

柔道 関節技の研究

(3) 神経・筋生理学的研究

東京大学 猪飼道夫

東京大学 浅見高明

東京医科歯科大学 佐々龍雄

関節技というものは、柔道において相手の関節角度を、最適範囲以外に固定することによって、その関節をとりまく筋の活動能力、すなわち、筋力を発揮できない状態に追いつめ、自己の立場を有利に展開しようというために行う技である。すなわち、関節にまたがる筋はその長さが、最適のときに、最高の能力を発揮できるわけで、この長さが過度にひきのばされた状態や、すでに短縮した状態では最高の筋力を発揮することはできない。これは生理学的に考えるとまことに興味のあることで、相手に危害を与えることなしに、筋の活動を制止している、いわゆる生理的制止法を利用しているわけである。しかも、関節技はこの状態を1歩進めて技を行っているわけで、このように相手の関節に運動の自由を与えない状態で、一つのとどめをさそうとしている。それは、活動が制止された関節に、生理的限界以上の負荷を与えることである。すなわち、関節は十字固めでは過度伸展が強制されるし、腕がらみでは、過度伸展のうえにねじりが与えられる。これは生理的限界以上の運動が強制されるわけであるから、まず第一に、痛みがおこるはずであり、第二には関節靭帯の過伸展、あるいはさらに進めば、第三に、関節の骨組織の傷害がおこる可能性がある。しかし、実際の技をかけるときには、相手の関節に、傷害を与えようという意図は全くなく、単に相手を技として制するため行うのであるから、受の方も痛みがおこったならば、すでに、完全に技として制せられていることを知り、取も完全に制したことを知り、そこで技は解かれるわけである。したがって、関節の痛みがおこったあとの技の進行はスポーツとしての柔道では望ましいものではない。しかし、時として技があまりにもすみやかに進行し、効果が敏速にあらわれたときには、関節の過度伸展その他の非生理的な負担がかかるようになる。したがって、このときの人体への効果を十分に明らかにしておくことが必要である。ここに本研究の出発点がある。本研究では、とくに筋および神経系を通してその効果をしらべることにした。

研究方法

研究方法としては、二つの方法を用いた。その一つは、受が座位で半仰臥の姿勢をとり、右腕を支持台面上に伸ばし、取が、実際の場合に準じて関節技を施すものであり、他の場合は、受は同様の姿勢をとるが、取が技を施すかわりに、肘を支点とし、前腕の末端部に機械的に荷重をかけるものである。前者によって、実際の場合に近い実験を行うことができるとともに、後者によっては与える荷重の大きさと生理的諸変化との間の関係をくわしく知ることができる。

1. 実際に技を施す場合

このときには、被検者として、杉山、高見沢、小林、佐藤、山岸の諸選手があたり、技を施すのはつねに松本芳三八段が当たった。このときの技は4種であり、これをさらに、受が抵抗しないとき

と、抵抗するときとに分けた。すなわち、次のように8種類である。

No. 1~2	十字固め	第一種	無抵抗	抵抗
No. 3~4	"	第二種	"	"
No. 5~6	腕がらみ	第一種	"	"
No. 7~8	"	第二種	"	"

ここにいう十字固め第一種は、手のひらを上に向けうでをのばした状態（手掌上位）でこれに肘関節が過伸展になるように負荷をかけるものである。十字固め第二種とは、おや指を上にして腕をのばした状態（母指上位）で、これに負荷を与え肘関節を過伸展するものである。腕がらみ第一種は、腕を肘関節でほぼ直角にまげ、前腕を外側に向けて捻じるものであり、手は回外の位置をとる。腕がらみ第二種は、腕を肘関節で直角にまげたのち、前腕を内側に向けて捻じるものであり、手は回内の位置をとる。このとき直径10mmの円型表面電極を筋線維の方向に3cm間隔で、三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、橈側手根屈筋、および橈側手根伸筋の表面にはり、これから増幅器を通し、多元電気記録装置に導き、インク書きオシログラフにより筋電図を記録した。また前頭部、および後頭部に導出電極を、無関電極を耳朵にはり、同時に脳電図の記録をとった。また、胸部の胸骨上縁部および心尖部に電極をはり、これから心電図の記録を行った。また、硫酸銅液を充たしたゴム管を胸にまき、胸廓の運動によるゴム管内の電気抵抗の変化が記録できるようにし、これによって呼吸運動を記録した。

取は、受の側方に座り、被検者の右腕をとり、左手で受の上腕を固定し、右手で受の前腕あるいは手をつかみ、準備の姿勢をとって構える。ここで「用意」の合図でいつでも技をかけることのできる態勢にはいる。そして「はじめ」の合図で、技をかけ、被検者（受）の「まいった」という合図で取は技を解く。

2. 機械的負荷の場合

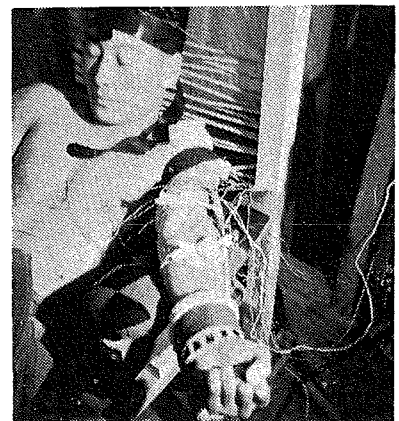
この場合は、さきに行った施術の場合の十字固の第一種と第二種に相当するものを機械的負荷を与えることによって行った。なお、第一種、第二種ともに、受が全く抵抗を示さぬときと、抵抗を示すときとをふくむので、次のようである。

No. 1~2	十字固め	第1種	無抵抗	抵抗
No. 3~4	十字固め	第2種	無抵抗	抵抗

まず受けとなる被検者の肘関節の障害の有無をしらべてから、実験椅子に深く腰掛けさせ、肩関節が移動することのないように、帯でしっかりと固定し、肘関節の位置を支点とし、肩、肘、手首を水平になるように保った。そこで手首に布製のベルトをかけこのベルトにつけたケーブルの張力を次第に増大するようにしかけ、肘関節が過伸展の負荷に耐えられなくなり、被検者が「参った」という合図をするまでひっぱり、この時の張力を Cabletensiometer（万能力量計）で測定する。この Cabletensiometer の目盛盤の数字をよみとり、あとで換算表によってよみかえるようにした。また同時に、筋電図、脳電図、心電図、精神電流現象、および関節角度の測定を行った。

筋電図は前と同様に、三角筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、橈側手根屈筋、橈側手根伸筋から記録した。脳電図は前頭部頭頂部、後頭部から誘導した。心電図は胸部誘導法にて V₄

第1図



で記録した。このほか、精神電流現象を手掌部と手背部に電極をおいて脳波計で記録した。

さらに、関節角度計 Electrogoniometer を用い、肘関節の角度の変化を脳波計に入れて記録した。また、肘関節が負荷に耐えられなくなる限界値（限界負荷）を Cabletensimeter で測定するとともに、その被検者が肘関節角度を90度に屈曲したときの最大屈腕力を測定した。さらに、関節技が効くまでの時間、すなわち必要時間を測定した。これには、マイクロフォンを用い「はじめ」および「まいった」の時刻を記録に同時にとった。機械的負荷の実験に参加した被検者は、中沢、浜野、都沢の各二段、芳賀、高見沢の各三段、片岡、佐藤、浅見の各四段である。年令は18~25才にわたる。

実験結果

実験結果を二つに分けて述べる事ができる。その一つは、関節技をかけたときにあらわれる身体的な変化であり、他の一つは、関節技をかけられたときの耐久力の強弱を決定する因子についての測定結果である。

1. 関節技に伴う生理的变化

(1) 筋電図の変化

(a) 実際の施術の場合

十字固め第一種では、無抵抗の場合に、上腕二頭筋にいちばん大きく、これについて橈側手根屈筋と三角筋に筋電図の放電が見られる。これにたいし上腕三頭筋や、橈側手根伸筋には、放電は見られない。しかし、抵抗する場合には、上腕二頭筋と、橈側手根屈筋の放電が著明に増大するほかに、三角筋、上腕三頭筋、橈側手根伸筋にも放電があらわれる。この場合には、手掌を真上に向けており、負荷は腕の屈筋にまともにかかるように見うけられる。これにたいし、十字固め第二種では、様子が少しことなり、無抵抗の場合には、筋電図の放電はきわめて僅かであり、上腕二頭筋、橈側手根屈筋、橈側手根伸筋にわずかの放電が認められるにすぎない。また、抵抗の場合には、上腕二頭筋、橈側手根屈筋にやゝ著明な放電があらわれるが、三角筋、橈側手根伸筋にはわずかの放電しかあらわれない。第二種では肘関節は真上を向っているが、おや指が上に向っているので、前腕骨が回内の位置にある。この場合の負荷は、上腕、前腕の上記の四つの筋よりも、腕関節をめぐる小さい筋や靭帯にかかることが考えられる。

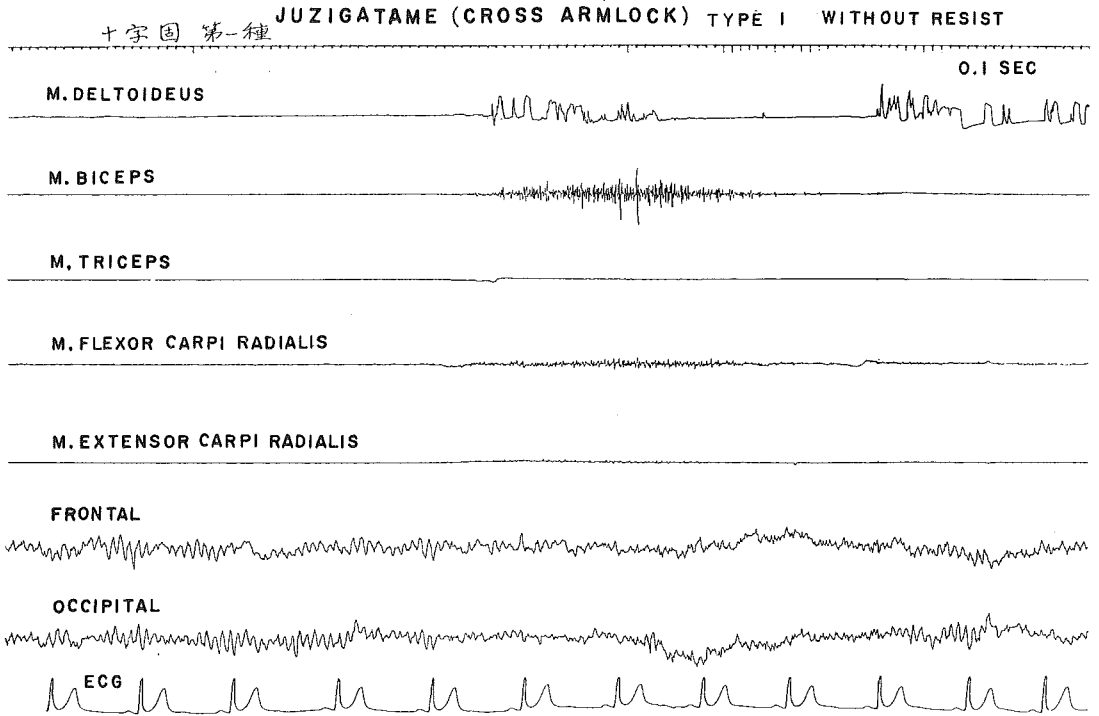
うでがらみ第一種・無抵抗の場合には、上腕二頭筋に最も大きい放電がおこるが、他の三つの筋にも弱い放電が見られる。抵抗の場合にも、これと同様であり、上腕二頭筋の放電が最も著明であり、橈側手根屈筋がこれに次ぎ、三角筋と上腕三頭筋がこれにつづく。この場合には上述の如く、前腕が肘関節で屈曲し、強く回外を強制されるわけである。

うでがらみ第二種、無抵抗では、上腕二頭筋の放電のほかに、三角筋の放電が強くなり、上腕三頭筋、橈側手根屈筋の放電がこれにつづき、橈側手根伸筋の放電はあらわれない。抵抗する場合でも、だいたい上記と同様であるが、三角筋の放電が優位である。この場合には、前腕が肘関節で屈曲し、強く回内を強制されるわけである。

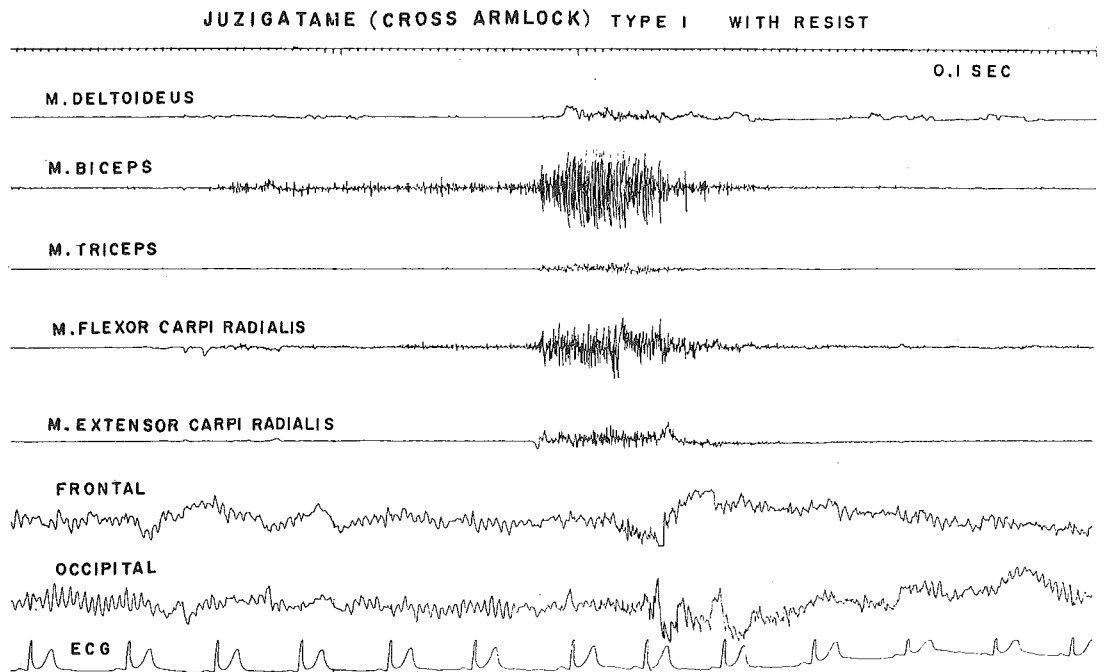
(b) 機械的負荷の場合

十字固め第一種、無抵抗の場合には、上腕二頭筋に大きい放電があるが、上腕三頭筋、橈側手根屈筋、橈側手根伸筋には、放電は見られない。これにたいし、抵抗する場合には、上腕二頭筋と、橈側手根屈筋に著明な放電があり、橈側手根伸筋、および上腕三頭筋にも放電があらわれる。これは、実際の施行の場合によく似ている。これにたいし、十字固め第二種では、無抵抗のとき、上腕

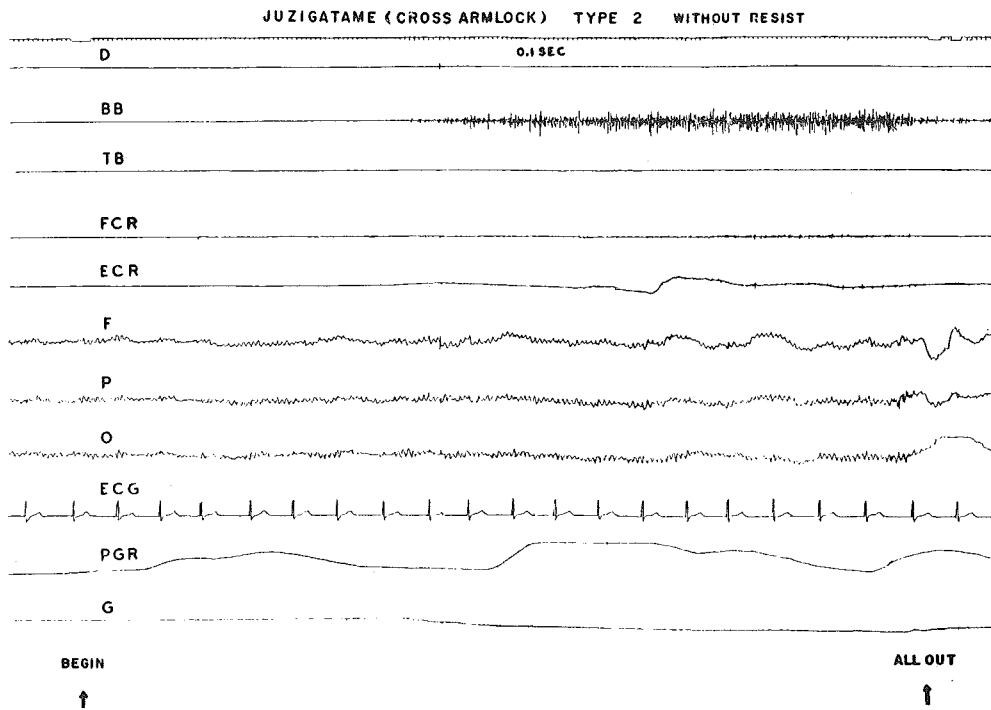
第2図 十字固め, 第一種, 無抵抗のときの筋電図, 脳電図, 心電図



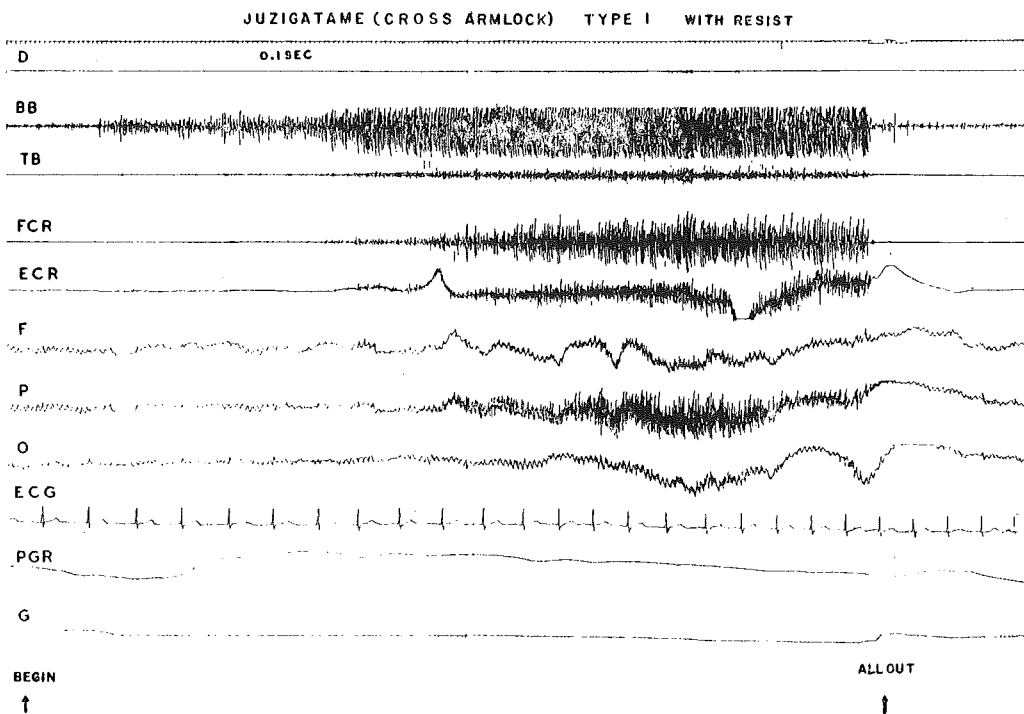
第3図 十字固め, 第一種, 抵抗のとき



第4図 十字固め, 第二種, 無抵抗のときの筋電図, (D-ECR), 脳電図 (F-O), 心電図 (ECG), 精神電流現象 (PGR)



第5図 十字固め, 第二種, 抵抗のとき



二頭筋に放電があるほか、他の筋群には放電はあらわれない。抵抗する場合には、上腕二頭筋に最も著明な放電がおこり、橈側手根屈筋がこれに次ぎ、橈側手根伸筋には全く放電は認められない。このように、十字固め第二種でも、施術の場合と機械的負荷の場合とは、筋電図の放電様式はよく似ている。機械的負荷では、うでがらみは行っていない。

(2) 脳電図の変化

(a) 実際の施術の場合

脳電図の変化は筋電図に見られるほど各人に共通な現象が少く、個人差が目立ってくる。ここには、第2図に示すような1例(山岸)について観察してみよう。脳電図は被検者が座位閉眼で前頭部および後頭部から単極誘導法により、誘導記録したものである。

十字固め第一種、無抵抗では、 α 波がつづいて出ているが施術の用意で急激に α 波が消失して β 波があらわれてくる。この状態がつづき、「まいった」という時期がすぎ、2~3秒で α 波が再びあらわれはじめ、その後は β 波と α 波とが交互にあらわれてくる。そして、10数秒の後には、また α 波の持続する状態となる。抵抗の場合には、施術の用意のときから、 α 波が時々消失して、 β 波に交代しているが、施術の開始の「はじめ」の合図から、 α 波が急激に消失し、「まいった」という時期には、振動数の多い波が混入している。技を解いたあとはしばらく β 波が優越しているが、数秒で α 波があらわれてくる。

つぎに十字固め第二種についてみると、無抵抗の場合にも、施術の「はじめ」から α 波が少くなり β 波に移行しているが、「まいった」後はすみやかに α 波が再現している。抵抗の場合には、施術に先立って用意のころから α 波が消失して、 β 波にかわっている。しかし「はじめ」の直前に、前頭部、後頭部脳電図に α 波が著明にあらわれていることは注目すべきことである。そして、施術により筋電図の放電があらわれはじめの頃には、また脳電図の α 波は消失して β 波にかわってきている。そして「まいった」という時期に脳電図の電圧、振幅数が増大している。技を解いてから、数秒で α 波が再現する。

うでがらみ第一種無抵抗の場合には、施術に先立って「用意」のあとで、 α 波は減少しているがかえって「はじめ」の直前に α 波が著明にあらわれる時期がある。これは「用意」という合図と、「はじめ」という合図とが一定の間隔で行われるときのその中間の時期に位するものである。うでがらみ第一種、抵抗の場合では「用意」の合図で α 波が消失し、その後2~3秒たち施術の開始、「はじめ」の直前に、 α 波が復活しており、施術により、筋電図の増大する時期に α 波は消失し、 β 波にかわっているが、「まいった」というあと、2~3秒で再び α 波があらわれる。うでがらみ第二種、無抵抗では施術の前「用意」のときから β 波があらわれている。抵抗の場合では、施術の前に β 波になっていたものが、直前では再び α 波が著明になり、施術に入って β 波にかわっている。

以上を通じて認められる特長は、脳電図が施術の間は、技の種類の如何にかかわらず α 波が消失して β 波にかわっていること、また時としては、振動数の多い波、あるいは電圧の大きい波があらわれる。また施術終了後にも β 波が2~3秒くらいつづいてから、 α 波が回復することである。また、施術の前に用意という合図により α 波が消失したあと、施術の直前にかえって α 波が再現していることである。

このほか、佐藤でも、 α が見られるが、施術の直前に β 波にかわり、施術と同時に電圧の大きい興奮波にかわっている。杉山は大きい α 波を示すが、施術に先立って α 波は消失して β 波にかわるが、やはり施術の直前に再び α 波があらわれる。「まいった」の直後から、1~2秒で、すみやかに α 波が再現している。高見沢では、 α 波は一般に小さいが、施術の前から次第に β 波が優越しており

施術中は電圧振動数の多い興奮波に移っている。「まいった」あと、 α 波の回復には30秒以上かかっている。小林では α 波がよくあらわれるが、とくに施術の直前に α 波が後頭部脳電図によく現われる。施術中は振動数、振幅の大きい波になり、この波は施術を終了したあとにつづく。しかし、施術終了後2～3秒で α 波が再現している。

(b) 機械的負荷の場合

この場合には、第4図に見るように、上から前頭部(F) 頭頂部(P) 後頭部(O)の脳電図である。被検者はすべて閉眼座位である。

十字固め第一種、無抵抗の場合には、 α 波が優越してあらわれているが、負荷が増大してくるにつれて、精神電流現象の波が大きく動揺する頃から、 α 波が途切れるようになる。しかし、これから、更に進行すると再び α 波が現われるが「まいった」という直前(1～2秒)に、前頭部、頭頂部に β 波および速波がみられる。また「まいった」あと、2～3秒に α 波は消失し、 β 波が優越している。「まいった」という時期に精神電流現象は大きくゆれている。

十字固め第一種、抵抗の場合には、やはり精神電流現象の動揺のあらわれたあと、前頭、頭頂、後頭部の脳電図の α 波は途切れるようになり、この間に β 波が交代するようになる。さらに技が進行し、負荷が強くなるにつれて、脳電図は電圧も、振動数も大きいものにかわってくる。「まいった」という時期のあと、負荷が解放されたときには、脳電図は直ちに β 波にかわり、1～2秒で α 波が再現している。

十字固め第二種、無抵抗の場合には、精神電流現象のふれがあらわれる時期から脳電図の α 波が β 波と周期的に交代してあらわれるが、「まいった」という時期の前にも依然として α 波が残っている。そして「まいった」あと、負荷が解放された直後に、かえって β 波が優越している。

十字固め第二種、抵抗の場合には、負荷をかける初期にわずかに β 波の出る時期がある。負荷が増加してきて、再び精神電流現象がふれを示し、筋電図の放電が大きくなっていく時期から、 β 波というよりも、むしろ振動数電圧の大きい脳電図にかわってくる。そして、十字固め第一種、抵抗の場合と同様に認められることは、頭頂部脳電図に著明な電圧と振動数の増大があることである。そして、「まいった」という時期のあとで、 β 波が優越し、2～3秒で α 波が再現し、さらに β 波と α 波とが交互にあらわれているようになる。

これらを通じて認められることは、実際の施術の場合にくらべて、機械的負荷ではとくに無抵抗のときの脳電図の変化が少いことであり、ほとんど「まいった」という時間にいたるまで、 α 波がつづいている。これは負荷のかかりかたが緩慢なせいもあると考えられる。また、変化のある場合には、負荷の進行につれ、 α 波が β 波の出現により、周期的に中断されるようになる。8名の被検者のうち、あまり変化しないものが2名、周期をもって α 波と β 波とが交互にあらわれるもの2名さらに α 波と β 波とが交互にあらわれた、大きい電圧と振動数をもつ波をあらわすもの4名である。「まいった」という時期の直後の2～3秒は、すべての例において β 波が優越している。

(3) 精神電流現象

機械的負荷の場合に、手掌と手背にあてた電極を通じて、精神電流現象を測定した。大部分のものが、負荷開始前から動揺を示すことがあるが、いよいよ負荷が増加するにつれて、曲線の動揺ははげしくなり、精神的興奮の高まりを示している。また、負荷を除去した後ではすみやかに動揺は消失する。また十字固め第一種、第二種を通じて、無抵抗のものより抵抗の場合の方が、動揺ははげしい。また、第一種(手掌上向き)よりも、第二種(おや指上向き)の方が、精神電流現象曲線の動揺が大きい。また脳波にあまり変化を示さない例では、精神電流現象にも大きな変化を示さないことが多い。

(4) 呼吸運動の変化

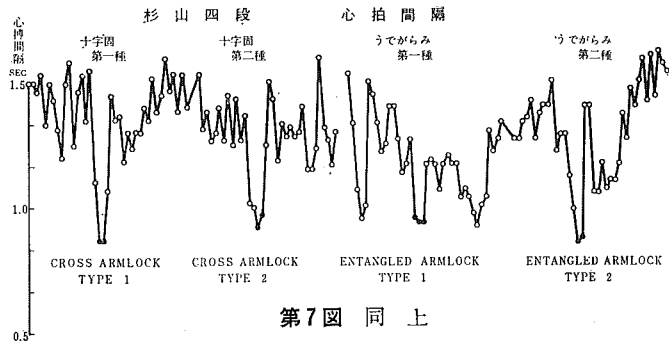
呼吸運動の変化については、実際の施術の場合についてだけ記録したが、施術と同時に吸息の状態では呼吸運動が停止し、施術を解くと同時に瞬間的な呼息をおこし、それ以後大きい呼吸運動を示してしだいに回復する。回復に要する時間は5〜6秒である。

(5) 心搏間隔の変化

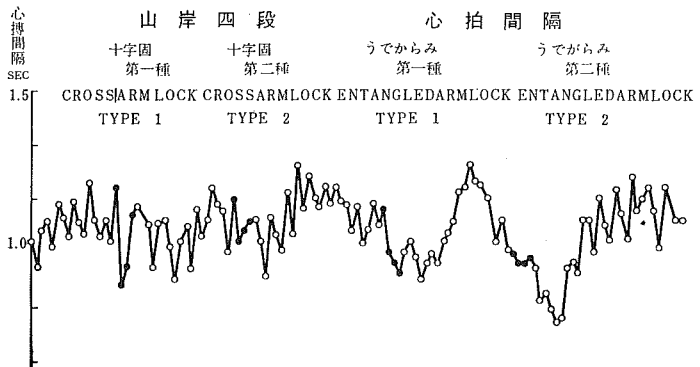
(a) 実際の施術の場合

胸部誘導心電図の記録から施術のときの心搏間隔の変化を観察した。各被検者別にながめると次のようになる。第6図(杉山)では施術中、心搏間隔が最小値を示すことが明らかとなる。しかし、回を重ねるにつれて、施術に先立って心搏間隔は減少を示すようになってくる。一般に技を解いたあとの心搏数の回復はすみやかである。第7図(山岸)の例では、十字固め第一種で、技をかけたところで急激に心搏間隔が減少しているが、技を解くとともに回復している。十字固め第二種では心搏間隔の減少は僅かであるが、技を解いたあとの徐脈が著明

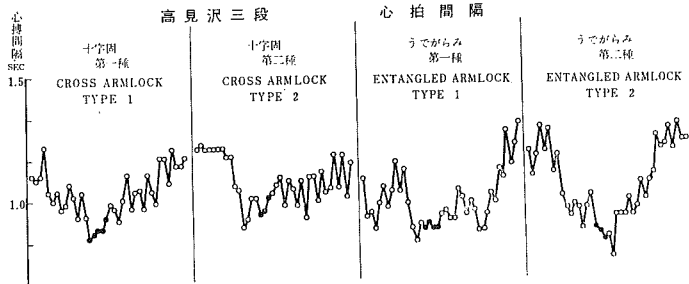
第6図 十字固め、うでがらみのときの心拍間隔



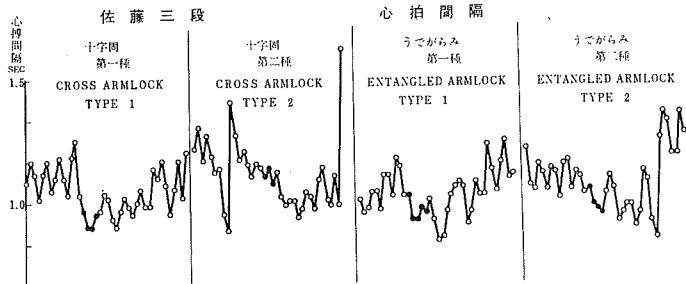
第7図 同上



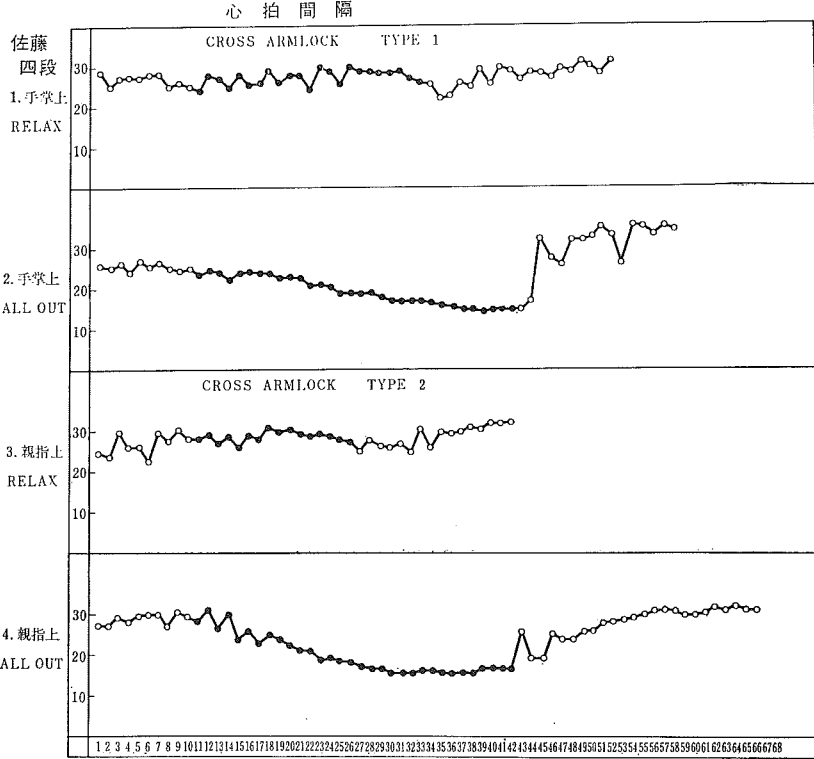
第8図 同上



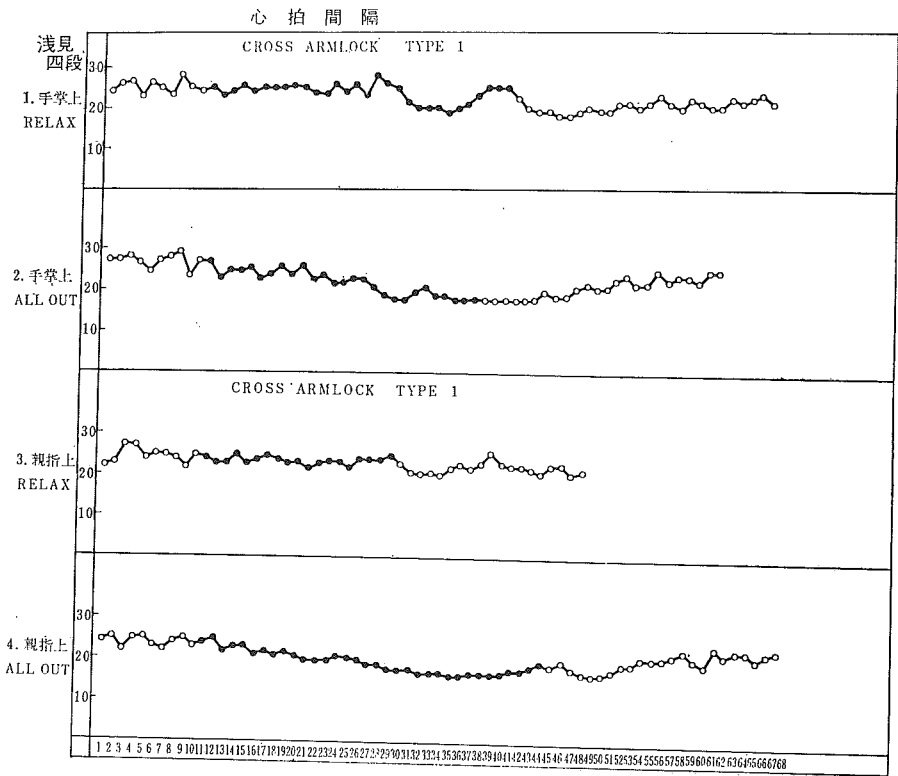
第9図 同上



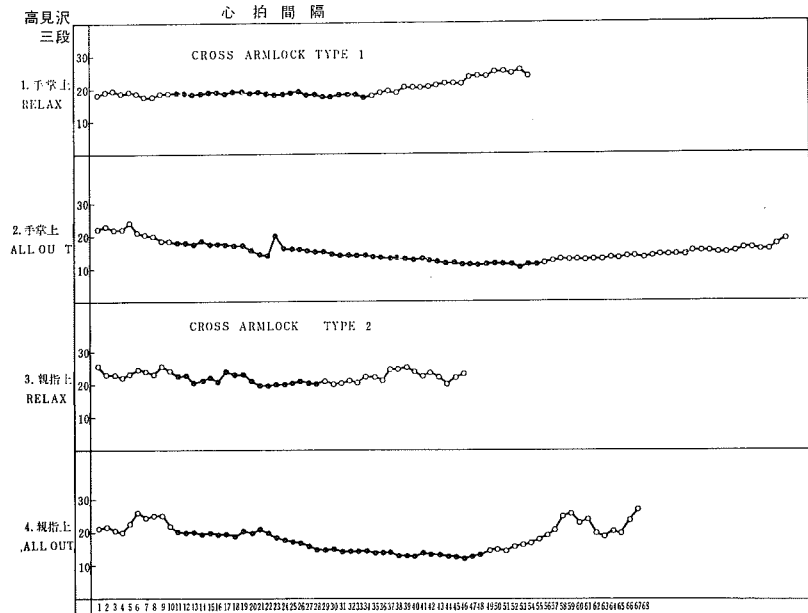
第10図
佐藤
四段
十字固めするとき
の心拍間隔



第11図
同上



第12図
十字固めのとき
の心拍間隔



となる。さらに、うでがらみ第一種、第二種と回を重ねるにつれて、施術に先立って心搏間隔の減少があらわれるようになり、施術のあとの心搏間隔の縮少は更に著明になる。

高見沢についても同様のことが見られる。(第8図)。

佐藤の場合は、多少不規則であるが、類似のものといふことができよう。(第9図)

これらを通じて認められることは、心搏間隔は、施術と同時に「はじめ」から最短になることが多く、技を解くとともにすみやかに回復することである。しかし、回を重ねるにつれて施術の「はじめ」に先だって心搏間隔が短縮を示すようになる。

(b) 機械的負荷の場合

この場合には、技の効果が徐々に加わるので「まいった」にいたる時間も長く、したがって心搏間隔の減少していく経過もゆるやかである。第10図に示すように無抵抗のときには、十字固め第一種、第二種ともに、心搏間隔の短縮は軽度であるとともに、不規則な変動がある。これにたいし、抵抗の場合には、負荷の増大とともに心搏間隔は次第に短縮していくことが見られる。また抵抗の場合には負荷を解除した直後、心搏間隔は急激に増大している。第11図は他の例(浅見)であるが、同様に抵抗の場合には、心搏間隔の短縮が次第に著明になっている。しかし、負荷を解除した直後の心搏間隔の急激な増大は認められない。第12図では上記2例と同様の変化を示している。

これから認められることは、抵抗のあるときの方が、無抵抗のときより心搏間隔の短縮が著明なことであり、また心搏間隔の不規則な変動が少いということである。

(6) 心電図の変化

胸部誘導心電図のR棘の高さは、施術中低下していることが見られる。すなわち、施術前にR棘は、0.90mVであったものが、施術により、0.65~0.70mVに減少することが認められた。しかしT棘には著明な変化は認められない。またR棘の変化は無抵抗の場合にはあまり変化しないことが多い。心電図の形には変化はない。

2. 関節技の効果を支配する因子

(1) 関節技が効くまでの「必要時間」

関節技をかけるとき、「はじめ」から、「まいった」にいたるまでの時間を測定すればこれは技が効くまでの「必要時間」とすることができる。これにより、技の効きめを比較することはできる。

(a) 実際の施術の場合

マイクログフォンで声を記録したものから、その時間を測定すると、第1表のようになる。すなわち十字固め第一種が、第二種より、またうでがらみ第一種が、第二種より「必要時間」が長い。すなわち、十字固めではおや指上のおきの方がはやくまいる。またうでがらみでは前腕の内旋のおきの方が早くまいることになる。

(b) 機械的負荷の場合

機械的負荷の場合には、実際の施術のおきより、負荷のかかりかたが緩慢であるので、「必要時間」も長くなっているのは当然である。この場合には、十字固め第一種無抵抗および抵抗、ならびに十字固め第二種の無抵抗と抵抗の場合である。第2表にその結果を示す。

これを見ると、抵抗のあるおきの方が「必要時間」は長い。すなわちがんばりがきいていることを示す。また、十字固め第二種（おや指上）のおきの方が、十字固め第一種（手のひら上）のおきよりも必要時間が短く、はやくまいることを示している。

第1表 実際の施術による「必要時間」

	十字固め 第一種	十字固め 第二種	うでがらみ 第一種	うでがらみ 第二種
杉 山	1.8秒	1.5秒	2.1秒	1.0秒
高 見 沢	3.3	1.9	3.0	1.3
小 林	1.0	0.9	1.2	1.0
佐 藤	3.2	1.7	3.5	1.9
山 岸	2.0	1.4	5.0	3.0
平 均	2.2	1.5	2.9	1.6

第2表 機械的負荷による「必要時間」

	十字固め 第一種 (無抵抗)	十字固め 第一種 (抵抗)	十字固め 第二種 (無抵抗)	十字固め 第二種 (抵抗)
佐 藤	23.6秒	22.5秒	20.2秒	25.4秒
浜 野	25.7	46.6	13.9	29.7
浅 見	27.6	22.6	18.4	24.5
高 見 沢	16.5	24.8	13.4	23.5
都 沢	24.7	42.8	21.7	30.7
平 均	24.6	31.9	17.5	26.8

(2) 関節技が効くおきの「限界負荷値」

実際に施術するおきには、どれくらいのお力が作用したおきに「まいる」かを、量的に測定することが困難である。この測定を容易にするために、機械的負荷の場合に「まいった」おきの瞬間の負荷の大きさを Cable-tensiometer で測定することにより、これを「限界負荷値」とした。これによると第3表に示すようになる。因みに表には肘を直角にまげたおきの腕屈筋力を記入し比較の便とした。

これによると、十字固め第二種の方が、より小さい力で「まいる」ことがわかり、なお無抵抗の方が容易に「まいる」ことが明らかとなる。そして「限界負荷値」には相当に大きい個人差があることがわかる。

(3) 限界負荷値と最大筋力との関係

肘関節における「限界負荷値」と、肘関節を直角に屈曲したおきの、最大筋力との関係をしらべた。その結果は、第13図（および第3表）に示すように、全く相関は認められない。すなわち、肘屈曲筋の最大筋力が大きいものが必ずしも、強い負荷に耐えられるものとはいえない。すなわち、極端な例をあげれば、中沢は最大筋力が54.5kgであるにも拘らず、限界負荷値は11.2kgであり、関節の耐久力が小さい。これにたいし、都沢では、最大筋力は29.2kgであるにもかかわらず、限界負荷

値は20.0kgであり、関節の耐久力が大きい。

このような極端な場合をもふくめて、平均値で見ると、無抵抗の場合は、最大筋力の $\frac{1}{3}$ が限界負荷値になり、抵抗の場合には最大筋力の $\frac{1}{2}$ が限界負荷値になる。したがって、がんばらないときは、少くとも最大筋力の $\frac{1}{3}$ 以上の力を与えないよう、またがんばった場合には、最大筋力の $\frac{1}{2}$ 以上の力を与えないようにしなくてはならない。

(4) 関節技が効くときの「限界関節角」

機械的負荷では、技が進行するにつれていかに関節角が変化し、また、「まいった」というときは、いかなる角度を示すかを測定した。

その結果、負荷開始時の角度が、各人によりまちまちで完全に180度にならなかったが、開始時と参った時の角度差を見ると大体5~8度で、それ以上曲る事はまれであった。

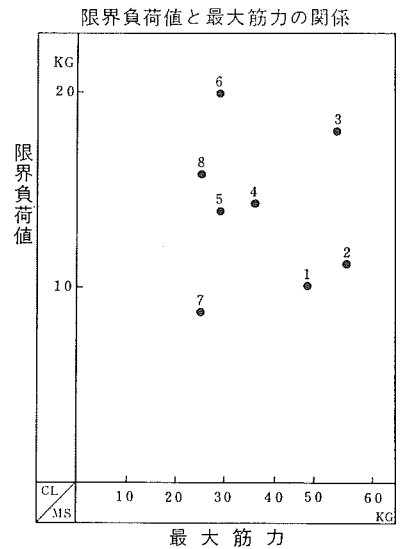
第3表 肘関節における「限界負荷値」並に腕屈筋力

	十字固め第一種		十字固め第二種		限界負荷平均	最大筋力
	無抵抗	抵抗	無抵抗	抵抗		
片岡	5.0kg	17.8kg	8.7kg	8.7kg	10.1kg	46.6kg
中沢	8.7	16.0	5.1	14.7	11.2	54.5
芳賀	13.8	22.0	18.0	18.1	18.0	52.5
浜野	7.3	21.0	6.0	22.8	14.3	36.0
佐藤	5.3	23.8	5.8	20.7	13.9	29.0
番沢	19.3	25.6	12.5	22.6	20.0	29.2
高見沢	8.7	9.0	5.4	11.8	8.7	25.2
浅見	11.6	22.2	9.8	19.4	15.8	25.5
平均	1.0	19.6	8.9	17.4	14.0	34.1

第4表 肘関節の「限界関節角」

	十字固め 第一種		十字固め 第二種	
	無抵抗	抵抗	無抵抗	抵抗
片岡	162°→163° (1°)	160°→164° (4°)	163°→165° (2°)	161°→165° (4°)
中沢	187 →194 (7°)	186 →194 (8°)	188 →194 (6°)	187 →194 (7°)
芳賀	150 →158 (8°)	153 →158 (5°)	150 →154 (4°)	150 →156 (6°)
浜野	183 →191 (8°)	181 →191 (10°)	184 →190 (6°)	184 →191 (7°)
佐藤	181 →190 (9°)	183 →189 (6°)	174 →176 (2°)	173 →181 (8°)
都沢	161 →165 (4°)	154 →158 (4°)	154 →162 (8°)	154 →162 (8°)
高見沢	162 →176 (14°)	160 →166 (6°)	160 →166 (6°)	162 →176 (14°)
浅見	188 →196 (8°)	186 →192 (6°)	184 →192 (8°)	186 →193 (7°)

第13図



数字は肘関節角度を示し、矢印は伸展の方向を示す。カッコ内の数字は角度変化である。

論 議

以上実験成績で述べてきたように、本実験は、実際の施術と、機械的負荷との二つの方法によっている。前者は、関節技の実際とできるだけ同一の条件を再現して、その生理的変化を追究しようとしたものであり、後者は実際とは多少の相違はあっても、その条件の分析が可能ないようにしたものである。

まず、関節技の実施に伴う生理的変化を、実際の施術と、機械的負荷とをあわせて論議する。

関節技によって受がどんな生理的変化をうけるであろうかということは、実験に先立っても或程度予想される。なかでも最も重要なものは関節における疼痛であろう。そして、受はこの疼痛のため「まいった」の合図をするわけである。これは「がんばらない」（無抵抗）場合でも、また「がんばった」（抵抗）場合でも、同様である。そして、取が受に疼痛を与えることが、この技の生理的特長の一つである。この疼痛の感覚は、神経系統を介して、体性神経性、および、自律神経性の反射をひきおこすであろうし、また中枢神経系、とくに大脳の興奮水準をかえるはずである。またこのような疼痛の原因となる関節の他動的強制伸展を防ぐためには、受のからだに何らかの積極的な防禦のはたらきがおこるはずである。それは自己反射的に、および意識的におこる筋の緊張であろう。

まず、技のききかたを技のきくまでの「必要時間」からながめてみよう。実際の施術で「まいった」というまでの「必要時間」は5名の被検者について、一様に十字固め第二種が第一種より短いことがわかった。これは、おや指を上にした時の方が、手掌を上にした時よりも、技がききやすいことを示している。このことは機械的負荷でも、同じことがいえる。また、実際の施術で、うでがらみ第二種の方が第一種より技がききやすいことがいえる。これは、前腕の回外を伴う技の方が効きやすいことを示している。このような技のききかたの差異は、関節の構造によってきまるものであるが、個人差のあるのは、関節の柔軟性と強靱性との両者の差異によるものであろう。

この場合、技が効いたかどうかは、内省的には、痛覚となってあらわれてくる。痛覚があらわれた後はほとんど抵抗は不可能である。すなわち、関節における機械的刺激は知覚神経末端(受容器)を刺激し、これが中枢に伝達され、一部は大脳皮質に到達し、意識にのぼるであろう。また、他の一部は視床一視床下部を介し自律神経系の遠心性径路につたわり、心臓搏動の頻度を変化し、また小血管や汗腺の活動状態を変化させたりするはずである。心拍数の変化は間接的ではあるが、この経過を追究する一つの明瞭な指標となる。心拍数の変化は痛覚による反射と考えられるが、意識にのぼってからおこるものと、意識とは無関係に視床から視床下部に作用しておこるものとがあると考えられる。第7図は最も著明な例を示すが、施術により急激に心拍間隔が短縮している。これは実際の施術で、技が急激に効き、1～2秒で「まいっている」場合で、心拍間隔の変化も急激である。これは、反射によるものと考えられる。このとき呼吸運動は吸息で停止状態であるので、心拍間隔の短縮にはたらくが、これによる促進は二次的のものである。また、技をかけられたときに「がんばる」ときと、「がんばらない」ときとで、心拍間隔の短縮の程度に必ずしも決定的な差異はないところからみると、技がきいたときの心拍間隔の短縮には努力による心拍数促進の効果は、二次的のもと考えられる。したがって、このときの心拍間隔の短縮——心拍数の増加は主として疼痛による反射的作用から生ずるものと推定される。しかし、第9図の例では、回をかさねるにつれて、施術に先だって心拍間隔の短縮がおこり、一つのリズムができてくる。これは痛覚とこれを反復する時間間隔により形成された一つの延滞条件反射と見ることができる。またこのときの心拍間隔の短縮は心電図のTP間隔(弛緩期)の短縮によるものである(4)。

これにたいして、機械的負荷の場合には、負荷のかかりかたが、緩慢であるため、心拍間隔の短縮のしかたは軽度である。この場合には、がんばったときの方が、がんばらないときよりも心拍間隔の短縮の程度が強い。したがって、このときの心拍間隔の短縮の程度は、意識的な努力による情緒的興奮の影響がおもてにあらわれている。がんばりにより筋緊張をたかめたために、かえって自己受容性反射が強くなり、痛覚も増大したものと考えられる。技を解いたあとで、急激に心拍間隔がのび、安静時よりもさらに長い間隔を示すことがある。これは痛覚の去ったあとの、交感神経の弛緩の状態といえるものであり、迷走神経の一種の緊張の優越ともいえる。また時には技を解いたあとで、一時心拍間隔の更に短縮することが見られる。これは、がんばりによる心拍動の促進効果が、痛覚による促進効果と相まって心拍間隔を最も短くしたものである。

このように、同様の技を施した場合にも、心拍数の反応の様式は個人により必ずしも同一ではないが、これは関節の機械的刺激——乃至痛覚による視床および視床下部の興奮の個人的差異によるものと思われる。しかしまた、これらを通じて共通なことは、関節技により、心拍間隔が短縮を示す事実であり、心拍数の消長は、技のききかたの一つの指標となる。

精神電流現象における変動は情緒的興奮が視床—視床下部を介して血管運動神経に作用した結果であると推定されるが、この変動は必ずしも一様にはあらわれていないし、また量的にも明確な区別はできない。技をかける用意をただけですでに相当のゆれがおこるが、技がかけられ、負荷の進行につれて、変動は明らかに大きくなっていく。精神電流現象は心拍数の変動や、脳電図の変動のない以前にすでに変動を示すことが多い。しかし、わずかの刺激により変動をあらわすので、関節技のききめの指標としては適切ではない。ただ、脳電図その他の変化と同時に見るときの参考資料となる。

脳電図は関節技の負荷の強さが、大脳にいかなる反応をおこすかを、他覚的に見るうえでは最も適切なものの一つと考えられる。平静な態度にしておいて、技を施すとき、実際の施術と、機械的負荷の場合とでは多少の差異があるが、 α 波が次第に β 波が交代していくこと、更に進行して電圧と振動数の大きい波があらわれてくるのが特長である。この電圧と振動数の大きい波を、興奮波と見なしたが、さらに検討を要するものである。それは、脳電図に筋電図が影響を及ぼしている可能性があるからである。抵抗しないときに、脳電図の α 波は「まいった」に至るまで、ほとんど存続していることから見ると、抵抗する場合の脳電図の変化は、意識的な努力に伴う変化と見なすことができる。一般的に言えば、施術が進行するにつれて、 α 波が β 波にかわり、さらに興奮波にかわり、技が解されたあとで再び β 波があらわれ、更に α 波が復旧する。このような変化の系列は脳電図が関節技における関節の知覚の変化を反映しているものといえよう。

実際の施術の場合に、すべての被検者に見られることであるが、「用意」の合図と共に、 α 波が消失し、その後2~3秒の経過をへて α 波が再現している。このような α 波の再現は施術動作の用意の後の安心感、あるいは第一回の警戒反応のあとの弛緩現象と解することができる。本来ならば施術が用意されたならば、それにつづいて技がはじまるから精神的興奮水準は高位にとどまり α 波の再現は予想されない筈であるが、このように α 波が再現することは緊張の休止期がおこると考えることができる。施術の「はじめ」と共に β 波に移行することが、大脳皮質の亢奮と考えるならば技のはじまる直前の α 波の再現は大脳皮質の制止と考えることができる。これは、猪飼(5)が随意動作のおこる直前に筋の放電の休止する時期があることを認め、これを動作に先行する制止現象と解釈したことに似たものである。すなわち、技がいよいよかけられるという直前には、かえって、一種の脱緊張の状態があらわれることが可能であり、この状態がかえって、適切な防禦行動をおこす体制となるものである。一般に、脳電図の非同期化(desynchronization)は大脳の興奮(excitation)

を意味し、同期化(synchronization)は大脳の制止(inhibitor)を意味するとされている(2,7)。しかしまた同期化した徐波(slow synchronous EEG)は網様体の制止作用(reticular inhibition)に一致するものともいわれている(3)。もちろん、これらの脳電図の記録から、大脳における細部のメカニズムを論ずることはできないが、上記に見られる技のはじめの直前の α 波の再現は大脳の大部分の領域の制止を示すものであると解することはできる。更にこれは大脳の負誘導(negative induction)と解することが可能であり、これにより次の瞬間において活動すべき motor analyser(運動分析器)の部位の集中的興奮を容易にするものであると解することができる(5)。このことは、さらに、猪飼とSteinhaus(6)とが、最大筋力を発揮する場合に、音刺激や気合い(shout)により筋力の水準の上昇することを認め、これのメカニズムとして、脳の他の部分の制止による、力の集中を推測したと類似している。そして猪飼とSteinhausとは、このような力の集中を大脳のその部位の脱制止(disinhibition)というように解釈した。

これにたいし、技を解いからも、2~3秒、あるいは3~5秒にわたり、 β 波が優越している例が多いが、これは施術、あるいは機械的負荷により疼痛がおり、しばらく持続するためと考えられる。

脳電図の変化の著しい時期には、心拍間隔の変化も著しいのが一般的傾向であるが、施術の初期あるいは負荷が軽度のときには、両者は必ずしも平行するものではない。これは当然のことであり求心性刺激は同一のものであっても、視床を介しての上行性の興奮による大脳皮質の興奮と、下行性の興奮による視床下部の興奮とは必ずしも同一ではないからである。これは精神電流現象についてもいうことができる。この意味で、三者を同時に測定することが必要なことと考えられる。またこれらの成績から、関節技は、視床の上方、および下方において相当に顕著な反応をひきおこすほどの強いストレスを人間に与えているものであることがわかる。このことは、関節技というものがあるが神経系統の成熟していない時期の年齢に用いられるということは、不適切であるといえることができる。また、心臓を中心とした循環系統に多少とも異常のあるものには用いないことが安全であるといえることができる。しかし、骨格、筋肉、および神経系統が十分に発達し、また循環系統に異常のない人については、その経過はきわめてすみやかであり、後効果は認められない。

実際の施術の場合も、機械的負荷の場合も肘関節をほぼ自然に伸展した位置から技をかけているのであるから、過伸展の負荷に伴って腕の屈筋群が伸展されるわけである。このとき、受が抵抗しなければ、負荷の軽いときには、屈筋群からの放電はあまりあらわれない。しかし、技がきまる時期になると、放電が急激に増加する。これは痛覚刺激によって反射的な筋収縮がおこるためであると考えられる。しかし、抵抗する場合には、負荷の初期から筋の放電があらわれる。これは痛覚刺激による反射ではなく、自発的な α 線維を介する筋緊張と二次的な筋紡錘の興奮により、 γ 線維を介する筋緊張の増加によるものである(1)。さらに進行して、負荷が増加し、痛覚がおこる時期になると、痛覚刺激による反射的な筋収縮が追加され、放電の追加があると考えられる。このときの筋電図の電圧の大きさから判断すると、上腕二頭筋の運動単位の興奮水準は同一被検者が肘関節を直角に屈曲したときに最大筋力30~45kg程度を発揮するくらいのものである。しかし技がはいってしまったあとのこのような運動単位の興奮も技を防禦するためにはあまり役立っていない。このことは、前述の如く、肘関節における「限界負荷値」と、最大筋力とは相関がないので、肘関節を伸展した位置での抵抗力というものは、たとえ肘関節を直角にしたときの最大筋力が大きくても、大きくないことになる。

これは、筋力というものが、最適の長さのときに最大の値をあらわすものであって、これが長すぎたり、短かすぎたりすれば、きわめて小さい値になるという実験的事実から明らかなことであ

る。取は受の関節をこのような筋の長さに誘導することこそ第一に必要なことであり、この状態に入れば技をきかせることは容易である。受の方からいえば常に自分の筋の長さが、最大筋力を出しうるような状態に保つことが必要で、まげすぎたり、のぼしたりしては不利におこまれることを銘記すべきである。

以上の実験において、関節の過伸展といったが、はたしてどのようなものであるかをしらべたものが、第4表であった。これによると、被検者により相当に個人差があり、十字固めの初期に180度附近の人と、150～160度附近の人とがある。そして技がきまって「まいった」といったときの角度はそれぞれ初期の角度から最高は14度、最低は2度くらいであり、初期の角度が小さいからといって、「まいった」ときまでの角度が大きいは限らぬ。そして、「まいった」ときの角度を「限界関節角」としたのは上述の通りである。これから見ると、過伸展といっても決して、180度以上の過伸展ではなく、その人の自然な伸展位からの過伸展と解すべきである。

関節の運動範囲については、調査したものが少ないが、日本人人体正常数値表(8)によると肘関節の伸展時の最大値は190度で、最小180度、平均値は184度となっている。従って負荷開始時を180度として考えると大体185度から188度まで伸展する事になり、極めて妥当な値と考えられる。なお、十字固め第二種(母指上無抵抗)の場合に最も小さい角度変化で『参った』をしているのは、母指上無抵抗の場合に最も抵抗力が弱く、関節の可動範囲の小さい事を示している。すなわち、以上のような生理的の諸変化は、関節角にこのようなストレスが加えられたときのものであるわけで、生理的な角度変化の限界に達するものであるといえる。また逆にいえば、この程度内であれば生理的にも安全であり、身体諸機能の変化にも残留症状というものはないといえる。しかし、あくまで関節の発育の不十分な年令のものにたいしてはこのようなストレスは危険なものといわなくてはならない。発育が完成したあとでは、柔道の技の一つとして、これを採用することにはいしては何らの障害はないものといえよう。

文 献

1. Gellhorn, E.: The Physiology of the supraspinal mechanisms. in Science and Medicine of Exercise and Sports. ed. by W. R. Johnson. Harper and Brothers. N. Y. 108-122, 1960.
2. Gastaut, H. et al: Etude topographique des reactions electroencephalographiques conditionees chez l'homme. EEG Clin. Neurophysiol., 9: 1-34, 1957.
3. French, J. D. and H. W. Magoun: Effects of chronic lesions in central cephalic brain stem of monkeys. Arch. Neurol. & Psychiat. (Chicago), 68: 591-604, 1952.
4. 猪飼道夫 等: 柔道における「絞め」の生理学的研究. 講道館柔道科学研究会紀要 第一輯. 講道館 1-12, 1958.
5. 猪飼道夫: 動作に先行する抑制機構. 日本生理学雑誌. 17: 292-298, 1955.
6. IKAI, Michio and Arthur H. Steinhaus: Some factors modifying the expression of human strength. J. Applied Physiol. 16 (1): 157-163.
7. Magoun, H. W.: The Waking Brain. Charles C. Thomas. 1958. p. 36, 1958.
8. 篠島高編: 日本人人体正常数値表 技報堂 P. 36, 1958.
9. Morrell, F.: Electrophysiological contributions to the neural basis of learning. Physiol. Rev. 41 (3): 494, 1961.