

■ I. 電気刺激・電気生理-3

対麻痺患者への電気刺激による筋力再強化について*

野口隆敏**・宗定伸・鳥山克佳

(国立療養所箱根病院整形外科)

村上慶郎 藤田欣也

(国立療養所箱根病院神経内科) (湘南工科大学電気工学科)

要旨

対麻痺患者への FES の手初めとして、最大振幅 100 mA、周波数 25 Hz、パルス幅 300 μ sec にて大腿四頭筋を刺激し、膝関節最大伸展トルク、反応時間、反応遅延、閾値、疲労につき健常者と比較した。結果、トルクは全例増加していたが不十分であった。反応時間はやや遅延、反応遅延は同等、閾値は正常に近接し、疲労は個人差があった。刺激の効果には、筋の特異性の関与が示唆された。

Key words : 対麻痺 (paraplegia), 筋力再強化 (re-strengthening), 電気刺激 (electrical stimulation)

目的

対麻痺患者へ将来 FES にて起立動作、歩行動作を行わせるためには、廃用性筋萎縮に陥った筋の筋力を再建しなければならない。そこで対麻痺患者の立ち上がり動作に必要な大腿四頭筋の筋力が電気刺激にて再強化され得るかを知るために以下のことを行った。

対象

全例男性で、18歳から69歳までの頸髄損傷1名、胸髄損傷3名を対象とした。受傷から電気刺激開始までの期間は最短8週、最長26週で、刺激期間は15週から31週におよんでいた(表1)。

方法

バッテリー駆動型の回路で、電圧入力パルス幅変調方式(PWM)を有し、ミスプログラムへの保護回路を設けた刺激装置をまず作成した。本装置を使用し、導電ゴム製表面電極法にて両大腿四頭筋の収縮が肉眼的に見られる最低刺激で、週5日以上2日を空けることがないように症例1から3までは日に30分、症例4のみ60分間刺激した。測定は、原則として週1回最大振幅100 mA、周波数25 Hz、パルス幅300 μ sec にて大腿四頭筋を刺激した。この際エプソン PC286LS により刺激装置を制御し、共和電業製荷重センサー・LU100KE を用い、膝関節最大伸展トルク、

* The Effect of electrical stimulation for muscle re-strengthening of paraplegic patients.

** Takatoshi NOGUCHI, et al

連絡先: 〒250 小田原市風祭412 国立療養所箱根病院整形外科 野口隆敏 電話 0465-22-3196

表 1. Subjects

Case	Sex	Age	Level	Period of paraplegia (wks)	Duration (wks)	Time (min)
1	M	21	C	22	15	30
2	M	18	Th	13	31	30
3	M	69	Th	8	31	30
4	M	41	Th	26	22	60

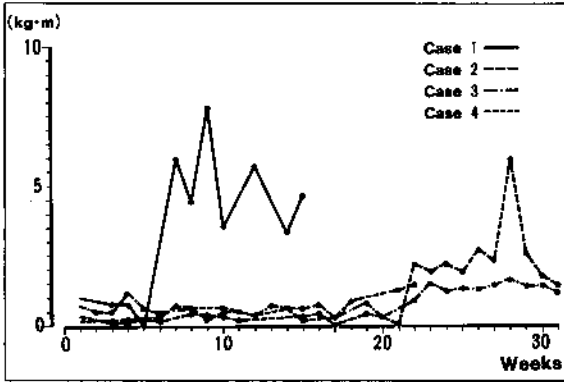


図 1. Torque (Left)

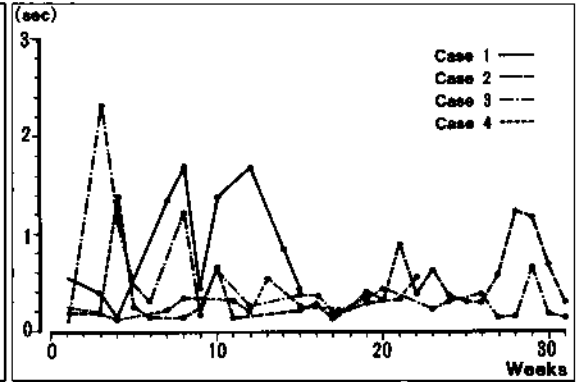


図 2. Response time (Left)

表 2. Torque

Case	Right (kg · m)	Left (kg · m)
1	9.6	8.7
2	5.3	9.6
3	8.3	9.9
4	5.9	10.5
5	16.1	17.3
6	10.1	9.9
7	14.9	9.7
8	9.7	8.6
Average	10.0	10.5

表 3. Response time

Case	Right (sec)	Left (sec)
1	0.59	0.35
2	1.27	0.73
3	0.36	0.72
4	0.52	0.49
5	0.75	0.66
6	0.42	0.37
7	0.51	0.36
8	0.76	0.59
Average	0.64	0.53

反応時間、反応遅延、閾値、疲労について測定した²⁾。なお、大学生の健常者8名に対して同様の測定を行った。

結果

両側で測定したが、図は左側を呈示した。

1) 膝関節伸展トルク。刺激開始3秒後を測定した。膝のトルクの経時変化をみると、全例上昇していた(図1)。最終測定時までの

4週間のトルクをコントロールと比較すると10~45%程度のトルクを得ていた(表2)。

2) 反応時間。最大トルクの90%までに要した時間とした。刺激開始時と比べ平均的には差はなかったが、途中変動が大きかった(図2)。コントロールの0.6 sec 前後に比べやや遅延していた(表3)。

3) 反応遅延。刺激から筋の収縮が検出されるまでの時間であり、開始時に比べ減少し

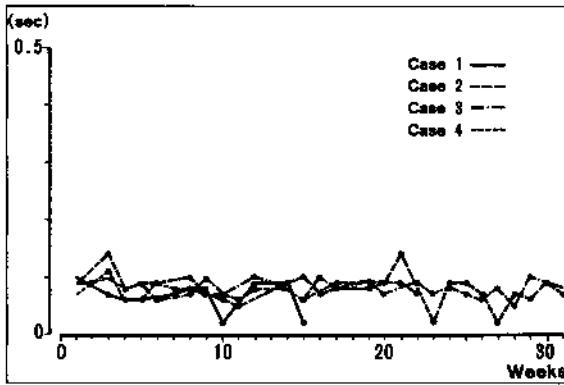


図 3. Dead time(Left)

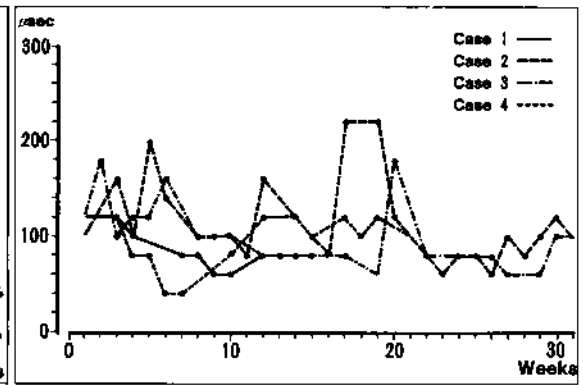


図 4. Threshold(Left)

表 4. Dead time

Case	Right(sec)	Left(sec)
1	0.1	0.09
2	0.06	0.09
3	0.03	0.07
4	0.06	0.08
5	0.05	0.05
6	0.04	0.06
7	0.06	0.09
8	0.06	0.05
Average	0.058	0.073

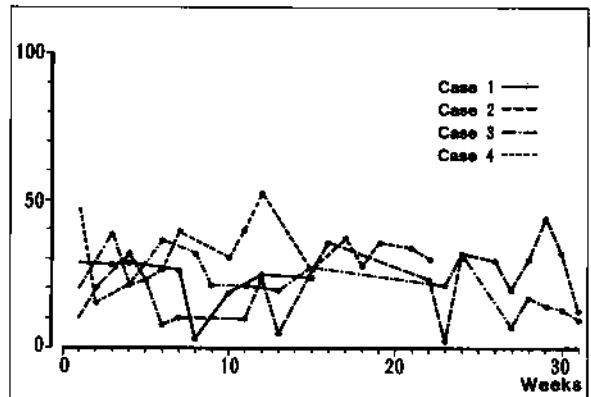


図 5. Fatigue(Left)

表 5. Torque(kg・m)

	Right	Left
Case 1	3.51	4.57
Case 2	1.6	2.93
Case 3	1.05	1.20
Case 4	1.13	1.37
Control	10.0	10.5

5) 疲労. 膝伸展トルクを 30 秒間連続して測定し、刺激開始後 3~5 秒の平均トルクに対する、30 秒後のトルクの減少度を比率でみた。疲労度は、平均で 20~30%であったが、個人差がみられた(図 5)。

考 察

ていた(図 3)。コントロールでも 0.06 sec 程度で差がなくなっていた(表 4)。

4) 閾値. 筋収縮が生ずる最低のパルス幅をみた。刺激開始時から 4 週の平均は 120~130 μ sec であったが、最終測定時までの 4 週間では 70~80 μ sec と低下し(図 4)、コントロールの平均 50 μ sec とほぼ近接していた。

筋の疲労を防ぐには周波数が低く、筋力を制御するには周波数が高い方が良いことが知られている。一般に電気刺激では、周波数 20~30 Hz の使用の報告が多い⁴⁾⁵⁾。そこで今回 25 Hz の設定で刺激した。その結果、刺激開始 4 週間と最終測定時までの 4 週間の平均でトルクの推移をみると、全例増加していたが、コントロールの平均 10 kg・m に比べ

表 6. Effects of electrical stimulation

		Torque (times)	Response time(sec)	Dead time (sec)	Fatigue (%)	Threshold (μ sec)
Case 1	R	4.62	+0.94	-0.04	+ 2.91	-60
	L	5.78	+0.62	-0.01	- 4.14	-33.33
Case 2	R	3.72	-0.14	-0.05	+ 1.41	-90
	L	13.3	+0.27	-0.03	+ 9.32	-20
Case 3	R	2.63	+2.52	-0.06	- 6.58	-40
	L	1.66	-1.25	-0.01	-14.60	-50
Case 4	R	3.05	-0.63	-0.03	- 2.88	-40
	L	6.85	-0.84	-0.02	+ 6.77	-65

ると10~45%程度で殆どが10%台であった(表5)¹⁾。最大トルクを示したのは、症例1の頸損例で受傷より刺激開始までの期間が22週間、刺激期間が15週と最短であったが、右は3.5 kg・m、左は4.57 kg・mと比較的十分なトルクを獲得していたが、他の症例は不十分であった。最終測定時まで4週間の平均と、刺激開始4週間の平均とを、上述の各項目で比率・差で対比してみると、症例3はトルクの増加は最も低いが、疲労度は一番少ない(表6)。このようにトルクの獲得、疲労度に個人差があり、反応遅延が正常であることを考えると、神経筋接合部以遠、すなわち筋肉の場での反応の相違、言い換えると筋の特異性(速筋・遅筋²⁾など)と電気刺激との関係が示唆され今後の課題と考えている。

まとめ

- 1) 対麻痺群の膝伸展トルクは、コントロールの10~45%であった。
- 2) 反応時間は、刺激開始時と比較して変化なく、やや遅延していた。
- 3) 反応遅延は、減少しコントロールと同

等となった。

4) 閾値は、減少化傾向がありコントロールに近接した。

5) 疲労は、20~30%で個人差が大であった。

6) 刺激効果には、筋の特異性の関与が示唆された。

参考文献

- 1) Bajd, T., et al : Use of functional electrical stimulation in the rehabilitation of patients with incomplete spinal cord injuries., *J. Biomed. Eng.*, 11 : 96~102, 1989.
- 2) 藤田欣也ほか：単独使用と外部制御が可能な表面電極用 FES 装置. *医用電子と生体工学*, 28 : 110, 1990.
- 3) 細田多穂, 柳澤 健 : 理学療法ハンドブック, 2, 協同医書出版社, 1~28, 1986.
- 4) Stefanovska, A., Vodovnik, L. : Change in muscle force following electrical stimulation., *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine.*, 17 : 141~146, 1985.
- 5) 八木 了ほか：機能的電気刺激 (FES) による四肢麻痺上肢の機能再建, *整・災外*, 30 : 1359~1366, 1987.