

精神的疲労の生理機能に関する測定方法の検討*

— ブロッキングと脈波との関連 —

棚 橋 昌 子

A Study of the Measuring Method on Physiological Reaction to Mental Fatigue

— Relation to Blocking and Heart Rate —

Masako TANAHASHI

I 目的

一般的に疲労は心身のある状態の体験を表わし、その限りにおいては疲労は体験的現象である^{1) 2)}。このような疲労を研究の対象とするようになったのは、生産効率を高めることが第一の課題となった近代であり、生産効率の障害となる疲労が問題となった³⁾。第一次世界大戦の頃、兵器工場において、1日11時間労働よりも1日9時間労働の方が、週あたりの兵器生産率が高いことを証明した H.M.Vernon の実験は古典的研究である。以後、疲労研究は世界でも日本でも生産性と休憩時間の関連等、産業衛生の分野で発展してきた⁴⁾。

疲労研究へのアプローチには主に3つの側面があり、一つ目は生産性を阻害するものとしての疲労、二つ目に自覚症状として現われる疲労、三つ目に正常な生理機能とのズレ、または生理機能回復の遅れとして捉えられる疲労である。この3つの側面を包括した疲労研究が必要とされている。生産性の向上を目的とした疲労研究は因果関係が明確である。疲労自覚症状の研究は、産業疲労研究会を中心として進められており、1950年に第一次自覚症状調査票を発表し、1975年には自覚症状調査票の改訂が行われ、2002年には第3次改訂が行われた⁵⁾。疲労研究の中でもっとも困難で議論のあるのが生理機能測定に関する課題であり、現在までに多種多様な方法が開発されている⁶⁾。

次に現代の疲労の特徴をあげる。重労働や極端な長時間労働等による身体的疲労は減少し、生産効率の向上や対人関係等が重要な要素となる精神的疲労が増加している。精密な仕事を正確に早く仕上げることが要求され、不良品を出すことを許さない体制のなかでの労働、さらに、生産性の向上といった場合も単純ではなく、対人関係を中心とした仕事では成果の評価基準をどのように考えるかという問題がある。また、全身疲労から局所のみを酷使する局所疲労が多くなったのも現代の特徴である⁷⁾。熟睡できずに一夜の睡眠では回復しない蓄積疲労や慢性疲労、不可逆(もとに戻らない)疲労として「過労死」も大きな社会問題となっている。最近では夜間勤務や不規則勤務のような勤務形態が普及し、生活リズムの乱れが「疲労→休養→疲労回復」のリズムを乱しているのも現代の特徴である^{8) 9)}。

*この研究は、平成12年度愛知淑徳大学研究助成(個人)を受けたものである。

本報告では、集中力を要する作業として色名呼称によるブロッキング（作業中断）を取り上げ、生理機能として生体反応測定機 PowerLab200により指尖脈波と皮膚温を測定し、その関連を検討したので報告する。今回は疲労の測定方法の検討を目的とした基礎研究であり、疲労研究への応用は今後の課題とする。

II 研究方法

実験時期は2003年7月～9月であり、被験者は大学生（女性）5人である。実験室の環境は室温25～26℃、湿度60～65%であり、色名呼称作業の画面の照度は320～350 Luxであった。各被験者につき、作業していない時（リラックス時）、普通状態での作業時、空腹時（12時頃で昼食前）・満腹時（昼食後で14時頃）の作業時に実験を行ったが、今回はリラックス時と普通状態での作業時のみを解析した。

1) 色名呼称とブロッキング

色名呼称は精神的集中力を必要とする作業であり、100文字を1サイクルとして5サイクルの作業を行い、1サイクルごとの所要時間とブロッキング（作業中断）回数を記録した。ブロッキング（blocking）は精神的集中力を要する作業の継続が一時的に中断される現象であり、実験的には比較的等質な作業を反復させる。色名呼称（色名を音読する作業）はよく採用される作業である⁶⁾。従来は「赤・青・緑・黄」の色文字盤を一定の方向から一字ずつ音読させるのであるが、今回は被験者にパソコン画面上に一字ずつ表示される色文字の色名を読ませ、「エンターキー」を押しながら順次画面に表示される文字の色名を音読させた。その際に「文字ではなく文字の色を音読してください」「できるだけ早く正確に作業してください」「色名を間違えたら言い直してください」と指示した。

2) PowerLab200(生体反応測定機)による指尖脈波及び皮膚温の測定

生理機能検査としては生体反応測定機 PowerLab200(バイオリサーチ社)により、指尖脈波および皮膚温を測定した。また、作業経過中にブロッキングした時点を記録した。被験者が色名呼称作業をする際に、右手で「エンターキー」を押し、作業を進行させ、左手人差指先端に脈波測定用センサー、左手中指先端に皮膚温測定用センサーをとりつけた。比較的測定しやすい指尖脈波を記録し、心拍数を解析することにより作業中の生理機能の変化を解析した。心拍数は身体運動に伴い促進反応が見られ皮膚温も高くなる傾向がみられ、よく使用される生理的指標である。また、精神的負担による自律神経中枢の緊張性を表わす指標としても注目されている。

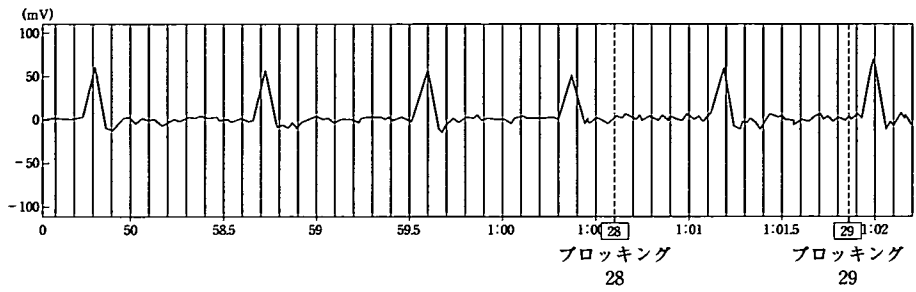


図1 指尖脈波 (1/1)

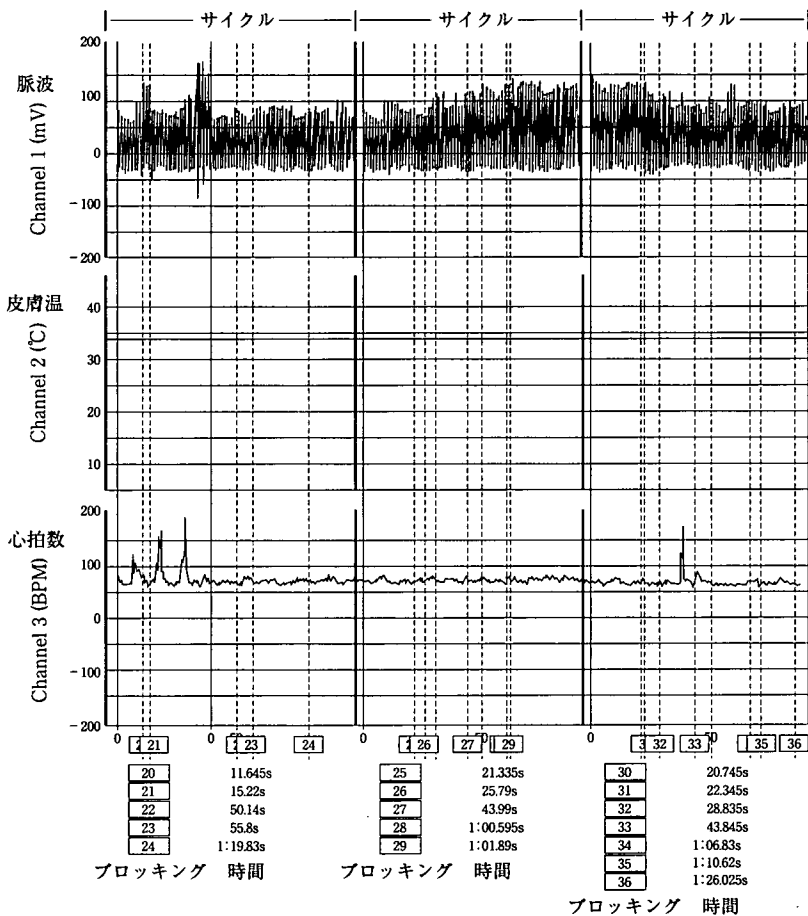


図2 波形とブロッキング (1/100)

図1は指尖脈波の例であり、図2は測定図の例である。脈波(channel 1)および皮膚温(channel 2)は実測値であり、心拍数(channel 3)は脈波形状から計算されたものである。点線はブロッキングであり、1サイクルごとに経過時間が表示される。

3) 解析方法

色名呼称作業において、色名を間違えて云い直した場合および明らかに色名呼称が遅れた場合をブロッキング（作業中断）として、ブロッキングと心拍数および皮膚温との関連性について検討した。心拍数は平均心拍数と最大心拍数について検討した。

生体反応測定機により、被験者が作業をしないでリラックスした状態の脈波を測定し、各被験者について、10秒間/回として8～10回分の心拍数・最大心拍数・皮膚温の平均値を算出した。次に作業時の心拍数及び皮膚温として、100文字を1サイクルとして5サイクルの色名呼称作業を行い、1サイクルごとに10秒間/回として6回分の心拍数・最大心拍数・皮膚温の平均値を記録した。1サイクルのうち、できるだけ初期・中期・後期から2回分（計6回）を選んで解析し、1サイクルごとの心拍数・最大心拍数・皮膚温の平均値を算出した。ブロッキング時の心拍数及び皮膚温として、記録されている被験者のブロッキング箇所すべての5秒間/回分の心拍数・最大心拍数・皮膚温の平均値を算出した。なお、5秒間に2カ所のブロッキング箇所がある場合（ブロッキングが2回続いた場合）には、まとめて1カ所とした。色名呼称作業の評価については、ブロッキング数と所要時間とが考えられるが、今回は20秒あたりのブロッキング数を算出した。

Ⅲ 結果

1) ブロッキングについて

20秒あたりのブロッキング数の平均値をみると、1サイクル目は1.61回、2サイクル目は1.49回、3サイクル目は1.76回、4サイクル目は1.34回、5サイクル目は1.44回であった。1サイクル目と3サイクル目がやや多い傾向がみられるが個人差も大きい。図3をみると、3サイクル目に多くなる場合が2例、5サイクル目にやや多くなる場合が2例、ほとんど変化しない場合が1例であった。

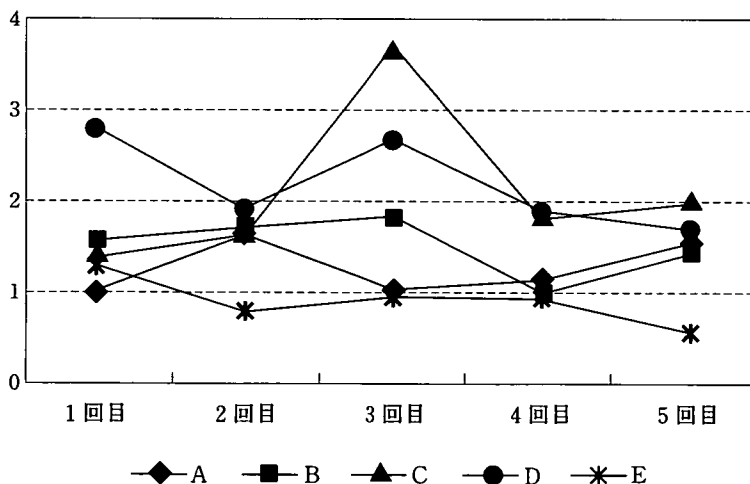


図3 20秒あたりのブロッキング数

2) リラックス時との比較

心拍数・最大心拍数・皮膚温の平均値について、リラックス時と色名呼称作業時とブロッキング時を比較したものが表1である。

表1 心拍数及び皮膚温の平均値

全体の平均値				
	数	心拍数	最大心拍数	皮膚温
リラックス時	45	69.00	74.36	33.74
作業時	141	77.68**	84.18**	33.70
ブロッキング時	167	80.63**	101.07**	33.64

* : p<0.05 ** : p<0.01

個人別の平均値				
	数	心拍数	最大心拍数	皮膚温
A				
リラックス時	10	58.4	61.8	33.6
作業時	28	67.6	75.3	33.9
ブロッキング時	23	71.4	107.5	33.9
B				
リラックス時	8	68.3	74.2	31.2
作業時	28	75.4	81.7	33.7
ブロッキング時	38	75.9	86.7	33.6
C				
リラックス時	8	69.6	76.7	34.2
作業時	27	80.4	85.4	33.2
ブロッキング時	47	90.2	125.1	33.2
D				
リラックス時	10	73.6	80.5	34.9
作業時	28	85.4	91.2	32.2
ブロッキング時	36	84.5	93.4	32.1
E				
リラックス時	9	75.1	78.6	34.8
作業時	30	79.6	87.3	35.5
ブロッキング時	23	81.3	92.7	35.4

心拍数はリラックス時は69回/分であり、作業時は77.68回/分であり、ブロック時時は80.63回/分であり、リラックス時に比較して作業時およびブロック時ともに1%以下の危険率で有意差が認められた。最大心拍数はリラックス時は74.36回/分であり、作業時は84.18回/分であり、ブロック時時は101.07回/分であり、リラックス時に比較して作業時およびブロック時ともに有意差が認められた。また皮膚温は33.7℃前後で変化はみられなかった。

心拍数と最大心拍数については、「リラックス時<色名呼称作業時<ブロック時」という関係がみられ、特に最大心拍数については個人別にも同様の傾向がみられた。一方、皮膚温については全体としては変化がみられず、個人別にはリラックス時よりも上がる場合が2例、下がる場合が2例、変化なしが1例であった。図4はリラックス時を1とした場合の指数で比較したものである。

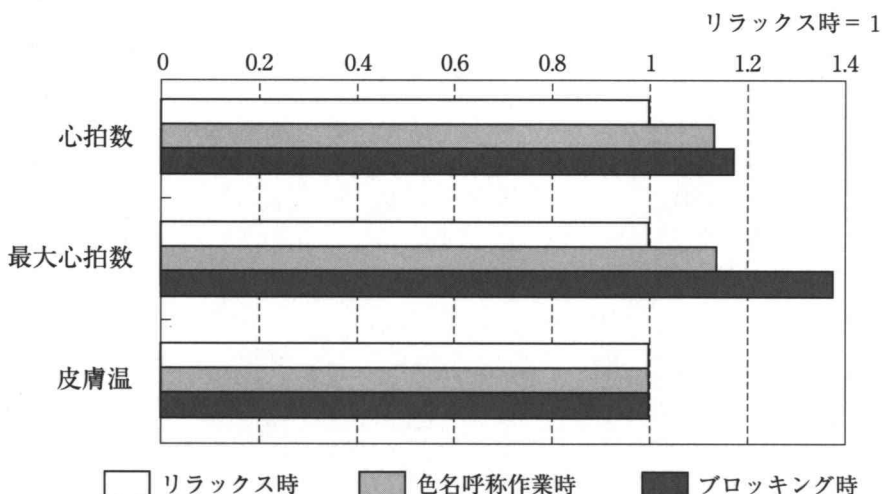


図4 心拍数および皮膚温の平均

3) 作業経過による変化

色名呼称作業は集中力を必要とするので、注意集中の困難をひきおこすといわれる。100文字を1サイクルとして5サイクル継続して作業を行った場合の心拍数と皮膚温の推移を解析した。作業時の心拍数平均値は77.68回/分であり、最大心拍数平均値は84.18回/分であり、皮膚温平均値は33.7℃であった。

心拍数および最大心拍数ともに1サイクル目はやや多く、2サイクル目に減少し、3サイクル目・4サイクル目と増加するが、心拍数は5サイクル目に減少するが、最大心拍数はさらに増加している。皮膚温は1サイクル目はやや高く、2サイクル目に低下し、3サイクル目・4サイクル目・5サイクル目は高くなっている。注意集中力を必要とするこのような作

業では集中力を維持するために、生体の恒常性維持機能を限界まで働かせた上で、心拍数を早くするように自律神経系が機能していることが示唆される。

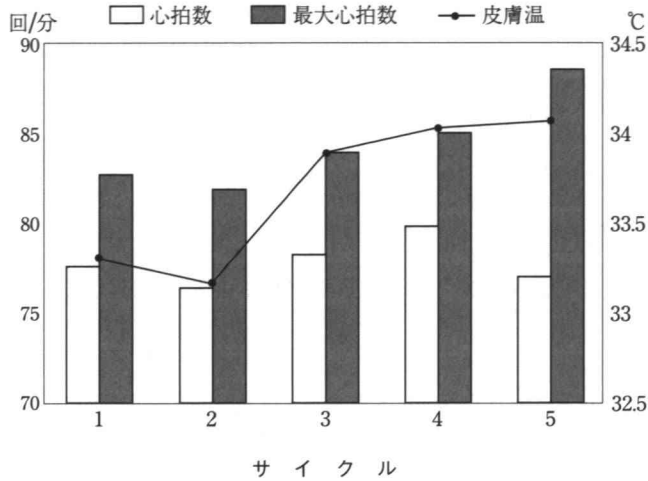


図5 心拍数および皮膚温の推移

4) ブロッキングとの関連

ブロッキングとは作業中断を意味し、色名の云い直しと色名をスムーズにいえない状態を指している。ブロッキング時の心拍数は80.63回/分であり、最大心拍数は101.07回/分であり、心拍数はリラックス時より増加していたが、皮膚温はリラックス時と変化がなかった。ブロッキングと心拍数との関連をみると、20秒あたりのブロッキング数と心拍数および最大心拍数には有意の相関が認められた。ブロッキング状態が頻発する時には心拍数も多くなる傾向がみられ、精神的緊張が自律神経系にも影響を与えていることが示唆される。

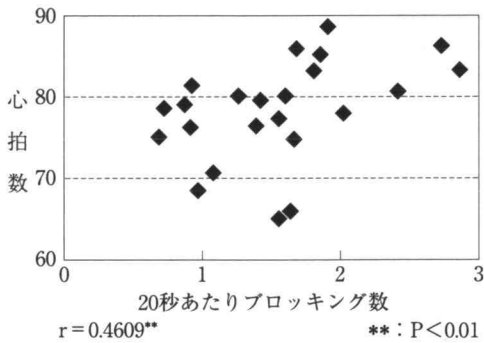


図6 ブロッキングと心拍数

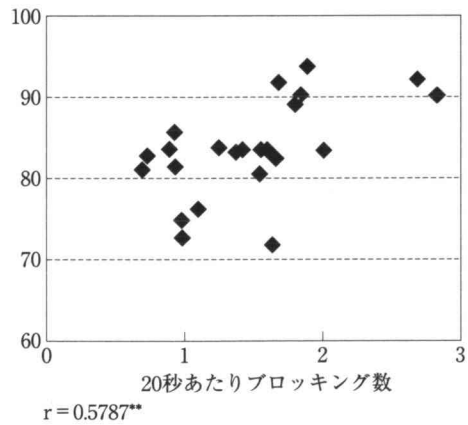


図7 ブロッキングと最大心拍数

次にブロッキング時の状態を解明するために、ブロッキング時の前後で変化が起こっているのかどうかを解析した。1回ごとにブロッキング時を中心にブロッキングの前後各10秒づつを取りだし、心拍数を分析した(表2)。

全体ではブロッキング時にやや多くなる傾向がみられるが有意差はみられなかった。個人別にリラックス時を1としてブロッキング時の心拍数をみると、心拍数では1例を除いて1.2倍以下であったが、最大心拍数では多くの場合にリラックス時の1.2倍以上となり、個別に多様なパターンがみられた。1例はブロッキング時に最高を示し、リラックス時の2倍に達し、1例はブロッキング前後に1.6倍に達し、1例はブロッキング直後に1.5倍に達し、1例はブロッキング直前に1.4倍に達した。変化がみられなかったのは1例のみであった。

このようなブロッキング前後で生起する変化をどのように説明できるのか、今後の課題である。

表2 ブロッキング前後の心拍数及び皮膚温
全体の平均値 (25 サイクル)

	平均心拍数	最大心拍数	皮膚温
直前	78.2	97.1	33.7
ブロッキング時	80.6	100.8	33.7
直後	78.5	100.3	33.7

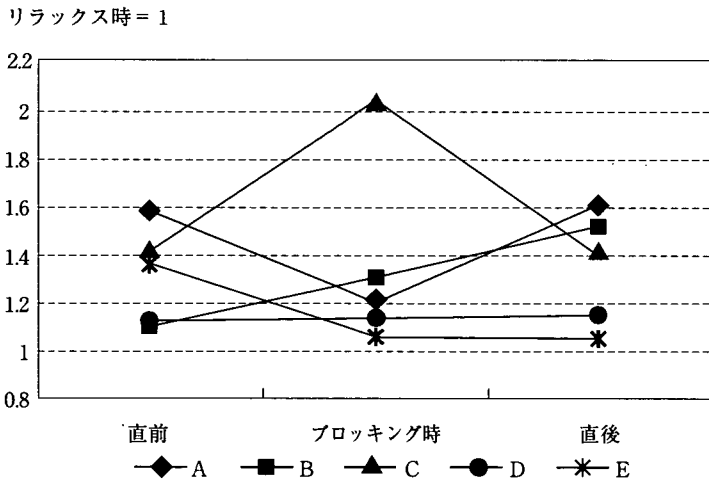


図8 ブロッキング前後の最大心拍数

IV 考察

本報告は、精神的疲労による生理的影響を測定する基礎として、測定方法の検討を主眼としたものである。疲労度をどのようにしたら測定できるのか、という課題を考える一つの試みとして、生体反応測定機 PowerLab200 の有効性を検討した。

心拍数は自律神経系の支配を受け、交感神経の亢進により増加することは既に報告されている^{10) 11)}。身体的には運動負荷により心拍数が増加することは周知のことであり、エルゴメーターにより心拍数を測定しながら自分に適した運動処方が行われている。筆者は、学生が本学の通学路（10分以内）を急ぎ足で往復すると、個人差はあるが通常70回/分くらいの心拍数が、90~100回/分と増加する実験を行った経験がある。

それでは精神的疲労の場合にはどうであろうか。精神的疲労の程度を測定する指標として、①アドレナリン等の分泌量の変化②心臓・血管系の活動（心拍数・血圧等）水準の変化③発汗作用等が考えられる¹²⁾。精神的緊張により引き起こされる生理機能変化の一つに交感神経の亢進による心臓の活動水準の高まりがある¹³⁾。上述の②の心臓・血管系の測定のみならず、心拍数の変化は測定が容易なこともあり、精神的緊張の程度を知る指標として有効であろう。

ブロッキングは阻止現象といわれ、精神的作業の継続が一時的に中断される現象である。色名称呼（文字を読むのではなく文字の色を読む）はよく用いられる作業である。連続的な反応がとっさにできなくなって行き詰まるブロッキングは、個人差はあるが熟練していても作業中に必然的に生起する現象である。この現象は一種の予防救済的な意義をもつと考えられている⁶⁾。一般に作業を全体として遂行しようとする態度の維持が困難になると、部分作業の不履行つまりブロッキングによって、全体として作業を遂行しようとする態度が崩れてしまうのを防ごうとする。ブロッキングが多くなることはこの態度の維持が困難になってきたことを示唆している。

竹宮らは、精神的作業と心拍数との関連について、作業として60秒間の暗算作業を用いた実験で、心拍数が徐々に増加し、50秒経過で最高値に達し、30秒の休憩で心拍数がもとに復帰したと報告している。また、その時の指尖容積脈波 P 波高は減少したと報告している。そして、その背景に心臓血管系に対する交感神経系の作用が影響していることを指摘している¹⁴⁾。

本報告では、色名称呼作業をとりあげ、約5~6分の精神的作業を行う過程で、3サイクル~5サイクルと作業時間が長くなるにつれて、心拍数、特に最大心拍数の増加傾向がみられ、その結果として皮膚温の上昇傾向がみられた。また、作業をしないでリラックスしている時に比較して、色名称呼作業時には心拍数・最大心拍数とも増加し、ブロッキング時にはさらに増加する傾向がみられた。精神的作業による緊張が精神的疲労を生起し、心臓の活動水準を亢進することが示唆された。

1970年改訂の30項目から成る疲労自覚症状項目では、精神的疲労を表すものとして「注意集中の困難（10項目）」の項目があった。産業疲労調査会が2002年に改訂した25項目から成る疲労自覚症しらべでは「I群 ぬむけ感」「II群 不安定感」「III群 不快感」「IV群 だるさ

感]「V群 ぼやけ感」に分類し、5段階評価法（①まったくあてはまらない、②わずかにあてはまる、③少しあてはまる、④かなりあてはまる、⑤非常にあてはまる）で回答することにより、精密に疲労感を測定できるように工夫されている⁵⁾。今回の5サイクル（5～6分）にわたる色名呼称作業の前後で自覚症状を比較すると、I群ねむけ感・III群不快感・V群ぼやけ感において評点が高くなる傾向がみられた。しかし、未だ適用例が少なく、2002年改訂版による疲労自覚症状しらべで、精神的疲労が捉えられるかどうかの分析は、今後検討すべき課題である。

今回は色名呼称作業中に生起するブロッキング現象と生理機能反応として定評がある心拍数および最大心拍数及び皮膚温との関連を検討した結果、測定方法として有用であると考えられる。ここに測定方法として工夫した点をまとめる。

①従来、色名呼称には100文字を一画面とする色名呼称板を使用していたが、これをパソコンに一文字づつ表示し、順次音読するようにした。そのことにより継続して作業することを可能にした。②ブロッキングを明確にし、ブロッキング時刻を記録し、後日その時の脈波（今回は心拍数）を解析できるようにした。③作業時間の経過によるブロッキング状況を記録し、後日解析できるようにした。④脈波そのものが記録されているので、脈波の波高や容積脈波を分析することが可能である¹⁴⁾。波高の分析については、今回は解析方法を確立できなかったが、将来ぜひ解析したいと考えている。

V 結論

色名呼称作業（100文字）を5サイクル繰り返し、その間に生起するブロッキングを記録した。同時に生理機能として心拍数及び皮膚温の測定を試み、ブロッキングと心拍数及び皮膚温との関連を解析した。

- 1) リラックス時に比較して、作業時およびブロッキング時には心拍数・最大心拍数は増加し、有意差が認められた。心拍数にはリラックス時<作業時<ブロッキング時の関係がみられた。しかし、皮膚温には変化がみられなかった。
- 2) 色名呼称作業を継続する過程で、心拍数、特に最大心拍数は2サイクル目には減少したが、3サイクル目から5サイクル目にかけて増加した。また皮膚温も同様の上昇傾向がみられた。
- 3) 20秒あたりブロッキング数と心拍数及び最大心拍数との関連をみると、有意の相関が認められた。ブロッキング時とその前後では、心拍数の増減に個人差がみられた。
- 4) ブロッキングと生理機能との関連を測定する方法の検討を行い、脈波およびブロッキング時刻を記録することにより、後日必要な解析を進めることができ、この測定方法は有用である。

今後の検討課題として、脈波の波高¹²⁾及び指尖容積脈波¹⁵⁾の解析方法を開発したいと考えている。今回、検討した測定方法を、精神的疲労度の測定や体験的疲労現象（例えば空腹時

や睡眠不足時等)の生理機能測定に応用したいと考えている。

最後に、生体反応測定機 PowerLab200による測定および解析に貴重ご教示をいただき、またご協力くださったバイオリサーチセンター株式会社(名古屋市東区)の石川秀人氏に深謝申し上げます。

なお、本研究で使用した生体機能測定機 PowerLab200 は、2000年度本学研究助成(個人)により購入したものである。

参考文献

- 1) 大島正光著 『疲労の研究』 同文書院 1979
- 2) 近藤雄二, 疲労をチェックする, からだの科学 230号, p. 18-24, 2003
- 3) 桐原保見著 『疲労と精神衛生(復刻新版)』 労働科学研究所出版部 2001
- 4) 井谷徹・酒井一博・高田義明・竹内研・田中克子・山本尚子・内田勇人・青山英康, 産業疲労の検査法に関する研究—疲労の概念と調査法—, 疲労と休養の科学 Vol.5 No.1, P.37-47, 1990
- 5) 酒井一博編, 日本産業衛生学会産業疲労研究会 「自覚症しらべ」の改訂作業2002, 労働の科学 57巻5号, P.27-48, 2002
- 6) 日本産業衛生協会産業疲労研究会編集 『疲労判定のための機能検査法』同文書院 1974
- 7) 井上正康・倉恒弘彦・渡辺恭良編著 『疲労の科学』 講談社 2001
- 8) 斉藤良夫著 『疲労 その生理的・心理的・社会的なもの』 青木書店 1981
- 9) 小木和孝著 『現代人と疲労』 紀伊国屋書店 1994
- 10) 佐々木隆, 自律神経系の基礎, 疲労と休養の科学 Vol.3 No.1, P.3-21, 1988
- 11) 中野昭一編集 『図説・からだの仕組と働き』 医歯薬出版 1981
- 12) 山地啓司著 『運動処方のための心拍数の科学』 大修館書店 1985
- 13) 竹宮隆・藤田紀盛・吉田茂・佐藤卓・井福裕俊, 精神情緒刺激及び静的作業負荷時の指尖容積微分脈波について, 筑波大学体育学系紀要 10号, P.227-233, 1987
- 14) 竹宮隆・前田順一・樋口雄三, 末梢循環適応の限界と疲労について, 疲労と休養の科学 Vol. 4 No.1, P.35-46, 1989
- 15) 吉村正治著 『脈波判読の実際』 中外医学社 1977