

筋電図による  
自転車走行動作の解析

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



# 筋電図による自転車走行動作の解析

関東労災病院 白井伊三郎  
自転車トレーニングドクター

## I. はじめに

自転車の推進力はペダルを回転することによって発生することはいうまでもないが、この場合どの筋が主力となって働くか、また自転車のサイズを変えた場合それがどのように変化するか、或は時間の経過、従ってまた疲労の進行に伴ってそれが如何なる変化を示すか等の諸問題を究明することは、性能のよい自転車のサイズの決定や、効率的な回転動作の確立、したがって又走行速度の増大に何等かの参考になるのではないかと考えて、この実験を行なったのである。

しかし筋電図は運動神経とその支配する筋線維からなる筋活動の電位変動を記録したもので、皮膚の表面にはりつけた電極から筋の電位変動を導き出した場合には、筋の収縮する場合と緊張する場合に誘発される電気的変化を筋電図上で区別することは無理である。またこの場合にあらわれる電位の大きさは必ずしも筋の電位変化の絶対量を表わすものでもないが、実験条件が同じであれば筋力と筋電図にあらわれる電位の総量との間には大体一義的な関係があるといわれているので、その電位の総量によって運動時における各筋の活動水準、従ってまた筋力の発現状態が推察できる許りでなく、筋の活動の開始或いは終了の時期を知ることができるので、運動動作の解析には充分参考になるものと考え。

そこで東京オリンピック候補の代表的自転車選手10名を選んで、これら選手が従来問題視されて

来た3種のサイズの自転車に試乗して、全力走並びに持久走(35km/h)を行なった場合における主な脚筋の活動電流を表面誘導法によって記録し、その結果を分析して上記諸問題に関する考察を試みようとするのである。

## II. 実験方法

この実験は12月中旬自転車検査協会試作の出力測定用自転車を使用して行なったものであり、筋電図の記録には三栄測器製の増幅器と、6要素の記録装置を用いた。なおこの筋電図は直径4mmの銀円板の中央が凹面のカップ状になった表面電極を筋線維に沿うて間隔3cmにはりつけて導出したものである。

また検査した筋は右側の大腿四頭筋の内、外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋と左側の内側広筋であった。

なお被験者は現在東京オリンピック候補選手になっているスクラッチの佐藤、林、平山、4000m個人追抜きの班目、石橋、竹井、ロードの大宮、赤松、山尾、上原の10選手であった。

## III. 実験の結果並びにその考察

### (1) 自転車走行時における脚筋の筋電図

次の図1及び2は走行開始10秒後、回転速度が大体一定になった時期における筋電図を示したものであるが、この図からもわかるごとく自転車走行時における使用筋の活動状態は、全力走と持久

図 2 持久走を行なった場合の筋電図 (大宮)

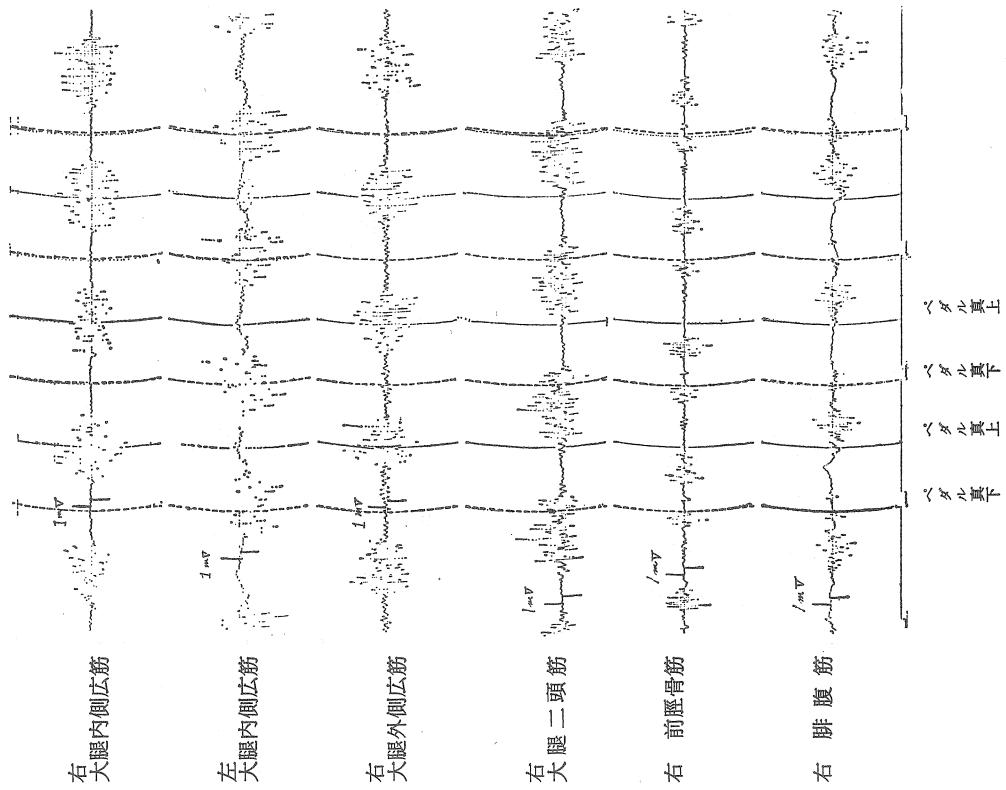
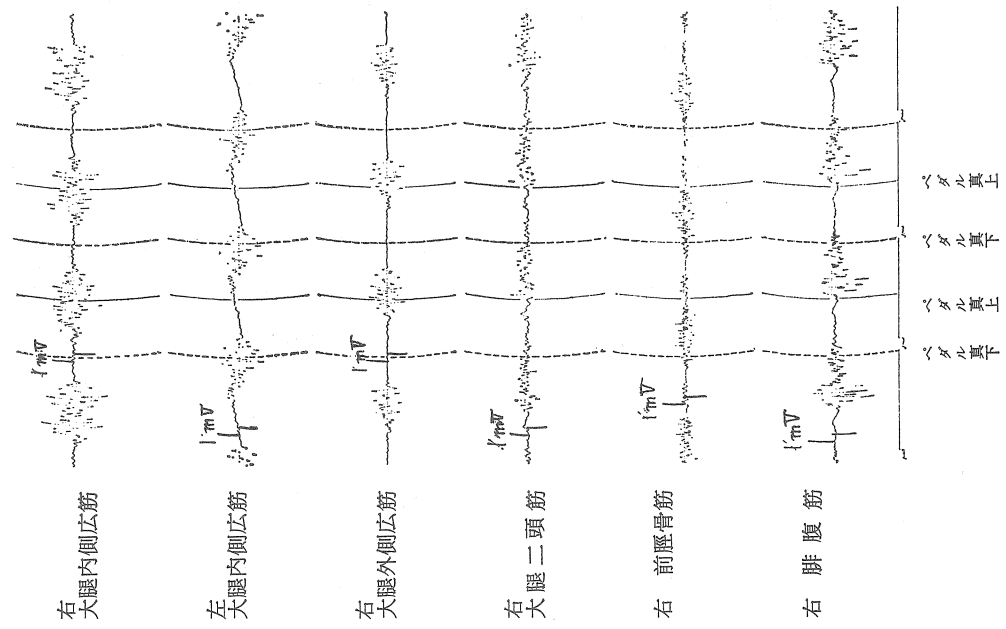


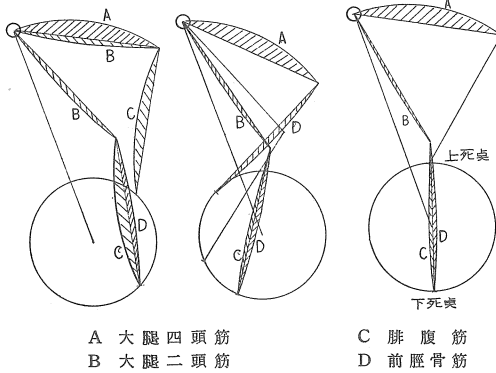
図 1 全力走を行なった場合の筋電図 (佐藤)



走（時速35km）によって異なる許りでなく、選手によってかなりな個人差を示した。

しかし全般的にみて次の図3にも示す如く、踏み足の初期（第I象限）には大腿四頭筋の放電量が最も大きく、次いで腓腹筋、大腿二頭筋等が夫

図3 自転車走行時における右下肢筋の活動状態



々中等度乃至小さい放電を示しているのが普通であったが、第II象限に入ると大腿四頭筋の放電がなくなり、これに代って前脛骨筋の放電が現われて来た。

また引き足（第III象限）になると大腿二頭筋、腓腹筋、前脛骨筋が小さい放電を示すだけで、持久走の場合にはこの象限の終り頃に各筋の放電が一時みられなくなる場合が多かった。

したがってこの場合の回転力は主として反対側の踏み足によって発現されるものと考える。

しかしペダルが第IV象限に入ると、大腿四頭筋が主動的に働くようになり、前脛骨筋の放電はつづく場合が多かったが、大腿二頭筋や腓腹筋の放電はみられなくなるのが普通であった。

このように右足でペダルを回転する場合に、最も力が入るのは第I象限の踏み足の時期であり、第II象限に入るとやや力は落ちるが、この時期は左足のペダルが第IV象限にあるので、大腿四頭筋が活動してこれを補うものと考える。

さらに右足のペダルが第III象限に入ると力は著

しく落ち、選手によっては各筋が全部活動を停止する時期さえみられたが、この時期は丁度反対側の踏み足が第I象限にあって最も大きな力を出しているのので、結局全象限を通じて大体一定の回転速度を示すようになるものと考える。

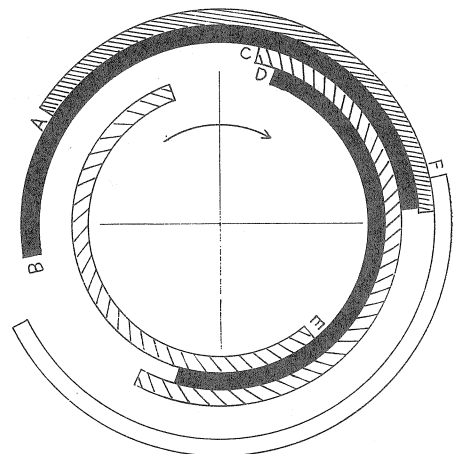
なお上死点、下死点においては筋の活動状態は著しく低下するが、これらの時点でも各筋の活動が全部停止して、いわゆる死点を形成するような現象はみられなかった。

また一般に下腿の筋群の放電量は大腿筋群のそれに較べて小さく、腓腹筋はペダルを下げる踏み足の時期に、前脛骨筋はペダルを引上げる引き足の時期に主として動くのが普通であった。

しかしペダルが真上、すなわち上死点附近にあるときには、下腿の筋群は全く静止していた。

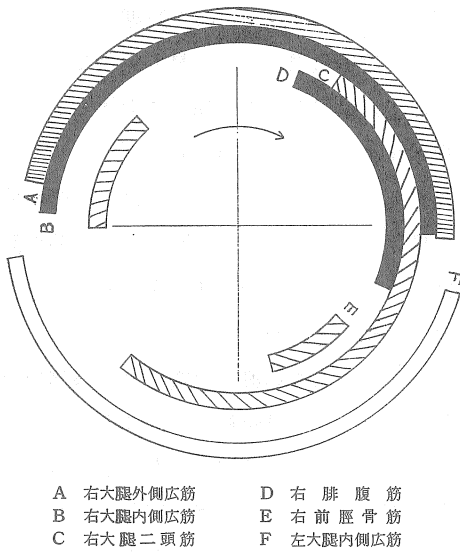
またこの場合におけるこれら各筋の活動時期を佐藤選手の全力走と、大宮選手の持久走の場合についてみると次の図4及び5に示す如く、前者の場合には一般に大腿2筋の活動開始時点が早くなっている許りでなく、下腿の2筋の放電時間が共に長いので全週期を通じて筋の静止期がみられな

図4 全力走一回転当り放電持続様式（佐藤）



- A 右大腿外側広筋
- B 右大腿内側広筋
- C 右大腿二頭筋
- D 右腓腹筋
- E 右前脛骨筋
- F 左大腿内側広筋

図 5 持久走一回転当り放電持続様式 (大宮)



かったのに対し、後者の場合には前掲図 2 にも示す如く、大腿 2 筋の放電時間並びに放電量が下腿の 2 筋に較べてはるかに大きく、大腿の筋と腓腹筋がよく働き、第 III 象限の後半 1/2 サイクル程全筋が静止する時期がみられた。またこの場合には下腿の 2 筋も拮抗的に活動し、同時活動する時期がみられなかった許りでなく、前脛骨筋も第 II 象限と第 IV 象限の時期に分離してあらわれているのである。

しかしこれにはかなりの個人差があり、どの選手も全力走或いは持久走の場合に、これら両選手と同様な筋電図を示すとは限らなかった。

すなわち、持久走の場合には第 III 象限と第 IV 象限の間に全筋の放電が停止する時期がみられるのが普通であったが、石橋、赤松の両選手が持久走を行なった場合の筋電図にはこのような静止期はみられなかった。

次に各筋の活動様式の特徴とその個人差についてみると、ペダルを回転する際の主働筋と考えられる大腿四頭筋は第 IV 象限から第 I 象限にかけて著しく活動するのが普通であり、放電開始時点に

多少の個人差はあるが、全員よく似た活動型を示していたが、大腿二頭筋の働きにはかなりな個人差がみられた。この筋は大腿四頭筋に較べて一般に放電量が少なく、主としてペダルが第 I, II, III 象限にある時期に活動するのが普通であったが、その放電は早いものは第 IV 象限の中央から始まり、遅いものは第 I 象限の終り頃から始まるというような状態で、開始時点がかなり異なるのが特徴であった。

なお平山、大宮両選手の大腿二頭筋の放電量は比較的大であったが、石橋選手のそれは著しく小であった。

また腓腹筋はペダルが第 I, II, III 象限にある時期に活動するのが普通であったが、その放電持続時間にはかなりな個人差がみられた。

この筋は殆んど一様に第 I 象限の前半から放電を開始するが、その終了時点は早いものは第 II 象限の 1/3 の部位、遅いものは第 III 象限の 1/3 部位というように 1/3 サイクルに達する大きな差を示した。

すなわち一般に大宮、班目両選手の如く引き足を余り使わない選手の放電持続時間は短かく、赤松、竹井両選手の如く引き足を使う選手のそれは長いような傾向がみられた。

なおこの筋の放電量は普通中等度であったが、赤松選手のそれだけは非常に大であった。

また前脛骨筋の放電量は一般に少なかったが、その活動時期には著しい個人差がみられた。

すなわちこの筋の活動時期は第 II 象限と第 IV 象限にあるものと第 III, IV 象限にあるものがあり、その放電様式も 2 群に分離しているものと一群のものがあった。

放電が 2 群に分離しているものは殆んど第 II 象限と第 IV 象限に放電しており、1 群のものは放電持続時間が著しく異っていたが、放電の終了時点は比較的一致しており、殆んど第 IV 象限の後半に

終るのが普通であった。

すなわち大宮、山尾、上原選手らの筋電図は第Ⅱ象限と第Ⅳ象限に分離して放電しており、班目、竹井両選手のそれは第Ⅲ、Ⅳ象限で働いており、佐藤、石橋、赤松選手らのそれは第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ象限に亘って長く持続的に放電していたのである。なおこの筋の放電持続時間の短い班目選手の放電量は非常に大きく、佐藤選手の筋電図では第Ⅰ象限の時期にも放電していることがあった。

また一般的にみて大腿筋群の放電量は下腿筋群のそれより大であったが、赤松、班目両選手のそれは両者が大体同程度の放電量を示していた。

また大腿四頭筋と大腿二頭筋は第Ⅰ象限の時期に同時に放電するのが普通であったが、平山選手の筋電図にはこの両者が同時に放電する時期がみられなかった。

さらに下腿の腓腹筋と前脛骨筋も第ⅡⅢ象限の時期に大部分の例では同時に働いていたが、班目選手の筋電図にはこれら両筋が同時に働いている時期がみられなかった。

このように自転車走時における筋電図には、かなりの個人差があるので、全力走の場合でも、持久走の場合でもどの時期にどの筋を働かせれば最も効率的にペダルを回転することができるかを明らかにすることができなかった。

しかし今後かかる特徴をもった踏み方をしている各選手のエネルギー需要量を測定して、その場合の効率を求め、或いはその場合にペダルにかかっている力とその筋電図との関係を検討してこの欠を補えば、各選手の脚力に最も適した踏み方、従って又その選手の記録の向上に資することができるのではないかと考える。

## (2) 自転車のサイズと筋電図との関係

競技用自転車にはどのようなサイズのものが最も適するかは常に問題にされることであり、従来も選手の身長や脚長等から色んなサイズの決め方が工夫されて来た。

そこでここでは取敢えず各選手が現在使用しているサイズのものと、伊太利のコスタコーチが提唱しているサイズのものと、各選手が自分で選んだ最もよいサイズの自転車に乗って、全力走並びに持久走を試みた場合における筋電図を記録してその放電様式の差異を検討してみた。

なおこれら三通りのサイズの自転車は、次の表1に示す如く、各選手によって多少異なるが、大体においてコスタサイズのは現用サイズのものに較べて立パイプも長く、任意サイズのは立パイプは長い、上パイプは反対に短いものであった。

表 1 各種サイズの自転の大きさ (平均値)

	現用サイズ (mm)	コスタサイズ (mm)	任意サイズ (mm)	現用サイズとの差 (mm)	
				コスタサイズ	任意サイズ
立パイプ	517	537	532	+20	+15
上パイプ	529	555	510	+26	-19

もちろんその差はせいぜい1.5—2.6cm程度の僅かなものであるが、この程度の差といえども選手が最高の能力を発現する場合には、かなりな影

響があらうことはいうまでもない。

そこでこれらサイズを異にする3種の自転車各選手が全力走並びに持久走を試みた場合におけ

表 2 各種サイズの自転車で走行した場合における  
放電持続時間 (m sec)

		現用 サイズ	コスタ サイズ	任意 サイズ	現用サイズに 対する増減	
					コスタ サイズ	任意 サイズ
全 走 力	一回転所要時間	508	521	526	+ 13	+ 18
	内側広筋	262	270	240	+ 8	- 22
	外側広筋	190	210	212	+ 20	+ 22
	大腿二頭筋	215	320	350	+105	+135
	前脛骨筋	218	227	217	+ 9	- 1
	腓腹筋	205	242	295	+ 37	+ 90
持 久 走	一回転所要時間	615	585	601	- 30	- 14
	内側広筋	271	270	269	- 1	- 2
	外側広筋	235	250	250	+ 15	+ 15
	大腿二頭筋	279	334	359	+ 55	+ 80
	前脛骨筋	234	226	257	- 8	+ 13
	腓腹筋	350	298	287	- 52	+ 63

表 3 コスタサイズ並びに任意サイズの自転車で走行した  
場合における一回転当たり放電持続時間の現行サイ  
ズの自転車で走行した場合に対する増減(度)

		放電持続時間		放電開始及び終了時点			
		全力走	持久走	全力走		持久走	
				開始	終了	開始	終了
コ ス タ サ イ ズ	大腿四頭筋	+ 5	+ 9	+ 8	+ 3	+13	+ 4
	大腿二頭筋	+68	+51	+23	-45	+50	- 1
	前脛骨筋	± 0	- 2	± 0	± 0	+ 1	± 0
	腓腹筋	+15	-17	+10	- 5	+ 6	± 0
任 意 サ イ ズ	大腿四頭筋	± 0	+ 9	-10	-10	+13	+ 4
	大腿二頭筋	+83	+63	+43	-40	+53	-10
	前脛骨筋	- 5	- 4	-10	- 5	+ 1	+ 5
	腓腹筋	+10	- 8	+ 5	- 5	+ 6	+14

但し放電開始及び終了時点の  
+は早く開始又は終了  
-は遅く開始又は終了

る各筋の放電持続時間を比較してみ  
ると次の表に示す如く、全力走の場  
合にはペダラー回転の所要時間に多  
少の差があり、現用サイズの自転車  
を使用した場合が最も短く、任意サ  
イズの自転車を使用した場合が最も  
長かったが、この場合における大腿  
二頭筋、腓腹筋並びに外側広筋の放  
電時間は現用サイズを使用した場合  
に較べてコスタサイズ並びに任意サ  
イズの自転車を使用した場合の方が  
一様に延長していた。ただ任意サイ  
ズの自転車を使用した場合における  
内側広筋の放電時間だけは現用サイ  
ズを使用した場合よりもやや減少し  
ていた。

しかし持久走の場合には現用サイ  
ズを使用した場合の一回転所要時間  
が最も長かったためか、現用サイ  
ズの自転車を使用した場合の放電持続  
時間と、コスタサイズ並びに任意サ  
イズの自転車を使用した場合のそれ  
との差は多少減少していたばかりで  
なく、腓腹筋の放電持続時間は全力  
走の場合と反対に、後者の方がかな  
り短くなっていった。

しかし外側広筋並びに大腿二頭筋  
のそれは全力走の場合と同様かなり  
な延長を示していた。特に両場合を  
通じて、立パイプの長いコスタサイ  
ズ並びに任意サイズの自転車を使用  
した場合には、大腿二頭筋の放電持  
続時間の延長が著しかったことは前  
表に示す通りである。



またこの放電持続時間をペダル一回転当りの角度で比較してみると次の表3に示す如く、現用サイズの自転車を使用した場合に較べてコストサイズ並びに任意サイズの自転車を使用した場合における大腿二頭筋の放電持続時間は各選手とも同様な延長を示しており、全力走の場合には68—83度、持久走の場合には51—63度という著しい延長を示していた。

これは主としてこの筋の放電が早く始まって遅くまでつづくためであり、立パイプが長くなると膝関節における大腿と下腿のなす角度が大きくなるので、この筋の放電開始時点が早く始まり、放電終了時点がおくれるようになるためと考える。

また前脛骨筋の放電時間にはサイズによる差が殆んどみられなかったが、コストサイズ並びに任意サイズの自転車を使用した場合における大腿四頭筋の放電持続時間は、現用サイズの自転車を使

用した場合に較べて多少延長するような傾向を示した。

しかし腓腹筋の放電持続時間は全力走の場合と持久走の場合で異り、コストサイズ並びに任意サイズの自転車を使用した場合における、この筋の放電時間は現用サイズの自転車を使用した場合に較べて全力走では長くなるが、持久走では反対に短くなるような傾向がみられた。しかしこの傾向は各選手が自転車のサイズを変えた場合に一樣な変化を示さなかったので、はっきりいえることはできない。

したがってこの程度のサイズの差では、立パイプが長くなれば大腿二頭筋の放電持続時間が長くなること以外に大した変化があるとは考えられない。しかしこの筋の放電持続時間が長くなることがスピードを増すために或いは効率を高めるために有利なことであるかどうかについては今後の研

表4 自転車走行時における下肢筋の放電時間の逐時的变化（4選手平均）

時		点	10秒	50秒	110秒	170秒
一回転時間	時間 (m sec)		609	651	754	729
	同標準偏差		22.0	8.3	28.5	13.4
	逐時的变化 (%)		100	107	124	120
大腿内側広筋	放電時間	時間 (m sec)	269	287	270	268
		同標準偏差	18.7	16.4	21.1	19.9
		逐時的变化 (%)	100	107	100	100
	休止時間	時間 (m sec)	339	381	486	463
		同標準偏差	21.7	30.5	39.5	24.7
		逐時的变化 (%)	100	112	143	137
休止時間 / 放電時間			1.26	1.33	1.80	1.73
腓腹筋	放電時間	時間 (m sec)	317	319	263	314
		逐時的経過 (%)	100	101	83	99
	休止時間	時間 (m sec)	285	320	477	397
		逐時的経過 (%)	100	112	167	139
休止時間 / 放電時間			0.90	1.03	1.81	1.26

究に俟たなければはっきりしない。

しかしおそらく立パイプの長いコスタサイズや任意サイズの自転車は、現用サイズのそれに較べて大腿二頭筋に余分な負担をかけるので、効率の低下を招くのではなからうか。この点についても今後回転力や回転効率を測定して解明したいと考えている。

### (3) 自転車走行時の疲労と筋電図

自転車走行時に時間の経過、従ってまた疲労の進行に伴って下肢筋の筋電図が如何なる変化を示すかを明らかにするために、時速35kmの速度で3分間走らせた4選手の大腿内側広筋並びに腓腹筋の筋電図について走行開始後10秒、50秒、110秒、170秒の時点における放電持続時間並びに休止時間を計測してみた。

次の表4は上記4時点における10動作の放電時間、休止時間並びに一回転所要時間とその標準偏差の平均値を示したものである。

この表に示す如く一回転所要時間はできるだけ一定の速度(35km)で踏むように努力させたのにも拘らず、いずれも後半延長の傾向を示しており、最後のスパートによっても最初の回転時間を持続することはできなかった。

そしてこの速度の低下は主として各筋の放電休止時間の延長によるものであることは4表を見ても明らかである。

表5 放電時間の偏差

選手名	一回転時間(m sec) ( $m \pm \delta$ )	内側広筋の放電時間 (m sec) ( $m \pm \delta$ )
大 宮	641 $\pm$ 9.6	305 $\pm$ 9.4
赤 松	665 $\pm$ 13.3	312 $\pm$ 19.0
山 尾	686 $\pm$ 18.7	220 $\pm$ 28.0
上 原	715 $\pm$ 18.1	258 $\pm$ 19.7

すなわちペダル踏み運動の主働筋である大腿内側広筋並びに腓腹筋の放電時間は、時間の経過に伴って多少長くなるものも、短くなるものもあったが、全体としては大した変化を示さなかったのに対し、休止時間は時間の経過に伴って全例延長を示した。

このことは放電時間すなわち筋の活動時間は殆んど変わらないが、その場合発生する力が漸次減少することによるものと考ええる。

なお次表5に示す如く優秀な選手は一般にこの放電時間の偏差が小さかったが、3分程度の持久走では時間の経過に伴ってこの偏差が特に増大するような現象はみられなかった。

また時間の経過に伴って下肢各筋の放電量にも多少の変化がみられた。

次の図6にも示す如く、この場合最も大きな変化を示したのは腓腹筋の放電量の減少であった。

特にこの筋の放電量が大きかった赤松選手の如きはその低減が著しく、次の図7にも示す如く、その欠を大腿四頭筋とか、前脛骨筋の放電量の増大によって補っているような傾向がみられた。

腓腹筋の放電量がこのような減少を示すことは当然前に述べた回転時に発生する力の低減にも関係があるものと考えるので、持久走においてはこの筋に余り負担をかけないような踏み方を考究する必要があるのではなからうか。

## IV. 総 括

自転車の走行速度と効率を増すために最も好適なペダルの回転動作を明らかにするために各種サイズの自転車で全力走並びに持久走を試みた場合における下肢筋の筋電図をしらべて大要次の如き結果を得た。

(1) 右の下肢各筋の放電様式からみてもつとも力が入っているのはペダルが第I象限にある時期

であり、それが第Ⅲ象限に入ると力は著しく低減し、選手によっては下肢各筋が全部活動を停止する時期さえみられたが、第Ⅳ象限に入ると大腿四頭筋がかなり活動を開始する。しかし力が低減する象限はそれぞれ反対の足の力が増大している時期に当るので、全体としては各象限を通じて一定の回転速度を示すようになるものと考ええる。

なお上死点、下死点においては筋の活動状態がかなり低下するが、各筋の活動が全く停止していわゆる死点を形成するような現象はみられなかった。

(2) 自転車の立パイプが長くなると大腿二頭筋の放電持続時間が一般に延長する。これは膝関節における大腿と下腿のなす角度の大きい時期が長いいため、この筋の放電が早く始まり、遅く終るためと考える。

(3) 3分間の持続走においては時間の経過に伴って放電時間は殆んど変らなかつたが、休止時間が延長して一回転所要時間の増大を示すのが普通であった。これは各筋の発生力の低減によるものと考えるが、特に腓腹筋の放電量は時間の経過に伴って著しい減少を示した。

図 6 持久走に於ける筋電図の経時的変化 (上原)

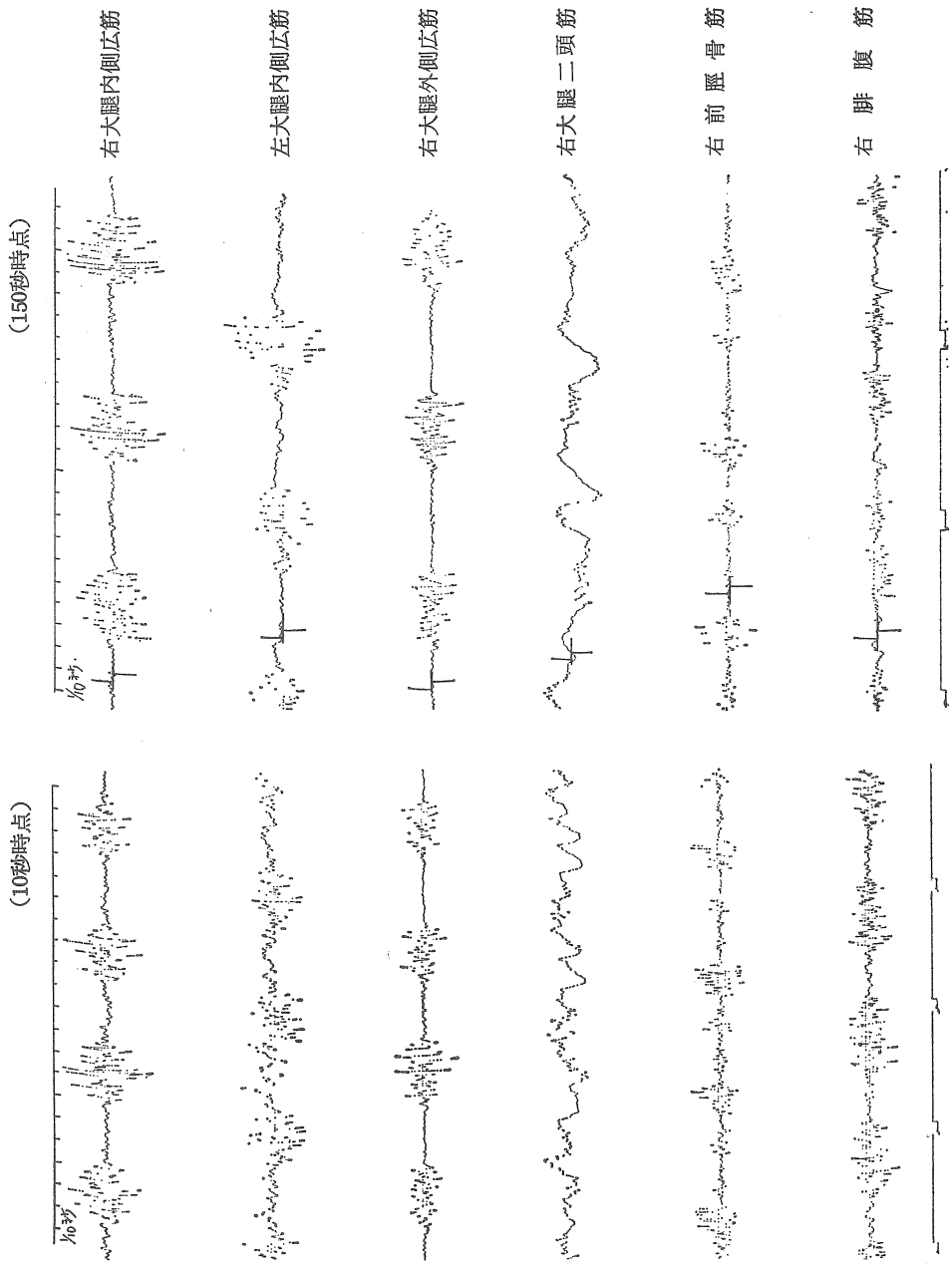


図 7 持久走における筋電図の経時的変化 (赤松)

