

断眠が視覚機能のサーカディアンリズムに与える影響

On the Effect of Sleep Deprivation on the Circadian Rhythm of Visual Function

石 垣 尚 男

Hisao ISHIGAKI

Summary

Five subjects were loaded the sleep deprivation experiment during 36 hours. The effects of sleep deprivation to Circadian Rhythm of the visual function were investigated. 11 visual functions having been tested during the sleep deprivation experiment, and the visual function was measured every three hours.

Main results are as follows.

1. The Critical Flicker Frequency (CFF) had clear periodicity. However, CFF of the next day had not clear periodicity, and the frequencys were low level.
2. It was estimated that subject who was low visual acuity chang into visual acuity value during a day, however the visual acuity is not deteriorate due to the sleep deprivation.
3. The accommodation near point distance extended by about 6cm for a day. However, did not return to the value before last morning.
4. It was considered that the stereopsis was not in periodicity and effect of sleep deprivation .
5. The eye movement had the approximated periodicity in the CFF.
6. The contrast sensitivity had the tendency with higher sensitivity of the evening than the morning.
7. Clear periodicity was not provided as other functions.

1. 研究目的

生体は昼夜の周期に合わせて眠りと目覚めを繰り返す、それにともない生体機能はサーカディアンリズム (circadian rhythm) と呼ばれる一定の周期性をもって変動することは知られている。生活パターンが夜型に移行し、睡眠不足や睡眠時間帯のズレが日常的な現代では、生体機能のサーカディアンリズムがどのように変動するのかわかることは健康な生活の上でも重要である。

この研究はこれまで周期性についてほとんど明らかになっていない視覚機能にサーカディアンリズムがあるのかわかりにし、さらに通常の睡眠時間帯を眠らないことによって、サーカディアンリズムは変動するか観察することを目的としている。

CFF(Critical Flicker Frequency)は、覚醒レベルを反映する¹⁾ものとして、サーカディアンリズムの客観的指標として用いられることが多い。Musumeciら²⁾は午前9時から午後9時の間、3時間ごとに6才~8才の児童28名のCFFを観察して、CFFは一日のうち一定の周期性をもって変動していることを確認している。

CFFは比較的測定容易な指標であり、覚醒レベルや他の視覚機能との関係が深い³⁾と考えられることから本研究でもCFFの周期性を軸とし、CFFをもとに他の視覚機能との関係を観察した。本実験では午前9時より翌日の午後9時までの36時間、一睡もしない場合、時間の経過にともなって視覚機能はいかなる変動を示すのかわかり観察した。

2. 方法

1) 被験者

21~22 才の健常な男子大学生 5 名。うち、コンタクトレンズによる矯正が 3 名, 非矯正 2 名である。

2) 被験者の睡眠時間の統制

被験者には実験日の 1 週間前から午前 0 時 (以下, AM0) 前後に就寝し, 午前 7 時 (以下, AM 7) 前後に起床するように要請した。全員おおむねこの睡眠時間を 1 週間継続した。被験者 5 名の実験日の平均睡眠時間は 7 時間 10 分であった。

3) 実験時間

被験者には, 実験日当日は AM 7 前後に起床させた。AM9 より実験を開始し, 翌日 PM9 の測定で終了した。

4) 測定項目

以下の 11 項目の測定と, 「産業疲労研究会の自覚症状調べ」を 3 時間ごとに行った。

(1) CFF

NEITZ ハンディフリッカーを使用した。赤色光の点滅周波数を下降法により両眼視で 5 回測定し, 平均値を求めた。

(2) 静止視力

VDT 視力計 NS-050 (TOMEY) を使用して右, 左, 両眼視力を測定した。

(3) 立体視

NEW STEREO TEST (HANDAYA) の升目図形を使用した。

(4) 調節近点距離

近点距離計 (Kowa) を使用し, 両眼で測定した。3 回測定し平均値を求めた。

(5) KVA 動体視力

AS-4A 型 (Kowa) を使用した。視距離 30m で視力 1.0 に相当するランドルト環を 50m より眼前に 8.3m/sec で接近させ, 識別できた距離を測定した。5 回測定し平均値を求めた。

(6) DVA 動体視力

自作 DVA 動体視力計を使用した。視力値換算 0.04 のランドルト環を 40rpm から自動的に減速させ, 識別できた時点の速度 (rpm) を 5 回測定し, 平均値を求めた。

(7) 眼球運動

自作パソコンソフトウェアを使用した。Display 上に 0.5sec のインターバルで連続して出現する緑色視標を眼球運動で追跡し, その間に 1/5 の確率で出現する黄色視標が識別できたらスペースキーを押し, 時間内に正しく押すことができた数を計測した。

(8) 瞬間視

自作パソコンソフトを使用した。Display 上に 100msec 提示される 6 桁の数字を瞬間的に判別させた。これを 10 回提示し判別できた数の平均値を求めた。

(9) コントラスト感度

VISTECH 社の VISION CONTRAST TEST パネルを使用した。

(10) 深視力

深視力計 CP250 (TOMEY) を使用した。前→後, 前←後各 3 回, 計 6 回測定し平均値を求めた

(11) 眼と手の協応動作

WAYEN 社製 SACCADIC FIXATOR を使用した。30 秒間にタッチできたターゲットの数を測定した

以上の項目のうち, 被験者はまず CFF を測定し, 次に視力を測定した。その他の項目の測定は順不同とした。すべての測定が終了した後に, 産業疲労研究会の自覚症状調べを行った。11 項目の測定に要した時間は約 10 分/人であった。3 時間ごとの測定回数は 36 時間内へのべ 13 回であった。被験者には予備実験でこれらの測定に習熟させた。

5) 実験中の行動の統制

- ・実験中は仰臥, 居眠りを禁止し, 検者が監視, 確認した。
- ・実験中の読書, テレビ視聴は許可したが, 測定開始 1 時間前からの飲食, コーヒー, お茶, 軽運動, テレビ視聴を禁止した。
- ・トイレを除いて原則として被験者の実験室からの外出を禁止し, 食事はすべて差し入れた。
- ・実験室は蛍光灯の約 1000 lx の照明であった。窓にはカーテンをせずに昼夜にわたって外光を入れた。2 日間の天候は晴れであった。

3. 結果

自覚症状

表 1 は, 産業疲労研究会の自覚症状 (気分しらべ) のアンケートの結果である。1 日目の AM0 まではリラックスした気分が多いが, 夜中の AM3 にはボウツとしている, 少し眠いという訴えが出だし, 2 日目の PM12 頃には眠い, 横になりたい (1 名), とても眠い, 目を開けていられない (2 名) といった強い眠気を訴える被験者が増えている。その後, 強い眠気の訴えは減り (1 名), 眠い, 横になりたい (3 名) という訴えが増えている。2 日目の PM3 以降には眠気とともに, 活動性の低下がおきることが推測される。

1) CFF

図 1 は, 36 時間にわたる CFF の各被験者の変動と, 平均値の変化である。CFF の個人差は 1 日目の AM9 で平均 40.5~47.2Hz の範囲にあった。36 時間の変動パターンは各個人により違い, 必ずしも全員一定のパターンをとらなかった。しかし, PM6 から PM9 にかけては全員の周波数の低下が観察された。平均値は AM9 から PM12 にかけて上昇し, PM3 で一旦低下し, PM6 にかけて再び上昇した。その後, PM9 にかけて低下し, PM9

表 1 自覚症状（気分しらべ）の結果

気分	AM9	PM12	PM3	PM6	PM9	AM0	AM3	AM6	AM9	PM12	PM3	PM6	PM9
活動的	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
活動的だが高いとはいえない	1	3	3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
リラックスした気分	2	1	2	2	3	4	2	0	0	0	0	1	0
少しポウツとしている	2	0	0	1	0	1	0	3	3	0	1	0	1
ポウツとしている。少し眠い	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	0	2	0
眠い。横になりたい	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	2	3
とても眠い。目を開けていられない	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1

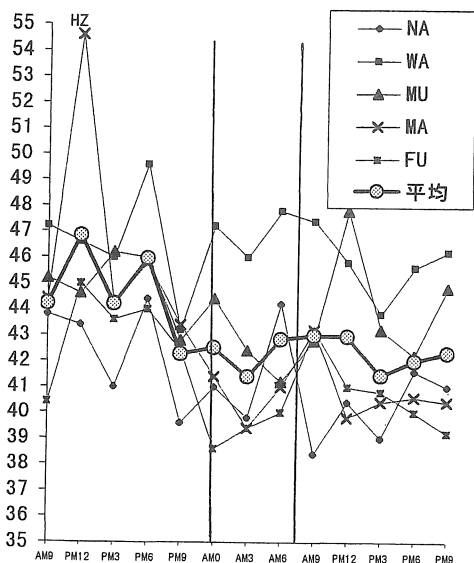


図 1 CFFの周期性と断眠による影響

の周波数はAM9より低くなった。このような3時間ごとの一日のCFF変動パターンは、同じく、AM9～PM9の3時間ごとの児童のCFFを観察したMusumeciら2)の結果とまったく同様であった。

AM0～AM7は通常の睡眠時間帯であるが、この間のCFFは41～42Hzと低いまま、ほぼ一定値を保った。断眠後の2日目のAM9時～PM9時のCFFは1日目にみられた周期的な変動はなく、また周波数も41～43Hzと、前日の同時間帯より3～4Hz低く推移した。通常の睡眠をとれば健常であれば1日目とほぼ同じ周波数で、一定の周期的な変動パターンをとると思われるが、断眠後の変動は異なっていた。このことから、CFFの周期的な変動は断眠によってくずれ、しかも周波数が低いまま推移することが明らかとなった。

2) 視力

両眼視力(以下、視力)の変動を小数視力で図2に示した。5名のうち、被験者MAのみが大きな変動を示した。被験者MAの視力は1日目のAM9の時点で0.7であり、その後、36時間の間に1.5の間を変動した。他の被験者にはMAにみられたような大きな変動はなかった。視力が低い被験者は一日のうちに変化することが推測される。

5名の被験者を平均した変動は図1のCFFの変動パ

ターンと近似している。しかし、2日目にはCFFは低下したのに対し、視力は断眠によって低下していないのが特徴である。少なくとも1昼夜程度の断眠では視力は低下しないものと思われる。

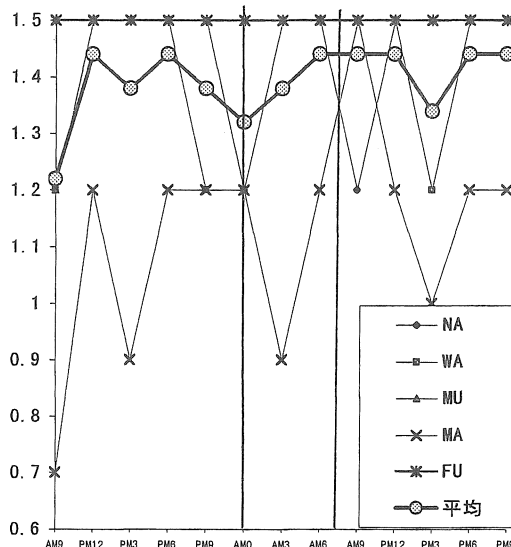


図 2 視力(両眼)の変化

3) 立体視

NEW STEREO TESTの目図形の評価は全員が9であり、しかも36時間にわたって変動が一切なかった。したがって、立体視には周期性がなく、かつ断眠によって影響されないと思われる。

4) 調節近点距離

調節近点距離(以下、近点)は1目のPM12より測定を開始した。近点は全員がAM3に向かって延長するというほぼ同じパターンを示した。被験者MUをのぞいて近点は12～14cmであったが、AM3では平均で約6cm延長した。ピークはAM3にあり、その後、一旦AM9に向かって短縮するが、1日目の値まで短縮せず、2日目は延長したまま推移した。通常の睡眠をとれば1日目の同時間帯まで近点は短縮するはずであるが戻らなかった。AM3～AM9にかけてみられた短縮が睡眠中に前日値まで回復する機序を示唆しているものと思われる。近点は朝がもっとも近くにあり、その後、時間をへるごとに延長をつづけ、睡眠中に前日値まで回復するという周期性をとるものと思われる。しかし、断眠によってこの周期性はくずれることが明らかになった。

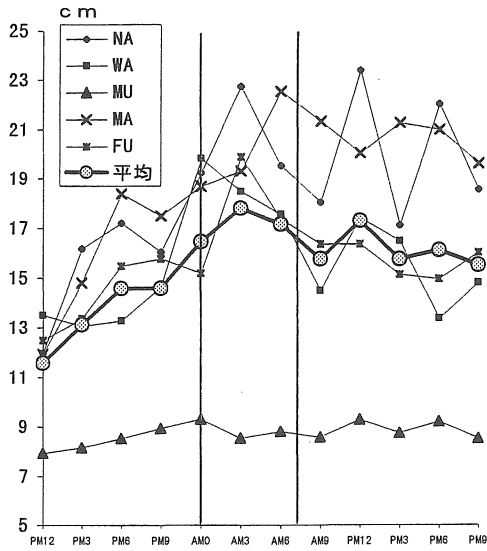


図 3 調節近点距離の変化

5) KVA 動体視力

KVA 動体視力の変動は被験者 MU を除いてわずかであり, とくに被験者に共通した変化を示していない. 断眠によって KVA 動体視力が低下するという傾向もなかった (図 4).

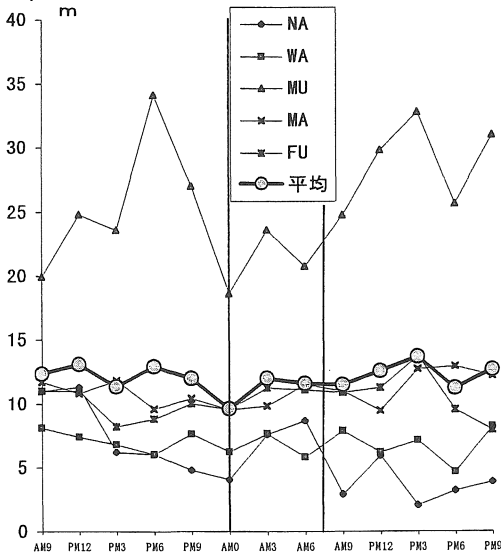


図 4 KVA 動体視力の変化

6) DVA 動体視力

DVA 動体視力は, 1 日目の PM 6 に向かって向上し, PM 9 で低下したのち, AM 3 にピークとなった. 断眠によっても低下しなかった. また 1 日目のような周期性は 2 日目にはみられなかった (図 5)

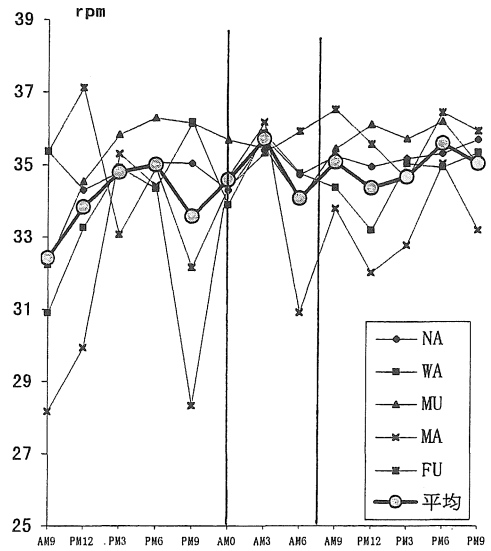


図 5 DVA 動体視力の変化

7) 眼球運動

図 6 に眼球運動の変化を示す. 眼球運動は図 1 の CFF と同じような周期性をもって変動した. AMO にピークがあり, AM6 に向けて能力は低下した. 第 2 日目には, 1 日目よりやや低下したものの, まったく同じ周期性を示した.

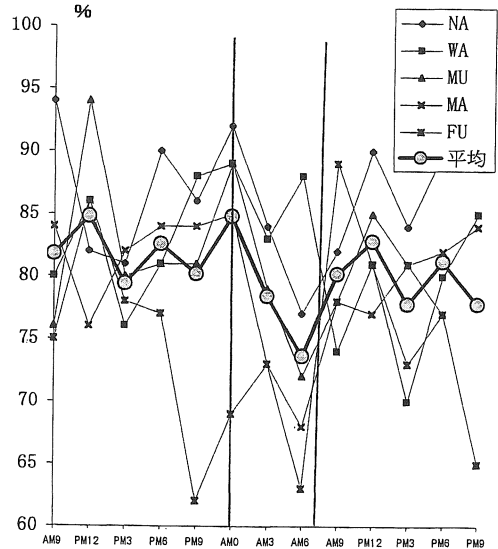


図 6 眼球運動の変化

8) 瞬間視

1 日目の瞬間視は PM3 にピークがあり, PM 6 ~AM0 には低下した. 2 日目の変化も 1 日目と同様に, PM3 にピークのある周期性を示した. また, 断眠によって能力の低下は観察されなかった.

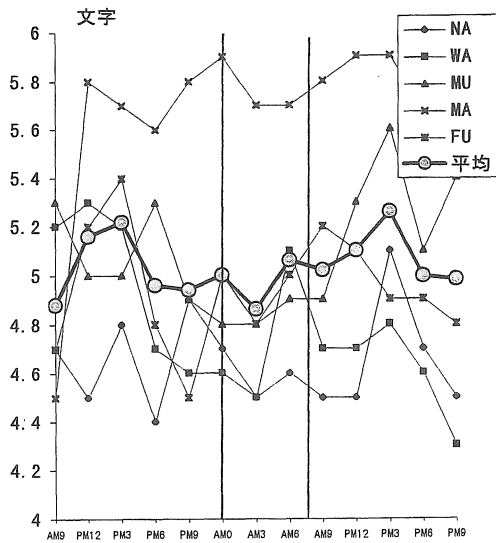


図7 瞬間視の変化

9) コントラスト感度

図8は、VISION CONTRAST TEST パネルの1.5Hz~18Hzの5つの周波数におけるコントラスト感度値(1~8)の平均値である。数値が上がれば、コントラスト感度は上昇したことを表す。1日目のコントラスト感度は各周波数ともAM9より上昇し、PM6に感度のピークがあった。PM9、PM0には感度は下がっている。第2日目はAM9より再び上昇し、感度のピークはPM6にあるというパターンを示した。とくに周波数による変動のパターンの違いはないと思われる。コントラスト感度は朝より夕方の方が高いという周期性をし、断眠による影響はないものと推測される。

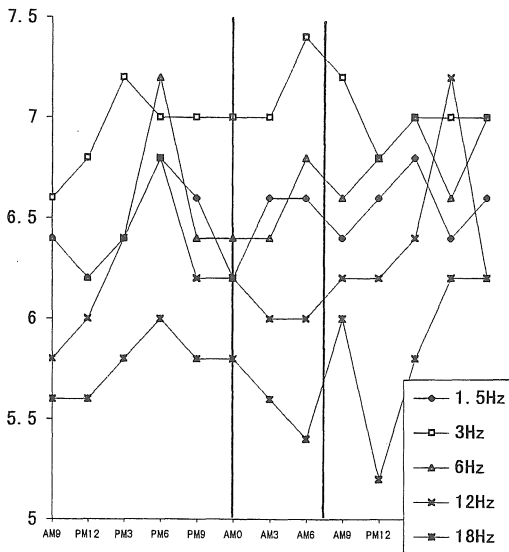


図8 コントラスト感度の各周波数の変化(平均値)

10) 深視力

深視力は1日目、2日目を通して向上する傾向を示した(図9)。しかし、その差はわずかであり、差とは言えない範囲内の変動である。被験者FUの変動が大きく、平均値を左右している。他の被験者の変動をみると共通した変化パターンがなく周期性は不明確である。しかし、2日目の低下はなく、深視力は断眠によって影響されないものと思われる。

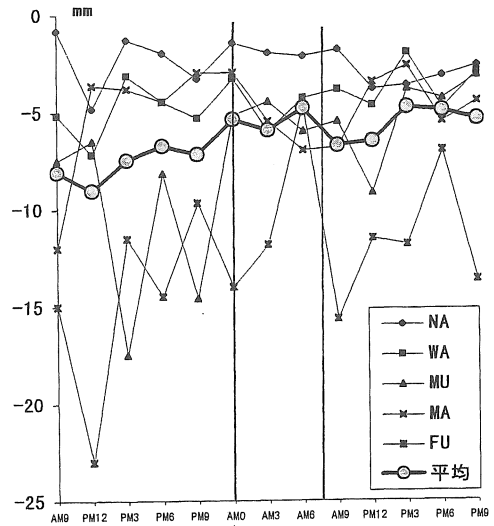


図9 深視力の変化

11) 眼と手の協応動作

眼と手の協応動作も1日目、2日目を通して向上する傾向を示した(図10)。AM0~AM6という睡眠時間帯での低下も観察されない。眼と手の協応動作は、視覚的には周辺視野での認知であり、両手によるターゲッ

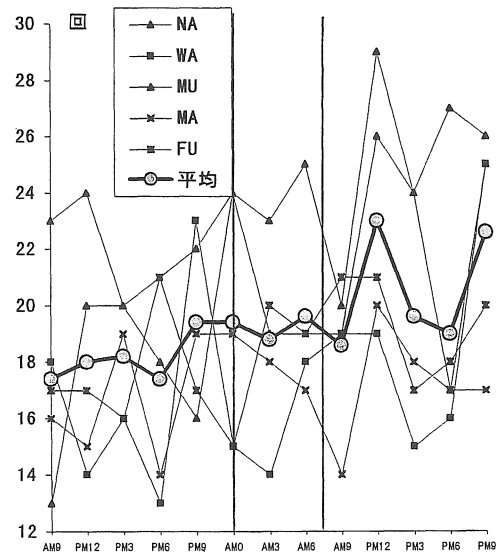


図10 眼と手の協応動作の変化

トのタッチという動作が伴う。したがって、パラメータであるタッチできた個数には、視覚以外にも反応、意欲といった要素が他の測定より多く含まれると思われる。わずかながら向上した理由には視覚以外の要素も考慮しなければならないだろう。2 日目の PM12 のピークは、表 1 にあるような強い眠気を払うため、さらに PM9 のピークは、最後の測定であるため被験者がとくに意欲をもって臨んだためと考えることもできる。少なくとも眼と手の協応動作は断眠によって影響されないものと思われる。

4. 考察

この実験を通して得られた結果は複雑であり、視覚機能によって周期性と断眠の影響はさまざまである。この実験の軸として設定した CFF の 1 日目の周期性は、Musumeci ら²⁾の結果とまったく同じパターンであった。このことは本実験が統制された条件下で行われたことを示唆するものである。断眠によって CFF の周期性はくずれ、2 日目の周波数は 1 日目より 3~4Hz 低かった。したがって断眠により 2 日目の覚醒レベルは低いまま推移していることを示唆する。このことはボウツとしている、眠い、横になりたいという気分の増加と符合している。

このように CFF は明確に変動したが、他の視覚機能の中で CFF の変動と近似したものは、唯一、眼球運動の周期性であった。断眠によって 2 日目の能力が低下したことも共通である。しかし、CFF と眼球運動の共通性を考察する知見はない。

視力の低い被験者は一日のうちで変動することを示唆する結果が得られた。しかし、断眠によって 2 日目の視力の低下はなく、少なくとも一昼夜の断眠では視力は低下することはないといえよう。

立体視には周期性はなく、また断眠の影響もないと思われる。立体視は両眼視機能の中でもっとも発達した機能であり、立体視機能の程度を表したものが深視力である⁴⁾とされることから、深視力の変動がほとんどなかった(図 9) ことと符合する。ものを立体的に見るといふ高次の視覚機能には周期性はなく、一昼夜程度の断眠によって変動する機能ではないものと思われる。

調節近点距離は朝がもっとも近く、深夜に向かって延長するパターンを示した。近点は VDT 作業⁵⁾、筋運動⁶⁾によっても延長することは知られ、疲労の指標の一つとされるものである。しかし、VDT 作業⁵⁾での延長は 20mm 程度、筋運動⁶⁾では 10mm 程度であるのに対し、一日のうちに約 60mm 延長しており、変化が大きい。また、近点は睡眠中に前日値まで回復するものと思われるが、断眠すると回復しないまま経過することが明らかとなった。

コントラスト感度は朝より夕方の方が高いというパターンであった。また断眠によっても影響されなかった。瞬間視は朝よりも PM3 時頃にピークがある変動で

あった。KVA 動体視力、DVA 動体視力、眼と手の協応動作は一日のうちで、とくに特徴的な変動は示さず、また、断眠による影響もなかった。

周期性と断眠影響でまとめると、明確な周期性があったのは CFF、近点、眼球運動であり、これらは断眠によって翌日の能力が低下した。しかし、その他の機能には、明確な周期性と断眠による能力低下は観察されなかった。

本実験は被験者が 5 名であり、個人差の変動が平均値に大きく作用していた。また、周期性については 1 週間というスパンの中での曜日の影響も考えられることから、それらを考慮した実験事態が望ましいと思われる。

文献

- 1) 橋本邦衛:「Flicker 値の生理的意味と測定上の諸問題—Flicker Test の理論と実際—」, 産業医学 第 5 巻 9 号, 563-76, 1963.
- 2) 橋本邦衛, 遠藤敏夫:「生体機能の見かた—人間工学への応用—」, 人間と技術社, 1973, 109-10.
- 3) M, Musumeci., H, Misiak: Circadian variation of critical flicker frequency among children, Perceptual and Motor Skills, Vol. 38, 751-754, 1974.
- 4) 大島祐介:「運転適性検査と動体視力・深視力について」, 日本の眼科, 第 55 巻 10 号, 1039-40, 1984.
- 5) 岩崎常人・他:「Visual Display Terminal 使用者の調節機能に関する研究」眼紀, 33, 90-95, 1982.
- 6) 石垣尚男:「15 分間の自転車エルゴメーター運動による視力低下と要因分析」, 体育学研究, Vol. 33, No3, 185-192, 1988.

(受理 平成10年 3月20日)