

顔面神経麻痺に対する神経血管柄付遊離筋肉移植の筋電図学的検討

上田和毅



①

顔面神経麻痺に対する神経血管柄付遊離筋肉移植の筋電図学的検討

上田和毅

＜はじめに＞

遊離筋肉移植の歴史は比較的早く、19世紀後半よりすでに試みられている[64,67]。しかし、いずれの場合も単純な移植であったためか筋肉の生着は不良で、臨床的な成果を見るに至らなかった。1960年代に入り、筋肉を小片に分けて移植したり[55]、あらかじめ脱神経しておいた状態で移植すること[58]によって生着が可能であるとする報告がなされ、遊離筋肉移植は改めて本格的な研究段階に入った。その後、相次いで同様の実験的な筋肉移植の成功が発表されたが[2,11,12,18,39]、どれも小容量の筋体の移植であり、しかも生着を見た移植筋内には強い脂肪変性や線維化が認められた。これに対して、玉井ら[57]は犬において、顕微鏡下に神経血管吻合を行い、血行を温存したまま大腿直筋を遊離移植する実験を試み、非常に良好な成績をおさめた。その後、この神経血管柄付遊離筋肉移植法は、波利井ら[19]が顔面神経麻痺の治療として薄筋を移植することに成功したのを初めとして、Volkmann拘縮、腕神経叢麻痺など臨床分野における各種の治療に積極的に用いられるようになっており[26,36]、今後さらに適応は拡大されてゆくものと期待される。

このような臨床例における移植後の筋肉の客観的評価方法の一つとして、筋電図学的検査が通常用いられている。しかし、多くの報告は随意収縮時電位あるいは誘発電位の単なる確認にとどまっており、多数の臨床例を用いて移植筋の生理学的変化の詳細について定性的・定量的な筋電図学的検討を加えた報告は見られない。

顔面神経麻痺の治療として筋肉を移植する場合、詳しく述べれば術式は、移植筋の motor nerve として利用する移植床側の神経の種類によって三つに分けられる。すなわち、患側の顔面神経を用いる場合、舌下神経など他の脳神経を用いる場合、顔面交叉神経を用いる場合である。しかし、患側の顔面神経を利用できるのは、神経原性変化の少ない不全麻痺や腫瘍などで表情筋が顔面神経とともに切除された症例のようなごく限られた場合である。また、舌下神経などを利用する方法は機能障害を残す懸念から積極的には用いられない。したがって、実際に臨床の場で行なわれているのは、最後に述べた顔面交叉神経を利用する方法がほとんどである。本論文ではこの最も汎用されている方法を対象として検討を行なった。この方法は筋肉移植に先立って顔面交叉神経移植を行なっておく二期的な手術方法であり、そのため、神経移植と筋肉移植という別個の要素が結果に影響を与えるので、その結果に関しては、症例ごとのばらつきがかなり予想される。しかし、多数例を検討することによって、このばらつきの中から移植筋の回復過程における電気生理学的な傾向を見つけたことは可能であり、また必要なことであろうと考える。本論文では、この術式の最終効果器官である移植筋に対し、術後経時的に詳細な筋電図学的検査を行った結果を検討し、移植筋の電気生理学的動態について論ずる。

<対象>

検査の対象となったのは、顔面神経麻痺に対し、顔面交叉神経移植 (cross-face nerve graft) と神経血管柄付遊離筋肉移植による二期的再建が行われた症例である。第一期手術は腓腹神経を用いて、上口唇あるいは頤下部の皮下を通り、健側頬部から患側頬部へと交叉する神経移植を行う。健側においては顔面神経の頬枝あるいは頬骨枝の一部と移植神経の末梢端とを顕微鏡下に縫合し (reversed nerve graft)、患側においては移植神経の中枢端をそのまま耳前部の皮下に埋没固定しておく。この後、約1年ほどして患側の神経断端までTinel 徴候が伸びてきたことを確認して、第二期手術として筋肉移植を行う。移植筋としては薄筋を用い、これを患側の頬部皮下に移植する。頭側は頬骨弓の骨膜に固定し、尾側は鼻唇溝部の皮下に固定する。顔面動静脈あるいは浅側頭動静脈と薄筋の栄養血管とを顕微鏡下に吻合し、移植筋の血行再建を行う。操作に伴う移植筋の阻血時間は1時間から1時間半である。移植筋の運動神経は第一期手術で移植された腓腹神経の断端と縫合される (Fig. 1)。

筋電図学的検査を施行した症例数は94例 (男44例、女50例) である。麻痺はすべて片側麻痺で、麻痺の程度は完全麻痺が59例、不全麻痺が35例であった。年齢は6歳から68歳まで広く分布し、平均では37歳であった。麻痺の原因としては聴神経腫瘍を主体とした脳腫瘍術後の麻痺と陳旧性ベル麻痺が多く、次いで中耳炎手術後の麻痺、顔面・頸部の腫瘍切除後の麻痺、先天性麻痺などの順であった (Table 1)。先天性麻痺とされた8例のうち、他の症状を伴っていたのは1例 (外眼筋麻痺) のみであった。

最後の検査を行った時点での術後経過期間は最長6年で、平均は2年2カ月であった。

<方法>

I. 筋電図検査

筋電計としてMedelec 社製のMS 6型を用いた。フィルター設定はlow cut が16Hz、high cutが16KHzとした。

1. 針筋電図

針電極を移植筋に刺入し、安静時・随意収縮時・誘発時の筋電図を記録した。針電極としては、直径0.2mmの同心型針電極を用いた。誘発筋電図のための電気刺激 (持続時間2msec, 矩形波) は双極型刺激電極を用いて乳様突起部の顔面神経幹での閾値上刺激によって行なった。記録にあたっては5, 6回針先の位置を変えて刺入し、最大の電気活動の得られた部位を選択した。

移植筋のほか健側の大頰骨筋にも同心型針電極を刺入し、随意収縮時・誘発時の記録を行ない、術前後での変化を調べた。

個々の波形のパラメーターは以下に示すように定義し、測定した。

(振幅 amplitude) : 陽性波と陰性波の電位差の最大値

(持続時間 duration) : 誘発電位の第1相の開始時から最終相の終了時までの時間。

(潜時 distal latency) : 誘発電位において刺激から第1相の開始時までの時間。

(閾値比 threshold ratio) 経皮的に健側の乳様突起部で顔面神経幹を刺激し閾値を測定する方法は、皮下脂肪の厚さや手術による瘢痕の状態によって影響を受けるため、症例によるばらつきが大きい。そのため、同時に健側大頰骨筋においても耳垂下部顔面神経刺激による閾値を測定し、この測定値で移植筋誘発電位の閾値を除いた値を閾値比として用いた。通常、1~3の値をとる。

(棘波数 number of spikes) 誘発電位波形のなかで、振幅 $20\mu\text{V}$ 以上、持続時間 5 msec 以下の活動電位を数えて棘波数とした。正常の大頰骨筋では4以下が多く、5以上となる頻度は4分の1程度であった。

2. 表面筋電図

移植筋直上の皮膚に直径 5 mm の円盤型表面電極を 2 cm はなして置き、被験者に約 50 秒間の努力性収縮を行なわせ、得られた波形に対しシグナルプロセッサ（日本電気三栄社製FT307）にてパワースペクトル分析を行なった。（Fig.2, Fig.3）。

横軸を周波数、縦軸をパワー値としたグラフを描いてその波形を検討すると共に、周波数ごとのパワー値を積分加算して得られた値を、トータルパワー値として症例ごとの比較検討に用いた。測定にあたっては、サンプリングクロックを 1 msec 、ポイント数を 1024 個取り込むのを1回加算とし、これを 50 回加算した。パワー値は絶対値ではなく、筋電計の感度設定によって異なる値をとる。感度は、振幅 0.4 mV の正弦波（ 10 Hz ）を取り込んだ時、 50 回加算でトータルパワー値が約 1000 となるように設定した。

トータルパワー値は筋肉の収縮力とよく相関する。Fig.4 は、上腕前面に表面電極を貼付し、等張性収縮を行なわせながらトータルパワー値を測定した結果である。直線的ではないが、両者の間に密接な関連が見られている。

3. 単一筋線維筋電図

一部の症例に対して、移植筋にシングルファイバー針（ST25, Medelec社製）を刺入し、ジッター値（mean consecutive difference）、筋線維密度（fiber density）を測定した。

ジッターとは、同一神経支配を受ける二つの単一筋線維における随意収縮時電位の伝導時間の変動を表すものであり、同一神経支配を受ける随意収縮時電位の51個のペアー

について、その変動値の平均 (mean consecutive difference) をジッター値として求めた。

筋線維密度とは、直径 25μ の単一筋線維用針電極のまわりの半径約 300μ の範囲内で活動している同一神経支配下の筋線維数の平均値を意味する。筋肉によって異なるが、正常では $1.0\sim 1.5$ の値を取る。測定は任意の5カ所において単一筋線維電位を記録し、測定値はその平均値をとった。

4. 顔面交叉神経伝導速度の測定

移植筋に同心型針電極を刺入し、顔面交叉神経の走行に沿って時間的に前後して二ヶ所で電気刺激を加え、同一の誘発波形が得られるのを確認してから、刺激電極間の距離を誘発波形の潜時の差で除して、顔面交叉神経の伝導速度を求めた。

5. 筋電図所見の分類

移植筋の全体的な活動状態を反映する筋電図所見としては随意収縮時の筋電図所見を用いた。随意収縮時電位の密度を1+から4+までの4段階に分けた。4+は正常の筋電図波形に等しいもので、密なinterference patternを示すため基線が全く判別できないもの、3+はところどころ基線を確認できるが、活動電位の部分の方が多いもの、2+は全体として活動電位を示す部分より基線部の方が多いもの、1+はさらに基線部の割合が多くなり、活動電位を示す部分が全体の $1/4$ 以下のもの、とした。2+以下をPOOR、3+をFAIR、4+をGOODとし、さらに4+のなかでパワースペクトル分析で高値($>20'000$)を示す症例をEXCELLENTと分類した(Fig.5)。

II. 移植筋の組織学的検査

症例によっては、移植後の筋肉の付着位置や容量の調整のため小修正術が行なわれるが、その際移植筋の一部を採取することが可能である。このとき、得られた標本にはH.E.染色、酵素染色(ATPase, NADH-TR)を施し光学顕微鏡にて観察し、筋電図所見との相関の有無を検討した。筋線維直径は画像解析装置(Kontron MOP-AM 03, NIKON COSMOZONE S)を用い、顕微鏡による拡大視野下に10ヶ所、計約200個の筋線維の直径を測定して求めた。

<結果>

I. 筋電図所見

1. 健側の大頬骨筋筋電図所見 (Table 2)

術後の大頬骨筋の筋電図所見を術前と比較した場合、誘発電位の潜時・振幅・持続時

間に関しては術後の時期に関わらず有意の変化は認められなかったが、随意収縮時の interference pattern、最大振幅および誘発電位の棘波数については、術後明らかに減少する傾向が見られた。しかし、術後2年以上経過するとほぼ術前の状態に回復した。

2. 移植筋の筋電図所見

1) 安静時筋電図

移植筋においては術後7日～10日目ごろから、陽性の波ではじまる二相性の、fibrillation potentialと思われる電位（振幅0.1～0.3mV, 持続時間1～3msec）が出現し始めた（Fig.6）。それより、やや遅れて鋭い陽性の波と緩徐な波とからなるいわゆるpositive sharp wave（Fig.7）が出現し、両者は混在して術後1～2カ月において最も顕著に見られた。術後日数が経つほどpositive sharp waveの比率が増してゆく傾向があった。また、fasciculationを認めた症例が8例あったが、全例とも移植筋に収縮が得られた以降に記録されたものであった（Fig.8）。Fasciculationが生じた症例の筋電図評価はEXCELLENT 3例、GOOD 5例で、良好な結果を示す症例が多くを占めた（Table 3）。

神経再支配が進行するとともに安静時電位は認められなくなり、移植後約10カ月でほぼ消失した（Fig.9）。安静時電位が認められなくなる時期と移植筋にはじめて随意収縮時電位を認める時期との関係は症例によって異なる。すなわち、安静時電位が完全に見られなくなってから随意収縮時電位が得られた症例と、安静時電位がなお見られる時期にすでに随意収縮時電位が見られはじめた症例とがある。仮りに安静時電位も随意収縮時電位もともに見られない時期をsilent periodと名付けると、silentな時期がある症例とない症例とに分けられることになる。移植後、頻回に安静時電位が記録された症例（n=29）について、このsilent periodと術後1年以上を経た時点でのinterference pattern（干渉波形）との相関を調べると、silent periodがなかった症例、すなわち安静時電位と随意収縮時電位が並存した症例において良好なinterference patternの得られる傾向が見られた（Table 4）。同様に移植後1カ月の時点での脱神経電位の頻度と術後1年以上を経た時点でのinterference patternとの相関の検討では（n=54）、脱神経電位が旺盛に見られた方が良好なinterference patternの得られる傾向にあった（Table 5）。しかし、いずれも統計学的には有意ではない（前者で $0.2 < p < 0.3$ 、後者で $p < 0.1$, χ^2 乗検定）。

2) 随意収縮時筋電図

最大努力の随意収縮を行なわせた時の活動電位で、基線の確認ができないような正常波形（interference pattern 4+）を示す症例の比率を経時的に追って見ると、術後1年で約20%、術後2年で約70%に達する。しかし、術後3年を経てもそのレベルに達

しない症例が全体の約20%に見られた (Fig.10)。

随意収縮時電位の最大振幅は、出現直後に低値を示しその後次第に増加するが、増加の度合いは症例により非常に様々であり、出現後間もない頃から2mVを越えるものが見られる一方、術後2年を経ても0.5mV以下に留まる症例も見られた (Fig.11)。

波形としては高い振幅の電位や多相性電位などの neurogenic pattern を示す波形が時々見られた。術後1年以内では、high amplitude MUP (Motor Unit Potential)は4.7%、polyphasic MUPは13.1%とpolyphasic MUPの方が多いが、その後polyphasic MUPがしだいに減少して行くのに対し、high amplitude MUPは増加傾向を示し、術後2年以降では逆にhigh amplitude MUPが高頻度に見られた (Table 6)。

3) 誘発電位

A. 出現時期

誘発電位が最も早く記録されたのは移植後4カ月目で、移植後1年では90%の症例で誘発電位が認められた (Fig.12)。最も遅く記録されたのは、移植後1年半を経て認めた症例である。出現時期の平均値は移植後8.1カ月 ($n=86$, S.D.=3.4) であった。

誘発電位の出現時期とその後の機能回復状態との相関を見るため、4段階の筋電図学的評価ごとの誘発電位の出現時期を比較した。それによると、筋電図所見でEXCELLENTの症例とGOODの症例との間で誘発電位の出現時期に差は認められなかったが、FAIR, POORと結果が不良になるにしたがって出現時期は延長する傾向が見られた (Table 7)。同じ目的から誘発電位の出現時期が1年以内の症例と1年以上の症例とに分けて筋電図学的評価の比較を行なうと、同様に出現時期の遅い症例ほど低い評価を受ける率が高くなる傾向が認められた (Table 8)。しかし、これは絶対的な相関ではなく、移植後1年以上を経てからようやく誘発電位を認めた症例のなかにも、EXCELLENTあるいはGOODと評価されるものが散見された。

B. 閾値比 threshold ratio (Fig.13 A,B)

閾値比は、誘発電位の出現後の早期にあつては2を越えるものも多く認められたが、その後時間的経過とともに減少した。術後9カ月以上経過した症例のなかには、閾値比が1を割るもの、すなわち健側の表情筋に誘発電位を認めるより先に移植筋に誘発電位を認める症例が5.3%の頻度で見られた。

*Fig.のAとBの違いは、Aは同一人で2回以上測定された症例を抽出し、同一症例における経時的变化を追跡したものであり、Bは同一症例であるか否かに関わらず、得られた測定値すべてを活動電位が最初に認められた時点からの経過時間ごとに集計したものである。以下Fig.17まで同じ。

C. 潜時 distal latency (Fig.14 A,B)

潜時は出現後徐々に短縮する傾向にあるが、誘発電位出現後1年目以降はあまり変化

しなかった。

D. 持続時間 duration (Fig.15 A,B)

持続時間は、出現直後は短く、その後一時的に延長し、再び短縮を始める傾向が見られた。しかし、出現後1年目以降は変化しなかった。

E. 振幅 amplitude (Fig.16 A,B)

振幅は症例ごとのばらつきが大きく、出現後早期で低値を示すほかはその後特に変化が見られなかった。

F. 棘波数 number of spikes (Fig.17 A,B)

棘波数は初期には少なく、その後一時的に増加し再び減少した。

*B~Fの統計学的検討は、Kruskal-Wallis検定による分散分析とMann-Whitney検定により行なった。

*Fig.18, Fig.19に実際の症例の誘発筋電図を示す。

G. 誘発電位出現時期と神経移植から筋肉移植までの期間 (Fig.20)

顔面交叉神経移植から筋肉移植までの待機期間と誘発電位が出現するまでの期間との関係に関しては、誘発電位出現までに1年以上を要した症例のほとんどが第一期手術(顔面交叉神経移植)より筋肉移植までの期間が1年に満たない症例であった。

4) 単一筋線維筋電図 single fiber EMG

a. ジッター (jitter) 値 (Fig.21)

ジッター値を移植筋に随意収縮が見られてからの日数と関連させて調べると、日の浅い症例では100 msec を越す高いジッター値を示す症例も多く認められたが、1年以上を経た症例では100msec 以下のジッター値を示す比率が増加した。しかし、早期から100msec 以下のジッター値を示す症例もあり、移植筋の機能回復の速度にはかなりの個体差のあることが示唆された。検査例のなかには、移植前の本来のジッター値 (50msec 以下) にまで回復した移植筋は少なく、随意収縮時の通常筋電図で正常波形を示しても、単一筋線維レベルでは依然、脱神経の影響を残しているものと考えられた。

b. 筋線維密度 fiber density (Fig.22)

神経再生過程にあつてcollateral sproutingが盛んに生じている場合や萎縮のため筋線維の直径が減少しているような場合に高い値を示す。移植筋においては、随意収縮出現後、1年半以内では3以上の値を示す症例が30%において認められたのに対して、1年半以上経た症例では1例も見られなかった。しかし、ジッター値と同様に早期においても低い筋線維密度を示す例が多数認められ、かなりのばらつきを示した。出現後、

2年以上を経過した症例の筋線維密度は 2.0 ± 0.5 (mean \pm S.D.)であり、正常対照20例における薄筋の筋線維密度 1.41 ± 0.06 (mean \pm S.D.)より高値を示した ($P < 0.001$, t検定)。

C. 単一筋線維筋電図所見と筋電図評価との相関 (Table 9, Table 10)

随意収縮時電位が認められてから2年以上を経過し、ほぼ安定化したと考えられる症例について、ジッター値ならびに筋線維密度とその時点での筋電図評価との関係をみたのが、Table 9 とTable 10である。例数が少なく、明確なことは言えないが、両者の間に有意の相関は認められない。

5) 周波数分析

随意収縮出現後の時間的経過とトータルパワー値との相関をみると、出現後ごく早期にはいずれの症例も低いトータルパワー値を示し、その後増加傾向を示した。増加の程度は始めは急速で次第にゆるやかとなったが、トータルパワーの値は症例によりまちまちであった (Fig. 23)。パワースペクトルの波形を平坦なもの (flat type)、山型となつてピークを有するもの (peak type)、両者の中間に属するもの (flat peak type) の3型にわけ、トータルパワー値との関係をみたが、トータルパワー値が大きくなるほどスペクトルの波形はpeak type に変わつて行く傾向が認められた (Table 11)。しかし、peak type に属していても低い値をとる症例もあり、両者の関係は単純でない。

peak を有する波形において、peakの位置とトータルパワー値との関係を調べると、パワー値が増加するにつれてpeakの位置が右側にずれる、すなわち高い周波数へと移動する傾向が見られた (Fig. 24)。しかし、統計学的には有意性は低かった ($r=0.29, 0.01 < p < 0.02$)

Fig. 25に、経時的に周波数分析を施行した症例の結果を代表例として示す。

6) 年齢と筋電図学的評価 (Table 12)

手術時の年齢が移植筋に対する筋電図学的評価に何らかの影響を与えているかどうかについて検討を加えた。手術年代を20年ごとの4段階にわけ、それぞれの群での筋電図評価を比べたが、年代による差異は認められなかった。

7) 麻痺の程度と筋電図学的評価

移植された症例が完全麻痺であるか不全麻痺であるかが、結果に影響を与えるか否かについて検討した (Fig. 26)。誘発電位が出現する時期は不全麻痺例においては術後 $7.1 \text{M} \pm 2.8 \text{M}$ ($N=30$, MEAN \pm S.D.), 完全麻痺例においては術後 $8.5 \text{M} \pm 3.5 \text{M}$ ($N=57$, MEAN \pm S.D.)となっており、不全麻痺において早期に収縮が始まる傾向が見られた ($P < 0.01$, Wilcoxon's U-test)。

最終的な筋電図学的評価においては不全麻痺と完全麻痺との間に有意の差は認められ

なかった (Table 13)。

8) 移植筋生検所見と筋電図所見

修正術を施行したときに得られた移植筋の検体が19症例についてあり、この標本所見と筋電図所見との相関を見た。標本を採取した部位は正確には一定していないが、ほぼ移植筋中央部より採取されている。生検時における術後経過期間は最短9カ月、最長4年5カ月、平均2年1カ月である。筋組織像を線維化や脂肪変性の程度の著しいもの (SEVERE TYPE, Fig. 27) と中程度のもの (MODERATE TYPE) とごく軽いもの (MILD TYPE, Fig. 28) とに分け、そのうち、SEVERE TYPEとMILD TYPEについて筋電図評価の比較を行った。それによると、SEVERE TYPEと分類された4例の中には筋電図検査でFAIR以下の評価を受けた症例はなかったのに対し、MILD TYPEと分類された8例にはFAIR以下の症例が2例認められた (Table 14)。これは、筋生検組織像における間質部の状態は必ずしも筋電図所見に反映されないことを意味しているものと思われた。一方、移植筋の筋線維直径と筋電図所見との関係を調べると、移植筋の平均直径が $35\mu\text{m}$ 以下の症例ではFAIR以下と判定された症例が12例中3例認められたのに対して、 $35\mu\text{m}$ 以上の症例の中にはFAIR以下に判定された症例は認められなかった (Table 15)。このように、筋線維直径に関しては、大きい方が筋電図評価の成績が良好となる傾向を示した。また、筋線維間の直径のばらつきを変動係数 ($=\text{S.D.} \times 1000 / \text{MEAN}$) として計算したが、これと筋電図所見との間に相関は認められなかった (Table 16)。

9) 顔面交叉神経の伝導速度

顔面交叉神経に沿って約5cm離れた2ヶ所に電気刺激を与えることにより、伝導速度を測定した。測定値は $28.1 \pm 12.3 \text{ m/sec}$ ($\text{mean} \pm \text{S.D.}$) で、腓腹神経本来の伝導速度 ($40 \sim 55 \text{ m/sec}$) [28] や顔面神経を含めた一般の運動神経伝導速度 ($40 \sim 70 \text{ m/sec}$) [28, 60] に較べて低値であった。神経移植後の経過日数と伝導速度との相関を見てみると、日が経つほど伝導速度も上昇する正の関係が認められた ($r=0.43, p<0.001, \text{Fig. 29}$)。

移植後3年以上を経た症例について、患者の年齢と伝導速度との関係を調べたが、相関は見られなかった (Fig. 30)。

<考察>

1. 顔面交叉神経移植後の健側大顔骨筋筋電図所見

顔面神経の頬骨枝、頬枝に関しては相互に多数の吻合枝を有しており、その一部が切断されても顔面の麻痺をきたすことはない、とされている[38]。これを根拠に、筋肉移植に先だって行なわれる顔面交叉神経移植術では、健側顔面神経の頬骨枝、頬枝の一

部を利用して神経移植が行なわれる。しかし、術後の健側表情筋の筋電図所見にまで言及した報告は少ない。そのため、実際にどの程度影響を受けるのかを調べたのであるが、それによると、筋電図上では、正常の状態に回復するまでに2年近くを要することが判明した。interference patternや棘波数に変化が強いのは、それらが神経原性の変化を直接反映するためであろう。しかし、肉眼的には術後1年以内に健側顔面の動きはほぼ元通りに回復するので、臨床的には問題はないだろうと思われる。

II. 移植筋の筋電図所見

1. 脱神経電位

脱神経電位は脱神経後、神経終板や筋線維がアセチルコリンに対して一時的に過敏になることによって発生するとされており、脱神経後まもなく出現し、筋線維が神経再支配を受けるか、あるいは逆に完全に変性に陥るまで続く[9]。脱神経後、脱神経電位が出現するまでの期間については、四肢の筋肉では2週目以降とする報告が多い[3,9,65]が、顔面に移植したわれわれの症例では10日目頃より認めることが多かった。この点は、神経の切断部位が筋体への侵入部に近い(3~4 cm)ことや遊離移植では、筋肉がtenotomyを受けることと関係があるかも知れない[24,65]。

脱神経電位は移植後3カ月目より消え始め、10カ月目にはほとんどの症例で認められなくなるが、この時期は随意収縮時電位が移植後4カ月目頃より認められはじめ、1年後にはほとんどの症例で出現するのによく照合している。このことは脱神経電位が神経再支配の進行と共に消失して行くものであることを示している。すでに述べたように、脱神経電位の消失のしかたには、silent periodの有無によって二つのパターンがある。

Silent periodが見られないことは、筋肉の神経再支配の速度が、筋線維の間で不均一であることを示している。しかし、silent periodの認められない症例の方が機能回復が良好であることからすると、その不均一性は一部の筋線維がむしろ早期に回復してくるためと考えられる。一方、脱神経電位は、筋肉に神経再支配が起こらないと長期にわたって発生が続けることが報告されている[40]。Yahrは、神経縫合後3年以上経ても脱神経電位を認めうることを述べている[66]。しかし、それには筋肉に血行が保たれていることが必要である。今回、検討した症例のなかに移植後1年2カ月わたって旺盛な脱神経電位を認めた症例があり、結局再度、筋肉移植が行なわれたが、その際の術中所見で、萎縮が強いものの前回の移植筋には良好な血行が温存されているのが確認された。

また、脱神経電位は血行に富んだ筋肉ほど数多く認められ[9]、筋肉のマッサージによっても増加することが知られており[37]、その量によって術後のphysiotherapyの大体の効果や筋肉の血行状態を推し量る一つの参考になりうるものと考えられる。このことに関連して、脱神経電位の頻度とその後筋肉が獲得したinterference pattern

の状態との相関を見たところ、ある程度の相関を示したが、脱神経電位は刺入場所や刺入後の時間によってかなりの変動を示すため、この解釈には慎重でなければならない。量的な相関については今後の検討が必要であろう。しかし、脱神経電位は筋肉が血行を得て存在していないと出現しないため、量にかかわらず脱神経電位の存在は、移植後一定期間（10日前後）を経てから神経再支配の始まる術後3、4カ月位までは、移植筋の生着を示す確実な指標になりうるであろうと思われる。ただし、脱神経筋であっても脱神経電位が出現しないことがあるともされており[9]、認められない場合の解釈には若干の注意が必要である。このほか、移植筋の生着状態を筋電図によって調べる方法としては、針電極により筋肉を直接刺激し、twitchの有無を見る方法も報告されている[14]。

脱神経電位の波形としては、初めfibrillation potentialが見られ、ついでpositive sharp waveが盛んに出現した。移植後1年近くたつて見られるものは、持続時間が長く多相性のfasciculationの波形であった。安静時電位がもっとも盛んに見られる移植後1～2カ月の時点でもっとも優位であるのは、positive sharp waveであった。Fibrillation potentialは正常の筋肉からも記録されることが知られており[9]、脱神経筋に特異的なのはpositive sharp waveの方であるとされる[24]。移植筋においては両者は量的な差はあってもほとんど常に混在して認められ、両波形の間に臨床的な意義の差を見いだすことはできなかった。

Fasciculationは、fibrillation potentialと同様に脱神経に起因して生ずるが、fibrillation potentialに比べてより上位の神経障害で見られやすいという[24]。わずかに8例に認められた事実は、かなり末梢のレベルで神経が切断される本術式においては予想されることかも知れない。興味深い点は、fasciculationを認めた症例の機能回復が良好であったことで、fasciculationは脱神経後の神経の一時的過興奮状態を反映するだけでなく、神経再支配の過程における神経伝導の良好な回復状態を表しているとも考えられる。

2. 随意収縮時筋電図

随意収縮時の筋電図波形における回復の速度は、interference patternで見えるかぎりかなりゆっくりで、かつ症例によってばらつきがある。移植後1年以内に正常のinterference patternを獲得するものもあれば、2年以上を経てようやく回復するものもある。正常のinterference patternを有する症例の比率は移植後3年近くまで徐々に増え続ける。この長期に及ぶ回復過程は、すでに述べたように顔面交叉神経移植後の健側顔面においても観察された。interference patternは主として神経原性の変化を反映するため、この緩徐な改善は神経支配の密度の改善に関係していると思われる。Tolhurstも足の短指伸筋を用いた同様の筋肉移植において、術後2年頃までの比較的長い期間に

わたって改善傾向が見られることを報告している[59]。一方、振幅については、はじめは一律に低値を示すもののその後の変化は症例によりばらつきが大きく、有意の変化を見つけだすことができない。針電極を用いることにも問題がある。

Polyphasic MUPは、ひとつの神経筋単位内における筋線維の興奮の時間的なずれによって生ずると考えられており、神経再生が進み伝導速度が一律になってくると少なくなる。また、high amplitude MUP (いわゆるgiant spike)は、神経再生の過程でnerve sproutingが生じ、一本の神経が多数の筋線維を支配するようになった結果、筋線維からの放電が同期化して生ずるもので、いわば解剖学的変化の反映である。したがって、high amplitude MUPの方は時間的経過と共に消失することではなく、筋収縮力の増加とともにむしろ目立ってくる。

3. 誘発電位

誘発電位が出現するまでの期間は、再生軸索が神経縫合部を越えて神経筋接合部に達し、さらに神経接合部が機能して筋収縮が始まるまでの期間に相当する。我々の経験では4～12カ月の間にほとんどの症例で誘発電位の出現が見られた。この期間は同様の筋肉移植を行なっている諸家の報告とほぼ一致している(Tolhurst[59] 5～10カ月、O'Brien[48] 4～9カ月)が、これは神経縫合部—神経筋接合部間の距離が約3cmであることからするとかなり遅い。この理由はやはり交叉神経の断端の状態にあると思われる。教室の朴らによれば、顔面交叉神経断端の軸索再生状態は有髄神経に関しては移植前の20～30%程度にまで減少している[6]。

当然予想されるように出現時期が遅れるほど移植筋の機能回復も不良であったが、移植後1年以上を経てようやく誘発電位を見た症例のなかにもEXCELLENTあるいはGOODと分類されたもののある点が興味深い。

移植筋が収縮を始める時期には、誘発電位が確認されるより早く随意収縮時電位が認められることが多い。神経を露出し直接に刺激をした場合には、随意収縮が出現するより数週早く誘発電位が認められることが知られているが[55,56]、経皮的に刺激した場合には250V以上の刺激を加えると刺激電力によるartifactや咬筋の収縮が加わって、誘発電位の確認ができなくなる。したがって、最初の電気活動を捉えるには注意深く随意収縮時電位を探すほうが正確であろうと思われる。このほか、早期に神経再支配の進行をとらえるには、強さ時間曲線で折れ曲がり部を確認する方法があるが、測定に時間を要するので行なわなかった[33]。

誘発電位の閾値比が時間的経過とともに低下するのは、移植筋の運動神経および神経筋接合部における興奮性が徐々に回復していくためであろう。両者いずれの部分においても、再生過程で興奮性が一時的に低下することが知られている[28]。また、一部に閾値比が1以下の症例が見られたことは、2カ所の神経縫合部を乗り越えて移植筋に達す

る長い経過を考えると、神経の再生能力の旺盛さを物語っていて興味深い。

潜時は、神経、神経筋接合部、および筋線維すべてにおいて刺激が伝導されるのに要する時間の総和である。このうち、どの部分が最も潜時の短縮に関与するかは不明であるが、そのいずれもが安定するのに出現後9カ月を要するということになる。

持続時間の変化はやや複雑であるが、次のように解釈している。「初期にはごく少数の神経筋単位のみが活動電位を発生するため持続時間の短い波形となり、その後潜時の異なる多数の神経筋単位が活動を始めるため誘発波全体としては長い持続時間をもつようになる。そして、さらに時間が進むと不揃いだった各潜時が均一化して、結果として誘発波の持続時間はふたたび短くなって安定する」。移植筋における持続時間の延長はおそらく主として潜時の変動の反映であり、末梢神経病変において見られる変化と同一の機序によるものであろう[10]。

振幅については、随意収縮時筋電図の項で述べたように針電極では測定値のばらつきが大きく、初期値が小さいほかは一定の経時的変化を読み取ることはできなかった。しかし、出現後2年を経ても2mVを越えるものは少なく、移植筋の収縮力は移植前と比較するとかなり減少している。

棘波数は電気刺激に反応する神経筋単位の数と潜時のばらつきに関係する。数が多ければ当然増加し、潜時のばらつきが少なく同期化すれば減少する。それゆえ、反応する神経筋単位の少ない初期には少なく、神経再支配が進み数多くの神経筋単位が活動を始めると増加し、その後各神経筋単位の潜時が均一化してくるとともに減少する。

以上の変化を要約すると以下のようになる。

「誘発電位波形は、初め、潜時が長く、持続時間の短い5相以下の低振幅波形であるが、しだいに振幅、持続時間、棘波数の増加と潜時の短縮が起こる。その後、各誘発電位を構成する神経筋単位の潜時の均一化に伴って、持続時間、棘波数の減少が見られる。そして、波形がすべて安定するまでに誘発電位出現後約1年を要する」。

安定後の誘発電位波形を移植前の状態と直接比較することは、移植前の薄筋の誘発電位の測定が技術的にむずかしく、臨床上行なえなかった。しかし、通常行なわれる下肢筋の誘発筋電図所見（母趾外転筋、短趾伸筋など）と比較すると、持続時間や棘波数にはほとんど差は見られないが、最大振幅には大きな違いがあった。すなわち、移植筋においては最大振幅が2mVを越えるものは少なく、脛骨神経や腓骨神経刺激による下肢筋の誘発電位の振幅が通常3mV以上であることからすると著しく低い。これは、持続時間や棘波数が正常となった時点でもそうであるから、単にtemporal dispersionによるものとは考えにくく、神経再支配を受ける筋線維の数の減少や萎縮によるものであろうと思われる。Hodesは、尺骨神経の縫合後10カ月の時点で、小指外転筋における誘発電位の最大振幅が健側の4分の1に落ちていることを報告しており、最終的な段階におい

でも移植筋は術前と同等の状態には回復しえないことを示唆している[23]。誘発筋電図に関して今一つ指摘しておかなければならない点は、supramaximal stimulation による最大振幅が随意収縮時電位の最大振幅に比較して、小さいことがしばしばある点である。これは経皮的に神経を刺激する方法では神経に伝わる刺激の強さに限界があるためと考えられる。また、このことは、移植筋の活動電位が誘発時よりも随意収縮時により早く確認されることも関係がある。

遊離筋肉移植は、神経断端にTinel徴候が確認された後に行なっているが、その時期が神経移植から1年以内の症例に、移植筋の随意収縮時電位が出現するまでに1年以上の長きを要するものが散見された。このことは、Tinel徴候が見られていても交叉神経の断端に達した再生軸索の状態（有髄軸索の数と直径）が不十分であった可能性を示している。今回検討している術式において見られるTinel徴候は、顔面交叉神経の再生軸索先端部に加えられた機械的刺激が、健側顔面における顔面交叉神経と健側顔面神経との縫合部に伝わり、健側顔面神経に混在した三叉神経由来の知覚神経の支配領域、すなわち健側顔面に放散痛を生ずるものと理解される。したがって、本徴候は神経断端に達した軸索の有無を反映するもので、その量的・質的結果にあまり関わらない。また、皮膚の叩打が瘢痕性の連絡を介して実際の軸索再生部に刺激を与え、偽性Tinel徴候を生ずることもある。それゆえ、たとえTinel徴候が認められても、筋肉移植までには1年近く待機すべきであろうかと思われる。

4. 単一筋線維筋電図

単一筋線維筋電図は、1963年StålbergとEkstedtが開発したものであり、微小電極を筋肉内に刺入して筋線維一本の活動電位を記録し、より詳細な神経筋単位についての情報を得ようとする方法である[30]。測定が弱収縮の状態で行なわれるため、主としてtonic contractionに関係するType I fiberの機能を反映するとされる。

移植筋の単一筋線維筋電図所見についての報告は少ないが、移植後早期にあつてはジッター値が上昇する点では一致している。Hakeliusは、ネコであらかじめ脱神経しておいた筋肉を遊離で顔面に移植した実験で、移植後一時的にジッター値は上昇するが、その後しだいに減少していくことを報告し[18]、宇川らは、血管柄付遊離筋肉移植の臨床例について測定を行ない、一時上昇したジッター値は術後1年半で正常値に回復したと報告している[63]。われわれの検討でもジッター値の高値は移植後早期に限って認められたが、これらの報告と異なる点は、術後早期からすでにかなり低いジッター値を示す症例が多数認められたことである。また、術後3年近くを経ても移植前の値にまで回復した症例はなかった。ジッター値が、移植後、時間的経過とともに正常値に近づくのは事実であろうが、その値が安定化するまでの期間は半年以内のものもあり、また2年以上かかるものもあり様々であつた。これは、各症例ごとの神経再支配の速度の違いのほ

か、測定が筋肉内の一点で行なわれるため、部位による神経再支配の速度の違いとも関係することが考えられる。ジッター値は、神経筋接合部の機能をよく反映するとされる[53]。形態学的ならびに組織化学的活性に関しては、神経血管柄付遊離筋肉移植において術後正常にまで回復することが実験的に報告されているが[29]、機能的には術後3年近く経ってもこの部における神経筋伝達機構には障害が残ることが示唆される。

筋線維密度の測定結果も同様に大きなばらつきをみせた。初期における高値は筋線維の脱神経性の萎縮がまだ残っていることとtype groupingによるものと考えられるが、初期から低値をしめすものは線維化や脂肪変性の程度が強いためか、あるいは神経再支配が不十分で脱神経筋がまだ数多く存在しているために筋線維の間隔が離れていることによるものと考えられる。随意収縮時電位出現後、2年あまり経つと筋線維の萎縮は改善され、筋線維密度が3を越える高い筋線維密度を示す症例は見られなくなる。しかし、type groupingは構造上の変化であるため残存するので、移植筋の筋線維密度は正常値にまで改善することはない。筋線維密度がType 1 fiberのtype groupingの程度と相関するとする報告もある[53]が、今回の検討では確認するに至らなかった。

単一筋線維筋電図所見と干渉型に基づく筋電図評価との間に有意の相関が認められなかった理由としては、ひとつにはおそらく単一筋線維筋電図検査がごく小範囲の現象をとらえる微視的な検査であるため、移植筋内での神経再支配の程度のムラに左右されたこと、いまひとつは単一筋線維筋電図によりとらえられる変化が非常に微細なものであるため干渉型にほとんど影響を与えなかったことが挙げられる。いずれにしろ、臨床の場で、移植筋の術後評価のために単一筋線維筋電図を常用することには無理があらうかと思われる。

5. 周波数分析

周波数分析は、振動現象の解析法として古くから知られているが、1960年代頃よりこの手法が筋電図領域にも盛んに導入されるようになった[22,41,50,51]。筋電計から得られた波形にフーリエ解析を施し、各周波数ごとのエネルギーを求めたものがパワースペクトルで、横軸を周波数、縦軸をパワー値としたグラフで表される。縦軸のパワー値は、パワースペクトラム値あるいはパワースペクトラム密度とも呼ばれ、筋電計やシグナルプロセッサの感度設定に左右されるので、それらを常に一定に保って測定する必要がある。このパワー値は振幅の二乗に比例して変化し、周波数によっては影響されない。今回測定したトータルパワー値は、すべての周波数におけるパワー値の総和である。表面筋電図の振幅が筋肉の収縮力とよく相関することは、すでにたびたび指摘されている[24,25]。したがって、表面筋電図から得られたトータルパワー値は筋肉の収縮力と密接な相関を示す。このため、このトータルパワー値を目安として術後の筋収縮力の評価を試みることは妥当であらうと思われる。

術後、移植筋の収縮力がどの症例においても時間的経過と共に単純に増加してゆくも

のであれば、術後の日数とトータルパワー値は正の相関のグラフを描くはずである。しかし、実際のグラフにはかなりのばらつきがあり、獲得する収縮力は症例によってかなり異なっていることが示された。実際、肉眼的にも移植した筋肉の動き方は症例により様々であり、良いものは術後早期より力強い収縮が見られるが、不良なものはいつまでたっても微弱な収縮しか見られないことが経験される。

トータルパワー値とスペクトル波形の関係では、大体flatからpeakへとトータルパワー値の増大と共に変化するが、これにあてはまらないものも認められている。この理由としては、筋肉の収縮の運動パターンが関与していることが考えられる。すなわち、筋肉の運動にはtonicなものとphasicなものがあることが知られており[35]、神経筋単位の放電間隔はtonicで短くphasicで長い。周波数分析のためには被験者に持続的な随意収縮を約50秒にわたって行なわせるが、その間の力の入れ方はある程度被験者の恣意に任されており、まだ十分な収縮力のない段階では、力の入れ方が運動パターンを左右し、特殊なスペクトル波形をとることもありうるだろうと思われる。

トータルパワー値が増加するとともにpeakの位置が右方（高周波領域）へずれる傾向が観察されたが、このことはトータルパワー値が筋収縮力とよく相関をもつことを示している。なぜなら、peakが筋収縮力の増大とともに右方へ移動し、筋疲労によって左方へ移動することはすでにたびたび指摘されているからである[45,46,49]。筋収縮力の増加にしたがってpeakが移動するのは、低周波数のtonicな収縮から高周波数のphasicな収縮へと運動パターンが移行するためであり、筋疲労によりpeakが左方へ移動するのはMUPの同期化による実効的なMUP数の低下の結果とされる。

以上のように周波数分析は、筋収縮力を反映する評価法として有用なものである。もちろん、張力計による測定の精度には及ばないが、われわれの症例におけるように顔面に筋肉を移植し、筋収縮力を張力として測定しにくい場合の評価には極めて有用である。

6. 年齢との相関

加齢により神経再生の速度が減少し、機能回復が遅れることはしばしば指摘される[7]。しかし、今回検討した結果からは年齢による有意の差はでなかった。津山、原らの肋間神経移行術の評価では30才を境に術後結果は大きく異なっており、10才台、20才台ではPOORと分類されるものが約20%であるのに対して、30才台以降では60%に上っている[44]。われわれの症例でこうした年齢による影響が認められなかった正確な理由は不明である。推測としては、肋間神経移行術におけるほど長い神経再生の距離が必要ないため、年齢による差が臨床的に明らかに見られなかったことが考えられる。また、顔面神経自体のもつ再生力の強さも考えられる。しかし、交叉神経レベルでの検討では、われわれの症例でも年齢による有意の差が有髄軸索密度において認められているので[6]、今後より綿密に検討して結論をだす必要があるものと思われる。特に60才

以上の症例については症例数が少なく、慎重な検討が必要である。

7. 麻痺の程度との相関

症例が完全麻痺であるか不全麻痺であるかは、麻痺側の表情筋に神経支配が残存しているか否かで決る。麻痺側の表情筋に神経支配が残っている不全麻痺では、移植筋がいわゆるmuscular neurotizationを受ける可能性がある。不全麻痺例で早期に誘発電位が認められた事実の理由付けとしては、この muscular neurotizationの関与が最も考えやすい。すなわち、muscular neurotizationにより筋線維が活動状態にあったため、交叉神経を介して延びてきた再生軸索が神経筋接合部に到達した後、より速やかに筋の収縮が始まったとする解釈である。しかし、muscular neurotizationについての報告は古くよりあり[15]、すでに臨床に応用されてもいるが[1,58]、その有用性についてはまだ結論が出ておらず、なお実験的な検討がなされている[42,43]。したがって、憶測の域を出ない。

8. 移植筋生検所見との相関

移植筋の生検像としては、筋線維直径の減少・大小不同、筋線維鞘の皺襞形成、type grouping、中心核の存在、線維化、脂肪変性、Z帯の不整などが見られたが[62]、これらは脱神経された筋肉が再生過程において示す像と一致している。すなわち、神経血管柄付筋肉移植においては、阻血による影響はほとんどなく、脱神経後の再生筋としての特徴を有するのみであると考えられる。実験的にも、2時間以内の阻血であれば筋組織にはほとんど影響がないことが確認されている[29]。筋電図所見がどの程度筋生検像を反映するかは興味あるところであり、両者の相関を確認したとする報告はいくつも見られる[5,8,21]。しかし、今回の検討では、線維化や脂肪変性の程度と筋電図所見の間にはほとんど相関が見られなかった。これは、ひとつには線維化や脂肪変性があってもそのほかの筋線維の状態がよければ筋電図所見としては良好な結果を示すことがありうること、あるいはまた移植筋の状態は部位により大きく異なるため採取部位によって所見が様々であることなどによるものと考えられる。すなわち、通常の筋神経疾患ではおそらく病変は瀰漫性に存在するため筋電図所見との密な相関が見られるのに対して、移植筋では線維化や脂肪変性などの間質の変化が多く加わって部位による違いが著しいと考えられる。そして、筋生検では移植筋のごく一部をみているにすぎず、筋生検がかならずしも移植筋全体の状態を反映しない点にこの不一致の原因は求められるものと思われる。筋電図所見との関連がわずかながら見られたのは筋線維直径である。筋線維直径が振幅と相関することはネコにおける移植筋において実験的に示されているが[16]、今回の検討では、筋線維直径が小さいにも関わらずEXCELLENTあるいはGOODと判定された症例が多数あるので、相関度は低いと考えなければならない。したがって、移植筋の

生検像のみをもって術後評価を行なうことには問題があると考え。

9. 顔面交叉神経の伝導速度

顔面交叉神経の伝導速度は、移植筋に明確な誘発電位を認めてから初めて測定可能であるからその時点で移植後1年数カ月を経ている。しかし、その後の経時的測定において漸増してゆくことが確認されたので、移植後じつに長期にわたって固定化することなく発展性を有していることになる。移植後どの時期まで伝導速度が短縮してゆくかについては記載が少ない。実験的には、神経再生が始まってから6、7カ月までは急速に短縮し、その後もさらにゆるやかな短縮が続くとされるが[52]、長くても1年半程度でfollow-upは終わっており、その後の動向は不明である。しかし、臨床的には、神経再生が始まってから4、5年まで改善が見られたとする報告があり[2,47]、長期にわたる機能の回復の可能性は十分に示唆される。伝導速度は、有髄か無髄かによって大きく異なるほか、神経線維の太さ(特にミエリン鞘の太さ)に正比例して増加するとされる。したがって、顔面交叉神経は移植後徐々に径を増して行くようである。

移植された神経の伝導速度は主として、再生に与った神経の性質によって規定されると考えられる。本術式の場合健側の顔面神経がそれに当るが、顔面神経の伝導速度は正確に測定することが難しく、通常、遠位潜時(distal latency)をもって代用される。しかし、下顎縁枝の部分で測定を試みた報告があり、それによれば $48.8 \pm 3.68 \text{ m/sec}$ (mean \pm S.D.)となっている[60]。この値と移植後3年以上を経過した症例における顔面交叉神経の伝導速度と比較すると、顔面交叉神経の伝導速度は正常の顔面神経の伝導速度の60~80%に相当する。この結果は、神経縫合後の再生神経の伝導速度が正常値の60~80%であったとする他の報告[2,4,13,27]と類似している。

<まとめ>

顔面神経麻痺に対し顔面交叉神経移植と併用した神経血管柄付遊離筋肉移植術を施行された94症例の筋電図所見について検討した。得られた結果を要約すると以下のごとくである。

- 1) 顔面交叉神経移植は健側の顔面神経枝を部分的に切断することにより行なわれるため、健側の表情筋にある程度の麻痺を生ずることが考えられる。神経の切断が健側の表情筋に与える影響は、筋電図学的には2年ほどで消失した。
- 2) 移植筋から記録される脱神経電位とその後の神経再支配の状態との間にはある程度の相関が見られた。すなわち、活発な脱神経電位が認められた症例ではより良好な神経再支配の見られる傾向があった。

3) 移植筋の神経再支配の過程は基本的に脱神経後の神経再支配の過程と一致し、神経血管柄付遊離筋肉移植術によって移植される筋肉がおかれる特殊な状況、すなわち、

(1) 移植筋は血管吻合に要する一定時間、阻血状態に陥ること、(2) 非生理的な緊張状態に置かれること、(3) 異所性に移植されること、(4) 筋肉は全体ではなく部分的に移植されること、などによると思われる明らかな影響は認められなかった。移植筋筋電図所見が定常状態に落ち着くまでに筋収縮開始後約1年を要した。

4) 移植筋の収縮は、完全麻痺例に比較して不全麻痺例においてより早期に収縮が始まる傾向が見られた。

5) 移植神経遠位側断端にTinel徴候が認められた時点で筋肉移植を行なっても、神経移植後1年に満たない症例では誘発電位の出現が遅れる場合があり、このような症例では移植筋の収縮も弱いため、Tinel徴候の解釈には慎重を要することが示唆された。

6) 単一筋線維筋電図検査では、移植後ジッター値と筋線維密度の測定値は改善する傾向にあるが、その速度は症例により様々であった。移植筋は移植後3年以上を経過した症例でも正常値を示さず、単一筋線維レベルで脱神経による影響が強く残っていた。

7) 表面筋電図の周波数分析は、移植筋の収縮力を反映するので術後の移植筋の評価に非常に有用であった。

8) 筋電図所見と筋生検所見とは必ずしも相関せず、ごく一部の移植筋像である筋生検所見をもって移植筋全体の評価を行なうことには問題があるものと考えられた。

9) 顔面交叉神経の伝導速度は術後次第に短縮するが、移植後3年を経ても正常の顔面神経の伝導速度の60～80%にとどまっていた。

<文献>

- 1) Aichmair, H.: Muscular neurotization in cases of VI nerve palsy. A report on a 10 year experience with this method. 2nd Vienna muscle symposium proceedings, edited by Frey, M. and Freilinger, G., pp.162-167, Facultas-Verlag, Wien, 1986.
- 2) Ballantyne, J.P. and Campbell, M.J.: Electrophysiological study after surgical repair of sectioned human peripheral nerves. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 36:797-805, 1973.
- 3) Benatar, D., Terzis, J. and Williams, B.: The relevance of preliminary denervation in muscle transplantation. Muscle Transplantation, edited by Freilinger, G., Holle, J. and Carlson, B.M., 91-98, Springer-Verlag, Wien-New York, 1981.
- 4) Berry, C.M., Grundfest, H. and Hinsey, J.C.: The electrical activity of regenerating nerves in the cat. J. Neurophysiol. 7:103-115, 1944.
- 5) Black, J.T., Bhatt, G.P., De Jesus, P.V., Shotland, D.L. and Rowland, L.P.: Diagnostic accuracy of clinical data, quantitative electromyography and histochemistry in neuromuscular disease. J. Neurol. Sci., 21:59-70, 1974.
- 6) 朴 修三、波利井清紀: ヒト顔面交叉神経移植における軸索再生の研究. 日形成外会誌. 7:461-489, 1987.
- 7) Brown, P.W.: Factors influencing the success of the surgical repair of peripheral nerves. Surg. Clin. North. Am., 52:1137-1155, 1972.
- 8) Brusa, A., Loeb, c., Moretti, G. and Sacco, G.: A comparison of histologic and electromyographic findings in various neuromuscular disorders. Neurology, 13:630-640, 1963.
- 9) Buchthal, F. and Rosenfalck, P.: Spontaneous electrical activity of human muscle. Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 20:321-326, 1966.
- 10) Buchthal, F. and Pinelli, P.: Action potentials in muscular atrophy of neurogenic origin. Neurology, 591-603, 1953.
- 11) Carlson, B.M.: Regeneration of completely excised gastrocnemius muscle in the frog and rat from minced muscle fragments. J. Morph., 125:447-471, 1968.
- 12) Carlson, B.M. and Gutmann, E.: Free grafting of the extensor digitorum longus muscle in the rat after Marcaine pretreatment. Exp. Neurol., 53:82-91, 1976.
- 13) Cragg, B.G. and Thomas, P.K.: The conduction velocity of regenerated peripheral nerve fibres. J. Physiol. 171:164-175, 1964.

- 14) Davison, P.M., Batcheler, A.G., Wilson, G.R. and Sully, L.: The muscle twitch monitor: a rapid unequivocal method of monitoring free muscle transfers. *Br.J.Plast.Surg.*, 39:356-360, 1986.
- 15) Erlacher, R.: Direct and muscular neurotization of paralyzed muscle. *Am.J.Orthop.Surg.* 13:22-32, 1915.
- 16) Gorniak, G.C. and Gans, C.: Muscle fiber regeneration after transplantation: prediction of structure and physiology from electromyography. *Science*, 24:1085-1087, 1979.
- 17) Hakelius, L. and Stalberg, E.: Electromyographical studies of free autogenous muscle transplants in man. *Scand.J.Plast.Reconstr.Surg.*, 8:211-218, 1974.
- 18) Hakelius, L., Nystrom, B. and Stalberg, E.: Histochemical and neurophysiological studies of autotransplanted cat muscle. *Scand.J.Plast.Reconstr.Surg.*, 9:11-27, 1975.
- 19) Harii, K., Ohmori, K. and Torii, S.: Free gracilis muscle transplantation with microvascular anastomosis for the treatment of facial paralysis. *Plast.Reconstr.Surg.*, 57, 133-143, 1976.
- 20) 波利井清紀: 顔面神経麻痺の治療における神経, 筋肉の基礎と臨床. *日形成外会誌* 7:347-372, 1987.
- 21) Hausmanowa-Petrusewicz, I. and Jedrzejowska, H.: Correlations between electromyographic findings and muscle biopsy in cases of neuromuscular diseases. *J.Neurol.Sci.*, 13:85-106, 1971.
- 22) Heyes, K.J.: Wave analysis of tissue noise and muscle action potential. *J.Appl.Physiol.*, 15:749-752, 1960.
- 23) Hodes, R., Larrabee, M.G. and Germann, W.: The human electromyogram in response of nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons. *Arch.Psychiat.*, 60:340-365, 1948.
- 24) 堀浩: 筋電図の手引き. 64, 南山堂. 東京. 1981.
- 25) Howard, B.: Muscle-grafting: Its elucidation of the physiological action in the cicatrization induced by skin grafting. 1871; cited in J.P.Nicolai. Earliest free muscle graft? *Br.J.Plast.Surg.*, 33:350-352, 1980.
- 26) Ikuta, Y., Kubo, T. and Tsuge, K.: Free muscle transplantation by microsurgical technique to treat severe Volkmann's contracture. *Plast.Reconstr.Surg.*, 58:407-411, 1976.
- 27) Jacobson, S. and Guth, L.: An electrophysiological study of the early stages of peripheral nerve regeneration. *Experimental Neurology*, 11:48-60, 1965.

- 28) Kimura, J.: Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle : principles and practice, 125-139, F.A.Davis, Philadelphia, 1983.
- 29) 木下光雄: 遊離筋肉移植に関する実験的研究—阻血とつ血が移植筋に及ぼす影響について—. 日整形外会誌, 56:1707-1718, 1982.
- 30) 小西哲郎: 各種神経筋疾患の単一筋線維筋電図. 脳波と筋電図, 9:46-156, 1981.
- 31) 久保敬: Microsurgery を応用した遊離筋肉移植の実験的研究—特に移植筋中のMotor endplateの変化および回復状態について—. 日整会誌, 49:985-993, 1975.
- 32) Kuroda, E., Klissouras, V. and Milsum, J.H.: Electrical and metabolic activities and fatigue in human isometric contraction. J.Appl.Physiol. 29:358-367, 1970.
- 33) Lehman, J.A.R. and Ritchie, A.E.: Clinical electromyography (3rd. ed.). 94-107, Pitman, London, 1983.
- 34) Lippold, O.C.J.: The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. J.Physiol. 117:492-499, 1952.
- 35) 真島英信: 生理学, 文光堂, pp.241-243, 1974.
- 36) Manktelow, R.T., Zuker, R.M. and McKee, N.H.: Functioning free muscle transplantation. J.Hand Surg., 9A:32-38, 1984.
- 37) Marinacci, A.A.: Clinical electromyography. San Lucus Angeles, 1955.
- 38) Miehke, A.: Surgery of the facial nerve. 148-151, W.B.Sunders Company, Philadelphia-London-Toronto, 1972.
- 39) Markley, J.M., Faulkner, J.A. and Carlson, B.M.: Refenestration of skeletal muscle after grafting in monkeys. Plast.Reconstr.Surg., 62:415-422, 1978.
- 40) Midrio, M., Bouquet, T.F., Purighello, M. and Princi, T.: Role of muscular disuse in the genesis of fibrillation in denervated muscle. Experimentia, 29:58-72, 1973.
- 41) 松本淳: 表面筋電図の周波数分析に関する研究. 北関東医学. 17:369-387, 1967.
- 42) Miller, T.A., Korn, H.L., Wheeler, E.S. and Eldridge, L.: Can one muscle reinnervate another? A preliminary study of muscular neurotization in the rabbit. Plast.Reconstr.Surg. 61:50-57, 1978.
- 43) Must, R.: Muscular neurotization of rat free muscle grafts. 2nd Vienna muscle symposium proceedings, edited by Frey, M. and reilinger, G., pp.155-161, Facultas-Verlag, Wien, 1986.
- 44) 長野昭, 津山直一, 原徹也: 腕神経叢損傷の診断と対策. 整形外科MOOK19 末梢神経損傷, pp.187-202, 1981.

- 45) 永田晟, 室増男, 北本拓: 筋収縮時の放電周波数特性 (第1報), 等尺性表面筋電図の相関関数・フーリエ解析, 体力科学, 24:111-117, 1975.
- 46) 永田晟, 室増男, 北本拓: 筋収縮時の放電周波数特性 (第2報), 等尺性表面筋電図の相関関数・フーリエ解析, 体力科学, 25:28-36, 1976.
- 47) Nicholson, O.R. and Seddon, H.J.: Nerve repair in civil practice. Result of treatment of median and ulnar nerve lesions. Brit. Med. J. 11:1065-1071, 1957.
- 48) O'Brien, B.M., Morrison, W.A., MacLeod, A.L. and Pribaz, J.J.: Microsurgical treatment of long established facial palsy. 2nd. muscle symposium proceedings, edited by Frei, M. and Freilinger, G., 214, Facultas-Verlag, Wien, 1985.
- 49) 小木和孝, 袴田忠: 筋疲労時の表面筋電図の周波数分析, 労働科学, 38:519-528, 1962
- 50) 奥村修三: 表面筋電図の周波数スペクトルに関する基礎的研究. 岡山医学雑誌, 69: 401-411, 1956.
- 51) 鯨島宗弘: 表面筋電図の周波数分析的データ処理とその臨床応用. 北関東医学. 21: 292-319, 1971.
- 52) Sanders, F.K. and Whitteridge, D.: Conduction velocity and myelin thickness in regenerating nerve fibers. J. Physiol. 105:152-174, 1946.
- 53) Schwartz, M.S., Moosa, A. and Dubowitz, V.: Correlation of single fiber EMG and muscle histochemistry using an open biopsy recording technique. J. Neurol. Sci., 31:369-378, 1977.
- 54) Stalberg, E. and Trontelj, J.V.: Jitter and impulse blocking. 33-64, The Mirvalle Press Limited, Surrey U.K., 1979.
- 55) Studitsky, A.M.: Free auto- and homo- grafts of muscle tissue in experiments on animals. Annals New York Academy of Science. 120:789-801, 1964.
- 56) Sunderland, S.: Nerve and nerve injuries (2nd ed.). Churchill Livingstone, London and New York, 1978.
- 57) Tamai, S., Komatsu, S., Sasamoto, H., et al: Free muscle transplantation in dogs with microsurgical neurovascular anastomosis. Plast. Reconstr. Surg., 46:219-225, 1969.
- 58) Thompson, N.: Autogenous free grafts of skeletal muscle: A preliminary experimental and clinical study. Plast. Reconstr. Surg., 48:11-27, 1971.
- 59) Tolhurst, D.E.: The treatment of facial palsy with free revascularized and reinnervated muscle grafts. Muscle Transplantation, edited by Freilinger, G., Holle, J. and Carson, B.M., 193-204, Springer-Verlag, Wien-New York, 1981.

- 60) 戸島均、小池吉郎：顔面神経伝導速度の測定法とBell麻痺への応用。
昭和59,60,61年度文部省科学研究費補助金総合研究(A)特発性顔面神経麻痺に関する疫学・臨床的研究成果報告書：58-62,1987.
- 61) Tower,S.S.: Persistence of fibrillation in denervated skeletal muscle and its non-occurrence in muscle after tenotomy. Archs. Neurol. Psychiat.,42:219-230,1958.
- 62) 上田和毅、多久嶋美紀、波利井清紀：顔面神経麻痺に対する筋肉移植術の評価-筋生検所見の検討-.Facial N.Res.Jpn. 8:191-194,1988.
- 63) 宇川義一、竹田学、奥津一郎、黒島永嗣、二宮節夫：Free musculocutaneous transferにおける電気生理学的・病理学的検討。臨床神経学,25:58-64,1985.
- 64) Volkmann,J.:Über die Regeneration des querfetreiften Muskelewebes beim Menschen und Säugetier,1893;cited in W.D.Forbus. Pathologic changes in voluntary muscle. Arch.Pathol.,2:486,926.
- 65) Weddell,G., Feinstein,B. and Pattle,R.E.: The electrical activity of voluntary muscle in man under normal and pathological conditions. Brain,67:178-257,1944.
- 66) Yahr,M.D., Herz,E., Mordaver,J. and Grundfest,H.:Electromyographic pattern in reinnervated muscle.Arch.Neurol.Psychiat.63:728-738,1950.
- 67) Zielonko,J.:Über die entwicklung und Proliferation von Epithelien und Endothelien,1874,cited in Thompson,N. Autogenous free grafts of skeletal muscle:A preliminary experimental and clinical study.Plast.Reconstr.Surg. 48:11,1971.

< 图表 >

Fig.1 : 術式 (顔面交叉神経移植と神経血管柄付遊離筋肉移植
とを併用した手術方法 [20])

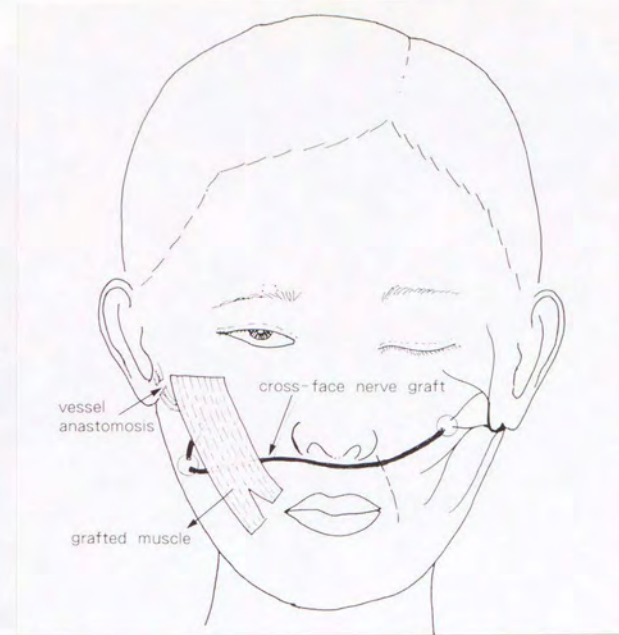


Table 1 : 今回検査の対象となった顔面神経麻痺の原因疾患

BRAIN TUMOR	34
BELL'S PALSY	16
TUMOR OF THE FACE OR NECK	12
DISEASE OF THE MIDDLE EAR	11
CONGENITAL	8
CEREBROVASCULAR DISEASE	5
TRAUMA	3
INFECTION (POLIOMYELITIS)	2
OTHERS	3

94 (CASE)

Fig.2 : 表面筋電図の周波数分析

左 : シグナルプロセッサと記録計
右 : 電極の位置

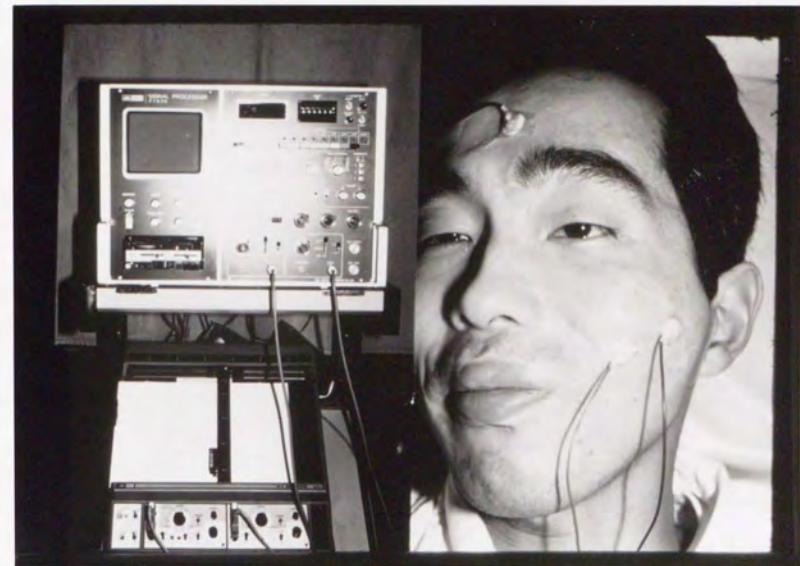


Fig.3 : 周波数分析の回路図

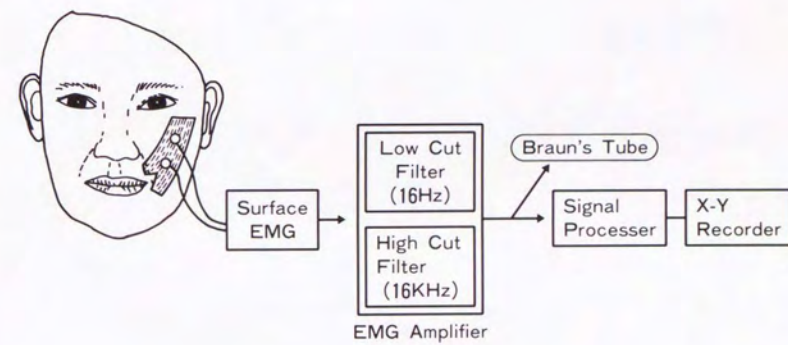


Fig.4 : トータルパワー値と等張性収縮力との関係
(上腕二頭筋、10秒)

RELATIONSHIP BETWEEN TOTAL POWER
AND MUSCLE FORCE (Biceps brachii)

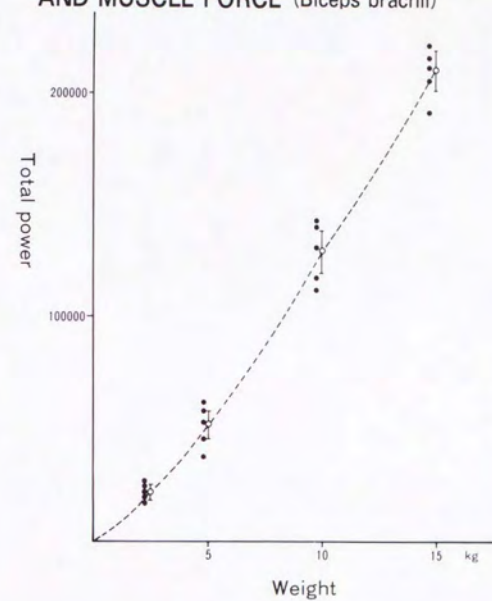


Fig.5 : 筋電図所見の評価基準

EXCELLENT : interference patternが4+で、トータルパワー値が20,000以上。
 GOOD : interference patternが4+で、トータルパワー値が20,000を越えない。
 FAIR : interference patternが3+。
 POOR : interference patternが2+以下。

Table 2 : 大頰骨筋筋電図所見 (健側)

CLASSIFICATION OF EMG



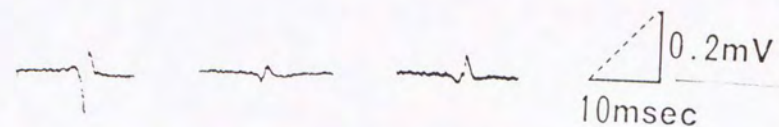
EMG from the zygomaticus major muscle on the unparalyzed side

(mean ± S.D.)

		postoperative months			
		-11	12-23	24-	before operation
voluntary action potentials	interference pattern 4+ (%)	33	73	88	87
	amplitude (mV)	0.26 ± 0.17	0.49 ± 0.53	0.67 ± 0.74	0.67 ± 0.49
evoked potentials	distal latency (msec)	3.7 ± 1.0	3.8 ± 1.7	3.6 ± 1.7	2.9 ± 0.9
	amplitude (mV)	0.82 ± 0.7	0.59 ± 0.45	0.80 ± 0.78	1.06 ± 0.83
	duration (msec)	10.3 ± 4.3	10.8 ± 5.1	9.8 ± 5.6	11.2 ± 4.8
	number of the spike > 4 (%)	0	18	25	25
		(n=18)	(n=51)	(n=36)	(n=37)

Fig.6 : Fibrillation potential の代表的波形

Fibrillation potential



Duration : 2~4 msec

Amplitude : 50~200 μ V

Fig.7 : Positive sharp wave の代表的波形

Positive sharp wave



Duration : 4~8 msec

Amplitude : 50~200 μ V

Fig.8 : Fasciculation の代表的波形

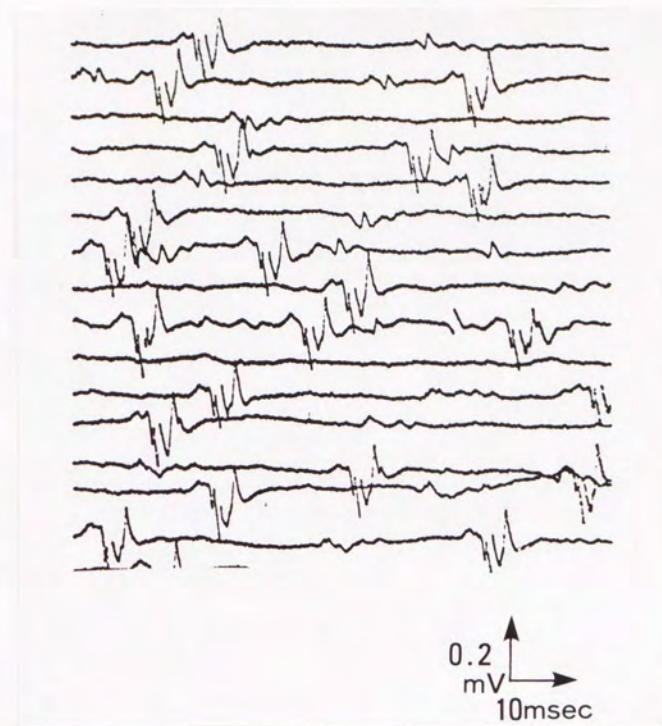


Table 3 : Fasciculation を認めた症例

Case	Sex	Age	Initial recording of action potential	Result
K.I.	F	39	5M	EXCELLENT
E.T.	F	49	9M	GOOD
K.K.	F	51	9M	GOOD
E.M.	F	65	5M	GOOD
C.I.	F	19	4M	EXCELLENT
M.W.	F	30	7M	EXCELLENT
S.M.	F	45	6M	GOOD
M.Y.	M	16	8M	GOOD

Fig.10 : Denervation potential の出現頻度

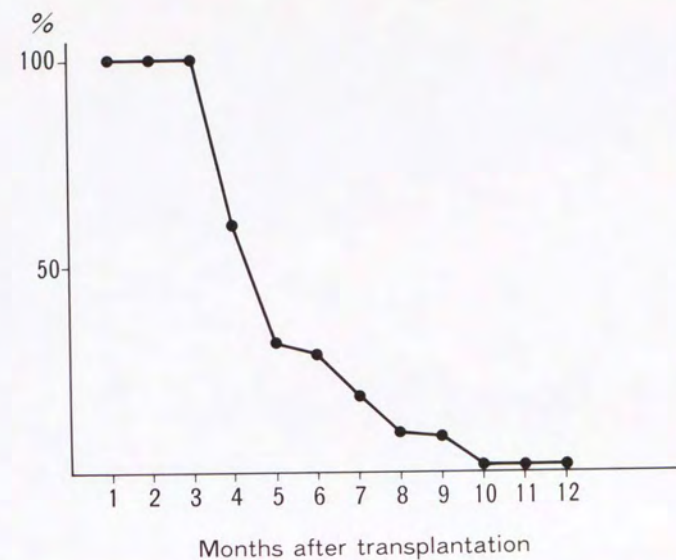


Table 4 : Silent period の有無とinterference pattern (移植後1年以上) の関係

		SILENT PERIOD	
		+	-
INTERFERENCE PATTERN	1 + ~ 3 +	8	0
	4 +	15	6

(CASE)

Table 5 : Denervation potential の頻度とinterference pattern (移植後1年以上) の関係

RELATIONSHIP BETWEEN FREQUENCY OF DENERVATION POTENTIALS AND OBTAINED INTERFERENCE PATTERN

DENERVATION POTENTIAL	INTERFERENCE PATTERN	
	~3+	4+
0~9 Hz	8 CASES	16 CASES
10Hz~	6 CASES	24 CASES

Fig.9 : Interference pattern 4+ を示す症例の比率

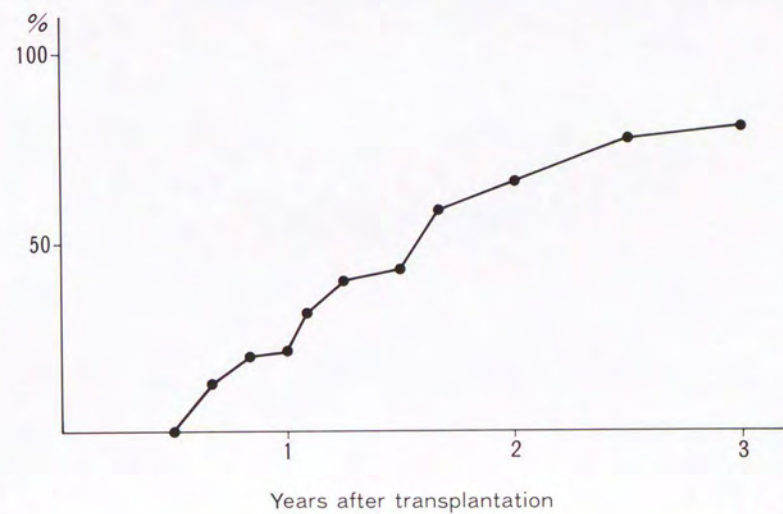


Fig.11 : 随意収縮時活動電位の最大振幅の

経時的变化

* 2本の直線は回帰直線 (YのXに対する回帰直線と
XのYに対する回帰直線) を示す.

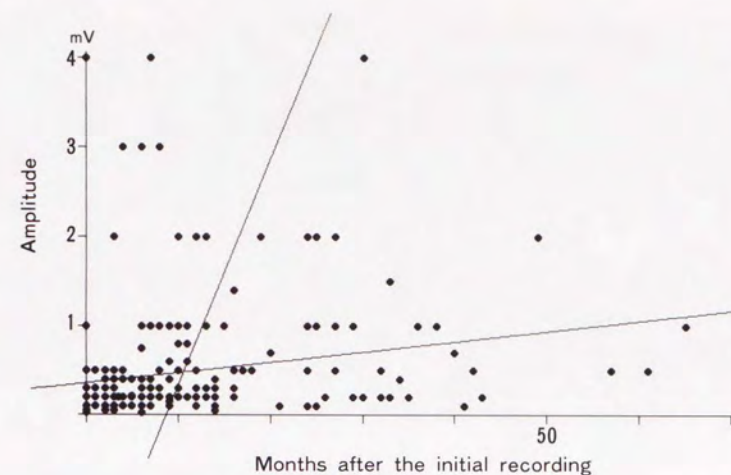


Table 6 : 随意収縮時筋電図におけるhigh amplitude MUP
とpolyphasic MUPの頻度

WAVE FORM OF VOLUNTARY ACTION POTENTIALS

MONTHS AFTER TRANSPLANTATION	HIGH AMPLITUDE MUP	POLYPHASIC MUP	TOTAL
-12M	5/107 (4.7%)	14/107 (13.1%)	19/107 (17.8%)
13M-24M	7/84 (8.3%)	10/84 (11.9%)	17/84 (20.2%)
25M-	5/47 (10.6%)	3/47 (6.4%)	8/47 (17.0%)

Fig.12 : 誘発電位の出現頻度の経時的变化

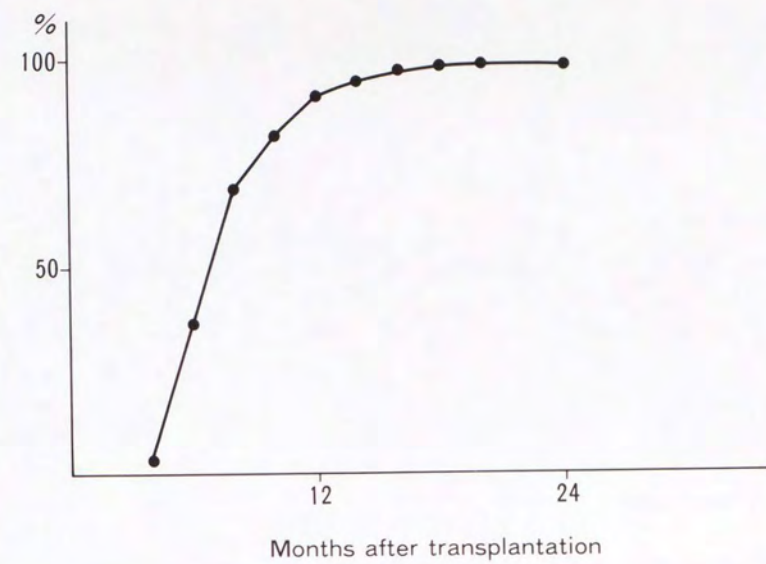


Table 7 : 移植筋に活動電位を認めるまでの期間

PERIOD BETWEEN THE MUSCLE TRANSPLANTATION AND THE INITIAL RECORDING OF ACTION POTENTIALS

EMG FINDING	
EXCELLENT	7.9±2.9 (n=17)
GOOD	7.4±2.6 (n=23)
FAIR	8.7±3.3 (n=25)
POOR	10.1±5.4 (n=11)

(Months, mean±S.D.)

Table 8 : 移植筋に活動電位を認めるまでの期間と筋電図評価との関係

		EMG FINDING				TOTAL
		EXCELLENT	GOOD	FAIR	FOOR	
PERIOD BETWEEN THE MUSCLE TRANSPLANTATION AND THE INITIAL RECORDINGS OF EVOKED POTENTIALS	< 1 YEAR	16	22	21	9	68
	> 1 YEAR	1	1	4	2	8

(CASE)

Fig.13 A : 誘発電位閾値比の経時的変化 (複数回測定例)

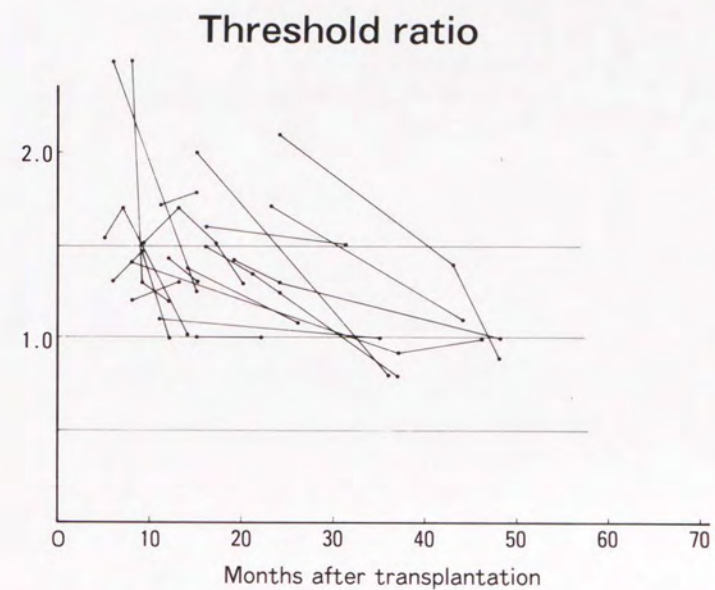


Fig.13 B : 誘発電位閾値比の経時的変化 (全測定値)

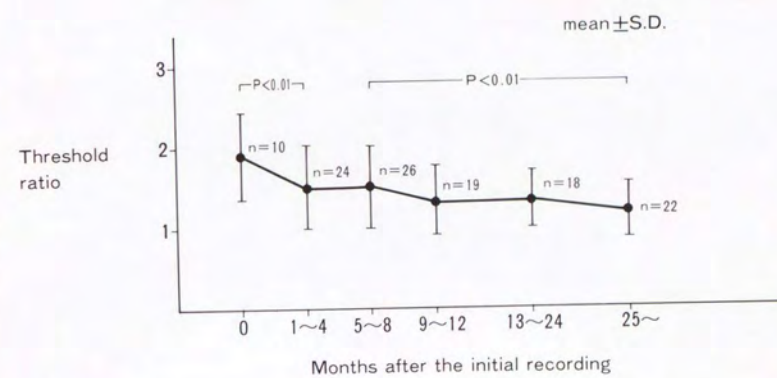


Fig.14 A : 誘発電位潜時の経時的変化 (複数回測定例)

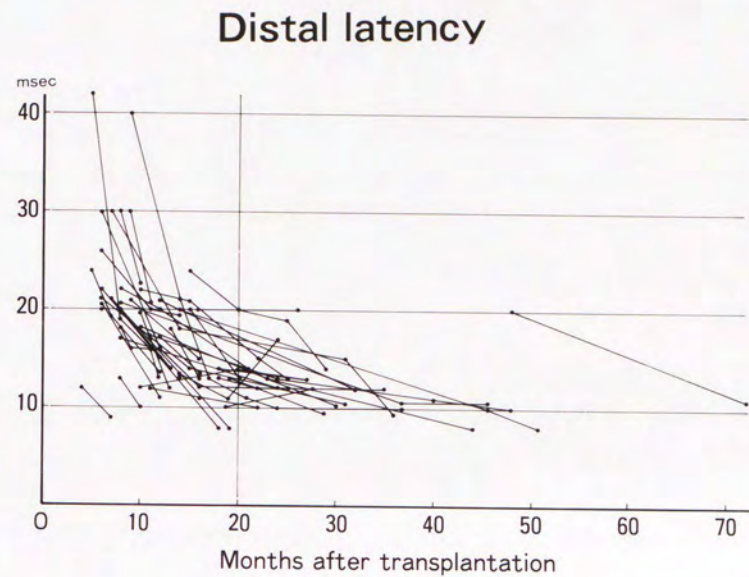


Fig.14 B : 誘発電位潜時の経時的変化 (全測定値)

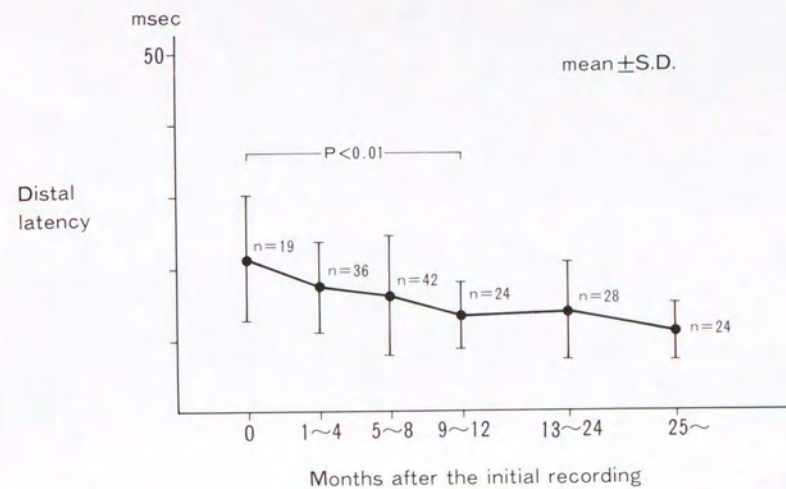


Fig.15 A : 誘発電位持続時間の経時的変化 (複数回測定例)

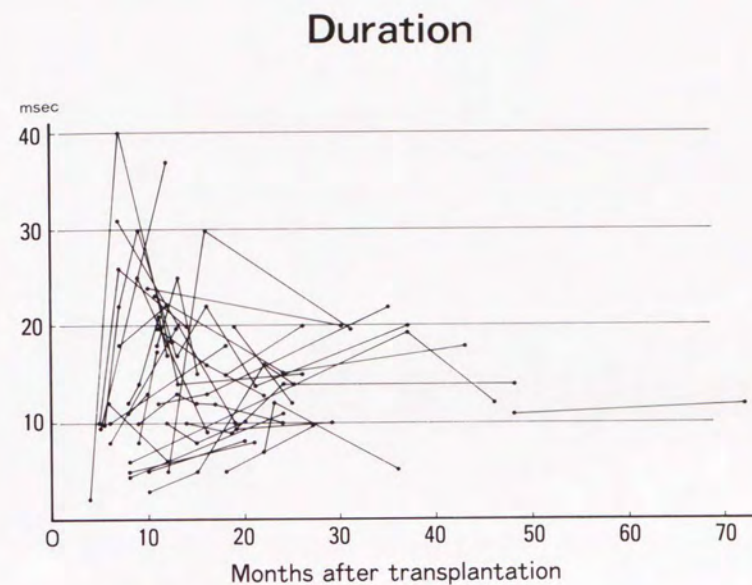


Fig.15 A : 誘発電位持続時間の経時的変化 (全測定値)

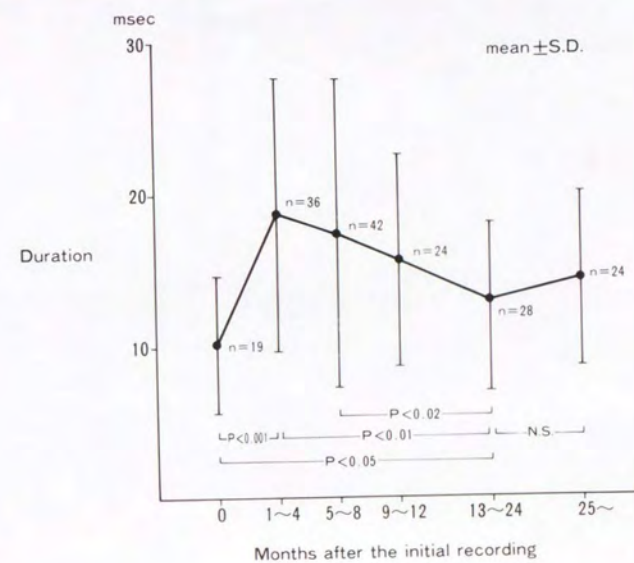


Fig.16 A : 誘発電位最大振幅の経時的変化 (複数回測定例)

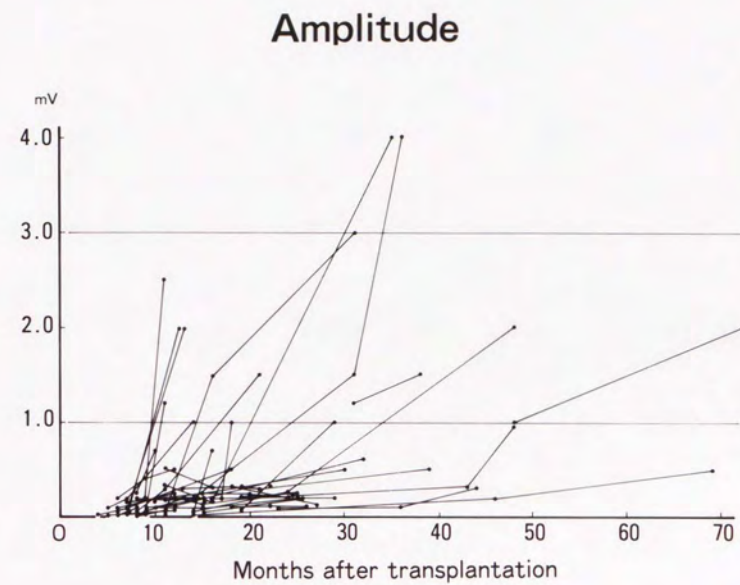


Fig.16 B : 誘発電位最大振幅の経時的変化 (全測定値)

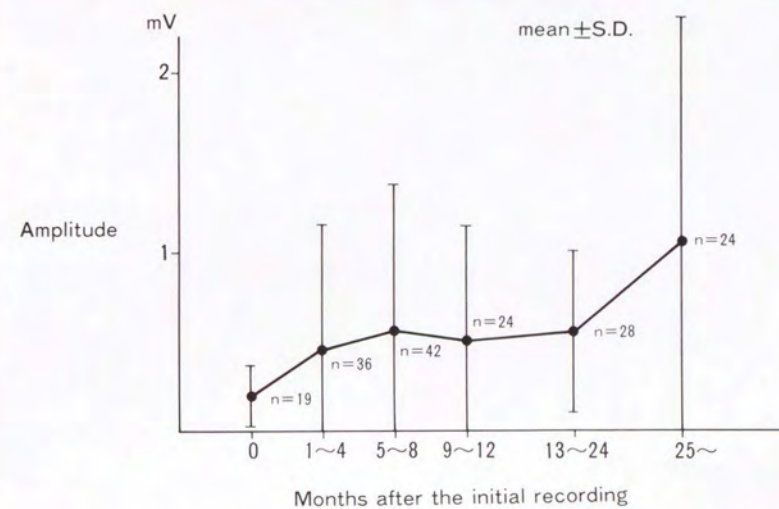


Fig.17 A : 誘発電位棘波数の経時的変化 (複数回測定例)

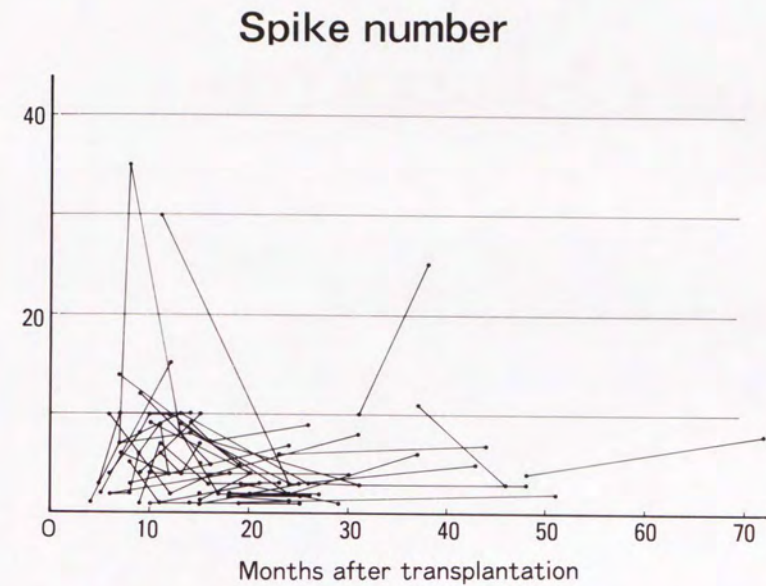


Fig.17 B : 誘発電位棘波数の経時的変化 (全測定値)

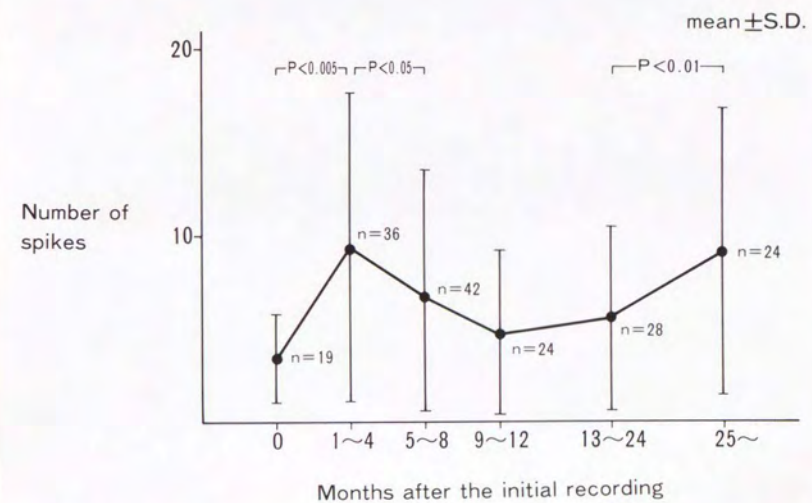


Fig.18 : 実際の記録波形 1

症例 : 27歳、男、ベル麻痺。

顔面交叉神経移植後9カ月目に薄筋移植が行なわれた。

移植後5カ月目にはじめて誘発電位を認めた。潜時は50msecちかくあり、持続時間の短い低振幅の波形であった。随意収縮時の活動電位も低振幅でinterference patternも2+と低い。7カ月目になると、誘発電位は多相性に変化するとともに潜時が著しく短縮した。それにともなって、随意収縮時の電位にも多相性の電位が多く見られるようになった。1年2カ月目では、誘発電位の潜時はさらに短縮し、各棘波が統合され、高振幅・多相性の電位が見られている。閾値比は次第に減少して1.0となった。

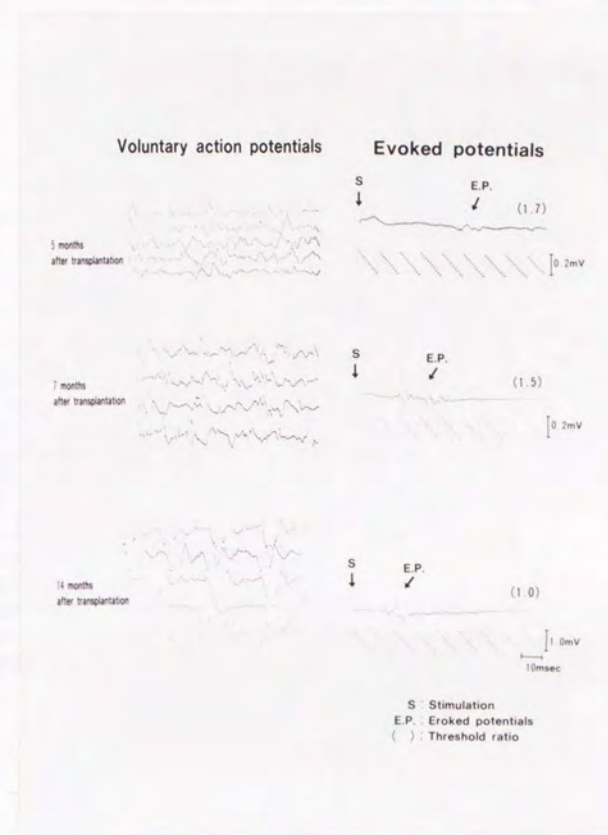


Fig.19 : 実際の記録波形 2

症例：29歳、男、脳出血後の麻痺。
顔面交叉神経移植後1年4カ月を経て
薄筋移植が行われた。

移植後6カ月目にはじめて誘発電位を認めた。
基線から立上がるわずかな高まりとして認め
られる。つねに同じ位置に出現すること、それ
以前の筋電図では認められないことで誘発電位
と確認された。9カ月目になると誘発電位の振
幅は増加し、明瞭な波形として認められるよう
になった。11カ月目には、多数の活動電位が
あらたに加わり、持続時間の長い多相性の波形
を示した。1年1カ月目では誘発電位の波形は
4相性の明瞭な波形となった。この間、潜時の
短縮が見られている。随意収縮時の筋電図では
時間的経過とともにinterference patternは密
となり、11カ月目には4+となった。

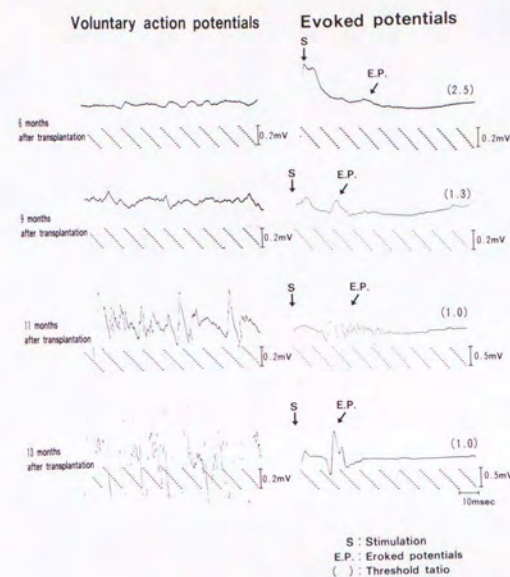


Fig.20 : 交叉神経移植から筋肉移植までの待機期間と
移植後移植筋に活動電位を認めるまでの期間
との関係

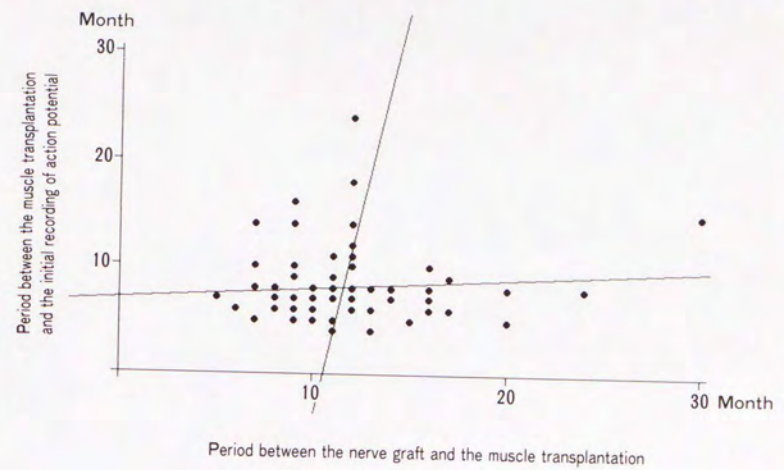


Fig.21 : ジッター値の経時的変化

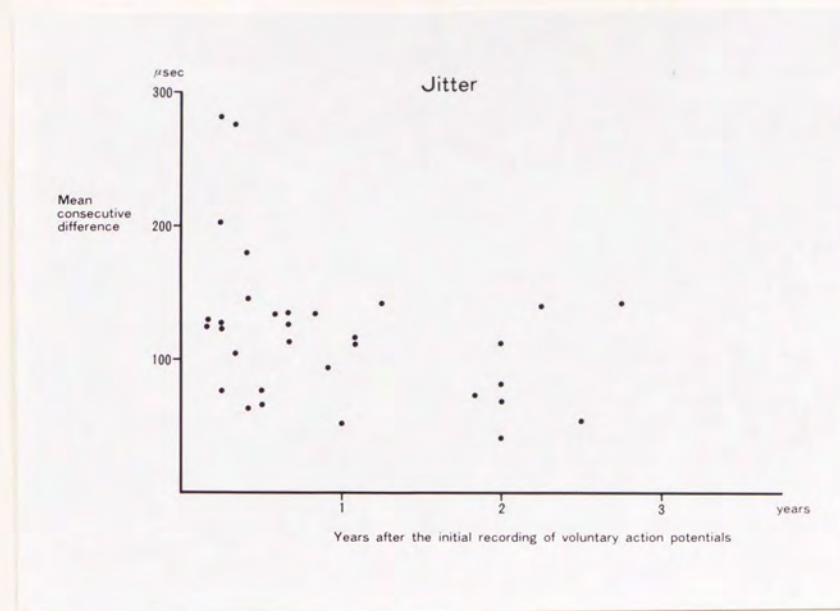


Fig.22 : 筋線維密度の経時的変化

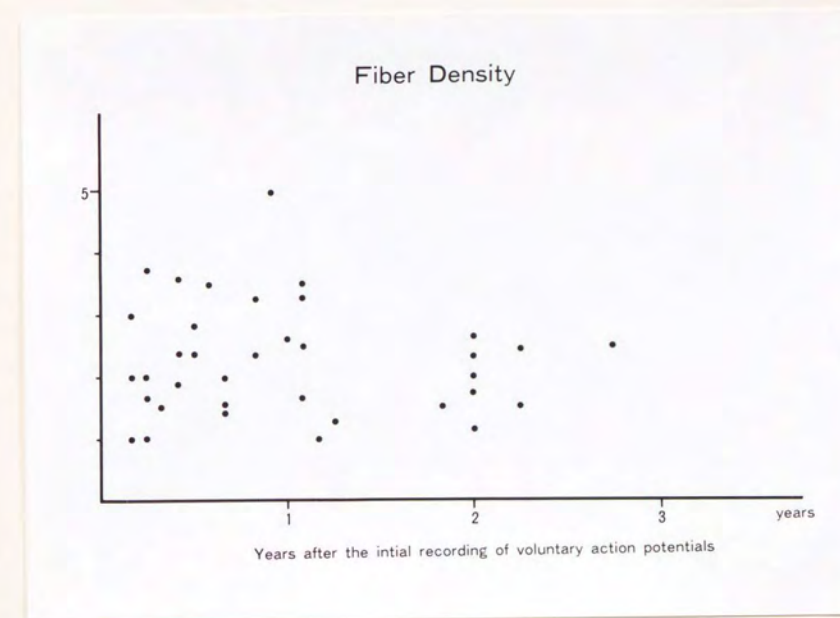


Table 9 : ジッター値と筋電図評価との関係
(随意収縮時電位出現後2年以上経過例)

Mean Consecutive Difference	EMG FINDING			
	EXCELLENT	GOOD	FAIR	POOR
> 100	1	2	0	0
< 100	1	2	1	0

(CASE)

Table 10 : 筋線維密度と筋電図評価との関係
(随意収縮時電位出現後2年以上経過例)

Fiber Density	EMG FINDING			
	EXCELLENT	GOOD	FAIR	POOR
> 2.0	1	2	1	0
< 2.0	1	3	0	0

(CASE)

Fig.23 : トータルパワー値の経時的变化

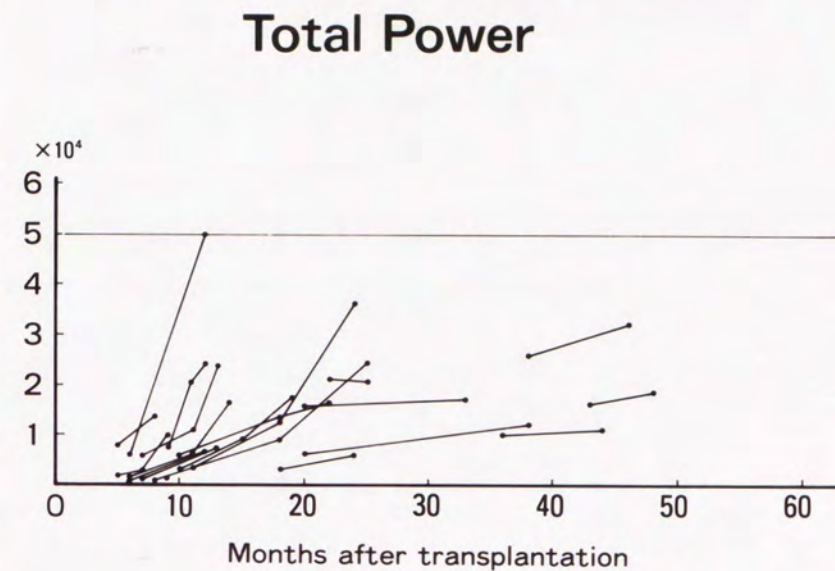


Table 11 : トータルパワー値とスペクトル波形との関係

RELATIONSHIP BETWEEN TOTAL POWER AND TYPE OF SPECTRUM

TOTAL POWER	TYPE OF SPECTRUM		
	FLAT	FLAT PEAK	PEAK
— 2000	6	0	2
2000—10000	8	12	30
10000—50000	0	8	39
50000—	0	2	6

(case)

Fig.24 : トータルパワー値とスペクトル波形の
ピーク周波数との関係

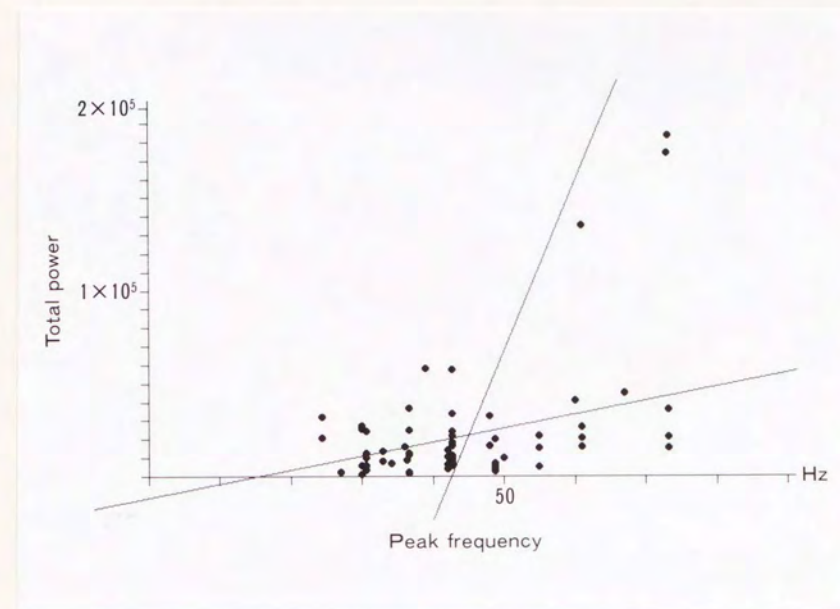


Fig.25 : 周波数分析の実例 (30歳、男、ベル麻痺)

A : 移植後8ヵ月

Flat type

B : 移植後11ヵ月

Flat type であるが、次第にピークがあらわれはじめている。

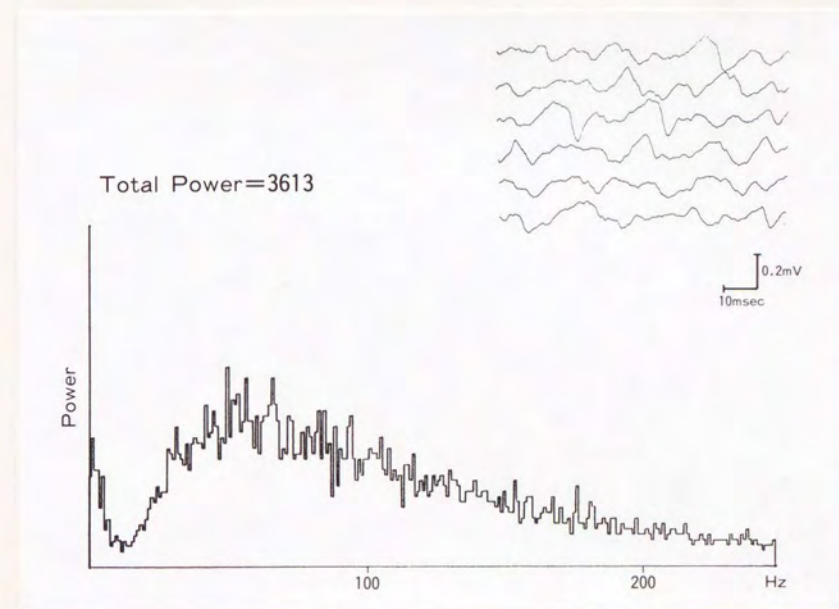
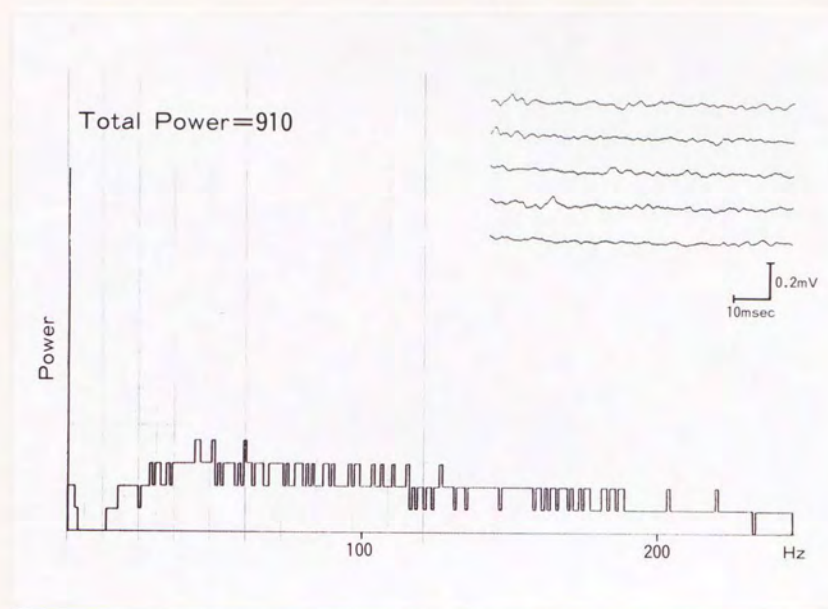


Fig.25 : 周波数分析の実際 (30歳、男、ベル麻痺)

C : 移植後1年6ヵ月

Flat peak type

D : 移植後2年

Peak type

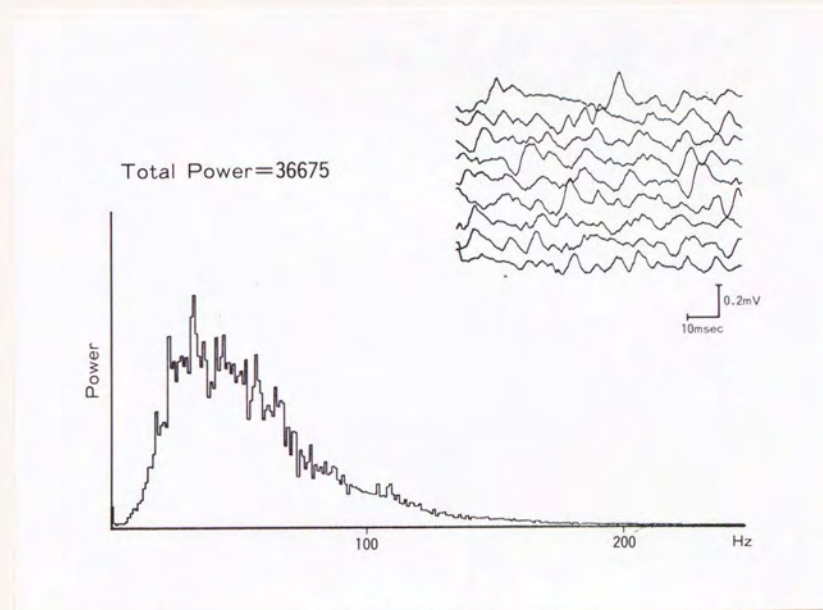
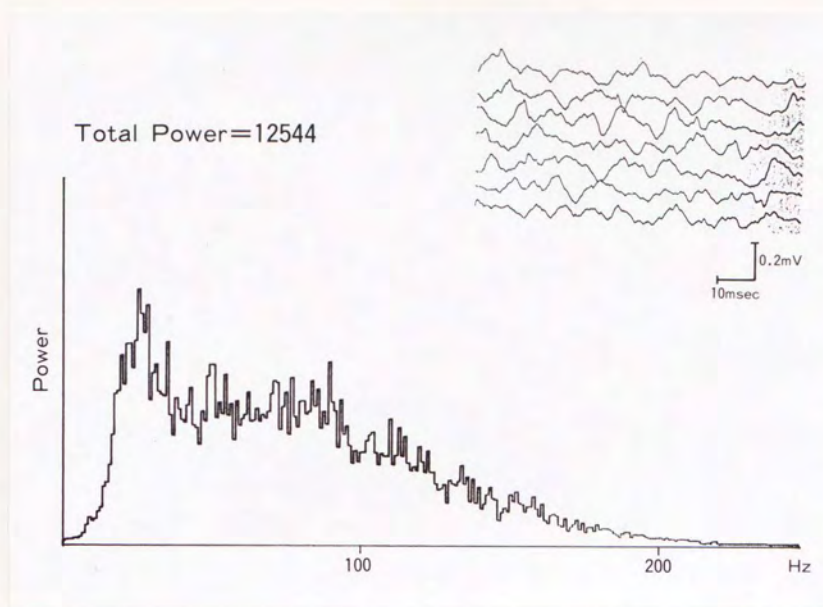


Table 12 : 筋肉移植時の年齢と筋電図評価の関係

AGE	EXCELLENT	GOOD	FAIR	FOOR	TOTAL
<20 y	4	5	6	2	17
21 y< <40 y	6	8	6	4	24
41 y< <60 y	6	8	11	4	29
61 y<	1	2	2	1	6

Fig.26 : 麻痺の程度と活動電位を認めるまでの期間の関係

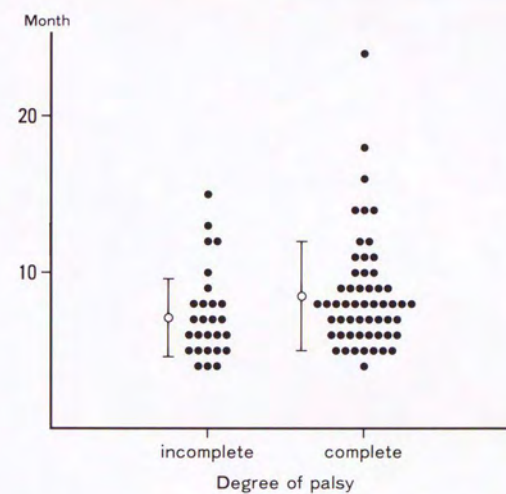


Table 13 : 麻痺の程度と筋電図評価の関係

DEGREE OF PALSÝ	EMG FINDING				TOTAL
	EXCELLENT	GOOD	FAIR	FOOR	
INCOMPLETE	8	7	8	3	26
COMPLETE	9	16	17	8	50

(CASE)

Fig.27 : 移植筋の生検像 (H.E.染色、左:x20、右:x100)

症例 : 20才、男、耳下腺腫瘍術後麻痺。
移植後3年。

ほぼ正常に近い像で、MILD TYPE
とした。

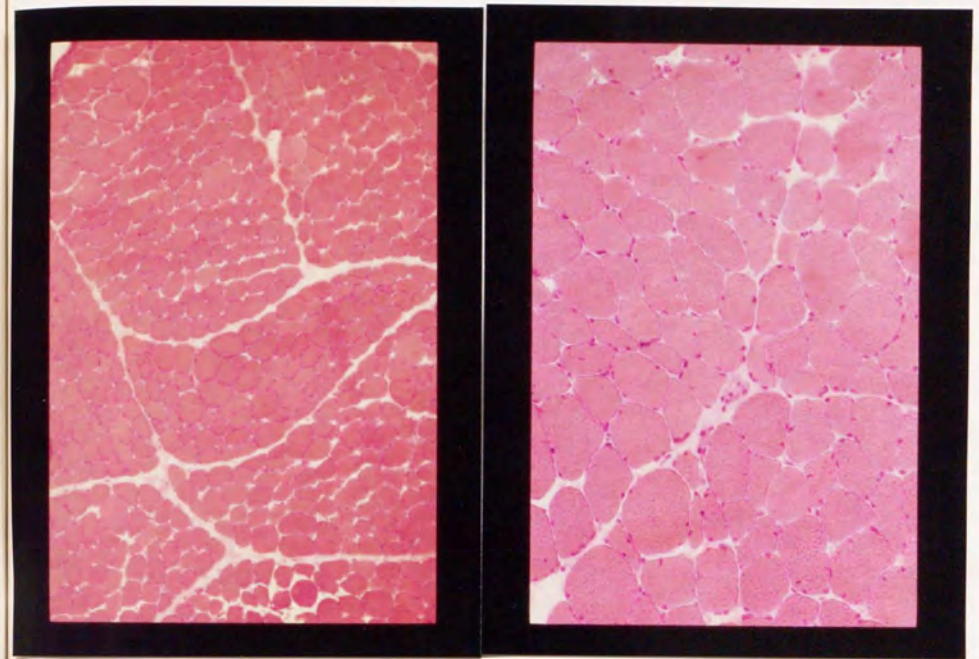


Fig.28 : 移植筋の生検像 (H.E.染色、右:x20、左:X100)

症例 : 66歳、男、ベル麻痺。
移植後2年2ヵ月。

筋線維直径の大小不同・間質部の
線維化が著しい。筋生検像の評価は
SEVERE TYPE とした。

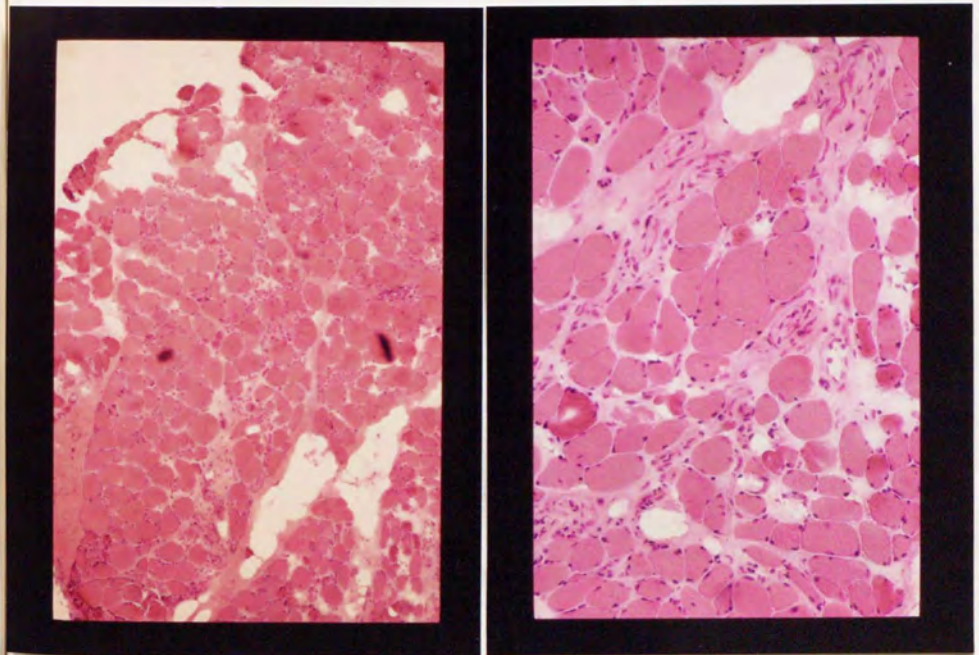


Table 14 : 筋生検所見と筋電図評価の関係

RELATIONSHIP BETWEEN MUSCLE BIOPSY AND EMG

FIBROSIS FATTY CHANGE	EMG FINDING			
	EXCELLENT	GOOD	FAIR	POOR
MILD	2	4	1	1
SEVERE	1	3	0	0

(case)

Table 15 : 移植筋の筋線維直径と筋電図評価の関係

FIBER DIAMETER (Mean)	EMG FINDING			
	EXCELLENT	GOOD	FAIR	POOR
>35 μ m	2	5	0	0
<35 μ m	2	7	1	2

(CASE)

Table 16 : 移植筋の筋線維直径の変動係数と
筋電図評価との関係
(変動係数 = 標準偏差 \times 1000 / 平均値)

VARIABILITY COEFFICIENT OF FIBER DIAMETER	EMG FINDING			
	EXCELLENT	GOOD	FAIR	POOR
> 400	1	7	1	1
< 400	4	3	1	1

(CASE)

Fig.29 : 顔面交叉神経の刺激伝導速度の経時的変化

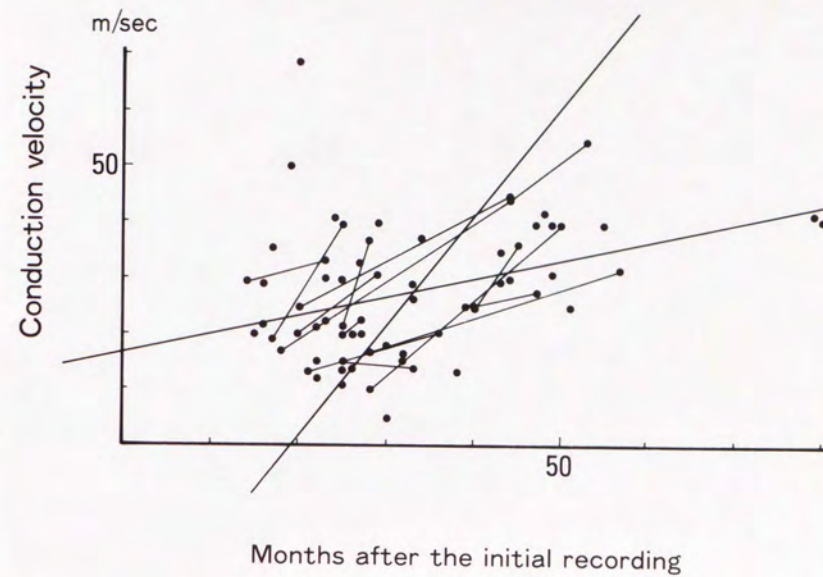


Fig.30 : 顔面交叉神経の刺激伝導速度と
年齢との関係

