

血管反射からみた集中性の研究

猪飼道夫 渡辺謙

1 緒 論

生体活動は、一定のリズムをもって変動している。これを中枢神経機能の面からみれば、覚醒と睡眠の交代という形で著明にあらわれる²⁾。また、覚醒しているときにも、神経の興奮水準に高低のあることが知られており、睡眠中にも睡眠の深さにいろいろな波のあることが報告されている³⁾。

これらの生体リズムが、仕事や学習の能率に大きな影響を与えているものと考えられ、これと集中性 (Concentration) との間関係を明確にすることは、われわれがこのほど提唱した教育生理学⁷⁾ の点からもきわめて重要と思われる。

集中性については、従来心理学の分野で行動の面から検討がなされてきたが、条件反射学、あるいは脳波による大脳活動の客観的研究が可能になってから、大脳生理学の面で「集中性」を取り扱った研究が多く見られるようになった。

この分野での古典的業績に属するものとして、F・Bremer⁸⁾ の研究を挙げることができる。彼はネコの脳をいろいろなレベルで切断し、延髄と脊髄の間で切断した下位離断脳 (encéphale isolé) と上部の中脳で切断した上位離断脳 (cerveau isolé) の標本をつくった。すると、下位離断脳のネコでは、大脳新皮質で記録した脳波に覚醒パターンがあらわれ、上位離断脳のネコでは、睡眠のパターンを示す紡錘型脳波があらわれた。このことから、睡眠と覚醒を交代させる動因となっているものは、大脳皮質そのものではなく、さらに下部の脳幹にあることが明らかになった。すなわち、Bremer の切断した2つの切断地点の間に覚醒を起こさせる中枢があることがわかった。

その後、H. W. Magoun⁹⁾ は、Bremer の成果をもとに、G. Moruzzi との共同研究によって、大脳皮質の覚醒反応は、脳幹網様体の直接刺激によってひきおこすことができることを示した。この研究により、脳幹にある髄板内核を中心とした非特殊域から大脳全体に投射され

る上行経路があり、この経路を介して大脳の覚醒度が決定されることがわかった。

I. P. Pavlov¹²⁾ の創始した条件反射学の立場では、動物を生きのまま、かつできるだけ自然の状態を観察することにより、大脳活動の諸法則を見出すことを特色としている。その結果、大脳活動は興奮と制止の2つの過程の交代によってとらえられ、法則化がなされた。

P. A. Rudik¹¹⁾ は条件反射学の立場から、集中性をつぎのように規定している：

注意の集中とは、ある一定の行為または事物に対して、それに関係している大脳皮質の領野が極度に興奮し、同時に大脳半球の他の領域においては強度な制止過程が発展している状態をいう。

しかし、集中性あるいは覚醒度を量的に示すことはできないだろうか？ 1960年に高桑ら^{6) 9)} はこの目的から「集中維持機能」(TAF) という概念を提唱し、中枢性疲労の問題と結びつけて、心理生理学的立場から集中性を定量化する一つの方法を考案した。

この高桑らの研究においても、集中性が自律神経機能と密接な関係を持っていることは考察されているが、直接的検索はなされていない。

そこで本研究では、鋭敏な自律神経機能の指標として指の血管運動を水プレチスモグラフを用いて記録し、この反応度と集中性との関係を検討することにした。

指プレチスモグラフは、指容積の変化を量的にとらえることにより、指の血液量変化を客観的に測定することができるので、高次神経活動を反映する測度としても古くから使用されてきた。

この指のプレチスモグラフを使用して血管運動反射を実際に測定した作業のできばえ (Performance) との間関係を明らかにすることによって、われわれは集中性発現の機序を検討することにした。

これにより、集中性を高い水準に維持するための対策、また高い集中性を獲得するための学習のあり方などを求めよう。

2 方法と手順

指の血管運動を測定するため、水プレチスモグラフを作製した(図1)。

水プレチスモグラフ内の水の温度は30~32°Cに保った。プレチスモの中へ左手第Ⅲ指の第2関節までが入るようにした。プレチスモグラフおよび腕は、不規則な振動を防ぐために天井からロープで吊した(図2)。

血流量の変化は、検定済み0.5ml用メスピペットを改良して、これを水平に被検部と同じ高さに固定した。これによって自然血流量の変化を、安静時平均(直前の5分間)に対する変化値として測定した。目盛は各脈波の最大収縮相(Maximum systolic phase)で測定し、5/1000mlまでの変化を読みとることができた。

被検者は健康な成人(男女)である。実験は2つのシリーズにわかれ、最初のシリーズでは集中性を要する作業能力を10名の被検者について観察し、第2のシリーズでは、そのうちの8名について、集中性を要する作業をイメージに描いたときの血管収縮の度合を検討した。実験は1968年7~9月に行なった。

被検者は静かな実験室内に閉眼仰臥安静位をとってすべての実験を行なった。まず、あらかじめ右腕で前腕エルゴメーターを使用し最大筋力を測定した。

最初に、集中性を要する作業能力を見るため、測定された最大筋力の1/2の負荷を前腕エルゴメーターにかけ、被検者は前腕を垂直に立ててこれを静的に保持し、保てなくなるまでの時間を計った。

つぎに、この運動をしているイメージを頭の中で描い

た。すなわち、最大筋力の1/2の負荷を、実際には運動せずに、ただ脳内過程だけでイメージとして描くことを1分間持続することによって、左手第Ⅲ指に装着した指プレチスモグラフに示された血管運動を記録した。

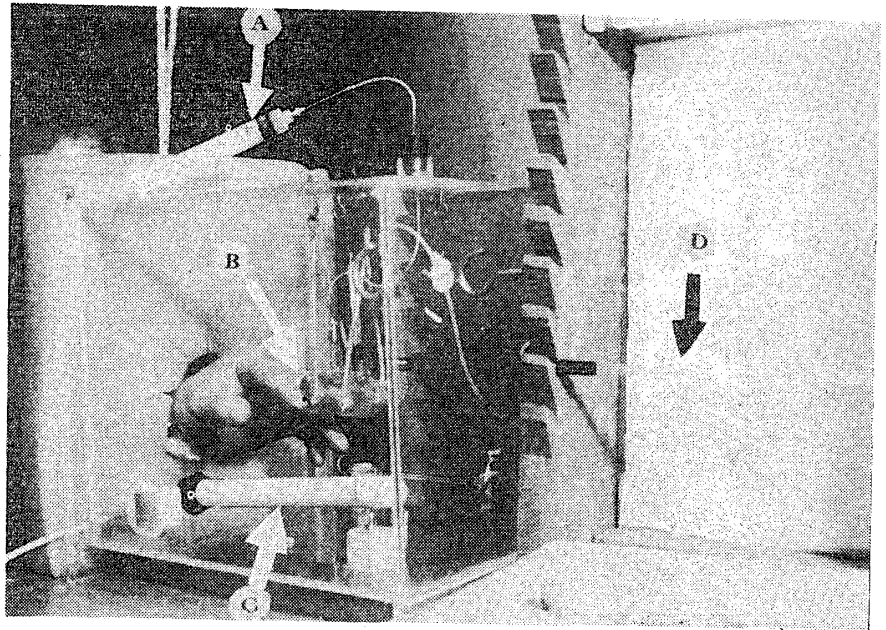


図1 指・水プレチスモグラフ

- A: 水量調節用注射器
- B: プレチスモグラフ本体(左手第Ⅲ指に装着)
- C: 温度調節用サーモスタット
- D: 読み取り用目盛

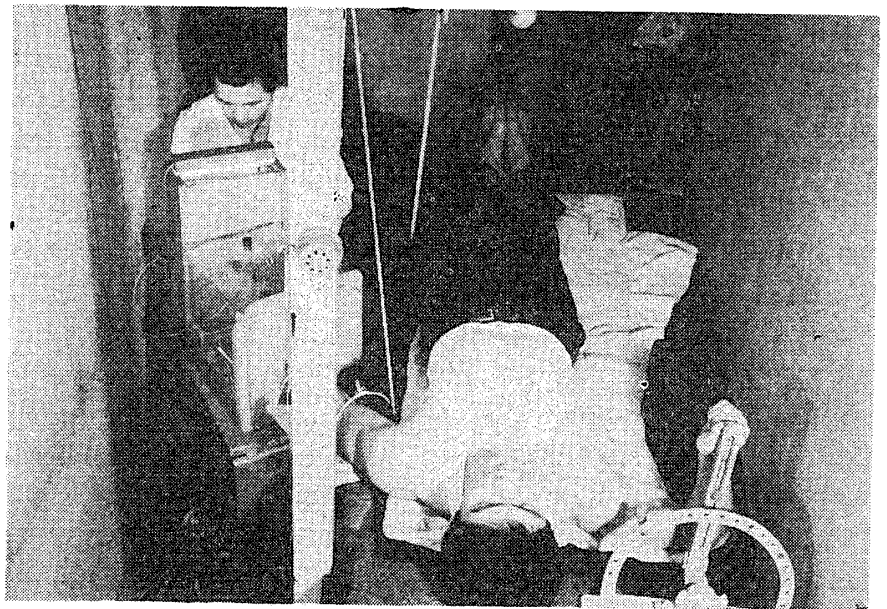


図2 実験風景(静かな暗い部屋を使用)

3 結 果

Performance の測定

10名の被検者について、仰臥位で肘を90°に屈曲させて右上腕屈筋の最大筋力を測定した。男子の平均28.0kg

被 検 者	K. I. (25歳男子)			K. W. (28歳男子)		P. W. (23歳男子)		
	月・日	7月8日	7月23日	8月2日	7月18日	7月25日	7月17日	8月12日
最大筋力 (kg)	31	31	31	25	26	30	30	26
持 続 時 間	1'08''	1'07''	1'20''	1'17''	1'07''	21''	1'05''	1'45''

被 検 者	K. Y. (25歳男子) ※				N. I. (24歳女子)		
	月・日	7月17日	7月23日	8月6日	8月12日	7月8日	8月8日
最大筋力 (kg)	23	25	26	30	13	13	13
持 続 時 間	34''	1'14''	1'15''	I 1'10'' II 1'38''	1'36''	36''	I 1'32'' II 1'55''

※K. Y. は毎日右上腕屈筋のトレーニングを行っていたので、筋力が増大したと思われる。

表1 静的作業持続時間の変動 (負荷=最大筋力×1/2)

女子の平均16.3kgであった。

各被検者について、最大筋力の1/2の負荷を肘関節を90°に屈曲して静的に保持できる時間を計ったところ、表1のような結果を得た。ただし、表に掲げたのは、異った日に2回以上測定した被検者に限られている。

表1に見られるように、被検者K. I.とK. W.では作業持続時間 (performance time) はほぼ一定している。ところがP. W.およびK. Y.の7月17日とN. I.の8月8日にみられるように、他の測定日にくらべていちじるしく時間の短いことがあった。とくにP. W.の場合、3回とも作業時間が大きく異っていたにもかかわらず、被検者自身の内省としては別に異なるところがなかった。

このような performance の変動は、中枢性要因に起因しているように思われたので、つぎに血管運動を測定することによって、自律神経過程の面からこれを検討することにした。

血管運動と集中性との関係

一個人間の比較

被検者は、Performance の測定の際に行なったのとまったく同じ運動を1分間イメージに描いた。そのときの指プレチスモグラフを左手第Ⅲ指で記録した。その結果が図3である。この図は8名の被検者について、運動のイメージによる血管収縮曲線を一括して示したもので

ある。

図に見られるように、8名中5名において、イメージネーションの過程で著明な血管収縮が起こった。その収縮の程度は、直前の安静時値に比して-0.055ml (Subj. T. F) ~0.078ml (subj. S. A) であった。

Vasoconstriction in Imagination of Work

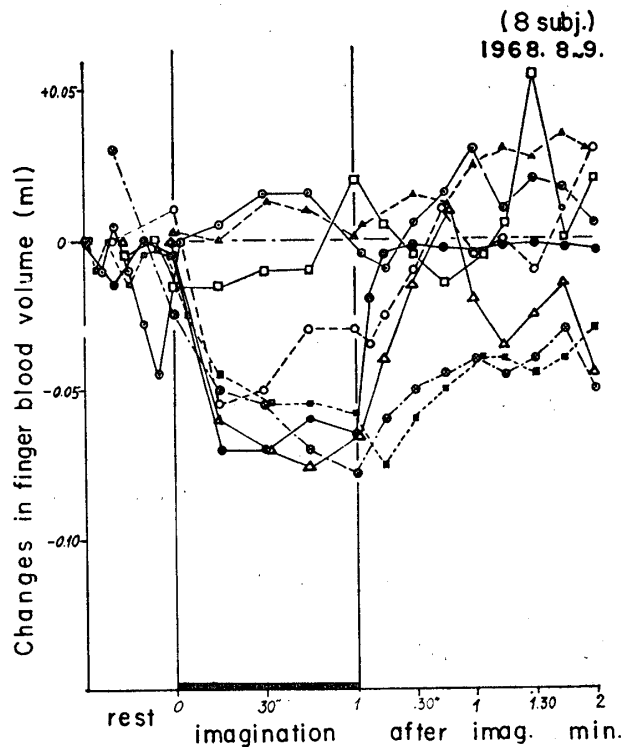


図3 運動のイメージによる血流量の変化 (8名の被検者を同時にプロットしたもの)

Variance of Vasoconstriction on the Same Subject

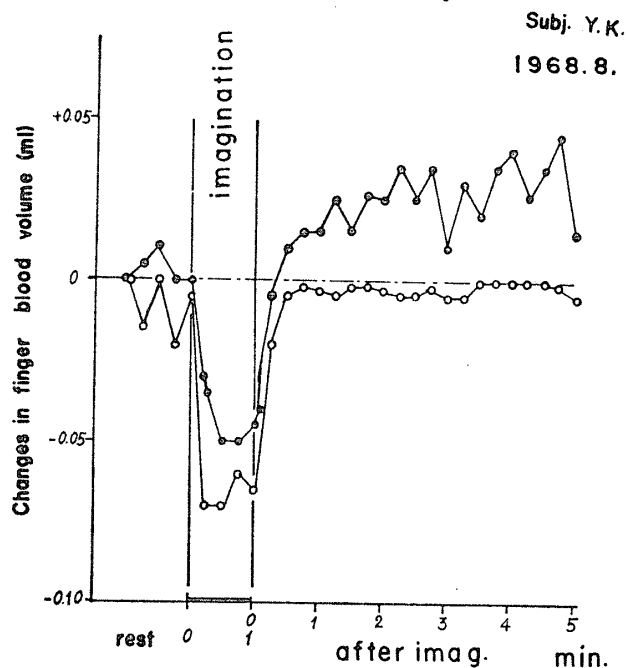


図4 被検者Y.K.における血流量変化（2度とも著明な血流量減少がみられる）

一方8名中残りの3名においては血管収縮が見られなかった。これらの被検者については、2～3回イメージを描くよう試みてみたが、いずれの場合も収縮は認められなかった。

実験直後に各被検者に、集中できたかどうかを内省によってただしてみたところ、血管収縮の起こらなかった3名はいずれも「あまりうまくイメージが描けなかった」と答えるか、曖昧な返答をした。

—同一個人における比較—

被検者Y.K.（短距離走選手）は、2度のイメージの過程で、いずれも「よく集中できた」と答えた。図の白丸と黒丸でプロットしたのは、異なる日に測定して得られた曲線である。いずれの場合も収縮が著明であった。

（図4）

一方、被検者P.W.の場合、いずれの場合にも血管の収縮がみられなかった。被検者の内省は「集中できたかどうかわからない」あるいは「集中できたような気がする」というふうに曖昧な内容であった。（図5）

しかし、被検者S.A.のように、同じ日に実施したにもかかわらず、まったく異なった曲線が得られた例もあった。この被検者では、1回目のイメージ（黒丸）では、イマジネーションの過程でまったく収縮せず、「や

Variance of Vasoconstriction on the Same Subject

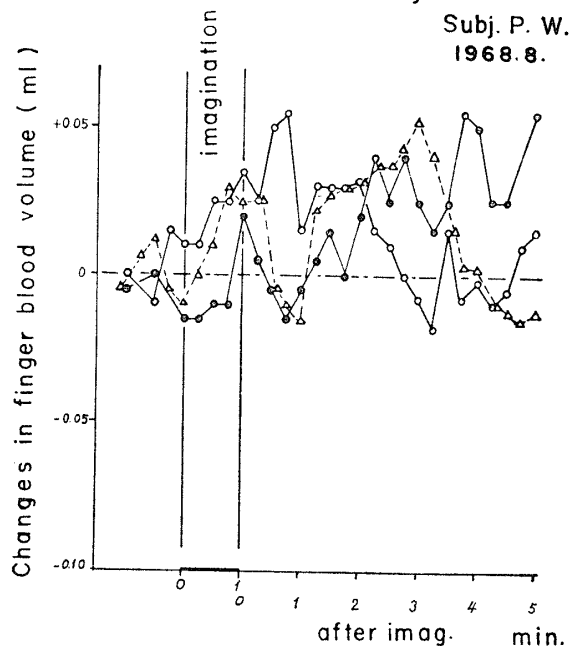


図5 被検者P.W.における血流量変化（イメージによる血流量減少は、3回とも現われなかった）

Variance of Vasoconstriction on the Same Subject

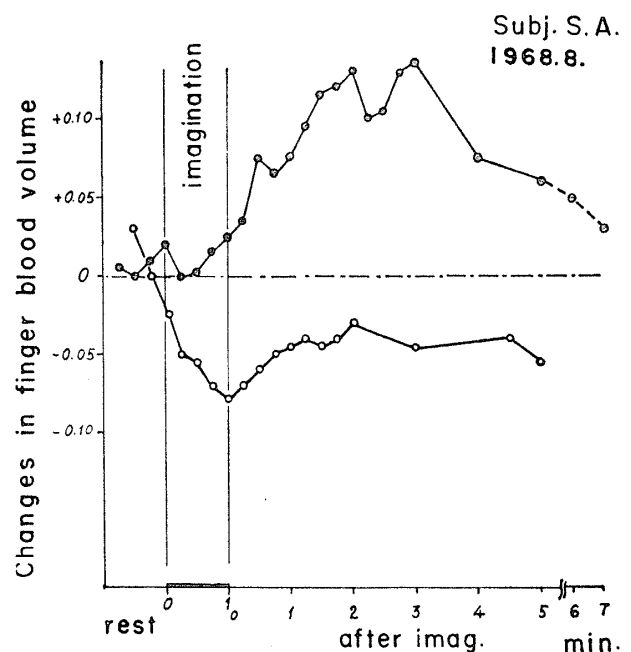


図6 被検者S.A.における血流量変化（白のプロットでは著明な血流量減少がみられたが、黒のプロットではイメージ過程での減少はみられず、イメージのあと増加した。）

めの合図のあと大きく拡張した (+0.135ml)。ところが2回目のイメージーションでは、反対に大きく収縮がみられた (0.078ml)。この被検者でも、1回目のイメージーションではあれこれいろんなことを考えてうまく集中できなかったと感想を述べたのに対して、2度目は「得意の腕ずもうでがんばっているイメージが頭に浮かんでうまく集中できた」と答え、ここでも内省と血管収縮度とがよく一致していた。(図6)

考 察

負荷強度と指血管運動との関係

右上腕屈筋に諸種の荷重をかけて、1分間の静的運動を行なったとき、左手第Ⅲ指の血流量がどのように変化するかを、被検者Y.K.について検討した結果、図7のような血管収縮曲線を得た。

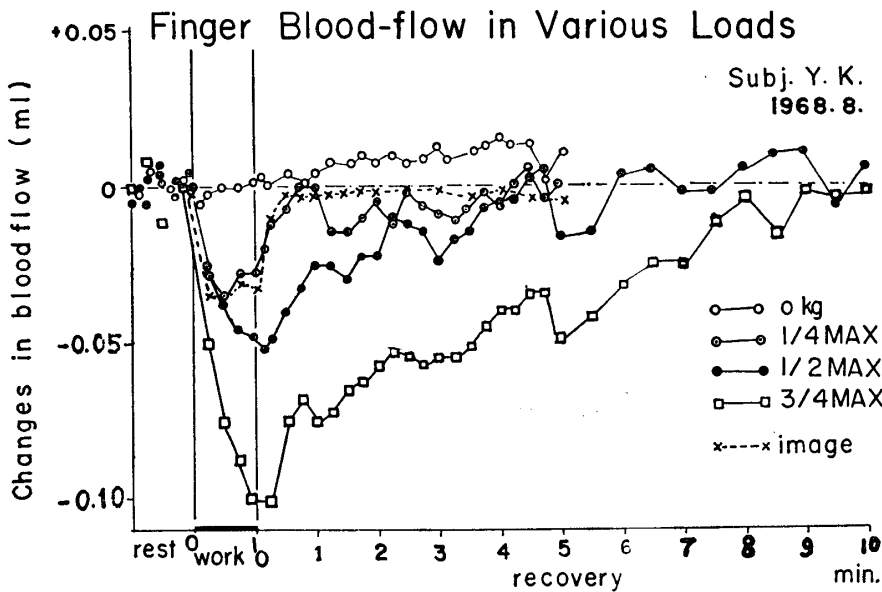


図7 右腕に諸種の負荷を課した場合の左手第Ⅲ指の血流量変化

すなわち、最大筋力 (26.0kg) の3/4のような大きい負荷のときは、53秒でオールアウトとなり、このとき対側手の指血管は最も大きく収縮して0.1ml 指容積が減少した。この値は安静時指容積 (第Ⅱ関節より先端部) の0.8%に相当した。

負荷が最大筋力の1/2, 1/4と減少するにしたがって、血管収縮は小さくなり、荷重をかけないで同一の運動 (腕エルゴメーターのハンドルを握って右肘関節を90°に保持) を1分間行なった場合は、まったく血管収縮が起こらなかった。

このように、右腕での静的負荷作業時における対側手の指血管の収縮度は、作業強度が強くなればなるほど大きくなることがわかった。負荷をかけてから血管収縮が起きるまでの潜伏時間が2~3秒という短い間であることから、この血管収縮は代謝性ではなく、血管運動中枢を介しての自律神経機能に起因していると考えられ、暗算¹⁾や emotional stress⁴⁾によって生じる皮膚血管収縮と同じく、作業に際して与えられる一種の情緒反応が血管運動に表われたものといえよう。

P. G. R 同時記録による検討

第1シリーズの結果に示した5名の被検者のうち、3回とも作業持続時間の一定していた被検者K.I.と、3回とも作業持続時間が大きく異なった被検者P.W.について、指プレチスモグラフと精神電流反応 (P. G. R) を同時記録して運動のイメージを描かせた。

K.I. (図8) においては、下の図に示されたように

イメージーション過程における血流量の減少は著明であった。中段の図は、これと同時に記録したP. G. R. の変化で、イメージーション中に数回3~5mVの電流変化を来した。(なお、最上段の曲線は、コントロール実験として、被検者K.I.に暗算を課したときのP. G. R. を記したものである。

一方、P.W. (図9) においては、下段の図に見られるように血管収縮はほとんど起こっておらず、同時に記録したP. G. R. (中段) もほとんど変化が見られなかった。

以上のことから、集中性を要する作業成績と自律神経機能との間には深い関係があるように思われる。

結 論

- 1) 集中を要する作業 (最大筋力の1/2の負荷を上腕屈筋にかけ、静的に保持する運動) の持続時間は、同一個人においてもしばしば大きな差異がみられた。
- 2) 指の水プレチスモグラフを用いて、集中を要する作業のイメージを描いたときの自然血流量の変化をみたところ、8名の被検者中、5名において著明な血管収縮が観察された。

Finger Blood-flow & P.G.R.

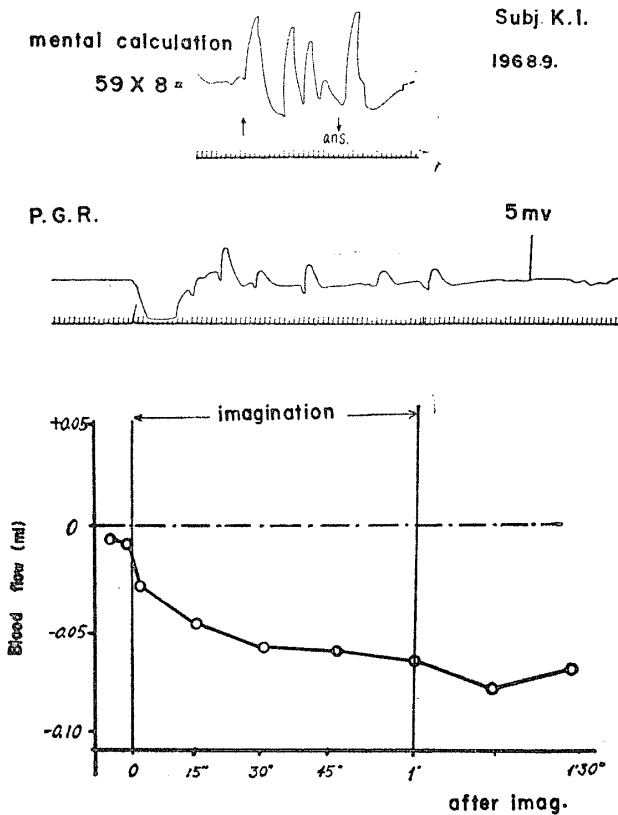


図8 プレチスモグラフとP.G.Rとの同時記録(この被検者では、血流量、P.G.Rともに変化が著しい。最上部はあらかじめ暗算を課したときのP.G.R)

- 3) 同一個人において、イマジネーション過程における血管収縮の度合についても著明な場合とそうでない場合とがみられた。それらの差異は、実験直後の被検者の内省とよく一致していた。
- 4) 集中性を要する作業成績と、自律神経機能の間には深い関係があるように思われる。

文献

- 1) Allwood, M.J., H. Barcroft, J.P.L.A. Hages, and E.A. Hirsjarvi: The Effect of mental arithmetic on the blood flow through normal, sympathectomised and hyperhidrotic hands. J. Physiol., London 148: 108, 1959
- 2) Bonvallet, M.: Système Nerveux et Vigilance, Paris, 1966
- 3) Bremer, F.: Quelques Propriétés de l'activité électrique de cortex cérébral isolé. C.r. Soc. Biol.

Finger Blood-flow & P.G.R.

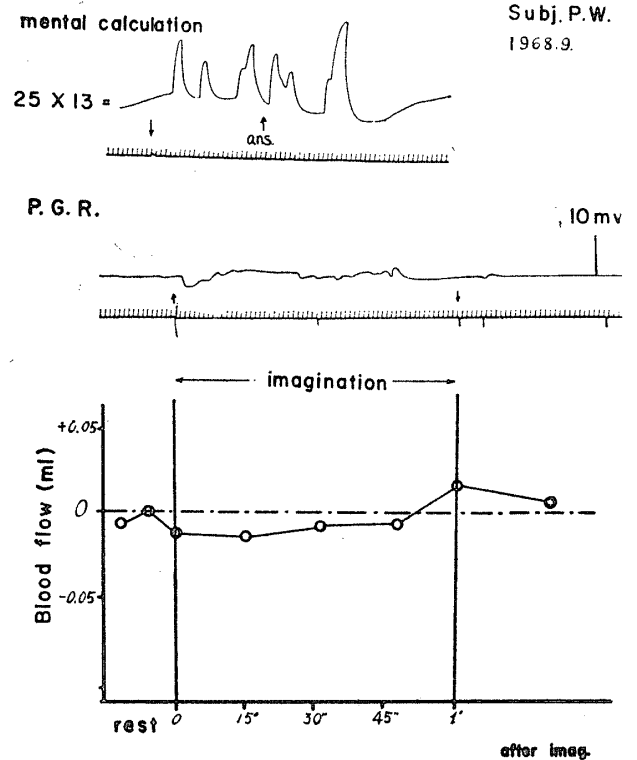


図9 プレチスモグラフとP.G.Rとの同時記録(この被検者では、血流量、P.G.Rともにほとんど変化がみられない。あらかじめ暗算を課した場合には、著しいP.G.Rの変化がみられた。)

118, 1241-1244, 1935

- 4) Fenclov, Z.Hejl, J.Jirka, Madlafousek and J.Brod: Changes of blood flow in forearm muscle and skin during an acute emotional stress (Mental Arithmetic). Clin Sci. 18: 491, 1959
- 5) Kleitman, N: Sleep And Wakefulness, Chicago And London, Univ Of Chicago Press, 1963
- 6) Magoun, H.W.: The Waking Brain, Charles C Thomas. 1958
- 7) 猪飼道夫, 須藤春一: 教育生理学, 第一法規, 1968
- 8) 高桑栄松: 学習生理と集中維持機能(TAF), 学校保健研究8(10): 2-8, 1966
- 9) 高桑栄松, 他: 疲労研究と集中維持機能(TAF) -特に監視作業について- 労働衛生4(9): 32-36, 1963
- 10) 林 高: 大脳を語る, 展望社, 1961
- 11) Рудик, П.А.; Психология, Издательство „Физкультура И Спорт” Москва, 1964
- 12) Pavlov, I.P.: Conditioned Reflexes (translated by G. V. Anrep), Dover Publications, INC. New York, 1926