

筋電図による自転車駆動動作の分析

＜自転車の安全性，操縦性の研究＞

名古屋大学人間工学チーム 松井秀治，亀井貞次

自振協技術研究所 浜崎健輔

まえがき

自転車の駆動は，下肢（し）の伸展，屈曲という単純な運動から成り立つ。すなわち，ひざ関節とまた関節の屈伸によりひき起こされた力が，ペダルを介し，クランクの回転運動を導き車輪の推進力となる。このような人力，ことに下肢の運動による自転車の駆動動作で最も重要なのは，自転車の乗車姿勢である。乗車姿勢は自転車自体の操縦性と駆動のためのエネルギー需要，および駆動者の体力，ことに駆動に伴う筋疲労と関係する。

現在一般に使用されている自転車での乗車姿勢は，乗る人と自転車とが接触する場所，具体的にはサドルとハンドルの2個所で決まるといってよい。本研究ではこの2個所につき，次の3つの状態のもとでの駆動動作への影響を究明してみた。

- (1) ハンドル形態による駆動動作の差異
- (2) サドルの高さの変化による駆動動作の差異
- (3) ペダルを踏む時のペダルの上の足の位置による駆動動作の差異

駆動動作の分析は，現在人間の運動姿勢や諸動作の動きの分析などに広く用いられている筋電図法によった。なお，この究明にあたっては，駆動動作と自転車の安全性，操縦性との関連を重視して検討した。

1 実験方法

1.1 筋電図の記録

筋電図の記録は，自転車駆動時の動作に最も深く関与していると見られる上肢筋，下肢筋，体幹部の諸筋について，表面電極法により誘導記録した。

筋電図の誘導部位は図1に示した7つの筋群である。

- ①前脛（けい）骨筋，②腓（ひ）腹筋，③外側広筋，④大腿（たい）二頭筋，⑤大円筋，⑥上腕二頭筋，⑦手根伸筋

なお，筋活動に伴う脚の動きを同時記録し，筋電図に

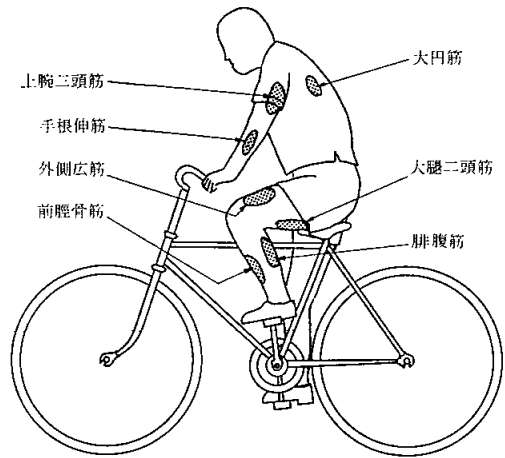


図1 駆動動作の主働筋

による駆動動作の判読をよりよくするために，ひざ関節の角度変化を Electrogoniometer で記録した。なお，できるだけ多くの筋電現象の記録が望ましいことであるが，ここでは測定法上の関係から8現象の同時記録とした。

1.2 走行条件

1.2.1 走行時の乗車姿勢

走行時の具体的乗車姿勢は，次のとおりの組合せであり，それぞれの走行状態で筋電図の記録を行った。

- (1) ハンドル形態による駆動動作の差異
 - イ．フラットハンドルでの走行
 - ロ．ドロップハンドルでの走行
- (2) サドルの高さの変化による駆動動作の差異
 - イ．サドルに座り，足が地面につかない高さの場合での走行（現在広く行われているペダルに足をのせ，ひざが軽く伸びた状態）
 - ロ．サドルに座り，足が地面につく場合の高さでの走行
- (3) ペダルを踏む時のペダル上の足の位置による駆動

動作の差異

- イ. 足の親指のつけ根（母指球）がペダル軸上の真上にくるようにペダリングしての走行
- ロ. 土踏まずがペダル軸の真上にくるようにしてのペダリングによる走行

1.2.2 走行車種と速度

ミニサイクル（車輪の呼び22）ならびに軽快車（車輪の呼び26）およびモナークエルゴメータを実験対象車として予備実験を行ったところ、同一条件姿勢では、筋電図記録に車種による差は全く認められなかったことから、本実験では自転車の代わりに負荷条件の定常性も考慮して、ほとんどモナークエルゴメータを用いた。この場合、自転車エルゴメータの負荷は、1KP（注：KPとは自転車エルゴメータの負荷単位）と3KPに固定し、走行速度はクランクの回転数を指標とした。すなわち、リズマーによりクランクの回転数を毎分40, 50, 60, 70, 80, 90, 100回に規制した。筋電図の記録は各回転数ごとに5～10分程度の走行を行った後記録した。

1.3 被験者

対象は成人男子10名としたが、筋電図記録は延べ600回を越えた。

2 結果

記録された筋電図の代表例を図2～8に示した。

図2はエルゴメータの負荷を3KPに固定し、クランク回転数を毎分50回として走行した時の筋電図である。

左側がフラットハンドル、右側がドロップハンドルの場合である。

2.1 ハンドル形態による駆動動作の差異

2.1.1 フラットハンドルについて

ペダリング動作における筋の放電様式を逐次的に見る

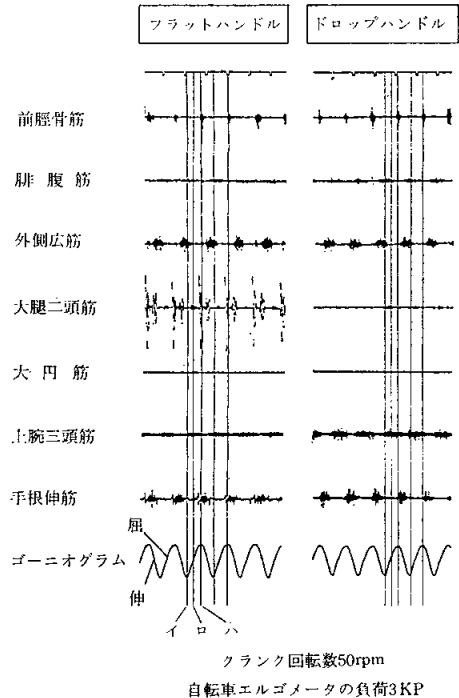


図2 走行時の筋電図

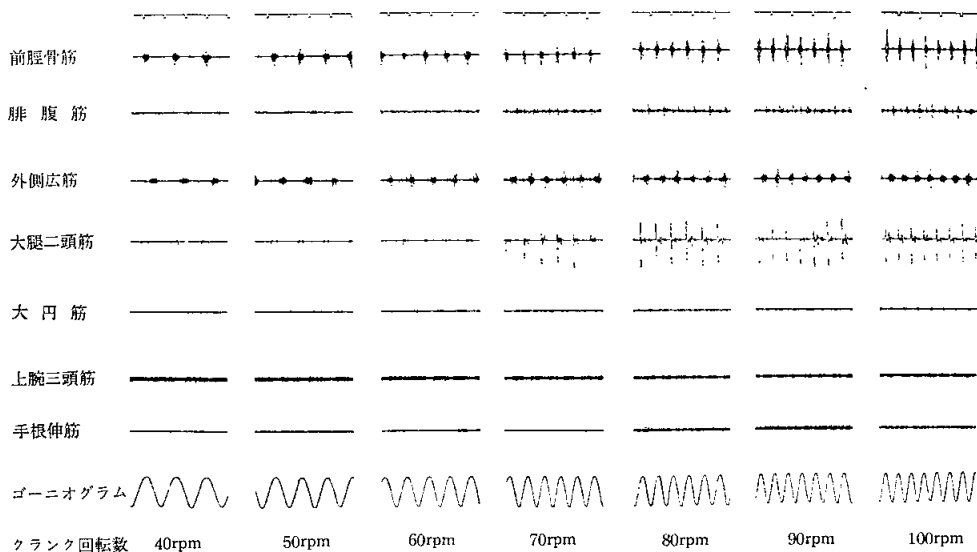


図3 走行時の筋電図 フラットハンドル 1KP

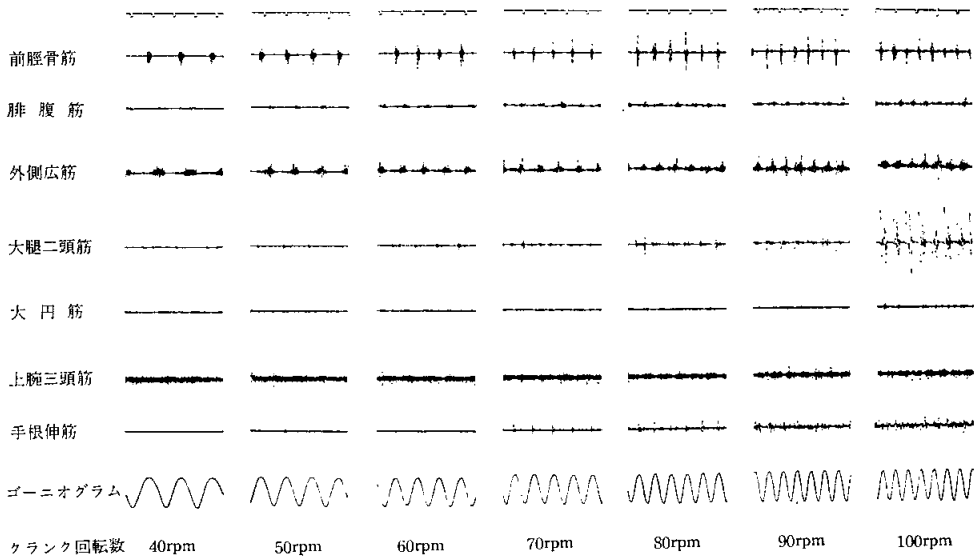


図4 走行時の筋電図 ドロップハンドル 1 KP

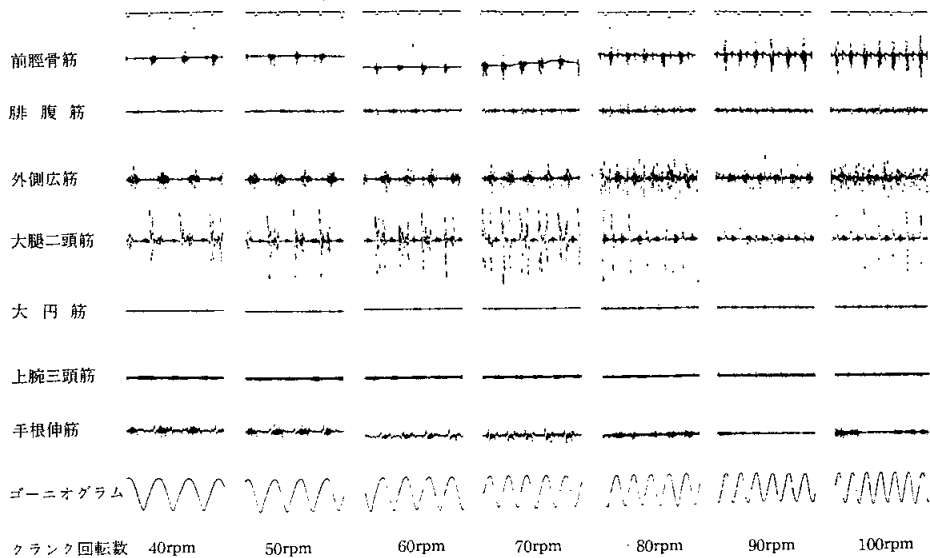


図5 走行時の筋電図 フラットハンドル 3 KP

と、ひざ関節が完全に伸ばされた状態（図2-イ）では腓腹筋、外側広筋、上腕三頭筋に小さな放電が見られ、他の筋肉には放電がほとんど見られない。腓腹筋の放電は足首を屈曲した状態で固定するためのものであり、外側広筋の放電はひざの伸展によるものである。

ペダルを持ち上げ、ひざが屈曲を始めると（図2-ロ）腓腹筋、大腿二頭筋、上腕三頭筋に認められる。腓腹筋、大腿二頭筋の放電量の増加はひざの屈曲に伴って起こったものである。

ペダルが引き上げられ、ひざが屈曲した状態（図2-ハ）では、前脛骨筋、大腿二頭筋に大きな放電量の増加

が見られる。前脛骨筋の放電量の増加は、屈曲されている足が、ペダルを高いところに持ち上げたため足の背曲が起きたために見られたものである。また、大腿二頭筋のそれは、ひざの屈曲に伴うものである。

屈曲されたひざを伸ばしながら、クランクを下に踏み込んでいく過程では、腓腹筋、外側広筋、大腿二頭筋、上腕三頭筋、手根伸筋に放電量の増加が見られる。腓腹筋の放電量の増加は足の屈曲によって見られるもので、外側広筋はひざの伸展に関与して起きるものであり、大腿二頭筋は股（また）関節の伸長に伴うものである。

図に示されるように、上腕三頭筋が駆動動作中を通し

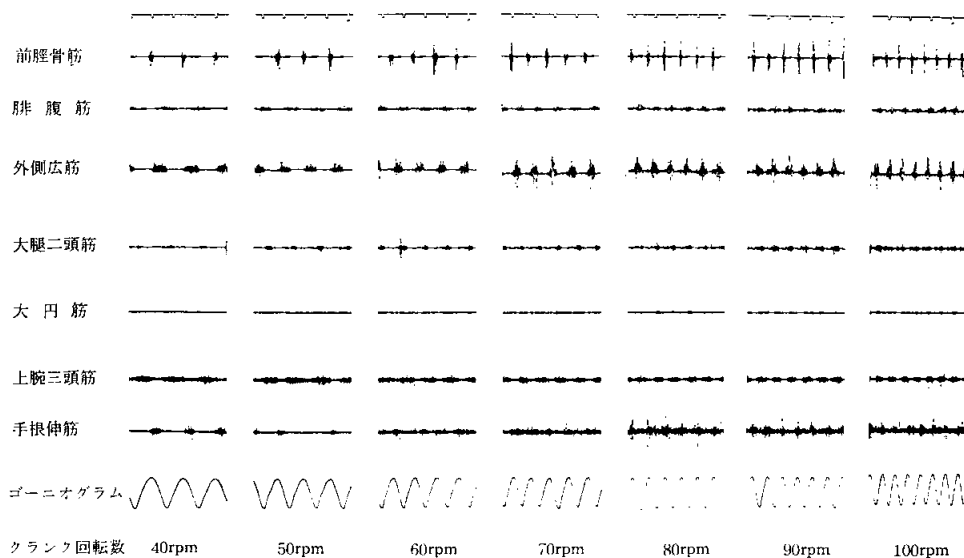


図6 走行時の筋電図 ドロップハンドル 3 K P

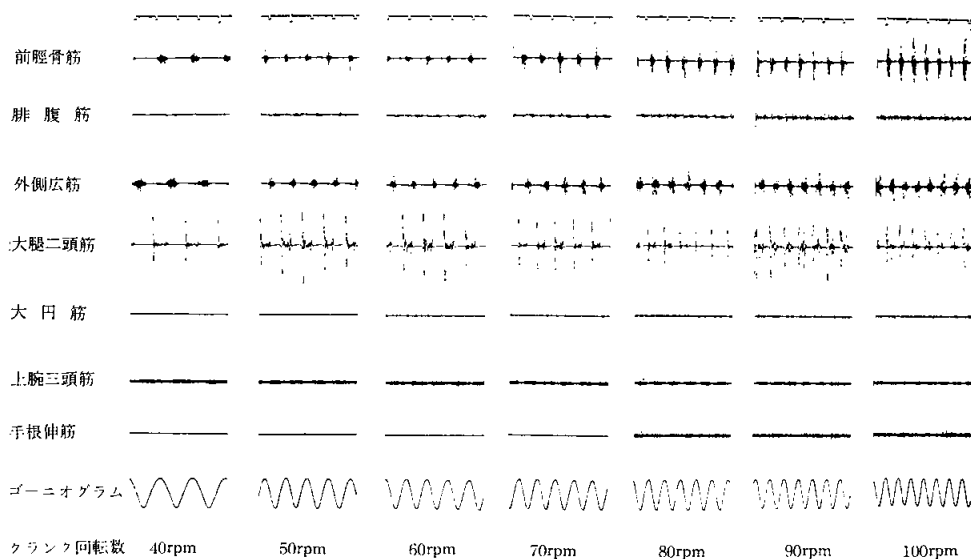


図7 走行時の筋電図 フラットハンドル 1 K P 低サドル

て放電を続けているが、これはハンドルを握った姿勢が、やや前かがみになっているためと思われる。また、手根伸筋の放電は手首を背側に曲げ、ハンドルを握り続けているために見られるものである。しかし、この両者の放電を詳細に見ると、ひざ関節の屈伸に伴い、明らかに放電量の相違が見られる。すなわち、ひざ関節の伸展時には手根伸筋に、そして屈曲時には上腕三頭筋に大きな放電が見られる。このことは明らかにひざ関節の動きに伴い、上肢における対抗的な筋活動の行われていることを示すものである。

2.1.2 ドロップハンドルについて

フラットハンドルの場合と同じように、ひざが伸ばされた状態では、腓腹筋、外側広筋、上腕三頭筋に放電が見られる。

ひざが屈曲を始めると、腓腹筋、大腿二頭筋、上腕三頭筋に放電が認められる。そして、ひざが完全に屈曲した状態では、前脛骨筋、上腕三頭筋に放電が見られる。

フラットハンドルではひざの屈曲により大腿二頭筋に大きな放電が見られたが、ドロップハンドルでは、この

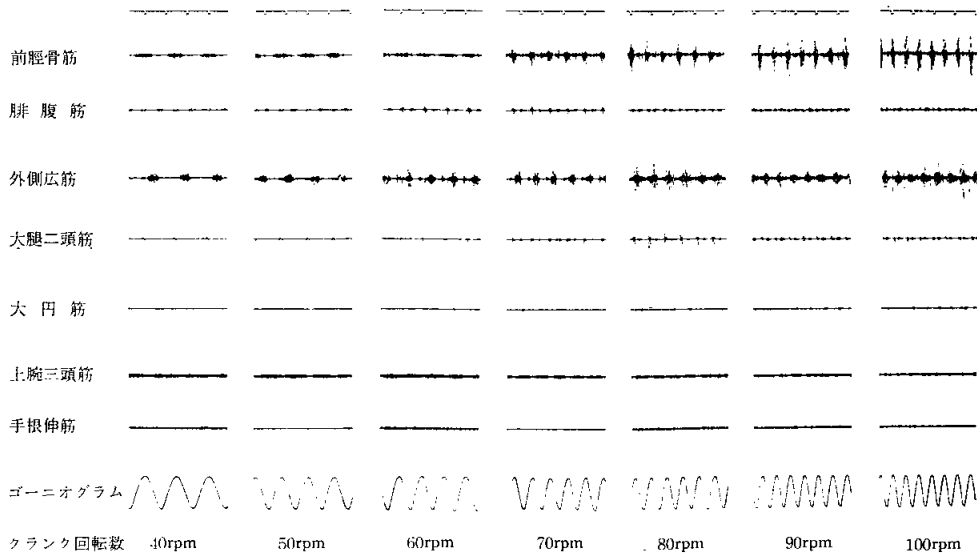


図8 走行時の筋電図 フラットハンドル 1 K P 土踏まずで踏む場合

場合の放電がほとんど認められない。このことは同じようなひざの屈曲に見えるが、上体の前倒屈の深いドロップハンドルでの乗車姿勢では、ひざの屈曲が深くなるからであろう。

屈曲されたひざを伸ばしながら、クランクを踏み込んでいく過程では、腓腹筋、外側広筋、上腕三頭筋、手根伸筋に大きな放電が見られる。

フラットハンドルとの大きな差異は、ここでも大腿二頭筋の放電がほとんど見られないことである。

駆動動作中の上腕三頭筋、手根伸筋の放電パターンはフラットハンドルの時とほぼ同じであるが、フラットハンドルの場合よりさらに両者の対抗動作がはっきり認められる。

2.2 走行速度（回転数）の増大とハンドル形態の違いによる差異

図3, 4はエルゴメータの負荷を1 K P, 図5, 6は負荷を3 K Pに固定し、フラットハンドルとドロップハンドルで種々の速度回転数で走行した時の筋電図である。

フラットハンドルとドロップハンドルで走行した際の両者の大きな違いは、上腕三頭筋、手根伸筋、外側広筋、大腿二頭筋に見られる。

そのうち上腕三頭筋と手根伸筋の放電量の違いは、明らかにハンドル位置による乗車姿勢に起因する。すなわち、フラットハンドルの場合はサドル上に体重のほとん

どをかけ、上体をやや前かがみにしての乗車で、両腕は上体を軽く支えるようにハンドルを握っている。このことが、筋放電を小さくしている。これに対してドロップハンドルでは、上体がかかなり前かがみになるため、サドルにかかる体重はフラットハンドルの場合より少なくなり、上体の体重の大部分はハンドルを握る両腕によって支えられることになり、結果として大きな放電を見ることがとなる。このようにドロップハンドルの乗車姿勢は、両腕でかなりな体重を支えるといった人間にとって不自然な姿勢であるので、この乗車姿勢での長時間の走行維持はむずかしい。

ペダリングの主働筋である外側広筋、大腿二頭筋では低速走行時と路面抵抗の小さい時（1 K P）は、両者に大きな差異は認められないが、高速走行時の路面抵抗の大きな時（3 K P）は、フラットハンドルでは筋放電が大きく、特にクランク回転数が80回以上の場合には、筋放電がほとんど連続となるのに対して、ドロップハンドルでは筋の放電は小さく、収縮、弛（し）緩が規則正しく繰り返されているという明りょうな差が認められる。

自転車の駆動は、ペダルを踏む力が推進力として利用されるものであって、フラットハンドルで見られるひざ関節を屈曲しながら、ペダルを上引き上げるときに見られる大腿二頭筋の筋活動は、力の発生から見た場合は全くの損失であり、連続した活動を行う自転車駆動では筋に疲労をひき起こし、やがては走行を不可能にすることとなる。したがって、上下肢の筋群の活動から見た場

合は、日常の実生活レベルでの自転車利用では、フラットハンドルでの走行が適切であるが、高速走行や、路面抵抗の大きな坂道など大きな力や一過性の強いペダリングの望まれる場合では、ドロップハンドルが有効である。

2.3 座席の高さの変化による差異

図3, 7はフラットハンドルで座席の高さを変えて走行した際の筋電図である。図に示されるように、前脛骨筋、腓腹筋、外側広筋、大円筋、上腕三頭筋、手根伸筋では両者の筋電図が非常に似ているが、大腿二頭筋の放電パターンに差異が見られる。すなわち、足が地面につく場合は、40回転からかなり大きな放電が見られるのに対し、足が地面につかない場合は70回転以上で始めてほぼ同様の放電が見られる。これは座席の高さが低いために、ひざの屈曲、股関節の伸展に伴う筋活動が活発になることを示すものである。しかし、すでに本研究の一部として報告¹⁾したエネルギー消費の実験でも、低速時では両者に差が認められなかったことを考えると、日常生活での自転車利用では問題はないものと思われるが、高速時では筋の疲労をひき起こすものと考えられる。

2.4 ペダルを踏む時のペダル上の足の位置による差異

図3, 8はペダル上の足の位置による差異の筋電図である。両者の筋電図を見ると、腓腹筋、大腿二頭筋、上腕三頭筋、手根伸筋はほとんど同じであるのに対し、前脛骨筋、外側広筋での放電量に大きな差異が認められる。ペダルを土踏まずで踏む場合での前脛骨筋の多量の放電は、足首を固定してペダルに効果的に力を伝えるようにしていることを示すものである。ただしこのことは、足とペダル位置の関係保持のための筋活動を強制していることとなり、長時間のペダリングの場合には不適といえる。

この関係は外側広筋の放電にも影響している。すなわち、ペダリングの力はかなり外側広筋によって導かれているといつてよい。したがって、ここからも長時間走行時では疲労の要因となり、短期的には望ましいペダリングを導くこととなろうが、長期的には不適といえる。

3 自転車利用面への考察

各種の乗車姿勢における動作を下肢および上肢筋の筋電図記録から分析比較してみたが、同一乗車姿勢では被検者間にペダリング動作による差は認められなかった。このことは自転車はだれにとっても同じ条件で使いこなせる便利な乗物であることを示すものである。しかし、ハンドルの形による差は高速や急坂など負荷の大きい状

態では、明らかにドロップハンドルの放電が大きかった。サイクリング指導書²⁾によれば、ドロップハンドルは高速走行(30km/h以上)や急坂登坂時などのように走行抵抗が大きく、下肢の筋肉群の出馬力だけでは不足する際に、上半身の筋肉群の力をペダル踏力に有効に活用するために用いるものであるとされており、本実験でも、クランクの回転数が70回以上の場合と、クランクにかかる負荷が3KPと大きな走行抵抗の時は、駆動動作の主働筋である下肢の筋肉群に明らかにこの差異が認められ、かかる際のドロップハンドルの優位が示された。

しかし、ドロップハンドルは高速走行、登坂走行では有効であるが、乗車姿勢としては、かなり前かがみであり、日常生活で自然に立った状態で生活している人間にとっては正常な状態の姿勢ではなく、長時間の保持は困難である。したがって、自転車利用者がドロップハンドルの機能を十分理解できない場合は、その使用上多くの問題が生ずる可能性が大きいので、十分な注意が必要と思われる。

次にサドルの高さによる筋電図の分析では、足が地面につく場合下肢筋の一部で大きな放電が認められたが、特に自転車走行に大きな支障を与える様相は見られなかった。したがって、エネルギー効率に関する論文でも指摘したように、日常生活の自転車利用では安全の確保に重点を置くことが望ましく、足が地面につく高さのサドル位置での乗車をすすめたい。

クランク軸上の足の位置では、土踏まずをクランク軸上に置くのが足首を固定し、ペダルに力を加えるのに効果的であるが、この方法は筋の疲労を導きやすい欠点もある。したがってペダリングと足の関係は、自転車利用によって最も効果的な状態を選んで利用することをすすめたい。

別な報告書でも述べたところであるが、自転車走行における脚の動きは人間の歩行時の動きと非常に類似している。しかも、駆動動作がきわめて簡単であるため、利用者の個人的裁量の自由度が非常に高い。このことは反面、自転車乗車の危険度の大きいことをも意味するものである。自転車の操縦性、安全性についてのハードウェア面での開発改良とともに、自転車利用が多用化しつつある今日、その乗車目的による利用法や乗車法についての正しい指導も欠かせない条件であることを改めて付言したい。

文献

- 1) 松井ほか：「自転車走行時の消費エネルギーと効率<自転車の安全性、操縦性の研究>、自振協技術研究所報告、No.8, p.23~28, 1977
- 2) 鳥山新一：CYCLING, 講談社版, 1975