

「動作前 silent period の出現率について」†

—— 第6報 筋収縮の切り換え機構に及ぼす荷重負荷の影響 ——

脇田 裕久* 八木 規夫* 長井 健二*
東海 政義* 矢部 京之助**

The rate of appearance in silent period observed just before a rapid voluntary movement.

6. Effect of adding relative load to body weight on the switching mechanism of muscular contraction.

Hirohisa Wakita*, Norio Yagi*, Kenji Nagai* and Kyonosuke Yabe**

ABSTRACT

It has been observed that the premotion silent period (P. S. P.) appeared just before a rapid voluntary movement. This phenomenon is believed to be caused by one of the inhibitory discharge from the central nervous system. On the other hand, the silent period is also observed when muscles are relaxed by counter movement. This is called as counter movement silent period (C. S. P.). The present study was designed to investigate how both silent periods (P. S. P. and C. S. P.) were affected by adding relative load of 0%, 15% and 30% of the subject's body weight. These loads were fixed to the waist belt of the subject. Eight healthy males aged 18-24 years were subjected to a series of experiment. They were asked to maintain the posture of standing with flexed knee joint at about 50 degrees on the force plate. In the first condition, they were requested to extend their knee joint responding to a flashing lamp as quickly as possible (Non-counter movement). In the second condition, they were asked to extend knee joint as quickly as possible with counter movement to a flashing lamp. The EMG activities of M. rectus femoris, M. vastus medialis, M. vastus lateralis and M. biceps femoris were recorded using bipolar surface electrodes. Force curve from a force plate and electroroniogram were recorded simultaneously.

When the relative loads of body weight were increased from 0% to 30%, the following facts were observed.

- 1) Decrease in the rate of appearance in both silent periods.
- 2) No changes of the latency and the duration of both silent periods.
- 3) Prolonged movement time of both silent periods.
- 4) No change of the muscular strength of both silent periods.

It was suggested in the present experiment that the increase of relative load of body weight would affect minus to the switching mechanism which is desirable to the fast muscular contraction in knee extensors.

† 原稿受理日 昭和61年10月15日

* 三重大学教育学部

** 名古屋大学総合保健体育科学センター

研究目的

あらかじめ、膝関節伸筋群に軽度の随意的な緊張を与えた状態から、急速な跳躍反応動作を起こすと、動作に先行してこれらの筋群に筋放電の休止期が出現する³⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾。この動作前 silent period は、動作開始時間を遅延させ、筋力上昇率を増大させる作用のあることが指摘されている²²⁾。一方、筋力発揮の増大を目的として行われる動作に反動動作があり²⁾⁴⁾¹¹⁾¹⁷⁾、これには相反的な筋活動を伴う場合と脱力によるものがある。準備姿勢時に軽度の筋緊張を与えた状態から脱力による反動動作を行わせると、主動作に先行して主動筋に筋放電の休止期がみとめられ、動作前 silent period と類似した現象が観察される。この動作前 silent period と反動動作を利用した silent period (以下の silent period は sp 略す) との比較については、前者の sp が後者に比較して sp 出現潜時と sp 持続時間が延長し、力曲線の最大鉛直分力が有意に大きくなることが指摘されている。

本研究は、被検者体重の 0%・15%・30% 負荷を付加した条件下で、光刺激に対して垂直方向へ跳躍する反応動作をおこなわせ、動作前 sp と意図的な脱力によって出現する sp の筋収縮切り換え機構が、荷重負荷による準備姿勢時筋緊張の変化にともなっていくような影響をうけるかを比較、検討することをその目的とした。

実験方法

被検者は、18-24才の健全な男子 8 名である。被検者には、force plate 上において両上肢を下垂させ、膝関節を約 50 度屈曲した立位準備姿勢をとらせ、被検者の前方 2 m、高さ 1.5 m の位置に設置した光刺激を注視するように指示した (Fig. 1)。被検者の「用意」

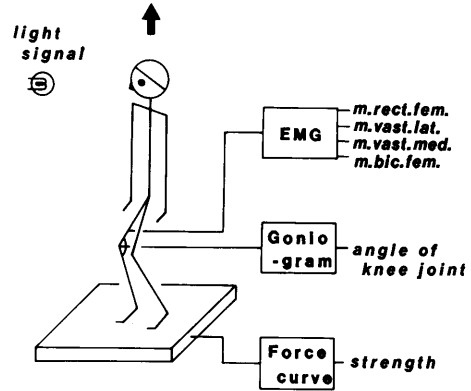


Fig. 1 Schematic representation of experimental arrangement.

の合図の 2-5 秒後に光刺激を与え、次に示す 2 条件の垂直跳による反応動作を行わせた。第 1 は、積極的な膝関節の屈曲を伴わない跳躍動作 (Non-counter movement)、第 2 は反動動作による積極的な膝関節の屈曲を伴う跳躍動作 (Counter movement) である (Fig. 2)。また、荷重負荷は、被検者

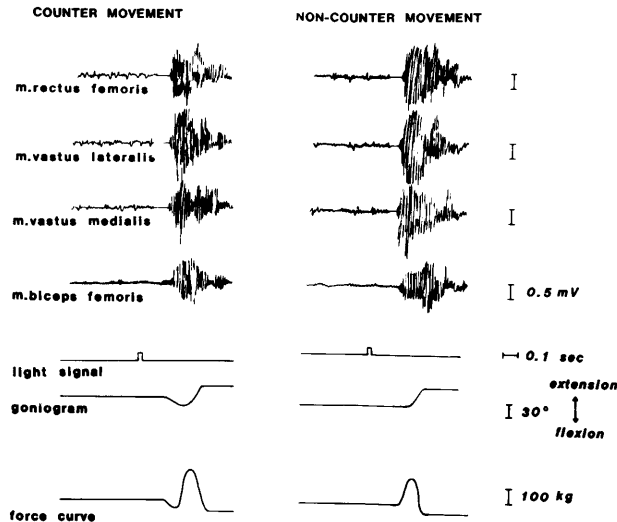


Fig. 2 Comparison of EMG responses, goniogram and force curve between counter movement and non-counter movement.

体重の0%・15%・30%の3条件とし、これらの負荷は被検者の腰部にベルトで固定された。なお、測定回数は各条件について20試行ずつ実施させた。

筋電図は、右側の大腿直筋・外側広筋・内側広筋および大腿二頭筋から表面双極導出法を用いて記録した。膝関節の角度変化は、右膝関節に固定したelectrogoniometerによって記録した。なお、非反動動作と反動動作の区別を明確にするため、特に非反動動作においては膝関節の屈曲が認められた試行を脱力による反動動作とみなして除外した。また、force plateからは、力曲線の鉛直分力を同時に記録した。

実験結果

1. sp 出現率

非反動動作における外側広筋のcomplete sp出現率は、0%負荷が56.7% (S. D. 26.7%)・15%負荷が47.5% (S. D. 17.5%)・30%負荷が30.1% (S. D. 13.6%)であり、負荷の増大にともなって出現率は減少した。荷重負荷条件間には0%と30%負荷お

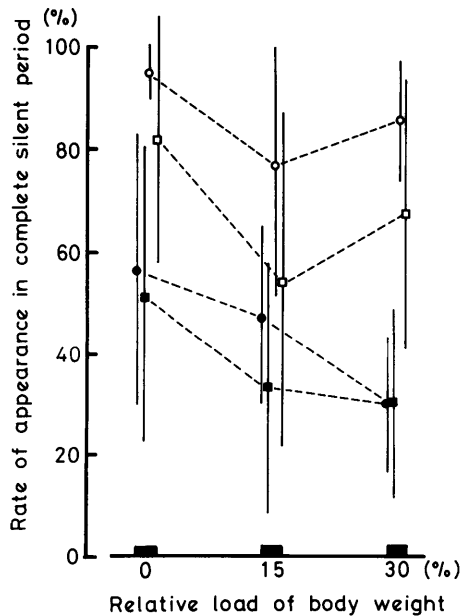


Fig. 3 Changes of rate of appearance in complete silent period with adding relative load to body weight.

White symbols show counter movement and black symbols show non-counter movement. Circle symbols show M. vastus medialis and square symbols show M. vastus lateralis.

び15%と30%負荷の間にそれぞれ5%水準で有意な差が認められた。また、内側広筋のcomplete sp出現率は、それぞれの負荷条件で51.5% (S. D. 29.1%)・33.5% (S. D. 24.7%)・30.4% (S. D. 18.9%)と外側広筋と同様の傾向を示したが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 3)。

一方、反動動作における外側広筋のcomplete sp出現率は、0%負荷が95.2% (S. D. 5.4%)・15%負荷が77.1% (S. D. 25.6%)・30%負荷が85.9% (S. D. 11.5%)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ81.8% (S. D. 23.8%)・54.4% (S. D. 33.1%)・67.5% (S. D. 26.3%)と両筋とも15%負荷が最小値であったが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 3)。

2. sp 出現潜時

非反動動作における外側広筋のsp出現潜時は、0%負荷が117msec (S. D. 11.9msec)・15%負荷が125msec (S. D. 15.4msec)・30%負荷が129msec (S. D. 15.1msec)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ115msec (S. D. 14.5msec)・126msec (S. D. 16.0msec)・129msec (S. D. 20.4msec)と両筋とも負荷の増大にともなって遅延する傾向を示したが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 4)。

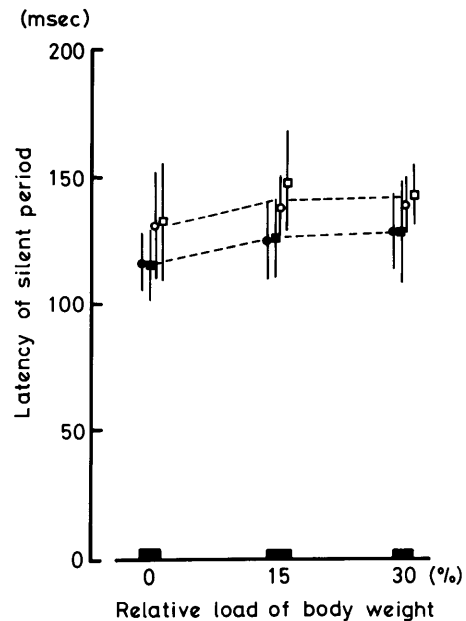


Fig. 4 Changes of latency of silent period with adding relative load to body weight. For symbols, see reference to figure 3.

一方、反動動作における外側広筋の sp 出現潜時は、0%負荷が131msec (S. D. 20.7msec)・15%負荷が139msec (S. D. 11.9msec)・30%負荷が140msec (S. D. 11.0msec)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ133msec (S. D. 23.7msec)・149msec (S. D. 20.1msec)・144msec (S. D. 12.1msec) と外側広筋では負荷の増大にともなって遅延する傾向を示したが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 4)。

2. sp 持続時間

非反動動作における外側広筋の sp 持続時間は、0%負荷が42msec (S. D. 9.5msec)・15%負荷が39msec (S. D. 8.9msec)・30%負荷が37msec (S. D. 10.9msec)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ42msec (S. D. 9.4msec)・37msec (S. D. 8.3msec)・37msec (S. D. 13.0msec) と負荷に関係なくほぼ一定の値を示し、荷重負荷条件間には両筋とも有意な差が認められなかった (Fig. 5)。

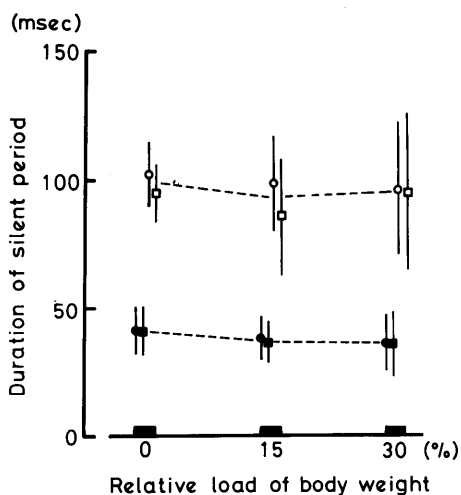


Fig. 5 Changes of duration of silent period with adding relative load to body weight. For symbols, see reference to figure 3.

一方、反動動作における外側広筋の sp 持続時間は、0%負荷が103msec (S. D. 12.1msec)・15%負荷が100msec (S. D. 18.3msec)・30%負荷が98msec (S. D. 26.0msec)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ95msec (S. D. 11.0msec)・87msec (S. D. 22.5msec)・97msec (S. D. 30.4msec) と負荷に関係なくほぼ一定の値を示し、荷重負荷条件間には両筋とも有意な差が認められなかった (Fig. 5)。

4. motor time

非反動動作における外側広筋の motor time (相動性筋放電から膝関節伸展開始までの時間) は、0%負荷が89msec (S. D. 18.1msec)・15%負荷が78msec (S. D. 11.6msec)・30%負荷が100msec (S. D. 24.3msec)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ93msec (S. D. 16.9msec)・78msec (S. D. 12.8msec)・99msec (S. D. 24.0msec) と15%負荷で両筋とも最も短縮した値を示したが、荷重負荷条件間には両筋とも有意な差が認められなかった (Fig. 6)。

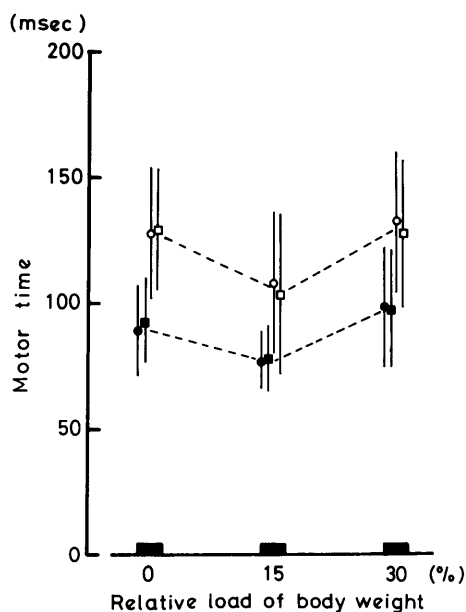


Fig. 6 Changes of motor time with adding relative load to body weight. For symbols, see reference to figure 3.

一方、反動動作における外側広筋の motor time は、0%負荷が128msec (S. D. 26.2msec)・15%負荷が108msec (S. D. 28.3msec)・30%負荷が133msec (S. D. 28.5msec)、内側広筋における負荷条件ではそれぞれ129msec (S. D. 24.7msec)・104msec (S. D. 31.9msec)・128msec (S. D. 29.8msec) と15%負荷で最も短縮した値を示したが、荷重負荷条件間には両筋とも有意な差が認められなかった (Fig. 6)。

5. 動作時間

非反動動作における動作時間は、0%負荷が112msec (S. D. 26.1msec)・15%負荷が132msec (S.

D. 14.5msec)・30%負荷が135msec (S. D. 17.7 msec)と負荷の増大にもなって遅延する傾向を示したが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 7)。

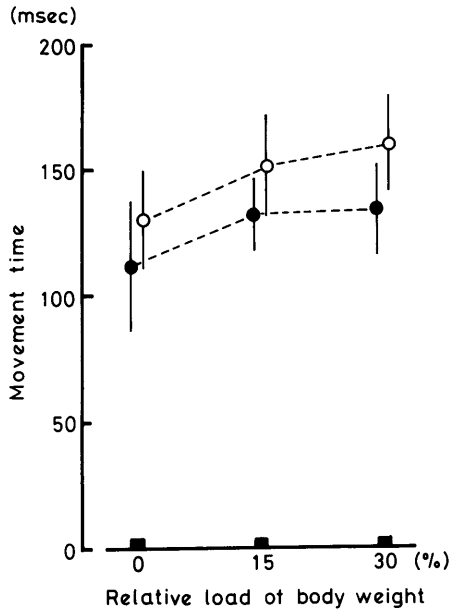


Fig. 7 Changes of movement time with adding relative load to body weight. For symbols, see reference to figure 3.

一方、反動動作における動作時間は、0%負荷が130msec (S. D. 19.2msec)・15%負荷が152msec (S. D. 20.4msec)・30%負荷が162msec (S. D. 19.8 msec)と負荷の増大にもなって遅延する傾向を示し、荷重負荷条件間には0%負荷と15%負荷に5%水準、0%負荷と30%負荷に1%水準の有意な差がみとめられた (Fig. 7)。

6. 発揮筋力

非反動動作における力積は、0%負荷が12.8kg・s (S. D. 2.69kg・s)・15%負荷が11.9kg・s (S. D. 2.01kg・s)・30%負荷が12.6kg・s (S. D. 1.84kg・s)と15%負荷が最小値を示したが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 8)。また、力積を動作時間で除した平均発揮筋力は、それぞれ82kg (S. D. 15.6kg)・74kg (S. D. 13.9kg)・70kg (S. D. 8.7kg)と負荷の増加にもなって減少したが、負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 9)。さらに、筋力上昇率 (力曲線の最大勾配より算出) は、それぞれ2.60kg/msec (S. D. 0.489kg/

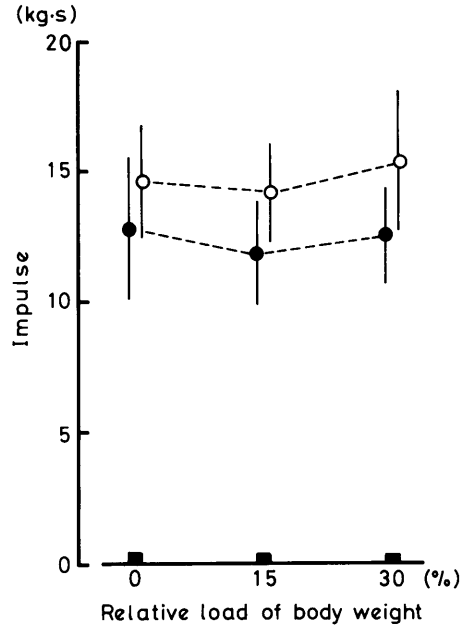


Fig. 8 Changes of impulse with adding relative load to body weight.

For symbols, see reference to figure 3.

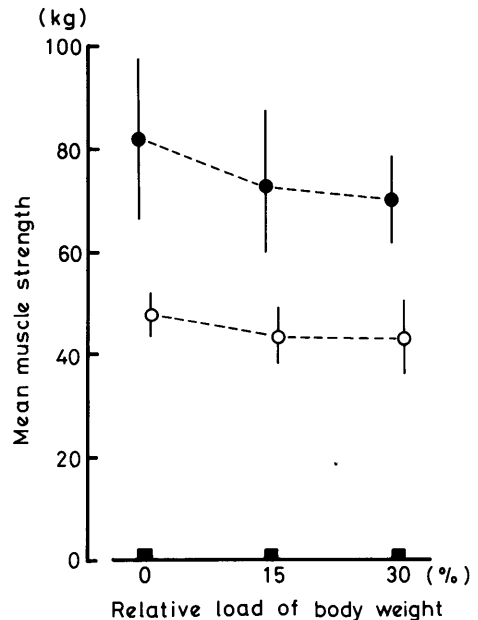


Fig. 9 Changes of mean muscle strength with adding relative load to body weight.

For symbols, see reference to figure 3.

msec)・2.52kg/msec (S. D. 0.657kg/msec)・2.29kg/msec (S. D. 0.439kg/msec)と負荷の増加

にもなって減少したが有意な差は認められなかった (Fig. 10)。

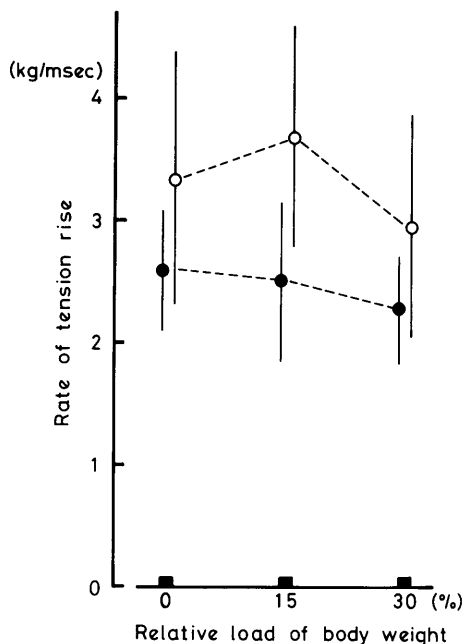


Fig. 10 Changes of rate of tension rise with adding relative load to body weight. For symbols, see reference to figure 3.

一方、反動動作における力積は、0%負荷が14.6 kg・s (S. D. 2.14kg・s)・15%負荷が14.2kg・s (S. D. 1.94kg・s)・30%負荷が15.4kg・s (S. D. 2.62 kg・s)と15%負荷が最小値を示したが、荷重負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 8)。また、平均発揮筋力はそれぞれ48kg (S. D. 4.6kg)・44kg (S. D. 5.9kg)・44kg (S. D. 7.6kg)と0%負荷が最大値を示したが、負荷条件間には有意な差が認められなかった (Fig. 9)。さらに、筋力上昇率は、それぞれ 3.35kg/msec (S. D. 1.040kg/msec)・3.70kg/msec (S. D. 0.911kg/msec)・2.97kg/msec (S. D. 0.917kg/msec)と負荷の増加にもなって減少したが有意な差は認められなかった (Fig. 10)。

論議

動作前 sp の発現については、2条件を満たすことが必要とされている。第1は、動作前 sp の発現が大脳皮質前頭葉・小脳・脳幹抑制領域からの遠心性インパルスの関与が考えられていることから、上位の中枢

神経系に關与する問題である⁹⁾。第2は、末梢の神経筋系に起因するものである。これに関して三田ら¹⁰⁾は、準備姿勢時の筋緊張 (background tonus) の増加にもなって動作前 sp 出現率が減少し、その至適条件は最大筋力の15-20%であると報告している。本実験の非反動動作における準備姿勢時筋緊張の大きさは測定しておらず、% MVC (Max. Voluntary Contraction)は明確でない。しかし、特に外側広筋では、sp 出現率が荷重負荷の増加にもなって有意に減少し、本実験は三田らの報告を支持する結果を得た。反動動作における sp 出現率と background tonus の関係を観察した報告は、これまでに見受けられていない。本実験の反動動作の0%負荷は、15%・30%負荷を加えた条件に比較して、高出現率を示した。これらの結果は、荷重負荷にもなう muscle tonus の増大が持続性筋放電から相動性筋放電の切り換え時に出現する sp 出現頻度を著しく低下させることを示唆するものである。

筋弛緩反応時間と荷重負荷との関係について、塚越たち²¹⁾は EMG 消失が負荷の増大にもなって遅延し、負荷0%で170msec、負荷50%で220msecであると報告している。本実験における sp 出現潜時は、非反動動作および反動動作とも先の報告と類似した傾向を示した。この荷重負荷の増大にもなう筋放電消失時間の遅延は、負荷による筋活動の増大により、この興奮を消失させるために必要な時間延長がその原因の1つと考えられる。

相動性筋放電開始から動作出現までの時間である motor time は、およそ30-60msec であるといわれている⁹⁾。本実験の motor time は、非反動動作が約78-100msec、反動動作で約108-133msec であり、従来の報告よりも遅延した結果を示した。これまでの報告にみられる motor time は、筋放電開始から力曲線の立ち上がりまでの計測であったり⁹⁾、肘関節を抵抗の少ないベアリング上で水平方向に運動させたときの motor time を計測している⁹⁾。本実験の motor time は、筋放電開始から膝関節伸展開始までの計測であり、膝関節伸展開始は、筋出力が身体質量を凌駕した時点と一致する。従って、本実験の motor time の遅延は、身体質量を上方に移動するための時間が付加されることによるものと考えられる。また、本実験の非反動動作の motor time は、反動動作に比較して有意に短縮した値を示した。非反動動作の motor time は、筋放電開始から筋の短縮性収縮開始までの時間的遅れを示しているのに対して、反動動作では膝関節の屈曲中すでに筋放電の開始が

観察されることから、後者の motor time には短縮性収縮の直前に伸張性収縮のための筋放電が加わるためと考えられる。

動作時間と荷重負荷との関係については、北川たち¹⁴⁾が、跳躍反応動作における肥満の影響から検討を加えている。彼らによると、肥満者の反応時間は、非肥満者に比較して神経系機能に差がなく、筋系機能を反映する MT (movement time) が有意に延長することを報告している。さらに、非肥満者に15kgの錘を装着させると、肥満者と同様にMTが延長し、肥満者の過剰な脂肪が単なる物理的負荷として作用する結果、MTを延長させると結論づけている。本実験の動作時間は、荷重負荷の増大にともなって延長し、北川たちの報告と一致する結果を得た。また、本実験において腰部に錘を負荷した理由は、敏捷な動作を制限するためであり、その結果予測どおり動作時間が延長した。これまでに、spの出現条件は、末梢の background tonus と上位中枢神経系の両者から論ぜられている。しかし、本実験結果にみられるように、末梢の background tonus を高めた条件下においても sp の出現が観察できたことから、この sp の発現は末梢の条件よりもむしろ上位中枢にその機構があるというこれまでの報告を支持するものである⁹⁾。

垂直跳において発揮される筋力について、小島と琉子¹⁶⁾は反動動作のモデルから、阿江たち¹⁷⁾は踏切における予備筋緊張を中心に検討を加えている。また、silent period の出現と発揮筋力の関係については、動作前 sp の出現する試行がそうでない試行に比較して筋力上昇率を増大させる作用のあることが指摘されている²²⁾。このような反動動作および動作前 sp にみられる筋放電消失による筋力増強効果機構は、1) 神経・筋の興奮水準の高い状態で筋の収縮が可能である、2) 筋肉や腱に弾性エネルギーが貯えられ、それが再利用される、などのことが考えられている⁹⁾。このように、動作の直前に出現する sp は、本動作の発揮筋力を高める作用がある。しかし、荷重負荷の増大にともなう変化について検討を加えた報告は見受けられない。本研究における力積・平均発揮筋力・筋力上昇率の各筋力発揮指標においては、両動作とも荷重負荷の増大にともなう変化が認められていない。このことは、一過性に加えられた荷重負荷が跳躍に必要な脚伸展の筋力発揮に何らの影響をもたないことを示唆するものである。

本研究にみられる反動動作および非反動動作の荷重負荷にともなう反応動作への影響は、神経系機能

の sp 出現潜時およびその持続時間には影響をもたないが、tonic discharge から phasic discharge への円滑な切り換え機構である sp 出現率を低下させる。一方、筋系機能については、荷重負荷の増大にともなう、動作時間は延長するものの発揮筋力については何らの影響をもたないことが示唆された。

要約

本研究は、被検者体重の0%・15%・30%負荷を付加した条件下で光刺激に対して垂直方向へ跳躍する反応動作を行わせ、動作前 silent period と意図的な脱力によって出現する silent period の筋収縮の切り換え機構が荷重負荷による準備姿勢時筋緊張の変化にともなう、どのように影響されるかを比較検討した。

本実験結果は次のようである。

- 1) 非反動動作の sp 出現率は、外側広筋・内側広筋とも荷重負荷の増加にともなう減少し、特に外側広筋の30%負荷では0%と15%負荷に比較して有意に減少した。反動動作の sp 出現率は、外側広筋・内側広筋とも0%負荷がもっとも高い値を示したが、負荷条件間には有意な差が認められなかった。
- 2) 非反動動作と反動動作の sp 出現潜時は、外側広筋・内側広筋とも荷重負荷の増大にともなう遅延する傾向を示したが、負荷条件間には有意な差が認められなかった。
- 3) 非反動動作と反動動作の sp 持続時間は、外側広筋・内側広筋とも荷重負荷に関係なくほぼ一定の値を示し、負荷条件間には有意な差が認められなかった。
- 4) 非反動動作と反動動作の動作時間は、荷重負荷の増大にともなう延長し、特に反動動作では、0%と15%負荷に5%水準、0%と30%負荷に1%水準の有意な差が認められた。
- 5) 非反動動作と反動動作の発揮筋力は、力積・平均発揮筋力・筋力上昇率のいずれの指標とも荷重負荷に関係なくほぼ一定の値を示し、負荷条件間には有意な差が認められなかった。

本実験における荷重負荷の増大にともなう筋収縮の切り換えは、神経系機能の sp 出現潜時とその持続時間には影響を持たないが、tonic discharge から phasic discharge への円滑な切り換え機構である sp 出現率を低下させ、また筋系機能においては発揮筋力には影響をもたないものの動作時間を延長させる作用のあることが示唆された。

引用・参考文献

- 1) 阿江通良・渋川侃二・金原勇・山口幸雄「跳躍の踏切における神経・筋の働き方に関する研究 一予備緊張を中心に一」, 高木公三郎・熊本水頼(編), 身体運動の科学III, 身体運動の制御, 1980, 332-345.
- 2) Assumussen, E. and F. Bonde-Petersen, "Storage of elastic energy in skeletal muscles in man," *Acta physiol. Scand.*, 91: 385-392, 1974.
- 3) 青木 久・三田勝巳・塚原玲子・矢部京之助「動的筋力発揮に与える動作前筋放電休止期の影響」星川保・豊島進太郎(編), 走跳投打泳運動における"よい動き"とは, 第7回日本バイオメカニクス大会論集, 235-239, 1984.
- 4) Cavagna, G. A., B. Dusman and R. Margaria, "Positive work done by a previously stretched muscle," *J. Appl. Physiol.*, 24: 21-32, 1968.
- 5) Cavanagh, P. R., and P. V. Komi, "Electromechanical Delay in Human Skeletal Muscle Under Concentric and Eccentric Contractions," *Eur. J. Physiol.* 42: 159-163, 1979.
- 6) Corser, T. "Temporal discharge in the electromyographic study of rapid movement," *Ergonomics*, 17: 389-400, 1974.
- 7) Gatev, V. "Role of inhibition in the development of motor co-ordination in early childhood," *Develop. Med. Child Neurol.*, 14: 336-341, 1972.
- 8) 半場道子・永田 晟・室 増男「咀嚼筋放電の quiet period 出現と筋電図周波数分析 (FFT) について」日本生理誌, 44: 253-264, 1982.
- 9) 猪飼道夫「動作に先行する抑制機構」日本生理誌, 17: 292-298, 1955.
- 10) 猪飼道夫・矢部京之助・山本高志・川初清典・渡辺和彦・手塚政孝「随意動作に先行する silent period の発現機構」体育学研究, 18: 127-133, 1974.
- 11) 金子公有「反動動作の生理」体育の科学, 26: 748-751, 1976.
- 12) 笠井達哉・館山 昭「動作開始前 silent period の出現頻度とその持続時間に与える練習の影響」体育の科学, 30: 745-749, 1980.
- 13) 川初清典, 身体運動における巧みさの科学, 初版, 杏林書院, 1982, Pp. 128, 1982.
- 14) Kawahatu, K. and Miyasita, M., "Electromyogram pre-motion silent period and tension development in human muscle," *Exp. Neurol.*, 82: 287-302, 1983.
- 15) 北川 薫・磨井祥夫・宮下充正「跳躍反応動作にみる肥満の影響」体育の科学, 30: 741-743, 1980.
- 16) 小島武次・琉子友男「垂直跳びにおける反動動作の意味」, 日本バイオメカニクス学会(編), 身体運動の科学V, スポーツ・バイオメカニクスの挑戦, 杏林書院, 1983, 143-150.
- 17) 金原 勇・三浦望慶「跳躍力を大きくする基礎的技術の研究(その1)」東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 3: 42-51, 1965.
- 18) 三田勝巳・青木 久・矢部京之助「随意動作に先行する silent period の出現と静的準備状態との関係」医用電子と生体工学, 16: 390-395, 1978.
- 19) 三田勝巳・青木 久・矢部京之助「反応開始前における筋活動水準の変化」体力科学, 31: 234-241, 1982.
- 20) 三田勝巳・青木 久・矢部京之助「反応開始前における運動ニューロンの興奮水準の変化過程」医用電子と生体工学, 20: 162-169, 1982.
- 21) 塚越克巳・黒田善雄・中西光雄・加賀熙彦「筋電図による筋弛緩反応時間の測定」体育学研究, 11: 128, 1967.
- 22) 脇田裕久・水谷四郎・東海政義・三田勝巳・青木 久・矢部京之助「随意動作に先行する silent period の出現率について」体育学研究, 24: 227-236, 1979.
- 23) 脇田裕久・長井健二・八木規夫・矢部京之助「反応動作におよぼす動作前 silent period の影響」体育学研究, 26: 120-128, 1981.
- 24) 脇田裕久・矢部京之助「指示条件の違いによる動作前 silent period の出現について」体力科学, 33: 192-200, 1984.
- 25) Yabe, K., "Promotion silent period in rapid voluntary movement," *J. Appl. Physiol.*, 41: 470-473, 1976.
- 26) 矢部京之助, 人体筋出力の生理的限界と心理的限界, 初版, 杏林書院, 1977, pp. 114-150.
- 27) 矢部京之助・三田勝巳・青木 久「筋電図の定量化への試み(1) 筋電図信号処理方法の概要」体育の科学, 26: 264-269, 1976.
- 28) 矢部京之助・三田勝巳・青木 久「筋電図の定量化への試み(2) 移動平均法・零交叉法による筋電図信号の解析」体育の科学, 26: 454-460, 1976.
- 29) 矢部京之助・村地俊二「随意動作に先行する silent period の役割」日本生理誌, 37: 91-98, 1975.