



膝関節角度と踏み出し距離からみた構え姿勢による 反応時間への影響

岸川, 晃大
河辺, 章子

(Citation)

身体行動研究, 3:15-21

(Issue Date)

2014

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.24546/81008903>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81008903>



膝関節角度と踏み出し距離からみた構え姿勢による反応時間への影響

The effects of ready posture on the reaction time in taking a step sideways
in terms of knee joint angle and stepping width

岸川 晃大*, 河辺 章子**

Akihiro KISHIKAWA, Shoko KAWABE

ABSTRACT: In the present experiments we examined the effects of ready posture on the reaction time in taking a step sideways. Three ready postures were determined by knee joint angle (0, 50, 70 degree), and the stepping widths were fixed at 40 cm and 65 cm based on the results of preliminary experiments. Each subject was instructed to take a step on the right switch by the right leg as quickly as possible when the stimulus LED lighted up. Fractionated reaction time (PMT and MT), RT1, RT2, and aerial phase time (ATP) were measured and analyzed. PMT on the upright posture was the shortest in both step widths, however, the MT was lengthened. The ATP on the upright posture was longer than that on the other postures, with the consequence that reaction time of stepping sideways increased on the upright posture. Reaction time of stepping sideways was equally in both deep and light knee bending postures.

Key words : ready posture, knee joint angle, stepping width, fractionated reaction time

緒 言

さまざまなスポーツにおいて、競技者は動作を開始する準備として「構え」の姿勢をとる。例えば、相撲やアメリカンフットボールなどでは大きなパワーを必要とする身体衝突に備え、膝を屈曲させ、重心を低くするなどの「構え」姿勢をとる。サッカーやバスケットボールなど競技では、おもに一对一の場面で、相手の次の動きに対応して素早く反応するための「構え」姿勢をとる。また、テニスや野球の守備などでも、飛んでくるボールに素早く反応するための「構え」姿勢をとっている。

このような「構え」姿勢によって、素早い反応や大きなパワーを引き出すことができるものと考えられてきた。「構え」姿勢には先に挙げたようなスポーツの競技特性によって多少の差異はあるが、主な特徴は膝関節を屈曲して、身体の重心位置を低くし、それに合わせて体幹を少し前屈させるというものである。つまり、膝関節の屈曲が主となってその姿勢を保持するために股関節が連動して屈曲し、結果として体幹が前方に傾斜する。すなわち、「構え」姿勢によるパフォーマンスへの影響を検討するためには膝関節の屈曲角度による影響を検討する必要

がある。

「構え」と反応動作との関係を検討した研究は複数みられるが、膝関節屈曲角度に焦点をあてたものは少ない。衣笠ら (1985) は踏み出し動作において、膝関節及び股関節角度をそれぞれ 10 度、40 度、70 度とし、この二つの関節についてそれぞれ 3 条件を組み合わせ 9 種類の

「構え」姿勢による反応時間への影響を検討した。彼らは膝関節を屈曲させるほど足を拳上するまでの時間が長くなったことを報告した。しかし、彼らの研究では、筋電図を記録しているが、詳細な分析はなく、反応時間の詳しい検討はなされておらず、また、設定された姿勢が被験者によって保持されにくい姿勢も含まれていたことなどの問題点が挙げられる。また、Yamamoto (1996) は、体幹の後方への回転動作 (=捻転) を動作課題とし、構え姿勢による反応時間への影響を検討した。4 種類 (直立, light, deep, free) の膝関節角度を用いて、左右方向への選択反応時間を計測した。膝関節がより屈曲している方が、刺激からスイッチを踏むまでの時間 (RT) が短縮することを報告した。また、刺激から踏み出し脚が離地するまでの反応時間には姿勢条件で有意な差は見ら

* 百五銀行

** 神戸大学大学院人間発達環境学研究科

れなかったと報告している。しかし、この実験では動作開始をビデオで測定しており、残念ながら動作の動き出しの規定が明確ではなかった。古屋ら (2008) は左右方向への選択反応動作を用いて、膝関節が 30 度と 70 度の場合の「構え」姿勢の影響を足圧中心の移動という観点から検討し、刺激から踏み出し脚の離地までの時間は 30 度の方が短くなったと報告している。

これらの先行研究では、刺激から踏み出し脚の離地までの時間について、Yamamoto (1996) は構え姿勢による影響は見られなかったと報告しているのに対し、衣笠ら (1985) や古屋ら (2008) は深い屈曲よりも浅い屈曲の方が反応時間が短縮すると相反する報告をしている。これらの結果の違いがもたらされた原因の一つとして踏み出し距離が考えられる。Yamamoto (1996) は 20 cm の踏み出し距離であったが、衣笠ら (1985) は 50 cm、古屋ら (2008) では 1 m を用いており、当然のことながら、踏み出し距離が遠くなるほど脚を蹴りだすために大きな筋力を必要とする上に、遠くへ脚を出すための身体全体の姿勢保持を行う必要が生じ、他の多くの筋の関与が必要となってくるため、反応時間にも影響が生じるものと考えられる。

以上のように、「構え」姿勢の膝関節角度と反応時間との関係に関する研究結果は多様であり、踏み出し距離や筋活動との関係も含めて検討する必要があると考えられる。

本研究では、「構え」姿勢における膝関節角度と側方への踏み出し距離が反応時間に及ぼす影響について検討を加えることを目的とした。

方 法

1. 被験者

被験者は健康男子大学生 10 名 (22.4 ± 1.1 歳) であった。Chapman (1987) による利き足テストを行い、10 名中 9 名が右利き、1 名が両利きであった。ここでの利き足とは、軸足 (体重支持脚) ではなく、操作脚を指している。本実験では操作脚である右脚での STEP 動作とした。被験者にはあらかじめ本研究の主旨と内容を十分に説明した上で、実験の被験者となることの同意を書面にて得た。

2. 装置及び手続き

図 1 に実験装置を模式的に示した。光刺激装置は、赤色 (刺激)・緑色 (ready) 二つの LED ランプを縦に 3cm 離して配置した光刺激 BOX を作成し、被験者の眼前 1.5m のところに被験者の目の高さに合わせて置いた。

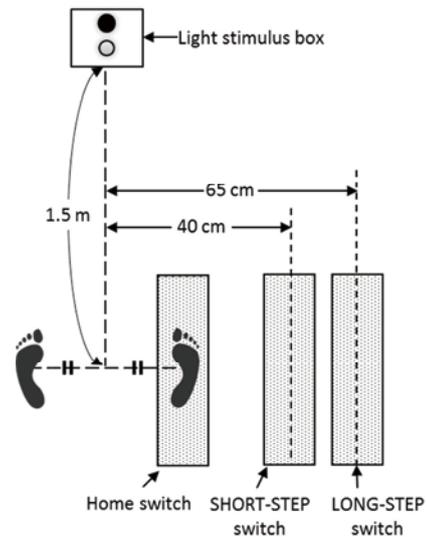


図 1 実験装置の模式図

LED ランプの点灯時間 (500ms), foreperiod (2.0, 2.5, 3.0, 3.5 秒をランダムイズ), および試行間隔 (5 秒) はタイムプログラマー (竹井機器) によって制御した。

被験者の操作脚の膝関節にゴニオメーターを装着し、膝関節角度を記録した。操作脚の前脛骨筋および腓腹筋外側頭から双極誘導法により表面筋電図を導出した。記録はすべてサンプリングレート 1kHz で A/D 変換し、ハードディスクに保存した。

被験者のステップを記録するために、床にマットスイッチ (150×600mm, CVP signal mats, Tapeswitch Corp.) を図 1 のように 3 枚設置し、1 枚は home switch、あとの 2 枚は左右の足の中央点から右側に 40cm (SHORT-STEP switch) と 65cm (LONG-STEP switch) のところにそれぞれ設置した。

このステップ幅や後述する構え姿勢の深さを決定するために、本研究では本実験に先立って、以下の測定を行った。まず、被験者 (男子大学生 6 名) にサッカーやバスケットボールにおける一対一の守備場面を想定させ、「軽く構えて」と「深く構えて」と指示した場合の膝関節角度を計測した。ここでの膝関節角度は、解剖学的基本肢位を 0 度とし、矢状面より見た角度とした。「軽く構え」た場合には膝関節角度の平均値は $50.8 \pm 6.6^\circ$ 、「深く構え」た場合では $69.2 \pm 8.6^\circ$ であった。このデータをもとに、本研究では構え姿勢の膝関節角度を Light 条件は 50 度、Deep 条件では 70 度とした。さらに、この二つの姿勢において踏み出すステップ幅を決めるためにそれぞれの膝関節角度 (50 度と 70 度) および直立姿勢 (0 度) で、できるだけ素早く横へ踏み出す場合のステップ幅を測定した。被験者には「小さく踏み出して」と

「大きく踏み出して」という指示を行った。各条件におけるステップ幅は表1のとおりである。このデータをもとにステップ幅は SHORT-STEP 条件では 40cm, LONG-STEP 条件では 65cm と決定した。

表1 各条件別のステップ幅の平均値 (cm)

STEP	UPRIGHT		LIGHT		DEEP	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Short	36.8	2.6	38.4	1.1	43.2	4.6
Long	63.0	5.4	62.4	7.9	69.4	3.4

上述したプレ実験により、構え姿勢の膝関節の屈曲角度によって Upright 条件 (0 度), Light 条件 (50 度), Deep 条件 (70 度) の 3 条件, 右側方へのステップ幅を SHORT-STEP (40cm) と LONG-STEP (65cm) の 2 条件として、その組み合わせで、合計 6 条件を行った。それぞれの条件において 16 試行を行い、合計 96 試行を行った。条件順序はランダムとし、条件間には 5 分の休憩を入れた。

被験者は眼前の緑色 LED ランプが点灯したら、指定された膝関節角度を保持して構え、その後赤色 LED ランプが点灯したらできるだけ素早く右側方にある指示されたマットを踏み動作を行った。被験者にはマットを踏み際には、体重を移動させてしっかりとマットを踏みように注意した。被験者の上体は膝関節角度の屈曲程度にあわせて軽く上体を前傾させ、自然で被験者が動作を行いやすい姿勢とした。被験者には実験前に十分な練習を行わせた。

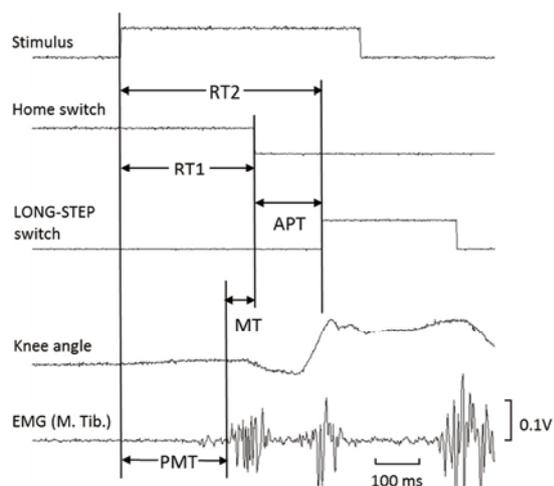


図2 Deep 条件, LONG-STEP の場合の典型例

3. 測定項目

得られた記録例とともに測定項目を図2に示した。

- ①Premotor time (PMT) : 光刺激提示から前脛骨筋筋放電開始までの時間
- ②Motor time (MT) : 前脛骨筋の筋放電開始から HOME switch が off になるまでの時間
- ③Reaction time (RT1) : 光刺激提示から HOME switch が off になるまでの時間
- ④Reaction time (RT2) : 光刺激提示から SHORT-または LONG-STEP switch が on になるまでの時間
- ⑤離地時間 (aerial-phase time, APT) : Home switch の off から SHORT-または LONG-STEP switch が on になるまでの時間 = RT2 - RT1
- ⑥準備姿勢時の膝関節角度 : 光刺激提示直前の 2 秒間の膝関節角度の平均値

4. データ処理

得られた実験データは多用生体信号解析ソフト (BIMUTAS II, キッセイコムテック) を用いて分析し、得られた計測値は統計処理パッケージ (SPSS13.0) を用いて統計処理を行った。準備姿勢条件とステップ条件を 2 要因とする分散分析を行い、さらに Scheffé 法による多重比較検定を行った。すべての統計処理において有意水準は 5% 未満とした。

結 果

1. 姿勢の保持

表2に各条件での膝関節角度の平均値を示した。それぞれの姿勢条件において指定した膝関節角度がほぼ維持されていることがわかる。Deep 条件では 70 度より若干浅くなっているが、姿勢条件間に有意な差が得られた ($F_{(2,957)} = 10398.12, p < 0.001$) ので、大きな問題はないものと考えられた。また、STEP 条件間では有意な差は見られず ($F_{(1,958)} = 1.04, p > 0.05$)、すべての試行を通してそれぞれに規定した膝関節角度で実験が行われたことが確認された。

表2 条件別膝関節角度の平均値 (degree)

Posture	STEP	Knee Angle		
		Mean	S.D.	N
UPRIGHT	Short	1.1	3.6	160
	Long	2.0	4.4	160
LIGHT	Short	49.2	5.7	160
	Long	51.5	8.5	160
DEEP	Short	64.6	5.8	160
	Long	66.9	5.6	160

2. 構え姿勢による反応時間への影響

図 3 に刺激提示から筋放電開始までの時間である PMT, 脚がマットから離れるまでの時間である RT1, および右側のマットを踏むまでの時間である RT2 の平均値を STEP 条件ごとに示した. 構え姿勢による反応時間への影響は SHORT-STEP, LONG-STEP とともにほぼ同様の傾向を示し, PMT と RT1 では直立状態 (upright) が最も短く, 膝の屈曲が深くなるにつれ延長する傾向がみられた. 逆に RT2 では構えが直立姿勢であると, 最も大きくなり, 膝が屈曲している構え (Light 及び Deep 条件) では直立姿勢よりも 40~50ms も短縮した. これらは分散分析の結果, 構え条件間に有意な差があり (SHORT-STEP : PMT; $F_{(2, 465)} = 92.53$, RT1; $F_{(2, 469)} = 9.21$, RT2; $F_{(2, 466)} = 33.13$, LONG-STEP : PMT; $F_{(2, 462)} = 116.06$, RT1; $F_{(2, 459)} = 22.94$, RT2; $F_{(2, 450)} = 35.33$, いずれも $p < 0.001$), その後の多重比較検定の結果は図 3 に表示したとおりとなった.

この RT2 で構え姿勢による影響が逆転する大きな要因は, MT (筋放電開始から足がマットから離れるまでの時間) と APT (足がマットを離れてから右側方のマットに着地するまでの時間) であり, その平均値を図 4 に示した. SHORT-, LONG-STEP とともにすべての条件で

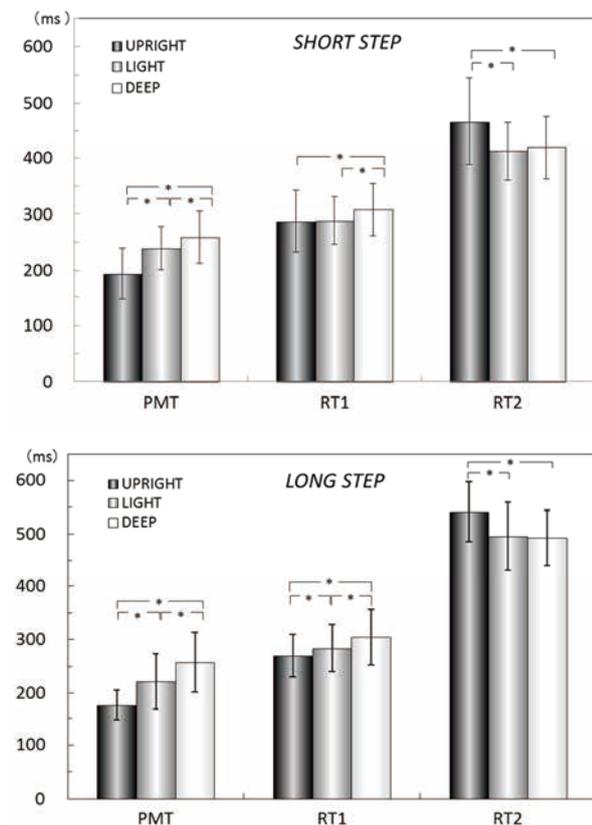


図 3 姿勢条件別反応時間の平均値

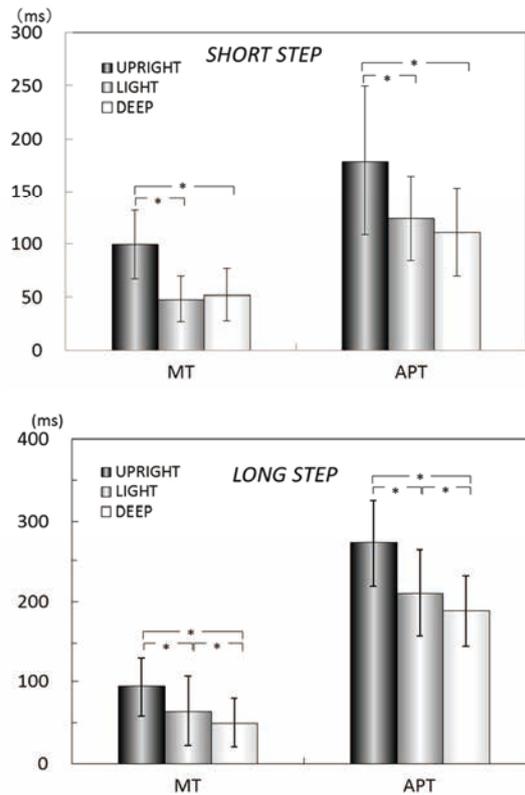


図 4 MT および APT の姿勢条件別平均値

同じ傾向が見られ, 直立姿勢からのステップでは MT が有意に長くなり, また, 脚が空中を移動している時間も有意に延長することが示された (SHORT-STEP : MT; $F_{(2, 445)} = 174.58$, APT; $F_{(2, 462)} = 72.45$, LONG-STEP : MT; $F_{(2, 448)} = 60.82$, APT; $F_{(2, 437)} = 110.05$, いずれも $p < 0.001$).

構え姿勢による反応時間への影響は, 目に見える動作が開始するまでの時間 (PMT, RT1) は, 一步が大きくても小さくても直立姿勢で構えた方が反応時間は短い. しかし, いったん動作が始まってしまうと, 直立姿勢では脚の移動時間が延長し, 一步踏み出すのに他の構え姿勢よりも時間がかかってしまうことが明らかとなった.

3. 踏み出し距離による反応時間への影響

図 5 に構え姿勢条件別にステップ条件の平均値を示した. いずれの構え姿勢においても, PMT 及び RT1 では LONG-STEP の方が小さいか, 近い値を示し, 逆に RT2 や MT, APT では LONG-STEP の方が大きく延長した (Upright : PMT; $F_{(1, 314)} = 14.97$, RT1; $F_{(1, 308)} = 10.75$, RT2; $F_{(1, 310)} = 93.01$, APT; $F_{(1, 303)} = 169.21$, Light : PMT; $F_{(1, 310)} = 11.37$, RT2; $F_{(1, 304)} = 153.20$, APT; $F_{(1, 301)} = 258.23$, Deep : RT2; $F_{(1, 302)} = 13.07$, APT; $F_{(1, 295)} = 245.98$, いずれも $p < 0.001$). つまり, RT2 および APT における差は二つのステップの物理的距離の差によって

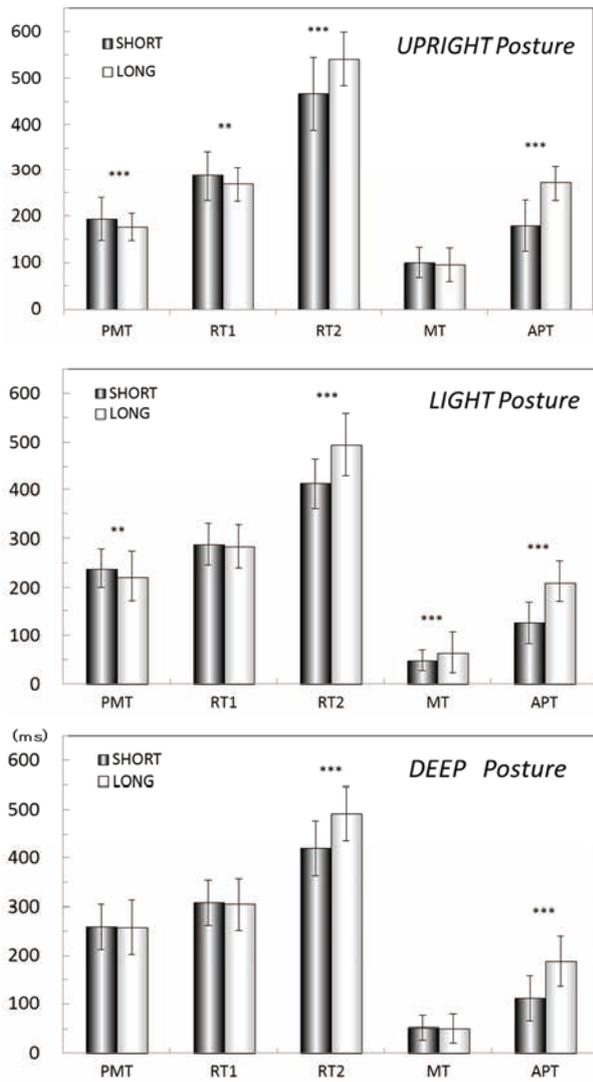


図5 各種反応時間およびAPTのステップ条件比較

生じていることは明らかである。しかし、直立姿勢や軽く膝を曲げて構えた状態では筋放電開始や足が床を離れるまでの時間は距離が長い方が短く、膝を深く曲げた状態では、それらの反応時間とステップ距離とは関係がないことが示された。

論 議

本研究では、構え姿勢の深さに着目し、膝関節の屈曲角度と側方への踏み出し距離が反応時間にどのような影響があるのかを検討した。上述の結果においては、構え姿勢条件および踏み出し距離条件別に報告したが、ここでは反応時間の全体像をみるために、図6に光刺激提示から踏み出し動作が完了するまでの各種時間の平均値すべてをまとめて示した。LONG-STEP、SHORT-STEPのどちらも非常によく似た傾向を示している。いずれの

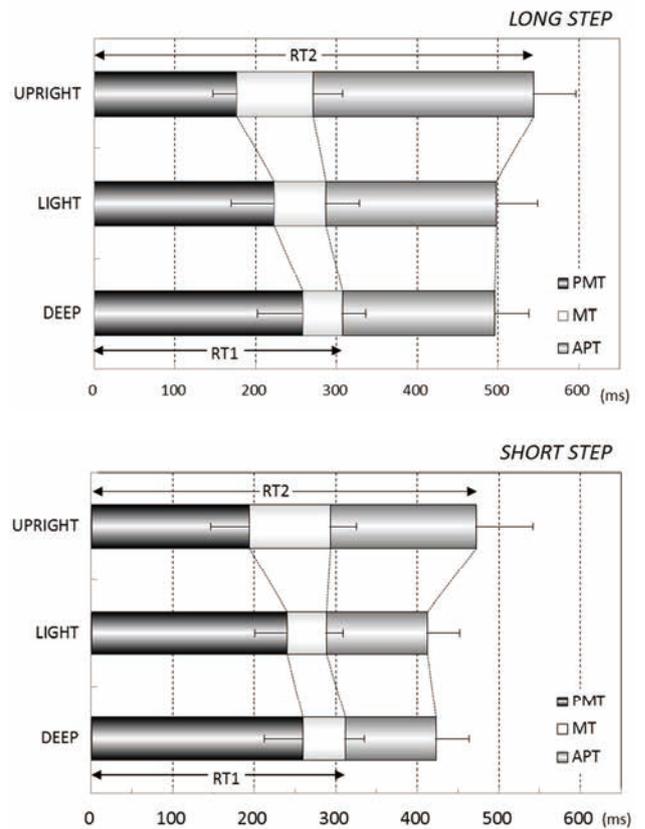


図6 反応時間のまとめ

STEP条件下においても、PMTは構え姿勢が深くなるほど遅れていくが、筋に運動指令が届いてから床から足が離れるまでの時間(MT)は直立姿勢の方においてももっとも時間が必要となる。これは直立しているために重心を対側に移動して全体重を片脚で支えることができようになるまでに時間を要するものと考えられる。PMTとMTを加えた値がRT1となるわけだが、PMTへの影響とMTへの影響を合わせてみると、直立姿勢ではPMTは短いがMTが延長する。一方Deep条件ではPMTは遅延するが、MTが短縮するので、RT1はPMTほどの条件差が見られなくなる。しかし、PMTとMTの和としてのRT1は、Deep条件においてももっとも長い。つまり、深く膝を屈曲させて構えると、足が床を離れるのに時間がかかることを示している。

その後の脚の移動時間を入れると、最終的には、直立姿勢が一步を踏み出すのに最も時間がかかるということが図6から明らかである。さらに、もっと興味深いのは、Deep条件とLight条件では最終的な時間はほとんど変わらないという事実である。従来より、サッカー、バスケットボールなど、一対一での攻防がある競技では、ディフェンスの際には「腰を低く」という指導がなされてきた。この腰を低くということは膝を曲げてということ

を意味する。本研究の結果から考えると、低すぎる（深い）「構え」姿勢は、反応の速さという観点からはあまり意味がなく、無駄にプレイヤーに筋疲労やエネルギー消費をさせていた可能性があるかもしれない。しかし、反応の速さだけでなく、姿勢の安定性や踏み出し脚の力強さという点から考えれば、姿勢の低さは必要なのかもしれない。この点に関してはさらなる検討が必要である。

本研究では、大腿四頭筋や二頭筋の筋電図を記録していないので推測にすぎないが、膝関節の屈曲が大きいほど、大腿二頭筋の筋放電量は増加し、また、ステップ動作をするために膝を伸展する大腿四頭筋の活動量も多くなっていくものと考えられる。つまり、膝を大きく曲げて深く構えていると、大腿二頭筋の予備緊張はかなり大きなものとなり、その影響が反応時間に及んだ可能性もあるかもしれない。筋の予備緊張による反応時間への影響を検討した研究として、Clarke (1968), Schmidt et al. (1970), 衣笠ら (1986), 麓ら (1999), 木村ら (2001), Kimura et al. (2002) などの研究が挙げられる。これらの研究では、筋をあらかじめ緊張させておくことで、反応時間が短縮したり、主動筋を緊張させることで、その発揮筋力をより増大させることが可能であることを報告している。しかし、この予備的筋放電の量は 10～20%MVC 程度のわずかな量であり、立位姿勢で膝関節屈曲角度が 70 度を超えるような場合はもっと大きな筋活動が生じているものと考えられ、Deep 条件ではこのような影響も考慮に入れておく必要がある。むしろ、直立条件や Light 条件において PMT が Deep 条件よりも小さいのは、この予備緊張による促進効果によるものであるのかもしれない。

また、本研究では、横に一步踏み出すだけの反応動作を用いたが、実際のディフェンス場面では、その後にくステップがあったり、そのまま強く踏みとどまったりというような動作が連続していく。そのような場合に反応時間の遅速だけで「構え」姿勢の適否を決めることは控えておくべきであろう。反応の速さとともにステップの強さという観点からも「構え」姿勢を検討する必要があると思われる。

まとめ

本研究では、「構え」姿勢が反応時間に及ぼす影響について、膝関節屈曲角度および側方への踏み出し距離に焦点をあてて検討を加えた。姿勢条件として Deep (膝関節角度 70 度), Light (50 度), および Upright (0 度), STEP 条件として LONG-STEP (距離 65cm) および

SHORT-STEP (40cm) 条件を設けて反応時間を測定した。膝関節角度が深くなるほど前脛骨筋の PMT は遅くなるが、MT は逆に短縮するので、脚が home switch から離れる時間は姿勢条件間の差はわずかとなる。しかし、脚が離地して新たに STEP を踏むまでの時間が直立姿勢の場合に最も遅くなった。最終的に刺激が与えられてから、一步踏み出す反応時間は、直立姿勢が最も遅く、膝関節角度が深くても浅くてもほとんど反応時間は変わらないことが明らかとなった。

引用文献

- 阿江通良・渋川侃二・金原勇 (1978) 大きなパワーの要求される身体運動の生力学的基礎要因に関する研究—予備緊張が瞬発的に発揮しうる等尺性筋収縮による力に及ぼす影響—。体育学研究, 23 : 321-331.
- Chapman, L.J. and Chapman, J.P. (1987) The measurement of handedness. Brain and Cognition, 6, 175-183.
- Clarke, D.H. (1968) Effect of preliminary muscular tension on reaction latency. Research Quarterly, 39 : 60-66.
- 藤澤宏幸・武田涼子・渡邊裕美・吉澤智貴・窪田ひと美・高桑有加・佐々木歩・川村江里 (2009) サイドステップ動作に関する身体運動学的研究。理学療法学, 36(2) : 49-57.
- 麓正樹・西平賀昭・下田政博・宮達夫・八田有洋 (1999) 運動準備期の持続的な随意収縮が CNV と H 反射に及ぼす影響—反応動作前の収縮量の変化—。体力科学, 48 : 569-582.
- 古屋宏基・丸山剛生 (2008) 単純反応動作における構え姿勢の違いが筋活動パターンに及ぼす影響。ジョイント・シンポジウム講演論文集 (スポーツ工学シンポジウム:シンポジウム:ヒューマン・ダイナミクス), pp.239-243.
- 衣笠隆・藤田紀盛・田中英彦 (1985) 踏み出し応答時間に及ぼす股関節および膝関節角度の影響。体力科学, 34 : 42-50.
- 衣笠隆・藤田紀盛・野間明紀 (1986) 事前の筋活動が反応時間に及ぼす影響について—選択反応と反応の大きさによる場合—。筑波大学体育科学系紀要, 9 : 309-314.
- 木村憲・今中国泰・北一郎 (2001) 自由に決定された力発揮レベルの予備的筋収縮が反応時間に及ぼす影響。日本運動生理学雑誌, 8(2) : 93-98.

- Kimura, K., Imanaka, K., and Kita, I. (2002) The effects of different instructions or preparatory muscle tension on simple reaction time. *Human Movement Science*, 21 : 947-960
- Schmidt, R.A. and Stull, G.A. (1970) Premotor and motor reaction time as a function of preliminary muscular tension. *Journal of Motor Behavior*, 2(2) : 96-110.
- Yamamoto, Y. (1996) The relation between preparatory stance and trunk rotation movements. *Human Movement Science*, 15 : 899-908.