

The Training of Coordination

協調性の訓練

Frederic J. Kottke, MD, Daniel Halpern, MD, Jessie K. M. Easton, MD
 Alie T. Ozel, MD, Connie A. Burrill, BS, RPT

ABSTRACT. 要約 Kottke FJ, Halpern D, Easton JKM,
 Ozel AT, Burrill CA: Training of coordination. Arch Phys Med Rehabil 59:567-572, 1978

The training of coordination is generally considered a volitional activity, during which, by trial and perception of results, an individual selects the muscular activity resulting in the desired performance. This concept of volitionally directed complex coordination of multiple muscles with speed, skill, and strength does not stand the test of thorough evaluation. Attention is limited to 1 activity at a time, with the ability to shift attention not more frequently than 3 times per second. Only under special conditions can activity be limited to specific muscles during an untrained contraction without cocontraction of other muscles. However, with repeated practice of the desired activity, a pattern of performance is developed which can be carried out rapidly and forcefully without activation of other muscles. At that time, the consciousness is no longer directing the components of the activity but merely starting, maintaining, and stopping the performance. The development of these patterns, or engrams, by practice develops the capacity to automatically inhibit muscles that do not contribute to the performance of the desired pattern. The capacity for inhibition results in coordinated activation of the muscles contributing to the performance desired. Investigation of the development of coordination in many types of normal activities, as well as in neuromuscularly impaired patients, shows that engrams develop progressively by slow, precise practice of simple patterns, combined as they develop into more and more complex patterns, until the final skill is attained.

協調性の訓練は、一般的に意図的な活動と見なされ、その間、試行と結果の認識によって、個人は、望ましい動作をもたらす筋活動を選択している。

スピード、スキル、および強さを備えた複数の筋の意図的に方向付けられた複雑な協調性のこの概念は、完全な評価のテストに耐えられない。

注意は一度に1つの活動に制限され、1秒間に3回以下の頻度で注意を移行することができる。特別な条件下でのみ、他の筋の同時収縮なしに、訓練されていない収縮中の特定筋の活動に限定することができる。

しかし、望ましい活動を反復実践することで、他の筋の活性化なしに迅速かつ力強く実施できる動作のパターンが開発される。

その時、意識はもはや活動の要素を指示するのではなく、単に動作を開始、維持、停止するだけである。

これらのパターンまたはエングラムの開発は、実際には、目的とするパターンの動作に寄与しない筋を自動的に抑制する能力を開発する。

抑制能力は、筋の協調的な活性化をもたらす、望ましい動作に貢献する。

多くの種類の正常な活動、および神経筋障害患者における協調性の発達の調査は、エングラムが、最終的なスキルに達成されるまでに、ますます複雑なパターンに発達するように組み合わせられた、単純なパターンのゆっくりとした、正確な練習によって漸増的に発達することを示している。

The coordination of multimuscular activities is not achieved by conscious cerebral cortical selection and activation of each of the muscles participating in a coordinated pattern. The action proceeds far faster and with more complexity than cerebral consciousness can respond. The consciousness neither

has the capacity to perceive all the activities that are occurring nor the *speed to process changes as rapidly as they occur* during highly skilled activity. Therefore, in the brain there must be a mechanism to program and store patterns of multimuscular motor activity; this might be likened to the storing of programs in a computer. In response to the suitable triggering stimulus, each of these patterns, or engrams, is initiated and runs as it was preprogrammed. The important question for the training of coordination is how this preprogramming is accomplished.

多筋群活動の協調性は、意識的な大脳皮質の選択と協調された様式に参加している各筋群の活性化によっては達成されない。

活動は、脳の意識が反応できるよりもはるかに速く、より複雑に進行するからである。

意識には、発生しているすべての活動を知覚する能力も、高度に熟練した活動中に発生するのと同じ速さで変化を処理する速度もない。

したがって、脳には、多筋群運動活動の様式をプログラムして、保存するメカニズムがなければならぬ。これは、コンピューターにプログラムを保存することに例えることができる。

適切な開始刺激に反応して、これらの様式またはエングラムのそれぞれが開始され、事前にプログラムされたとおりに実行される。

協調性訓練に関する重要な疑問は、この事前プログラミングをどのように成し遂げるかだ。

For many years after the discovery of the motor cortex by Fritsch and Hitzig¹ 100 years ago, the attractiveness of the theory that motor activities are organized and directed consciously from a cortical motor center caused medical science to neglect other alternatives, as electrophysiologists sought to map and define the loci of coordination.²⁻⁵ However, electrical stimulation of the motor cortex has never produced the skillful kinds of motor patterns which an individual can produce.⁶ When cortical stimulation results in a response, it is usually a crude, rather generalized excitation of multiple muscles in proximal joints causing gross pseudopurposeful-appearing synergies. No investigator has been able to demonstrate the precisely coordinated multimuscular activities which can be carried out easily by any normal individual (fig 1).

100年前に Fritsch と Hitzig が運動野を発見してから何年もの間、運動活動が大脳皮質運動中枢から意識的に組織化され指示されるという理論の魅力により、電気生理学者が協調性の軌跡を地図にして定義しようとしたとき、医科学は他の選択肢を無視させられてきた。

しかしながら、運動皮質の電気刺激は、個人が作り出すことができる巧みな種類の運動様式を生み出したことは一度もない。

皮質刺激が反応をもたらす時、それは通常、近位関節の複数の筋群の粗い、かなり一般化された興奮であり、全般的な疑似目的のように見える相乗効果を引き起こす。**(同時に収縮し、協調運動とは違う事)**

正常な個人によって簡単に実行できる、正確に協調された多筋群活動を実証できた研究者は一人もいない (図 1)。

From the Department of Physical Medicine and Rehabilitation, University of Minnesota Medical School, Minneapolis. Dr. Ozel is now deceased.

These studies were supported in part by grant 16.P-56810 from the Rehabilitation Services Administration, Department of Health, Education and Welfare, Washington, DC.

Presented at the 39th Annual Assembly of the American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation, Miami, November 2, 1977.

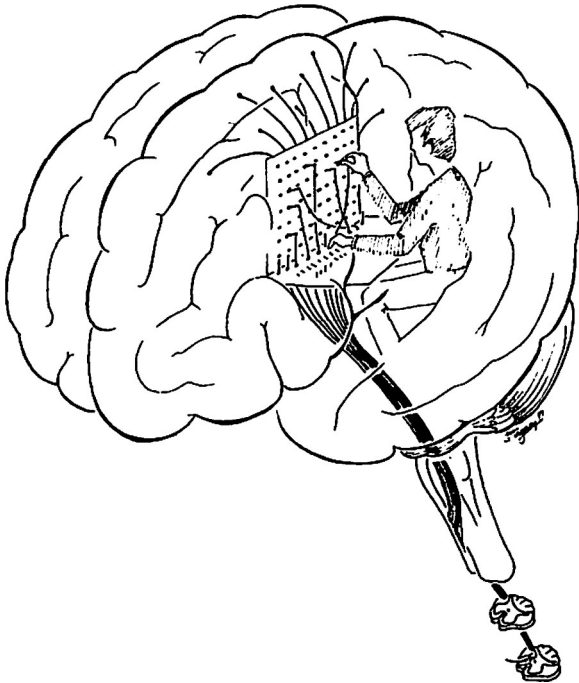


Fig 1—The erroneous concept of the motor cortex as a switchboard for the selection of the many muscles participating in coordination patterns.

※図 1：運動皮質野の誤った概念は協調性パターンに参加する多くの筋群の選択がスイッチボード（配電盤・交換台）のようである。

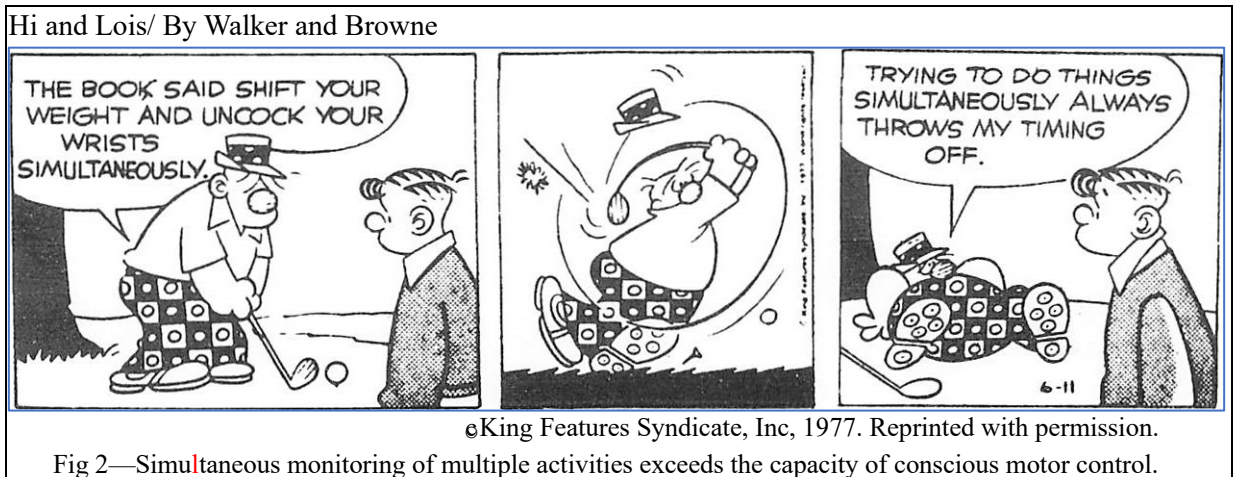


Fig 2—Simultaneous monitoring of multiple activities exceeds the capacity of conscious motor control.

※図 2

多数の活動における同時の監視は意図的な motor control の容量を越えている。

1 コマ目：本では体重移動と手首のアンコックを同時に行うと言っている。

3 コマ目：同時にやろうとすると、いつも自分のタイミングが止まってしまうんだよ。

※アンコック：ゴルフ用語、手首を折る事をコックと言うが、折られた手首が元に戻る事をアンコックという。

Penfield⁶ wrote, "So it may be said that the human cerebral cortex cannot satisfy the Olympian demands of those who would consider it a highest level of association and integration. It does not contain the neuron mechanism for final integration of the nervous activity of the brain, although it contributes

essential services to that integration. On the contrary, each functional area of the cortex seems to play its role in conjunction with the activity of related *subcortical units of integration*.”

Penfield は次のように書いている、「したがって、人間の脳皮質は、それを最高レベルの関連性と統合と見なすオリンピック選手の要求を満たすことができないと言える。

それは、その統合に対して核となる提供に貢献するが、それは脳の神経活動の最終的な統合のための神経メカニズムを含んでいない。

それどころか、皮質におけるそれぞれの機能的な領域は、関連する皮質下統合ユニットの活動と関連してその役割を果たしているように見える。」

Direct conscious control of activity of a single muscle, which will be referred to in this paper as "pyramidal control," appears to be initiated from (or initiated by stimulation of) the motor cortex through the Betz cells with their uninterrupted corticospinal axons. Minimal stimulation here does produce precise contractions of motor units to individual muscles. Voluntary activities initiated solely through this pathway are limited in force of contraction and complexity. The capacity to consciously supervise multimuscular activity is severely limited.

単一筋の活動に対する直接的な意識的制御は、この論文では「錘体路制御」と呼ばれているが、中断されないで続いている皮質脊髄路を伴うベツ (Betz) 細胞を介して運動皮質から開始される (または刺激によって開始される) ようである。

ここでの最小限の刺激は、運動単位を介して個々の筋群の正確な収縮を生み出す。

この経路のみを介して、引き起こされる随意的な活動は、収縮力と複雑さの力に限定される。

多筋活動を意識的に監視する能力は、厳しく制限されている。

Attempts to monitor naive activities, where the sequence has not been practiced previously, show that we can attend to no more than 1 muscle at a time, and that only when the demanded activity is slow, isolated, and nonforceful. It is possible to shift guiding attention from 1 activity to another only 2 or 3 times per second under optimal conditions.⁷ Conscious reaction time measures approximately 300 msec.

⁸ Reaction time for trained coordinated reactions is somewhat faster, approximately 200 msec.

以前に実行されていない順序での単純な活動を監視する試みは、一度に1つの筋にしか注意をむけることができず、また要求された活動が遅く、単独であり、力が弱いときにのみ参加できることを示している。

最適な条件下では、誘導的な注意を1つの活動から別の活動に、1秒間に2~3回だけ移すことができる。⁷

意識的な反応時間は約300ミリ秒である。⁸

訓練された協調反応の反応時間はやや速く、約200ミリ秒である。

Therefore, to carry out a multimuscular activity of coordination such as reach and grasp, which requires movement of the upper extremity, grasp by the hand, and shift of the trunk for counterbalancing, plus movement of the head and eyes for observation, a mechanism must be present which allows concurrent precise activity without requiring sequential monitoring of each part. Such an action is beyond the capacity of conscious perception and activation (fig 2).

ゆえに、上肢の運動や手で掴む、体幹をシフトして平衡を保つ、さらに観察のための頭部や目の運動が必要とされる、リーチして掴むといった様な協調性のある多数筋群の活動の実行には、各部位の連続した監視を必要としないで、同時に正確な活動を実施する機構がなければならない。その様な行動は、意識的な知覚や活動を越えている。(図2)

The major control by the pyramidal system appears to be directed to the modification of skilled motions of the fingers, mouth, face, and probably larynx.⁶ It is in these muscles that we have our greatest variety of activities and the greatest possibility for voluntary modification. On the other hand, it is easy to demonstrate that multimuscular activity occurs without conscious awareness of the components of performance. When conscious monitoring is imposed on these activities, the speed must be markedly

reduced in order that the individual actions may be perceived. Moreover, as reported by Paillard,⁵ when voluntary monitoring of multiple activities is attempted, there is spread of excitation across the cerebral hemispheres, resulting in tension and rigidity.

錐体系による主な制御は指や口や顔、そしておそらく喉頭の熟練された動きの修正に対して向けられている様に見える。⁶

我々が最も多様な活動をして、随意的な修正の可能性が最も高いのは、これらの筋群の中にある。一方で、動作の構成を意識的な自覚なしで、多数の筋群の活動が生じる事を示すのは簡単である。これらの活動に意識的な監視が課された場合、個々の運動が知覚される為に、速度を著しく低下させる必要がある。

さらに Paillard⁶によって報告されたように、複数の活動の随意的な監視が実行された場合、大脳半球全体に興奮が広がり緊張と硬さを生じる。 (コントロール下にあるという事)

From these considerations, it appears that there must be a "nonaware" automatic system which can respond with multiple pathways of flow of excitation to initiate activities simultaneously and allow us to carry out tile multimuscular activities we perform continually. This system becomes operative only after it has been trained. Training preprograms this system of coordination in a manner analogous to that for a programmed computer. Similarly, training constitutes the programming which prepares our "automatic extrapyramidal system" to produce highly coordinated, forceful, and rapid multimuscular activities.

これらの考察から、同時に活動を開始し、持続的に行う多筋活動を実行できるようにするために、興奮の流れの複数の経路で応答できる「非認識」の自動システムが存在する必要があると思われる。

このシステムは、訓練されて初めて作動するようになる。

訓練は、プログラムされたコンピュータに似た方法で、この協調システムをあらかじめプログラムする。

同様に、訓練は、高度に協調した、力強く、迅速な多筋活動を生み出すための「自動錐体外路系」を準備するプログラミングを構成する。

Coordination Requires Practice 協調性には、練習が必要

The development of coordination requires practice. Practice means repeating the desired pattern of activity until that activity can be performed without conscious monitoring of the component parts and without effort. Little information is available regarding the number of practice repetitions which must be carried out on the component parts of any coordinated activity before it reaches the level of skill present in normal adults in their usual daily activities. A variety of coordination tests, however, demonstrates that normal coordination develops progressively from birth, to reach its peak in the middle of the 3rd decade of life in the normal individual⁹ (fig. 3).

調整の開発には練習が必要とされる。

練習とは、構成要素を意識して監視することなく、努力することなく、その活動を実行できるようになるまで、目的の活動パターンを繰り返すことを意味する。

協調のとれた活動の構成要素に対して、通常の日常活動で成人の技術段階に到達する以前に実行しなければならない練習の繰り返しの数に関する情報はほとんどない。

しかし、さまざまな協調性テストは、正常の協調性が誕生から徐々に発達し、正常な個人の人生の30年の半ばに頂点に達することを示している (図3)。

TRAINING OF COORDINATION, Kottke

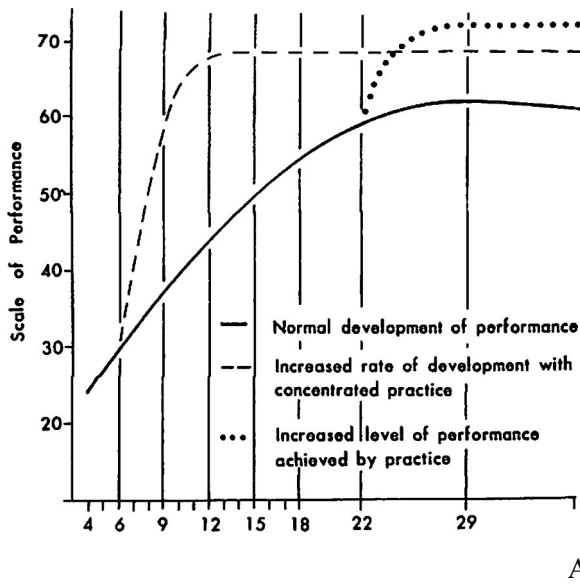


Fig 3—Normal coordination develops progressively during the first 25 years of life. The rate of development of coordination can be increased during childhood by concentrated practice. The skill of a coordination pattern in adulthood can be increased by concentrated practice of the correct engram.

※図 3 : 正常な協調性は、生後 25 年の間、徐々に発達する。

協調性の発達の速度は、集中した練習によって、小児時代に増加させることができる。

大人になってからの協調性型のスキルは、正しいエングラムを集中した練習によって増加させることができる。

One of the few attempts to measure and calculate the repetitions of performance necessary to develop peak skill in a single task in young women with normal manual dexterity was made by Crossman.¹⁰ He found that in the simple manual task of cigar-making, beginners required 3 times as long to perform 1 operation cycle as did the skilled workers. Three million repetitions of that task were necessary for the novice to become a fully skilled worker. Observation of performance of Japanese pearl bead handlers indicated that the acquisition of maximal skills in their tasks of manual coordination also required up to 3 million repetitions.

正常な手先の器用さを持つ若い女性の単一の課題で、技術の頂点を開発するために必要な動作の繰り返しを、測定および計算する数少ない試みの 1 つは、Crossman によって行われた。

彼は、葉巻たばこを作るという単純な手作業では、初心者が 1 回の操作周期 (循環過程) を実行するのに熟練労働者の 3 倍の時間が必要であることを発見した。

初心者が完全に熟練した労働者になるには、その課題を 300 万回繰り返す必要があった。

日本の真珠職人の作業を観察したところ、手動調整の課題で最大限の技術を習得するには、最大 300 万回の繰り返しが必要であることがわかった。

Skilled Automatic Performance 熟練した自律作業

The components of skilled automatic performance include volitional excitation of the activity. The activity must be initiated, maintained, and discontinued at the will of the individual. There must be proprioceptive or other feedback which allows the individual to know whether the activity has been correctly performed. However, the task runs faster than perception and, therefore, perception is essentially retrospective evaluation of success or failure. There must be central organization of the precise pattern or engram, not in the voluntary cortex, but in the automatic centers of the brain, so that these activities can be programmed and run automatically without conscious monitoring. These engrams involve inhibition of neuron pathways which should not be participating in the pattern, as well as excitation of the internuncial neurons leading to all the anterior horn cells needed in the pattern.

熟練した自律作業の構成には、活動の意欲的な興奮が含まれる。活動は、個人の意志で開始、維持、および中止する必要がある。個人の活動が正しく実行されたかどうかを知ることを可能にする、固有受容感覚または他のフィードバックがなければならない。しかしながら、課題は知覚よりも高速に実行されるため、知覚は本質的に成功または失敗の後ろ向き評価である。これらの活動を意識的な監視なしに計画して自動的に実行できるように、随意的な皮質ではなく、脳の自律中枢に正確なパターンまたはエンGRAMの中核機構がなければならない。これらのエンGRAMは、パターンに参加してはならない神経系路の抑制、およびパターンに必要なすべての前角細胞につながる介在神経の興奮が含まれる。

Penfield⁶ suggested that there was a centrencephalic subcortical system responsible for integration of sensorimotor activities. We and others have observed that one of the problems of the athetoid cerebral palsy patient is that he is unable to develop these complex engrams of motor activities. If we correlate this lack of ability to develop engrams with the knowledge that athetosis is associated with diffuse damage of the basal ganglia, it suggests that the centrencephalic center postulated by Penfield corresponds in location to the center of automatic motor activity and is located in the cerebral basal ganglia with interconnections with the nuclei of the thalamus, the midbrain, and the cerebellum as well as with the cerebral cortex (fig 4).

Penfield⁶は、感覚運動活動の統合に関与する中脳皮質下体系があることを示唆した。

私たちや他の研究者は、アテトーゼ性脳性麻痺患者の問題の1つは、運動活動のこれらの複雑なエンGRAMを開発できないことであることに気づいた。このエンGRAMを開発する能力の欠如を、アテトーシスが脳基底核のびまん性損傷に関連しているという知識と相関させる場合、Penfieldによって仮定された中脳が自動（自律？）運動中枢であるということと一致して、大脳皮質ならびに視床、中脳、小脳の核による相互接続と共に大脳基底核に位置することを示唆している（図4）

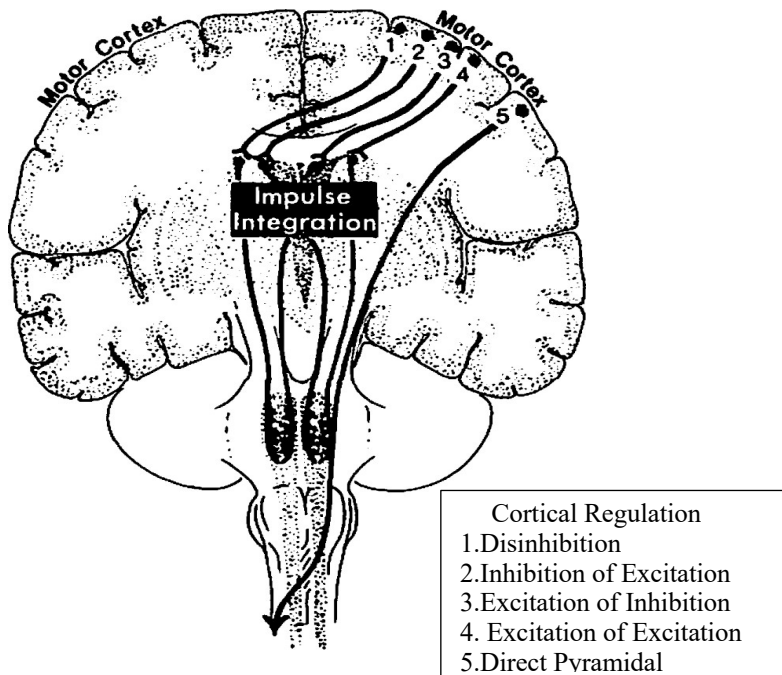


Fig 4—Postulated locus of the center for programmed automatic multimuscular activity in the cerebral basal ganglia and brain stem. ※図4 大脳基底核と脳幹での自動的金関節活動をプログラムされた中枢の提唱された部位

Engram Formation エングラム形成

An engram can be developed only by repeated practice of a precise pattern of activity. Whatever pattern of activity is practiced is the pattern that will be developed. When the engram is developed, volitional excitation causes that pattern to occur in the manner in which it has been practiced. The program for coordination training can be indexed briefly as: (1) perception, (2) precision, (3) perpetual practice, (4) peak performance, and (5) progression.

エングラムは、活動の正確な型を繰り返し練習することによってのみ開発させることが出来る。どのような活動パターンが実践されても、それは開発されたパターンである。エングラムが形成されると、意図的な興奮が練習された方法により作られたパターンを引き起こす。

協調性訓練のプログラムは、(1) 知覚、(2) 正確さ、(3) 永続的な練習、(4) 最高の動作、および(5) 進歩として簡単に分類することができる。

1. Perception: During practice of the pattern, there is perception mainly from proprioception, which provides information about performance. The sensory impulses are integrated in the cerebellum and then transmitted to the automatic monitoring center. Perceptual feedback also flows through other pathways to cortical consciousness. Feedback through the cerebellum to the centers for automatic coordination is faster than feedback to consciousness. However, both types of feedback are slow as well as limited relative to the complexity of the performance, so the feedback leads to retrospective recognition of either correct performance or error. If error has been perceived, modifications are made in the subsequent repetitions until improvement of the performance occurs. Limitations of the accuracy of this proprioceptive monitoring system lead to continual minor variations in the patterns of repeated performances and occasional major errors which require significant correction.

1. 知覚 :

パターンの練習中、主に固有受容からの知覚入力があり、それは動作に関する情報を提供する。感覚刺激は小脳で統合され、自動監視中枢に伝達される。

知覚フィードバックはまた、皮質意識(皮質感覚野)へ他の系路を通して伝達される。

自動協調性のための小脳から中枢へのフィードバックは、意識へのフィードバックよりも高速である。

但し、どちらのタイプのフィードバックも低速であるだけでなく、動作の複雑さに比べて制限があるため、フィードバックは正しい動作または間違いのいずれかの後ろ向きな認識につながる。

間違いが認識された場合は、動作が向上するまで、その後の繰り返しで修正が行われる。

この固有受容性監視システムの精度の限界は、繰り返される動作のパターンの継続的なわずかな変化と、重大な修正を必要とする時折の大きな間違いをもたらす。

2. Precision: For the development of the best pattern of activity, there needs to be precision of repetition at every stage of training. Therefore, the better the feedback and the more precise the practice, the better will be the eventual engram. Desynthesis of complex activities to units which are simple enough so that they can be practiced more precisely during the initial training is routinely carried out by all teachers of activities requiring coordination. Athletic coaches, music teachers, ballet teachers, and other teachers of complex coordination all recognize that simple patterns must be mastered before they can be combined into the more complex patterns.

2. 正確さ :

最良の活動パターンを開発するには、訓練のあらゆる段階で繰り返しの正確さが求められる。

したがって、フィードバックが優れていて、練習が正確であればあるほど、最終的なエングラムは優れたものになる。

複雑な活動を十分に単純なユニットに分解して、最初の訓練中にそれらをより正確に実践できるようにすることは、協調性を要求する活動のすべての教育者によって日常的に実施される。

体育指導者、音楽教師、バレエ教師、およびその他の複雑な協調性の教師はすべて、より複雑なパターンに組み合わせる前に、単純なパターンを習得する必要があることを認識している。

3. Perpetual Practice: The engram is programmed by perpetual practice, which means repetitions at frequent intervals accumulating to millions of repetitions before the best engram is developed. Practice results in excitation of the desired neuron linkages. Possibly more importantly, it also results in inhibition of other neuronal linkages, thereby blocking off motor neurons which should not be performing in the pattern. Inhibition arises by internuncial blockade and is the major factor in precise coordination. Any deviation from this inhibitory blockade allows activity which leads to error. The golfer who does not keep his eyes on the ball, or the football pass receiver who looks down field before he has the ball in his hands, has initiated neuronal impulses which break through this inhibitory blockade and cause an error in the performance of the pattern. A pictorial representation of the mechanism of inhibition is contained in a statement made by Karel Bobath to one of his classes: "Each motor engram is a pathway of excitation surrounded by a wall of inhibition."

3. 永続的な練習 :

エングラムは、永続的な練習によってプログラムされ、それは最良のエングラムが開発される前に、頻繁な間隔での繰り返しが数百万回の反復に累積することを意味する。

練習の結果、望ましい神経連鎖が励起される。

あるいはもっと重要なことに、それはまた他の神経連鎖の抑制を引き起こし、それによってパターンで実行されるべきではない運動神経を遮断する。

抑制は介入神経遮断によって起こり、正確な協調性運動の主要な因子である。

この抑制性遮断からの逸脱は、間違いにつながる活動を引き起こす。

ボールを見ていないゴルファー、またはボールを手を持つ前にフィールドを見おろすフットボールのパスレシーバーは、この抑制性遮断を打ち壊し動作のパターンの間違いを引き起こす神経刺激を開始していた。

抑制メカニズムの図解は、Karel Bobath が彼のクラスの一つに対して行った声明に含まれている。:「各運動性エングラムは抑制の壁に囲まれた興奮の系路である。」

Precise coordination can be developed only to the extent that undesired activity can be inhibited. Inhibition of undesired activity is more difficult than the initiation of the desired activity; it is the initiation of the desired activity in isolation that is difficult. Training of coordination requires the progressive development of selective inhibition during increasing effort. As the capacity for inhibition increases, greater effort can be exerted without loss of coordination. In the highly coordinated individual this means that near-maximal effort can be exerted to achieve the most complex patterns of activity in a coordinated manner because trained inhibition prevents overflow of activity to other motor units.

正確な協調性は、望ましくない活動が抑制できる範囲でのみ開発できる。

望ましくない活動の抑制は、望ましい活動の開始よりも困難である。(望ましくない活動の抑制は難しい) ; 孤立化して望ましい活動を開始することは困難である。(これを抑制しないと目的の活動は始められない)

協調性訓練には、努力の増加中に選択的な抑制の漸進的な開発が必要である。

(努力してるのに選択的に抑制するのが難しい)

抑制力が増大するにつれて、協調性を失うことなく、より大きな努力を発揮することができる。

高度に協調的な個人(協調性の高い人)では、訓練された抑制が他の運動単位への活動の拡散を防ぐため、協調的な方法で最も複雑な活動パターンを達成するためにほぼ最大の努力を発揮できることを意味する。

4. Peak Performance: Performance should be at the maximal level at which the patient can be continually successful, and practiced at a level just below the peak of performance. Performance is improved only by successful near-maximal performance. Failures do not result in learning. Learning is best and most rapid when there are minimal failures. To test the peak of performance requires that the effort, speed, or complexity be increased to the point where failure occurs. When the peak has been ascertained, the therapist drops back to the level of consistently successful performance for further practice, so that the patient consistently succeeds rather than fails.

4. 動作の頂点 :

TRAINING OF COORDINATION, Kottke

動作は、患者が継続的に成功できる最大レベルであり、動作の頂点のすぐ下のレベルで練習されるべきである。

動作は、ほぼ最大の動作が成功することによってのみ上達する。

失敗は学習にはならない。

学習は、失敗が最小限のときに最良かつ最も速い。

動作の頂点をテストするには、失敗が発生するポイントまで努力、速度、または複雑さを増やす必要がある。

頂点が確認されると、セラピストはさらなる練習のために一貫して成功した動作のレベルに戻り、患者は失敗するのではなく一貫して成功する。

5. Progression: There should be progression of the level of performance during practice as ability increases. Since the most effective training occurs when the patient is practicing just below the peak of performance, the practice level should increase as peak performance increases. Any increase in speed, force, or complexity increases the effort which must be expended in order to perform. Successful application of that increased effort requires that there be increased inhibition to prevent irradiation of activity to other motor units.

5. 進歩:

能力が高まるにつれて、練習中に動作のレベルが進歩するはずである。

最も効果的な訓練は、患者が動作の頂点のすぐ下で練習しているときに現れるので、動作の頂点が高まるにつれて練習レベルは上がるはずである。

速度、力、または複雑性のどこにおける増加も、実行するために費やさなければならない努力が増大する。

この増加した努力を効果的に適用するには、他の運動単位への活性の放散を防ぐために抑制を増加させる必要がある。

Systematic Coordination Training 体系的協調性訓練

Coordination training follows systematic rules.¹⁰ Its purpose is to strengthen the selection and utilization of the best pattern of multimuscular activity. In this selection the therapist must know what the correct "best" pattern is at each level of training; he then must select that pattern to be practiced by his patient. Every component of the coordination pattern must be introduced into the student's repertory before he can begin to practice the completed pattern. Many patients with cerebral palsy or brain damage lack some of the components of the usual motor activities in their repertory. Therefore, these individual components must be inculcated as simpler engrams before more complex activity can be trained.

協調性訓練は体系的なルールに従う。

その目的は、多筋群活動の最良のパターンの選択と利用を強化することである。

この選択では、セラピストは訓練の各レベルで正しい「最良の」パターンが何であるかを知っていなければいけない。；次に、患者が練習するパターンを選択しなければいけない。

完成したパターンの練習を始める前に、協調性パターンのすべての構成要素を学習者の獲得に導入しなければいけない。

脳性麻痺または脳損傷のある多くの患者は、獲得したものの通常の運動活動の構成要素のいくつかが欠損している。

したがって、これらの個々の構成要素は、より複雑な活動を訓練する前に、より単純なエングラムとして組み込まなければいけない。

Initially, a coordination activity should be desynthesized or broken down to unit activities which are practiced until each can be performed precisely. For patients with very poor coordination, the initial unit must be simplified to the individual prime mover. Individual muscular contraction should be performed slowly, precisely, and without effort so that there is no cocontraction of other muscles, and effort kept low during learning, to avoid irradiation of excitation across the central nervous system.

最初に、協調性活動は、それぞれが正確に実行できるようになるまで練習されるユニット活動に分離または分解する必要がある。

重度の協調性不全の患者の場合、最初のユニットは個々の主動作筋に単純化しなければいけない。個々の筋の収縮は、他の筋の同時収縮がないようにゆっくり、正確に、努力なしで実行する必要があり、中枢神経系全体に興奮が放散されるのを避けるために、学習中は努力を低く抑える。

This individual activity is practiced repeatedly until control is gained. Breaking multimuscular activities into component parts for practice insures consistency of the correct selection of the desired activity. Repetition of the precise performance is the only way to gain mastery of coordination and form a correct engram. The more complex the task, the greater is the need to desynthesize it to the component subtasks for precise practice. When the subtasks can each be performed correctly, slowly, and without resistance, they may be combined and practiced progressively as a more complex task. Instruction and demonstration before performance of an activity provide sensory and conscious awareness of the pattern to be attempted.

この個々の活動はコントロールが得られるまで繰り返し実行される。

練習のために多筋群の活動を構成要素に分けることは、望ましい活動の正しい選択に対する一貫性を保証する。

正確な動作の反復は協調性の熟達を得て、正しいエングラムを形成するための唯一の方法である。課題が複雑であればあるほど、正確な練習のために課題を構成している部分課題に分割する必要性が増す。

各部分課題が正確に、ゆっくり、そして抵抗無く実行された場合、これらはより複雑な課題として組み合わせられ、漸増的に実行されるだろう。

活動を行う前の指導と実演は成し遂げるためのパターンの感覚と意識的認識を提供する。

A frequent question is how many repetitions are necessary to develop highly precise engrams. The best answers appear to come from the training of peak performance in normal persons rather than limited learning when there is CNS damage. A recently introduced technique in the musical world has been the Suzuki method for training violinists. Professor Suzuki has shown that a 3-year-old child practicing his violin 6 hours a day for 5 days a week can in 3 years be playing symphonic music. This amounts to 4,500 hours of practice. If the training were carried out according to a customary American program for training child musicians for 1 hour a day, 6 days a week, 36 weeks a year, it would require 21 years of practice to accumulate the same number of hours. Suzuki begins by training the most basic engram, a single note. Then he adds variations in timing. The student then progresses to a tune we know as "Twinkle, Twinkle, Little Star." This tune contains all the basic maneuvers needed to play the violin. This is practiced and practiced until it is perfect. Variations in timing and performance are carried on for many weeks as control is perfected. When that fundamental engram has been perfected, the child can begin to play much more complex music. However, if the child has difficulty with some part of a piece, Suzuki instructs him to practice "Twinkle, Twinkle" in a certain way and then go back and apply that practice to the difficult piece. Perfection of each of the subunits of the engram makes it possible to combine those subunits into the complex engram.

よくある質問は、非常に正確なエングラムを作成するために、何回の繰り返しが必要かということである。

最良の答えは、中枢神経系の損傷がある場合の限られた学習ではなく、健常人の最高の動作訓練から導かれるように思える。

最近音楽界に導入された技術は、バイオリニストを訓練するための鈴木法がある。

鈴木教授は、バイオリンを1日6時間、週5日練習している3歳の子供が、3年間で交響音楽を演奏できることを示した。

これは4,500時間の練習に相当する。

子供を音楽家に訓練するために、1日1時間、週6日、年36週間訓練するというアメリカの慣習的なプログラムに従って訓練を行った場合、同じ時間数を蓄積するには21年の練習が必要になる。

鈴木は、最も基本的なエングラム、単音を訓練することから始める。

TRAINING OF COORDINATION, Kottke

次に、タイミングのバリエーションを追加する。

その後、生徒は「トゥインクル、トゥインクル、リトルスター：きらきら星」と呼ばれる曲に進む。

この曲には、バイオリンを弾くために必要なすべての基本的な操作が含まれている。

これは、完璧になるまで繰り返し実践される。

制御が完全になると、タイミングと動作を変えて何週間も行われる。

その基本的なエングラムが完成すると、子供ははるかに複雑な音楽を演奏し始めることができる。

しかし、子供がある箇所の一部に問題がある場合、鈴木は彼に特定の方法で「トゥインクル、トゥインクル」を練習するように指示し、次に戻ってその練習を難しい箇所に適用するように指示する。

それぞれの部分要素のエングラムを完成させることによって、部分要素を複雑なエングラムに組み合わせることができるようになる。

"Practice, Practice, Practice"練習、練習、練習

The table presents estimates of the repetitions that have been found necessary to perfect engrams in various activities. Calculations from the repetitions per day or the number of units of practice indicate that coordination requires repetitions numbering in the multimillions. Is it any wonder, then, that in therapeutic exercise for the child with cerebral palsy, when we require repetition of performance only from once to a dozen times each day, an engram is never developed?

この表は、様々な活動でエングラムを完成させる為に、必要性がわかっている反復の概算を示している。

1日あたりの反復数または実践単位数からの計算では、協調性には数百万の反復回数が必要であることを示している。

では、脳性麻痺児の治療的運動において、1日1回から12回のみ動作の反復でエングラムが決して発達しないことに何の不思議があるだろうか？

Again, if we look at the normal child, we can hasten the development of adult level coordination by precise and frequent repetition during childhood (fig 3). Thus Mickey Mantle became a professional baseball player in his teens by practicing the skills of baseball from the time he was a small boy, and Nadia Comaneci became an Olympic gold-medal gymnast at the age of 14 after continual practice from the age of 6. These precise and frequent repetitions shorten the elapsed time before maximal performance is reached but the number of repetitions are in the same range. It actually requires fewer repetitions if there is continual practice, because there is not the forgetting which occurs whenever there is inactivity. However, in any case, the total number of repetitions still is in the multimillions for activities which require multimuscular coordination.

繰り返しになるが、正常な子供を見ると、子供時代の正確かつ頻繁の反復で、大人水準の協調性の発達を早めることができる(図3)。

このように、Mickey Mantleは幼い頃から野球の技術を練習することで20歳前でプロ野球選手になり、Nadia Comaneciは6歳から継続的に練習した後、14歳でオリンピックの金メダル体操選手になった。

これらの正確で頻繁な反復は、最大の動作に達するまでの経過時間を短縮するが、反復回数は同様の範囲内である。

継続的な練習があれば、実際には反復が少なくて済む。これは、非活動時に発生する忘却がないためである。

しかし、いずれにせよ、反復の総数は、多筋群の協調性を必要とする活動では、依然として数百万になる。

Estimates of Repetitions of Precise Performance of a Motor Pattern to Develop an Engram of Skillful Coordination

Activity	Performer	Repetitions for Skillful Performance	Basis for estimate
cigar-making	young women	3 million cigars	10 Crossman
hand knitting	women	1.5 million stitches	20 sweaters @ 75,000 stitches/sweater
rug-making	children	1.4 million knots	35m @ 40,000 knots/m ² (Ecuador)
violin-playing	3-yr children	2.5 million notes	6hr x 6d x 50 wks x 3yr = 5400 hrs (Suzuki)
walking	child to 6 years	3 million steps	child in spring assist brace
marching	men	0.8 million/6 weeks	Army basic training
pearl handling	women	1.5-3 million	performance records at Mikimoto Pearl Industry, Japan
football passing	quarterback	1.4 million passes	15yr x 200d x 4hr x 2/min
football punting	athlete	0.8 million	E. J. Storey: 11 200/d x 6d x 4Swk x 15 yr estimate of practice time
basketball playing	athlete	1 million baskets	
baseball throwing	pitcher	1.6 million throws	3/min x 180min x 300d x 10yr
gymnast performing	14.yr girl		8yr daily practice

In the training of coordination, the short-term or interval goals which are successively achieved combine to determine the eventual status. Each of these short-term goals for therapeutic management should be achievable in the period of time planned for the therapy, with the resources available, and should result in continuing functional activity at the end of therapy. If a functional and usable activity is not achieved before therapy is discontinued, it is of no value to begin that training program, because the activity will not be used at the end of the therapeutic program and will be forgotten. Likewise, the program prescribed should not require so much effort and energy that the patient or family cannot participate in usual daily activities. Sometimes a family is coerced to try to perform beyond its capacities and after a period of attempting and failing it is forced to give up. This does nothing beneficial for the child, because training which does not result in continuing use is of no value.

協調性訓練では、短期または中間目標のどちらも連続して達成されるよう組み合わせて、最終的な状態を決定する。

治療管理のためこれら短期的な目標のそれぞれは、治療のために計画された期間内に達成可能であるべきで、資源を使用して、治療の終わりに継続的な機能的活動を成果とすべきである。

もし治療が中止される前に機能的で使用に適した活動が達成されないならば、その訓練プログラムを開始することは価値がない、なぜならその活動は治療プログラムの終了時に使用されず、忘れられるだろう。

同様に、処方されたプログラムは、患者や家族が通常の日常活動に参加できないほどの努力と労力を必要とすべきではない。

時々、家族はその能力を超えて実行することを強制されて、試みて失敗した期間の後、それをあきらめざるを得ない。

TRAINING OF COORDINATION, Kottke

これは子供にとって何の利益もない、なぜなら継続使用をもたらさない訓練は価値がないからである。

Training for Functional Goals 機能的目標のための訓練

Each patient should be programmed to achieve a functional goal. Failure to achieve functional goals merely conditions the patient to the concept of nonperformance or failure. Partially completed training which is discontinued is actually a failure. Intermittent therapy toward the same eventual goal likewise is training in failure. At the 1st or 2nd episode of partial training we find a willing or acquiescent patient, but further repetitions meet with increasing reluctance because of the psychologic stress of continuing failure.

各患者は、機能的目標を達成させるためにプログラムされるべきである。機能的目標を達成できない失敗は、単に患者を不履行、または失敗の概念に条件づけるだけである。

中止された部分的に完了した訓練は、実際には失敗である。

同じ最終的な目標に向けた継続的な治療は、同様に失敗の訓練である。

部分的な訓練の1回目と2回目では、我々は、自発的または黙認する患者に会うが、さらに続けると失敗が続くという心理的ストレスによってますます嫌がられる。

On the other hand, successful performance is a reward in itself and encourages further attempts at successful performance. Training to the level that the activity is functional in daily life becomes a rewarding and self-perpetuating activity. Therefore, in training of coordination, successful performance is the keynote. It should occur in the performance of the initial unit activities at the beginning of training and continue as trained activities are combined into more complex coordination. Every therapeutic session should end on a successful note. Successful design and execution of a therapeutic program for coordination training should result in the use of the trained pattern in the functional life of the patient.

一方、成功した動作は、それ自体が報酬であり、成功した動作へのさらなる挑戦を奨励する。

活動が日常生活で機能する段階までの訓練は、やりがいのある自己永続的な活動となる。

したがって、協調性の訓練では、成功する動作が基本となる。

これは、訓練の開始の最初の部位の活動の動作で起こり、訓練された活動はより複雑な協調性に結合されるように継続すべきである。

全治療的の計画は成功したところで終了すべきである。

協調性の訓練のための治療的プログラムの設計と実行の成功は、患者の機能的な生活で、訓練されたパターンの使用に繋がるはずである。

ADDRESS REPRINT REQUESTS TO:

Frederic J. Kottke, MD, PhD
Department of Physical Medicine and Rehabilitation
Box 297, Mayo Memorial Building
University of Minnesota Hospitals Minneapolis, MN 55455

References

1. Fritsch G, Hitzig E: Ueber die electricische Erregbarkeit des Grosshirn. Arch Anat Physiol Wiss Med 37:300-332, 1870
2. Horsley V, Schäfer EA: Record of experiments upon functions of cerebral cortex. Phil Tr Lond (B) 179: 145, 1888
3. Sherrington CS, Grünbaum ASF: Localisation in "motor" cerebral cortex. Br Med J 2:1857-1859, 1901
4. Woolsey CN, Marshall WH, Bard P: Representation of cutaneous tactile sensibility in cerebral cortex of monkey as indicated by evoked potentials. Bull Johns Hopkins Hosp 70:399441, 1942
5. Paillard J: The patterning of skilled movements. In Field J, Magoun HW, Hall VE (eds): Handbook of Physiology: Section I. Neurophysiology. Washington DC, American Physiological Society, 1960, vol 3, pp 1679-1708
6. Penfield W: Mechanisms of voluntary movement. Brain 77:1-17, 1954
7. McLaurin GA: External power in upper extremity prosthetics. Orthotic Prosthetic Appliance J 20:145-151, June 1966
8. Lansing RW, Schwartz E, Lindsley DB: Reaction time and EEG activation under alerted and nonalerted conditions. J Exp Psychol 58:1-7, 1959
9. Briggs PF, Tellegen A: Development of manual accuracy and speed test (MAST). Percept Mot Skills 32:923-943, 1971
10. Crossman ERFW: Theory of acquisition of speed-skill. Ergonomics 2:153-166, February 1959
11. Storey EJ: Secrets of Kicking a Football. New York, Putnam, 1971