

古武術における井桁術理を用いた 振り上げ・振り下げ動作の解明

脇田 裕久・竹内 豊・佐々木拓美

The elucidation of upswing movement
and downswing movement using “Iketa” method in old martial arts.

Hirohisa WAKITA, Yutaka TAKEUTI and Takumi SASAKI

要 旨

本研究は、健康な男子大学生 10 名を対象とし、錘 1 kg を把持した直立の静止状態から「ヒンジ動作」と「井桁動作」の 2 条件による振り上げ・振り下げ動作の差異について、動作分析・筋電図および床反力を手がかりとして比較・検討し、「井桁動作」の動作の有効性や特徴を明らかにすることを目的とした。

本研究における「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の結果は以下の通りである。

- 1) 肩関節最大角度には有意な差が認められず、股関節最小角度、膝関節最小角度、足関節最小角度は、それぞれ 0.1% 水準の有意な減少が認められた。
- 2) 肩関節振り上げ最大角速度は 5% 水準の有意な増大が認められた。
- 3) 錘の鉛直方向の移動距離は 0.1% 水準の有意な減少が認められ、大転子の鉛直方向の移動距離は、0.1% 水準の有意な増大が認められた。
- 4) 錘の振り上げ最大速度は 5% 水準の有意な減少が認められた。
- 5) 三角筋放電量は 5% 水準の有意な減少、内側広筋放電量は 1% 水準の有意な増大が認められた。
- 6) 振り上げ動作開始時の加重は 1% 水準、振り上げ動作中の抜重は 0.1% 水準、振り下げ中の抜重は 0.1% 水準の有意な減少、振り下げ開始時の加重は 1% 水準の有意な増大が認められた。
- 7) 動作時間は 1% 水準の有意な短縮が認められた。

以上のことから、「井桁動作」は「ヒンジ動作」と比較して肩関節角速度の増大、動作時間の短縮、振り下げ動作中の抜重の増大、肩関節負担軽減動作であることが明らかにされた。これには、「ヒンジ動作」が作用方向と同方向に支点を移動する共振動作であり、「井桁動作」は作用する方向と支点が逆方向に移動する揺動支点を用いた動作であり、この差違が「ヒンジ動作」に比較して「井桁動作」の素早い動作を可能にしている要因であることが示唆された。

研究目的

最近、古武術の身体操法が「捻らない」「ためない」「うねらない」「ひねらない」「踏ん張らない」「蹴らない」などの動作を取り入れ、競技力向上に貢献していることが多く報告されている^{1) 2)}。しかし、古武術の身体操法に関する運動学的な報告は数少なく、手島ら³⁾や筆者⁴⁾は、一般的な蹴り動作に比較して膝関節の脱力(抜き動作)によって生じる位置エネルギーを利用した前進及び横移動動作について検討したに過ぎない。これらの結果は、「抜き動作」が「蹴り動作」に比較して末端の筋活動の軽減・床反力の増大・動作

時間の短縮など、効率的な動作を遂行させることを明らかにしている。

一般的なヒトの動きは、蝶番のように一つの関節を支点として動作することが多い(ヒンジ動作)。これに対して、古武術研究家の甲野⁵⁾は「井桁術理」という身体操法理論を提唱している。井桁とは井戸の上部の縁を木や板で「井」の字に形に四角に組んだものであり、この術理は井桁の 4 つの支点と辺が平行四辺形に同時にずれる動きである(井桁崩し)。甲野⁵⁾は、この井桁術理を用いた動作に関して「関節の折れるところはパタン、パタンと折り、伸ばすところはいささかの無理もなく伸ばす」という表現を用い、目的とす

る動作を身体各部が少しずつ請け負って遂行するとしている。

一方、重量物を頭上に持ち上げる動作に重量挙げのスナッチがある。スナッチは、重いものを軽く持ち上げる有効な動作であり、バーベルを引き上げると同時に膝関節を屈曲させバーベルの中に身を沈めて挙上する動作である。また、武道やスポーツやおいても、用具を手で操作する競技も多く、打撃動作に見られる振り上げ・振り下げ動作について井桁術理の効果に関する報告は見受けられない。本研究は、男子大学生を対象として振り上げ・振り下げ動作における「ヒンジ動作」と「井桁動作」の特徴をビデオ撮影による動作分析および筋電図・床反力の面から分析し、「井桁動作」の有効性について運動学的に明らかにすることを目的とした。

研究方法

1) 被験者

被験者は、健常な男子学生 10 名（年齢：20～23 歳、身長 176.7 ± 5.7 cm、体重 69.6 ± 6.9 kg）を対象とした。

2) 測定方法

被験者には、force plate 上で右手に 1 kg の鉄アレイを把持させ、錘を下垂した状態で自然な立位準備姿勢をとらせた。験者の合図後、被験者は随意に静止状態から頭上までできる限り素早く振り上げ、振り下げ動作を行うよう指示した。振り下げ動作の終了時点を確認するために、force plate 上に垂直の板を設置し、その板を叩くように指示した。

動作分析は、験者の頭頂部・肩・肘・手首・錘・大転子・膝・足首・足先の計 9 箇所にもーカーをつけ、右側方 5 m からビデオカメラで撮影した。

筋電図の測定は、主動作となる右側の三角筋・内側広筋に電極を貼付し、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払拭の前処理を施し、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、鉛直分力が記録できるように設定した。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み分析した。

3) 実験条件

運動課題は、次の 2 条件による振り上げ・振り下げ動作を行わせた。条件①：肩関節のみの屈曲・伸展を用いた動作を行う（以下、「ヒンジ動作」と略す）。条件②：肩関節の屈曲に伴って股関節・膝関節・足関節

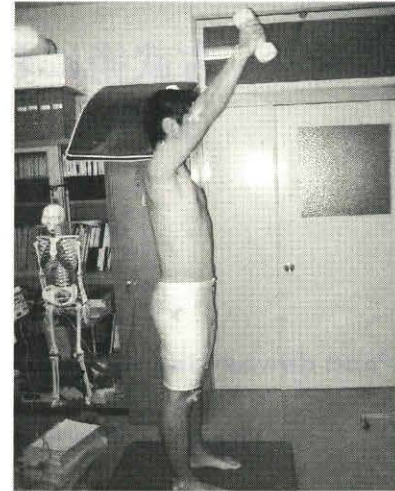


写真1 ヒンジ動作（振り上げの様子）

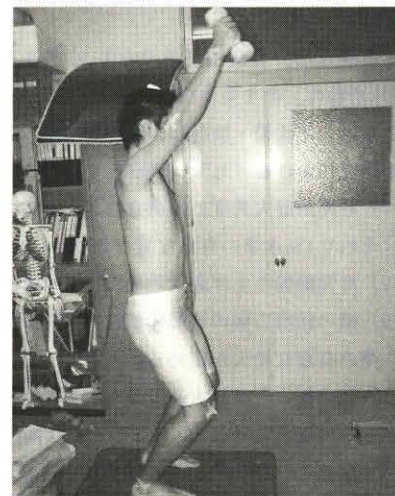


写真2 井桁動作（振り上げの様子）

を屈曲させながら振り上げ動作を行い、肩関節の伸展に伴って股関節・膝関節・足関節を伸展させながら振り下げ動作を行う（以下、「井桁動作」と略す）。条件③：振り上げ・振り下げ動作を行わず、下肢関節のみの屈伸動作を行う。これは、条件②における加重変化が上肢の動作に伴わない場合のコントロールとして測定したものである（以下、「膝抜き動作」と略す）の 3 条件とした（写真 1・2 を参照）。各条件における試行回数はそれぞれ 3 試行とした。験者は、被験者に各条件において出来る限り素早く全力で振り上げ、振り下げ動作を行うように指示した。「井桁動作」「膝抜き動作」の際には膝関節の脱力に意識を持つような声かけをし、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

本研究における動作分析は、映像分析ソフト（visight 1.2.2 及び visight1.7.1）を用いて座標化し、①関節角度（肩関節角度・股関節角度・膝関節角度・

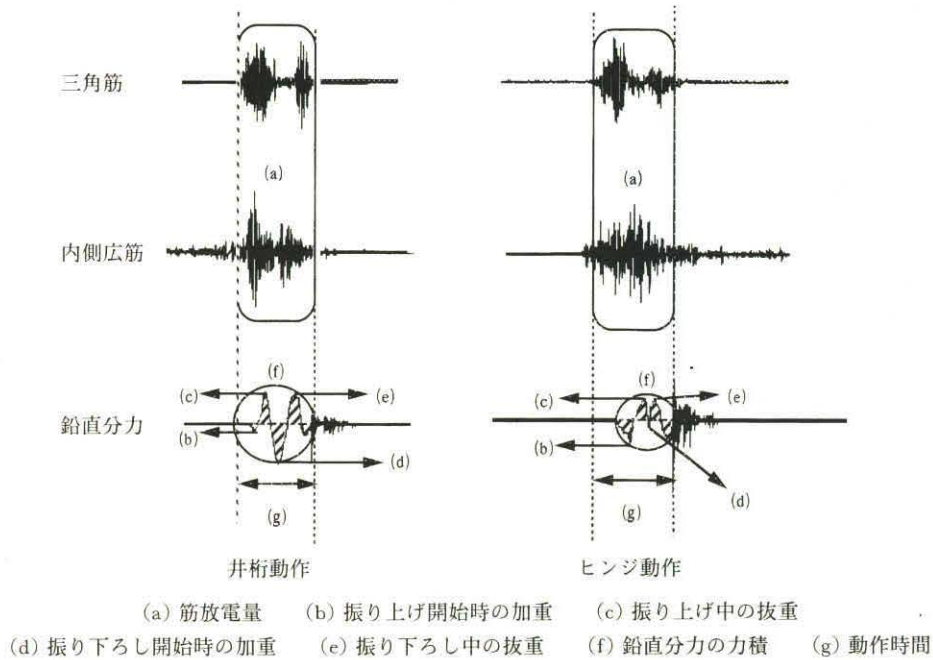


図1 井桁・ヒンジ動作における筋放電め鉛直分力の波形

足関節角度)、②肩関節角速度、③軌跡(錘・肩・大転子)、④大転子の鉛直方向の移動距離、⑤錘の最高位、⑥錘の鉛直速度について分析した。

筋電図と床反力の波形分析方法を図1に示した。分析項目は、①筋放電量(三角筋・内側広筋の筋電図波形を全波整流した後の積分値)、②床反力の加重変化(振り上げ開始時の加重、振り上げ中の抜重、振り下げ開始時の加重、振り下げ中の抜重)及び③体重を除いた鉛直成分の力積、④動作時間(床反力の立ち上がりから振り下げた時の板への衝撃がforce plate上に伝達するまでの時間)とした。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. 関節角度

「ヒンジ動作」と「井桁動作」の各関節角度変化を図2に示した。

- 1) 肩関節最大屈曲角度の平均値は、「ヒンジ動作」が $152.7 \pm 14.6^\circ$ 、「井桁動作」が $154.4 \pm 14.6^\circ$ であり、両条件間には有意な差は認められなかった。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は101%であった。
- 2) 股関節最小屈曲角度の平均値は、「ヒンジ動作」が $164.3 \pm 4.9^\circ$ 、「井桁動作」が $144.1 \pm 13.6^\circ$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 20.2° 小さく、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は88%であった。

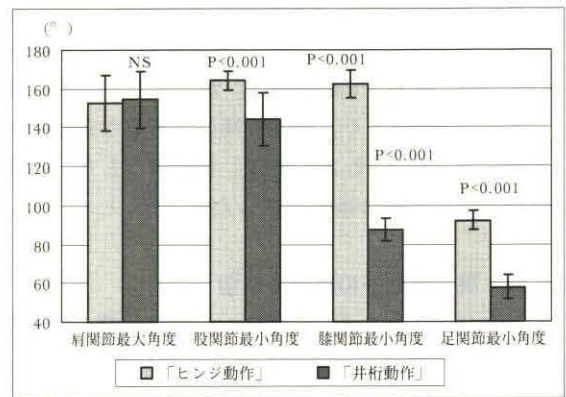


図2 関節角度変化

- 3) 膝関節最小屈曲角度の平均値は、「ヒンジ動作」が $162.5 \pm 7.3^\circ$ 、「井桁動作」が $87.4 \pm 5.7^\circ$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 75.1° 小さく、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は54%であった。
- 4) 足関節最小背屈角度の値の平均値は、「ヒンジ動作」が $92.4 \pm 4.7^\circ$ 、「井桁動作」が $57.9 \pm 6.1^\circ$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 34.5° 小さく、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は63%であった。

2. 肩関節角速度

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における肩関節角速度の比較を図3に示した。

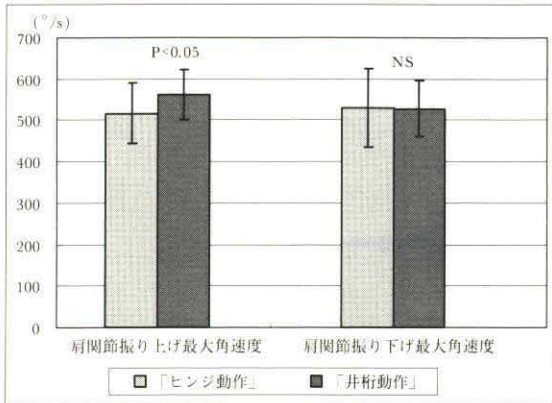


図3 肩関節角速度

- 1) 肩関節振り上げ最大角速度の平均値は、「ヒンジ動作」が $516.2 \pm 73.7^\circ/\text{sec}$ 、「井桁動作」が $561.6 \pm 60.7^\circ/\text{sec}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも $45.4^\circ/\text{sec}$ 大きく、両条件間には5%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は109%であった。
- 2) 肩関節振り下げ最大角速度の平均値は、「ヒンジ動作」が $529.9 \pm 96.0^\circ/\text{sec}$ 、「井桁動作」が $527.2 \pm 67.7^\circ/\text{sec}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも $2.7^\circ/\text{sec}$ 小さく、両条件間には有意な差は認められなかった。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は99%であった。

3. 錘・肩・大転子の軌跡の軌跡

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における錘・肩・大転子の軌跡の変化の典型例を図4に示した。「ヒンジ動作」では、錘が大きな円運動をし、振り上げ最高位も高い位置にあり、肩関節は後ろ斜め上方に引き上げられており、大転子は水平方向に移動していることが観察された。

一方、「井桁動作」は、「ヒンジ動作」に比較して錘の振り上げ最高位が低い位置にあり、肩関節を中心として動作しており、大転子が鉛直方向に移動していることが観察された。

4. 移動距離

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における錘と大転子の鉛直方向の移動距離を図5に示した。

- 1) 錘の鉛直方向の最大値の平均値は、「ヒンジ動作」が $199 \pm 8 \text{ cm}$ 、「井桁動作」が $184 \pm 10 \text{ cm}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも15 cm小さく、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は92%であった。
- 2) 大転子の鉛直方向の移動距離の平均値は、「ヒン

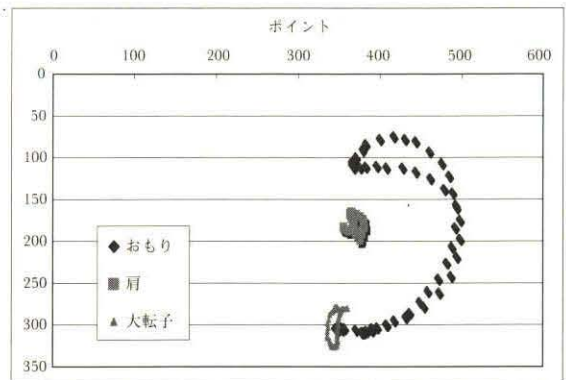
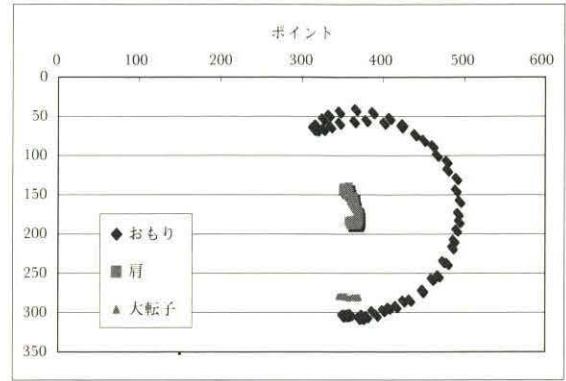


図4 おもり・肩・大転子の軌跡
(上が「ヒンジ動作」、下が「井桁動作」)

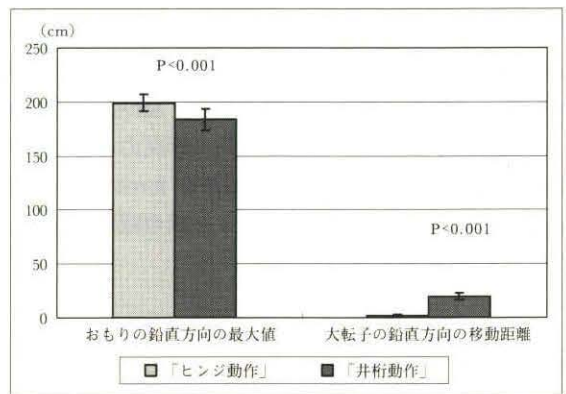


図5 移動距離

ジ動作」が $2 \pm 1 \text{ cm}$ 、「井桁動作」が $20 \pm 3 \text{ cm}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも18 cm大きく、両条件間には0.1%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は1000%であった。

5. 錘速度

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における錘速度の比較を図6に示した。

- 1) 錘振り上げ最大速度の平均値は、「ヒンジ動作」が $7.29 \pm 0.98 \text{ m/sec}$ 、「井桁動作」が $6.68 \pm 0.52 \text{ m/sec}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」より

も 0.61 m/sec 小さく、両条件間には 5%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 92%であった。

- 2) 錘振り下げ最大速度の平均値は、「ヒンジ動作」が 7.65 ± 1.36 m/sec、「井桁動作」が 7.01 ± 0.59 m/sec であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 0.64 m/sec 小さく、両条件間には有意な差は認められなかった。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 92%であった。

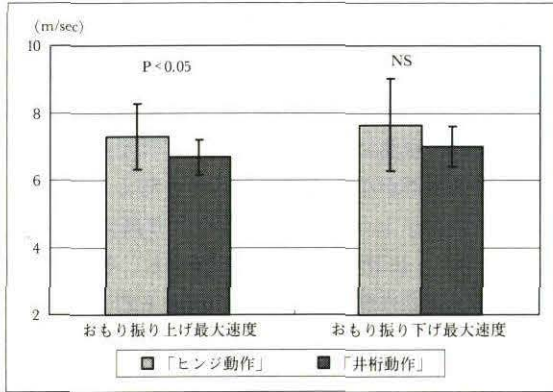


図6 おもり速度

6. 筋放電量

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における筋放電量の比較を図7に示した。

- 1) 三角筋放電量の平均値は、「ヒンジ動作」が 56 ± 18 A.U.、「井桁動作」が 47 ± 0.013 A.U. であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 9 A.U. 小さく、両条件間には 5%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 84%であった。
- 2) 内側広筋放電量の平均値は、「ヒンジ動作」が 25 ± 19 A.U.、「井桁動作」が 52 ± 19 A.U. であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 27 A.U. 大き

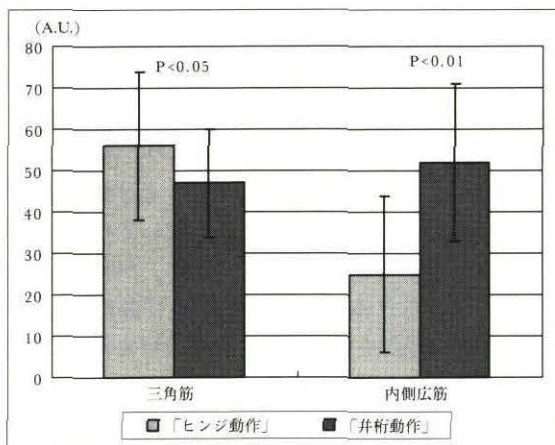


図7 筋放電量

く、両条件間に 1%水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 208%であった。

7. 鉛直分力

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における振り上げ動作時の鉛直分力の比較を図8に示した。

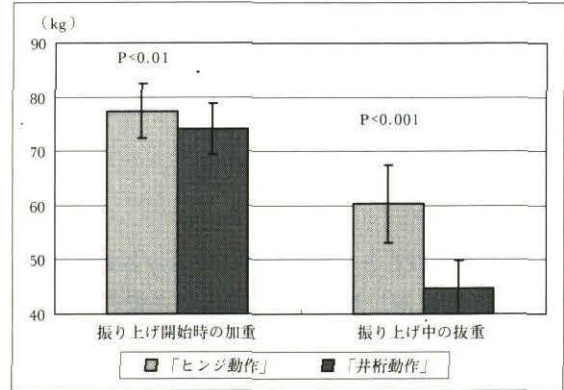


図8 振り上げ動作時の鉛直分力の比較

- 1) 振り上げ動作開始時の鉛直分力の最大値は、「ヒンジ動作」が 77.4 ± 5.1 kg、「井桁動作」が 74.2 ± 4.7 kg であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 3.2 kg 小さく、両条件間には 1%の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 96%であった。
- 2) 振り上げ動作中の鉛直分力の最小値は、「ヒンジ動作」が 60.3 ± 7.12 kg、「井桁動作」が 44.7 ± 5.2 kg であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 15.6 kg 小さく、両条件間には 0.1%の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 74%であった。

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における振り下げ動作時の鉛直分力の比較を図9に示した。

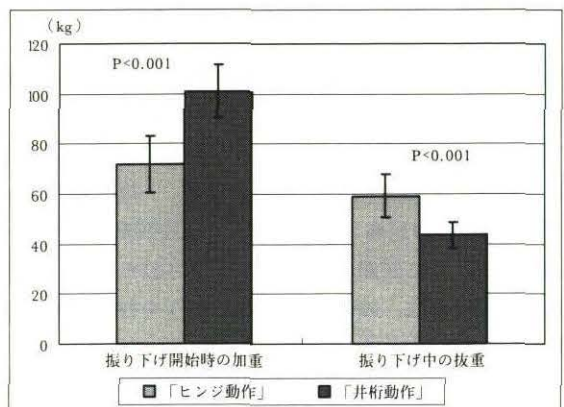


図9 振り下げ動作時の鉛直分力の比較

- 3) 振り下げ動作開始時の鉛直分力の最大値は、「ヒンジ動作」が $71.7 \pm 11.3 \text{ kg}$ 、「井桁動作」が $100.9 \pm 10.5 \text{ kg}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 29.2 kg 大きく、両条件間には 0.1% の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 141% であった。
- 4) 振り下げ動作中の鉛直分力の最小値は、「ヒンジ動作」が $59.2 \pm 8.6 \text{ kg}$ 、「井桁動作」が $43.7 \pm 5.1 \text{ kg}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 15.5 kg 小さく、両条件間には 0.1% の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 74% であった。

8. 動作時間

「ヒンジ動作」と「井桁動作」における動作時間の比較を図 10 に示した。両条件における動作時間の平均は、「ヒンジ動作」が $1.088 \pm 0.208 \text{ sec}$ 、「井桁動作」が $0.968 \pm 0.164 \text{ sec}$ であり、「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも 0.120 sec 短縮し、両条件間には 1% 水準の有意な差が認められた。「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値は 89% であった。

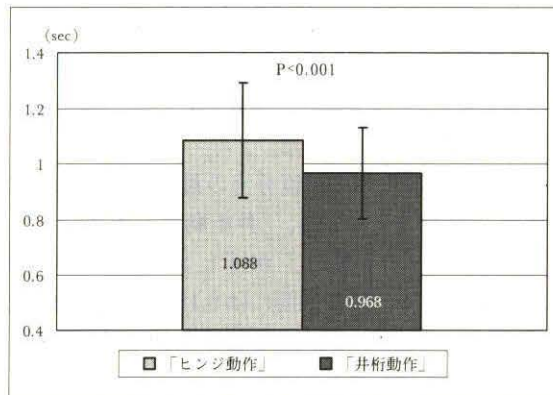


図 10 動作時間

論 議

本研究における肩関節最大屈曲角度は、「ヒンジ動作」と「井桁動作」の間に有意な差が認められなかった。しかし、膝関節・股関節・足関節の角度は、「ヒンジ動作」ではほぼ直立姿勢を保ち、「井桁動作」では肩関節角度の屈曲・伸展に伴って、股関節・膝関節・足関節が有意に屈曲することが観察された。このことから、被験者は、験者の指示通り動作を行ったものと考えられる。

肩関節の振り上げ最大角速度は、「井桁動作」が「ヒンジ動作」に比較して有意な増大が認められた。このことから、「井桁動作」は肩関節を介した 2 辺が

同時に動き、「ヒンジ動作」に比較して肩関節の屈曲速度を増大させ、有利に作用するものと考えられる。

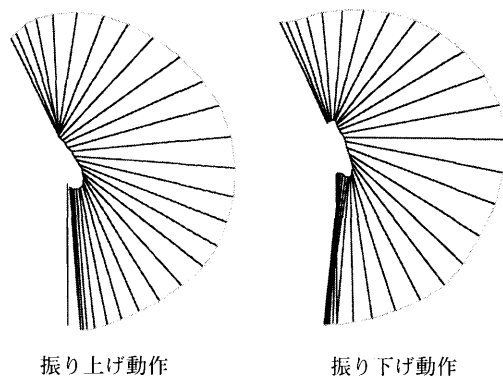
本研究における「井桁動作」の錘の鉛直移動距離は、「ヒンジ動作」に比較して有意に小さく、大転子の鉛直移動距離は「井桁動作」が「ヒンジ動作」よりも有意に増大する結果を示した。肩の解剖学的構造は、土台となる胸骨に鎖骨が接続して胸鎖関節を形成し、鎖骨の先は肩鎖関節を介して肩甲骨につながり、肩甲骨は肩関節を介して上腕骨に接続している。肩鎖関節と肩関節は肋骨の上であり、自由に動くことができる。したがって、「ヒンジ動作」の振り上げ動作は、慣性によって肩関節が引き上げられて錘の移動距離が増大したが、「井桁動作」では慣性による肩関節の引き上げを膝関節の屈曲によって錘の上方移動を抑制し、肩関節の移動距離が小さくなったものと考えられる。

「井桁動作」における錘の振り上げ最大速度は、「ヒンジ動作」に比較して有意に減少し、振り下げ最大速度は、両動作間に有意な差が認められなかった。図 11・12 は、「ヒンジ動作」と「井桁動作」の振り上げ・振り下げ動作の肩と錘スティックピクチャーを示したものである。「ヒンジ動作」は、先に述べたように錘の慣性によって肩関節が作用方向に振られてしまう共振動作であり、このことが振り上げ最大速度を増大させたものと考えられる。一方、「井桁動作」は、錘の作用する方向とは逆方向に肩関節が移動する揺動支点を用いた動作であり、「井桁動作」は「ヒンジ動作」に比較して錘が身体の近くを通過するため、最大速度が増大しなかったものと推測される。

本研究における「井桁動作」の三角筋放電量は「ヒンジ動作」と比較して有意な減少が認められ、内側広筋放電量は「ヒンジ動作」と比較して有意な増大が認められた。「井桁動作」における振り上げ動作は、錘を振上げると同時に膝関節を屈曲させて錘を挙上するために停止慣性や移動距離が小さくなるため三角筋活動量を軽減し、膝関節の屈曲が内側広筋活動量を増大させたものと考えられる。このことは、大きな筋（内側広筋）が小さな筋（三角筋）への負担を荷うことで重い物を軽く持ち上げることが可能となり、より効率的に動作を遂行することを可能にしたものと考えられる。

本研究における「井桁動作」の振り上げ動作開始時の加重の値は、「ヒンジ動作」に比較して有意な減少が認められた。これは、「ヒンジ動作」が錘を上肢のみで振り上げるために加重が増大し、「井桁動作」では下脚の屈曲動作を伴って錘を持ち上げるために加重が減少したものと考えられる。

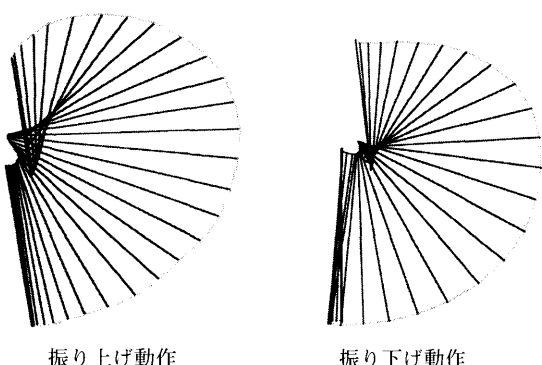
本研究における「井桁動作」の振り上げ動作中の加重の値は、「ヒンジ動作」に比較して有意な減少が認められた。この「井桁動作」における振り上げ動作中



振り上げ動作

振り下げ動作

図 11 「ヒンジ動作」におけるおもりと肩関節のスティックピクチャー



振り上げ動作

振り下げ動作

図 12 「井桁動作」におけるおもりと肩関節のスティックピクチャー

にみられる抜重は、宙に浮いているような現象であり、これは古武術における「浮身」の身体操法を示していると考えられる。

また、本研究では、「井桁動作」における抜重が単に膝関節の屈曲のみによる「膝抜き動作」との関係について検討した。その結果、「井桁動作」での振り上げ動作のほうが「膝抜き動作」よりも抜重現象が大きく、これらの結果は、上肢を振り上げる動作中に膝関節を屈曲することが膝関節屈曲のみの抜重現象に比較して大きいことから、井桁術理による動作が単なる膝関節の抜重のみより「浮身」の効果が大きいことを示唆している。

本研究における「井桁動作」の振り下げ開始時の加重の値は、「ヒンジ動作」に比較して有意な増大が認められた。これは、「井桁動作」の振り下げ動作における脚の伸展が地面反力の鉛直分力を増大させたものである。

本研究における「井桁動作」の振り下げ動作中の抜重の値は、「ヒンジ動作」に比較して有意な減少が認められた。このことから「井桁動作」の振り下げ開始とともに抜重現象が生じることを示した。これは、

「井桁動作」が振り下げ動作の間に起きる体重減少分が手に把持した錘のスイングの力へと利用されている可能性が考えられる。しかし、本研究における錘の振り下げ最大速度には両条件間に有意な差が認められなかった。これについては、錘が 1 kg と比較的軽量があり、武道やスポーツで用いられる竹刀やラケット・ボールに比較して重く、振り下げ動作中に錘を加速することができなかったことが考えられ、今後これらの用具を用いた検討が必要であろう。

本研究における「井桁動作」における動作時間は、「ヒンジ動作」と比較して 0.08 秒の有意な短縮が認められた。このことから、「井桁動作」は素早い振り上げ、振り下げ動作を可能にする有効な術理であることが明らかとなった。

本研究において統計的に有意であった分析項目について「ヒンジ動作」を基準とした「井桁動作」の相対値を低い順に列挙すると、振り上げ動作中の抜重と振り下げ動作中の抜重が -26%、三角筋放電量が -16%、動作時間が -11%、錘の振り上げ最大速度と錘の鉛直方向の最大値が -8%、振り上げ動作開始時の加重が -4%、肩関節の振り上げ最大角速度が 9%、振り下げ開始時の加重が 41%、内側広筋放電量が 108%、大転子の鉛直方向の移動距離が 900%であった。これらの結果から、古武術の身体操法である「井桁動作」は、揺動支点を用いることによって、肩関節角速度を増加し、動作時間を短縮させ、素早い動作を可能にしている。また、下肢関節の屈曲伸展は振り上げ振り下げ動作中の抜重現象を増大し、その協働作用は肩関節の負担を軽減させる動作であることが示唆された。

引用・参考文献

- 1) 決定版! ナンバ歩きで身体改造, 学習研究社, 2005.
- 2) 月刊バスケットボールスペシャルエディション, 古武術バスケットボール, 日本文化出版, 2004.
- 3) 甲野義紀「新・井桁術理, 武術で拓く身体思想 2」, 合気ニュース, 1996.
- 4) 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第 57 巻 (自然科学), pp 21-31, 2006.
- 5) 脇田裕久「古武術における位置エネルギーを利用した横移動動作の効果」, 三重大学教育学部研究紀要第 59 巻 (自然科学), pp 49-56, 2008.