

## 最大筋力発揮イメージ想起時の瞳孔反応について

長岡由紀子\*, 吉田行輝\*, 朴貞植\*, 武田徹\*\*, 猪俣公宏\*\*, 小山哲\*\*\*, 石倉忠夫\*\*\*\*

### Pupillary Response in Imagery of Maximum Muscle Strength

Yukiko NAGAOKA, Koki YOSHIDA, Park JEONGSIK, Toru TAKEDA, Kimihiro INOMATA, Satoshi KOYAMA and Tadao ISHIKURA

#### Abstract

The purpose of this study was to examine pupillary responses in imagery of maximum muscle strength. Subjects in this study were male and female physical education students (N = 21). They were divided into three groups on scores of imagery as "performing" in VMI test III. These groups were : (a) imagery training (IM), (b) imagery and performance training (IMP), and (c) control (C). The task was maximum muscle strength by grip. Two different pupil sizes, measured during imaging from in resting and during performing from in imaging, were measured as dependent variables.

The results indicated the following : 1) The pupil size measured during imaging from in resting was the lowest in post test of IMP. 2) The pupil size measured during performing from in imaging was the highest in post test of IMP. 3) In both pre- and post tests of the pupil size which was taken during performance from in imaging was not equal by each trial. These findings seem to suggest that imagery and performance training will debilitate pupillary responses.

#### I. 目的

スポーツパフォーマンスの向上に及ぼすメンタルトレーニングの効果には、様々な心理的要因が関与している事が明らかにされている。Richardson (1967)<sup>11)</sup>はこの心理的要因の一つであるイメージを取り上げ先行研究をまとめている。その中で、イメージがパフォーマンスに及ぼす影響が実験的に検証された結果を示し、過去 30 年にわたる 12 の研究のうち 10 の研究

において身体練習のみの群よりも身体練習にイメージを組み合わせ練習を行った群にパフォーマンスの向上が見られたことを報告している。この報告を機に運動パフォーマンスに関するイメージの研究がさかんに行われるようになり、次第に「運動イメージ」という概念として捉えられるようになった。運動イメージとは「準知覚的あるいは準感覚的な経験である」と Richardson (1969)<sup>12)</sup>が唱えてからは、イメージが有する感覚的な側面に焦点が当てられるよ

\*大学院生, \*\*教授, \*\*\*助教授, \*\*\*\*助手

うになった。さらに Mahoney ら (1977)<sup>5)</sup> は調査研究から運動イメージは多くのスポーツ選手に必要不可欠な要因であり、運動イメージを構成している様々な身体感覚の中でも、特に筋感覚に関する報告が選手らから多く出されたことを報告している。これより、運動イメージを捉える上で筋感覚的なイメージの重要性が示されているといえよう。

イメージを評価する方法には1) 質問紙法、2) 生理的指標の使用、の2点が挙げられる。前者は質問紙を用いて被験者のイメージに対する評価を主観的に捉える方法である。例えば、西田ら (1986)<sup>7)</sup> によって開発された運動イメージの統御可能性に関するテスト (CMI テスト) や、小山ら (1989)<sup>4)</sup> によって開発された運動イメージの明瞭性に関するテスト (VMItestIII) が挙げられる。これらのテストにより運動イメージの重要な要因であるとされる統御可能性と明瞭性の評価が質問紙法により可能となった。また後者の生理的指標によるイメージ評価の方法としては筋電図、心拍数などが多く用いられている。例えば大石ら (1992)<sup>9)</sup> はスピード・スケートの動作イメージの指標として、皮膚電気活動、心拍数、呼吸数、ヒラメ筋のH反射などの生理的指標を用いた研究を行っている。この結果、運動イメージ想起時の皮膚電気活動、心拍数においてリラックス時と滑走時との間に有意差が認められ、ヒラメ筋のH反射においてはイメージ想起中の交感神経の緊張が認められた。このように運動イメージが生理的指標に顕著に影響を及ぼすことが示され、運動イメージを評価する手がかりとして有効であると考えられる。

Bernick ら (1968)<sup>1)</sup> はこのような生理的指標の中でも、特に瞳孔反射はステロイドホルモンの作用、皮膚電気活動、心拍数に比べ、より敏感に覚醒水準を反映する指標として挙げられることを指摘している。瞳孔は眼球の虹彩によって形成された光学系の開口部であり、光量、焦点深度、収差の調節がその主な働きである。このような瞳孔の形態上の性質、機能から瞳孔が微少な外的刺激に対して反応を示す構造である

ことが伺えられ、生体反応を敏感に反映する指標であると考えられる。また心的活動の変化にも敏感に反応を示すとされ、瞳孔は外的・内的要因に対して有効な指標であることが推察される。

Nunnally ら (1967)<sup>8)</sup> は筋緊張時の瞳孔散孔量との関連について実際の筋力発揮時の瞳孔径の変化を検討した結果、筋力発揮のために持ち上げた重りの重量が重くなる程、散孔量が有意に増加したことを示した。この研究はさらに川瀬 (1975)<sup>6)</sup> によって追試され、Nunnally らの報告を支持する結果が得られている。これらの結果より、発揮された筋力の増加につれて瞳孔反応量も増加することが示され、実際の運動が瞳孔径に変化を及ぼすことが明らかとなった。また Paivio ら (1966)<sup>10)</sup> は言語刺激を課題として、抽象語よりも具象語に対してイメージを想起している時の瞳孔散孔量が大きいことを示した。同様に Hess (1965)<sup>3)</sup> は瞳孔散孔量がイメージ想起や暗算などの能動的な精神活動によって変動することを指摘した。これらの研究よりイメージが瞳孔散孔量に影響を及ぼすことが実証され、イメージ測定に新たな指標が提供される契機となった。そこで、イメージ想起による心的活動は瞳孔径の変化として顕著に表され、イメージ評価の指標として妥当ではないかと考えられる。

以上の先行研究より、瞳孔径に変化を及ぼす要因として実際の筋力発揮やイメージ想起が挙げられることが示された。しかし一方で、筋力発揮イメージ想起により瞳孔径がどのように変化をするのかは明らかにされていない。そこで本研究では筋力発揮イメージ想起が瞳孔径に及ぼす影響を実験により明らかにすることにした。

人間の感覚には視覚による情報が他の感覚に比べて優位性をもつという視覚優位性の性質がある。例えば Klein (1977)<sup>2)</sup> は運動感覚による反応時間が視覚による反応時間より短いことを利用し、両方の感覚刺激を同時に与えた場合、視覚刺激に対する反応時間の方に近づくことを示すことによって視覚優位性を明らかにした。この視覚優位性の性質のため、本研究で対象とされる筋感覚的イメージは容易に想起しえない

のではないかと考えられる。そこで実験条件として筋感覚的イメージのトレーニング条件を設定することにより、より鮮明にイメージが想起された状態の瞳孔反応量を測定することにした。そのイメージトレーニング（以下 IT とする）には、イメージのみをくり返し行うイメージ群（以下 IM 群とする）、イメージと実際のパフォーマンスを組み合わせたトレーニングを行うイメージ-パフォーマンス群（以下 IMP 群とする）が設定され、さらに IT を行わないコントロール群（以下 C 群とする）の 3 群が設定された。この 3 群のうち IMP 群は、イメージとパフォーマンスの試行を交互に行い実際のパフォーマンスにおける筋感覚の影響を受けるため、他の群と比較して最も IT 効果が見られる可能性があると考えられる。他方、イメージのみをくり返す IM 群は、実際のパフォーマンスにおける筋感覚の影響は受けないが、イメージの影響を受けることが考えられるため、IMP 群について IT 効果が見られるものと考えられる。

そこで本研究では筋力発揮イメージ想起時の瞳孔径の反応を明らかにするために、IT によるトレーニング効果とプレ、ポストテストにおけるイメージ想起試行間の差異を検討することを目的とした。この検討内容として以下に挙げる 3 つの仮説を設定した。

1) ポストテストにおける筋力発揮イメージ想起時と静止時の瞳孔散孔量の差は、IT によりイメージが鮮明に描けると考えられる IMP 群、IM 群の順で多く示される。

2) ポストテストにおける実際の筋力発揮時と筋力発揮イメージ想起時の瞳孔散孔量の差は、IT によりイメージが鮮明に描けると考えられる IMP 群、IM 群の順で少なく示される。

3) プレ、ポストテストにおける実際の筋力発揮時と筋力発揮イメージ想起時の瞳孔散孔量の差は、IT により安定したイメージ想起が行われるようになった結果として、試行間の差異は示されない。

以上の仮説を明らかにすることを本研究の目的とする。

## II. 方法

1. 被験者：体育学部学生 21 名（男子 7 名，女子 14 名，平均年齢  $20.67 \pm 1.61$  歳）を被験者とした。
2. 実験場所：C 大学 14 号館 3 階 303 実験室
3. 環境条件：室温  $28^{\circ}\text{C}$ ，照度  $497.5 \pm 14.79\text{lx}$
4. 実験装置：NAC 社製アイマークレコーダ (EMR-600 モデル) の瞳孔撮影ユニット，PANASONIC 社製ビデオカセットレコーダ (AG-7355 型)，SONY 社製 8 ミリカメラ (CCD-TRV90NTSC)，竹井機器工業株式会社製デジタル力量計握力用 (T. K1269)，竹井機器工業株式会社製デジタルプリンター (T. K319a)，セイコー社製ストップウォッチ (SO31-4000)
5. 実験条件：実験に先立ち被験者に運動イメージの明瞭性テスト (VMIttestIII) を施行した。その後、各被験者の「自己の運動イメージ因子」得点を算出し、IM 群、IMP 群、C 群の 3 群間の自己の運動イメージ想起能力が等質になるよう各群 7 名ずつに振り分けられた。

実験期間はプレテストを施行した後、IT を 7 日間行い、IT 終了後にポストテストを施行するよう設定された。IT は IM 群と IMP 群で行われた。IT の一試行の内容は 1) IM 群はイメージ想起を 5 秒間行った後、静止を 15 秒間行う、2) IMP 群は筋力発揮を 5 秒間行った後、静止を 15 秒間行い、さらにイメージ想起を 5 秒間行った後、静止を 15 秒間行う、という内容であった。尚、IT は 1 日につき 10 試行を 2 セット（1 日計 20 試行）行う事とした。また、IT は被験者各自で行うよう教示し、行った IT の明瞭性を毎日記入する内省報告用紙を配布した。

プレテストとポストテストにおいては 3 群共通のテスト内容を行った。その内容は、まず筋力発揮を 5 秒間行った後に、筋力発揮の感覚がイメージ想起に影響を及ぼさないように座位による静止を 5 分間行った。その後、イメージ想起を 5 秒間行い、静止を 25 秒間行う手続きを 3 試行くり返すという内容であった。こうして

すべての試行において、イメージ想起が等質な条件で行われ、均一な反応量が得られるように設定した。

6. 実験課題：被験者に対し、筋力発揮開始の号令が実験者により出され、その直後に最大筋力を発揮し、筋力発揮終了の号令が出されるまでの5秒間、最大握力を維持するように握力計を用いた筋力発揮及びイメージ想起をすることが課題とされた。実施時の注意事項として、正しい立位姿勢を行い、視線を前方にまっすぐに向け、瞬きをなるべくしないことが教示された。

7. 実施手順：実験は実験者が立ちあう条件のもと被験者一人ずつ個別に実施された。始めに実験装置を装着した後、実験課題と手順が被験者に説明され、練習試行として実際の筋力発揮が行われた。練習試行の後、実験課題が実施された。実験終了後、自省報告の記述を求めた。また、IMとIMPの両群の被験者に対してはIT期に行うITの内容、実施時における注意事項の説明を行った。

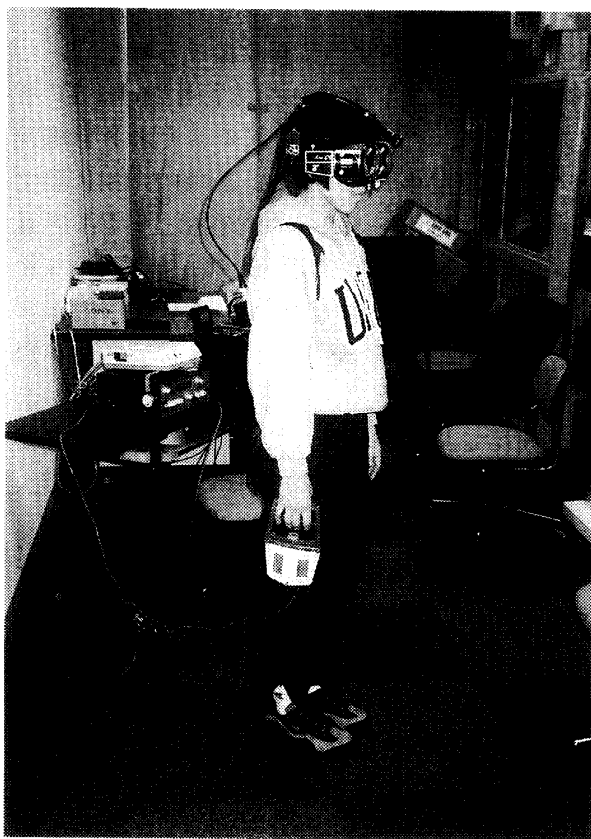


写真1 被験者がアイマークレコーダを装着し、握力計を持った様子

8. 依存変数：アイマークレコーダにより撮影された映像をもとにパーソナルコンピュータにより測定されたデータ（瞳孔径の長さ）は静止時の散孔量を基準値とし、（測定されたデータ）－（基準値）の値を求め、これを瞳孔反応量とした。この瞳孔反応量が多くなるほど、静止時よりも散孔量が増したことを示している。また実際の筋力発揮時の瞳孔反応量からイメージ想起時の瞳孔反応量を引いた値が、イメージ想起能力値として算出された。このイメージ想起能力値とはイメージ想起時の瞳孔反応量が実際の筋力発揮時の反応量に、どれだけ近いかわち、どれだけ実際のパフォーマンスに近いイメージ想起を行っているかを推定する値である。そのためこの値が小さくなるほど、実際のパフォーマンスに近いイメージがなされていることが推定される。以上の瞳孔反応量、イメージ想起能力値を依存変数として、以下の分析を行った。

### Ⅲ. 結果および考察

#### 1. 筋力発揮イメージ想起が及ぼす瞳孔反応量について

筋力発揮イメージ想起時の瞳孔反応量の変化について検討を行った。この分析は実験に先立って設定された、1)「ポストテストにおける筋力発揮イメージ想起時と静止時の瞳孔散孔量の差（＝瞳孔反応量）は、ITによりイメージが鮮明に描けると考えられるIMP群、IM群の順で多く示される。」という仮説に基づいて行われた。そこで条件間要因（IM群、IMP群、C群）×テスト間要因（プレ、ポスト）で2要因1繰り返しによる分散分析を行った。その結果、テスト間要因における主効果に有意差は認められなかった。これは仮説に反する結果であった。そこでさらに詳細な分析を行うために、プレ、ポストテストそれぞれについて条件間要因（IM群、IMP群、C群）×試行要因（第1試行から第3試行）で2要因1繰り返しによる分散分析を行った。まずプレテストにおける分析の結果、くり返し要因の主効果に1%水準

で有意差が認められた ( $F=5.502$ ,  $df=2/36$ ,  $P < .01$ )。一方ポストテストについて分析を行った結果、くり返し要因の主効果に  $0.1\%$ 水準で有意差が認められた ( $F=15.331$ ,  $df=2/36$ ,  $P < .001$ )。条件間要因の主効果及び交互作用はいずれの結果にも認められなかった。図1に示したように、試行別ではプレテストの第1試行において、筋力発揮イメージ想起時の瞳孔反応量は多く、ポストテストでは第2, 3試行において、少ないことが示された。まずプレテストの第1試行に見られた差については、実験を行うにあたり、開眼状態で筋力発揮イメージの練習を事前に行わなかったため、第1試行目から安定した測定値が得られなかったものと推察される。他方、ポストテストの第2, 3試行において、IMP群とIM群において顕著な差が示された。これは仮説に反するがトレーニングの何らかによる影響ではないかと推察される。以上の結果より、筋力発揮イメージ想起が及ぼす瞳孔反応量の変化から、イメージが鮮明に描けると考えられたポストテストの第2, 3試行の特にIMP群, IM群において、ITによって覚醒をはじめとする心的活動が変化して何らかの

影響が及ぼされたことが推察された。

## 2. トレーニング効果の検討

イメージ想起能力値を用いてプレ-ポスト間におけるトレーニング効果の検討を行った。この分析は実験に先立って設定された、2)「ポストテストにおける実際の筋力発揮時と筋力発揮イメージ想起時の瞳孔散孔量の差 (=イメージ想起能力値) は、ITによりイメージが鮮明に描けると考えられるIMP群, IM群の順で少なく示される。」という仮説に基づいて行われた。条件間要因 (IM群, IMP群, C群) × テスト間要因 (プレ, ポスト) の2要因1繰り返しによる分散分析を行った結果、条件間要因の主効果に有意傾向 ( $F=2.787$ ,  $df=2/18$ ,  $P < .1$ ) が認められた。図2よりポストテストのIMP群において、イメージ想起能力値が高いことが示された。この結果をさらに詳細に検討するために。試行別に条件間要因 (IM群, IMP群, C群) × テスト間要因 (プレ, ポスト) の2要因1繰り返しによる分散分析を行った。その結果、第3試行における条件間要因の主効果に有意傾向 ( $F=3.429$ ,  $df=2/18$ ,  $P < .1$ ) が認められた。条件間要因の主効果及び交互作

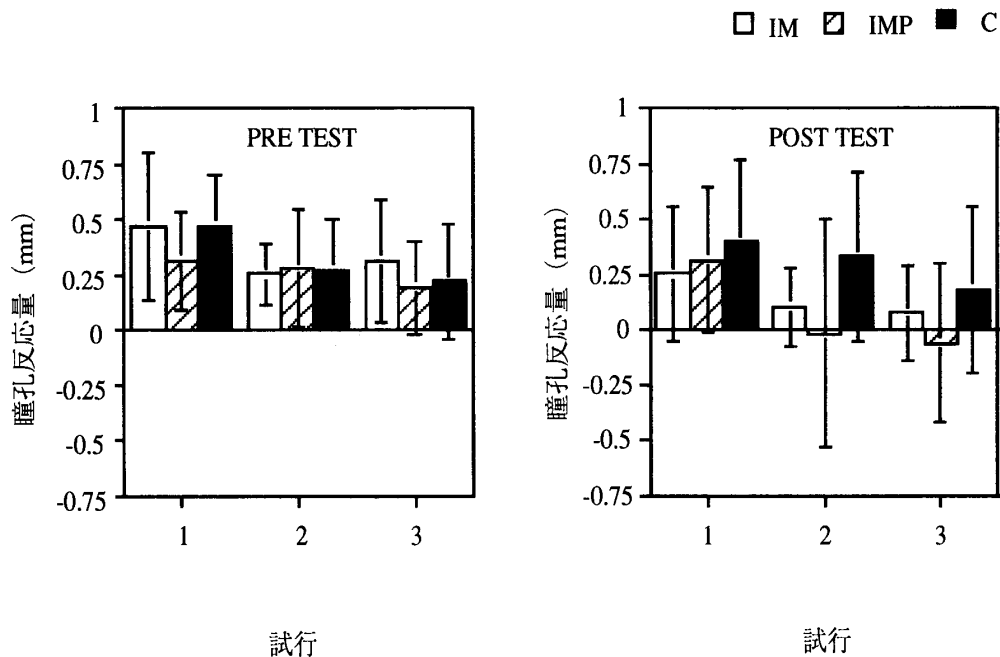


図1 プレ、ポストテストにおけるイメージ想起時の試行別の瞳孔反応量の平均と標準偏差 (瞳孔反応量=イメージ想起時の瞳孔反応量-静止時の瞳孔反応量)

用はいずれの結果にも認められなかった。図3よりポストテストの第3試行においてIMP群でイメージ想起能力値が高いことが示された。これは仮説に反する結果であった。これらの結果よりIMP群のポストテストにおいてイメー

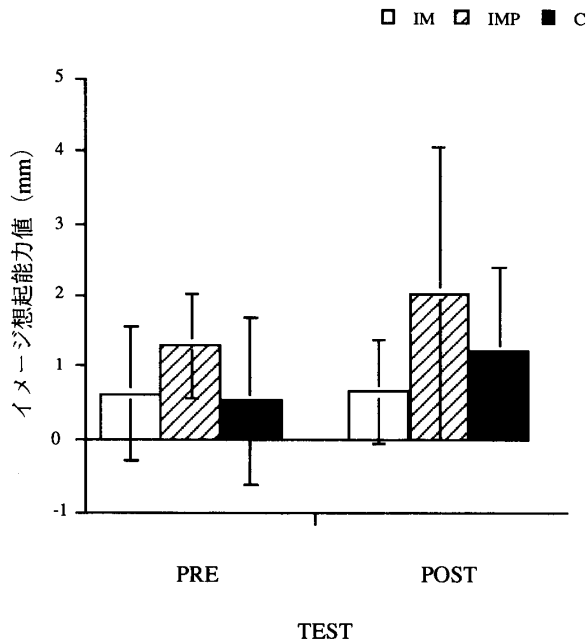


図2 プレ、ポストテストにおけるイメージ想起能力値の平均と標準偏差  
(イメージ想起能力値=筋発揮時の瞳孔反応量-筋発揮イメージ想起時の瞳孔反応量)

ジ想起能力が低く、特に第3試行において顕著であることが示された。イメージ想起能力が低下する傾向はIMP群のみであり、トレーニングを行わなかったC群はやや低下、イメージのみのトレーニングを行ったIM群の変化は見られなかった。これより、IMP群のイメージ想起能力低下の原因はトレーニング効果によるとは断定はできないであろう。本実験のITは験者が同伴せず被験者の自主性に任せて行われた。そのため実際のIT内容が厳密に統制がなされていなかった可能性も考えられる。そこで今後の課題としてITの統制条件をより厳密にしていくことで、基準となる統制群の安定した結果が得られ、ITを行った群の考察をより厳密に行えるものと考えられる。

3. プレテストとポストテストにおける試行間要因による影響について

プレ、ポストテストにおけるイメージ生起能力の試行間要因による影響について検討を行った。この分析は実験に先立って設定された、3)「プレ、ポストテストにおける実際の筋力発揮時と筋力発揮イメージ想起時の瞳孔散孔量の差(=イメージ想起能力値)は、ITにより安定したイメージ想起が行われるようになった結果

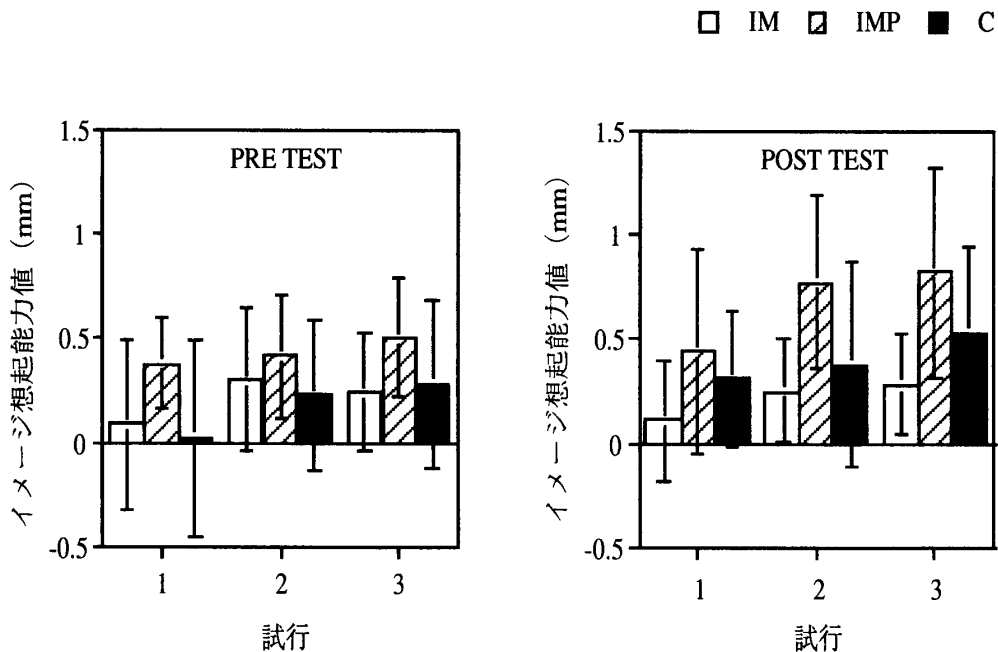


図3 プレ、ポストテストにおける試行別のイメージ想起能力値の平均と標準偏差  
(イメージ想起能力値=筋発揮時の瞳孔反応量-筋発揮イメージ想起時の瞳孔反応量)

として、試行間の差異は示されない。」という仮説に基づいて行われた。まずプレテストにおいて、条件間要因 (IM 群, IMP 群, C 群) × 試行要因 (第1試行から第3試行) で2要因1繰り返しによる分散分析を行った。その結果、くり返し要因の主効果に1%水準で有意差が認められた ( $F=5.503$ ,  $df=2/36$ ,  $P < .01$ )。また同様の分析をポストテストで行った結果、くり返し要因の主効果に0.1%水準で有意差が認められた ( $F=15.324$ ,  $df=2/36$ ,  $P < .001$ )。交互作用はいずれの結果にも認められなかった。図3よりプレテストにおいて第1試行のイメージ想起能力値が低く、ポストテストにおいては第2, 3試行のイメージ想起能力値が高いことが示された。この結果より、イメージ想起能力は、特にポストテストで試行間要因に何らかの影響を及ぼすことが明らかとされた。

#### 4. 明瞭性の主観的評価と瞳孔反応量の関係

被験者に想起した筋力発揮イメージの明瞭性をプレ、ポストの各テスト実施後に評価させた。この評価は「1:全くイメージが現れない。」から「7:実際の経験と同じくらい極めて鮮やかである。」までの7段階で、被験者による主観的評価であった。IT を実施した IMP 群, IM 群においては、その日に実施したイメージの明瞭性も評価させた。図4より全体的傾向として、すべての群においてポストテストの明瞭性はプレテストの明瞭性よりも0.7~1.0程、鮮明さが増したと評価された。またIT 期間中の評価ではIMP 群では1日目にプレテスト時の評価よりも明瞭性が下がる傾向を示したが、以後は日が増すにつれて明瞭性も上昇する傾向が示された。IM 群ではプレテスト時の評価よりも1日目は低下し、その後上昇し、さらに低下-上昇を交互にくり返しなが、最終的には上昇する傾向であった。

以上のように主観的評価は次第に鮮明になる傾向を示した。そこでこの主観的評価と実際の瞳孔反応量の関係を調べるために、両者の相関係数を算出した。その結果、IMP 群は  $r=0.1$ 、IM 群は  $r=-0.09$ 、C 群は  $r=-0.54$  であり、主観的評価と実際の瞳孔反応量に特に関係は見ら

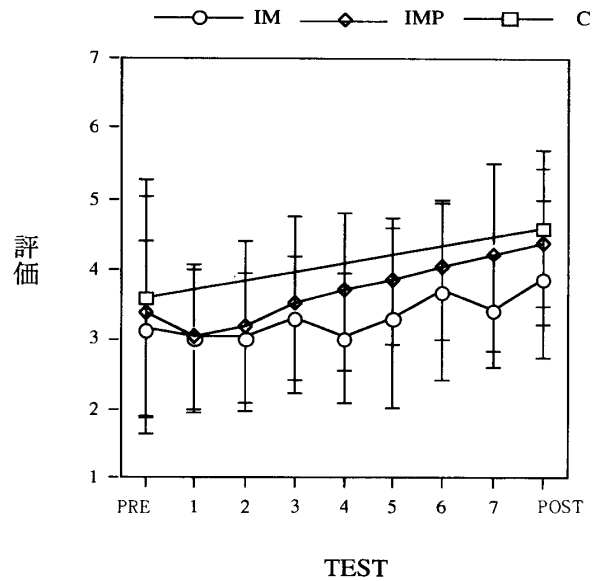


図4 イメージ想起の明瞭性に関する主観的評価の変化

れなかった。

#### 5. 内省報告より

プレ、ポストテスト、IT の実施後に被験者に実施した感想を内省報告により記述することを求めた。その結果、筋感覚的イメージ想起の困難さについて言及されていた内容が多く見られた。特に「目を開けてのイメージは難しかった。」と記述した被験者は20名中5人、「筋感覚イメージをしている実感があまりつかめなかった。」を記述した被験者は20名中9人、見られた。この報告から映像的な要素から構成されている視覚的イメージに比べ、感覚的な要素から構成されている筋感覚的イメージはその想起は困難であることが推察される。そのため、IT を強化し、より鮮明にイメージが描ける条件を設定する必要があると思われる。

## IV. まとめ

本研究は最大握力発揮イメージ想起時の瞳孔反応を検討し、筋感覚的イメージ想起が瞳孔径に及ぼす影響について明らかにすることを試みた。被験者は体育学部学生21名であった。被験者はITを行わないC群、ITとしてイメージのみをくり返し行うIM群、イメージと実際のパフォーマンスをくり返し行うIMP群の3

群に分けられた。IT 効果について瞳孔径を指標とし、この3群のポストテストにおけるプレテストとの差を比較し検討した。その結果、最もイメージが鮮明に現れると考えられたIMP群のポストテストにおいて、静止時からの瞳孔の散孔量は他の群に比べ少なかった。またイメージ想起時の瞳孔反応量と実際の筋力発揮時の瞳孔反応量の差は最も多かった。この結果から、従来のITで効果があるとされているイメージと実際のパフォーマンスを組み合わせるトレーニングを行った場合、瞳孔反応量は少なく、想起されたイメージは実際のパフォーマンスに類似した内容でないことが推察された。この低い瞳孔の散孔量は覚醒を中心とする心的活動の低下状態を示していることが先行研究により明らかにされている。これより、イメージと実際のパフォーマンスを組み合わせるITを行った場合、瞳孔径の変化から心的活動が変化する状態が伺えられた。また内省報告から本研究で取り上げた筋感覚的イメージ想起が困難であることが指摘された。そのため今後の課題として、より正確なデータを得るために被験者が筋感覚的イメージを鮮明に描けるようにIT内容を再検討し、追試していく必要がある。

### 参考文献

- 1) Bernicl, N., & Oberlander, M. Effects of verbalization and two different modes of experiencing on pupil size. *Perception and Psychophysics*. 3: 327-330, 1968.
- 2) Klein, R. M. Attention and Visual Domiance: Chronometric Analysis. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 3: 365-78, 1977.
- 3) Hess, E. H. Attitude and pupil size: *Scientific American*. 212: 46-54, 1965.
- 4) 小山哲, 西田保, 勝部篤美. 運動イメージの明瞭性テストの開発. *総合保健体育科学*. 12-1: 23-2, 1989.
- 5) Mahoney, M. J., & Avenier, M. Psychology of the elite athlete: An exploratory study. *Cognitive Therapy and Research*. 1: 135-141, 1977.
- 6) 松永勝也. 瞳孔運動の心理学. 筋緊張時の瞳孔運動: 65-70, ナカニシヤ出版, 1990.
- 7) 西田保, 勝部篤美, 猪俣公宏, 岡沢祥訓, 伊藤政展, 小山哲, 鶴原清志, 吉沢洋二. 運動イメージの統御可能性テスト作成の試み. *体育学研究*. 31-1: 13-21, 1986.
- 8) Nunnally, J. C., Knott, P. D., Duchnowski, A., Parker, R. Pupillary response as a general measure of activation. *Perception and Psychophysics*. 2: 149-155, 1967.
- 9) 大石和男, 木村瑞生, 安川通雄, 前嶋孝. イメージによる動作遂行中の生理的パラメーターの変化. *体育学研究*. 36: 303-312, 1992.
- 10) Paivio, A., & Simpson, H. M. The effect of word abstractness and pleasantness on pupil size during an imagery task. *Psychonomic Science*. 5: 55-56, 1966.
- 11) Richardson, A. Mental Practice: A Review and Discussion Part I. *Research Quarterly*. 38: 95-107, 1967.
- 12) Richardson, A. Mental imagery. *Routledge and Kagan Paul Ltd.*: London, 1969.