

EMG フィードバックの適用による 脳性マヒ児の前腕回外運動訓練 (1)

中井 滋, 五味重春

はじめに

癱直型脳性マヒ児（以下CP児とする）の上肢運動にみられる異常肢位は、肩関節の内転、肘関節の屈曲、前腕の回内、手関節および手指の屈曲、母指の内転である。これらの異常肢位と運動の障害は、日常生活動作の確立や学習面に支障をきたすばかりでなく、放置すると関節の拘縮や変形をもたらすことになる。特に前腕の回外運動の制限は洗面、食事、書字等の基本的な動作を制限する結果となる。

さてCP児（者）の異常肢位や運動障害を矯正、改善するために、従来からいくつかの訓練法が実施されてきた。

ところで近年バイオフィードバック (biofeedback) を利用した生体の自己制御に関する研究が、さまざまな領域において行なわれるようになり、いろいろな障害の改善のために適用されるようになってきた。

EMG フィードバックにおける研究では、1960年に Marinacci ら⁷⁾ がEMGにおけるバイオフィードバック治療で片マヒの下肢などに対する筋再教育の原理と所見を述べ、その有効性を報告したのが始まりで、その後中枢神経系疾患に対する新しい訓練法として従来の訓練法 (physical therapy) と平行して発展してきた。以下いくつかの研究について概観すると、Amato ら¹⁾ は、発病後9年を経過した片マヒ患者に、メーターによる視覚フィードバックを使用して2か月間訓練し、足関節の背屈と歩容の改善を報告した。Johnson ら⁹⁾ は、10名の片マヒ患者に聴覚、視覚によるフィードバック訓練を行ない、全員に何らかの改善をみている。Brudny ら³⁾ は、EMG フィードバック訓練を受けた114名について調査を行なった。その結果、片マヒ39名中20名が上肢において長期間にわたって改善を維持しており、下肢では6名中4名に足関節の背屈の改善がみられ、また痙性斜頸の患者48名のうち19名が長期にわたり、改善を維持している知

見を得た。Basmajian ら²⁾ は、尖足 (drop-foot) の片マヒ患者20名をランダムに10名ずつ2グループに分け、第1グループには従来の訓練 (physical therapy) を40分、第2グループには、従来の訓練20分とEMGによる聴覚フィードバック訓練20分、それぞれ週3回、5週間にわたり施行し、2つのグループにおける訓練効果を検討した。その結果、第2グループの方に第1グループのおよそ2倍の効果を認めたと報告している。またSwaanら¹⁰⁾ は、長腓骨筋の異常な筋活動の抑制に関して、従来の訓練法 (physical therapy) とEMGフィードバック訓練を比較し、フィードバック訓練によりよい結果をみたと報告している。

またCP児（者）にEMGフィードバックを適用した研究もある。Finley ら⁸⁾ は、14才~31才のCP者（アテトイド型）6名に前頭筋からのEMGフィードバックを行ない、筋放電を低下させながら、スピーチ、粗大運動、微細運動などの訓練を実施したところ、スピーチで改善を示さなかった重症例2名を除いては、いずれも効果が認められ、CP者の訓練法として有効であったと報告している。その他にもCP児（者）にEMGフィードバックを適用し、その有効性を報告した研究^{4), 9), 11)}があるが、これらはおもに relaxation に関するものであり、EMGフィードバックによる上肢、特に回外運動についての研究はまだ見られない。

本研究では、EMGを聴覚刺激としてフィードバックし、それを使用した回外運動訓練について検討するものである。具体的には次のようなことを検討する。

- (1)EMGフィードバックによる回外運動訓練で訓練効果がみられるか、つまり前腕回外運動可動域（以下ROMという）が拡大するか
- (2)ROMと筋電図の関係はどうか
- (3)どのような連合運動が、上肢その他にみられるか

方法

a. 被験者

東京整肢療護園に在園し、筑波大学附属桐が丘養護学校(入院部)に在籍している痙直型CP児4名で Table 1 の通りである。

Table 1 被験者の年齢, 性別, 型, IQについて

case No	age yrs	sex	CP・type	IQ
1	7	F	Spastic parapregia	40
2	8	M	Spastic parapregia	47
3	8	F	Spastic diplegia	51
4	8	M	Spastic diplegia	43

b. 装置

(1)バイオフィードバックシステム* (米国 Cyborg 社製) (Fig. 1)

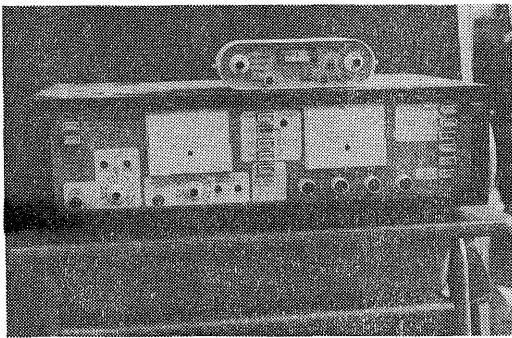


Fig. 1 バイオフィードバックシステム

* この装置はポータブルマスルトレーナー(写真上)とプロセッサ(写真下)からなり, EMGを4種類の音に変換することができる。またEMGレベルメーター, 閾値調整装置, 10秒~60秒のEMG

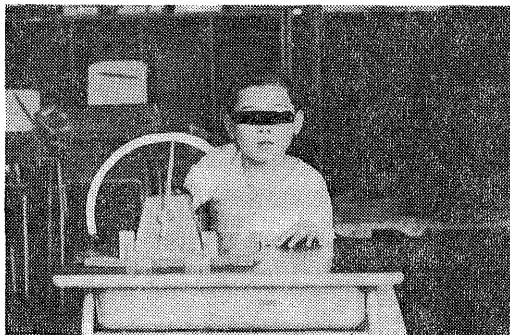


Fig. 2 訓練場面

積分などから構成されている。

(2)自作の回外運動角度計 (Fig. 2)

(3)2チャンネルポータブルレコーダー(三栄測器社製) paper speed 5 mm/sec

(4)VTRシステム (SONY社製)

c. 被験筋

回外運動に制限のある右側上腕二頭筋* (M. biceps brachii)

* 前腕の回外運動に主に関与する筋としては回外筋 (supinator) があるが, これは肘関節伸展位での前腕回外運動に働き, 肘関節屈曲位での回外運動には上腕二頭筋の補助を必要とする。

d. 手続

1回の訓練(1セッション)は次の5つの条件からなっている。

- pre-feedback: 聴覚刺激を与えないで回外運動させる (5回実施)
- feedback 1: 聴覚刺激を与えて回外運動させる (5回実施)
- feedback 2: feedback 1と同じ (5回実施)
- feedback 3: feedback 1と同じ (5回実施)
- post-feedback: pre-feedbackと同じ (5回実施)

したがって被験者は1セッションで25回の回外運動を行なうことになる。

まず被験者を椅子に座らせ, 右側上腕二頭筋に2cm間隔で表面電極を装着し, その後肘関節を90°位に屈曲させ, 手掌部を角度計にゴムバンドで固定する。体幹を垂直位に保持させて, 右手の力を抜くように教示し, 安静時(at rest)の筋放電が低下したところで pre-feedbackの条件で回外運動させる。その後, 回外運動でROMの角度が大きくなればなるほど高くで大きな音が出ることを理解させ, 「できるだけ高くで大きな音を出すように努力しなさい」と教示する。被験者が理解したら feedback 1, feedback 2, feedback 3の条件下で, 最後に post-feedbackの条件下で回外運動させる。尚毎回, ROMの最大角度を10秒間保持させ, 第4セッションまではEMG積分を行なった。

各条件間には2分程度の休憩を与え, 1セッションの訓練時間はほぼ30分であった。全被験者が10セッションの訓練を受けた(週3セッション)。

結果

回外運動時の筋電図を示したのが Fig. 3 である。これは case 2 の第1セッションのものである。↓は「始

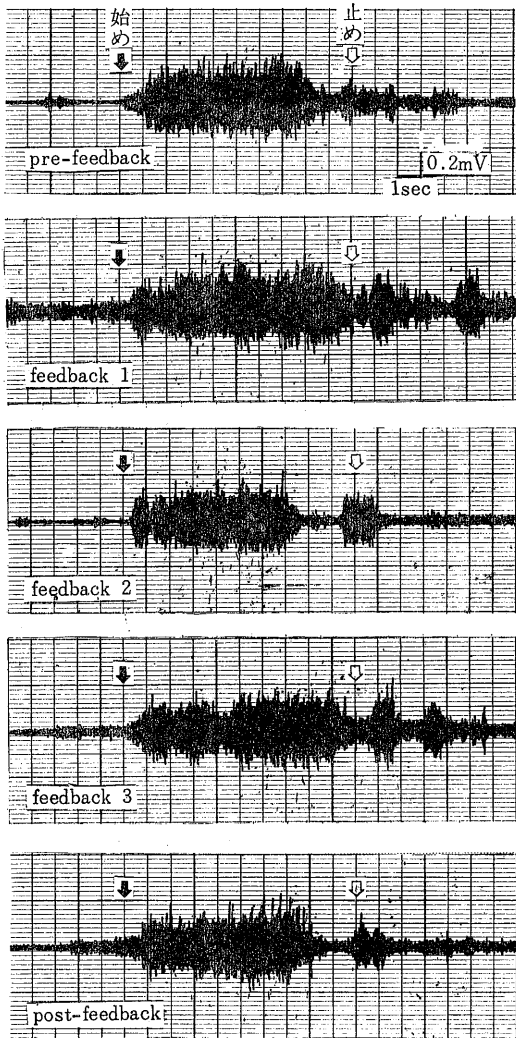


Fig. 3 回外運動時の上腕二頭筋の筋電図 (case 2)

め」の教示を、 \uparrow は「止め」の教示を与えたところである。回外運動時以外は安静時の筋電図であり、5つの条件下のどれもが回外運動前の安静時より、回外運動後の安静時において筋放電が高くなっているのがわかる。また feedback 2 と post-feedback においては、回外運動時に筋電位が極端に低下している箇所があるが、これは被験者が最大角度を保持できずに、角度をもどしてしまったことを示すものである。このような現象は case 2に限らず、全被験者に何回か見られた。

次に Fig. 4 は10セッションの訓練で、音刺激を与える前、与えた時、与えた後のROMがどのように変化し

たかを示したものである。グラフの縦軸はROMの角度を、横軸は第1セッションから第10セッションまでの訓練回数表わされている。また○---- feedbackというのは feedback 1, feedback 2, feedback 3の条件で行なったROM角度の平均値である。すべての case において第1セッションでは feedback—post-feedback—pre-feedbackの順に角度が小さくなっているが第2セッション以後はさまざまに変化している。3つの条件下のうち pre-feedback条件下での角度の落ちこみが目立つのは、case 1の第5セッション、第6セッション、case 2の第5セッション、第6セッション、第8セッションである。これは後に述べる連合運動が顕著に出現したためである。第1セッションから第10セッションまでを通して、角度の変動が激しいのは case 2であった。この10セッションの訓練で、4人の被験者に訓練効果があるかどうかをみるために、pre-feedback と post-feedback 条件下での角度変化を統計的に検討したが、有効性は認められなかった。

被験者が回外運動を行なう際に、どの部位にどのような連合運動が出現するのかということを観察するために、VTRを使用してその様相を捉えてみた。その結果4人も回外運動を行なう上肢と同側に出現したが、case 1には肘関節屈曲、case 2には肩関節内旋、肘関節屈曲、手関節掌屈、case 3には肘関節屈曲、case 4には肩関節内旋、肘関節屈曲がみられた。このようにすべての被験者に連合運動をみただけであるが、その中でも特に強く出現したのは case 2であった。この連合運動が出現すると、ただちに休止し、正しい肢位に直すように教示したり、他動的に矯正して再開した。

次に筋電図についてみると、まず回外運動前の安静時筋電図の10秒間積分値は case 1が $7\mu\text{V}$ 、case 2が $10\mu\text{V}$ 、case 3が $12\mu\text{V}$ 、case 4が $11\mu\text{V}$ であった。また回外運動時の筋電図積分値は今回は第4セッションまでしか測定できなかったが、第1セッションから第4セッションまでの回外運動時の筋電図の平均積分値が Table 2 に示されている。これにより pre-feedback, feedback, post-feedback の3つの条件間で比較すると、いずれの case においても、第1セッションから第4セッションを通して、pre-feedback, post-feedback よりも feedback 条件下での筋電位が高くなっていることがわかる。つまり、音刺激を与えた方が、与えない時よりも筋収縮が強くなっていることを示している。しかし音刺激を与えない pre-feedback と post-feedback 条件下ではどちらが筋電位が高いかということとは明らかではない。

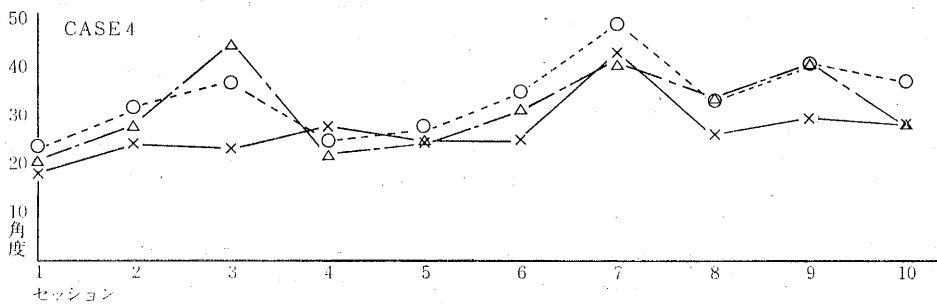
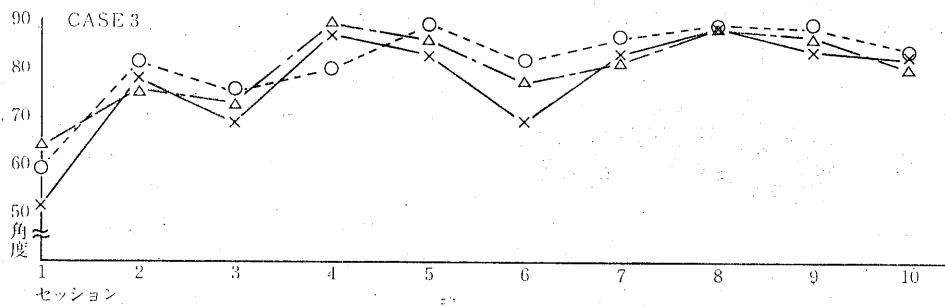
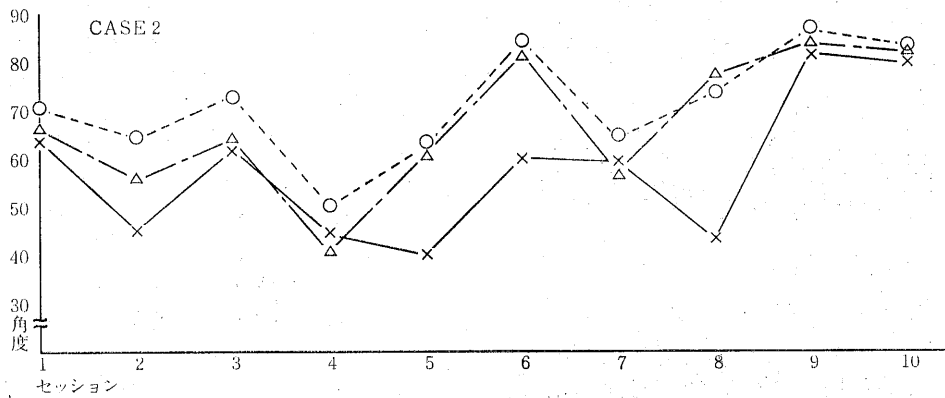
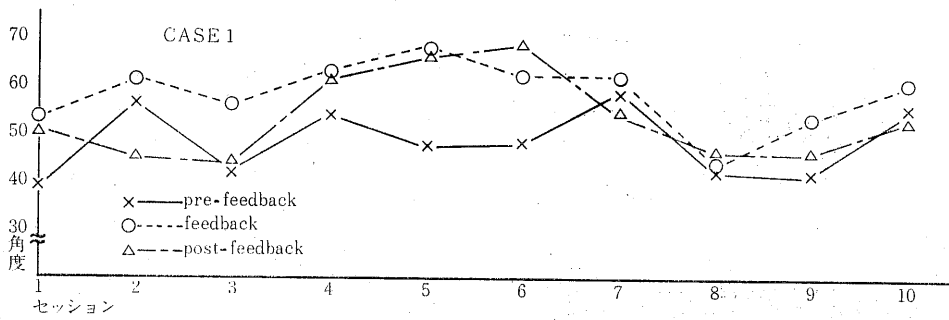


Fig. 4 各条件下でROMの変化

Table 2 1～4セッションにおける回外運動時 EMG 積分値 (10秒間)

case	セッション 条件	セッション			
		1	2	3	4
1	pre-feedback	60	80	90	100
	feedback	100	100	106	110
	post-feedback	90	80	100	93
2	pre-feedback	150	200	200	130
	feedback	150	173	150	150
	post-feedback	150	200	150	150
3	pre-feedback	60	60	60	80
	feedback	86	70	90	86
	post-feedback	60	90	71	80
4	pre-feedback	50	40	40	45
	feedback	53	45	70	55
	post-feedback	50	45	60	50

数字は μV である。

Table 3 ROMとEMGの関係

case	セッション	1 - 2		2 - 3		3 - 4	
		ROM	EMG	ROM	EMG	ROM	EMG
1	pre-feedback	↗	↗	↘	↗	↗	↗
	feedback	↗	→	↘	↗	↗	↗
	post-feedback	↘	↘	↘	↗	↗	↘
2	pre-feedback	↘	↗	↗	→	↘	↘
	feedback	↘	↗	↗	↘	↘	→
	post-feedback	↘	↗	↗	↘	↘	→
3	pre-feedback	↗	→	↘	→	↗	↗
	feedback	↗	↘	↘	↗	↗	↘
	post-feedback	↗	↗	↘	↘	↗	↗
4	pre-feedback	↗	↘	↘	→	↗	↗
	feedback	↗	↘	↗	↗	↘	↘
	post-feedback	↗	↘	↗	↗	↘	↘

では筋収縮が強くなるとROMの角度は拡大するかどうかを見るために、Fig. 4 と Table 2 から作成したのがTable 3 である。これは各条件下ごとに第1セッションと第2セッションを比較して(以下2-3, 3-4も同じ), その間にROM角度が拡大していれば、あるいは筋電位が高くなっていけば↗, 逆に減少, 低くなっていけば↘, 変化がなければ→で示したものである。これによると case 1 では第2セッションと第3セッション間にROMと筋電位の相違が現われている。また case 2 では第3セッションと第4セッション間の pre-feedback 条件下を除き, それ以外でROMと筋電位の相違がある。case 3 では第1セッションと第2セッション, 第2セッションと第3セッション間の pre-feedback, feedback 条件下で相違があり, case 4 では第1セッションと第2セッション間で3つの条件下ともに, また第2セッションと第3セッションの pre-feedback 条件下で相違がある。即ち, 被験者はその前のセッションの時よりも角度は増しているにもかかわらず, 筋電位は低下していたり, またその逆であったりすることもあることが明らかとなった。

考察

本研究ではEMGを聴覚刺激としてフィードバックし, それを利用した前腕の回外運動訓練について検討することを目的とした。

仮に, あるセッションで訓練効果が上がれば, その次のセッションの pre-feedback 条件下でのROMが拡大し, それはそのセッションの post-feedback 条件下でのROMをさらに拡大させることを可能にする1つの前提条件であるということが言えるであろう。本研究の4人の被験者においては, pre-feedback と post-feedback のいずれの条件下でも, その訓練効果を認めるには至らなかった。

また聴覚フィードバックを与えることにより, 筋収縮は強くなるものの, それでROMが拡大するかというと, 必ずしもそうとはいえなかった。ではなぜ筋収縮が強くなっているのにROMは拡大しないのであろうか? それには上腕二頭筋の機能を考える必要がある。上腕二頭筋は, 本来前腕の屈曲運動に作用することは周知の事である。ここで, 本研究のすべての case にみられた肘関節屈曲という連合運動と関連させなければならない。被験者が前腕を回外させようとする時, 前腕が屈曲し, その時の上腕二頭筋の筋活動が筋電計に捉えられることになるのであろう。

CP児の随意運動訓練での問題点となるのは連合運動の出現であることが、本研究から示唆されよう。例えば正常な場合では、肘関節屈曲位での回外運動時には、回外筋の他に上腕二頭筋、腕橈骨筋、長母指外転筋が共同で働く。CP児では共同筋や他の筋群との分化が未発達であるので、運動に必要な筋肉と他の筋群が協調不全となり、運動部位以外の連合運動が出現し、結果として目的とする運動がうまくできなくなると考えられる。この連合運動は中村⁹⁾も指摘しているように、身体的、精神的状態の変化によって生ずるものであり、特に随意運動を行なおうとすると容易に出現するものであるから注意を要する。

しかし、CP児のEMGフィードバック訓練は困難な点はあるにしても、被験者が興味を持って参加できるという大きな利点がある。本研究の被験者はIQが40~51の程度であったが音刺激に非常に関心を示し、回外運動をすると音が出るのが大変楽しくて、30分のセッションが終了しても、まだ続けたい様子であった。

本研究は第4セッションまでの筋電図しか捉えることができなかったが、今後回外運動がスムーズに行なえるようになると、筋電図はどのように変化するのか興味もたれるところである。また最大角度で10秒間静止できなくて、途中で角度が小さくなってしまう場面もあったが、その点についても運動の軌跡などから評価し、訓練が進むにつれてそれがどのように変化するのかということも今後の課題として残されている。以上の点について、今後さらに多くの被験者を用いて検討してみたいと考えている。

まとめ

本研究はEMGの聴覚刺激によるCP児の前腕回外運動訓練について検討することが目的とされた。

方法として、上腕二頭筋の筋活動が音情報として変換され、5つの条件(pre-feedback, feedback 1, feedback 2, feedback 3, post-feedback)のもとに、4人の被験者の回外運動訓練がなされた。

そして以下のような結論が得られた。

- (1)EMGの聴覚刺激を与えると、筋電位は高くなった。
- (2)ROMと筋電図の間には関係はみられなかった。
- (3)回外運動を行なった上肢の肩、肘、手首の関節に連合運動が認められた。
- (4)4人の被験者に、訓練効果は明らかにされなかった。

(付記)本研究のために御協力いただいた東京整肢療護園の大橋政照教育部長はじめ育務関係の皆様には厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) Amato, A., Hermsmeyer, C. A. and Kleinman, K. M. : Use of Electromyographic Feedback to Increase Inhibitory Control of Spastic Muscles, Phys Ther, Vol. 53. No. 10, 1063-1066, 1973.
- 2) Basmajian, J. V., Kukulka, C. G., Narayan, M. G. and Takebe, K. : Biofeedback treatment of foot-drop after stroke compared with standard rehabilitation technique : effects on voluntary control and strength. Arch Phys Med Rehabil, Vol. 56, 231-236, 1975.
- 3) Brudny, J., Korein, J., Grynbaum, B. B., Friedmann, L. W., Weinstein, S., Sachs-Frankel, G., Belandres, P. : EMG feedback therapy : Review of treatment of 114 patients, Arch Phys Med Rehabil, Vol. 57, 55-61, 1976.
- 4) Brudny, J., Korein, J., Levidow, L., Grynbaum, B. B., Lieberman, A. and Friedmann, L. W. : Sensory feedback therapy as a modality of treatment in central nervous systems disorders of voluntary movement, Neurology, Vol. 1, No. 24, 925-932, 1974.
- 5) Finley, W. W., Niman, C., Standley, J. and Ender, P. : Frontal EMG-biofeedback training of athetoid cerebral palsy patients : A report of six cases, Biofeedback and Self-Regulation, Vol. 1, No. 2, 169-182, 1976.
- 6) Johnson, H. E. and Garton, W. H. : Muscle re-education in hemiplegia by use of electromyographic device, Arch Phys Med Rehabil, Vol. 54, 320-322, 1973.
- 7) Marinacci, A. A. and Horand, M. : Electromyogram in neuromuscular re-education, Bull Los Ang Neurol Soc, Vol. 25, 57-71, 1960.
- 8) 中村隆一, 齋藤宏 : 脳性麻痺の上肢の協同運動と連合運動, リハ医学, Vol. 10, No. 3, 212, 1973.
- 9) 大野博之 : 脳性マヒ児のフィードバック弛緩, 成瀬悟策編, サイコフィードバック, 111-124, 誠信書房, 1977.
- 10) Swaan, D., Wieringen, P. C. W., Fokkema, S. D.

: Audio electromyographic feedback therapy to inhibit undesired motor activity, Arch Phys Med Rehabil, Vol. 55, 251-254, 1974.

11) 田嶋誠一: EMGによるCP児のフィードバック弛緩, 日本心理学会(41回)大会論文集, 50-51, 1977。

Summary

Supination training of the forearm in cerebral palsied children by use of EMG feedback 1

Shigeru Nakai and Shigeharu Gomi

The purpose of this study was to examine effect of the training by use of EMG feedback.

Using auditory feedback display of integrated electromyograph (EMG) activity, four subjects were trained supination of their forearms. Subjects consisted of the spastic type in cerebral palsied children, seven to eight years of age. Each subject received training ten sessions which were scheduled three times a week and lasted thirty minutes. Two surface electrodes were placed over muscle biceps brachii, and the EMG activity at rest was recorded. Supinating forearm, maximum range of motion was measured, EMG activity was recorded and then EMG voltage in ten second was analysed.

The results obtained were as follows:

- (1) By providing auditory feedback stimulus, EMG activity of biceps brachii was increased.
- (2) Range of motion in supination was not always increased, and it was not related to the integration of EMG activity.
- (3) Associated movements revealed at elbow, shoulder and wrist joint on the same side.
- (4) Effect of the training was not sufficient in these four subjects.