

調節近点距離と微動調節に与える運動の影響

石 垣 尚 男

The Effect of Exercise on the Accommodation Near Point and Fluctuation of Accommodation

Hisao ISHIGAKI

The purpose of this study is to investigate the effect of exercise (muscles exercise) to accommodative function. The change of accommodation near point (near point) and fluctuation of accommodation crystallin lens were measured in exercise. Exercise was pedaling of cycle ergometer 15 minutes. Exercise loads were 20%, 50% and 80% of $\dot{V}O_2$ max of each subject. Recovery time of after exercise was 30 minutes. Subjects were 10 males of 18~20years old.

Results were as follows.

Near point extended in each exercise load immediately after the exercises, and it recovered gradually to the values before exercise. The heavier the loads became, the higher the near point extended, and the heavier the loads became, the slower the near point recovered. Near point recovered about 20 minutes in 80% $\dot{V}O_2$ max load. Near point did not approach in 20% $\dot{V}O_2$ max light exercise.

Means of frequency of accommodation fluctuation were 2.11~2.25Hz in before exercise. Frequency of 20% and 50% $\dot{V}O_2$ max loads became higher 0.34~0.38Hz immediately after the exercise. Frequency of 80% $\dot{V}O_2$ max loads hardly changed.

From this experiments, it was found that the heavier the exercise becomes, the higher the near point extent, but, frequency of accommodation fluctuation of crystalline lens hardly changes by exercise.

1. はじめに

疲労症状の他覚的な所見の一つとして眼調節機能の低下がある。一般に、調節機能の低下は近点距離、及び調節時間の延長となってあらわれることは知られるところである。近点距離や調節時間の測定には、被験者の意識的な努力が必要とされるのに対して、いわば、焦点調節のSTATICな維持状態を把握する微動調節運動の測定が調節機能検査法の一つとして近年、注目されてきている。スポーツなどの運動や肉体作業という、筋のダイナミックな屈曲を伴う筋運動（以下、運動）によっても、近点の延長がおこることは知られているが、運動の負荷強度と延長の関係は明確ではなく、又、運動と微動調節との関係についてはこれまでまったく研究がおこなわれていない。今回、運動が調節近点距離と、微動調節に与える影響について実験し、いくつかの知見を得た

ので報告する。

2. 方法

2・1 被験者

18~20才の男性10名。身長168.0~183.2cm, 体重56.0~72.0kg, 5 m 視力値の平均は両眼視1.47, 右眼1.41, 左眼1.32であった。

2・2 負荷強度の設定

運動を自転車 ergometer の15分のペタリングとし、Åstrand の最大酸素摂取量推定法¹⁾により推定した $\dot{V}O_2$ max により、運動負荷を20% $\dot{V}O_2$ max (軽負荷), 50% $\dot{V}O_2$ max (中等度負荷), 80% $\dot{V}O_2$ max (激負荷)とした。 $\dot{V}O_2$ max の推定は同法を2回繰り返し、摂取量の多い方とした。被験者の $\dot{V}O_2$ max は2.92~4.29 l/min, 平均3.54 l/min であった。ペタリングの負荷は20% $\dot{V}O_2$ max で平均36w, 50% $\dot{V}O_2$ max で115w, 80% $\dot{V}O_2$ max で195w であった。

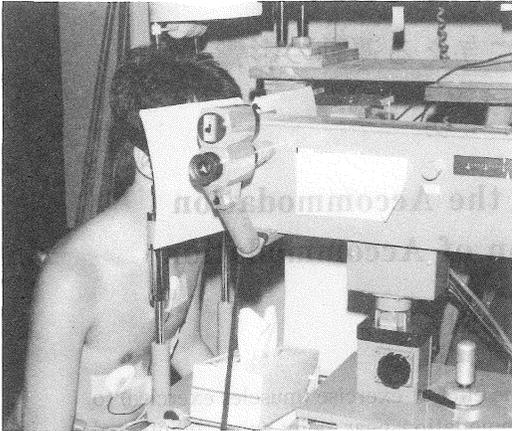


図1 赤外線オプトメーターによる微動調節の測定

2・3 調節近点距離の測定

Accommo polirecorderHS-9B (KOWA) により、視標を遠方→近方に移動し(利き眼)、角膜頂点からの距離を測定した。連続3回。予備実験で近点距離測定を繰り返し、事前に被験者のおおむねの距離を把握した。

2・4 微動調節の測定

Infrared Optometer (KOWA) により(図1)、被験者に遠点から1 Diopter 近方の視標を注視させ、20秒間の微動調節運動を測定した(利き眼)。微動調節波形をData Recorder に収録し、これをPersonal Computer を用いて、Scale 法により自動解析した。被験者の瞬目を防止するため両眼にペノキール®を点眼した。

2・5 その他

Heart Rate Memory (VAIN) により、心拍数を1分毎に記録した。運動前、後の自覚症状(産業疲労研究会)を問診した。測定は運動前、直後、運動30分後に微動調節、近点距離、自覚症状の順でおこなったが、近点については運動10分後、20分後にも測定した。負荷は1日1回とし、前日の睡眠は充分とるように指示した。被験者の負荷順序はRandomとした。実験はPM5~6時からとし、照度に順応させるため、入室15分後から開始した。実験室は3m×4mの小室、水平面照度20lux、重直面照度5luxで一定、室温12~18℃、湿度43~65%であった。

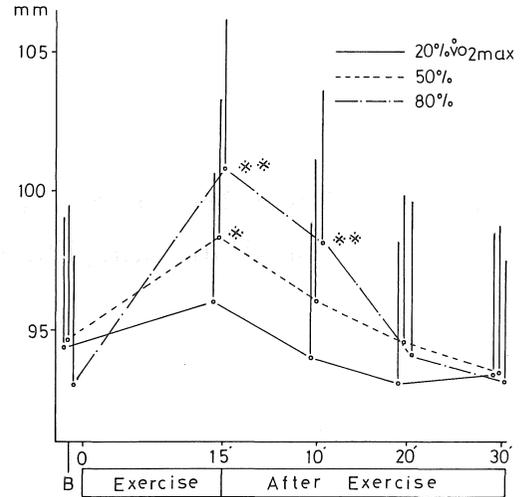


図2 調節近点距離の変化 (Mean ± SE)

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

3. 結果

調節近点距離

図2に示すように調節近点距離(以下、近点)は運動前93.0~94.7mmであった。いずれの負荷でも運動直後、近点は延長し、運動後、次第に前値に戻る傾向を示した。前値との差はMached-T testにより検定した。20% $\dot{V}O_2\max$ での延長は少なく、50% $\dot{V}O_2\max$ では直後3.6mm有意に延長した。80% $\dot{V}O_2\max$ による近点の延長は更に大きく、運動直後7.8mm延長し、作業10分後でも5.0mm延長しており、20分ではほぼ前値に回復した。3つの負荷による近点の延長について、直線性の検定をおこなった結果、直後と10分後で有意であった。従って、近点は運動負荷の強さに比例して延長し、前値への回復は負荷の強いほど遅いことが示された。10名の個体差は、20% $\dot{V}O_2\max$ の運動直後、近点が延長したものの8名、近接したものの2名、以下、50%で延長8名、近接2名、80%で延長9名、近接1名で負荷の違いにかかわらず、運動によりほとんどの被験者の近点が延長した。

微動調節

Infrared Optometer により、20秒間の水晶体の微動調節波形をData Recorder に収録した。図3のAは20秒の微動調節波形である。これをPersonal Computer による自動解析システム²⁾によりScale 1(図3のB)、Scale 2(図3のC)のレベルまで周

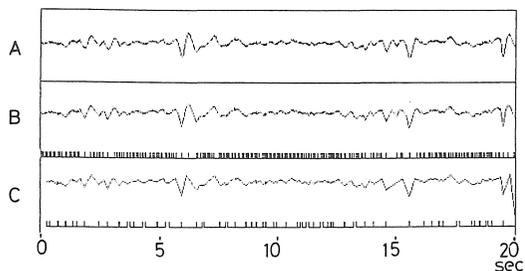


図3 Scale法による微動調節の周波数分析

A : 微動調節の原波形

B : Scale 1

C : Scale 2

波数分析した。分析は波形の Peak to peak 間の時間を周波数帯ごとに累計し、この量的評価に“Percent time”という単位を用い、20秒間に占める％を計算した。解析の対象は、0.5～4.0HZの周波数で、これを、0.5～0.63HZ, 0.63～0.80HZ, 0.80～1.00HZ, 1.00～1.25HZ, 1.25～1.60HZ, 1.60～2.00HZ, 2.00～2.50HZ, 2.50～3.15HZ, 3.15～4.00HZの9帯域に分割した。20秒間に0.5～4.00HZのなかで最も％が多かった周波数帯をピーク周波数とし、たとえば、1.60～2.00HZにあれば、2.00HZをピーク周波数として計算した。

図4は運動による周波数の変化である。運動前のピーク周波数の平均は2.11～2.25HZであった。20% $\dot{V}O_2\max$ では0.34HZ, 50% $\dot{V}O_2\max$ では0.38HZ, それぞれ運動直後に周波数が高くなったがこの差は有意ではなかった。80% $\dot{V}O_2\max$ では周波数に変化はなかった。

自覚症状

産業疲労研究会³⁾の自覚症状の30項目アンケートで運動前の有訴数の合計は20% $\dot{V}O_2\max$ (3), 50% (7), 80%(1)であった。直後の有訴数は20%(3), 50% (4), 80%(2)と20%では変わらず、50%で減少し、80%で大きく増加した。80% $\dot{V}O_2\max$ の運動直後の有訴は足がふらつく(5), 足がだるい(5)など脚の疲労の訴えのほかに、目がつかれる(3), 頭がぼんやりする(2), いき苦しい(2)などで、30分後でも有訴数は6であった。

心拍数

運動前の心拍数の平均は78～80beat/minであった。それぞれ、心拍数は運動終了直前が最も高くな

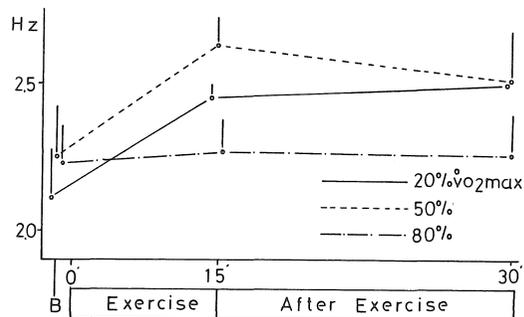


図4 微動調節周波数の変化 (Mean ± SE)

り、20% $\dot{V}O_2\max$ で90beat/min, 50% で128beat/min, 80%では172beat/minに達した。

4. 考察

ダイナミックに筋を屈曲持続させる筋運動によって眼調節機能は低下し、機能の低下は近点の延長、調節緊張時間の増加に表れることは知られている。古くは、24時間強歩時⁴⁾や、各種スポーツ終了直後の近点の延長⁵⁾などの知見、15分の自転車 ergometer による調節緊張時間の延長⁶⁾などの報告がある。しかし、近点が延長することは知られていたが、軽負荷ではむしろ、近点は近接する⁴⁾⁷⁾との知見もあり、強度と近点の関係は明確ではない。本実験結果は、運動を15分間の自転車 ergometer のペタリングとし、負荷を被験者の $\dot{V}O_2\max$ の20%, 50%, 80%と、相対負荷を同じにして調節機能に与える影響をみたものである。自覚症状の結果にみるように、終了直前の心拍数が170beat/minを越えた、80% $\dot{V}O_2\max$ の運動直後の疲労有訴が22と最も多く、被験者の疲労感が強かったことが伺われる。近点は80% $\dot{V}O_2\max$ で最も延長し、次に50%, 20%と、延長は負荷が強いほど大きく、又、前値への回復も負荷の強いほど遅いことが明らかとなった。更に、20% $\dot{V}O_2\max$ の軽負荷でも10名のうち8名が僅かであるが延長したことから、軽負荷であっても近点は近接しないことが明らかとなった。

微動調節運動は一点を注視しているときに生じている水晶体の微小な曲率の変化で、Campbell⁸⁾が Fluctuation accommodation と呼び、鈴木⁹⁾が微動調節と呼んだものである。微動調節にみられる微小

な振動は、毛様体筋による調節系のフィードバック機能を反映したものと考えられている。通常、1~2.0Hz (Campbell), 1.5~2.0Hz (鈴木)を中心とする0.5diopterほどの滑らかな振動で、若年者は高周波数成分が多く、高齢化で低周波数成分が増加²⁾⁹⁾するという。

近年、VDT作業にみられるような、視覚器を多用した労働態様の激増に伴い、VDT作業が視覚機能に与える影響が懸念され、微動調節運動の周波数分析が他覚的測定法として注目されるようになった。VDT作業によって、近点延長、調節時間の増加とともに微動調節の低周波化、徐波化²⁾¹⁰⁾¹¹⁾が起こることが報告されている。

本実験では運動前のピーク周波数の平均は2.11~2.25Hzにあり、15分の自転車 ergometer のベタリングによって、周波数は変化しない(80% $\dot{V}O_2\max$)、あるいは、有意差はなかったが運動直後、わずかに高周波化した(20% $\dot{V}O_2\max$, 50% $\dot{V}O_2\max$)。つまり、VDT作業と異なり、運動では近点は延長しても微動調節は低周波化しないことを示した。VDT作業による微動調節の低周波化、徐波化は調節機能の減弱を示唆するのに対して、視覚器に調節負担のかからない運動では、周波数は低周波化しないものと推測すると、近点の延長は毛様体筋機能の減弱によるものではなく、他に起因する二次的变化ではないかと考えられる。

要因の1つとしては、運動による交感神経系の活動が高まることによって瞳孔が散大することが考えられる。瞳孔は瞳孔括約筋と瞳孔散大筋のバランスでその大きさが決まるが、括約筋は副交感神経、散大筋は交感神経の支配をうけている。運動により交感神経系が優位となり、交感神経の化学的伝達物質であるカテコールアミンが分泌される。これはアドレナリン、ノルアドレナリンで、これらは瞳孔散大に働く。運動による血中ノルアドレナリンの分泌は30% $\dot{V}O_2\max$ の比較的軽い負荷から、アドレナリンは50% $\dot{V}O_2\max$ の強度で始まり、いずれも負荷の強い程、運動時間が長いほど分泌は増大¹²⁾¹³⁾するという。瞳孔が散大すれば、光学的には焦点深度が浅くなり、球面収差が大きくなり像のボケ(blur)は増加することになる。逆に瞳孔径が小さいと、焦点深度が深くなるため、近点は近接することが知られている。瞳孔が散大するのではないかと推測させるものに、微動調節の周波数の高周波化が

ある。微動調節と瞳孔は密接な関係があり、瞳孔の散大で周波数が高くなり、縮小で低周波化する¹⁴⁾¹⁵⁾という。これは、微動調節の働きは常に網膜にピントのあったクリアな像を結ぶためではなく、網膜に一定のボケた像をつくることにあり、このため、瞳孔径が大となり、焦点深度が浅くなると、像のボケが大となるため、高周波化して誤差(ボケ)を一定の範囲内に留めるように作用する¹⁶⁾¹⁷⁾といわれる。このことからみると、有意差はなかったが運動によって、微動調節が僅かに高周波化(20%, 50%)したことは瞳孔が散大することを推測させるものである。

しかし、微動調節の高周波化によって瞳孔の散大による像の blur を最小限に留め、恒常性が保たれていると考え、又、運動後は交感神経に対して、副交感神経系が優位となり瞳孔は縮小に向かうことも想起すると、本実験結果における近点の延長から回復までの過程に瞳孔の関与する可能性は少ないのではないかと考えられる。

毛様体筋は交感神経と副交感神経の二重支配であるといわれ、軽微であるが交感神経の興奮により調節力が減少し、副交感神経の興奮で増加する¹⁸⁾という。更に、平滑筋である毛様体筋も骨格筋と同様の新陳代謝をとるとされることから、運動による筋疲労や、あるいは運動による交感神経興奮がなんらかのかたちで毛様体に影響していることも考えられる。運動による近点延長は多くの要因が複合されたものと推測されるが、本研究では推測の域をでない。本実験結果を確めるべく、現在、運動による瞳孔の変化について実験を進めており、瞳孔が近点延長の要因となり得るかを検討中である。

5. 要約

運動(筋運動)によってもたらされる眼調節機能の低下を明らかにする目的で、調節近点距離と、水晶体の微動調節運動を測定した。運動を自転車 ergometer の15分のベタリングとし、強度を各被験者の最大酸素摂取量の20%, 50%, 80%と相対負荷を同じにした。被験者は18~20才の男子10名。

1. 調節近点距離はいずれの強度の運動でも延長し、運動後、次第に前値にもどる傾向を示した。近点の延長は負荷の強いほど大きく、回復は負荷の強いほど遅かった。80% $\dot{V}O_2\max$ では回復までに約20分を要した。20% $\dot{V}O_2\max$, 心拍数で90beat/min

の軽い負荷でも近点は近接しなかった。

2. 微動調節の周波数の平均は運動前2.11~2.25 HZであった。20% $\dot{V}O_2\max$, 50% $\dot{V}O_2\max$ の運動直後、有意差はなかったが、0.34~0.38HZ 周波数が高くなった。80% $\dot{V}O_2\max$ では周波数に変化がなかった。

3. 運動により、近点は延長したが、微動調節の周波数には有意な変化がなかったことから、運動による近点延長は、VDT作業などの調節を多用する結果起こる近点延長とは異なる要因によるものと推測された。

引用文献

- 1) Åstrand. P. O, Podahl. K: Textbook of work physiology. オストランド運動生理学, 461-480, 大修館, 東京, 1976
- 2) Miyao. M, Tanahashi. M, Tomiyama. S, Akamatsu. Y, Kuno. H, Iguchi. H, Kondo. T, Sakakibara. H, Furuta. M, Yamada. S, Ono. Y: The scale method as a spectral analysis for accommodative fluctuation, Nagoya J of Med. Sci, 49, 1987
- 3) 橋本邦衛, 遠藤敏夫: 生体機能の見かた—人間工学への応用—, 140, 人間と技術社, 東京.
- 4) 酒井敏夫, 上岡輝方, 栗原毅夫, 長田善博: 24時間強歩時の視機能の変化について, 体力科学, 1, 72-79, 1951
- 5) 大槻弘右: 全身疲労の視機能に及ぼす影響, 第1報. 近点の変化, 臨床眼科 4(2), 78-81, 1950
- 6) 渡辺義行, 長岡良治, 水野義雄: 運動が眼調節時間に与える影響について, 日本体育学会第28回大会号, 174, 1977
- 7) 芥川靖治, 檜崎嗣朗, 井上雄文: 疲労示標としての眼調節力, 体力科学, 4, 97-100, 1954
- 8) Campbell. F. W, Robson. J. B, Wetheimer. G: Fluctuation of accommodation under steady viewing conditions, J of Physiology, 145, 579-594, 1959
- 9) 鈴木昭弘: 微動調節の研究. 眼紀, 31, 367-373, 1975
- 10) Tanahashi. M, Miyao. M, Sakakibara. H, Kondo. T, Akamatsu. Y, Takihi. K, Yamauchi. T, Yamanaka. K, Yamada. S, Tomiyasu. S: The effect of VDT work on the fluctuations of accommodation, Industrial Health, 24, 173-189, 1986
- 11) 栗本晋二: VDT作業が視機能に与える影響, 人間工学, 19(2), 87-90, 1983
- 12) Bloom. S. R, Jonson. R. H, Park. D. m, Rennie. M. J, Sulaiman. W. R: Differences in the metabolic and hormonal response to exercise between racing cyclists and untrained individual, J of Physiology, 258, 1-18, 1976
- 13) Davis. C, Few. J: Effects of exercise on adrenocortical function, J of Appl Physiology, 36, 887-891, 1973
- 14) 鈴木昭弘, 小林明美: 微動調節の臨床診断法の研究, 眼紀, 31, 367-373, 1980
- 15) 鈴木昭弘, 鈴木直子, 清水洋子: 瞳孔—調節電図よりする調節異常の解析, 眼臨, 3(14), 515-526, 1974
- 16) 笠井 健, 近藤勝也, 関口 稔, 藤井克彦: 眼の焦点調節における焦点深度の影響, 医用電子と生体工学, 9(1), 28-36, 1971
- 17) 笠井 健, 藤井克彦, 関口 稔, 篠原 薫: 眼の焦点調節におけるボケ処理のメカニズム, 電子通信学会論文誌, 5(5), 261-268, 1974
- 18) 勝木保次編: 生理学体系VI. 感覚の生理学, 488, 医学書院, 東京, 1967

(受理 昭和63年1月25日)