



Title	脳波,筋電図およびPerformanceよりみた運動習熟過程の4相について
Author(s)	小原, 達朗
Citation	長崎大学教育学部自然科学研究報告. vol.34, p.63-74; 1983
Issue Date	1983-02-28
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10069/32566">http://hdl.handle.net/10069/32566</a>
Right	

This document is downloaded at: 2018-11-14T21:58:21Z

# 脳波, 筋電図および Performance よりみた 運動習熟過程の4相について

小 原 達 朗

長崎大学教育学部保健体育教室  
(昭和57年10月30日受理)

On the Four Phases in Skilled Process of Motor depend on the  
Changes of Brain Wave, EMG and Performance

Tatsuro OBARA

Department of Health and Physical Education Faculty of Education  
Nagasaki University, Nagasaki  
(Received Oct. 30. 1982)

## Abstract

There is a view that the brain wave on head skin become to a  $\alpha$ -wave from  $\beta$ -wave with proficiency of motor. this cause is that the fall of consciousness level in cerebrum cortex, in over word motor control system moves into subcortex.

And, in another view a loop connection in between cerebrum and cerebellum or channels in central nervous which includes basal ganglia draw up the program of motor models.

The author thought as a following hypothesis that both views are difference between a phenomenon and a mechanism on skilled process of motor, and are ultimately same structure.

On basis of this hypothesis six male students were trained one minut at a time, five times per a day during forty days on bongo board exercise.

The emergence of  $\alpha$ -wave was indicated a formation of program in central nervous system. The failuer frequency was a result of program on the bongo board exercise. And, EMG was indicated an action of nervous in peripheral system.

The results were cleared as follows on skilled process of motor.  
Phase I (Refractory Period) : The recognition of information at failure is not enough

Phase II (Reaction period) : There is a reaction, and it is consciously controled by the leg muscular strenght.

Phase III (Formative period) : The emergence of  $\alpha$ -wave is acknowledged, and a program is forming.

Phase IV (Complete period) : The emergence of  $\alpha$ -wave increase rapidly, and EMG discharge is small.

Accordingly, it was considered that skilled of motor was a state after Phase III.

## 結 言

人間の運動制御あるいは動作修得過程に関して, Adams<sup>1)</sup>, Keele<sup>11)</sup>および Schmidt<sup>19)</sup>らの理論があげられる。とくに現実のスポーツ場面にあるような速い制御動作に関しては, Keele<sup>11)</sup>の動作プログラムを想定した理論が必要になる。この動作プログラムに関しては, 多くの検証がなされており, 動作内容がプログラムの所要時間に影響することを明らかにした研究<sup>5)</sup>, 動作が動作プログラムによって制御されていること明らかにした研究<sup>5)27)</sup>, また, トレーニングの進行にともなってフィードバック制御からプログラム制御に移行することを明らかにした研究<sup>12)20)27)</sup>などがある。しかし, これらは, 理論分析的な手法で研究されたもので, 現実のスポーツ場面についての動作プログラムに関する研究は少ない。

一方, 脳波に注目して, 動作がステレオタイプ化<sup>28)29)</sup>あるいは自動化<sup>6)16)</sup>されるにしたがって $\alpha$ 波の出現が認められ意識集中の低下と運動習熟が関連づけて考えられている。このような状態を時実<sup>25)26)</sup>は, Spinalization と呼び, 新しい運動技術などの獲得の際に神経筋単位の支配要素が変化し, 大脳皮質から脊髄化し, いいかえると意識の関与が少なくとも意図した運動が遂行されると述べている。そして, このような動作プログラムの経路あるいは部位として, 運動野と小脳および大脳基底核の間に存在する入出力経路を基軸とした, 感覚野および連合野を含む中枢が考えられている<sup>13)21)22)24)</sup>。

さらに, 伊藤<sup>9)</sup>は, 大小脳間のニューロン連鎖, すなわち, 大小脳間ループ結合の意義について次のように述べている。それによると, 随意的にある運動を行なう場合に連合野に発した直接の運動指令は, 運動野から延

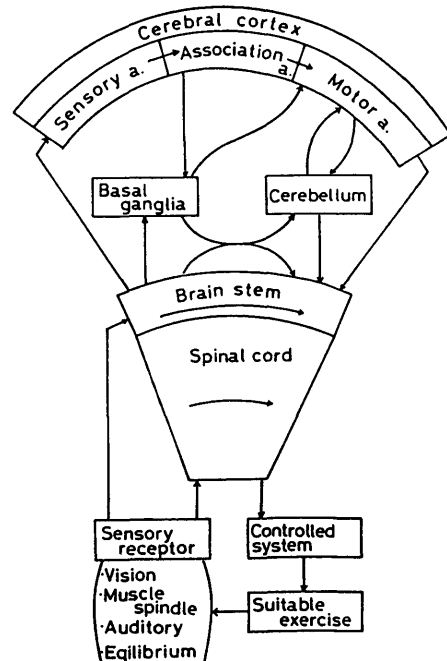


図1 運動制御系のブロック図  
(筆者による)

Fig. 1 Block drawing of motor control system (by author).

髓、脊髄の運動中枢に伝達され、その運動の結果は、遠隔感覚や固有感覚を介して感覚野へも送られてもとの連合野へフィードバックされ、この系が反復されるにしたがって小脳の内部ループに外部ループの運動モデルが形成され、開ループができるというものである。

図1は、これらの知見をもとに運動制御系をブロック図にまとめたものである。

筆者は、以上のような動作プログラム理論と、脳波からみた意識水準の低下および運動制御系の経路のそれぞれを関連づけて、これらは、運動習熟過程に関するひとつの現象とメカニズムの違いであり、同一の構造をもつものと仮説をたてた。この仮説は、先行研究<sup>17)</sup>によって performance の向上と $\alpha$ 波の出現に密接な関連性が認められたことから肯定された。

本研究は、脳波による中枢神経系のプログラミングの形成過程の検証に加えて、新たに筋電図 (EMG) による末梢神経系の応答と performance としてボンゴボード運動の失敗数と失敗時点との関連からプログラムの成果について検討した。また、運動の習熟した状態とは中枢、末梢神経系および performance からみていかなる状態を呈するのかについて検討した。

## 研 究 方 法

### 1 被 験 者

大学体育専攻の男子学生9名で、覚醒時脳波に $\alpha$ -blockの生じる一般的脳波所見をもつものである。

### 2. 運 動 課 題

運動課題は、ボンゴボードテスト<sup>23)</sup>と呼ばれる直径10cm、長さ30cmほどの円柱を横たえた上に平板(40×60×3cm)を中心線よりずらさないように固定して乗せ、その上でバランスをとるものである<sup>17)</sup>。この運動課題は、被験者が、これまで経験したことがなく、トレーニング中も日常経験することのない、ほとんど初めて試みる運動である。

### 3. 脳波および筋電図の測定

脳波は、三栄測器製の6素子の脳波・筋電計を用い、国際10/20法を参考に有線により測定した。誘導は、頭皮上から皿電極によりC<sub>3</sub>・T<sub>3</sub>間とCzの双極誘導とC<sub>3</sub>・T<sub>3</sub>間とA<sub>1</sub>の単極誘導の2誘導を記録した。感度は、50 $\mu$ V/5mmで、ペーパースピードは、25mm/secであった。

筋電図は、予備実験の結果からこの運動の姿勢調節に大きく関与すると考えられたM. Tensor fasciae latae, M. tibialis anterior および M. soleus について皿電極にて測定した。感度は、200 $\mu$ V/5mmであった。

なお、脳波は、左側に、筋電は、交叉肢である右脚から誘導した。また、測定室は、シールドしてノイズの混入を防いだ。

#### 4. 失敗数および失敗時点の測定

ボンゴボードの一端が床に触れたり離れたりしたときにスイッチが ON-OFF となる回路を作成し、左右の失敗の時点を脳波および筋電図と同時記録し、失敗数も測定した。なお、失敗時間の1秒以上は、1秒を1回とした。

#### 5. トレーニング方法と測定期間

トレーニングは、ボンゴボード運動を1分間運動し、1分間休み組合せを1回として、1日に5回行ない、最終的には、ほぼ毎日40日間実施した。この間第1日目、9~11日目、27~32日目 (Subj. F は20日目で中止した) および40日目に各測定を行った。失敗数は、他の測定に関係なく毎回測定した。さらに、トレーニング中止後150日目 (Subj. F は200日目) に同様の測定を行なった。なお、分析に用いた部分は、1日5回のうちの5回目の記録であり、他の部分は、参考資料とした。

### 結 果

#### 1. 失敗数と performance の安定性

図2は、トレーニングの40日間とトレーニング中止後150日目の1日5回の平均の失敗数を各被験者ごとに示したものである。ただし、Subj. A は、中止後の再測定をせず、Subj. F は、トレーニング20日目で中断し、ト中止後は実質220日目に再測定した。

各被験者とも頭初平均20~35回/分失敗し、5日目くら

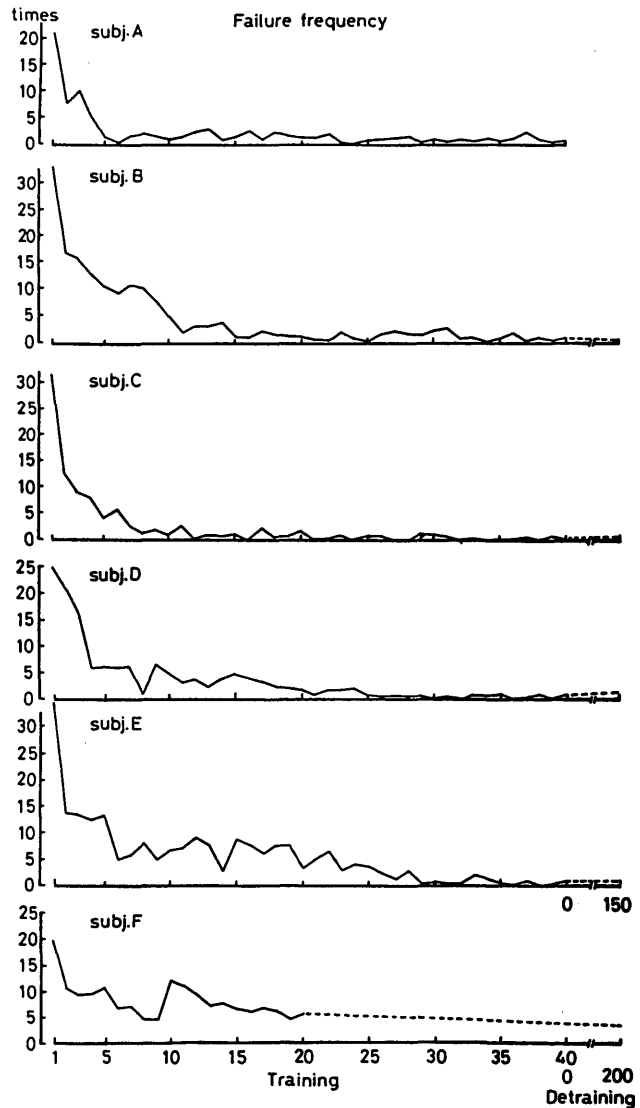


図2 各被験者のトレーニングにともなう失敗数の変化  
Fig. 2 Changes of failure frequency with training in each subjects.

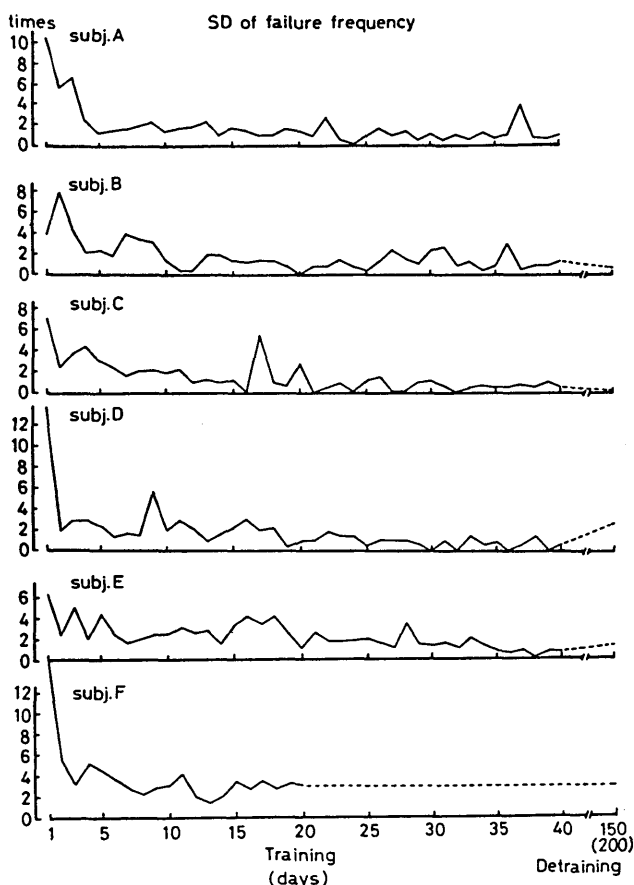


図3 各被験者のトレーニングにともなう失敗数のSDの変化

Fig. 3 Changes of SD of failure frequency with training in each subjects.

いまで急激に失敗数は減少した。Subj. Aは、この時点ではほとんど失敗しなくなった。次に、10～15日目にかけて平均5～10回/分の失敗数に減少し、以後35日目ではかなり減少し、平均1～2回/分であった。40日目には、平均1回/分以下の失敗数であった。

トレーニング中止後の再測定では、ほとんどトレーニング終了もしくは中断時点の値を保持していた。

図3は、1日5回の失敗数の標準偏差(SD)について示したものである。全体の傾向は、失敗数と同様の変化を示した。SDは、performanceの出来不出来のバラツキを示すもので、安定性の指標となるもので、SDの大きい場合には、制御能を定常的に発揮できないことを示すことになる。ただし、失敗数の少ない後半では、1回の失敗が過大評価される傾向をもっている。トレーニング中止後の

再測定の値は、中止時点とほとんど変わらないもの3名、ややSDの大きくなったもの2名であった。

## 2. $\alpha$ 波の出現

図4は、各被験者の1日5回のトレーニングのうち5回目の記録の $\alpha$ 波の出現回数について示したものである。第1日目には、 $\beta$ 波を基調として $\alpha$ 波の出現はなかった。9～11日目では0～6回の出現があり、27～32回目には、Subj. Aを除いて7～8回の出現が認められた。Subj. Aは、この時点ですでに15回の出現を認め、失敗数も最も早く減少していた。40日目には、Subj. A. Fを除いて急増し、14～19回であった。しかしながら、トレーニング中止の再測定では、失敗がほとんどないにもかかわらず、27～32日目の回数に減少し、注目される。

## 3. Performance(プログラムの成果)の向上と $\alpha$ 波出現(プログラムの形成)の関連性

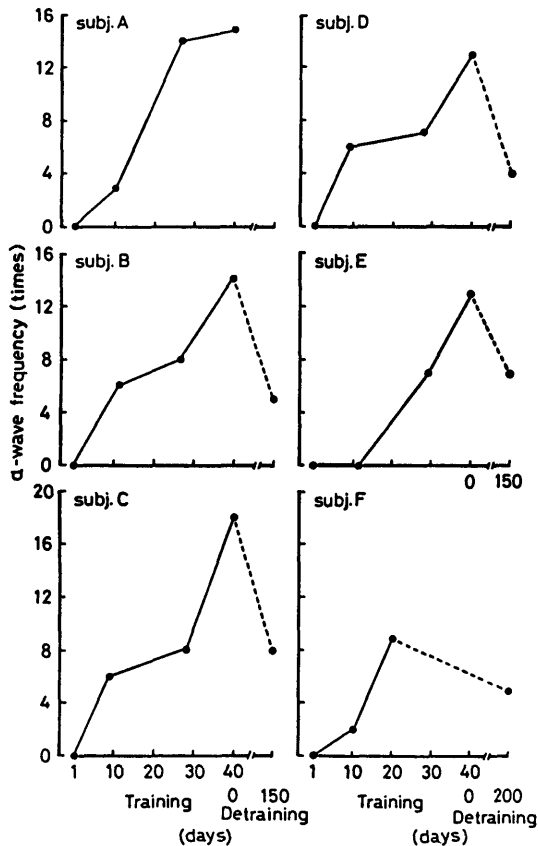


図4 各被験者のトレーニングにともなう $\alpha$ 波出現回数の変化

Fig. 4 Changes of  $\alpha$ -wave frequency with training in each subjects.

を示した Subj. B の3つの筋電図,  $\alpha$ 波の出現時点および左右の失敗時点について模式的に示したものである。筋電図の斜線の高さは, Voltage を示しており, その大きさは下に示した。

T. F. L. は, トレーニングに関係なく常時同程度の放電が認められた。T. A. と Soleuse は, 拮抗筋であり, 放電の大きい部分と小さい部分がずれる傾向を示しているが, 必ずしもそうではなく, 同時に放電している部分も認められる。T. A. は, トレーニングの経過につれて放電が着実に減少し, Soleuse は, 若干の減少は認められるが, 顕著ではなかった。また, 左脚側失敗時と T. A. の放電増大がよく対応し, 右脚側とは Soleuse の放電増大が対応していた。

$\alpha$ 波出現時点と失敗時点は, 同期することはない, 失敗のない部分に出現した。また, 筋放電との関連では, T. F. L. とは関連がなく, T. A. および Soleuse の放電の小さい部分での出現の傾向が認められた。全体的には, いずれの筋放電も小さい時によく出現する傾向にあった。

図5は, Subj. A と Fを除いて, 40日間のトレーニングと150日目の再測定を共通に実施した4名の被験者の失敗数, 失敗数のSD,  $\alpha$ 波の出現回数および $\alpha$ 波出現回数に1出現の時間を乗じた総 $\alpha$ 波出現時間のそれぞれ4名分の平均とSDについて示したものである。

失敗数と失敗数のSDは, 10日目まで急減し, 以後緩やかに減少し, performance は, 確実に向上してプログラムの成果が認められる。一方,  $\alpha$ 波の出現に関しては, 出現回数と総出現時間は, performance の向上にしたがって出現が増大しているが, トレーニング初期に失敗数が急減するのに対して $\alpha$ 波は徐々に出現する。逆に, 失敗数の減少が緩やかになる中期以降から $\alpha$ 波の出現は顕著になり, 必ずしも同じ軌跡をたどっていない。

#### 4. トレーニングにともなう脳波, 筋電図および performance の全体像の変化

図6は, 各被験者の平均的パターン

考 察

1. 運動中の $\alpha$ 波出現とプログラム中枢について

頭皮上脳波が、 $\beta$ 波成分主体から $\alpha$ 波成分の増大へ移行し、意識水準が低下したことをただちに中枢神経系でのプログラム形成と考えてよいかについては、いくつかの問題点もある。

Barker ら<sup>3)</sup>は、 $\alpha$ 波から低振幅速波に変わることについては、

覚醒レベルが安静より高い水準へと変化したためとみる一般的な見方のほかに、眼球運動と関連しており、覚醒時の $\alpha$ 波の出現は、眼球がある速度以上に速く動いている時にみられ眼球の動きが止まると意識水準とは無関係に $\alpha$ 波が消失するとの報告をし、単純に意識水準の高低のみから $\beta$ 波・ $\alpha$ 波の出現を論じられないことを示した。

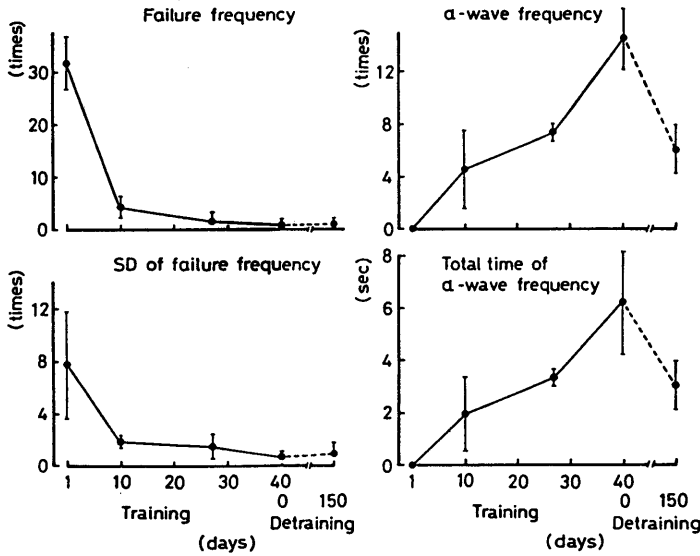


図5 失敗数、失敗数のSDと $\alpha$ 波出現回数、総 $\alpha$ 波出現時間の4名の被験者の平均の比較

Fig. 5 Comparison of failure frequency, SD of failure frequency and  $\alpha$ -wave frequency, total time of  $\alpha$ -wave frequency in four subjects.

根木ら<sup>16)</sup>も、自転車やスキー滑降の練習によって $\alpha$ 波成分の発現が促されることを報告しているが、意識水

準の低下が注意の集中を少なくした結果であり必ずしも大脳皮質下にプログラムされたとは述べていない。また、山崎<sup>28)</sup>は、タイプライターの第一学習過程と2次的変換学習過程の脳波から $\alpha$ 波成分の相対的増加の背景に2つの要因があり、第一に視覚的要因の減少および固有受容器に刺激の反復・持続に対する特定順応反応の形成による一般覚醒投射の減少( $\beta$ 波成分の減少)と第二に遂行動作のダイナミックステレオタイプ化による意識的統制の減少( $\beta$ 波成分の減少)をあげて、自動化あるいはSpinalizationの手掛りとなると述べてはいるが、一方では明確なプログラムの存在よりも意識性的問題としてとりあげている。

一方、萩原<sup>6)7)</sup>は、運動習熟過程を脳波の全体的皮質化現象から安静 $\alpha$ 波帯域の $\theta$ 波帯域への移行、さらに $\beta$ -2波帯域の増大を含みながら強化工作を進めると再び $\alpha$ 波帯域を主成分とし脊髄化現象をきたすと述べて種々の移行段階のあることを示している。

このように、運動中の $\alpha$ 波出現をただちにプログラムの指標とすることに対して留意すべき点があげられている。



これに対して、図1の運動制御系の経路の存在すること、小脳の病変、圧迫、破壊、冷却などで正常な機能が発揮されないときにぎこちない、いわゆる小脳症状<sup>2)18)</sup>という特有の運動障害を呈すること、また、ニワトリのバランス運動の訓練と大脳基底核の破壊実験を行なった松の報告<sup>30)</sup>から基底核にも後天的空間的制御能を習得する能力のあることが示唆される。

さらに、Fitts と Posner<sup>4)</sup> は、知覚-運動スキルの階層的組織化を電子計算機のプログラ

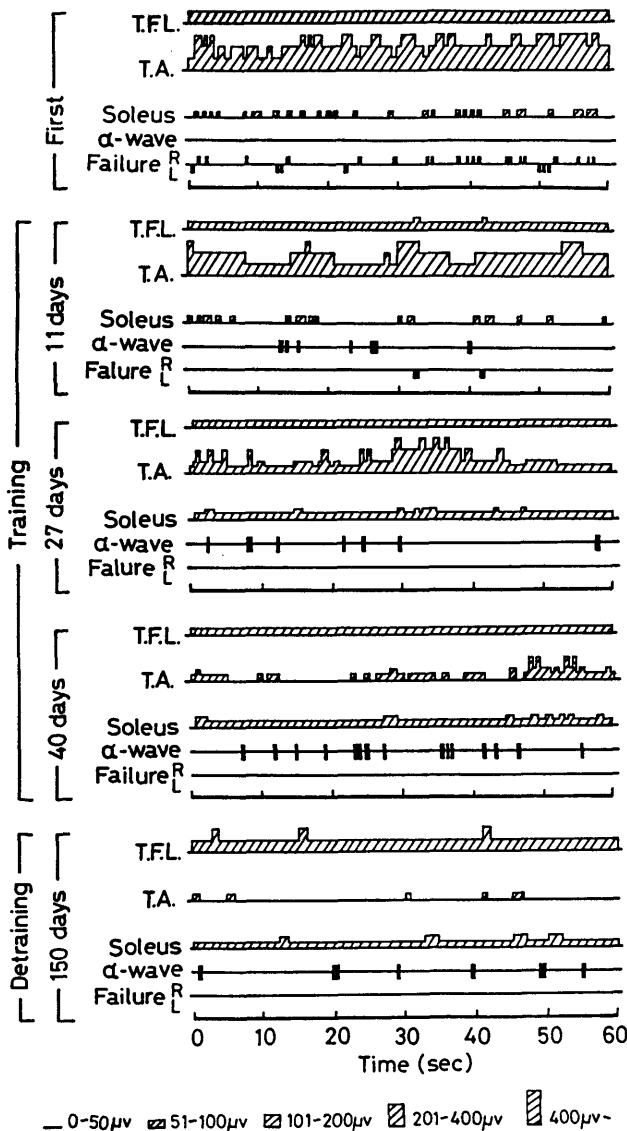


図6 トレーニングにともなう筋電図、α波および失敗の記録の様式図

Fig. 6 The typical drawing on record of EMG, α-wave and failure with training.

ラム機能に類推させている。すなわち、動作の全体(全身)的過程を演算実行プログラムと考え、部分的あるいは一過性のユニットをサブルーチンと考えている。このことを応用すれば、おそらく、小脳や大脳基底核は、サブルーチン機構であり、基本的共通的単位の動作パターンあるいはモデル化された動作の情報を運動野へ送っており(大小脳間ループ)、したがって、運動の習熟した段階では、運動野の完全な随意制御からサブルーチンの制御により非選択的シナプス活動が減少し、活動水準の高いβ波からα波へ移行するのではないかと推測される。

そこで、本研究では、運動時のα波出現とプログラムの関連について、

(現象) = (構造) = (メカニズム)

の範囲で以下の考察を行なう。

## 2. 運動の習熟相

動作の習熟をperformance(プログラムの成果)の面からみて、宮崎ら<sup>15)</sup>は、輪投げ動作において練習初期に効果が大きく、以後plateauを示すが日変動が大きく、ま

た、連続試行の輪投げの試行間隔はスキルへの影響要因であり、失敗直後ですら延長の傾向を示したと報告し、失敗情報の検索と修正のためのフィードバック作用のあること示唆している。Milner ら<sup>14)</sup>も鏡映描写テストを1日10回行ない、エラー数が1日目で急速に減少し、2日目でエラー数は少なくなるが不安定で、3日目でほとんど失敗せず安定してくることを認めている。本研究でも、トレーニング初期に失敗数の急減が認められ、また、失敗数のSDも小さくなることから運動の制御の安定性が増したといえる。

一方、動作の習熟を $\alpha$ 波の出現(プログラムの形成)の面からみると、本研究では、トレーニング初期の出現が少なく後期の40日目ころに急増した。したがって、performanceと $\alpha$ 波出現とは一致せず、プログラムの成果が先に現われ、形成が遅れるという矛盾した結果を生じている。ところが、図6に示した筋放電も加えて比較検討すると、第1日目の測定で筋放電が大きく、11日目でも失敗数は急減するが、筋放電は大きい。すなわち、ボンゴボードのバランスの崩れを脚筋の力によって随意的に防ごうとしているもので、必ずしもプログラムの成果ではないと考えられる。この矛盾を解決するために、失敗時点をON-OFFの二者択一の方法にせずpotention meterのようなanalogな方式で他の記録と対応させる必要がある。

また、トレーニング中止後の結果もperformanceは、トレーニング40日目ころの状態を保持し、 $\alpha$ 波の出現は、27日目ころの状態にある。しかし、筋電図は、40日目ころの状態を示している。このことは、脚筋の力によって強制的に制御されているのではなく、制御の本体は中枢神経系にあるが、何らかの質的変換があったものと推察される。考えられることは、大脳皮質以下のサブルーチンの強化である。

以上のような結果あるいは報告から運動の習熟に至る過程を総括すると図7に示すような4期が考えられる。

- I 期 : 筋放電が大きく、 $\alpha$ 波の出現はなく、失敗数も多く不安定な状態
- II 期 : 筋放電が大きく、 $\alpha$ 波の出現はないが、失敗数は急速に減少し、ただし不安定な状態
- III 期 : 筋放電が小さく、 $\alpha$ 波の出現があり、失敗数がかなり減少し安定してくる状態
- IV 期 : 筋放電はさらに小さくなり、 $\alpha$ 波の出現が急増し、失敗はほとんどない状態

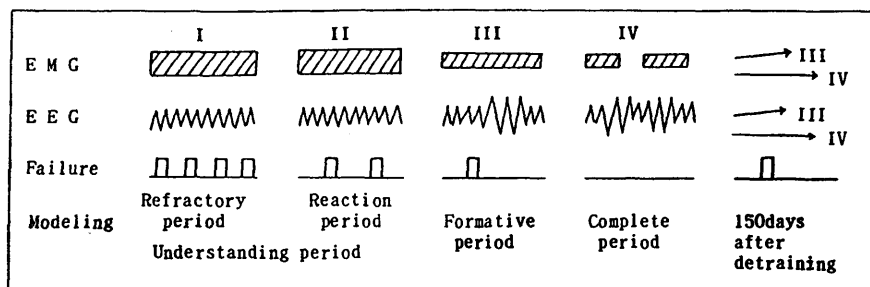


図7 運動習熟過程の4相

Fig. 7 Four phases in skilled process of motor

ただし、それぞれの期に要するトレーニング回数には個人差があり一定ではない。

また、トレーニング中止後150日目では、IV期を保持するものとIII期へ多少逆行するものが認められた。

さらに、これらの状態をプログラミングあるいは知覚—運動行動<sup>8)</sup>に関連させて考えると、I期は、Refractory period (不応期)といえる。すなわち、失敗情報を組織化できず、また、脚筋の力による制御も十分できない、反応のない状態である。II期は、Reaction period (反応期)といえる。失敗数が減少することから、脚筋の力による随意的制御に依存しているが、失敗情報に対して反応している。この状態のフィードバックの反復により最適動作のプログラムが形成されると考えられる。また、I、II期を合せてUnderstanding period (認知期)といえる。すなわち、失敗情報の認知・判断の有無の期である。III期は、Formative period (形成期)といえる。すなわち、筋放電の減少は、脚筋の力による制御の減少を示し、 $\alpha$ 波の出現は、運動制御系の大脳皮質以下への移行を示すものである。IV期は、Complete period (完成期)といえる。プログラムはさらに完成されSpinalizationの期である。したがって、運動や動作の習熟を評価するとき、I期からII期にかけてのperformanceの向上を即座に習熟と考えることには問題があり、さらに一步反復トレーニングしたのちに初めてプログラムの形成の時期があることを考慮する必要があるだろう。

### 3. 動作の「プログラム」の2・3の相違について

動作「プログラム」と表現した報告は、いくつかみられるが、この場合に研究者によって必ずしもプログラムの意味が一致していないように考えられる。

その動作遂行のための一連のキーや番号のorderあるいはprocedureといった手順のようなものを知識として記憶しておくことをプログラムと呼ぶ場合<sup>10)28)29)</sup>と、ある未知の動作の技術が身体的に獲得される場合<sup>16)17)</sup>がある。両者は、区別しておかなければ、何が(手順か技術か、あるいは両者か)どこにプログラムされるのかの問題を誤ることになる。本研究は、後者の技術的問題である。たとえば、前述したMilnerら<sup>14)</sup>の鏡映描写テストの被験者は、側頭葉と海馬を左右とも除去した激しい記憶障害者であり、日常生活の出来事を十数分で忘れてしまう症状をもつものである。ところが、前述したような運動学習においては明らかに学習効果があり、少なくとも運動経験が上記以外の部位でプログラムされていることは明確であり、運動課題が後者のプログラムによって獲得されたことを示している。

## 要 約

頭皮上脳波が、運動習熟によって $\beta$ 波から $\alpha$ 波化するのは大脳皮質の意識水準の低下、すなわち、皮質以下への運動制御系の移行するためであるとする知見と、大小脳間ループ結合あるいは大脳基底核などを含む中枢神経系内の運動制御の経路は、運動モデルをプログラムしているとの見解がある。両者は、運動習熟に関するひとつの現象とメカニズムの相違であり、同一の構造をもつものであると仮説をたてた。

この仮説のもとに、男子大学生6名に対してボンゴボード運動のトレーニングを1回1分間、1日5回、40日間実施した。 $\alpha$ 波の出現を中枢プログラムの形成の指標とし、ボンゴボード運動の失敗数とそのSDをプログラムの成果とし、また、筋電図を末梢での神経活動の指標とした。その結果、運動習熟に次の4相があることが明らかになった。

- I 期（不応期）：失敗情報の認知がなされていない。
  - II 期（反応期）：失敗に反応して脚筋の力によって意識的に制御される。
  - III 期（形成期）： $\alpha$ 波の出現が認められ、プログラムが形成されつつある。
  - IV 期（完成期）： $\alpha$ 波の出現が急増し、筋放電も著しく小さい。
- したがって、III期以後の状態が、運動の習熟と考えられた。

本研究の要旨は、第37回日本体力医学会総会（島根・出雲市、1982）において発表した。

（謝辞） 本研究は、昭和56年度卒業した赤星一博君の研究と平行して行なわれたものであり、また、考察のヒントを与えてくれたことに対し、記して深く感謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) Adams, J. A., J. Motor Behavior 3, 111-149 (1971)
- 2) Allen, G. I. and Tsukahara, N., Physiol. Rev. 54, 957-1001 (1974)
- 3) Barker, W. and Burgwin, S., Arch. Neurol. Psychiat. 59, 412 (1949)
- 4) Fitts, P. M. and Posner, M. I., Human performance, Belmont, California, Books Cole (1967)
- 5) Glencross, D. J. and Gould, J. H., J. Motor Behavior 11, 1-9 (1979)
- 6) 萩原 仁・坂本和文, 体育科教育 22 (7), 52-55 (1974)
- 7) 萩原 仁, 新体育 45 (12), 15-19 (1975)
- 8) 萩原 仁・調枝孝治編著, 人間の知覚—運動行動, 不昧堂出版 (1975)
- 9) 伊藤正男, ニューロンの生理学, 126-139 岩波書店 (1972)
- 10) 川原ゆり・渡辺俊男, 体力科学 31, 10-18 (1982)
- 11) Keele, S. W., Psychol. Bull. 70, 387-403 (1963)
- 12) Klapp, S. T., Abbot, J., Coffman, K., Grein, D., Snider, R. and Young, F., J. Motor Behavior 11, 91-101 (1979)
- 13) Massion, J., Integration in the Nervous System, ed. H. Asamura and Wilson, V. J., 239-258 Igaku-shoin, Tokyo, New York (1979)
- 14) Milner, B., Corkin, S. and Teuber, H.-L., Neuropsychologia 6, 215 (1968)
- 15) 宮崎義憲・遊佐清行・片尾週造, 横浜市立大学紀要 3 (2), 1-11 (1974)
- 16) 根本哲郎・萩原郡次・和田 尚・播本定彦・吉田浩重・平井富弘, 体力科学 26 (1), 30-43 (1977)
- 17) 小原達朗, 長崎大学教育自然研報 (32), 215-226 (1981)
- 18) Rispal-Padel, L. and Latreille, J., Exp. Brain Res. 19, 36-60 (1974)
- 19) Schmidt, R. A., The schema as a solution to some persistent problem in motor learning theory. In Stelmach, G. E. ed., Motor control, Academic Press New York (1976)

- 20) Shea, C. H., Res. Quart. Exercise and Sport 51, 369-381 (1980)
- 21) 篠田義一, 生体の科学 31 (6), 482-495 (1980)
- 22) 鈴木寿夫, 生体の科学 31 (6), 496-503 (1980)
- 23) 体育科教育研究会編, 体育実験演習概説, 215 大修館書店 (1979)
- 24) Tanji, J. and Evarts, E. V., J. Neurophysiol. 39, 1062-1068 (1976)
- 25) 時夷利彦, 科学 25, 291-297 (1955)
- 26) Tokizane, T. and Shimizu, H., Functional differentiation of human skeletal muscle corticalization and spinalization of movement, Univ. of Tokyo Press (1964)
- 27) Wrisberg, C. A. and Shea, C. H., J. Human movement Studies 4, 44-52 (1978)
- 28) 山崎 健, 新潟大学教育学部高田分校研究紀要 (23), 81-91 (1979)
- 29) 山崎 健, 同 上 (25), 147-162 (1981)
- 30) 吉田充男, J. J. Sports Sci. 1 (1) 30-37 (1982) (本文中より引用)