

単純反応動作における膝関節の脱力効果

脇田 裕久・滝藤 充宏

The effect of muscular relaxation of knee joint on the simple reaction movement.

Hirohisa WAKITA, Mituhiro TAKITOU

研究目的

反応時間は、大脳の情報処理時間と神経系の伝動時間、筋の収縮時間から構成されており、神経筋機能を検討する研究としてこれまでに数多く報告されている²⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾¹⁰⁾¹⁴⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁹⁾²¹⁾。全身反応時間における筋放電開始時間はトレーニングにより筋放電開始時間が短縮すること²¹⁾、前腕の回外動作が屈曲動作に比較して短縮し⁶⁾⁷⁾、筋放電開始時間が運動プログラムの相違や運動ニューロンの興奮にともなって変動することが報告されている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。筆者らは、動作前の自発的掛け声が、単純反応動作・選択反応動作の筋放電開始時間を短縮させること¹⁾¹⁶⁾、また全身反応動作における意図的な呼吸制御が筋放電開始時間に作用し、止息・呼吸・吸息条件の順に筋放電開始時間を遅延させることを報告している¹⁷⁾。このように中枢神経系機能は、運動の意図や末梢情報によって錘体路細胞や α 運動細胞の興奮性レベルが変化し、刺激から反応動作開始までの潜時に影響する。

近年、古武術的身体操法がバスケットボールや陸上競技等の各種スポーツの競技力向上に貢献していることが報告されている³⁾⁸⁾⁹⁾。一般的な筋力に依存する前進動作では、重心落下点を拇指球に移動させるという予備動作と、静的状態を打破する下肢の筋力発揮を要する。しかし、古武術的身体操法³⁾⁹⁾では、重心落下点より後方の踵に重心支持点を移すことで静的安定を崩し、重心落下の位置エネルギーを運動エネルギーに変換して前進することができる。高岡¹¹⁾は、位置エネルギーを利用した動作では予備動作や筋力発揮が抑えられるとともに、重心落下点と重心支持点の間に瞬時にモーメントが生まれ、効率よく動くことが可能であると解説している。筆者ら¹²⁾¹⁵⁾は、一般的な「蹴り動作」に比較して、「抜き動作」(膝関節の脱力による抜重によって生じる位置エネルギーを利用)による前進動作や横移動動作が、末端の筋活動の軽減・床反力の増大・動作時間の短縮など、動作をより効率的に素早く遂行させ

る効果のあることを実験的に証明してきた。このように、古武術的身体操法を用いた動作は、「効率的で素早い動き」であるが、スポーツに不可欠な反応動作に及ぼす影響に関する報告はこれまでに見受けられない。

本研究は、古武術的身体操法である膝関節の脱力による「抜き動作」を利用した反応動作と、拇指球で地面を蹴って移動する「蹴り動作」による反応動作との差異を運動学的観点から比較・検討し、単純反応動作における古武術的身体操法の効果を明らかにすることをその目的とした。

研究方法

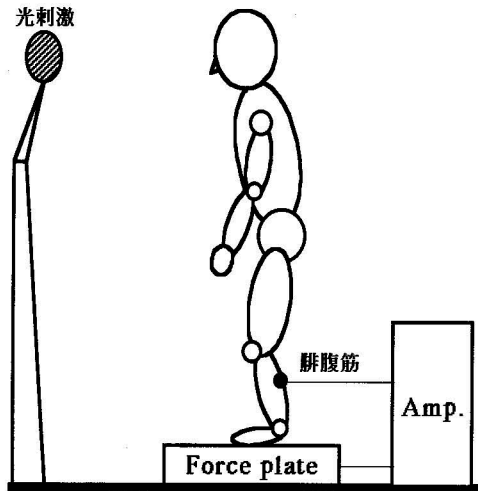
1) 被験者

被験者は健康な男子大学生 10 名 (年齢 20~23 歳、身長 177.0 ± 5.9 cm、体重 69.7 ± 6.4 kg) を対象とした。

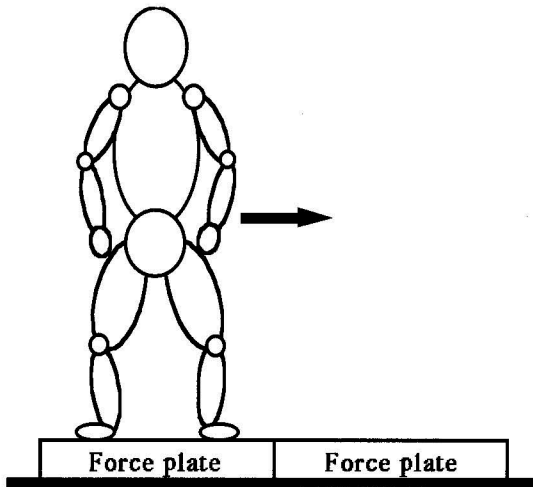
2) 測定方法

本実験は、2 台の force plate を左右に並列に置き、被験者の前方 1 m に光刺激装置を設置した。被験者には、右側の force plate の中心に両足を肩幅程度に開いた自然な立位準備姿勢をとらせ、験者の「用意」の合図の 2~3 秒後に光刺激に対してできるだけ素早く右側から左側の force plate へ一歩踏み出す横移動動作を行わせた。験者は、実験開始の合図を出す際、被験者の身体が静止しているのを確認してから合図を出すようにした (実験模式図 A・B)。

筋電図の測定は、軸足となる右脚の腓腹筋に電極を貼付し、表面双極法を用いて導出した。電極を貼付する皮膚の箇所は、アルコール綿による拭きの前処理を施し、電極間抵抗をできるだけ少なく抑えた。床反力の測定は、force plate を用いて力曲線を導出し、鉛直分力と水平分力が記録できるようにした。光刺激・筋電図及び force plate によって導出された波形は、多用途計測記録装置 (日本光電社製) を介してパーソナルコンピュータに取り込んだ。



実験模式図A 左側面



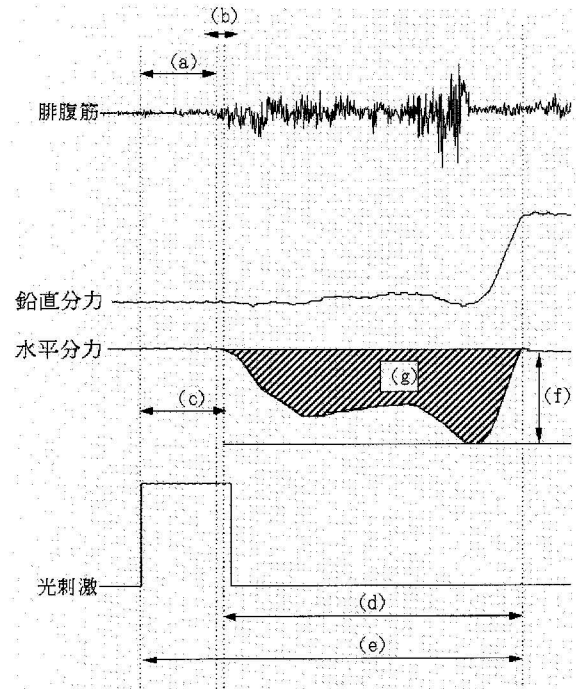
実験模式図B 正面

3) 実験条件

実験条件は次の2条件とした。第1は下肢の筋力発揮による地面反力を用いた横移動動作（以下「蹴り動作」と略す）、第2は膝関節の脱力による位置エネルギーを利用する横移動動作（以下「抜き動作」と略す）である。各試行では、右側から左側の force plate へ両脚が完全に移動するまでを1回とし、試行回数はそれぞれ10試行とした。験者は、「蹴り動作」では地面を強く蹴ること（拇指球の加重）、「抜き動作」では、膝関節の抜重に意識を持つように声かけをし、数回の練習を通して、被験者に身体操作の感覚をつかませるようにした。

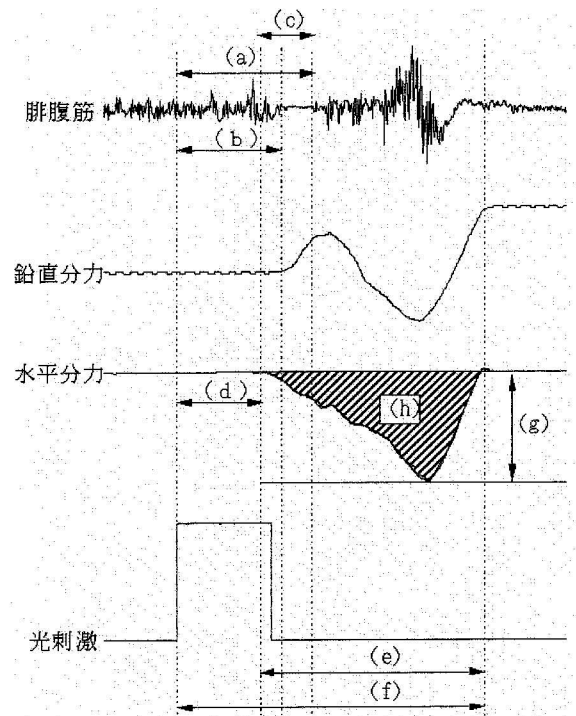
4) 分析方法

本研究における「蹴り動作」と「抜き動作」から得られた波形の分析方法を図1に示した。分析項目は、動作開始時間（光刺激から水平分力曲線の立ち上がりまでの時間）・EMD（Electro Mechanical Delay：相



- (a) 筋放電開始時間
- (b) EMD
- (c) 動作開始時間
- (d) 動作時間
- (e) 全身反応時間
- (f) 水平分力のピーク値
- (g) 水平分力の力積

図1-a 「蹴り動作」の分析方法



- (a) 筋放電開始時間
- (b) 筋放電休止出現潜時
- (c) EMD
- (d) 動作開始時間
- (e) 動作時間
- (f) 全身反応時間
- (g) 水平分力のピーク値
- (h) 水平分力の力積

図1-b 「抜き動作」の分析方法

動性放電開始から水平分力曲線の立ち上がりまでの時間)・筋放電開始時間(光刺激から腓腹筋の相動性放電開始までの時間)・動作時間(水平分力曲線の立ち上がりから離床までの時間)・水平分力の最大値及び力積・筋力上昇率(水平分力曲線の最大値をその所要時間で除した値)・移動速度(動作開始位置から動作完了位置までの移動距離を動作時間で除した値)・全身反応時間(光刺激から水平分力曲線が消失するまでの時間)とした。なお、「抜き動作」については筋放電休止出現潜時(光刺激から持続性筋放電消失までの時間)についても測定した。

各項目の分析は測定した10試行のうち、各条件で動作開始時間が最大値と最小値を示した試行を除き、「蹴り動作」では鉛直分力曲線における抜重現象の認められない試行、「抜き動作」では鉛直分力曲線における抜重現象の特徴が明確である試行を、それぞれ6試行抽出し、その平均値を個人値とした。なお、筋電図については、筋放電波形の明確な試行のみ取り扱い、筋放電波形が明確に確認された6名(「蹴り動作」31試行、「抜き動作」25試行)について分析した。両条件間の統計処理は、対応のあるt検定を用いて検討した。

研究結果

1) 動作開始時間

各被験者の「抜き動作」の動作開始時間は、2名を除く8名の被験者において、「蹴り動作」に比較してより短縮した値を示した。両条件における動作開始時間の平均値は、「蹴り動作」が 182 ± 8 msec、「抜き動作」が 167 ± 14 msecであり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも14msec短縮し、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた(図2)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は92%であった。

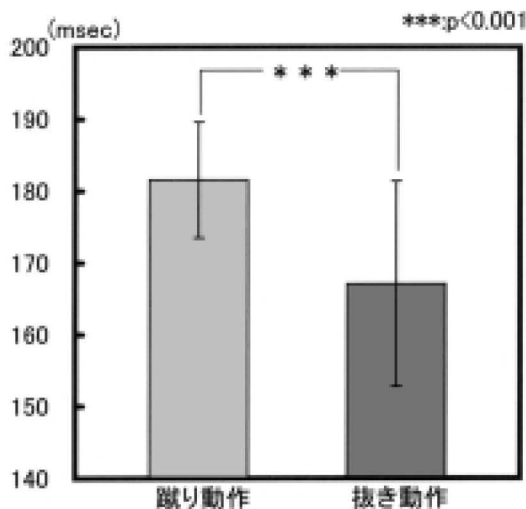


図2 動作開始時間の比較

2) EMD

EMDは、一般的には筋放電開始から力曲線の立ち上がりまでの時間を計測し、「蹴り動作」にはこのような作用機序が観察された。しかし、「抜き動作」では、水平分力曲線立ち上がった後に筋放電が開始しており、その作用機序が逆転している。このため、「蹴り動作」のEMDを正の値とし、「抜き動作」のEMDを負の値として比較した。両条件におけるEMDの平均値は、「蹴り動作」が 28 ± 10 msec、「抜き動作」が -138 ± 22 msecであり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも166msec遅延し、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた(図3)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は496%であった。

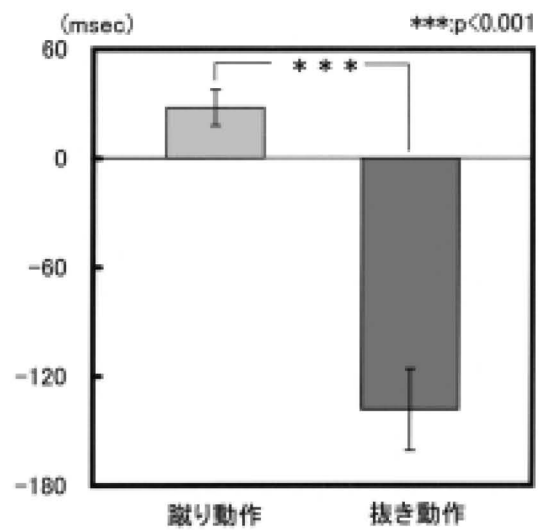


図3 EMDの比較

3) 筋放電開始時間

各被験者の「抜き動作」の筋放電開始時間は、全ての被験者において「蹴り動作」に比較して遅延した値を示す傾向を示した。

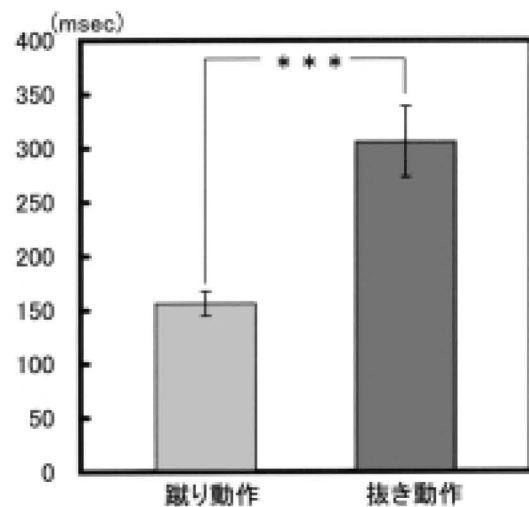


図4 筋放電開始時間の比較

両条件における筋放電開始時間の平均値は、「蹴り動作」が 156 ± 11 msec、「抜き動作」が 306 ± 33 msec であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 150 msec 遅延し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 4)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は 196% であった。

4) 「抜き動作」の筋放電休止出現潜時と「蹴り動作」筋放電開始時間の比較

筋放電休止現象は、「蹴り動作」においては認められず、「抜き動作」には筋放電休止出現潜時が認められた。筋放電休止出現潜時を「抜き動作」における筋電図波形の最初の変移点にとらえ、「蹴り動作」における最初の筋電図波形変移点である筋放電開始時間と比較した。全ての被験者において、「抜き動作」の筋放電休止出現潜時が「蹴り動作」の筋放電開始時間と比較して遅延した値を示した。「蹴り動作」の筋放電開始時間の平均値は 156 ± 11 msec、「抜き動作」の筋放電休止出現潜時の平均値は 241 ± 26 msec であり、「抜き動作」の筋放電休止出現潜時は「蹴り動作」のよりも 85 msec 遅延し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 5)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は 154% であった。

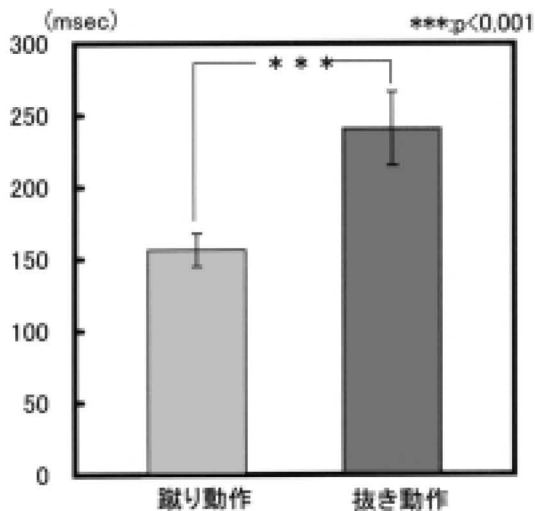


図 5 「蹴り動作」筋放電開始時間と「抜き動作」筋放電休止出現潜時の比較

5) 動作時間

各被験者の「抜き動作」の動作時間は、2 名を除く 8 名の被験者において、「蹴り動作」に比較して短縮した値を示した。両条件における動作時間の平均値は、「蹴り動作」が 620 ± 28 msec、「抜き動作」が 559 ± 48 msec であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 61 msec 短縮し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 6)。「蹴り動作」を基準とした「抜き

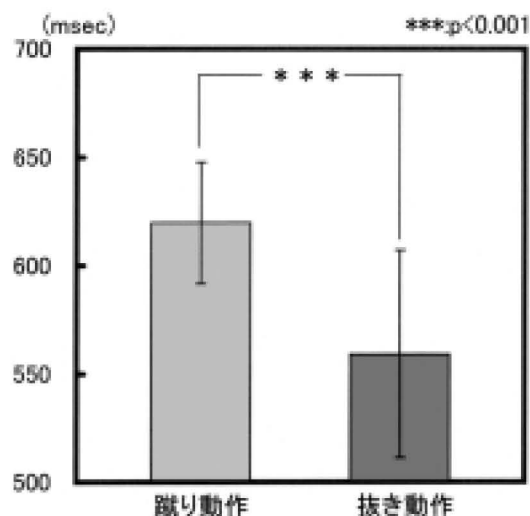


図 6 動作時間の比較

動作」の相対値は 90% であった。

6) 水平分力

① 最大値

各被験者の「抜き動作」の最大水平分力は、1 名を除く 9 名の被験者において「蹴り動作」に比較して増大した値を示した。両条件における水平分力の最大値の平均値は、「蹴り動作」が 13.3 ± 7.9 kg、「抜き動作」が 24.6 ± 8.2 kg であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 11.3 kg 増大し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 7)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は 185% であった。

② 力積

各被験者における「抜き動作」の水平成分の力積は、2 名を除く 8 名の被験者において、「蹴り動作」に比較して増大した値を示した。両条件における水

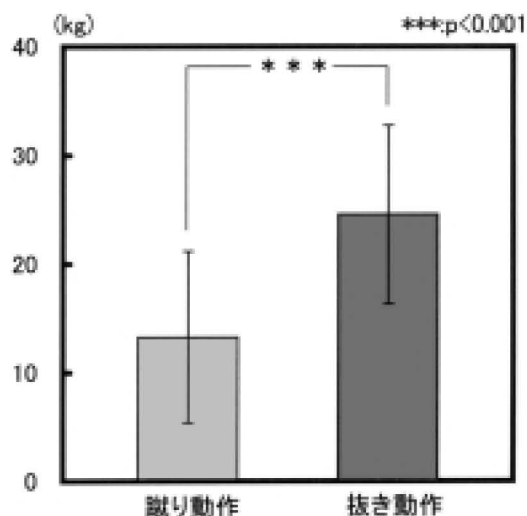


図 7 水平分力の最大値の比較

平成分の力積の平均値は、「蹴り動作」が 11.3 ± 2.4 kg・sec、「抜き動作」が 12.5 ± 1.7 kg・sec であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 1.2 kg・sec 増大し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 8)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は 110% であった。

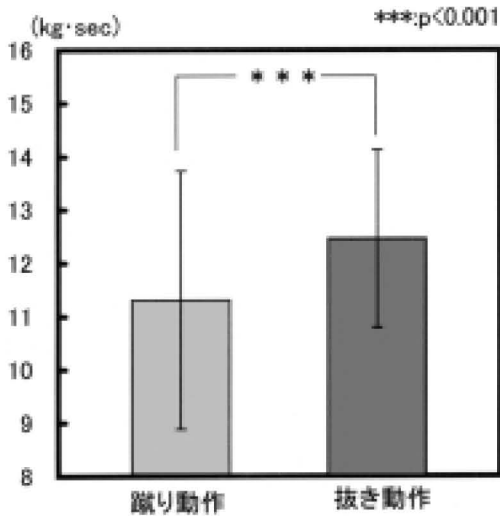


図 8 水平成分の力積の比較

7) 筋力上昇率

各被験者の「抜き動作」の筋力上昇率は、1名を除く9名の被験者において、「蹴り動作」比較して増大する傾向にあった。両条件における筋力上昇率の平均値は、「蹴り動作」が 28.7 ± 14.5 kg/sec、「抜き動作」が 63.4 ± 23.6 kg/sec であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 34.7 kg/sec 増大し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 9)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は 221% であった。

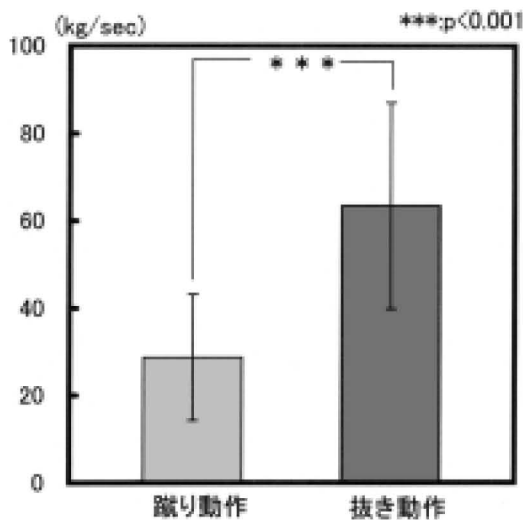


図 9 筋力上昇率の比較

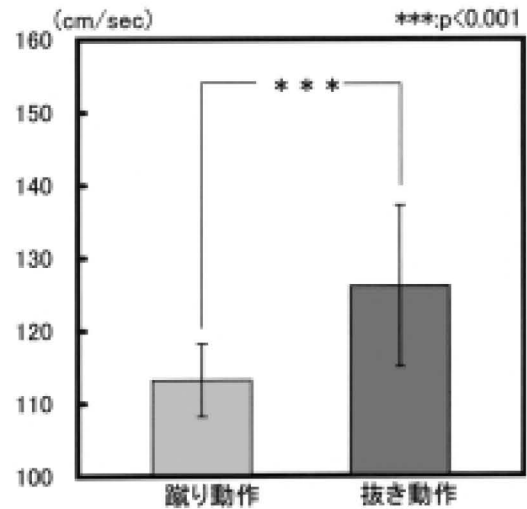


図10 移動速度の比較

8) 移動速度

各被験者の「抜き動作」の移動速度は、2名を除く8名の被験者において、「蹴り動作」に比較して増大した値を示す傾向にあった。両条件における移動速度の平均値は、「蹴り動作」が 113.2 ± 5.0 cm/sec、「抜き動作」が 126.1 ± 11.1 cm/sec であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 12.9 cm/sec 増大し、両条件間には 0.1% 水準の有意な差が認められた (図 10)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は 111% であった。

9) 全身反応時間

各被験者の「抜き動作」の全身反応時間は、2名を除く8名の被験者において、「蹴り動作」に比較して短縮する傾向にあった。両条件における全身反応時間の平均値は、「蹴り動作」が 801 ± 29 msec、「抜き動作」が 726 ± 58 msec であり、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも 75 msec 短縮し、両条件間には 0.1% 水準の有

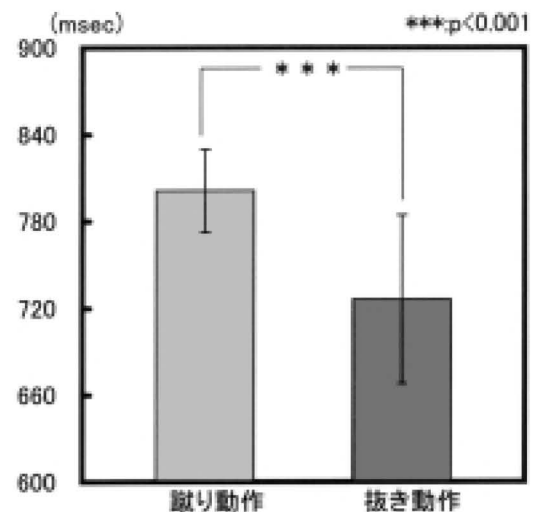


図11 全身反応時間の比較

意な差が認められた(図11)。「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値は91%であった。

論議

反応時間は、刺激に対してできる限り素早い動作を行うことによって測定され、スポーツ場面では全身反応時間について検討するほうがより実践場面に近い。これまでに報告されている全身反応時間の測定は、刺激に対して垂直方向に跳躍する動作が用いられてきている¹⁾²⁾¹⁶⁾⁷⁾。しかし、垂直方向への反応動作では運動方向が「蹴り動作」と「抜き動作」で異なるため両者を比較することができない。本研究では、光刺激からの左方向への横移動による全身反応動作について「蹴り動作」と「抜き動作」の比較を運動学的な観点から検討した。

本研究における鉛直分力は、被験者の「抜き動作」と「蹴り動作」が験者の指示通り実施されているか否かの動作確認の指標として用いた。本研究の「蹴り動作」では、鉛直分力に抜重の認められない試行を対象とし、「抜き動作」では鉛直分力に抜重から加重への連続した変化が観察される試行について分析を行った。

本研究における床反力曲線の波形は、「蹴り動作」「抜き動作」とともに水平分力曲線が鉛直分力曲線に先行して立ち上がるため、本研究の動作開始時間を光刺激から水平分力曲線の立ち上がりまでの時間とした。本研究における「抜き動作」の動作開始時間は、「蹴り動作」に比較して14msec短縮し0.1%水準の有意な差が認められた。この動作開始時間については、筋放電開始から力曲線の立ち上がりまでの計測値であるEMDについて検討する必要がある。本研究の「蹴り動作」では、光刺激の呈示後に底屈動作の主働筋である腓腹筋の相動性放電が開始され、その後水平分力が立ち上がっている。本研究における「蹴り動作」のEMDの平均値は28msecであり、林ら¹⁾の全身反応時間におけるEMDが約20~30msecであるという報告と一致した値を示した。

本研究の「抜き動作」の作用機序は、光刺激呈示後、1)水平分力曲線の立ち上がり、2)脱力による筋放電休止、3)腓腹筋の相動性放電開始という順序であり、一般的な反応動作にみられるEMDが観察されない。このことから、「抜き動作」では動作開始時にEMDは出現せず、筋力発揮に依存しない動作開始が行われていることが推察される。

本研究における、「抜き動作」の筋放電開始時間は、「蹴り動作」に比較して150msec遅延し、0.1%水準の有意な差が認められた。本研究の「蹴り動作」は、光刺激が呈示された直後に腓腹筋の相動性放電が出現

する。しかし、「抜き動作」では、被験者に膝関節の脱力による位置エネルギーを利用する横移動動作を行うように指示したため、筋放電開始前に筋放電休止期が観察された。これまでにあらかじめ主動筋に軽度の随意的な緊張を与えた状態から急速な反応動作を行うと、動作に先行して筋放電の休止期(動作前 silent period)が観察されることが報告されている¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾。このことから、「抜き動作」では筋放電開始前に意図的な膝関節の脱力による動作前 Silent Period が挿入されることになり、「蹴り動作」に比較して大きく遅延したものと考えられる。動作前の Silent Period の持続時間は、反動動作による随意的な動作では外側広筋に約100msecであると報告されている¹⁸⁾。本研究における「抜き動作」の筋放電休止出現潜時が241msec、筋放電開始時間が306msecであることから、筋放電休止時間は65msecとなり、筋放電開始前にこの動作前 Silent Period が挿入されることによって大きく遅延したと考えられる。

塚越ら¹⁴⁾は、筋電図を用いた筋収縮反応時間と筋弛緩反応時間の測定し、収縮反応時間に比較して弛緩反応時間が有意に遅延したことを報告している。本研究における「蹴り動作」と「抜き動作」の反応動作の筋電図の解釈は、「蹴り動作」の筋放電開始時間と「抜き動作」の筋放電休止出現潜時と対応している。そこで、本研究の「抜き動作」における筋放電休止出現潜時と、「蹴り動作」の筋放電開始時間について検討した。その結果、「抜き動作」の筋放電休止出現潜時は、「蹴り動作」の筋放電開始時間に比較して85msecの有意な遅延が認められ、これは先の報告¹⁴⁾と一致した結果である。

本研究における「抜き動作」の動作開始時間は、「蹴り動作」より短縮した値を示したにも関わらず筋放電開始時間は遅延するという結果を示した。これは「蹴り動作」では移動に必要なエネルギーを筋力発揮に依存しているが、「抜き動作」では脱力による重心落下による位置エネルギーを運動エネルギーに変換することが出来るため、重心移動が腓腹筋放電の消失によって生じていることを示唆している。つまり「抜き動作」では、腓腹筋放電の消失前に、脱力による身体重心の移動が開始され、より素早い動作開始が可能になるものと考えられる。

先に報告¹⁵⁾されている横移動動作の動作時間は、「抜き動作」が680msec、「蹴り動作」が780msecであり、「抜き動作」が有意に短縮することが報告されている。本研究における動作時間は、「蹴り動作」が620msec、「抜き動作」が559msecであり、先の報告に比較して両動作ともに短縮した値を示した。これについては、先の報告では女子学生を被験者としており、

本研究では男子大学生を対象としていることから、この差異は対象とした被験者の性差によるものと考えられる。なお、本研究における「抜き動作」が「蹴り動作」に比較して61msecの有意な短縮が認められ、先の報告¹⁵⁾と同様の結果を示した。本研究では、「抜き動作」の動作時間の短縮要因について水平分力から検討を加えた。その結果、「抜き動作」の水平分力の最大値・力積・平均水平分力の全てにおいて「蹴り動作」に比較して有意な増大が認められた。この結果は、手島ら¹²⁾の前進動作における「抜き動作」と「蹴り動作」の比較と一致した結果であり、動作時間の短縮は、水平分力の増大によるものと考えられる。

筆者らは、動作前 silent period の出現が動作前 silent period の出現しない場合に比較して動作時間を短縮し、筋力上昇率を増大させる作用のあることを報告してきた¹⁹⁾。本研究の筋力上昇率は、「抜き動作」が「蹴り動作」よりも34.7kg/sec増大し、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた。本研究においては、「蹴り動作」には筋放電の休止期が認められず、「抜き動作」に筋放電休止現象が観察されていることから、本研究における「抜き動作」の筋力上昇率の有意な増大は筋放電休止現象に依拠したものと考えられる。

筋放電休止現象と筋力上昇率の関係については、次のようなことが考えられる。これまでに筆者¹⁹⁾は、横移動動作における大腿直筋放電量が「蹴り動作」に比較して「抜き動作」が有意に増加することを報告してきた。このことについては、「抜き動作」では膝関節の脱力による急激な大腿直筋が急激に伸張され、伸張・短縮サイクル (Stretch-Shortening-Cycle) が作動したことによると考察している。伸張・短縮サイクルは、機械的メカニズムと神経生理学的メカニズムの組み合わせたものであり、素早いEccentric (伸張性) な筋活動が伸張反射を刺激し、弾性エネルギーを貯蔵し、引き続いて行われるConcentric (短縮性) な筋活動で生み出される力を大きくする作用がある¹⁹⁾。従って、「抜き動作」における筋放電休止現象は、この伸張・短縮サイクルを作動させ、集中的な筋力発揮に貢献した可能性が高い。

本研究の移動速度は、被験者の動作開始位置から動作完了位置までの移動距離を動作時間で除した値から求めた。これまでに報告されている移動距離は、前進動作・横移動動作とも歩幅には有意な差がなく、動作時間の短縮により移動速度が増大することが報告されている¹²⁾¹⁵⁾。本研究における「抜き動作」の移動速度は、「蹴り動作」に比較して12.9cm/sec有意に増大した値を示し、この結果はこれらの報告と一致するものである。

全身反応時間は、動作開始時間と動作時間の両要素を加えた値である。本研究における「抜き動作」の全身反応時間は、「蹴り動作」よりも75msec有意に短縮した値を示し、これは「蹴り動作」に比較して「抜き動作」の動作開始時間が14msec、動作時間が61msec短縮したことによって生じたものであり、「抜き動作」は神経系及び筋系の両者を素早くさせる効果があるといえよう。

本研究における「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の相対値を各項目別にまとめてみた。全ての項目において有意差が認められ、筋放電開始時間が96%の遅延、筋電図変移点までの時間が54%の遅延、EMDが396%の遅延、動作開始時間が8%の短縮、動作時間が10%の短縮、全身反応時間が9%の短縮、水平分力の最大値が85%の増大、水平成分の力積が10%の増大、平均水平分力が23%の増大、筋力上昇率が121%の増大、移動速度が11%の増大であった。

これらの結果は、光刺激に対する単純反応動作において「抜き動作」が「蹴り動作」に比較して、動作開始時間の短縮、動作時間の短縮、全身反応時間の短縮など時間軸を主体とした動作の素早さを高める有効な身体操法であることを示唆している。なお、動作開始時間については、「蹴り動作」では筋力発揮後に動作が開始するのに対し、「抜き動作」では筋力発揮に先行して脱力による重心移動が起こり、動作開始後に筋収縮が開始するといった動作開始のメカニズムが異なることが明らかにされた。動作時間については、「抜き動作」が「蹴り動作」に比較して水平分力と筋力上昇率を増大させるが、これには筋放電休止現象に伴う伸張反射による伸張・短縮サイクルの作動により、筋収縮速度や発揮筋力が高まることが明らかにされた。

要約

本研究は、男子大学生を対象として、膝関節の脱力によって生じる位置エネルギーを利用した「抜き動作」と一般的な「蹴り動作」に比較し、単純反応動作における「抜き動作」の効果について検討することを目的とした。

本研究の「蹴り動作」を基準とした「抜き動作」の結果は以下の通りである。

- 1) 動作開始時間は14msec短縮し、0.1%水準の有意な差が認められた。
- 2) EMDは、「蹴り動作」では28msecであり、「抜き動作」においてはEMDが観察されなかった。
- 3) 筋放電開始時間は150msec遅延し、0.1%水準の有意な遅延が認められた。

- 4) 筋放電休止潜時は「蹴り動作」には観察されず、「抜き動作」では241msecであった。
- 5) 「蹴り動作」の筋放電開始時間と「抜き動作」の筋放電休止潜時の比較では、「抜き動作」が85msec遅延し0.1%水準の有意な遅延が認められた。
- 6) 動作時間は、61msec短縮し0.1%水準の有意な差が認められた。
- 7) 水平分力は、最大値が11.3kg・力積が1.2kg/sec増大し、それぞれ0.1%水準の有意な差が認められた。
- 8) 筋力上昇率は34.7kg/sec増大し0.1%水準の有意な差が認められた。
- 9) 移動速度は、12.9cm/sec増大し0.1%水準の有意な差が認められた。
- 10) 全身反応時間は、75msec短縮し0.1%水準の差が認められた。

これらの結果は、光刺激に対する単純反応動作において「抜き動作」が「蹴り動作」に比較して、動作開始時間の短縮、動作時間の短縮、全身反応時間の短縮など時間軸を主体とした動作の素早さを高め、水平分力の増大、筋力上昇率の増大などがそれらに起因したことを示唆している。また、「蹴り動作」では筋力発揮後に動作が開始するのに対し、「抜き動作」では筋力発揮に先行して脱力による重心移動が起こり、動作開始後に筋力発揮が開始するという反応動作のメカニズムが異なることが明らかにされた。

引用・参考文献

- 1) 林 和哉・脇田裕久「反応動作時における自発的『掛け声』の影響」三重大学教育学部研究紀要, 55巻(自然科学), 2004.
- 2) 猪飼道夫・浅見高明・芝山秀太郎「全身反応時間の研究とその応用」Olympia 7, 210-219, 1961.
- 3) 金田伸夫(指導・監修)月刊バスケットボール「古武術バスケットボール」日本文化出版ムック, 2004.
- 4) 笠井達哉「脊髄の興奮性と反応時間の関係」体育学研究, 25巻, 95-104, 1979.
- 5) 笠井達哉「運動パターンの違いによる反応時間の変動量—利き手・非利き手および肢位変化による影響—」体育学研究, 27巻, 97-109, 1982.
- 6) 笠井達哉「反応時間と筋電図による各種スポーツ種目の上肢運動特性の解析」体育学研究, 28巻, 227-236, 1983.
- 7) 笠井達哉「反応時間法とH反射法を使ったヒト随意運動の解析」Japanese Journal of Sports Science, 13, 131-142, 1994.
- 8) 甲野善紀・他「ナンバ歩きで驚異のカラダ革命」立風書房, 2004.
- 9) 甲野善紀・他「決定版!ナンバ歩きで身体改造」学習研究者, 2005.
- 10) 水谷四郎・脇田裕久・矢部京之助「随意反応における収縮動作と弛緩動作のちがいにともなう運動成果への影響」三重大学教育学部研究紀要, 35巻(自然科学), 1984.
- 11) 高岡英夫「究極の身体」運動科学総合研究所, 2002
- 12) 手島直美・脇田裕久「古武術における位置エネルギーを利用した前進動作の効果」三重大学教育学部研究紀要, 57巻(自然科学), 2006.
- 13) Thomas R.Baechle, Roger W.Earle(編)石井直方(日本語版総監修)「NSCA 決定版, ストレングストレーニング&コンディショニング」ブックハウスHD, 466-470, 2002.
- 14) 塚越克己・黒田善雄・中西光雄・加賀瀬彦「筋電図による筋弛緩反応時間の測定」体育学研究, 11巻, 128, 1967.
- 15) 脇田裕久「古武術における位置エネルギーを用いた横移動動作の効果」三重大学教育学部研究紀要, 59巻(自然科学), 2008.
- 16) 脇田裕久・阿形克己「選択反応動作に及ぼす掛け声の効果」三重大学教育学部研究紀要, 58巻(自然科学), 2007.
- 17) 脇田裕久・南 旦・細野信幸「全身反応動作に及ぼす呼吸相の影響」三重大学教育学部研究紀要, 53巻(自然科学), 2002.
- 18) 脇田裕久・水谷四郎・矢部京之助「動作直前に出現する二様式の筋放電休止の比較—反動動作と非反動動作について—」体育学研究, 32巻, 1987.
- 19) 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巻, 1981.
- 20) 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巻, 1984.
- 21) 与那正栄・室 増男・下敷領光一・永田 晟「筋力トレーニングに伴う反応時間の変化」体力科学, 39巻, 307-314, 1990.