び TW 60 d/s を除く全ての角速度、変量において NI 条件と照射条件では回復の程度が異なり、NI 条件よりも照射条件における休憩後の筋力発揮が大きい傾向にあった。これらは PL 照射による効果と推測される。条件差は伸展の 60 d/s の PT 及び TW に認められ、休憩後において照射条件が NI 条件より大きかった。これは前述した回復率の差と同様の傾向であり、伸展において PL 照射による筋力発揮回復の効果が現れたものと推測される。

本研究において、PL 照射による筋疲労回復の効果が屈曲より伸展において認められた理由の一つとして、照射部位が伸展の主動筋近傍に偏ったことが考えられる。MPI 条件の場合、照射 3 部位のうち 2 部位、FMI 条件の場合、照射 4 部位のうち 3 部位は伸展動作主動筋近傍であった。したがって、伸展と屈曲の主動筋間で照射時間が異なるため、物理的な刺激時間の違いが結果に反映した可能性がある。

本研究では PL 照射条件として、疲労回復効果のある経穴に照射(MPI)する条件と筋力発揮の主動筋を中心に照射(FMI)する条件を設定した。両条件とも非照射条件よりも疲労回復の効果が窺えたが、照射条件間では筋疲労回復の程度に大きな差異は認められなかったことから、簡便性を考慮すれば、経穴を厳密に取穴して照射しなくても、単純に主動筋近傍に照射すれば皮膚温の上昇や血流量の増大などの効果が同様に認められる可能性が考えられる。小林ら²³⁾は経穴への PL 照射が指尖部の循環動態に及ぼす影響を検討し、経穴刺激による交感神経活動の抑制の程度は低いと推測している。したがって、神経系照射や経穴部照射による神経系興奮、抑制よりも PL 照射の効果は照射部位近傍の血流量促進による効果の方が期待できるのかもしれない。

本研究では、安全な照射方法の範囲内で、最も

物理的照射強度が高くなる方法(照射強度100%, 5秒照射-1秒休憩)を選択し, 照射部位はMPI, FMIの各条件とも論理的に妥当な部位に設定した。しかし, これらの照射方法, 部位は探索的な設定であるため検討の余地が残る。また, PL照射が下肢の等速性筋力発揮の回復に及ぼす効果を検討することを本研究の主たる目的としたため, 皮膚温, 血流量, 筋酸素動態などの生理学的指標を測定しなかった。したがって, 今後, 異なる照射方法, 照射部位について詳細に設定し, 皮膚温, 筋血流量, または筋酸素動態などの生理学的応答とともに検討が必要と考えられる。

PL照射前後(激運動後から休憩後)の主観的疲労度の変化率を検討した結果, MPI条件はNI条件より疲労度の低下が認められた。Saitoら²⁵⁾は活動筋の疲労感と末梢の求心性神経活動には対応があることを示唆している。また, Kilbomら²⁷⁾は主観的な筋疲労感は求心性神経活動以外に, 筋内圧, 活動筋への血流量などの要因が複雑に関与すると推測している。本研究における主観的疲労度も同様に様々な要因が複雑に関与していると考えられる。主観的な疲労度の低下率と筋力発揮の回復率は必ずしも対応しないが, PL照射による温感や刺激感が疲労回復に対して, 求心性神経活動などに作用したことも考えられる。また, 温感や刺激感が心理的なプラス効果として働き, 休憩後のパフォーマンスに良い影響を及ぼすことは十分に考えられる。近赤外線照射が筋疲労後の筋力発揮や自覚的疲労度に及ぼす効果を検討する計画として, 対照群にプラセボ条件(偽照射条件)を設定する必要があったと思われる。しかし, 近赤外線照射に温感と軽い刺激感を伴うため, 被験者が全ての条件に参加する交差測定計画では被験者に察知され, プラセボ効果を考慮した条件になりえなかった。したがって, 本研究では, プラセボ効果が主観的疲労度に及ぼす影響を取り除くことは困難であった。この点についても実験計画や照射方法等を再検討する余地があろう。

V. ま と め

健康な学生18名(男子8名, 女子10名)を対象と

して, 経穴及び大腿筋への直線偏光型近赤外線照射(近赤外線照射)が激運動による筋疲労回復に及ぼす効果を検討した。

負荷強度の大きい膝関節伸展動作において激運動後の筋疲労の回復率を高める近赤外線照射の効果が認められた。膝関節屈曲動作においても各条件の激運動前後及び休憩後の筋力発揮値に有意差が認められ, 照射が激運動後の筋疲労回復を促進する傾向にあった。経穴照射と大腿筋照射に差異が認められず, 主動筋近傍への照射により筋疲労の効果が得られると推測された。また, 休憩後の経穴照射は, 疲労感を軽減する効果があることも示唆された。

(受理日 平成12年2月28日)

引用文献

- 1) 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, (1982), **31**, 306-311.
Komai, S., Shirashi, T., Kambayashi, H. The effects of submaximal exercise on blood lactate and serum FFA after short-term supramaximal exercise. J. Phys. Fitness Sports Med. (1982), **31**, 306-311 (in Japanese)
- 2) 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およぼす効果—作業能力および血中乳酸の回復を指標として—. 体力科学, (1993), **42**, 82-92.
Yamamoto, M., Yamamoto, T. Effects of stretching, sport massage, light exercise and hot pack on recoveries of work capacity and blood lactate after strenuous exercise. Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. (1993), **42**, 82-92 (in Japanese)
- 3) 後藤真二, 壺崎龍一. 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, (1995), **16**, 209-216.
Goto, S., Kashizaki, R. The effects of swimming recovery on blood lactate kinetics and subsequent exercise performance. Descente Sports Sci. (1995), **16**, 209-216 (in Japanese)
- 4) 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, (1991), 6181-185.
- 5) 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, (1992), **13**, 176-184.
Ishida, K., Takaishi, T., Miyamura, M. What is the most effective way to recover from muscle fatigue?

- Descente Sports Sci. (1992), **13**, 176-184 (in Japanese)
- 6) Tiidus, P. M., Manual massage and recovery of muscle function following exercise : a literature review. *J Orthop Sports Phys Ther.* (1997), **25**, 107-12.
 - 7) Nobbs L. A., Rhodes E. C. The effect of electrical stimulation and isokinetic exercise on muscular power of the quadriceps femoris. *JOSPT*, (1986), **8**, 260-268.
 - 8) 東原貴文, 向野義人. 耳の膝点と足三里とのシャント刺激が疲労回復に及ぼす影響, スポーツ鍼灸論文抄録集, (1995), 36-37.
 - 9) 北岡裕子, 向野義人, 東原貴文. パフォーマンスに及ぼす足三里刺激の影響, スポーツ鍼灸論文抄録集, (1995), 32-33.
 - 10) 横山裕久, 田中幸靖, 近堂泰宣, 佐藤英彦, 寺西昭, 増田朋宏, 宮本俊和. 等速性運動による一過性の筋力低下に対する低周波鍼通電・TENSの影響, スポーツ鍼灸論文集, (1995), 20-21.
 - 11) Yuan X, et al. Effects of acupuncture at fengchi point (GB 20) on cerebral blood flow. *J Tradit Chin Med.*, (1998), **18**, 102-5.
 - 12) 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*, (1999), **48**, 281-290.
Yamaji, S., Demura, S., Nagasawa, Y., Nakada, M., Matsuzawa, J., Shimada, S. The effects of Kinesio taping on isokinetic muscle exertions of lower limb. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* (1999), **48**, 281-290 (in Japanese)
 - 13) 松本 勲, 兵頭正義. Acupuncture (ハリ) と血流. 循環制御. (1985), 469-480.
 - 14) 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 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, (1996), **45**, 433-8.
 - 15) Schlager A, et al. Laser stimulation of acupuncture point P6 reduces postoperative vomiting in children undergoing strabismus surgery. *Br J Anaesth.*, (1998), **81**, 529-32.
 - 16) Yokoyama, K., Oku, T. Rheumatoid arthritis-affected temporomandibular joint pain analgesia by linear polarized near infrared irradiation. *Can J Anaesth.*, (1999), **46**, 683-7.
 - 17) 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, (1994), **5**, 13-18.
 - 18) 石丸圭荘, 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*, (1992), **13**, 33-40.
 - 19) 今井 真, 鮎物 修. 低反応レベルレーザー治療機器の紹介と問題点医科学, (1993), **63**, 217-219.
 - 20) 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, (1994), **30**, 9-16.
Demura, S., Ebisu, T., Toyoshima, Y. The effect of linear polarized light irradiation to the front parts of thighs on vertical jump performance, *Bulletin of Hokuriku Society of Physical Education.* (1994), **30**, 9-16 (in Japanese)
 - 21) 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ー腰痛に対する治療効果についてー, *日本東洋医学会雑誌*, (1991), **42**, 71-76.
 - 22) 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*, (1996), **41**, 316-322.
Matsuzawa, J., Demura, S., Naka, H. The effect of linear polarized light irradiation on ankle flexibility when applied to the ankle joints. *J. Educ. Health Sci.* (1996), **41**, 316-322 (in Japanese)
 - 23) 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*, (1996), **42**, 132-137
Kobayashi, H., Demura, S., Matsuzawa, J., Tada, N., Minami, M. The influence of the radiation of liner-polarized near-infrared rays on peripheral circulation of the finger-tips. *J. Educ. Health Sci.* (1996), **42**, 132-137 (in Japanese)
 - 24) 斎藤 満, 間野忠明. 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. (1988), **4**, 97-105.
 - 25) Saito, M., Mano, T., Iwase, S. Sympathetic nerve activity related to local fatigue sensation during static contraction. *J. Appl. Physiol.*, (1989), **67**, 980-984.
 - 26) 山下 詢. 臨床経絡経穴図解. 初版. 14経絡と経穴各論, 医歯薬出版株式会社. 東京, (1986), 49-145.
 - 27) Kilbom, A., Gamberale, F., Persson, J., AnnWall, G. Physiological and Psychological indices of fatigue during static contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1983), **50**, 179-193.