投球動作における上肢筋の筋電図学的研究

豊島進太郎*, 松井秀治**, 宮下充正**

(昭和45年1月13日受付)

An Electromyographic Study of the Upper-Arm Muscles Involved in Throwing

Shintaro TOYOSHIMA Aichi-kenritsu University

Hideji MATSUI and Mitsumasa MIYASHITA Nagoya University

Ball sizes and weights used in a variety of sports and patterns of throwing vary according to the purposes of the given sports. In this study we intended to analyze the mechanics of throwing when the subject threw a ball horizontally at maximum speed.

Procedure: EMG of the upper arm muscles such as extensor carpi radialis, flexor carpi ulnaris, biceps brachii triceps brachii, deltoideus, trapezius, teres major and pectoralis major, was recorded by the standard surface electrodes. Angular movements of the wrist and the elbow joints recorded by an electrogoniometer. The moment of release of the ball was determined with the electric switch. The subject was a healthy trained man (31 years of age). The balls used in this study were shown in Tab. 1. Throwing patterns were three basic ones such as over-hand, side-hand, and under-hand.

Results: All recordings of EMG, electrogoniograms and moment of release are shown in Fig. 2, 3, and 4. The results obtained are as follows;

1) A form of throwing was generally divided into three phases, those were, back swing, throw and follow through. The time intervals of those three were around 0.2~0.5 sec, 0.3~0.45 sec and 0.2~0.35 sec, respectively (Tab. 2).

2) A clear difference was found in EMG recordings between throwing a ball which was small enough to be grasped and throwing the other which is too large.

3) There was a definite difference in EMG recordings between over-hand throw and underhand throw.

4) During the phase of follow-through, action potentials of all muscles involving both extensors and flexors became great. The reason could be found in avoiding jerk of the arm and shoulder.

5) Except under-hand throw, sudden dorsol flexion of wrist was seen immediately after the release of ball. This showed that the subject threw the ball horizontally at maximum speed, and that the flatter the arc in which his hand travels, the greater the possibility of accuracy.

Toyoshima, S., Matsui, H., and Miyashita, M.: "An Electromyographic Study of the UpperArm Muscles Involved in Throwing", *Research Journal of Physical Education*, Vol. 15, No. 2, January, 1971, pp. 103~110.

* 愛知県立大学

** 名古屋大学

1. 研究目的

「投げる」という動作は、人間の運動を特徴づけるものの一つであつて、他の動物の動作の中にはみられない運動である。正木⁶⁾(1964)は、「投げる」という動作を「自分で他の物に運動量を与え、運動量を与えられたものが空中、または水中を移動するものである。」と定義している。一般に、投てき物が得る運動量の大部分は、投てき物が手に触れている間に与えられた加速度によるものであるといわれている。このように投てき物に与えられる運動量という問題から投げの動作をみた場合、投の対象となる投てき物の質量、また、動作が手によるとすれば、投てき物の大きさとい主つた対象物の物理的条件、更に遠く投げる、正確に投げる、速く投げるなどといった目標による条件によつてそれぞれ異なつた形式とならう。

この研究の目的は、いろいろな重量及び大きさの異なるいくつかの ball を用いそれぞれ3種類の投球 form で、水平方向に最大速度を得るように投げ、その際の主働筋の働き方の相異について分析し、投てき物の物理条件が投げる動作についてどのような影響を与えるかを手がかりに投球技術の実体を究明しようとするものである。

2. 実験経過

① 投球 form

本実験で行なつた投球 form は、次の3種類である。Fig. 1 に示すように、肩の高さを基準として、腕が肩の上で swing された throwing の over hand throw, 肩と同じ高さで腕が床と水平に swing された throwing の side hand throw, soft

Fig. 1 Three throwing forms.

ball の pitching のように腕が肩の高さより下で swing された throwing の under hand throw の3種類である。なお、投球にあたつては、いずれの投法の場合も、被検者は標的に向つて真横に立ち ball を胸の前に保持する構えの姿勢から、one step して最大努力で投げを行なつた。

② 筋電図の導出及び記録

筋の action potential は、各筋腹皮膚表面から双極誘導法により導出し記録した。すなわち、直径 5mm の銀板に rubber cap を接着した2個の電極を導出する筋腹に固定し、11 素子の記録器を接続した。導出個所については、豊島⁸⁾(1968)が行なつた実験結果をもとに、上肢の右半身から8個所の筋を選んだ。筋名については次に示す通りである。

桡側手根伸筋、尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋、僧帽筋、大円筋、大胸筋である。

③ 肘関節及び手関節の角度変化と ball のはなれの瞬間の記録

筋電図を読みやすくすると同時に腕の swing の状態を理解しやすくするために、肘関節及び手関節の角度変化と ball が手からはなれる時間経過を同時に記録した。

肘関節及び手関節の角度変化は、electrogoniometer を使用し、それぞれの関節の位置に絆創膏で固定した。

ball の手からはなれる時間経過は、switch 回路方式による接点の切れを利用した。すなわち、右手の第二指に一つの接点を、また他の一つの接点を ball に付着させ、ball が第二指からはなれる瞬間この接点が切れるようにした。

④ ball の重量及び大きさ

実際に使用した ball は、一般に各種 sports 用として使用されているものであつて、重量及び大きさについては Tab. 1 に示す7種類である。な

Table 1. Ball weight and ball size

weight (g)	diameter (cm)	
3000	22	medicine ball
610	24	basketball
430	18.5	handball
270	20.5	volleyball
150	7.2	base ball
50	6.4	tennis ball
2.5	3.7	ping-pong ball

お、ball の大きさはいづれも ball の直径を示した。

⑤ 被検者

被検者は、Hand Ball の選手経験のある 31 歳の男子 1 名で、その身長は 164cm、体重は 64kg であった。

3. 測定結果

① 記録の説明

測定記録は、Fig. 2 (over hand) Fig. 3 (side-hand) Fig. 4 (under hand) のごとくである。記録はいずれの投球の場合も同じで、左から 3,000g, 610g, 430g, 270g, 150g, 50g, 2.5g の ball の重量の順序とした。また、上から橈側手根伸筋の筋電図、手関節の goniogram, 尺側手根屈筋, 上腕二頭筋の筋電図, 肘関節の goniogram, 上腕三頭筋, 三角筋, 僧帽筋, 大円筋, 大胸筋の筋電図である。手関節の goniogram については下方への変化が背屈で上方への変化が掌屈であり、肘関節の goniogram は、下方への変化が伸展で、上方への変化が屈曲である。図中の縦線は、ball が手からはなれた瞬間である。

② 投球動作の時間的配分

投げの動作の時間的経過は、a. 構えから ball を投球方向とは反対の後方へ移動させる back swing の時間、b. ball が投球方向へ向つて加速度を得る throw (投球主動作) の時間、c. ball が手から離れた後の follow through の時期の 3 つの時期に分期できる。このような投げの動作の時間経過を、三つの投球 form それぞれの記録について計測すると、Tab. 2 のようになり、そこで 3 つの時期の時間配分は、back swing は 0.2~0.55 秒、throw は medicine ball (0.45~0.48 秒) を除いて 0.30~0.35 秒、follow through は 0.2~0.35 秒であった。

③ ball の物理的条件による差異

本研究の記録結果をそれぞれの投球 form について総括的にみるならば、被検者が完全に握つて投球できうる ball と、完全に握つて投球できない ball、すなわち直径 7cm 以下、重量 150g 以下の小さな ball 群と、直径 18cm 以上、重量 270g,

Fig. 2 EMG during over-hand throwing

Fig. 3 EMG during side-hand throwing

Fig. 4 EMG during under-hand throwing

Table 2. Time intervals of back swing, throw and follow through when the subject throws the various balls with three different forms.

		back swing	throw	follow through
over hand	medicine ball	0.30	0.45	0.30
	basket ball	0.25	0.30	0.20
	hand ball	0.25	0.30	0.30
	volley ball	0.30	0.30	0.30
	base ball	0.45	0.30	0.30
	tennis ball	0.45	0.30	0.30
	ping pong ball	0.55	0.35	0.25
side hand	medicine ball	0.30	0.48	0.35
	basket ball	0.20	0.30	0.20
	hand ball	0.20	0.30	0.30
	volley ball	0.20	0.30	0.20
	base ball	0.45	0.30	0.20
	tennis ball	0.45	0.30	0.20
	ping pong ball	0.55	0.30	0.20
unser hand	medicine ball	0.40	0.45	0.30
	basket ball	0.20	0.30	0.30
	hand ball	0.25	0.30	0.30
	volley ball	0.20	0.30	0.30
	base ball	0.40	0.35	0.35
	tennis ball	0.35	0.35	0.35
	ping pong ball	0.35	0.30	0.20

(sec)

以上の大きな ball 群の間において、back swing, 投球主動作ともに、筋の放電様式に明らかに相違がみられた。すなわち back swing では、握れない ball の場合、上腕二頭筋の放電が強く、肘を屈曲しながら行なうのに対し、握れる ball の場合は上腕三頭筋の放電が強く、腕を伸展させながら行なっている。次に投球主動作では、握れる ball の場合、屈曲された肘関節はさらに屈曲しながら前半を終り後半に伸展するのに対し、握れない ball では、前半から肘関節が伸展されながら行なわれている。

また、握つて投球することのできる小さな ball 群のそれぞれの間では、筋の放電様式及び手関節、肘関節の角度変化の違いは全くみられなかった。同様に握つて投球することのできない大きな ball 群の間においてもほとんど違いはみられなかった。

④ 投球 form の条件による差異

ball の物理的条件によつて同一投球動作であっても変化がみられた。しかし投球 form からみた同一 ball においての比較では、over hand throw と side hand throw の間における筋放電の様式に明確な相異がみられなかった。両者と under hand throw との間では明らかに相違があつた。それは次の点で最も明らかである。back swing である程度屈曲された肘関節は、投球主動作で over, side hand では、更に深く屈曲され伸展に移るのに対して、under hand では、back swing での屈曲状態から直ちに伸展して、上腕三頭筋や大円筋に強い放電がみられる。また握れる ball では、ball が手からはなれた後急激に手掌屈がみられるが、握れない ball では手からはなれる前から手掌屈が行われている。

4. 論 議

本実験は、まず投球動作目標条件として水平方向に最高速度で投げるという設定を行なつたわけである。この目標条件のうち、最高速度ということとは、ball に最大の運動 energy をあたえるということであり、水平方向である以上この energy は筋収縮によつてなされることは間違いない。ところでこのような ball の運動 energy には、ball の質量の要素が含まれる。このため、同一人物が、同じ型の投球を同じ努力で行なつたとしても、ball の運動 energy は ball の質量によつて異なってくる。

本実験の投動作の時間的分析において、throw の時間が medicine ball の場合を除いて、ほとんど同一の時間であつた。このことは、もし throw の軌跡の距離が等しければ、ball の質量の大きい方が、運動 energy が大きくなるはずである。しかし、最大努力という条件下では、Hill³⁾ (1938) の筋収縮の方程式の結果、すなわち、収縮速度の増大は、張力の減少を招くということからすれば、ball の質量の差が、運動速度の差になるはずである。本実験では、投動作によつて ball が得る最大の速度の測定を実施しなかつたため、明確には断言できないが、throw の時間が ball の質量の差に関係なく一定であるということは、大きい ball では throw の運動距離が短かく、小さい ball

では運動距離が長いのではないかということが推定される。このことは、back swing の時間が、質量の小さい ball ほども長いということにもよるものと思われる。一方 medicine ball の場合には、極端に throw の時間が延長しているが、これは投球に参加する筋の張力に対する ball の相対的重量が大き過ぎるため、時間がかかるものと思われる。すなわち、ある一定重量を超えると throw の時間が、筋の収縮力によつてある種の制限を受けるのではないかと推測される。

さらに、卓球の ball のように極端に軽い ball においても、野球の ball とほぼ等しい back swing 及び throw の時間であることは、腕全体の質量に比較して相対的に質量の小さい ball では ball の質量が投球動作に影響をあたえないものであるという推測ができよう。

投球動作のもう一つの目標条件である水平方向ということは、投球に参加する各関節群（肩、肘、手首）の投動作への協応ということが、重要な要素となる。森下⁷⁾ (1965) がすでに投動作 (Hand ball について測定) における ball の初速の増加の原因は、throw 軌跡の距離の延長にあると報告しているのは、この関係の一つを指摘したものである。

本研究の結果では、over hand 及び side hand では、back swing が終了した時点から、大胸筋の放電により、肩関節の運動が始まる。その後はじめて、上腕二頭筋の放電開始とともに、肘関節が屈曲を始め、さらに、橈側手根伸筋及び尺側手根屈筋の放電は手関節の固定を行なう。ball が手からはなれる瞬間は肘関節が完全に伸展し、手関節はほとんど背屈状態、すなわち、水平方向に対し、手掌が垂直になるように、肩関節、肘関節ついで手関節が動作へ参加し、肩関節が中心となつた段階的な円運動としての関節群の協応がみられる。しかし、under hand の場合は、手関節の動作への参加は、手根筋群の働きからみればほぼ前二者と同様であるが、肘関節は、back swing の終了時点から大胸筋の活動によつてみちびかれる肩関節の運動とほぼ同じ時期に伸展しはじめ、三角筋、僧帽筋、大円筋等の放電により throw の後半の運動へとつながっている。このこ

とは肩関節と肘関節とが一体に働いており、先の二つの動作にみられたような関節独自としての水平方向への加速を行つているとはいえない。すなわち、肘関節の構造上の条件とみてよいだろう。

手関節は投法のいかんにかかわらず水平方向という目標条件を完全にするために、手関節は、ball の加速に直接参加しているといつてよい。すなわち、いずれの質量、大きさの ball であつても、手根筋群の固定が行なわれ、手からはなれる時期に向つて放電が強くなり、over hand, side hand では手からはなれた後、手掌屈が現われる。

なお、follow through といわれる時期の動作の筋放電は、いずれの投球動作においても、上肢の伸筋、屈筋全てに強い放電がみられる。follow through の時間は0.2~0.35秒の間であつて一般に考えられている ball が手からはなれた瞬間に脱力という現象は見られず、筋放電状態からみれば、むしろ短い時間ではあるが、硬直状態になるといえるのではないかと思う。

5. 結 果

重量及び大きさの異なる ball を、3種類の投球 form で、水平方向に最大速度で投げる動作を筋電図学的に分析し次のような結果を得た。

- ① 投球動作の時間的配分は、3種類の投球 form で明確な差はなかつた。
- ② 被検者が完全に握つて投球できる ball と握れない ball において、投球動作における筋の放電様式に明らかな相異があつた。
- ③ 投球 form では、over hand throw と side hand throw に筋の放電様式に差がなく、この両者と under hand throw に明確な差がみられた。

参 考 文 献

- 1) Broer, M.B. (1966): Efficiency of Human Movement. W.B. Saunders CO. Philadelphia and London.
- 2) Hermann, G.W. (1960): An electromyographic study of selected muscles involved in the shot put. The Research Quarterly, 33; 1, 85~93.
- 3) Hill, A.V. (1938): The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. Proc. Roy

Soc. B., 126; 136~195.

- 4) 石井喜八, 山崎 武 (1969): 投球動作の分析, —ハンドボール投げの場合—, 大阪体育大学紀要, 1, 23~29.
- 5) 正木健雄, 石井喜八 (1958): ハンドボール動作の分析, 体育学研究, 3;1, 33.
- 6) 正木健雄 (1964): 「投げる」とは, —throw と push を中心として—, 体育学研究, 9;1, 443~444.
- 7) 森下はるみ, 猪飼道夫, 武田悦子 (1965): ハンドボール投球技能の分析, 一個人の学習による容変について—, 体育学研究, 10;1, 195.
- 8) 豊島進太郎 (1968): 動作「投げ」の筋電図学的分析, 愛知県立大学文学部論集, 19, 196-207.
- 9) Wells, K.F. (1966): Kinesiology. W.B. Saunders Co. Philadelphia and London.