

水泳中の筋電図研究

報 告

財団法人日本体育協会
東京オリンピック選手強化対策本部
スポーツ科学研究委員会

水 泳 中 の 筋 電 図

——トレーニングとキネシオロジーの交点——

スポーツ科学研究委員 猪 飼 道 夫
共 同 研 究 者 石 井 喜 八
宮 下 充 正

筋電図というものは、筋活動を電気的变化の面から観察する1つの記録手段であり、筋肉内に挿入した電極から、あるいは筋肉の表面にはりつけた電極から筋肉の電位変動を導き出し、これを増幅して記録するものである。しかし、筋肉自体は自動的に働くことはほとんどなく、すべて運動神経の興奮を受けて活動するものであるから、筋電図して記録される筋肉の電位の変化は間接的に運動神経の活動状態を見ることになる。いいかえれば、運動ニューロンとこれが支配する筋線維からなる運動単位の興奮状態を示すものである。このような運動単位の興奮は、大部分のスポーツ運動では大脳皮質の運動領の興奮によって誘発されるものであるが、このほかに、筋肉が急激に他動的にひきのばされたとき反射的にも誘発される。したがって、筋電図にはこの両者が入りまじってはいっている。この意味で、筋電図を用いて運動の分析をすることは、完べきなものではない。しかし、運動の全般をわきまえた上で、筋電図の記録を利用するときは、運動の分析は非常に容易となる。

筋電図が諸種のスポーツ運動の分析に利用されるのは、この程度の「不確定性」を見こしてのことである。

つぎに、筋電図にあらわれる電位の大きさについても、その評価には多くの議論がある。すなわち、導出電極の大きさ、様式、および導出の方法が異なるにつれて導出される電位の大きさは、必ずしもその筋肉に関する運動単位の活動水準の高さをあらわしているとはいえないからである。

特に、表面電極では皮膚の上から間接的に導出しているものであり、筋肉の電位の絶対量を知る由もない。しかし、観察するすべての筋肉については、同一の型の電極を用い、貼布の様式も同一

にすれば、筋力と筋電図にあらわれる電位の総量との間にはほぼ一義的關係が認められる。(注1)しかし、筋の疲労した状態ではこのことが成立しないことが認められている。(注2)この事情を考慮に入れて筋電図を見れば、直接に筋力を測定することのできないような運動中の各筋肉の活動水準、ひいては筋力の出ている状況を推察することができる。

第3に、筋電図は筋肉の活動の開始と終了の時期を知る上に役立つ。このことは、上の2つの場合よりも確実性をもっていうことができる。高木もこの点を強調している。しかし、この事項に関しても、電極とはなはだ離れた部分の筋線維をふくむ運動単位の活動は、ときには見のがされることもあるので、やはり一種の不確定性を伴うことは同前である。

以上の3事項を認めた上で、筋電図を運動の分析に応用することは、意義のあることと思われる。

水泳における推進力は、腕や脚の筋肉の収縮によって発生するものであるにはちがいない。そして、推進力を増すことが、水泳のスピードを増す第1条件であることも異論はない。しかし、水泳中どれだけの筋肉が働き、またどの筋肉が主力となって働くかということは、観察や、体験や、解剖学に基礎をおいたキネシオロジーからおよその見当はつけられているものの、確実な証拠はないといってよい。そこで日本水泳連盟では、高石会長をはじめ強化本部委員が、トレーニングの的を

(注1) 猪飼道夫：随意運動，最近の筋電図学，P.58～75，1956，永井書店。

(注2) 猪飼道夫・石井喜八：筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究，体育学研究，5巻4号，1961。

外さないために、というよりもトレーニング的
を射とめるために、一流選手の水泳中の筋肉の活
動状態の実態を明らかにしようという企画をたて
その一助として、水泳中の筋電図の記録をわれわ
れに依頼された。

トレーニングというものは、1つの目標に向か
って、人間の能力をできる限りのばす方法であ
る。1つの目標ということは、ここではできるだけ
大きいスピードのでる泳法というものであろ
う。1つの目標という限定がある以上は、オール
マイティのからだを作るのではなく、一定のメカ
ニズムにおいて高い性能を発揮するからだを作る
のでなくてはならない。これは、「がむしゃら」
ではだめであり、一応の「法則」に従わなくては
ならないものである。この「法則」は人間の「動
作のメカニズム」であり、運動のキネシオロジー
である。すなわち、ほんとうに高度のトレーニング
効果を出すためには、運動のキネシオロジーに
より、「動作のメカニズム」がすっかり明るみに
もち出されなくてはならない。こうなると、トレ
ーニングとキネシオロジーとは相対する2つのも
のではなくて、トレーニングというものは、キネ
シオロジーの中にとけこんでいく。キネシオロ
ジーがほんものであれば、このようにトレーニング
の方法はみずから生まれてくる。逆にいえば、ト
レーニングというものは、キネシオロジーの背骨
がなければ、むだ骨折りに帰するということになる。

水泳が、水泳中の筋電図の記録をもとにしてト
レーニングの方法を確立しようという出発をした
ことは、最も本格的なき方であると思われる。
これは、スポーツのトレーニング方法論という立
場から意義深いものであるという以外に、キネシ
オロジーという、身体の科学の発展の途上におけ
る1つの収穫といえよう。副題に、トレーニング
とキネシオロジーの交点と掲げたのは、この意味
である。

さて、水泳中の筋電図の記録の実際については
以下に述べる通りであるが、現在多くの方面で用
いられはじめられているテレメーターを用いるこ
とも1つの方法である。本研究では、1回に10個

の筋肉からの筋電図を導出しようということもあ
り有線による導出法を用いた。将来、多要素記録
テレメーターにより記録されることと思われる。

実験方法

プールは東京大学教育学部の建物(地階を含む5
階建の鉄筋コンクリート)から約5mを離し、平坦
な地面に砂を敷き、外殻を板で枠をとり、内側に
ビニール布をもって仮設プールを作られた。大き
さは縦13m、横5m、深さ約1mであった。水は
水道から飲料用水を注入し、水深は約90cmであ
った。

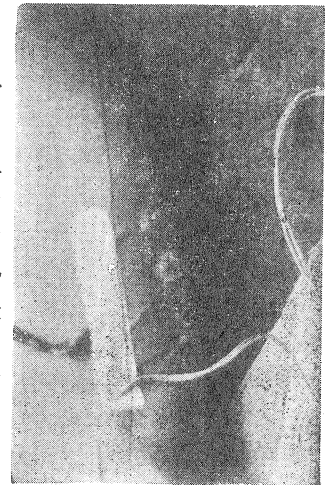
記録器としては、10万倍にまで増幅することの
できる増幅回路を有する三栄測器製、12要素の多
元電氣的記録装置を用いた。

筋電図導出用リード線としては、直径10mmの
銀円板の中央が凹面のカップ状になった表面電極
を用いた。6本の細い針金を撚り合わせ、これを
シールドしたリード線にとりつけ、これを記録装
置の入力に導入されるエレクトロボードに挿入し
た。リード線の全長は、泳者がプール内を自由に
泳げ、しかも、記録装置まで誘導できるようにし、
約17mとした。これらのリード線が20本に及ぶの
で、リード線移動時の振動から生ずる障害波を防
止するために直径3cmのビニール管を用い、リ
ード線をこの中に通して一束とした。

記録を有効にするため次のような配慮をした。

1) 水の接地

水量が $13 \times 5 \times 0.9 \text{m}^3$ であるので
電氣的容量が大き
く、交流障害を生
ずるので、これを
取り除くため水を
接地した。すなわ
ち、約 10m^2 の金
網を水中に入れ、
またプールの外側
の地中に直径約2
cm、長さ約1m
の円柱状接地棒を
差し込み、これと
結んだ。また、記



第1図 電極のつけ方
両端の電極は導出用、
中央の電極は接地用

録器と接地棒との間の接地抵抗を除くために記録器の接地を接地棒まで導いた。

2) 電極の接着

被験者が水中で運動を行なうので、電極のはりつけ方法について特に注意し、次のようにした。電極の凹面を電気糊でうめ、他方電極を貼付すべき個所の皮膚をアルコールでふき、後電気糊をぬり、その上にはりつけた。その上から10%セロイジン溶液を膜状に塗り、十分乾燥させ、更に上塗りを施した。完全に乾燥させるには露出のまま空气中に放置する。放置時間は測定期間が梅雨期であったので30~35分かかった。これによって電極を皮膚に固く接着できた。この後、接着のため乾燥時間を測定したところ、7月の晴天、気温32度日蔭では15~20分で完全に乾燥し、皮膚に接着することがわかった。

セロイジンについては14%溶液を用いてみたが膜状に塗りがたく、接着も十分にできない。そこでエーテル70%、アルコール30%の溶液でうすめて用いるとよい結果を得た。10%以下では流動性が増し、塗りにくくなる。

セロイジンが乾燥すれば、これが見えなくなるようにバンソウ膏を二重にはり、防水のためにその上から塩化ビニール塗料を塗り、乾燥させてビニールの膜面をつくらせ、更に膜面の亀裂を防ぐためにその上からバンソウ膏をはった。なお、とりはずしの際にはアセトンを脱脂綿に浸したもので拭いた。

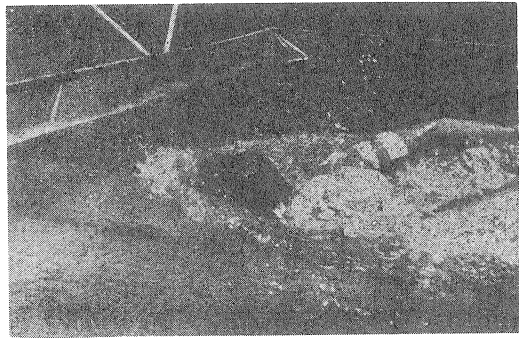
3) 人体の接地

交流障害を防ぐために、2個の導出電極のほかに人体から接地をとった。これによりシールドルーム外でも十分に筋電図をとることができた。(第2図参照)

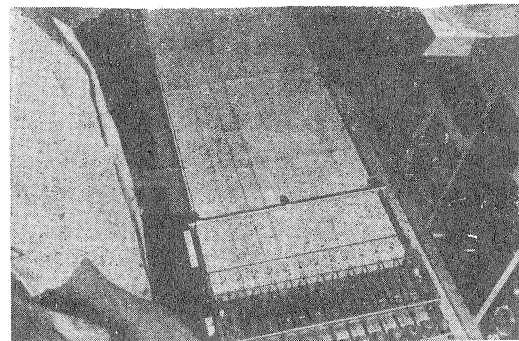
4) リード線の移動

プールの中央約1m上のところに縦軸に沿って鉄線を張り、これに滑車を下げた。滑車にはプールの両端より自由に掃引操作できるように麻の細ヒモを結び、被検者の泳ぐスピードに合わせて補助ヒモが引かれた。一束にされたリード線は被検者の泳ぐ背面から適当な距離をもって滑車に結ばれ、プールサイドの補助者によって泳者に追従させた。

筋電図の導出法及び導出箇所



第2図 電極をつけた自由型の実験



第3図 筋電図の記録

上記の表面電極を筋線維に沿って間隔3cmにはりつけたが、人体からアースをとる個所ではこの中央に接地用電極をはりつけた。

筋電図の導出箇所は15個を原則とした。すなわち、尺側手根屈筋、撓側手根伸筋、上腕二頭筋、大胸筋、上腕三頭筋、大円筋、三角筋、僧帽筋(頸部)、広背筋、腹直筋、大殿筋、大腿直筋、大腿屈筋群、前脛骨筋、腓腹筋であるが、ときには長内転筋、外側広筋からも導出した。左右が対称的な動きをするものとしてすべて右側のみの筋肉について導出した。記録器の装置に制限があり、1回に10ヵ所ずつを同時記録した。2回目の記録では先の3ヵ所を残し、記録つき合わせの基準として共通部位でピッチを合わせるようにした。10ヵ所の部位からそれぞれ被験者の背面までバンソウ膏でとめながら導き、ここでまとめた。

被験者及び測定期日

被験者は山中、藤本、吉無田、大崎、渡辺、国分、那須、上田、後藤のローマ・オリンピック選手を含む9名のほか、東大水泳部員5名についておこなった。

泳ぎ方は、水泳連盟選抜の被験者はそれぞれの

専門の泳ぎ方で泳いでもらったが、東大水泳部員には自由型と平泳で泳いでもらった。

なお、測定日は昭和36年6月14日から7月7日までであり、この頃の水温または気温は、およそ26°C~30°C程度であった。

実験結果

第4図、第5図は、それぞれ自由型、平泳のときの上肢、肩甲部、体幹、下肢の筋肉から得られた筋電図の例である。

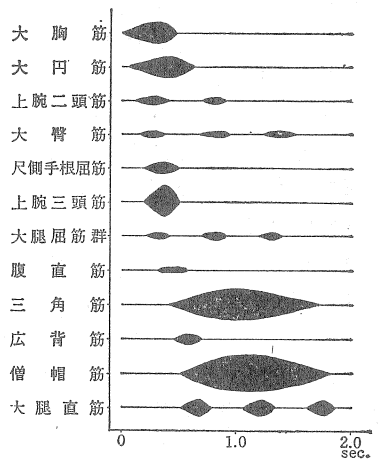
筋電図は上肢筋から下肢筋と順に並べて記録してある。それぞれの記録の右端には1mVの電位をあらわすペンの振れの高さが記されている。したがって、自由型の上腕三頭筋、大円筋、三角筋、僧帽筋、平泳での上腕三頭筋、大腿屈筋群、前脛骨筋に大きな神経衝撃電位の高まりが見られる。これを言いかえると、これらの筋が大きく動したということになる。

第4図(自由型)では撓側手根伸筋及び腓腹筋の

活動状況が十分に記録されていないが、これは電極接着が十分でなかったためと考えられる。

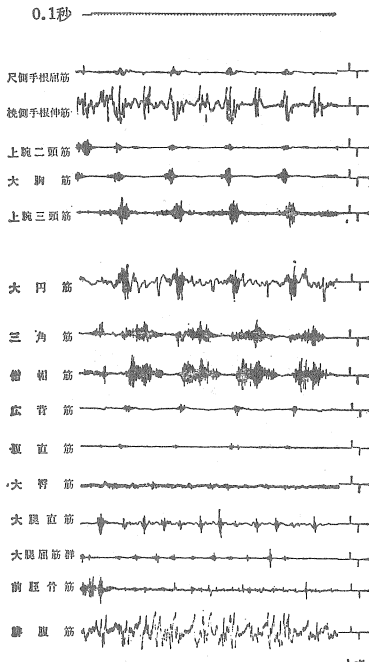
泳ぎの速さは自由型、平泳とも1秒7の周期をもって泳いだ。第6図は筋肉の働く順序に従って上から並べてみたもので

ある。基準とした筋肉は、水中で動かしていると思われる上肢筋の中で最初に神経衝撃を起こした筋肉を選んだ。



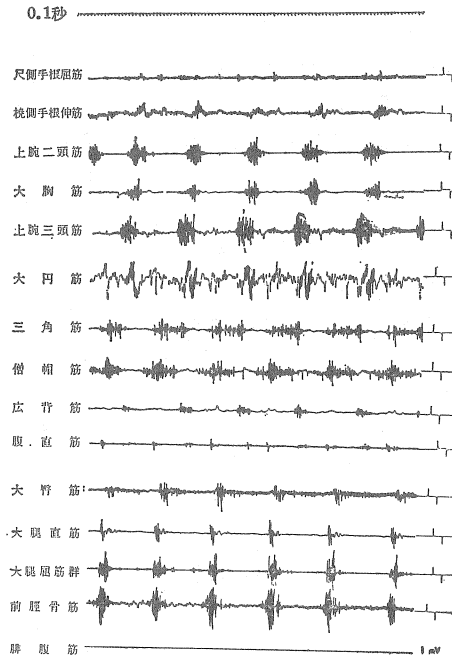
第6図 自由型の筋電図から見た筋肉の活動順位と持続時間 (G.K.選手)

水泳中の筋電図
自由型G.K.選手



第4図 自由型の筋電図
(G.K.選手)

水泳中の筋電図
平泳G.K.選手



第5図 平泳の筋電図
(G.K.選手)

自由型で泳いだときの第4図をみると1mV以上の神経衝撃電位を示したものは大胸筋、大円筋、上腕三頭筋、三角筋僧帽筋である。

前三者は水をかくときに働く協働筋であり、後二者は腕を前に振り出すための空気中での動作と思われる。これらに準じて神経衝撃の大きいものは大腿直筋である。放電持続時間から各筋肉をみると三角筋と僧帽筋が長く放電を続け、大円筋と大胸筋がこれに次ぎ、上腕三頭筋と尺側手根屈筋がこれらにつづく。

下肢筋では1周期

の間に3回の放電があらわれている。これは右側のみから誘導したためで、泳者は6ビートで泳いだことが記録から明らかとなる。大殿筋と大腿屈筋群が協働し、大腿直筋に拮抗している。

第7図は平泳のものであるが、この場合は神経衝撃電位が1mV以上あらわれた筋肉は上腕三頭筋、上腕二頭筋、大胸筋、大円筋の上肢筋群と前脛骨筋、大腿直筋、大腿屈筋群であった。これに次ぐものとして撓側手根伸筋、僧帽筋、三角筋、大殿筋である。

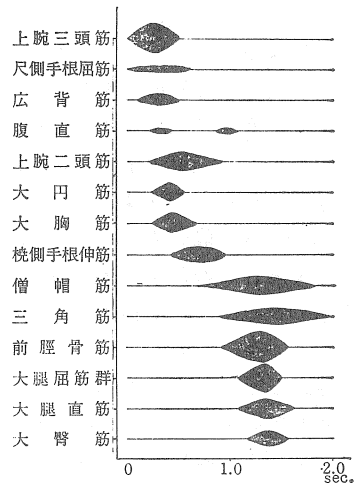
放電持続時間からみると、三角筋、僧帽筋が長く、上腕三頭筋、前脛骨筋、尺側手根屈筋、大腿直筋、撓側手根伸筋、上腕三頭筋、大胸筋が次ぐ。これを見ると、上肢、下肢筋が相半ばしていることが知られる。また腹直筋は上肢、下肢共に同期して活動している。

考 察

水泳中の筋肉から筋電図を導出する試みは、従来ほとんど行なわれていない。したがって、その方法についても記述した文献を見ることはできなかった。しかし、心電図については、テレメーターにより、岡(注3)、北村(注4)等によって行なわれ報告されているので、筋電図をとることがそんなに困難なものでないことは予想できた。しかし問題は、できるだけ多くの筋肉から、できるだけ同時に記録する必要があるという点で1つの困難がある。しかし、それ以外に、予期しない障害があることがわかった。それは、人体がプールの中へはいる途端に、物すごい交流障害のあることであつた。これを防ぐためには、方法のところでも述べたような、約10m²という大きな金網をとって水をアースするということであることがわかった。

次の困難は、電極の装着である。運動中の記録には、心電図にしる、筋電図にしる、その導出には、電極の物質と、その装着方法が重要な事項になる。心電図の場合には、松井(注5)はドータイトを用い、北村は小さい金網に液状ドータイトをぬりこんだ柔軟性のあるものを用いてよい結果を得ている。本実験の場合には、特殊のものを用いず、直径約10mmの銀円板を用いたが、ただ電極の装着について、いくたびかの経験の後、方法で

述べたような手順を加えることにした。すなわち、陸上の場合と異り、水から完全に遮断する必要があることまた、激しい筋肉の動きに対して、もぎとれないようなものであることが必要であつた。セロイジンの乾燥に



第7図 平泳の筋電図から見た筋肉の活動順位と持続時間 (G.K.選手)

時間がかかることが1つの問題であつたが、結果としては一応目的を得ることができた。しかしこの点、改良しうるものが多い。

導出を有線によつたことは、確かに不便である。その1つの理由は、導出線が20本以上になるので、重量が増して移動しにくくなるからである。テレメーターが更に多元になることが望まれる。

得られた結果は、第4、第5図のようなものである。

このような方式によつて、9人のオリンピック選手について、自由型、平泳、蝶泳の記録をとつた。また、これと平行して東大水泳部員についても同様の記録をとり、これと比較した。泳法の差異により、筋電図にちがいが出るのは当然で、それは同一人についての自由型、平泳の記録(第4、第5図)を見れば明らかである。また、自由型にだけついて見ても、選手の間に相当に個人差が見られる。そして、細かく見れば、選手はそれぞれみんな少しずつ異つた筋電図を示す。しかし、同一の選手はいつ泳いでも、ほとんど筋電図の様式(パターン)は変わらない。それほど個人差は固定してきている。このように、自由型、平泳、蝶泳の3種目の泳法での筋電図をとつたのであるが、

(注3) 岡 芳包：日本体力医学会14回 (1960)

(注4) 北村和夫： " (1960)

(注5) 松井秀治： " (1960)

ここでは自由型に関して、さらに考案を進めることにする。

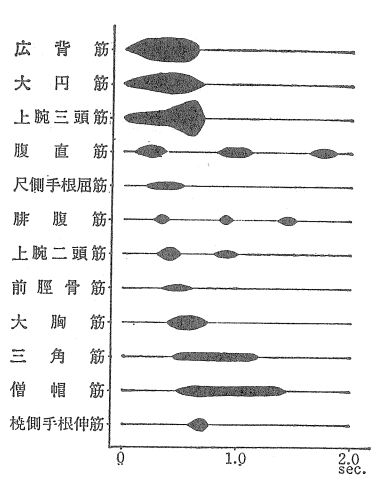
いま、第4図の選手の筋電図を、第6図のように、活動する順序に並べかえたものについて考案してみよう。自由型ではじめ腕を前方にのぼして水を下に押しつけはじめるときに、大胸筋、大円筋が大きく働いていることは、理解しやすいことである。このとき上腕二頭筋が働いているのは、水の抵抗に対して肘は関節を固定しようという働きのように見える。そしてこの時期に大殿筋が働きはじめているのは、大腿のビートのはじまりを示している。しかし、ビートが大腿にあらわれるのは、これに0.1秒くらいおくられていることは大腿屈筋群の活動からわかる。ややおくらせてあらわれる尺側手根屈筋、および上腕三頭筋の活動は、腕で水を後ろへ押す時期を示すと思われる。特に上腕三頭筋の放電が大きいことは意味のあることで、自由型では、大胸筋、大円筋とならび上腕三頭筋が推進力に大きい役割をもっていることを示すものである。腹直筋がこれにつづいて働いているが、これは電極が腹直筋の上部にはられている点を考慮に入れても、割合に軽度と見られる。ビートに関しては、大腿直筋は大腿屈筋群と交互に働いていることは当然であろう。次に注目すべきことは、三角筋と僧帽筋が著しく大きく働いていることである。これは腕を前方へ移動させる時期に相当するものであり、この時期に働く筋肉は推進力に直接に加盟するものではない。この時期にエネルギーを消失することは、全体のエネルギーの経済を考えれば大きな損失である。これを小さくするには、腕を前方に移動させるときに、もっと解緊の練習を入れるべきであろう。

ちなみに、オリンピック選手 T. F. について、同様の活動順位の図を作ってみると、第8図のようになる。これと比較すると相当に異なることがわかる。すなわち、共通な点は、上腕三頭筋、大円筋、大胸筋が推進力に主役を占めていることであるが、T.F.選手では、これに広背筋が参画していることである。しかも、これに対し腕を前方に移動するに際しての三角筋と僧帽筋の活動電位は低いことが目立つ。これをおおまかに比較すれば、T. F. 選手の方が推進力に多くの筋群を動員し、推進力に直接貢献しない腕の前方移動というもの

に対しては極力エネルギーの出しおしみをしているといえる。オリンピック選手の間にも多少のちがいはあるが、これらを一般の大学選手とくらべると、筋肉の利用が推進力のために集中的であるといえる。ここで

もし、各人の筋電図をとって、その不経済な点がわかった上でこれを改良するように泳法を工夫すれば、自己のもつエネルギーをさらに有効に使えるようになると思われる。

そして、水泳のスピードを増すための筋のトレーニングをする場合には、推進力に役立つ筋群の筋力を増すようにするのがよい。そして推進力に直接関与しない筋肉群には、推進力筋群が働きやすくなるような支持役となる程度のトレーニングを与えるべきであろう。もしこれを考えずに筋力の増大を全身的に行なえば、肉体美にはなるが水泳の推進力の増大にはあまり貢献しない結果になる。一般的なウエイト・トレーニングが時として予期しないわるい結果をもたらすことはこの理由による。このことは、すべての種目についていえることである。もちろん、ここで論じているのは、青少年の発育期のトレーニングについていっているのではなく、一流選手について述べているのである。オールラウンドのためのウエイト・トレーニングは別に論ずべきである。



第8図 自由型の筋電図から見た筋肉の活動順位と持続時間 (T.F.選手)