

動作分析事業の分析例【野球・ソフトボール編】

1 センター内での投球（ピッチング）の動作分析

野球の投球動作は、投手の力量が勝負に大きく関わることや静から動へ全身を使って投げることで、球種の多さ、肩や肘への障害が多いという特殊性から、その動作を細かく知り、より良くしていくことが特に重要である。当センターではこれまで小学生から社会人・プロまで様々な年代の投手のピッチング動作を分析してきた。

センター施設内の部屋で、モーションキャプチャーシステム VICON（カメラ8台）、床反力計（フォースプレート）6枚、高速ビデオカメラ2台、スピードガン、筋電計等を使って測定する。測定した動作を踏み込んだ瞬間やボールリリースの瞬間などに分けて、肩や肘の角度や速度、肩や肘にかかる負担（力やモーメント）、骨盤や胸部の捻じる速さ、踏込みの力、ストライド等を分析する。また、高速ビデオカメラでとらえた映像を編集して DVD に収め、様々な方向から観察できるようにしている（図1）。2つの動作の比較映像や重ね合わせ映像も作成し、様々な球種を投げた時の動作の違いや過去の動作からの変化などを評価できるように比較・重ね合わせしている。

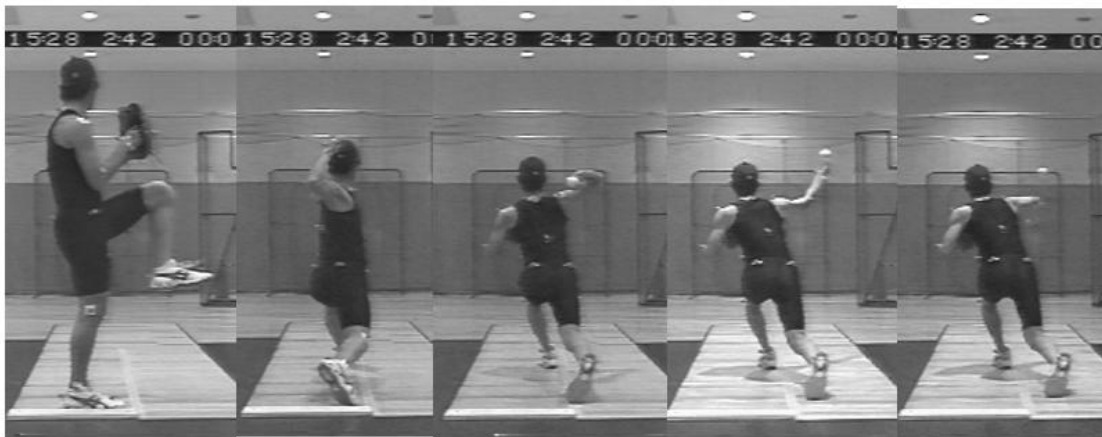


図1 後方から見たピッチング動作

平成15年から始めて平成20年までの6年間で延べ276名の野球投手のピッチング動作を分析した。表1に全投手の状況を年代別に分けて示す。

表1 全投手のプロフィール：平均±標準偏差（最高値）

	人数	身長[cm]	体重[kg]	球速[km/h]
マイナー（硬式10歳以下）	51	138.0±7.1(149.1)	33.7±6.1(48.6)	70.0±8.6(82)
リトル（硬式11-12歳）	80	149.2±8.1(178.8)	41.8±8.3(67.6)	84.5±7.3(105)
硬式シニア・軟式中学	52	168.1±7.6(186.4)	58.9±9.0(77.2)	104.3±10.0(128)
硬式高校	81	174.9±5.3(189.9)	70.7±7.6(100.2)	113.3±9.6(138)
大学・社会人・プロ	12	176.6±5.0(182.9)	77.7±6.9(89.9)	120.5±5.6(130)

測定から分析までを一定のレベルで行えるようになったのはつい最近のことであり、ようやく現場の様々な要望に対してできるだけ多くを実現させるために取り組める余裕が出てきた。環境面ではまだまだ不十分であるが、この分析によってパフォーマンスが向上する、あるいは肩・肘関節への障害が減ることで1人でも多くの選手が長く野球を続けられるように、これからも支援していきたい。

2 屋外での投球（ピッチング）と打撃（バッティング）の動作分析

屋外での動作分析では、主に高速ビデオカメラとスピードガンを用いる。高速動作であるピッチングとバッティングをスローモーション映像としてとらえ、脚や腕、バットの使い方を観察する。また、ピッチングでは打者の視点である正面と側面の2方向から同時に撮影する。さらに、回転チェック用のボールを用いてボールの回転と軌道も評価している（図1）。

撮影した映像はダートフィッシュソフトウェア（株式会社ダートフィッシュ・ジャパン）等のソフトウェアを用いて加工する。映像の重ね合わせ処理や残像処理を用いてストレートに対する変化球を投げた時の動作やボールの軌道の違いを明らかにしている（図2と3）。これら加工した映像を編集してDVDに記録し、選手や指導者に配布して指導の教材として用いる。

専門機器を用いて数値で客観的に評価することは重要ではあるが、眼には見えにくい高速動作をスローモーション映像にして比較・確認するだけでも選手本人や指導者にとって「気づく」重要な情報源となる。



図1 ブルペンでのピッチング動作撮影



図2 映像加工例：ソフトボールのストレートとライズにおける回転と軌道



図3 映像加工例：映像重ね合わせによるストレートと変化球における腕の位置

3 ジュニア期野球選手の投球動作分析

ジュニア期の投球障害の発生要因として投げすぎによるオーバーユース、不良な動作、コンディショニング不良などが考えられる。投球動作の3次元分析により、その特徴の把握と投球障害との関連を検討することを目的とする。また、身体的特徴を把握するために整形外科的メディカルチェックを予備的に施行し、投球動作との関連性を検討した。

対象は、リトルリーグ所属の男性野球選手24名(年齢: 10.8 ± 0.8 歳、野球歴: 3.3 ± 1.3 年)とした。身長は 146.6 ± 6.0 cm、体重は 40.0 ± 7.1 kgであった。肩・肘の疼痛の既往を調査し、疼痛経験の有無で24名を2群に分けた。測定時では肩・肘痛の訴えはなかった。整形外科的メディカルチェックの検査項目は、関節可動域(肩、股)、関節弛緩性(脊柱、肩、股等の7項目)、筋柔軟性(大腿四頭筋、ハムストリングス)とした。検者は特定の1名とした。被験者の全身には計32個のマーカを貼付した。周囲にモーションキャプチャーシステム VICON と高速度ビデオカメラ2台を配置させた空間内で硬式ボールを11m先の的にめがけて全力投球させ、投球動作と球速を測定した。投球動作は、その特徴によって図1に示す5つの局面に分けた。最大外旋位は、体幹に対して上腕が最後方に回転した瞬間とした(図2)。分析項目は、上肢では各局面における肩回旋角、肩外転角、肘屈曲角、胸部回旋角、骨盤回旋角を求めた。下肢では踏み込み脚の膝屈曲角、ストライドの身長比を求めた。

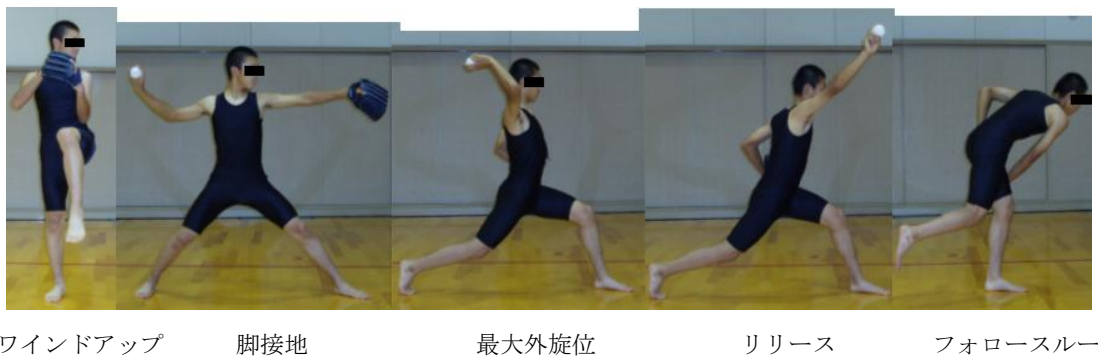


図1 投球動作の相分類 (Jobe, 1986)

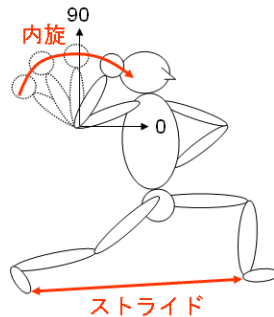


図2 肩回旋角とストライドの算出

球速は平均 79.8 ± 7.0 km/時であった。最大外旋位では、膝屈曲角が平均 20.8 ± 6.7 度、ストライドの身長比が平均 0.80 ± 0.06 であった。さらに、投球側肩関節の過大な外旋傾向 (164.0 ± 16.8 度) も見られた。疼痛の有無については、最大外旋位において疼痛経験群に骨盤より胸部の回旋が遅れる傾向が見られた。さらに、リリースにかけて疼痛経験群は内旋運動が大きく現れていた。関節可動域では左右差を認めなかったが、肩関節の投球側外旋角の拡大と内旋角の低下が非投球側に比べて有意に認められた。関節弛緩性では、投球側の肩関節に弛緩性を認めた。筋柔軟性では、全体的に低下の傾向が見られた。

投球側肩外旋角の拡大と内旋角の低下は、投球障害肩の誘因の一つとなりえる。また、全体的に下肢の筋柔軟性に低下の傾向が見られ、投球動作では浅い膝屈曲角と短いストライドが観察された。ジュニア期から体を大きく動かす動作を獲得させることを考慮すると、柔軟性向上等の指導を徹底させる必要があることが分かった。疼痛経験群では、骨盤と胸部の回旋に時間差が見られた。この結果から、疼痛経験群は下肢から体幹にかけての回旋運動で得られるエネルギーを効率的に腕に伝えられず、腕振りをするために必要なエネルギーを補うために肩の回旋運動に依存した投球動作を呈していたものと考えられる。

4 成長期野球選手の投球動作の1年間の変化

肩関節と肘関節の障害は少年選手に多発しており、その原因として未成熟な骨格や投球動作の不具合等がある。この障害の発生メカニズムの解明と予防を目的に、少年選手の投球動作の1年間の技術的变化を検討した。

対象は少年硬式野球チームに所属する男子選手 24 名とし、測定はシーズン直後に行い、初回と1年後の計2回行った。1年後の年齢は 11.4 ± 0.7 歳、競技歴は 3.2 ± 1.2 年であった。

表 1 対象のプロフィール：平均±標準偏差で示す。

測定時期	身長[cm]	体重[kg]	上肢長[cm]	下肢長[cm]
初回	142.6±5.4	36.1±5.6	72.7±3.2	49.1±2.5
1年後	148.7±6.4	40.7±6.9	76.7±4.0	51.0±2.9

※全ての項目で両者の間に有意差 ($p < 0.01$) があった

対象の肩や肘等の各関節に反射マーカを貼付させた。モーションキャプチャーシステム VICON と高速度ビデオカメラ 2 台、床反力計 6 枚を用いて、11m 先に設けたストライクゾーンに向けてストレート全力投球を測定した (図 1)。投球動作中の特徴的的局面を①脚接地、②投球側肩関節の最大外旋位、③ボールリリースの 3 つに分け、各局面の期間を Cocking 期 (①から②まで)、加速期 (②から③まで)、フォロースルー期 (③から投球終了まで) とした。分析項目は、各関節の角度と角速度、肘・手関節中心の移動距離、踏込み脚の床反力 (% 体重)、ストライド (ストライド長を身長で除して標準化[% 身長]) とした。

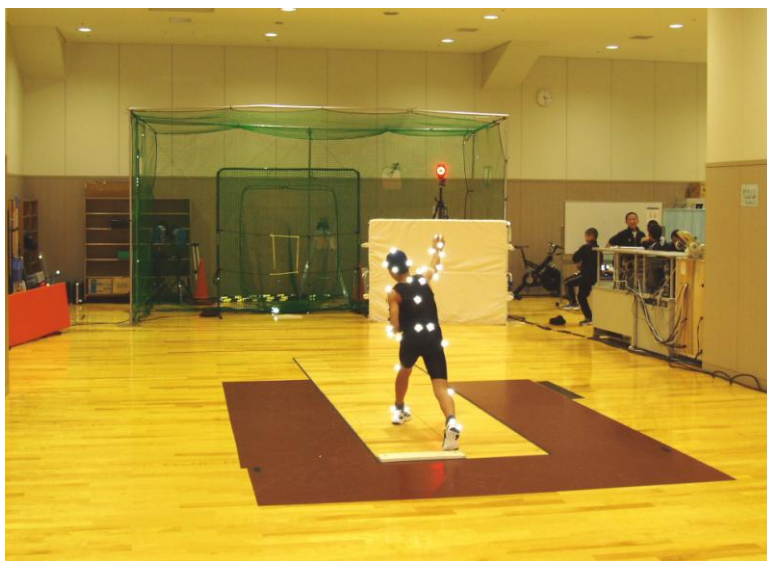


図 1 投球動作の測定風景

表 2 に投球動作の分析結果を示す。1 年後で球速が増加し、各関節の最高角速度と移動速度は骨盤を除いて増加し、腕の移動距離も増加していた。一方、下肢支持機能を表すストライドは身長比で見ると減少傾向があった。さらに、軸脚と踏込み脚の床反力も体重比では差を認めなかった。肩関節外転角ではボールリリース時で減少しており、いわゆる「肘落ち」が認められた。また、肘関節屈曲角では最大外旋位で減少しており、つまり肘が伸びた状態になっていた。

1 年間で著しい球速増加が見られ、各関節の角速度は骨盤以外で有意に増加しており、腕の移動距離も上肢長が成長に伴って増加していた。上半身機能の向上の一方で、下肢の支持機能を表すストライドや床反力の向上が認められず、加速期での肘落ちと肘の伸展増加から腕の使い方に差が見られた。従って、上肢の速度増加に反して下肢支持機能の成長の停滞と加速期における腕の使い方の変化から、より上肢に依存した動作になったと考えられる。このような状況下で練習を続けると、肩や肘への負担増が懸念され、オーバーユース等による障害発生が危惧される。急激な成長期の野球選手は、障害予防のために全身を使う投球技術の獲得が必要である。

表2 投球動作の分析結果：平均±標準偏差で示す。

分析項目	初 回	1 年後	
球 速[km/h]	75.4±5.6	83.9±6.9	**
ストライド[%身長]	83.5±6.4	82.3±6.7	
踏込み脚床反力 [%体重]	177.0±31.3	184.5±35.2	
肘関節中心の移動距離[cm]	24.9±5.7	31.1±6.8	**
手関節中心の移動距離[cm]	46.8±9.9	53.7±9.0	**
骨盤回旋速度[度/s]	656.6±91.4	647.6±82.0	
胸部回旋速度[度/s]	995.2±147.4	1075.8±196.9	*
肘関節中心移動速度[km/h]	35.3±2.7	38.8±3.6	**
手関節中心移動速度[km/h]	44.7±3.1	48.2±3.5	**
ボールリリース時の肘関節屈曲角[度]	94.2±10.2	88.9±10.8	**
最大外旋位時の肩関節外転角[度]	88.0±8.8	81.7±8.7	*

* : p<0.05、** : p<0.01

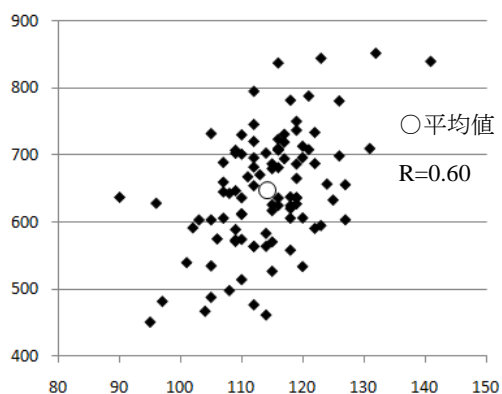
5 高校硬式野球投手における投球能力と筋力、パワーとの関係

高校硬式野球選手を対象にモーションキャプチャーシステムによる投球動作分析や筋力・パワー測定を実施し、ストレート全力投球時における動作の特徴と筋力、パワーとの関係性を検討した。

平成 20～22 年までの 3 年間で 97 名（平均 16.5±0.6 歳）の高校生硬式野球投手を測定した。選手の身長は平均 174.1±5.4cm（162.9–189.7cm）、体重は平均 68.0±7.1kg（54.1–100.2kg）、球速は平均 114.2±8.0km/h（90–141km/h）であった。検討に用いた投球動作データは、球速[km/h]と肘関節・手関節中心の最高移動速度[km/h]、骨盤・胸部回旋の最高角速度[度/s]、踏込み力体重比[%体重]とした。肘関節・手関節中心の最高移動速度とは、投球側の腕がどれくらい速く振れているかを表す。骨盤・胸部回旋の最高角速度とは、骨盤と胸部を投球中にどれだけ速く回すことができるかを表す。踏込み力体重比とは、踏み込んだ力[kg]を床反力計で計測し、その最高値を選手の体重[kg]で除した数値であり、100%体重で選手の体重と同じ大きさの負荷を体を受けていることを示す。筋力・パワーとして、背筋力と脚伸展パワーを測定した。背筋力は、背筋力計（竹井機器工業株式会社）で計測し、得られた等尺性背筋力[kg]を選手の体重[kg]で除した値を背筋力体重比[%体重]として評価した。脚伸展パワーは、Anaeropress3500（Combi 社）を用いて両脚での瞬間的な押し出しパワー[W]を測定し、それを選手の体重[kg]で除した数値（脚伸展パワー体重比[W/kg]）を評価した。投球で必要とされる筋力・パワーに対する投球動作データとの関係性を相関分析した。

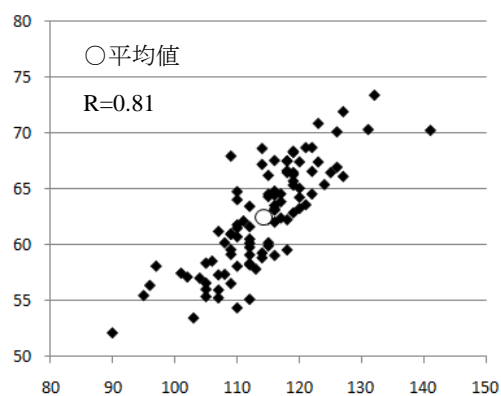
球速に対する投球腕の移動速度の相関係数 R は、肘関節中心の最高移動速度で 0.60、手関節中心の最高移動速度で 0.81 と高い正の相関があり、投球腕の移動速度が速いほど球速が速かった。球速に対する骨盤・胸部回旋の角速度の相関係数 R は、骨盤で 0.49、胸部で 0.38 であり、正の相関があった（図 1）。球速に対する背筋力体重比の相関係数 R は 0.40、踏込み力体重比に対する脚伸展パワー体重比の相関係数 R は 0.45 であり、正の相関があった（図 2）。

脚伸展パワー体重比は投球時に得られる踏込み力と関係し、踏込み力によって体が受けるエネルギーを骨盤、胸部の順に伝わらせて投球腕を振るエネルギーに転換する。これを運動連鎖と言うが、運動連鎖を高めるためには下半身だけでなく、投球腕を安定して振るための体幹の安定性が不可欠である。今回の結果では球速が高い選手は背筋力も高い傾向にあることから、背筋力は運動連鎖を高めるための体幹の安定性のひとつとして機能することが分かった。



(1) 横軸：球速[km/h]

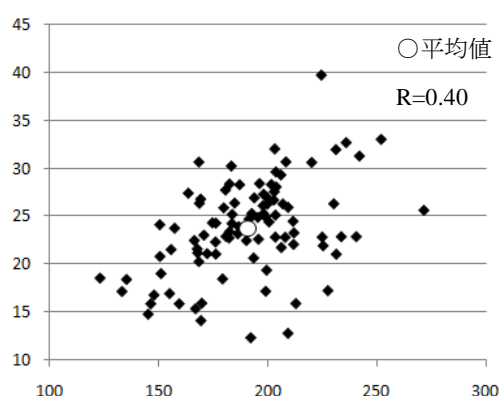
縦軸：骨盤回旋の最高角速度[度/s]



(2) 横軸：球速[km/h]

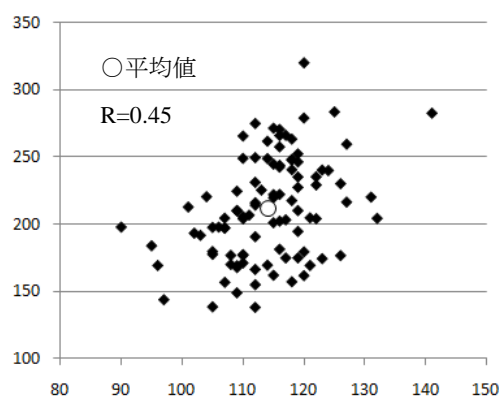
縦軸：手関節中心の最高移動速度[km/h]

図1 球速に対する(1)骨盤回旋の最高角速度と(2)手関節中心の最高移動速度



(1) 横軸：踏み込み力体重比[%体重]

縦軸：脚伸展パワー体重比[W/kg]



(2) 横軸：球速[km/h]

縦軸：背筋力体重比[%体重]

図2 (1)踏み込み力体重比に対する脚伸展パワー体重比と(2)球速に対する背筋力体重比

6 成長期野球選手における投球中の肩・肘関節への負担

モーション・キャプチャー・システム VICON を使って、成長期選手（小学生）74 名と高校生選手 91 名のストレート全力投球を撮影し、投球中に肩・肘関節にかかる力を求めた。

表 1 から高校生は小学生に比べて球速と肩・肘関節にかかる力が有意に大きいことから、球速が高い選手ほど肩・肘関節にかかる力も大きいことが分かった。これを、球速に関係しない値（球速で除算）で表すと、逆に小学生の方が肩・肘関節にかかる力が増加した。このことから、投球 1 回毎の肩・肘関節への負担は、実は小学生の方が大きいことが分かった。

高校生は骨が丈夫になり、筋力が増加する時期なので、小学生と比べれば関節への負担に耐えられる構造を持っているものと考えられる。一方、小学生は骨が未熟という観点から負担に弱く、さらに今回の検証から 1 球毎の関節にかかる力も大きいことから、コンディショニングの維持・向上だけでなく、投球数の管理が必要不可欠であることが分かった。

表 1 ストレート全力投球における肩・肘関節にかかる力

項目	小学生	高校生
球速[km/h]	78.1	115.3**
肘関節への力[%体重]	73.8	83.2**
肩関節への力[%体重]	84.2	100.3**

項目	小学生	高校生
肘関節への力/球速	0.95	0.72**
肩関節への力/球速	1.09	0.87**

** : p<0.01

6 野球シニアリーグ選手の打撃動作の特徴

これまでの野球打撃動作の指導は、経験から得た感覚的指導が主体であった。科学的根拠に裏づけされた打撃指導への一助を目的として、打撃動作の特徴を分析し、指導への課題を見出すことを目的とした。

対象は、新潟市内の硬式野球シニアリーグに所属する男子選手5名（以下、「シニアリーグ群」）と大学野球部のレギュラー選手3名（以下、「大学群」）とした。対象のプロフィールを表1に示す。

表1 対象のプロフィール：平均±標準偏差で示す。

対 象	年 齢[歳]	身 長[cm]	体 重[kg]	競技歴[年]
シニアリーグ群	14±0.0	166.8±2.1	57.5±4.1 (52.7-63.7)	5.8±1.5
大学群	21±1.0	176.7±3.5	70.3±6.6 (63.1-76.2)	10.3±1.2

対象の全身とバットに反射マーカを貼付した。測定機器はモーションキャプチャーシステム VICON と2台の高速度ビデオカメラ、2枚の床反力計を用いた。対象は床反力計の上でティーバッティングを行い、その動作を測定した。打撃動作中の特徴的局면을図1に示す4つに分け、バットのスイングの最高速度等を求めた。



図3 バッティング動作の特徴的局面

- ①テイクバック開始：ふみ込み脚を上げてバットを引く時点
- ②テイクバック最大：バットグリップを捕手側へ最大に引いた時点
- ③脚接地：地面にふみ込んだ時点
- ④インパクト：バットがボールに当たった時点

表2にスイングの最高速度と最高加速度を示す。分析結果から、シニアリーグ群でスイングが速く、加速度が大きい選手には次の特徴が認められた。

- (1) 局面③で脚接地とスイングスタートの出現時期に差がある＝「運動連鎖」。
- (2) 体重が重い＝踏込み力が大きい。
- (3) 局面②で軸足が捕手方向に強く踏込んでいる。
- (4) 局面②から④の際に体の投手方向への移動量と移動速度が大きい。

投手の手から放たれたボールが捕手まで届く時間は約0.5秒である。従って、局面②から④の間を0.5秒以下にし、ヘッドを如何に速く強く回すかが打撃動作を向上させる基本である。今回の結果は下半身に関する要素が多く占めており、スイング改善の指導のひとつとして運動連鎖を意識したスイングの練習と下半身の強化が重要であることが分かった。

表2 スイングの分析：平均±標準偏差で示す。

対象	体重[kg]	最高速度[m/s]	最高加速度[m/s ²]
シニアリーグ選手 A	58.6	30.5	260
シニアリーグ選手 B	55.3	32.2	296
シニアリーグ選手 C	52.7	27.8	250
シニアリーグ選手 D	63.7	31.5	336
シニアリーグ選手 E	57.1	29.2	254
大学群 3名	70.3±6.6	33.7±1.7	325.7±22.2

8 ソフトボール投手の投球動作の特徴

中学生と高校生のソフトボール男女投手 10 名を対象に投球動作を分析した。

対象の関節に反射マーカを貼付し、モーションキャプチャシステム VICON と床反力計、高速度ビデオカメラ、レーダースピードガンを用いてストレート全力投球中の動作を測定した。分析項目は、球速、蹴る力と踏込む力（図1）、ストライド、ジャンプ高、腕振りの速度、体幹と骨盤の回旋角速度等とした。

高校生は、球速の増加だけでなく幾つか球種を覚える時期であるため、ストレートと変化球の投球動作を比較した。中学生は、投球練習の経験が浅い女子選手であったため、現時点でのストレートの特徴を分析し、今後の指導につなげる情報を提供した。

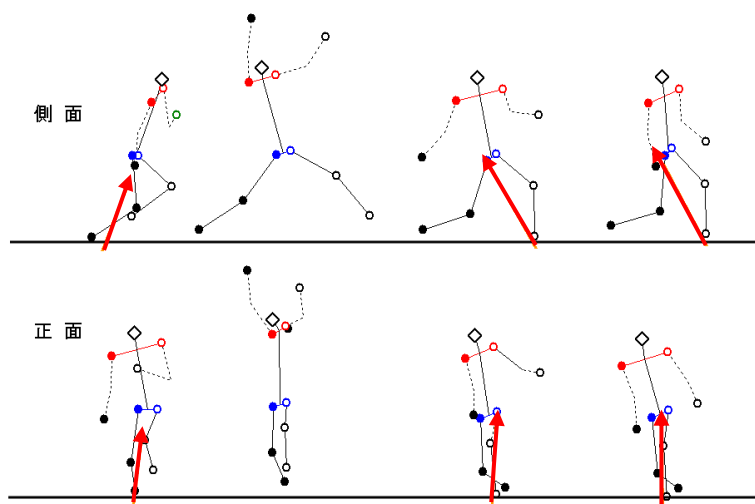


図2 ソフトボール女子選手のピッチングのスティックピクチャー（上図：側面、下図：正面）

矢印は地面を蹴る力と踏込む力の大きさと方向を表わす。