



Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

リハビリテーション医学 (1983.01) 20巻1号:31～36.

長時間電気刺激療法による大腿四頭筋筋力増強の試み

小野沢敏弘, 原田吉雄, 佐藤邦忠

## ＜研究と報告＞

## 長時間電気刺激療法による大腿四頭筋筋力増強の試み

小野沢 敏弘\* 原田 吉雄 佐藤 邦忠

著者 小野沢敏弘・原田 吉雄・佐藤 邦忠

題名 長時間電気刺激療法による大腿四頭筋筋力増強の試み

リハビリテーション意欲が乏しく筋力増強効果の期待し難い高齢者膝関節疾患例を対象に長時間電気刺激療法を行い大腿四頭筋の筋力増強効果をみた。

内外側両広筋にそれぞれ陰陽極の表面電極を固定し 120  $\mu$ sec, 30 Hz の漸増して一定値に至る矩形波の集合からなる刺激波形にて間歇的に tetanic contraction を起こさしめた。膝関節疾患 4 例・脊損 3 例の合計 7 例に 1 日 2 時間から夜間を含めた 12 時間の治療を平均 77.6 日間行った。

バネ秤りによる最大膝伸展力、この時の内外側両広筋の Total Amplitude/sec および筋肥大等の理学所見で経過を追ひ反対側と比較検討した結果、全例に有効と判定される結果が得られた。

キイ・ワード 大腿四頭筋、電気刺激、変形性膝関節症

リハ医学 20:31-36, 1983

## I. 緒 言

膝関節の stabilizer および shock absorber として大腿四頭筋の重要性は常に強調されているがリハビリテーション意欲の乏しい高齢者の膝関節疾患、ことに変形性膝関節症例では目的とする筋力増強を得られないことが多い。当科ではこれらの患者の大腿四頭筋筋力の増強を目的として長時間電気刺激療法を試みており、良好な成績を得ているのでその方法と成績を報告する。

本治療に際しては治療効果の判定、すなわち通常の自動運動と異なる電気刺激による運動で実際に筋力増強効果が認められるかどうかがまず問題になる。今回は主にこの点を検討した。

判定方法として、バネ秤りによる最大膝伸展力およびこの時の内外側両広筋の活動電位の Total Amplitude/sec<sup>1)</sup> で経過を追ひ筋肥大等の理学所見を加えて検討した。

1981年12月14日受理

\* 旭川医科大学整形外科

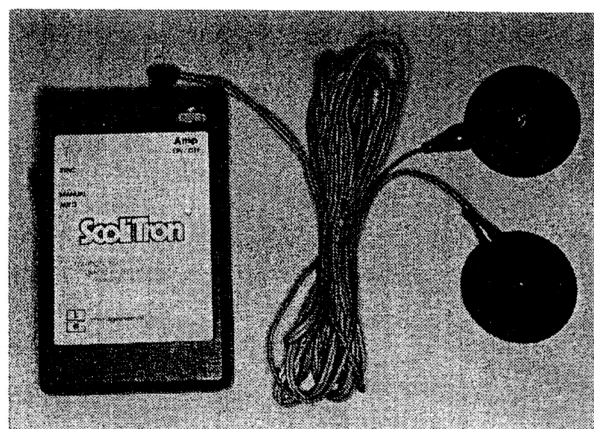


図 1 Scolitron の大きさは 13×8×3 cm でバッテリーを内蔵する。Isomod も同様の形態を示す。

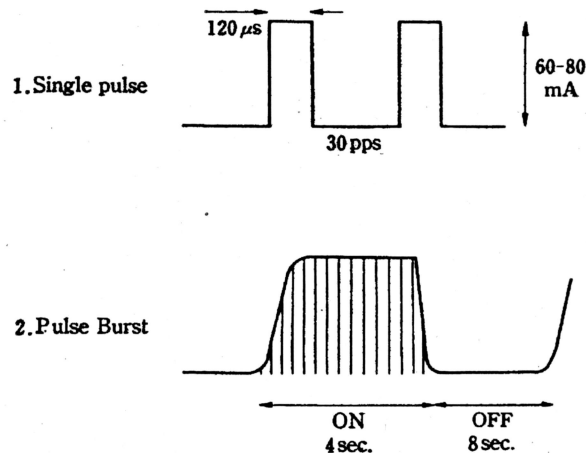


図 2 Scolitron による刺激波形

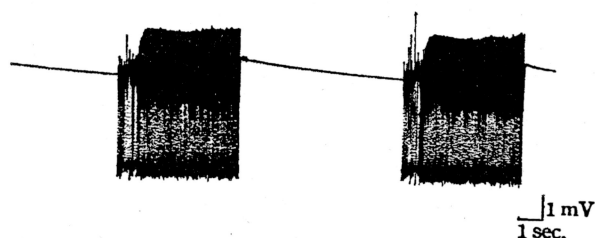


図 3 電気刺激に対応する EMG (外側広筋、表面電極)

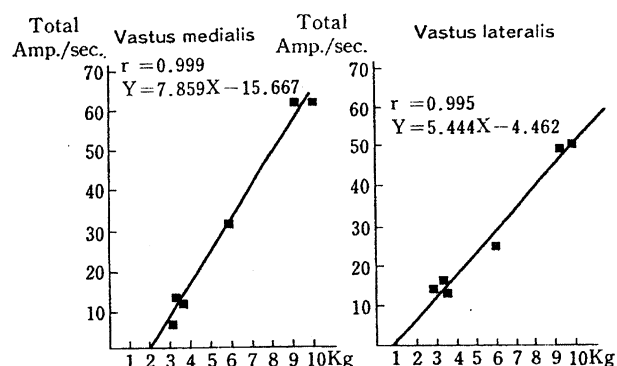


図4 最大膝伸展力と Total Amp./sec の相関  
(57歳 ♀ 両膝 O.A.)

## II. 対 象

反対側または治療期間に対して非治療期間をコントロールとして治療効果を検討できたのは男3例、女4例の計7例。年齢は14歳から69歳、平均52.5歳で疾患別内訳は膝関節疾患4例（変形性膝関節症3例、慢性関節リウマチ1例）、および脊髄損傷3例である。脊髄損傷は本来の適応と考えていないが反対側をコントロールにして治療効果の判定のために行った。

## III. 方 法

主に Med General 社製の Scolitron を使用した（図1）。Medtronic 社製の Isomod を使用したのは慢性関節リウマチの1例である。いずれも漸増して一定値に至る矩形波の集合よりなり（図2）、経皮的、間歇的に tetanic contraction を起こすものである（図3）。刺激波

形の各要素は Scolitron では調節可能であるが今回は一定値に統一して用いた。Isomod では電流の強さ以外の要素は固定された一定値となっている。on time と off time は Scolitron でそれぞれ4秒、8秒、Isomod で5秒、25秒。矩形波の波長と周波数は Scolitron で 120  $\mu$ sec 30 Hz、Isomod で 425  $\mu$ sec 50 Hz となっている。電流の強さは Scolitron で 30~80 mA、Isomod では 50 mA 以下の範囲で慣れるに従い漸増した。

電極は陰極を内側広筋の distal oblique head の筋腹に、陽極はこれよりやや近位の外側広筋の筋腹にテープで固定した。

治療時間は昼間のみ2~3時間で行ったもの2例、他の5例は夜の睡眠時間を含めて1日11~12時間行った。

治療期間は29日から121日、平均77.6日であった。

効果判定の筋力測定は診察台に被検者を股関節伸展0度、膝関節屈曲90度で仰臥位に寝かせ足関節に連結したペネ秤りで最大膝伸展力を測定した。同時に内外側両広筋の電気刺激部位における活動電位を電極間距離4cmの表面電極で導出記録し、メデレック筋電計の活動電位分析モジュールAPA6で1秒間の Total Amplitude として求めた。

Total Amplitude/sec は最大膝伸展力と高い相関を示しており（図4）、治療効果の判定をより厳密に行い、また内外側両広筋の治療効果の差を検討するために用いた。

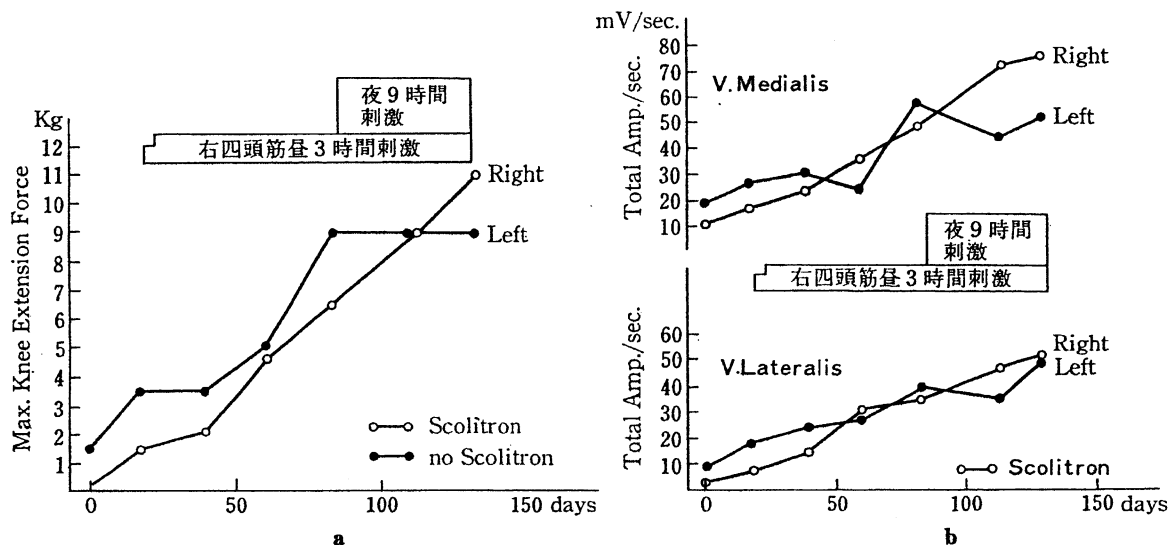


図5 69歳 ♂ 胸部脊髄症。右大腿四頭筋に筋肥大を認めた。

a 電気刺激による最大膝伸展力の推移

b 最大膝伸展時の Total Amp. sec.

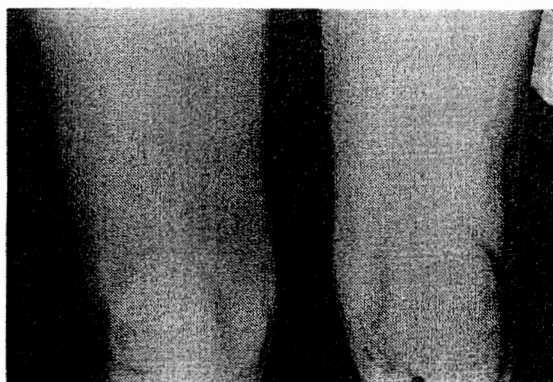


図6 右大腿四頭筋に筋肥大を認める。

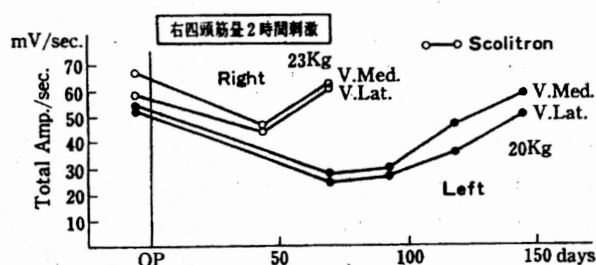


図8 最大膝伸展時の Total Amp./sec. 60歳♀  
両膝 O.A. 両側高位脛骨骨切り術後

#### IV. 結果

治療7症例の経過を示す。

症例1 69歳男性。前立腺癌の脊髄転移による対麻痺例で筋力低下のより著明な右大腿四頭筋に、治療開始前2回筋力を測定し逆転傾向のない事を確認したうえで電気刺激を行った。治療開始は麻痺出現後75日目、除圧のための椎弓切除術(Th10)施行後70日目、この時の神経学的所見ではTh11以下の知覚鈍麻～脱失、両側のP.T.R., A.T.R.は亢進し、両側のバビンスキー反射陽性で、大腿四頭筋筋力は徒手筋力テストで右3、左3+であった。

最大膝伸展力の推移をみると刺激側では治療開始後一定の筋力増強傾向を示し、非刺激側がプラトーに達した後これを逆転した(図5a)。これを Total Amplitude/secの推移でみると、外側広筋の増強に比べて内側広筋の増強が著明に認められた(図5b)。また刺激側の大腿四頭筋には治療後明らかな筋の肥大を認めた(図6)。

症例2 60歳女性。両変形性膝関節症で、両膝に脛骨高位骨切り術を行い、術前に最大膝伸展力の小さかった左大腿四頭筋に術後電気刺激を行った。その結果 Scolitronによる治療側は術後約70日目には術前の筋力に回復しその後も増強しているのに対し、反対側では術後110

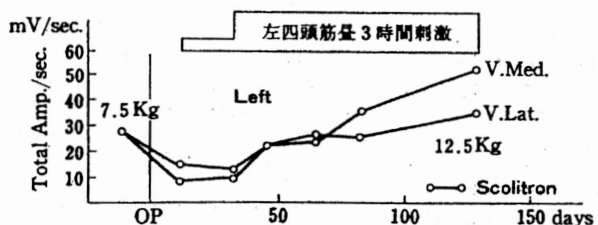


図7 最大膝伸展時の Total Amp./sec. 60歳♀  
両膝 O.A. 両側高位脛骨骨切り術後

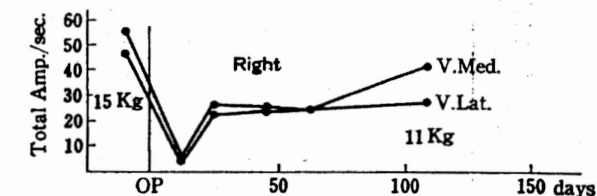


図9 最大膝伸展時の Total Amp./sec. 64歳♀  
両膝 O.A. 右高位脛骨骨切り術後

日を経過して尚術前の筋力に回復していない(図7)。

症例3 60歳女性。両変形性膝関節症。両膝に脛骨高位骨切り術を行い、右膝の術後にのみ昼2時間の電気刺激を行った。同様に電気刺激を加えた右側では術後の筋力低下が少なく、かつ回復も早かった(図8)。

症例4 64歳女性。右変形性膝関節症で脛骨高位骨切り術後一定期間電気刺激を加え、その後中止して経過をみた。それによると刺激中止直後まで一定の筋力増強傾向が認められ、中止後筋力の増強は停滞した(図9)。

症例5 69歳女性。慢性関節リウマチで両膝人工関節置換術の術前に電気刺激療法を行った。Isomodによる治療側で筋力漸増傾向がみられ有効と判断した(図10)。

症例6 14歳男性。交通事故による第11胸椎のChance's fractureに伴う脊髄損傷例で受傷後3日目に入院。保存的に治療し受傷後2週より左大腿四頭筋に1日11時間の電気刺激を加えた。この時の神経学的所見ではL1レベル以下の知覚鈍麻、両側のP.T.R., A.T.R.の亢進、両側バビンスキー反射陽性で、両下肢の筋力は徒手筋力テストの結果2以下、大腿四頭筋は右1に対し左0であった。

刺激開始後3週で Quadriceps setting時にすでに明らかな差をつけて逆転し、その後も持続した(図11)。約

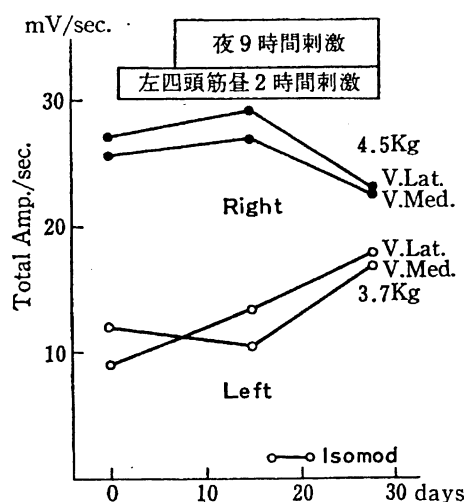


図 10 最大膝展時の Total Amp./sec.  
69歳 ♀ 両膝 R.A.

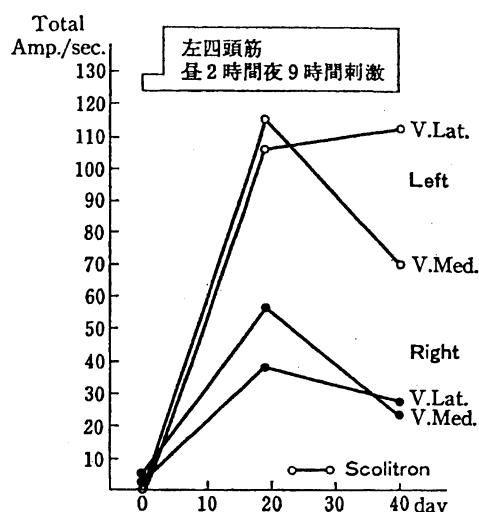


図 11 Quadriceps setting 時の Total Amp./sec.

電気刺激を加えた。

Quadriceps setting 時の Total Amplitude/sec の経過をみると非刺激側が低迷またはやや減少傾向なのに対し刺激側では改善傾向がみられ有効と判断した (図 12)。左大腿四頭筋には明らかな筋肥大をみた。

## V. 考 察

外傷等の明らかな原因のない一次性変形性膝関節症は40歳以上の女性に多く発症する。原因は加齢現象を基礎に何らかの機械的ストレスが加わるものと考えられ、今後の高齢化社会において一層重要性を増すと予想される。発症のきっかけは中年以降の体重の増加であることが多く、中には農業を家の者にゆずって引退した後の筋力低下と考えられる場合もみられる。すなわち膝支持力の絶対的あるいは相対的な低下が変形性膝関節症の発症または進行に関与していると考えられる。実際に最大膝伸展力をパネ秤にて測定してみると変形性膝関節症例では20kg以下に集中してみられた<sup>10)</sup>。したがって膝周囲筋ことに大腿四頭筋の筋力増強訓練は肥満の防止または減量とならんで変形性膝関節症の保存的治療の基本となる。しかし高齢者の多い本疾患では自らの訓練による治療方法は、リハビリテーション意欲、運動能力の低下のため、ことに外来通院治療として行うことは実際上極めて困難である。

Scolitron または Isomod による長時間電気刺激療法は最終的には外来治療ベースで意欲の乏しい高齢者変形性膝関節症例における大腿四頭筋筋力増強を目的として始めた。我々が主に用いた Scolitron は Lancho los Amigos Hospital で側彎症の治療を目的に開発された装置を基にしたもので、その刺激パターンは前述のごとく漸増

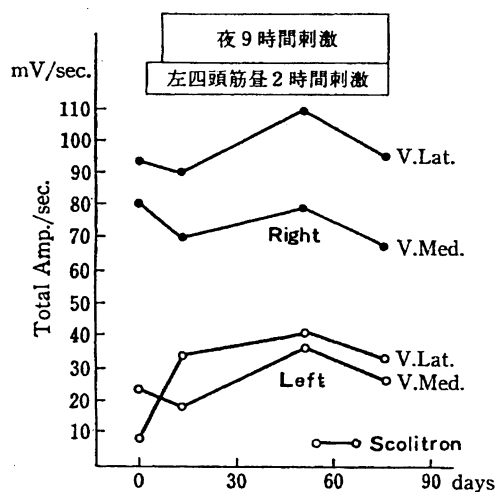


図 12 Quadriceps setting 時の Total Amp./sec.  
43歳 ♂ 頸髄損傷

4週後には刺激側の大腿四頭筋に肥大を認め約6週後の計測で大腿周径に0.8cmの差を認めた。

症例7 43歳男性。第3頸椎の前方脱臼に伴う頸髄不全損傷例。船上作業中ロープに首をまきつけられて受傷し翌日当科へ入院した。ハロー牽引を行い入院2日目で脱臼は整復された。入院時の神経学的検査で僧帽筋は効いていたがC5以下の運動は消失し同レベル以下の知覚も鈍麻～脱失していた。受傷後25日目より頸椎牽引の状態のまま1日11時間の電気刺激を始めた。この時点で、知覚障害はTh5以下に軽減しており、両側のP.T.R., A.T.R.は亢進し両側のバビンスキー反射陽性であった。両上肢の腱反射も亢進しホフマン反射陽性であった。右膝関節の屈伸は可能であったが左膝の屈曲は不完全で、運動の乏しい左大腿四頭筋に1日11時間の

表 電気刺激の結果

case No.	age	sex	diagnosis	length of treatment	spring scale	Total Amp./sec.	hypertrophy
1	69	m	paraplegia	116 days	↗	↗	+
2	60	f	knee O.A.	121	↗	↗	-
3	60	f	knee O.A.	75	↗	↗	-
4	64	f	knee O.A.	87	↗	↗	-
5	69	f	R.A.	29	↗	↗	+
6	14	m	paraplegia	40		↗	+
7	43	m	tetraplegia	77		↗	+

f; female, m; male, O.A.; osteoarthritis, ↗; significant increase, +; moderate hypertrophy, +; slight hypertrophy, -; no visible hypertrophy.

して一定値に至る矩形波の集合によりなるが波形の各要素は調節可能である。電極は大きな大腿四頭筋の筋腹にテープで固定するだけであり、看護婦あるいは患者自身により容易にできる。電気刺激による不快感は意外に少なくまた早期に慣れ夜間使用例でも睡眠を妨げることはなかった。副作用としては電極部位に皮疹を生じ少しずつ電極を移動する必要がある場合があった。

適応は意欲の乏しい変形性膝関節症例であるが、膝関節の術後は若年者でも十分な筋力訓練ができないため、この時期の他動的な訓練として意義がある。この他関節可動域維持、拘縮除去の目的でも用いられている<sup>1)</sup>。皮下脂肪の厚い例では筋刺激効果が減弱して不適当といわれるが、当科の肥満を伴う変形性膝関節症例では効果が認められ、特別高度の肥満でない限り問題ないといえる。

筋力増強訓練としては De Lorme<sup>2)</sup> の漸増抵抗運動、Rose ら<sup>3)</sup> の短時間最大運動、Hettinger ら<sup>4)</sup> の短時間等尺運動等が発表されているがいずれも自動運動である点で共通しており、これらに対して電気刺激による運動で筋力増強効果があるかどうかは議論のあるところである。本調査はこの点の解明を主な目的としており、その客観的評価のためパネ秤りによる最大膝伸展力とこの時の内外側両広筋の活動電位 (Total Amplitude/sec) を経時的に測定し、反対側または一定の治療期間に引き続く非治療期間をコントロールとして比較検討したところ、調査全症例で電気刺激側の筋力増強または回復が優れており本治療による筋力増強効果が証明された(表1)。筋の肥大は肥満を伴う変形性膝関節症例では目立たなかったが、その他の症例では外見上明らかに認められた。なお電気刺激開始後測定値は必ずしも一定の増強を示さないが、これはその時の体調、心理状態、膝関節痛の程度等の影響を受けるため治療期間全体の推移の中では有効と判断される。電極の違いによる内外側両広筋の筋力増強効果の差については、反対側と治療効果を比較した6

例について治療期間中の筋力増強効果の左右差を内外側両広筋について Total Amplitude/sec で求め比較検討したが有意の差は認められなかった。

次に筋力増強の機序を考えると、まず電気刺激による除痛効果でリハビリテーションが容易になる可能性が考えられる。Steadman<sup>5)</sup> は膝靭帯手術後の電気刺激で鎮痛剤の使用量が減少したと述べている。しかし当科の症例は必ずしも膝関節痛を訴えておらず、しかも治療後肉眼的に明らかな筋の肥大をみて活動電位も増大することから、筋への直接的効果をも考えるべきであろう。Goldberg ら<sup>6)</sup> は電気刺激で筋肉へのアミノ酸取り込みが促進され蛋白質の変性が抑制されると報告しており、Pette ら<sup>7)</sup> は red fiber が増加して持久力が増すと述べている。Peckham ら<sup>8)</sup> は四肢麻痺患者の前腕屈筋の電気刺激で筋力増強効果をみており、Eriksson ら<sup>9)</sup> は前十字靭帯再建術後の電気刺激で筋萎縮を防止し得ると報告している。

今後の問題として刺激方法と治療時間の問題について検討した。刺激方法は間歇的に tetanic contraction を起こすという共通性はある中でも報告者により刺激波形の差が認められる。我々の用いた Scolitron と Isomod の両機種種の比較では一般に Scolitron が優れていた。すなわち Scolitron は疼痛がなく筋収縮効果が強いのに対し、Isomod では疼痛のみで筋収縮のみられない例がみられた。刺激波形の比較より pulse width が狭く amplitude の高い波形が好ましいと考えられる。また刺激電極はより大きくて筋の広い面積で刺激した方が強い筋収縮効果が得られると思われる。一日の治療時間に関してはより短時間で電気刺激に合わせて自動運動を加えより効果的に行う方法、あるいはリハビリテーション意欲の低下の著しい場合は夜間寝ている間のみ行う方法等が考えられる。さらに装置が軽量、簡便であり電極の固定も容易であることから入院治療だけでなく外来治療の一部として

自宅で用いることも可能であろう。

おわりにご指導、ご校閲いただいた竹光義治教授に深謝いたします。

(本論文の要旨は、第18回日本リハビリテーション医学学会総会において発表した。)

## 文 献

- 1) Benton LA, Baker L, Bowman BR, Waters RL: Functional Electrical Stimulation—A Practical Clinical Guide. Rancho Los Amigos Rehabilitation Engineering Center, California, 1980.
- 2) De Lorme TL et al: Technics of progressive resistance exercise. Arch Phys Med Rehabil 29: 263-273, 1948.
- 3) Eriksson E, Häggmark T: Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery, A preliminary report. Am J Sports Med 7: 169-171, 1979.
- 4) Goldberg AL, Etlinger JD, Goldspink DF, Jablecki C: Mechanism of work induced hypertrophy of skeletal muscle. Med Sci Sports 7: 185-198, 1975.
- 5) Hettinger T et al: Muskelleitung und Muskel training. Arbeitsphysiologie 15: 111-126, 1953.
- 6) Peckham PH, Mortimer JT, Morsolais EB: Alteration in the force and fatigability of skeletal muscle in quadriplegic humans following exercise induced by chronic electrical stimulation. Clin Orthop 114: 326-334, 1976.
- 7) Pette D, Ramirez BU, Müller W, Simon Reinhard et al: Influence of intermittent long-term stimulation on contractile, histochemical and metabolic properties of fiber populations in fast and slow rabbit muscles. Pflügers Arch 361: 1-7, 1975.
- 8) Rose et al: Effect of brief maximal exercise on the quadriceps femoris. Arch Phys Med Rehabil 38: 157-164, 1975.
- 9) Steadman JR: Rehabilitation after knee ligament surgery. Am J of Sports Medicine 8: 294-296, 1980.
- 10) 小野沢弘, 佐藤邦忠: バネ秤による大腿四頭筋筋力の測定——一次性膝関節症の成因に関連して. 北整災誌 22: 90-93, 1977.
- 11) 小野沢敏弘, 佐藤邦忠: 一腿四頭筋筋力の筋電図学的検討——内外側両広筋の合力ベクトルの測定と分析. 北整災誌 24: 55-58, 1979.

## QUADRICEPS MUSCLE STRENGTHENING BY ELECTRIC STIMULATION

by

Toshihiro ONOZAWA, Yoshio HARADA, Kunitada SATO

from

Dept. of Orthopedic Surgery, Asahikawa Medical College

Percutaneous electric stimulation was done on four cases of bilateral knee joint diseases and three cases of paraplegia.

Electrodes were placed over vastus lateralis and vastus medialis. Intermittent tetanic contraction was produced by burst pulse of 120 microsec., 30 Hz square wave. Stimulation was done for two to twelve hours per day for the mean duration of seventy eight days. Muscle power was checked by maximum knee extension force, E.M.G. (Total Amplitude/sec.), and clinical findings. Results were compared with those of the opposite side.

Improvement of muscle power was always higher on electrically stimulated side.