

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月20日現在

機関番号：31301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2013

課題番号：22500587

研究課題名（和文） 元気はつらつ投げ続けるための年少野球選手における投球動作の基礎的研究

研究課題名（英文） A BIOMECHANICAL STUDY OF THE DEVELOPMENTAL ASPECTS REGARDING THE DELIVERY MOTION AMONG VARIOUS LEVELS OF BASEBALL INFIELDER

研究代表者

宮西 智久 (MIYANISHI TOMOHISA)

仙台大学・大学院スポーツ科学研究科・教授

研究者番号：20285646

研究成果の概要（和文）：本研究では、野球を専門的に実施している各年代の内野手を対象として一塁への投球（送球）動作の発達学的な特徴をスポーツバイオメカニクス（スポーツ生体力学）の観点から解明することを目的とした。その結果、投射されたボールの力学変量（球速、投射高、投射角）が各年代間とりわけ小・中学生群におけるこれらの変量が高・大学生群と比較して顕著に異なること、これらの変量を生み出す各種動作変量に各年代群特有の違いがあることなどが明らかにされた。これらの結果は、各年代において投球パフォーマンスの向上と障害予防のために適切な送球動作の指導が必要であることを示唆している。

研究成果の概要（英文）：Kinematic and kinetic differences of the delivery motion among various level of the baseball infielders were compared. A total of 76 infielders from the elementary school (group E, n=22), junior high school (group J, n=18), high school (group H, n=20), and collegiate (group C, n=16) were participated in the present study. The delivery motions for each individual were analyzed by a three-dimensional DLT technique using two high-speed video cameras. Group E infielders had less upper trunk and pelvis backward tilt, greater upper trunk and pelvis forward tilt, greater shoulder external rotation and abduction, less shoulder horizontal abduction, and less joint kinetics productions. Group J infielders had greater upper trunk and pelvis leftward tilts, greater elbow extension, and less joint kinetics productions. Group H infielders had greater upper trunk and pelvis rightward tilts, shoulder horizontal adduction, elbow flexion, and pelvis backward orientation. Group C infielders stood more erect, and had less pelvis backward orientation, greater elbow flexion, greater ranges of motion for the shoulder external-internal rotation and elbow flexion-extension, and generated greater shoulder and elbow joint kinetics. These results suggest that a specific throwing technique used each level could be adopted to increase the efficiency of the delivery throw, which would allow a infielder to improve performance with decreased risk of overuse injury. These results provide a basis for understanding the possible improvement of throwing performance and prevention of overuse injury from one level to the next.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：スポーツバイオメカニクス

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：野球、内野手、送球動作、児童期・少年期・青年期・成人期、三次元動作分析

1. 研究開始当初の背景

(1) 年少者の投動作の解明と投能力改善研究の重要性・意義

わが国の人口形態は今世紀中頃（2050年）において釣り鐘型から逆三角形型へ移行し、少子超高齢化社会の到来が予測されている。一方で近年の子ども体力・運動能力は25年（1985年）前を境に低下の一途を辿り歯止めが掛からないといわれている。中・高齢者の健康を保持・増進する取り組みが必要であるのはいうまでもないが、それ以上に現在の子ども体力・運動能力の水準を向上させることが子どもから高齢者まで健康で生き甲斐のある健全な社会を実現するために、体育・スポーツ科学領域において取り組むべき喫緊の研究課題であると考えられる。

本研究は子どもの運動能力向上、特に投能力向上の側面から生涯にわたって元気はつらつ投げ続けるための科学的エビデンスを提供しようとするものである。子どものうちから投動作をはじめとする基本動作を「上手にうまくできる」能力を身に付けさせておくことは将来にわたって運動継続できる身体を保障するはずである。したがって、「上手にうまく球を投げる」ことができた体験をもった子どもを年少期の頃から数多く作り出すことができれば、来るべき少子超高齢化社会において顕在化するであろう、様々な問題に対処できる技術と体力を兼ね備えた人間をつくり出すことができると予想される。運動能力は一般に発育発達とともに向上し加齢とともに低下するが（図1）、運動を継続すれば、右肩上がりの増大（運動能力向上≒健康増進）も夢ではなく、結果として国民ひとり一人が元気はつらつな生活を営み、ひいては活力ある健全な社会（“活力立国”）を実現することが期待されるだろう。

(2) 年少者の投動作の解明と投能力改善研究の動向と位置づけ

われわれはこれまで主に大学生期の野球選手を対象に三次元投球動作解析（ピッチング、遠投など）を実施し論文として公表してきた（宮西ほか 1995, 1996, 1997, 1999, 2007）。しかしながら、われわれの研究をはじめこれまで行われた多くの三次元投球動作研究は主に大学生やプロ投手を対象にしたものであり、年少者を対象としたものではない。したがって、年少者を対象としてその投球動作を解明しようとする本研究の着眼点は科学的にみて大変価値のあるものであろう。加えてそこから得られた知見に基づいて非鍛錬者を対象に投能力向上を目指す技術トレー

ニング研究は極めて独創的な研究であるといえよう。

体育・スポーツ・健康教育の現場では投能力向上のために必要な技術指導や体力トレーニングを実施するにあたって指導者自身の“経験”や“勘”に頼って行われることが多い。こうした“経験”や“勘”に頼った技術や体力トレーニング指導は科学的研究成果を還元する方法論そのものに問題もあるが、それ以上に各年齢期の野球の投球動作特性が科学的に不明な点が多く、現場に有効な知見として提示できていないことによるものと思われる。教育現場としては「どの年代の子どもに、どのような投動作で、どのようなトレーニング方法」を実地指導すれば投能力の向上にとって効果的かがひと目でわかるようなガイドラインが切望されていると思われる。本研究はこうしたガイドラインを作成するための科学的エビデンスを提供しようとするものである。

(3) 本研究の経緯

スポーツのパフォーマンスの向上を目指すには「トレーニングの原理・原則」に基づき技術トレーニングや体力トレーニングを実施する必要がある。とりわけ「特異性の原理」はトレーニングの要となる原理であるといえ、各種運動で特化して用いられる動作特性（主動筋、筋収縮様式、関節運動様式など）に適った技術トレーニングなり、体力トレーニングなりを発達段階に応じて実施しなければパフォーマンスを効果的に向上させることができないばかりか、逆に身体能力の低下や障害を招く。しかしながら、野球の投球動作特性については近年三次元画像解析法を用いて解明されその知見が蓄積されつつあるとはいえ、まだほんのわずかし（主に成人男性鍛錬者）明らかになっていないのが現状であろう。本研究は年少者の野球の投球動作特性について三次元画像解析法を用いて各種バイオメカニクス変量を求めることができるため、年少者が実際の投球動作中に「どの筋群を、どのような収縮様式で、どのような関節動作様式」を使って投球しているのかを明らかにすることができる。これらのエビデンスは年少者の野球の投球技術トレーニングや体力トレーニング理論（投能力向上プログラム）を構築するうえで基盤となる情報源である。

2. 研究の目的

本研究では、児童期（小学生）・少年期（中学生）・青年期（高校生）・成人期（大学生）

における野球内野手の投球（送球）動作をスポーツバイオメカニクスの観点から比較・検討することによって各年代の発達学的な動作特徴を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

硬式野球競技を専門にしている各年代の右投げ内野手計 76 名（小学生 E 群：22 名、中学生 J 群：18 名、高校生 H 群：20 名、大学生 C 群：16 名）を本研究の被験者として用いた。被験者の身体的特徴すなわち年齢、身長、体重は E 群がそれぞれ 10.6 ± 0.9 歳（範囲：9-12 歳）、 1.38 ± 0.06 m、 31.9 ± 4.7 kg、J 群が 13.2 ± 0.7 歳（12-14 歳）、 1.61 ± 0.06 m、 52.7 ± 8.4 kg、H 群が 15.8 ± 0.8 歳（15-17 歳）、 1.72 ± 0.06 m、 65.4 ± 7.4 kg、C 群が 19.8 ± 0.8 歳（18-21 歳）、 1.72 ± 0.04 m、 68.8 ± 5.7 kg であった。なお、大学倫理審査会規程に基づき、被験者には事前に実験参加協力への同意を文書にて得た。また、未成年者においては保護者の承諾も得た。

(2) 実験

① 試技と三次元撮影

遊撃手定位置左前方へゴロを転がした球を被験者に捕球させた後、一塁ベース上へ設置した的（幅 1.4 m×高 1.7 m）に向かって全力で投球するように指示した。なお、捕球位置からのまでの投距離は、E 群は 21 m に、他の群は 35 m に設定した。被験者に実験試技を数回行わせ、全ての投球動作を GenLock 機能を持つ 2 台のハイスピードビデオカメラ（HSV-500C³、NAC 社）を用いて毎秒 250 コマで二方向から撮影し VTR に収録した。

② 三次元座標の算出とデータ平滑化

被験者によって投げ出されたボールが的に命中し、かつ被験者の内省の最も良い 1 試技を選定し、以下のデータ解析を行った。まず二方向から得られた画像の身体各部位計測点 26 点（宮西ほか 2007）の二次元位置座標データを、ビデオ動作解析システム（Frame-Dias II, DKH 社）を用いてコンピュータのマウスにより手動でデジタル化し記録媒体に保存した。次に DLT 法（Direct Linear Transformation method）（Abdel-Aziz and Karara, 1971; Walton, 1981）により身体計測点の三次元座標値を算出した。そして、求められた座標成分毎にデータチェックを行った後、各成分毎に残差分析法（Wells and Winter, 1980; Winter, 2005）により最適遮断周波数（範囲：4-24 Hz）を決定し、5 次スプライン関数を用いてデータの平滑化ならびに微分処理を施した（Woltring, 1986）。得られた平滑化データを用いて、各種キネマティクスおよびキネティクス変量を算出した。なお、身体の角運動量、投球腕各関節の関節力及び関節トルクなどのキネティクス

量の算出において身体各部分を摩擦のないピンジョイントで連結された剛体リンクモデルと仮定した。身体部分慣性特性係数（BSP）は de Leva（1996）による報告値を使い、被験者の身長と体重から被験者毎に推定した。

③ データの規格化・平均化

各群間の動作的特徴を抽出し比較を行うために、関節角度、角運動量、関節力及びトルクなどの時系列データについて、右足の着地時（PFC：0%）からボールの投げ出し（リリース）時（REL：100%）までの時間を 3 次スプライン関数により 100%（%THROW）に補間し、1%毎のデータについて各群の平均値を求めた。

④ 統計処理

各群における全算出項目について一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合、さらに Bonferroni 法を用いて多重比較を行った。有意水準は 5%未満（ $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ ）に設定した。ただし、時系列データの規格化された平均値の差の検定においては、有意水準は 5%（ $p < 0.05$ ）に設定した。

(3) 動作局面の定義

結果の解釈を容易にするために、本研究では、以下の動作局面を定義した：(a) アプローチ期（動作開始から捕球まで）、(b) 捕球期（捕球 CAT から両足離地まで）、(c) ステップ期（“crow hop”）（両足離地から右足着地 PFC まで）、(d) ストライド期（右足着地から左足着地 SFC まで）、(e) アームコッキング期（左足着地から肩最大外旋 MER まで）、(f) アーム加速期（肩最大外旋からボールリリース REL まで）、(g) フォロースルー期（ボールリリースから動作終了まで）。なお、本研究では主にストライド期からアーム加速期における動作についてデータを分析し考察の対象範囲とした。

4. 研究成果

(1) 被験者の身体的特徴

身長および体重は H 群と C 群間を除き、すべての群間において統計的有意差が認められ、年代が上がるとともに増加した。

(2) リリースパラメータ（投射速度、投射高、投射角）

① 投射速度

ボールを投げ出す瞬間のパラメータ（リリースパラメータ）すなわち投射速度は E 群が 21.4 ± 1.3 m/s、J 群が 28.3 ± 1.7 m/s、H 群が 31.8 ± 0.9 m/s、C 群が 33.2 ± 1.5 m/s であり、年代が上がるとともに有意に大きくなった。

② 投射高

投射高（身長比）は E 群が $84 \pm 7\%$ 、J 群が $90 \pm 5\%$ 、H 群が $83 \pm 7\%$ 、C 群が $84 \pm 4\%$ であり、J 群と他の群間にのみ有意な差が認められた。

J 群の投射高は他の群よりも有意に大きかった。

③投射角

投射角は E 群が $11 \pm 2^\circ$ 、J 群が $10 \pm 3^\circ$ 、H 群が $8 \pm 1^\circ$ 、C 群が $7 \pm 1^\circ$ であり、E 群と H 群及び C 群、J 群と H 群及び C 群間に有意な差が認められ、J 群の投射角は H 群及び C 群よりも有意に大きかった。

(3)キネマティクス変量

①動作の定性的特徴

定性的な観察から (図 2)、特に J 群のストライド期以降の投球フォームが他の群と比べて顕著に異なった。投距離が短い E 群のフォームは H 及び C 群と類似していた。

②ボール速度、身体重心高の時系列変化

ボール速度 (図 3) において、J・H・C 群はアームコッキング期中盤においていったん速度が減少した後に REL 時まで急激に増加したが、E 群はアームコッキング期にボール速度が減少するという現象は認められなかった。ボール速度が最も減少する時期 (約 78% に出現) 以降からリリースまで各群のボール速度の差が有意に大きくなった。身体重心高 (身長比) は分析局面中 40% から 50% の範囲にあり、年代が上がるに従い低くなった。

③動作局面時間

各局面時間は、ステップ期 (E 群 0.460 ± 0.077 s、J 群 0.417 ± 0.074 s、H 群 0.433 ± 0.102 s、C 群 0.425 ± 0.061 s)、ストライド期 (E 群 0.233 ± 0.038 s、J 群 0.214 ± 0.038 s、H 群 0.205 ± 0.048 s、C 群 0.176 ± 0.034 s)、アームコッキング期 (E 群 0.119 ± 0.021 s、J 群 0.128 ± 0.023 s、H 群 0.136 ± 0.022 s、C 群 0.140 ± 0.017 s)、アーム加速期 (E 群 0.045 ± 0.007 s、J 群 0.040 ± 0.005 s、H 群 0.038 ± 0.005 s、C 群 0.037 ± 0.005 s) であった。E 群及び J 群と C 群のストライド期、E 群と C 群のアームコッキング期、E 群と H 群及び C 群のアーム加速期の各時間に統計的な有意差が認められた。ストライド期からアーム加速期までの時間 (PFC-REL 時間) は、年代が上がるるとともに短くなるが、E 群と C 群のみに有意な差が認められた。

④体幹及び投球腕関節角度の時系列変化

上胴および骨盤の前後傾角、左右傾角、前後方回転角において、上胴の前後方回転角はいずれの群間にも差がなかった。その他の角度においては、J 群の上胴および骨盤の左傾角が大きく、特に E 群の角度が小さかった。

投球腕の肩内外転・水平内外転・内外旋、肘屈伸角 (図 4) において、E 群の水平内外転角、肩内外旋角、J 群の肘屈伸角は顕著に H 群と C 群と異なっていた。すなわち、E 群は左足の着地時 (SFC) 前後において肩水平外転角が他の群に比べ有意に小さくほぼ中間位 (0°) にあった。また E 群は PFC から最大外旋時まで肩外旋角が有意に大きかつ

た。いっぽう、J 群は PFC から肘の伸展が開始される約 80% 付近まで大きな伸展位を維持していた。

(4)キネティクス変量

①ボールへの平均力及びパワー、最大発揮力及びパワー

J 群と H 群間のボール最大発揮力を除いて、いずれの変量 (PFC から REL までの平均値および最大値) においても、各群間に有意差が認められ、年代が上がるるとともに増加した。

②ボール発揮力の時系列変化

ボール発揮力の時系列変化パターン (図 5) は、SFC 前後において各群間に有意差が認められ、年代が上がるにつれてその差が大きくなった。

③角運動量 (システム・身体) の時系列変化

群間の比較を行うために、各被験者の身長と体重で標準化された角運動量 (単位 $s^{-1} \cdot 10^3$) の時系列変化パターン (図 6) において、E 群は SFC 前後の X 軸 (投射方向に対して左右方向) まわりの角運動量の発生が小さかった。J 群は X 及び Y 軸 (投射方向) まわりの角運動量が大きく、Z 軸 (鉛直方向) まわりの角運動量が小さかった。H 群は X 軸まわりの角運動量が顕著に小さかった。C 群は Z 軸まわりの角運動量が大きかった。

④関節力及び関節トルク (投球腕肩・肘・手関節) の時系列変化

群間の比較を行うために、各被験者の体重で標準化された関節力 (単位 $m \cdot s^{-2} \cdot 10$) の時系列変化パターン (図 7) において、いずれの群も肩最大外旋時以降の各関節の近位力が急増し、年代が上がるるとともにその差が大きくなった。ただし、J 群と H 群間の近位力に統計的な差がなかった。肘関節の内側力はいずれの群もほぼ肩最大外旋時に最大値を示し、年代が上がるるとともに増大した。E 群と H 及び C 群間、J 群と H 及び C 群間の肘内側力に有意な差が認められた。

各被験者の身長と体重で標準化された標準化された関節トルク (単位 $s^{-2} \cdot 10^2$) の時系列変化パターン (図 8) において、肩外転トルクの最大値は H 及び C 群がほぼ肩最大外旋時に生じるのに対して、E 及び J 群は肩最大外旋時よりも前に生じた。また、E 群の外転トルクはアームコッキング期中盤において、また手掌屈トルクはアームコッキング期後半において有意に大きかった。E 群の肩水平内転トルクの最大値はアームコッキング期中盤に生じ、しかも H 及び C 群より有意に大きかった。他の群はアームコッキング期後半に生じた。また、C 群の肩水平内転トルクはアーム加速期に減少率が小さく、他の群よりも有意に大きかった。

(5)まとめ

本研究において明らかとなった主な知見は、以下のとおりである。

①高校・大学生群と同一投距離（35m）を投げる中学生群は高校・大学生群よりも球速が小さい分、投射高と投射角の両方を大きく調節して投球した。他の群よりも投距離（21m）が短い小学生群は球速が最も小さく、投射高が高校・大学生群と、投射角が中学生群と同様であった。投距離が短かつ球速が小さいと、投射角のみを大きく調節して投球した。このように、各年代間におけるリリースパラメータの相違は投条件（投距離、的寸法）と各年代群の球速、投射高、投射角に相互に密接に関連していることが明らかとなった。

②体幹（上胴・骨盤）・投球腕のキネマティクス変量（角度）において、いずれの群もほぼ同様なパターンを呈するが、特に小・中学生群と高・大学生群の間に顕著な違いが認められた。すなわち、小学生群は肩外旋動作が顕著に大きかった。また、中学生群は肘を大きく伸展させた状態から体幹部を非投球腕側へ倒す動作つまり“遠投”（宮西ほか 1995）に近い動作を呈した。キネマティクス変量（角運動量、関節力・トルク他）において、各年代間に散発的な差が認められた。中学生群は他の群に比べてZ軸まわりの角運動量が最も小さく、X・Y軸まわりの角運動量を大きくして投球した。小・高校生群は他の2群に比べてX軸まわりの角運動量が特に小さかった。大学生群はZ軸まわりの角運動量が特に大きかった。投球腕各関節力及び関節トルクにおいて、各群間の肩最大外旋時以降の求心性の近位力に顕著な差が認められ、年代が上がるにつれてその差が大きくなった。小・中学生群と高・大学生群間の肩最大外旋時の肘内側力に顕著な差が認められた。各群間のアームコッキング期の肩外転トルクおよび手掌屈トルク、大学生群と他の群においてアーム加速期の肩水平内転トルクに顕著な差が認められた。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計2件）

- 1) 宮西智久、オーバーハンド投げのバイオメカニクス—“ムチ投げ”の野球の投球動作研究—、*体育の科学*、査読無し、62巻:361-367、2012. [ISSN 0039-8985]
- 2) Miyanishi, T., and Sakurai, N., Linear and angular contributions to ball velocity in the delivery motion among various levels of baseball infielder, *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 査読有り, 11(Suppl. 2):335-338, 2011. [ISSN 1645-0523(paper), ISSN 2182-0317(digital)]

〔学会発表〕（計4件）

- 1) 櫻井直樹、宮西智久、野球の内野手のクイックスローに関するキネティクス研究—中学・高校・大学生男子選手の比較—、*日本体育学会第61回大会（予稿集:pp.152）*、2010年9月9日、中京大学（愛知県）。
- 2) Miyanishi, T., and Sakurai, N., Linear and angular contributions to ball velocity in the delivery motion among various levels of baseball infielder, *Programme and Abstracts Book of the 29th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports* (pp.128-129), 2011年6月28日, University of Porto(Portugal).
- 3) Miyanishi, T., and Sakurai, N., Kinematic and kinetic comparison of delivery motion among various levels of baseball infielder, *Proceedings of the XXIII Congress of the International Society of Biomechanics*(P15#913), 2011年7月4日, Vrije Universiteit Brussel (Belgium).
- 4) 宮西智久、野球内野手の送球動作の発達バイオメカニクス研究、*日本体力医学会第67回大会（予稿集:pp.271）*、2012年9月16日、長良川国際会議場（岐阜県）。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮西 智久 (MIYANISHI TOMOHISA)
仙台大学・大学院スポーツ科学研究科・教授
研究者番号：20285646

(2) 研究分担者

図子 浩二 (ZUSHI KOJI)
筑波大学・大学院人間総合科学研究科・准教授
研究者番号：70284924
岡田 英孝 (OKADA HIDETAKA)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授
研究者番号：20303018

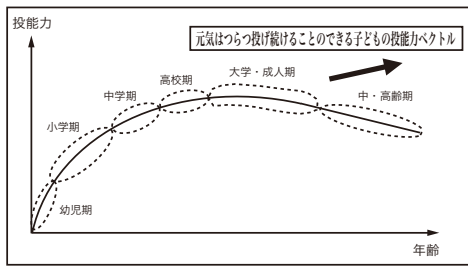


図1 投能力の加齢曲線

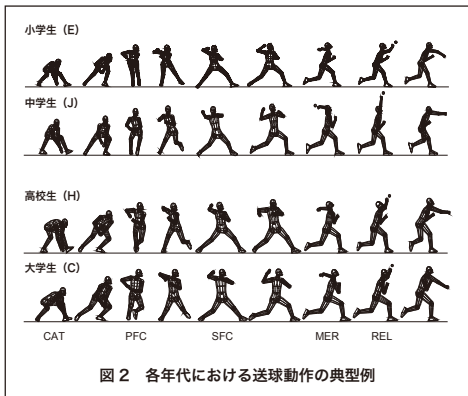


図2 各年代における送球動作の典型例

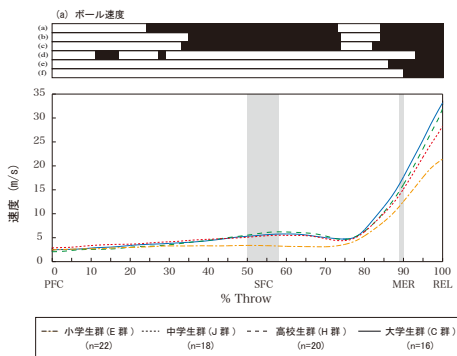


図3 ボール速度の変化パターン

各国の上段の黒掛け部分は各群間 (下記) において統計的有意差が認められたことを示す ($p < 0.05$).

(a) 小学生 (E群) と中学生 (J群), (b) E群と高校生 (H群), (c) E群と大学生 (C群), (d) J群とH群, (e) J群とC群, (f) H群とC群

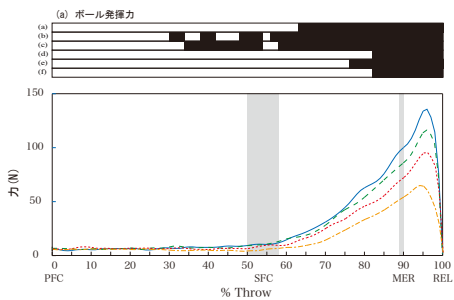


図5 ボール発揮力の変化パターン

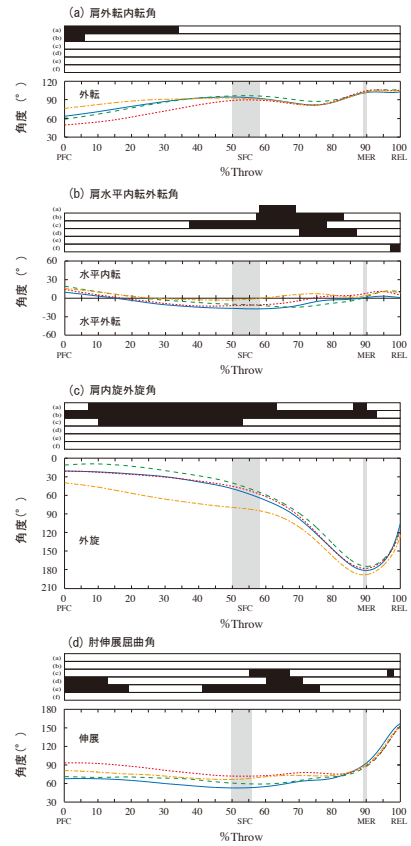


図4 肩および肘関節における平均角度の変化パターン

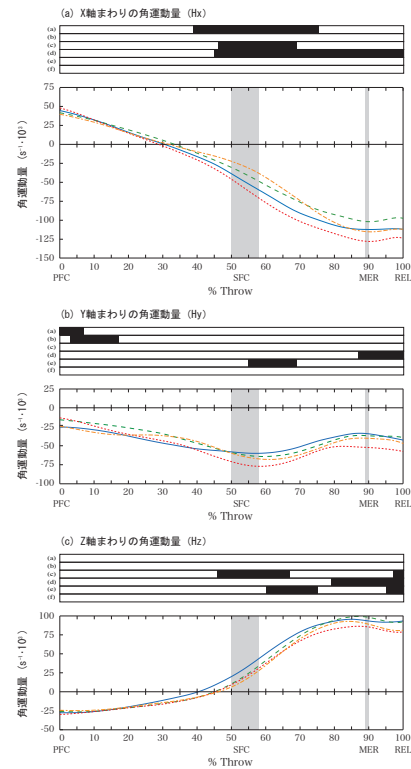


図6 システム (ボール含む) の角運動量の変化パターン

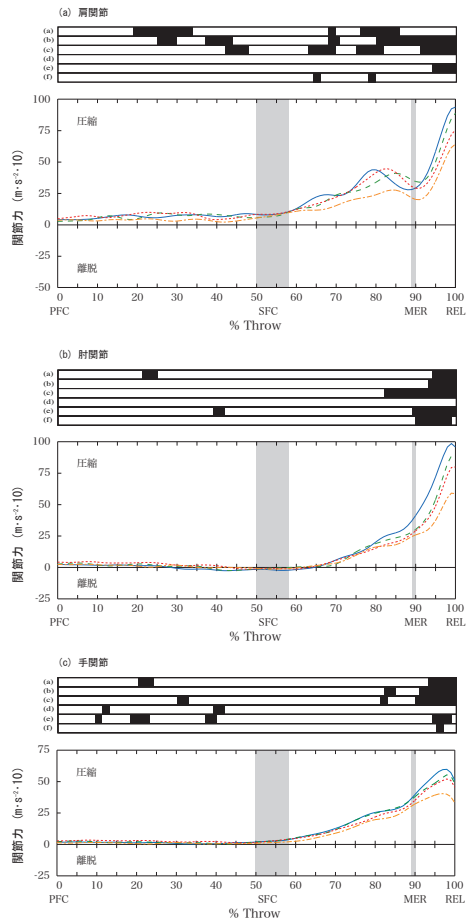


図7 投球腕各関節の関節力(長軸)の変化パターン

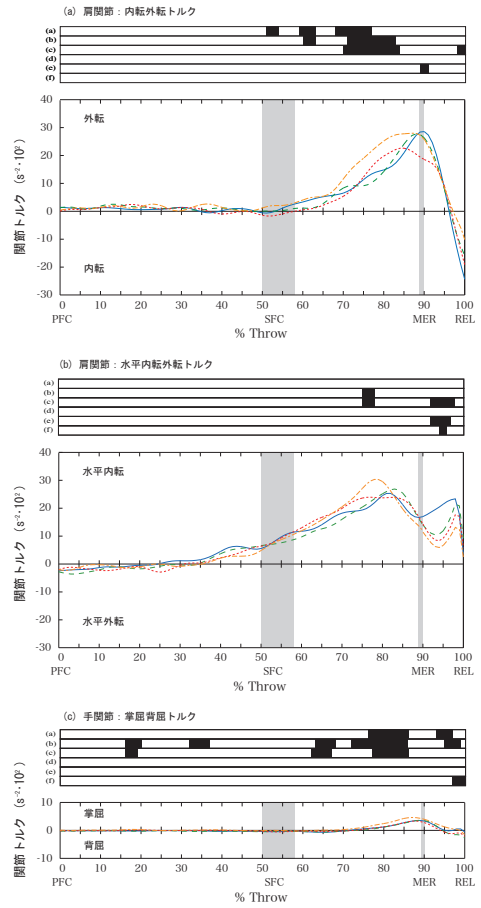


図8 投球腕各関節の関節トルクの変化パターン