

博士論文

野球における速度の異なるボールに対する
打撃動作のバイオメカニクス的研究

平成 21 年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻

高木 斗希夫

目 次

博士論文に関する業績一覧	…	vii
表のタイトル一覧	…	ix
図のタイトル一覧	…	x
第1章 緒言	…	1
1.1 野球競技と野球における打撃	…	1
1.2 問題の所在	…	2
1.3 本研究の目的	…	4
1.4 研究課題	…	4
1.5 研究上の仮定	…	5
1.6 本研究の限界	…	5
第2章 文献研究	…	7
2.1 バット速度を大きくするための技術要因に関する研究	…	7
2.2 バットをボールに正確に当てるための動作要因および視覚的要因に関する研究	…	9
究	…	9
2.3 打撃の打ち分けや打撃ポイントの違いに関する研究	…	13
2.4 打撃の意思決定に関する研究	…	15
第3章 方法	…	17
3.1 被験者	…	17

3.2	データ収集	…	17
3.3	実験試技	…	19
3.4	データ処理	…	22
3.4.1	分析試技の選定	…	22
3.4.2	分析範囲	…	22
3.4.3	座標データの平滑化	…	22
3.4.4	関節中心座標の算出	…	24
3.5	キネマティクスのパラメータの算出項目および算出方法	…	24
3.5.1	打球速度およびバット速度	…	24
3.5.2	インパクト角	…	24
3.5.3	身体重心位置および身体重心速度	…	25
3.5.4	バットおよび体幹部の角度と角速度	…	25
3.5.5	関節角度	…	25
3.5.6	動作時点	…	36
3.6	キネティクスのパラメータの算出項目および算出方法	…	36
3.6.1	セグメント座標系の定義	…	37
3.6.2	下肢・体幹部の関節力および関節トルクの算出	…	37
3.6.3	関節力および股関節トルクの下胴回転成分	…	39
3.7	データの規格化	…	39

第4章	野球における速度の異なるボールに対する打撃動作のキネマティクスの研究	…	40
4.1	目的	…	40

4.2	方法	…	41
4.2.1	データ収集とデータ処理	…	41
4.2.2	算出項目および算出方法	…	41
4.2.3	統計処理	…	43
4.3	結果	…	43
4.3.1	打球速度	…	43
4.3.2	インパクト角と反発係数	…	43
4.3.3	バット速度およびバット速度の並進成分と回転成分	…	44
4.3.4	打球速度とインパクト角および打球速度とバット速度との関係	…	44
4.3.5	動作時間	…	44
4.3.6	身体重心の移動	…	51
4.3.7	バット移動距離およびバットと身体の回転運動	…	57
4.3.8	関節角度	…	65
4.4	考察	…	67
4.4.1	速度の異なるボールに対する打撃の評価	…	67
4.4.2	速度の異なるボールに対する打者の対応動作について	…	81
4.5	要約	…	85

第5章	野球打撃における速度の異なるボールに対するキネティクスの研究	…	87
-----	--------------------------------	---	----

5.1	目的	…	87
-----	----	---	----

5.2	方法	…	88
5.2.1	データ収集とデータ処理	…	88
5.2.2	算出項目および算出方法	…	88
5.2.3	統計処理	…	88
5.3	結果	…	88
5.3.1	速度の異なるボールに対する動作時点間時間の比較	…	88
5.3.2	地面反力および股関節力と股関節力によるモーメントの下胴回転成分	…	90
5.3.3	下肢関節トルクと上下胴トルク	…	94
5.4	考察	…	102
5.4.1	速度の異なるボールに対する並進運動制御	…	102
5.4.2	速度の異なるボールに対する体幹部の回転運動制御	…	105
5.5	要約	…	108
第6章	無作為にボール速度を変化させた条件における野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究	…	110
6.1	目的	…	110
6.2	方法	…	111
6.2.1	データ収集とデータ処理	…	111
6.2.2	算出項目および算出方法	…	111
6.2.3	データの規格化	…	111
6.2.4	統計処理	…	111
6.3	結果	…	112

6.3.1	動作時間	…	112
6.3.2	パフォーマンスの基礎的評価指標	…	112
6.3.3	身体の並進運動	…	115
6.3.4	身体の回転運動	…	118
6.4	考察	…	123
6.4.1	無作為にボール速度を変化させた条件における動作のタイミング調節	…	123
6.4.2	球速提示ありと球速提示なしにおけるパフォーマンスの評価	…	123
6.4.3	身体の並進運動の特徴	…	125
6.4.4	身体の回転運動の特徴	…	126
6.5	要約	…	127
第7章	指導への示唆	…	129
7.1	速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な指導	…	129
7.2	速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするためのトレーニング	…	133
第8章	結論	…	136
8.1	速球に対して打球速度を大きくするために有効な動作	…	136
8.2	指導への示唆	…	137
8.3	今後の課題	…	138

謝辭	… 139
文献	… 140

博士論文に係る業績一覧

I. 論文

- 1) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 異なる投球速度に対する野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. バイオメカニズム学会誌 32 (3), 152-160, 2008
(査読あり)
- 2) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 無作為投球速度変化状況での野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. バイオメカニズム学会誌 34 (1), 53-62, 2010 (査読あり)

II. 学会発表

- 1) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 異なる投球速度に対する野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. 第20回バイオメカニズム・シンポジウム, 茨城, 2007年8月7-9日
- 2) Takagi T, Fujii N, Koike S, Ae M: Upper limb kinematics of baseball batting to different ball speeds. International Society of Biomechanics in Sports Conference 2008, Seoul, Korea, July 14-18, 2008
- 3) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 野球の打撃における異なる速度のボールに対する下肢および体幹部のキネティクスの分析, 第20回日本バイオメカニクス学会大会 (仙台大学), 2008年8月26-28日

- 4) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 野球の打撃における異なる速度のボールに対する上肢キネマティクス. 日本体育学会第 59 回大会 (早稲田大学), 2008 年 9 月 9-12 日

- 5) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 無作為投球速度変化状況での野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. 第 21 回バイオメカニズム・シンポジウム, 箱根, 2009 年 8 月 4-6 日

- 6) Takagi T, Fujii N, Koike S, Ae M: Effect of kinetic mechanisms of lower limbs on torso motion in baseball batting for different ball speeds. International Society of Biomechanics in Sports Conference 2009, Limerick, Ireland, August 17-21, 2009

表のタイトル一覧

Table 4-1	Relationships of Y axis component of hit ball velocity to bat head velocity, and impact angle	… 49
Table 4-2	Time from CGmin to ball release and movement times from motion events to IM	… 50
Table 4-3	Maximum angular velocities of torso segments in XY plane	… 61
Table 5-1	Movement time relating to stride foot contact (FC) and maximum velocity of the center of gravity (CGv)	… 89
Table 5-2	The impulse and average force of hip joint force (Y axis component) of pivot foot side	… 95
Table 5-3	Average hip joint torque	… 100
Table 5-4	Average torque for lower torso rotation generated at the hip joint	… 101
Table 6-1	Movement time	… 113

図のタイトル一覧

Figure 3-1	Experimental set-up	…	18
Figure 3-2	Locations of reflex markers	…	20
Figure 3-3	Analysis phase and events of hitting motion	…	23
Figure 3-4	Definitions of bat and torso angles	…	26
Figure 3-5	Upper torso and shoulder coordinate systems	…	30
Figure 3-6	Hip coordinate systems	…	31
Figure 3-7	Definition of shoulder joint angles	…	32
Figure 3-8	Definitions of elbow joint angle and bat-forearm angle	…	33
Figure 3-9	Definition of hip joint angles	…	34
Figure 3-10	Definitions of knee and ankle joint angles	…	35
Figure 4-1	Hit ball velocity (Y axis component)	…	45
Figure 4-2	Impact angle	…	46
Figure 4-3	Relationship between impact angle and coefficient of restitution (n=30)	…	47
Figure 4-4	Bat velocity at IM	…	48
Figure 4-5	Displacement of the center of gravity from GRFmax to CGmin	…	52
Figure 4-6	Displacement of the center of gravity from CGmin to IM	…	53
Figure 4-7	Velocity of the center of gravity	…	54
Figure 4-8	Maximum velocity of the center of gravity	…	55

Figure 4-9	Displacement from the toe of pivot foot at CGmin to center of the hand at IM in Y axis	... 56
Figure 4-10	Trajectory length of bat head	... 58
Figure 4-11	Angles of bat and torso	... 59
Figure 4-12	Torso twist angle at TWI	... 60
Figure 4-13	Relationship between maximum torso angular velocity and bat angular velocity at IM (n=42)	... 62
Figure 4-14	Rotational extent from TWI to IM about upper torso and bat	... 63
Figure 4-15	Relationships between the angle at TWI and rotational extent from TWI to IM about upper torso and bat (n=42)	... 64
Figure 4-16	Shoulder joint angles of stride foot side	... 68
Figure 4-17	Elbow joint angle of stride foot side	... 69
Figure 4-18	Bat-forearm angle of stride foot side	... 70
Figure 4-19	Hip joint angles of stride foot side	... 71
Figure 4-20	Knee joint angle of stride foot side	... 72
Figure 4-21	Ankle joint angle of stride foot side	... 73
Figure 4-22	Shoulder joint angles of pivot foot side	... 74
Figure 4-23	Elbow joint angle of pivot foot side	... 75
Figure 4-24	Bat-forearm angle of pivot foot side	... 76
Figure 4-25	Hip joint angles of pivot foot side	... 77
Figure 4-26	Knee joint angle of pivot foot side	... 78
Figure 4-27	Ankle joint angle of pivot foot side	... 79

Figure 5-1	Ground reaction forces in XY plane	... 91
Figure 5-2	Joint force acted from thigh to lower torso	... 92
Figure 5-3	The torque acting on rotation of lower torso in its z axis (LT rotational component torque), generated from hip joint force	... 93
Figure 5-4	Hip joint torque	... 96
Figure 5-5	Lower torso rotational component torque generated hip joint	... 97
Figure 5-6	Torso twist torque about its z axis (pitcher direction +)	... 99
Figure 5-7	Thigh angle of stride foot side in XY plane	... 104
Figure 5-8	Displacement from toe of pivot foot to the center of gravity at TWI	... 107
Figure 6-1	The parameters relating performance	... 114
Figure 6-2	Displacement of center of gravity from CGmin to IM and maximum velocity of center of gravity	... 116
Figure 6-3	Typical pattern of the velocity of center of gravity in Y axis	... 117
Figure 6-4	Angle of upper torso and torso joint in XY plane at TWI	... 119
Figure 6-5	Range of the rotational movement of upper torso from TWI to IM	... 120
Figure 6-6	Angular velocity of lower torso in XY plane	... 121
Figure 6-7	Angular velocity of upper torso in XY plane	... 122

第1章 緒言

1.1 野球競技と野球における打撃

日本における野球の起源に関する明確な記録は残されていないが、明治5年(1872年)頃に、すでにアメリカで誕生していたベースボールが外国人教師ホーレス・ウィルソンによって日本に伝えられたというのが定説となっている(島田, 2001)。当時の日本は明治維新直後であり、多くの改革が行われた。明治政府が行った教育改革の一環として洋学校が設立され、多くの外国人教師が招かれ、ホーレス・ウィルソンも日本に招かれた外国人教師の一人であった。その後、ホーレス・ウィルソンと同様に多くの外国人教師によりベースボールが日本各地に伝えられ、洋学校の卒業生がベースボールを広めたという。

旧制高等学校の対抗試合から大学野球リーグ、中等学校(現高等学校)大会へと競技規模が拡大し、1934年には実質的な職業野球チームとして大日本東京野球倶楽部(現読売巨人軍)が発足した。その後、多くのチームの発足にともない競技の規模、競技レベルが発展し、野球の大衆化が進んだ。

近年では、2006年および2009年に行われたワールド・ベースボール・クラシックにおいて日本代表チームが2大会連続優勝を果たし、日本野球の競技レベルの高さを示すとともに、多くの国民の野球に対する関心がさらに高まった。また、2005年に笹川スポーツ財団が行った青少年への統計調査(笹川スポーツ財団, 2006)によると、野球は、「過去1年間によく行った」運動・スポーツにおいて第2位(男子のみ)、「今後行いたい」運動・スポーツにおいて第1位(男子のみ)、「直接観戦した」スポーツにおいて男女合わせて第1位であり、青少年において非常に関心が高いことがわかる。また、中高年においても野球観戦は大衆的娯楽として広く浸透している。このように野球は、130年を超える歴史を背景に、多くの国民が参加・観戦する国民的スポーツとして浸透している。

野球は得点を競う競技である。試合は攻撃側と守備側の攻防により展開し、守備側が3つのアウトカウントを攻撃側から獲得した時点で攻守が入れ替わる。攻撃側の目的は多くの得点を得ることであり、守備側の目的は攻撃側に得点を獲得させないことである。そして、攻撃側は主に打撃によって得点を得るため、攻撃側にとって打撃は非常に重要となる。

打撃においてホームランやヒットは、アウトカウントを守備側に獲得されることなく得点を得ることにつながるため、特に重要視されている。ボールを遠くまで飛ばすためには、打球速度、打球角度および打球の回転などが影響するが、特に打球速度が大きく影響する。ヒットを打つには、打球速度、打球方向、野手の位置、打者の走速度などが影響する。打球速度が大きければ、打球が野手間を通る確率が高くなるため、ヒットの確率も高まるといえる。以上のことから、ホームランやヒットを打つためには打球速度が重要な要素であるといえよう。そして、打球速度を大きくするためには、バット速度を大きくすることとバットをボールに正確に衝突させることの2つの要素が重要となる（石田ら、2000）。

1.2 問題の所在

多くの指導書では、速球および変化球に対してタイミング一致に誤差が生じるなど、正確にバットをボールに当てることができないために、打者が大きな打球速度を獲得できないことが問題点として指摘されている（魚住、2004；若林ら、2007）。また、投手の多くは、変化球よりもむしろ速球を中心に配球（球速、球種、コースなど）を組み立てるため（稲尾と吉村、2001）、打者にとっては速球に対して大きな打球速度を獲得できないことは、ホームランやヒットを打つ確率を下げる大きな要因となるといえよう。

投手が投げるボール速度が増加すると、打者が球速、コース、球種などのボール情報を視覚的に得て、ボールを打撃するまでの時間が短縮される。また、ボール速度が増加すると、打者からより離れた地点で球速や球種などの判断をして、動作を決定しなければならないことから、

時間的、空間的な予測に誤差が生じ易くなり、バットをボールに正確に当てることが非常に困難となる。

これまで、野球における打撃の研究は、打撃動作のみでなく打者の心理的要因 (Bahill and Karnavas, 1993 ; Gray, 2002 ; Castaneda and Gray, 2007), バットとボールの衝突 (Nathan, 2000 ; Sawicki et al., 2003 ; Cross and Nathan, 2006) など幅広く行われている。その中で、打撃動作に関する研究では、ステップ動作や体幹の捻転動作がバット速度に及ぼす影響に関する研究 (宮崎ら, 1984 ; Welch et al., 1995 ; 田内ら, 2004), 打撃の意思決定に関する研究 (小林と大島, 1979 ; 小村ら, 1983 ; 石田ら, 2000), 打撃ポイントの違いや打ち分けが打撃動作に及ぼす影響を調べた研究 (McIntyre and Pfautsch, 1982 ; 田子ら, 2006a ; 田子ら, 2006b) などがある。バットをボールに正確に当てる技術に関する動作要因を調べた研究としては、バット重量およびバットの動作範囲などを変化させ、時間的タイミングの正確性に影響を与える要因を検討した研究 (工藤, 1987), 異なる速度のボールに対するバットのキネマティクスを分析した研究 (Matsuo and Kasai, 1994) などがある。しかし、これらの研究は上肢 (工藤, 1987) あるいはバットのみ (Matsuo and Kasai, 1994) を分析対象としていることや、卓上を転がるボール (工藤, 1987) あるいは発光ダイオード光を用いて擬似化されたボール (Matsuo and Kasai, 1994) を打撃する実験であることから、実際の打撃動作が十分明らかにされているとはいえない。

また、指導現場においては、速球への対応として、バットを短く持つことやスイング開始からインパクトまでのバットの移動距離を短くすること、できる限り身体に近い位置でボールをインパクトすることなどが指導されている。これらのことは、速度の大きいボールでは、速度の小さいボールに対する対応とは異なる動作対応が必要であることを示唆していると考えられる。しかし、上述の指導は経験や主観に基づくものが多く、実際にどのような動作が速球に対して打球速度を大きくするために有効であるのかが明らかにされていないのが現状である。

以上のことから、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な動作をバイオメカニクスのし、指導への示唆を得る必要があると考えられる。

打者は、異なる速度のボールに対して、タイミングを計ると同時に速度の違いに応じた対応を行っていると考えられる。したがって、本研究では、まず予め打者にボール速度を提示することにより、タイミングに関わる動作を最小限に抑え、異なる速度への対応について着目して検討を行う。その後、予めボール速度を打者には提示せず無作為に異なる速度のボールを変化させる条件を設定することにより、タイミングの調整も含んだ状況における打者の対応を検討する。

1.3 本研究の目的

本研究の目的は、速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴を明らかにすることにより、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な動作を明らかにし、指導への示唆を得ることである。

1.4 研究課題

本研究の目的を達成するために以下の研究課題を設定した。

研究課題 1

予め打者にボール速度を提示した条件において速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴をキネマティック的に分析することにより、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な動作を明らかにする。

研究課題 2

予め打者にボール速度を提示した条件において速度の異なるボールに対する打撃動作の特

徴をキネティクスの的に分析することにより，研究課題 1 で明らかにされた動作に影響を及ぼすキネティクスの要因について分析する。

研究課題 3

予め打者にボール速度を提示せず無作為にボール速度を変化させた条件において打撃動作の特徴を分析することにより，研究課題 1 および 2 で明らかにされた動作の妥当性について検証する。

研究課題 4

研究課題 1 から 3 で明らかにされた速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な動作に関する知見に基づき，指導への示唆を導く。

1.5 研究上の仮定

本研究は以下の仮定に基づいている。

- ① 本研究で対象とした被験者は男子大学野球競技者を代表する。
- ② 被験者の身体部分慣性特性の算出には阿江の推定式（阿江，1996）を適用できる。
- ③ すべての試技において疲労による影響はない。
- ④ ボール速度を一定条件にするため，実験試技ではピッチングマシンによって発射されるボールを用いたが，被験者は実験前に十分練習を行うため，実際の投手が投じるボールに対する打撃と大きな差異はない。

1.6 本研究の限界

- ① 本研究における被験者は男子大学野球選手である。したがって，一流野球選手や子供など，

大学野球選手以外の対象者においては本研究の結果と異なる可能性がある。

- ② 本研究は試合時の打撃動作を分析したものではないため、試合時の状況によっては本研究の結果と異なる可能性がある。
- ③ 本研究では実験条件を一定にするため、すべて球種は直球であり、コースも真中における打撃である。したがって、変化球や他のコースに対する打撃においては、本研究の結果と異なる可能性がある。
- ④ 本研究では、ボール速度を 85km/h～127km/h に設定している。したがって、これらの範囲外のボール速度に対する打撃においては、本研究の結果と異なる可能性がある。

第2章 文献研究

2.1 バット速度を大きくするための技術要因に関する研究

バット速度を大きくすることは、打球速度を大きくするための重要な要素である。このため、多くの研究者がバット速度を大きくする動作要因について研究を行っている。

Welch et al. (1995) はプロ野球選手 (Professional baseball players) 29 名にティーバッティングを行わせ、打撃動作を 6 台のカメラ (200Hz) で撮影するとともに、地面反力を 2 台のフォースプラットフォームによって測定し、バット速度を大きくするメカニズムについて検討した。その結果、腰部の水平面における角速度の最大値がインパクトの 0.075 秒前にみられ、続いて、肩部、上肢 (両肩中点から両手部中点へ向かうベクトル) の水平面における角速度の最大値が順に出現し、順に角速度の最大値も大きくなっていったことから、バット速度を大きくするためには体幹部の運動連鎖 (kinetic chain) が重要な役割を果たすと述べている。

田内ら (2004) は、大学野球選手にティーバッティングを行わせ、打撃動作を 2 台の高速度 VTR カメラで撮影した。そして水平面へ投影した腰、肩および体幹の捻転角度を算出し、体幹部の捻転動作がバットヘッド速度に与える影響について検討した。その結果、体幹部角度とバットヘッド速度の間には有意な相関関係は認められなかったが、捻転の負の平均角速度 (体幹部を捻る際に生じる角速度) とバットヘッド速度との間に有意な相関関係 ($p < 0.05$) が認められたと報告している。

小田ら (1991) は、大学野球選手にティーバッティングを行わせ、打撃時の地面反力を測定した。その結果、スイング速度とバックスイング期の打者の前方向への地面反力ピーク値に有意な相関関係 ($p < 0.01$) が認められたと報告している。また、スイング速度は、バックスイング局面における打球と反対方向への身体重心移動距離の身体重心総移動距離に対する割合と有意な相関関係 ($p < 0.05$) が認められ、バックスイング期終盤に身体重心を打球方向と反対方

向に移動する必要があると述べている。

宮西（2004）は、大学野球選手にピッチングマシンによる打撃を行わせ、打撃動作を2台の高速度 VTR カメラで撮影した。そして身体の大きな角運動量とその伝達が大きなバット速度獲得には重要であるとする考えから、身体の角運動量を分析した。その結果、バットの角運動量の増大は身体の鉛直軸周りの角運動量が伝達されることによって生じていることを明らかにしている。

他にも、スイング強度や局所的な動作を制限することで、バット速度に影響を及ぼす動作要因を検討した研究（大藪ら，1979；宮崎ら，1984；浅井，1991）が報告されている。

大藪ら（1979）は、バックスイングに制限を設け、大学野球選手および未熟練者にティーバッティングを行わせた。その結果、バックスイングを行った通常のスイング、バックスイングでバットが最も後方に位置した姿勢からのスイング、バックスイングを行わないスイングの順にバットヘッド速度が大きかったことから、バックスイングはバットヘッド速度を大きくするために重要であると結論づけている。

宮崎ら（1984）は大学野球選手に対し、ストライド（足の踏み込み動作）の有無の条件でティーバッティングを行わせ、ストライドの役割について検討した。その結果、ストライドの有無においてバットヘッド速度には差が認められなかったが、スイング時間についてはストライドを行った方が有意（ $p<0.05$ ）に短かったことから、ストライドはより短いスイング時間でバットヘッドを加速するために有効な動作であると考察している。

浅井（1991）は、大学野球選手（熟練者）および野球未熟練者に主観的な強度で軽度、中程度、最大強度のティーバッティングを行わせ、打撃時の地面反力を測定した。その結果、踏出足の鉛直方向の荷重ピーク値には熟練者と未熟練者の間に有意な差は認められなかったが、踏出足の投手方向への荷重ピーク値は未熟練者に比べて熟練者の方が有意（ $p<0.01$ ）に大きかったと報告している。そして、熟練者は地面への水平成分の荷重を大きくし、これを身体の回転

運動に利用する能力があることを示唆している。

以上のことから、バット速度を大きくするためには、バックスイング時において打球方向とは反対方向に体幹部を捻る角速度を大きくするとともに、フォワードスイング時には身体の鉛直軸回りの角運動量を高め、これをバットに伝えることが必要であると考えられる。しかし、宮西（2004）を除く研究では、ティーバッティングを分析対象としているが、実際の打撃では時間的な制限が加わるため、バット速度を大きくする要因を検討するためにはティーバッティングから得られた知見のみでは不十分といえよう。

2.2 バットをボールに正確に当てるための動作要因および視覚的要因に関する研究

打者が大きいバット速度を獲得する能力を備えていても、バットをボールに当てることができなければ打球速度は得られないことから、バットをボールに正確に当てるための要素は打撃にとって非常に重要であるといえる。しかし、バット速度を大きくする技術要因に関する研究に比べて、バットをボールに正確に当てる技術を詳細に分析した研究は少ない。その理由として、バットをボールに正確に当てるためには、生理学的、運動学的に様々な要因が関係しているため、それらを独立して扱うことが非常に困難であることが上げられる。

工藤（1987）は、野球未熟練者である男子大学生に対し、卓上を移動する卓球ボールを野球で用いるバットを用いて打撃させた。被験者にはボールが卓上に設置されているゲートを通過する時点でボールを打撃するよう指示し、そのタイミング誤差を計測した。また、被験者に下半身の動作は行わずに上半身のみの動作を指示し、バットの振幅（バットの動作範囲）およびバットの重量を変化させることにより、打撃タイミングの正確性に影響を及ぼす要因について検討した。その結果、バットの振幅および重量が大きいほど打撃のタイミング誤差が大きかったことを報告している。

川村ら（2000）は、大学野球選手および社会人野球選手にティーバッティングを行わせ、2

台の高速 VTR カメラを用いて打撃動作を撮影した。その結果、バット速度には大学選手と社会人選手の間に有意差はみられなかったが、打球速度は社会人選手の方が有意に大きかったと報告している。また、バットをボールに正確に当てる技術を、インパクト直前のバットヘッド速度ベクトルとインパクト直後の速度ベクトルとのなす角度（インパクト角）によって評価した結果、大学選手に比べて社会人選手の方がバットをボールに正確に当てる技術が高かったことを報告している。

Matsuo and Kasai (1994) は、大学野球選手に対して、発光ダイオードでシミュレートされたボールを打撃させた。被験者には、指定されたインパクト地点でボールを打撃するよう指示し、打撃のタイミング誤差を評価した。ボール速度は速球 (34.5m/s) および遅球 (29.5m/s) の 2 条件で、無作為に変化させた (ボールリリースからインパクトポイントまでの経過時間は速球で 531ms, 遅球で 633ms)。そして、バットの動きを 2 台の高速 VTR カメラで撮影し、バットのキネマティクスを分析した。その結果、ボールリリースの約 0.3 秒後から、速球と遅球の打撃間でバットグリップの動きなどバットのキネマティクスに差がみられたことから、打者はボールリリースの約 0.3 秒後付近で打撃のタイミングの調整をしていた可能性があることが示唆されている。また、その後インパクトに近づくにつれてバットの動きのばらつきは小さくなっていったと報告している。打撃動作がインパクトに向かって一定のパターンに収束していくという特徴は、他の研究においても指摘されている (Hirano, 1985 ; Katsumata, 2007)。

Gray (2002) はモニター上にボールの軌道を映し出すことで仮想の野球打撃状況を設定し、6 名の被験者を対象として、ボール速度を変化させた場合の打撃動作を評価した。その結果、ボール速度が大きいくほど、全被験者がボール打撃時のバットの位置誤差が大きくなり、6 名中 3 名の被験者が打撃タイミングに誤差が生じる傾向があったことを報告している。

勝又と川合 (1996) は、ピッチングマシンを用いて、速球 (32m/s) と遅球 (21m/s)、およびそれらが無作為に投じる条件を設定し、これらのボールを大学野球選手に打撃させた。その

際、1台の高速VTRカメラと2台のフォースプラットフォームを用いて、打撃動作のタイミングと地面反力を分析し、異なる速度のボールに対する打者の対応を検討した。その結果、ボール速度の大小に関わらず、スイング局面における左足（踏出足）の地面反力は一定のパターンを示していたと報告しており、それはステップ動作後に踏出足による地面反力がピークに向けて直線的に増加を開始する時点を調整するためであったと述べている。また、ボール速度が無作為に設定されている場合には、打者は予めボール速度の大きい投球に合わせてタイミングを計っていたと報告している。

スイング時間を短くすれば、ボールを見る時間を長くすることができるため、打撃動作においてスイング時間が短いことが、バットをボールに正確に当てるために有効であるといわれている（Hay, 1978；平野, 1984）。

Messier and Owen (1984) は女子大学ソフトボール選手にピッチングマシンから投げられるソフトボールを打撃させ、2台の高速カメラを用いて打撃動作を撮影した。この際、ピッチングマシンと被験者の距離は10.15m、ボール速度は23.69m/s（85.28km/h）であり、ボールリリースからインパクトまでの経過時間は、野球における143km/hとほぼ同じ0.43秒となる。実験の結果、バットヘッド速度は 19.08 ± 2.10 m/sであり、野球に比べて小さかったと報告している。また、スイング時間が短く、これはボールリリース地点からインパクトまでの距離が短いための対応であると考察している。つまり、ボールリリース地点からインパクトまでの時間が短いソフトボールでは野球よりも、さらにボールを見る距離が制限されるため、スイング時間を短くすることにより、ボールを見る時間を確保する必要があったと推察される。

Hirano (1985) は、女子大学ソフトボール選手とソフトボール未熟練者に対し、投手が任意に速度を変化させたボール（FAST, MEDIUM, SLOW）を打撃させ、2台のフォースプラットフォームと1台の高速VTRカメラを用いて、打撃動作を分析した。その結果、ソフトボール選手においてはスイング開始後に地面反力が一定のパターンに収束するのに対し、未熟練者

では、地面反力パターンにはばらつきがみられたと報告している。また、スイング時間は熟練者が未熟練者に比べてわずかに短かったこと、バットヘッド速度は熟練者が未熟練者に比べて大きかったこと、全被験者においてスイング時間とバットヘッド速度との間には相関関係は認められなかったことを報告している。

大室ら（2004）は、野球経験者と非経験者（いずれも男子大学生）および大学野球選手に対してティーバッティングを 15 試技行わせた。この際、ボールの位置を中心としてインパクト時のバットヘッド座標値の上下方向の標準偏差をバットの軌跡の再現性の指標として被験者群間で比較した結果、非経験者が経験者、大学野球選手に比べて有意 ($p < 0.05$) に打撃の再現性が低かったことを報告している。また、経験者と大学野球選手との間には打撃の再現性に有意な差は認められなかったことから、打撃の再現性はある程度練習すれば、獲得および維持される技術であることが示唆されている。

ボールを打撃するために必要な視覚的要因に関しては、打者はインパクト直前まで打撃動作を制御するために視覚的情報を用いること（石垣と福田，1997）や、打撃の直前においてはボールを視覚的に追跡することは不可能であるため、打者はボール速度を予測して眼球をボールよりも先に移動させるサッカード（跳躍性眼球運動）を用いる可能性があること（Hubbard and Seng, 1954 ; Watts and Bahill, 1990）などが報告されている。また、打者は投手の投球動作を予測し、投球腕が振られると、予測される位置にあらかじめ視線を移動させていることなどが明らかにされている（加藤と福田，2002 ; Kato and Fukuda, 2002）。さらに、打者のスポーツビジョン能力を調べた研究（村田と杉足，2000）によると、打撃能力が優れた者は打撃能力が比較的劣る者に比べて動体視力、眼と手の協応動作、選択反応時間において能力が高いこと、動いている対象物に素早く注意を向け、処理するための視覚機能が優れていることが明らかとなっている。

以上のことから、バットをボールに正確に当てるための要素として、動作要因については、

動作範囲を小さくすること、打撃の再現性が高いこと、直衝突に近い打撃をすることが重要であり、スイング時間の短さも関与している可能性があるといえよう。また視覚的要因については、動いている物体の認知能力と、素早い変化に対応する能力が関与しており、これらの要素を高めることがバットをボールに正確に当てるためには重要であることが示唆される。

しかし、先行研究でみられるように、実験条件を実際の打撃とは異なる条件に制限し、打撃のタイミングに関する要素のみ、あるいはバットの空間的位置や軌道の正確性に関する要素のみを評価することや、バットの動きのみに着目した分析および2次元動作分析では、バットをボールに正確に当てるための対応を検討するためには不十分であるといえよう。したがって、実際の打撃条件における打撃動作を3次元分析することにより、バットをボールに正確に当てるために必要な技術について検討する必要があると考えられる。

2.3 打撃の打ち分けや打撃ポイントの違いに関する研究

野球打撃においてヒットを打つためには打球速度を大きくするとともに、ヒットを打つために適切な打球角度を得る必要がある。

McIntyre and Pfautsch (1982) は、大学野球選手にピッチングマシンから投げられるボールを打撃させ、打撃動作を上方より高速度 VTR カメラで撮影した。この時、打者に対して、打球方向を予め決められた方向（無作為にライトあるいはレフトへ打つよう指示した）へ打つよう指示し、打球方向の違いが打撃動作に及ぼす影響について分析した。その結果、打者は肘関節の伸展や左手関節を固定させることにより打球方向を調節していたと報告している。

Messier and Owen (1985) は、女子大学ソフトボール選手にピッチングマシンを用いて打撃を行わせ、フォースプラットフォームを用いて地面反力を測定するとともに、2台の高速度 VTR カメラを用いて打撃動作を分析した。そして、オープンスタンスとなるように踏み出した場合（open 条件）、クローズドスタンスとなるように踏み出した場合（close 条件）、そして通常の

踏み出しを行った場合 (parallel 条件) で打撃動作を分析した。その結果、踏み出す方向の違いにより鉛直方向の地面反力には違いはみられなかったが、open 条件において、打者の前後方向の地面反力が小さかったことから、打ち分けにおける踏み出し動作は主に水平方向の地面反力に影響を及ぼすと述べている。

田子ら (2006a, 2006b) は、大学野球選手に高低および左右の打撃ポイントに位置したボールに対してティーバッティングを行わせた。そして、3次元自動動作分析装置を用いて打撃動作を分析し、打撃ポイントの違いが打撃動作に及ぼす影響を分析した。その結果、内外角の打撃ポイントの違いによる打球速度に有意差はみられなかったが、腰および肩の回転角度をまず調整することで内外角のコースのボールに対応していたことを明らかにしている。また、低位置の打撃ポイントに対する打撃では、中および高位置の打撃ポイントに対する打撃に比べて打球速度が大きく ($p < 0.05$)、両股関節屈曲角度をまず調整することでコースに対応していたと報告している。そして、低位置の打撃ポイントの打球速度が大きかった理由として、打撃ポイントが低位置であることによってテイクバックから打撃ポイントまでのバットの加速距離を長くすることができたためであると述べている。

山本ら (1997) は、大学野球選手を対象として、投手に内角と外角のコースへの投球を無作為に投げさせた状況での打撃動作を、2台の高速度 VTR カメラ (200Hz) を用いて分析している。その結果、打者は両大腿部や腰そして肩の動作を調整することによりバットの調整を継続的に行っていたことを報告している。

以上のことから、打撃の打ち分けやコースの異なる打撃においては、まず優先的に下肢および体幹部の動作を積極的に関与させて対応することが重要な技術要素であると考えられる。また、先述したように、異なる投球速度の打撃においては、ステップ動作後に踏出足による地面反力がピークに向けて直線的に増加を開始する点を調整すること (勝又と川合, 1996) を踏まえて考えると、打撃の時間的および空間的な調節には下肢や体幹部の動作が重要な役割を果た

していると考えられる。

2.4 打撃の意思決定に関する研究

平野（1984）は、打者のスイング時間を短くすることができればボールを長い時間見ることができると、バットをボールに正確に当てることに有効であると述べている。しかし、打者がいつ打つことを決断するのかについて明らかにした研究は少なく、打撃の意思決定がどのような動作によって判断できるのかについても、一致した見解は得られていない。

石田ら（2000）は、糸で吊るしたボールを大学野球選手に打撃させ、打者の側方から1台の高速度 VTR カメラで打撃動作を撮影した。糸の上端は電磁石に接続されており、電磁石スイッチを切ることによってボールを様々なタイミングで落下させることができる仕組みとなっている。打者はボールの落下を察知した時は打撃動作を中止するよう指示された。そして、打者の打撃動作中に様々なタイミングでボールを落下させ、打者の意思決定とバットの運動調節について検討を行った。その結果、インパクトの約 0.3 秒前からインパクトまでの間にボールが落下した時には、打者は打撃動作を止めることができなかつたと報告している。しかし、スイング開始後にボールが落下した場合においても、インパクト 0.077～0.154 秒前までバットの動きを調節しようとしていたと報告している。以上のことから、インパクトの約 0.3 秒前までの段階で打つか見送るかの判断がなされ、スイング開始後は、インパクト直前までバットの運動を調節できる可能性があるとして述べている。

小村ら（1983）は、発光ダイオードを、投手が投球動作を開始する時点、ボールリリース時点、インパクトポイント通過時点で点燈させることにより、投手の手からボールが離れ、ホームプレート上に達するまでの時間を発光ダイオードの点滅で被験者に提示した。そして、発光ダイオードがインパクトポイントを通過する時点と、打者が目印を打撃する時点を一致させるよう被験者に指示した。インパクトポイントに張られたリード線に目印をつけ、大学野球選手

(熟練者) および未熟練者にこの目印を打撃させた。また、リリース時点、リリースの 0.1 秒後、リリースの 0.2 秒後に打撃を中断させる合図を発光ダイオードの点灯によって提示し、打撃の意思決定と打撃のタイミング一致能力について検討した。その結果、熟練者、未熟練者ともに「待て」の合図の提示が遅くなる（インパクト時点により近い時点で提示される）とともに打撃のタイミングが遅延しており、これはボールを遅くまで見て判断を遅らせるとスイングが遅れる特徴を示していると述べられている。

以上のことから、打者はインパクトの約 0.3 秒前であれば視覚的情報によりスイング動作を中断することが可能であり、それ以降は中断不可能であるとともに、インパクトの約 0.3 秒前付近のボール情報（球速、コース、球種など）が打撃の意思決定のために重要な情報であると考えられる。また意思決定が遅れるとスイングが遅れるため、インパクトのタイミングに遅延が生じることが予想される。しかし、打者の意思決定と打撃動作との間の関連性やスイングの遅れを生じさせる具体的な動作が明らかにされていないため、時間経過にともなう動作の変化と意思決定との関連性やタイミングの遅延に影響を与える動作要因について検討する必要があると考えられる。

以上の文献研究から、バットをボールに正確に当てるために有効な動作が十分明らかにされていないこと、またバット速度に関する研究については、ティーバッティング打撃による分析が多いことなどの問題点があった。したがって、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするための技術要因を検討するためには、実際の打撃条件においてバットをボールに正確に当てるための技術およびバット速度を大きくするための技術要因を明らかにする必要があると考えられる。

第3章 方法

本研究では、実験1として、予め打者にボール速度を提示した試技（第4章および第5章）を行い、実験2として、予め打者にボール速度を提示しない試技（第6章）を行った。

3.1 被験者

実験1および実験2ともに、被験者は首都大学野球連盟一部リーグに所属する大学硬式野球部員とした。

実験1では19～22歳までの29名（身長： $1.75\pm 0.05\text{m}$ ，体重： $73.4\pm 6.0\text{kg}$ ，競技年数： 11.2 ± 2.0 年）を被験者とした。そして、後述する分析試技の選定方法（「3.4.1 分析試技の選定」参照）に基づき、被験者の選定を行った結果、実験1において分析を行った分析対象者は29名中14名（身長： $1.75\pm 0.06\text{m}$ ，体重： $72.6\pm 7.2\text{kg}$ ，競技年数： 11.2 ± 2.0 年）であり、そのうち8名が左打ちであった。

実験2では、18～22歳までの19名（身長： $1.75\pm 0.05\text{m}$ ，体重： $73.7\pm 5.5\text{kg}$ ，競技年数： 11.0 ± 2.1 年）を被験者とした。そして、実験1と同様の分析試技の選定方法により被験者の選定を行った結果、実験2において分析を行った分析対象者は19名中6名（身長： $1.75\pm 0.08\text{m}$ ，体重： $74.2\pm 4.2\text{kg}$ ，競技年数： 10.5 ± 3.1 年）であり、全員左打ちであった。

実験1では被験者に実験の趣旨を説明し、実験参加の同意を得た。また、実験2は人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得た上で行われた。

3.2 データ収集

図3-1は、本研究の実験設定を示したものである。赤外線カメラ9台（サンプリング周波数： 250Hz ）を用いた光学式3次元自動動作分析システム（VICON612, VICON MOTION SYSTEMS

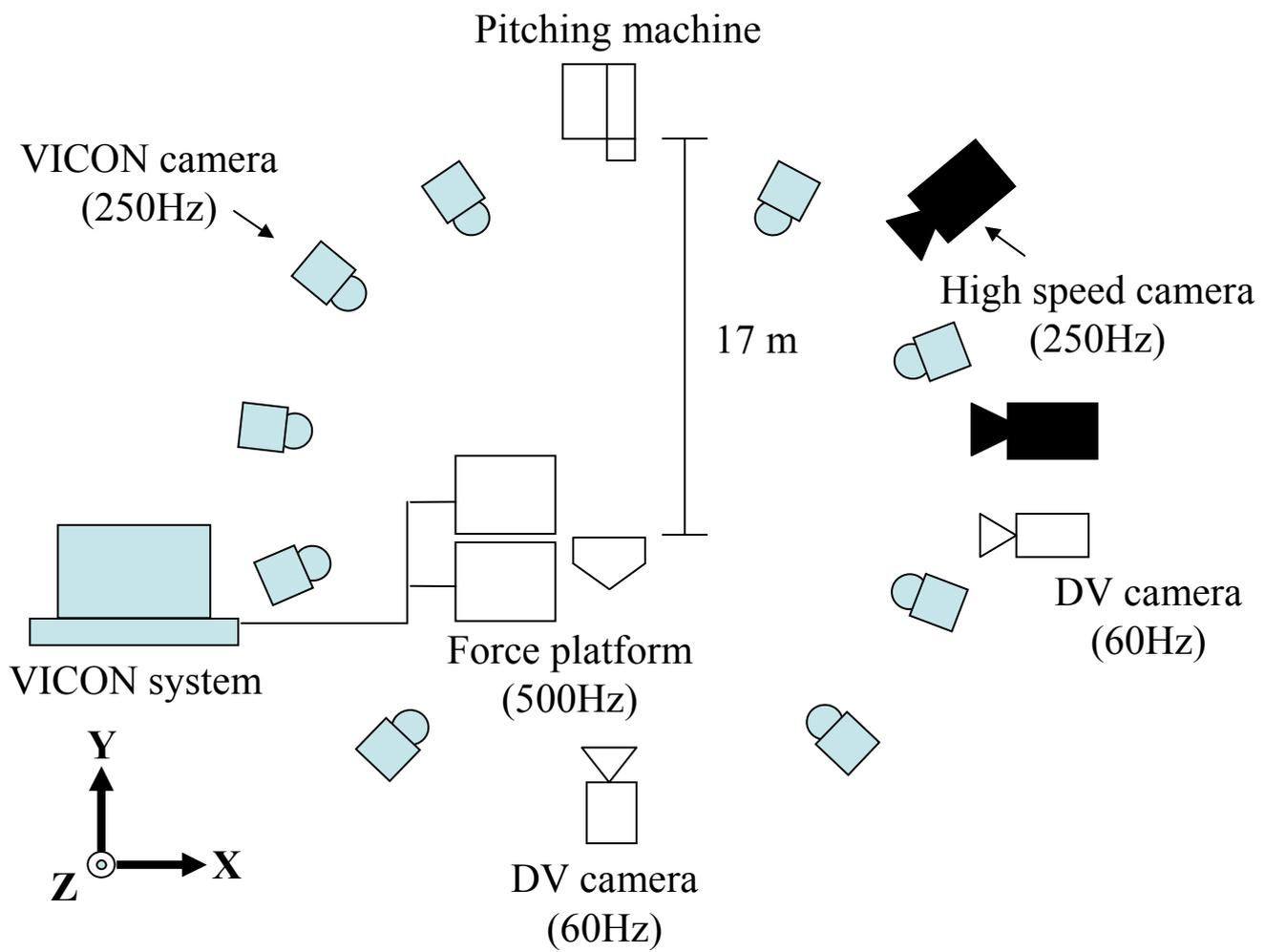
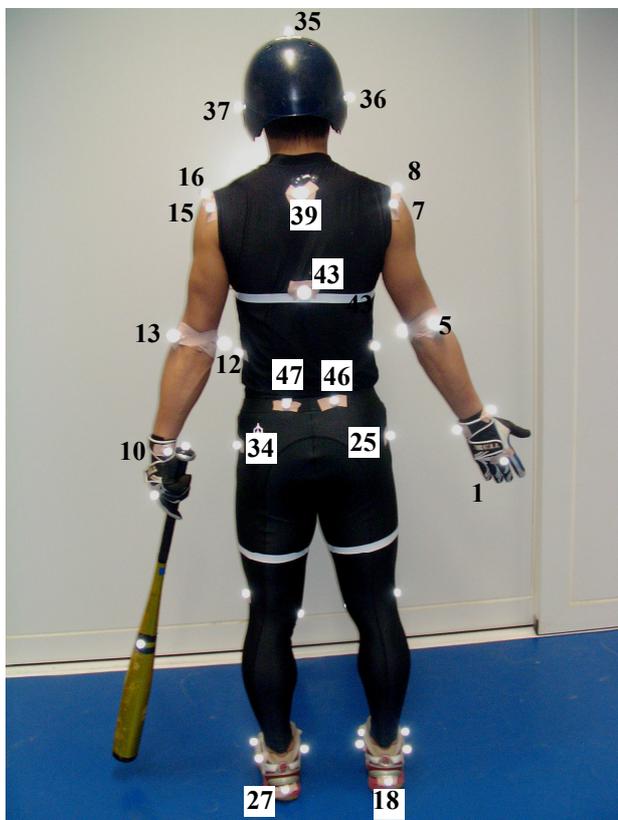
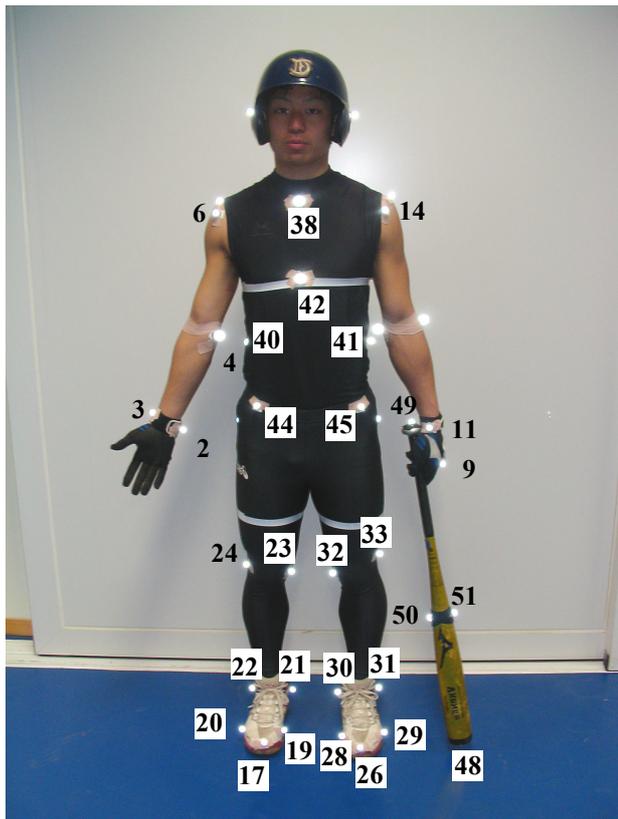


Figure 3-1 Experimental set-up

社)により、身体計測点47点およびバット計測点4点、計51点の3次元座標データを収集した(図3-2)。インパクト直前および直後のボール速度を計測するために、2台の高速度VTRカメラ(HSV-500C³, NAC社)を設置した(撮影速度:250Hz, シャッタースピード:1/2000秒)。インパクト前後のボールについては、DKH社製FrameDias IIを用いてデジタル化し、DLT法によって3次元座標を算出した。また、被験者の両足下に2台のフォースプラットフォーム(9281A, Kistler社; 9827B, Kistler社)を設置し、地面反力を測定した(サンプリング周波数:500Hz)。打者から投手へ向かう方向をY軸、鉛直方向をZ軸、Y軸およびZ軸に直交し、かつ右打席から左打席へ向かうベクトルをX軸として静止座標系を設定した。左打ちの被験者については3次元座標データのX軸成分に-1を乗ずることで右打ち打者として分析を行った。以後、打者の捕手側の足を「軸足」、投手側の足を「踏出足」とする。なお、実験1および実験2では同じバット(金属製)を使用し、バットの長軸の長さは0.85m、質量は0.9kgであった。

3.3 実験試技

実際の試合状況における打撃では、打球速度を大きくすることに加え、様々なコースに投げられたボールを打ち分けることや打球方向もパフォーマンスに影響すると考えられる。本研究では、基礎的な打撃技術を分析するという観点から、真中ストライクゾーンに投げられたボールを投手方向へ強く打撃できること(投手方向への打球速度の大きさ)を課題として設定した。したがって、被験者にはピッチングマシン(実験1: JUA, トーアスポーツマシーン社, 実験2: SMA30, ニッシンエスピーエム社)より投球されたボールに対し、投手方向に強い打球を打つよう指示した。ピッチングマシンから投球されたボール速度を、低速(以下「SLOW」と略す): 85-87km/h, 中速(以下「MEDIUM」と略す): 105-107km/h, 高速(以下「FAST」と略す): 125-127km/hの3条件に設定した。被験者に各ボール速度条件における試技の前に12-15球の練習試技を行わせ、被験者の準備が整ったことを確認した上で実験試技を行った。そして、



1. Right hand/metacarpus-head
2. Right ulna-head dome
3. Right radius-styloid process
4. Right Humerus-medial epicondyle
5. Right Humerus-lateral epicondyle
6. Right Humerus-lesser tubercle
7. Right under the scapula-acromial angle
8. Right scapula-acromion
9. Left hand/metacarpus-head
10. Left ulna-head dome
11. Left radius-styloid process
12. Left Humerus-medial epicondyle
13. Left Humerus-lateral epicondyle
14. Left Humerus-lesser tubercle
15. Left under the scapula-acromial angle
16. Left scapula-acromion
17. Right foot/toe
18. Right foot/calcaneus-center of posterior surface
19. Right foot/PIP medial side
20. Right foot/PIP lateral side
21. Right tibia-apex of the medial malleolus
22. Right fibula-apex of the lateral malleolus
23. Right tibia-medial ridge of tibial plateau
24. Right tibia-lateral ridge of tibial plateau
25. Right femur-greater trochanter
26. Left foot/toe
27. Left foot/calcaneus-center of posterior surface
28. Left foot/PIP medial side
29. Left foot/PIP lateral side
30. Left tibia-apex of the medial malleolus
31. Left fibula-apex of the lateral malleolus
32. Left tibia-medial ridge of tibial plateau
33. Left tibia-lateral ridge of tibial plateau
34. Left femur-greater trochanter
35. Top of head
36. Right ear
37. Left ear
38. Sternum-manubriosternal edge
39. Spine-spinous process (CV7)
40. Right ribs-lateral aspect (RL10)
41. Left ribs-lateral aspect (RL10)
42. Sternum-xiphoid process
43. Spine-spinous process (TV10)
44. Right ilium-anterior superior iliac spine
45. Left ilium-anterior superior iliac spine
46. Right ilium-posterior superior iliac spine
47. Left ilium-posterior superior iliac spine
48. Bat head
49. Bat grip
50. Bat right side
51. Bat left side

Figure 3-2 Locations of reflex markers

SLOW, MEDIUM, FAST の各ボール速度条件においてストライクが 10 球カウントされるまで同じボール速度で試技を繰り返した。SLOW, MEDIUM, FAST の実施順序 (6 パターン) は被験者毎に無作為に変化させた。なお、速度の大きいボールに対する打者の対応動作を検討するためには、FAST のボール速度設定を、打者が比較的バットをボールに当てるのが困難となる速度に設定する必要がある。本研究ではピッチングマシンを用いており、打者は投球動作に合わせたタイミングの調節が困難であると予想される。このようなことから、大学野球において通常速球の練習に用いられるボール速度は 127-130km/h に設定されていることが多い。そこで、本研究は最もボール速度が大きい FAST の上限を 127km/h に設定して実験を行った。

実験 2 (第 6 章) では、ボール速度を打者に予め知らせた条件 (以下「球速提示あり」と略す) と予め知らせなかった条件 (以下「球速提示なし」と略す) を設定した。なお、実験 2 では球速提示ありと球速提示なしのボール速度条件を区別するため、球速提示ありにおける低速、中速、高速のボール速度条件をそれぞれ SLOW_N, MEDIUM_N, FAST_N と表し、球速提示なしにおけるボール速度条件をそれぞれ SLOW_R, MEDIUM_R, FAST_R と表す。また、単に SLOW, MEDIUM, FAST と記述した場合は球速提示ありと球速提示なしの両方を含むものとする。球速提示ありの試技では、実験 1 と同様に、被験者に各ボール速度条件の前に 12-15 球の練習試技を行わせ、被験者の準備が整ったことを確認した上で実験試技を行った。そして、SLOW_N, MEDIUM_N, FAST_N の各ボール速度条件においてストライクが 7 球カウントされるまで同じボール速度で試技を繰り返した。SLOW_N, MEDIUM_N, FAST_N の実施順序 (6 パターン) は被験者毎に無作為に変化させた。球速提示なしでは SLOW_R, MEDIUM_R, FAST_R を 1 球ごとに無作為に投げ、すべてのボール速度が 7 球カウントされるまで試技を繰り返した。

打撃ポイント (ボールの高低や内外角) の違いによる影響を軽減するため、打者の大腿部中央から剣状突起までの範囲を高低のストライクゾーンとし、ホームベースの横幅を 3 分割した

時の中央の範囲を内外角のストライクゾーンとし、ストライクの判定のために2台のDVカメラを用いた(図3-1)。また、投球コースがストライクゾーンから外れていた場合には、スイングの有無に関わらずストライクとはカウントしなかった。バットを握る位置(グリップ)については、全てのボール速度条件で同じ位置を握るよう指示した。

3.4 データ処理

3.4.1 分析試技の選定

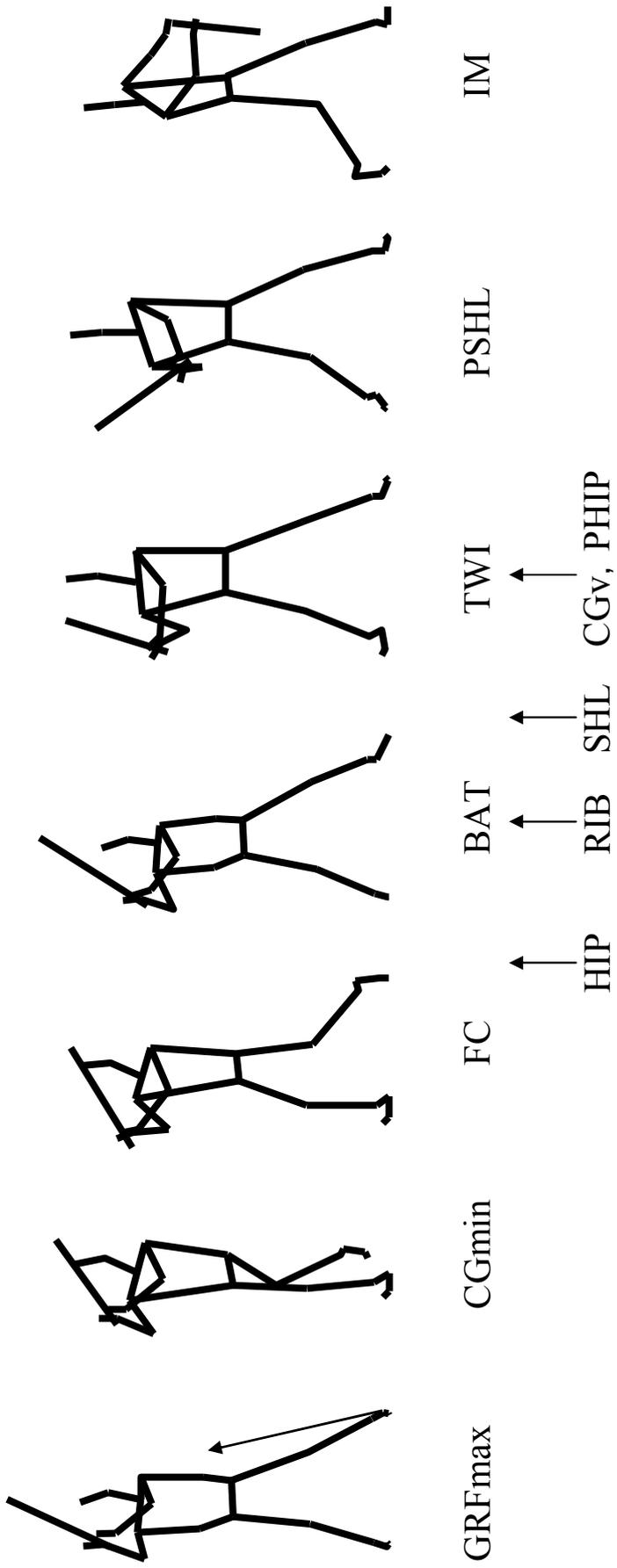
打球がインフィールドに入り(水平面内において、投手方向に対して打球の速度ベクトルが左右45度以内)、被験者の内省評価が5段階で3点以上(数が大きいほど評価が高い)のものの中、投手方向への打球速度が最も大きな値を示した試技を分析試技とした。なお、本研究ではFASTにおいて、以上の条件を満たすことができない被験者が多くいたため、これらの被験者については分析対象として扱わなかった。

3.4.2 分析範囲

ステップ動作前に踏出足の地面反力の合成成分の大きさが最大となった時点からインパクトまでを分析範囲とした(図3-3)。

3.4.3 座標データの平滑化

バットおよび身体計測点の3次元座標を残差分析(Winter, 1990)することで最適遮断周波数を決定し、Butterworth digital filterにより座標データを平滑化した。用いた遮断周波数は2.5~17.5Hzであった。なお、インパクトによる衝撃力の影響が大きいと予想されるバットヘッドの座標値については、座標データをインパクト前後に分けてパディング処理を行った後に平滑化した(Derrick, 2004)。



GRFmax: Maximum ground reaction force of stride foot
 CGmin: Minimum CG displacement in Y axis
 FC: Foot contact of stride foot after stride motion
 HIP: Start of rotational movement of lower torso in XY plane
 Bat: Start of rotational movement of bat in XY plane
 RIB: Start of rotational movement of the line connected both ribs in XY plane
 SHL: Start of rotational movement of upper torso in XY plane
 TWI: Maximum torso twist
 CGv: Maximum CG velocity in Y axis
 PHIP: Maximum angular velocity of lower torso in XY plane
 PSHL: Maximum angular velocity of upper torso in XY plane
 IM: Impact

Figure 3-3 Analysis phase and events of hitting motion

3.4.4 関節中心座標の算出

肘関節，手関節，膝関節，足関節，中足指節関節については，図 3-2 に示したように関節周囲に貼付した 2 つのマーカースの midpoint を関節中心とした．肩関節では，肩前後部のマーカースの midpoint を関節中心とした．股関節中心は，臨床歩行分析研究会による股関節中心の推定方法（倉林ら，2003）を用いて算出した．

3.5 キネマティクスのパラメータの算出項目および算出方法

得られた座標データから，以下のキネマティクスのパラメータを算出した．投手方向への打球速度を大きくするためには，時間的かつ空間的に正確にバットをボールに衝突させる必要があると同時に，バット速度を大きくする必要がある．本研究ではこれらの要素を表す指標についても算出した．

3.5.1 打球速度およびバット速度

インパクト直後のボールの座標値を数値微分することで打球速度を算出した．また，インパクト直前のバットヘッドの座標値を数値微分することにより，バット速度を算出した．

3.5.2 インパクト角

本研究では，バットをボールに正確に当てる能力を表す指標として，川村ら（2000）の方法に基づき，インパクト角を算出した．インパクト角は，インパクト直前のバットヘッドの速度ベクトルとインパクト直後のボールの速度ベクトルとのなす角度とした．したがって，インパクト角が小さいほど，時間的および空間的にバットをボールに正確に当てることが実現できていたことを示すものとする（川村ら（2000）の方法では，バットヘッドの速度ベクトルと方向

は反対で大きさが同じベクトルとインパクト直後のボールの速度ベクトルとのなす角度をインパクト角としているため、インパクト角が大きいほど上述の能力が高いことを意味している点で本研究とは定義が異なる).

3.5.3 身体重心位置および身体重心速度

身体を左右の手, 前腕, 上腕, 足, 下腿, 大腿および頭, 上胴, 下胴の身体 15 部分からなるリンクセグメントにモデル化し, 身体部分および全身の重心位置を算出した (阿江, 1996). 本研究で扱う身体重心位置とは全身およびバット系の重心位置とし, 身体重心位置を数値微分することにより, 身体重心速度を算出した.

3.5.4 バットおよび体幹部の角度と角速度

バットグリップエンドからバットヘッドへ向かうベクトル, 踏出足側肩関節から軸足側肩関節へ向かうベクトル, 踏出足側股関節から軸足側股関節へ向かうベクトルを XY 平面に投影し, Y 軸となす角度をそれぞれバット角度, 上胴角度, 下胴角度とした (図 3-4). これらの角度は値が大きいほど投手方向へ回転していることを示す. なお, 値が負の場合には, 絶対値が小さいほど「角度が大きい」と記述することにする. また, 上胴角度から下胴角度を引いたものを上下胴角度とした. そして, これらの角度を数値微分することにより角速度を算出した.

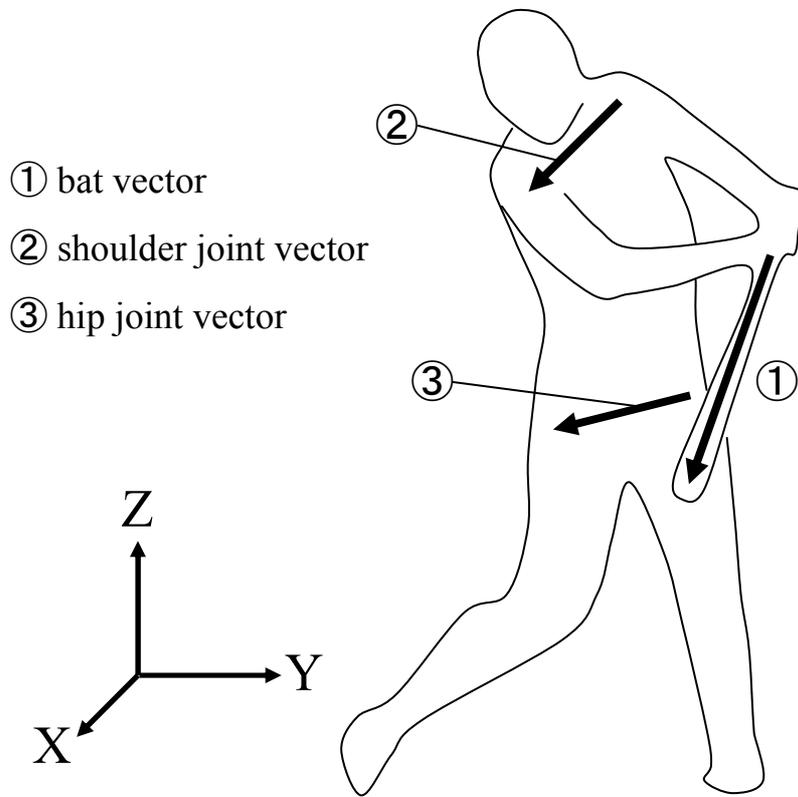
3.5.5 関節角度

身体部分および関節の運動軸を基準として移動座標系を定義し, 関節角度を算出した.

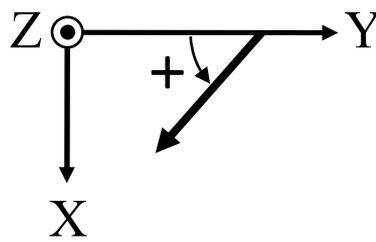
① 移動座標系の定義

a. 上胴座標系 (X_{UT} - Y_{UT} - Z_{UT})

左肩関節から右肩関節へ向かう単位ベクトルを X_{UT} , 第 10 胸椎 (Th10) と剣状突起 (Xiphoid



(a) Definitions of the vectors



(b) Definitions of the angles

Figure 3-4 Definitions of bat and torso angles

process) の中点から第7頸椎 (C7) と胸骨上縁 (Clavicle) の中点に向かう単位ベクトルを \mathbf{S}_{UT} , \mathbf{S}_{UT} と \mathbf{X}_{UT} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Y}_{UT} とした. さらに \mathbf{X}_{UT} と \mathbf{Y}_{UT} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Z}_{UT} とした. \mathbf{X}_{UT} , \mathbf{Y}_{UT} , \mathbf{Z}_{UT} を軸とする座標系を上胴座標系とした (図 3-5a).

b. 肩関節屈曲伸展座標系 ($\mathbf{X}_{SHFE}-\mathbf{Y}_{SHFE}-\mathbf{Z}_{SHFE}$)

\mathbf{X}_{SHFE} を上胴座標系の \mathbf{X}_{UT} と同一の軸とした. そして肘関節から肩関節に向かう単位ベクトルを \mathbf{S}_{SHFE} , \mathbf{S}_{SHFE} と \mathbf{X}_{SHFE} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Y}_{SHFE} とした. さらに \mathbf{X}_{SHFE} と \mathbf{Y}_{SHFE} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Z}_{SHFE} とした. \mathbf{X}_{SHFE} , \mathbf{Y}_{SHFE} , \mathbf{Z}_{SHFE} を軸とする座標系を肩関節屈曲伸展座標系とした (図 3-5b).

c. 肩関節内転外転座標系 ($\mathbf{X}_{SHAA}-\mathbf{Y}_{SHAA}-\mathbf{Z}_{SHAA}$)

\mathbf{Y}_{SHAA} を肩関節屈曲伸展座標系の \mathbf{Y}_{SHFE} と同一の軸とした. そして肘関節から肩関節に向かう単位ベクトルを \mathbf{Z}_{SHAA} , \mathbf{Y}_{SHAA} と \mathbf{Z}_{SHAA} の外積から得られる単位ベクトルを \mathbf{X}_{SHAA} とした. \mathbf{X}_{SHAA} , \mathbf{Y}_{SHAA} , \mathbf{Z}_{SHAA} を軸とする座標系を肩関節内転外転座標系とした (図 3-5c).

d. 肩関節内旋外旋座標系 ($\mathbf{X}_{SHAR}-\mathbf{Y}_{SHAR}-\mathbf{Z}_{SHAR}$)

\mathbf{Z}_{SHAR} を肩関節内転外転座標系の \mathbf{Z}_{SHAA} と同一の軸とした. そして, 内側上果 (Right elbow medial side) から外側上果 (Right elbow lateral side) へ向かう単位ベクトルを \mathbf{S}_{SHAR} , \mathbf{Z}_{SHAR} と \mathbf{S}_{SHAR} の外積から得られる単位ベクトルを \mathbf{Y}_{SHAR} とした. さらに \mathbf{Y}_{SHAR} と \mathbf{Z}_{SHAR} の外積から得られる単位ベクトルを \mathbf{X}_{SHAR} とした. \mathbf{X}_{SHAR} , \mathbf{Y}_{SHAR} , \mathbf{Z}_{SHAR} を軸とする座標系を肩関節内旋外旋座標系とした (図 3-5d).

e. 下胴座標系 ($\mathbf{X}_{LT}-\mathbf{Y}_{LT}-\mathbf{Z}_{LT}$)

左股関節から右股関節へ向かう単位ベクトルを \mathbf{X}_{LT} , 両上後腸骨棘中点から両上前腸骨棘中点に向かう単位ベクトルを \mathbf{S}_{LT} , \mathbf{X}_{LT} と \mathbf{S}_{LT} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Z}_{LT} とした. さらに \mathbf{Z}_{LT} と \mathbf{X}_{LT} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Y}_{LT} とした. \mathbf{X}_{LT} , \mathbf{Y}_{LT} , \mathbf{Z}_{LT} を軸とする

座標系を下胴座標系とした (図 3-6a).

f. 股関節屈曲伸展座標系 ($\mathbf{X}_{\text{HIFE}}-\mathbf{Y}_{\text{HIFE}}-\mathbf{Z}_{\text{HIFE}}$)

\mathbf{X}_{HIFE} を下胴座標系の \mathbf{X}_{LT} と同一の軸とした. そして膝関節から股関節へ向かう単位ベクトルを \mathbf{S}_{HIFE} , \mathbf{S}_{HIFE} と \mathbf{X}_{HIFE} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Y}_{HIFE} とした. さらに \mathbf{X}_{HIFE} と \mathbf{Y}_{HIFE} の外積により得られる単位ベクトルを \mathbf{Z}_{HIFE} とした. \mathbf{X}_{HIFE} , \mathbf{Y}_{HIFE} , \mathbf{Z}_{HIFE} を軸とする座標系を股関節屈曲伸展座標系とした (図 3-6b).

g. 股関節内転外転座標系 ($\mathbf{X}_{\text{HIAA}}-\mathbf{Y}_{\text{HIAA}}-\mathbf{Z}_{\text{HIAA}}$)

\mathbf{Y}_{HIAA} を股関節屈曲伸展座標系の \mathbf{Y}_{HIFE} と同一の軸とした. そして膝関節から股関節に向かう単位ベクトルを \mathbf{Z}_{HIAA} , \mathbf{Y}_{HIAA} と \mathbf{Z}_{HIAA} の外積から得られる単位ベクトルを \mathbf{X}_{HIAA} とした. \mathbf{X}_{HIAA} , \mathbf{Y}_{HIAA} , \mathbf{Z}_{HIAA} を軸とする座標系を股関節内転外転座標系とした (図 3-6c).

h. 股関節内旋外旋座標系 ($\mathbf{X}_{\text{HIAR}}-\mathbf{Y}_{\text{HIAR}}-\mathbf{Z}_{\text{HIAR}}$)

\mathbf{Z}_{HIAR} を股関節内転外転座標系の \mathbf{Z}_{HIAA} と同一の軸とした. そして, 大腿骨内側顆 (Right knee medial side) から大腿骨外側顆 (Right knee lateral side) へ向かう単位ベクトルを \mathbf{S}_{HIAR} , \mathbf{Z}_{HIAR} と \mathbf{S}_{HIAR} の外積から得られる単位ベクトルを \mathbf{Y}_{HIAR} とした. さらに \mathbf{Y}_{HIAR} と \mathbf{Z}_{HIAR} の外積から得られる単位ベクトルを \mathbf{X}_{HIAR} とした. これら \mathbf{X}_{HIAR} , \mathbf{Y}_{HIAR} , \mathbf{Z}_{HIAR} を軸とする座標系を股関節内旋外旋座標系とした (図 3-6d).

② 関節角度定義

a. 肩関節屈曲伸展角度 (θ_{SHFE})

上胴座標系の \mathbf{Y}_{UT} と肩関節屈曲伸展座標系の \mathbf{Y}_{SHFE} のなす角度を肩関節屈曲伸展角度とした (図 3-7a).

b. 肩関節内転外転角度 (θ_{SHAA})

肩関節屈曲伸展座標系の \mathbf{Z}_{SHFE} と肩関節内転外転座標系の \mathbf{Z}_{SHAA} のなす角度を肩関節内転外転角度とした (図 3-7b).

c. 肩関節内旋外旋角度 (θ_{SHAR})

肩関節内転外転座標系の \mathbf{X}_{SHAA} と肩関節内旋外旋座標系の \mathbf{X}_{SHAR} のなす角度を肩関節内旋外旋角度とした (図 3-7c).

d. 肘関節屈曲伸展角度 (θ_{ELB})

手関節から肘関節へ向かうベクトルを肩関節内旋外旋座標系の \mathbf{YZ} 平面に投影し, このベクトルと肩関節内旋外旋座標系の \mathbf{Z}_{SHAR} とのなす角度を肘関節屈曲伸展角度とした (図 3-8a).

e. バットと前腕のなす角度 (θ_{BF})

手関節から肘関節に向かうベクトルとバットグリップからバットヘッドへ向かうベクトルのなす角度をバット前腕角度とした (図 3-8b).

f. 股関節屈曲伸展角度 (θ_{HIFE})

下胴座標系の \mathbf{Y}_{LT} と股関節屈曲伸展座標系の \mathbf{Y}_{HIFE} のなす角度を股関節屈曲伸展角度とした (図 3-9a).

g. 股関節内転外転角度 (θ_{HIAA})

股関節屈曲伸展座標系の \mathbf{Z}_{HIFE} と股関節内転外転座標系の \mathbf{Z}_{HIAA} のなす角度を股関節内転外転角度とした (図 3-9b).

h. 股関節内旋外旋角度 (θ_{HIAR})

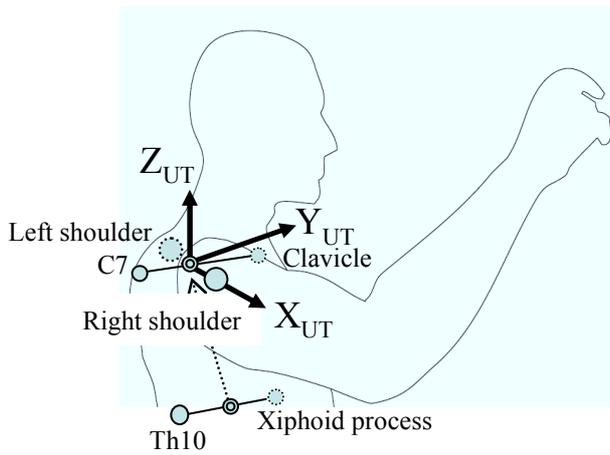
股関節内転外転座標系の \mathbf{X}_{HIAA} と股関節内旋外旋座標系の \mathbf{X}_{HIAR} のなす角度を股関節内旋外旋角度とした (図 3-9c).

i. 膝関節屈曲伸展角度 (θ_{KN})

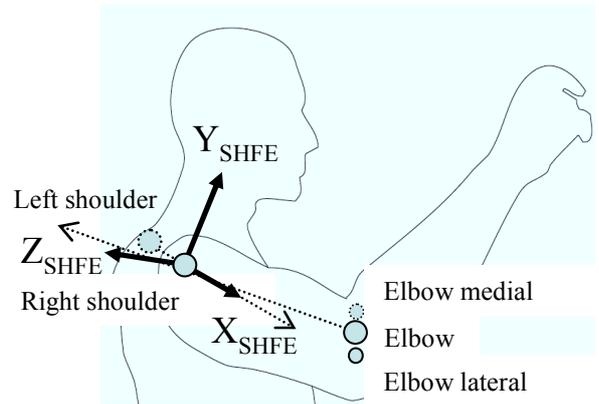
足関節から膝関節へ向かうベクトルを股関節内旋外旋座標系の \mathbf{YZ} 平面に投影し, このベクトルと股関節内旋外旋座標系の \mathbf{Z}_{HIAR} のなす角度を膝関節屈曲伸展角度 (θ_{KN}) とした (図 3-10).

j. 足関節底屈背屈角度 (θ_{ANK})

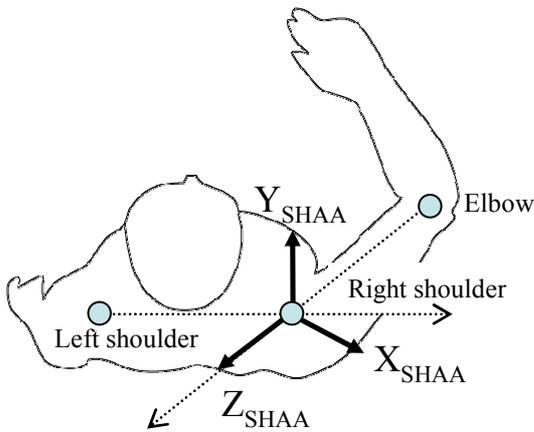
踵部から中足指節間関節 (足部 PIP 関節) に向かうベクトルと足関節から膝関節へ向かうベ



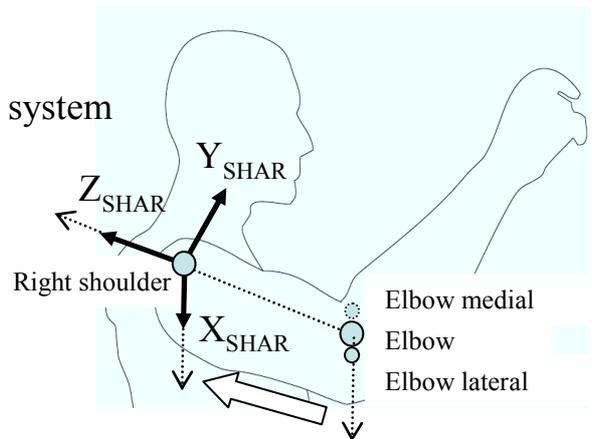
(a) Upper torso coordinate system



(b) Shoulder flexion/extension coordinate system

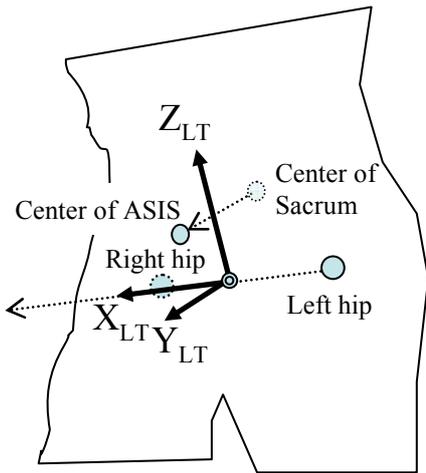


(c) Shoulder adduction/abduction coordinate system

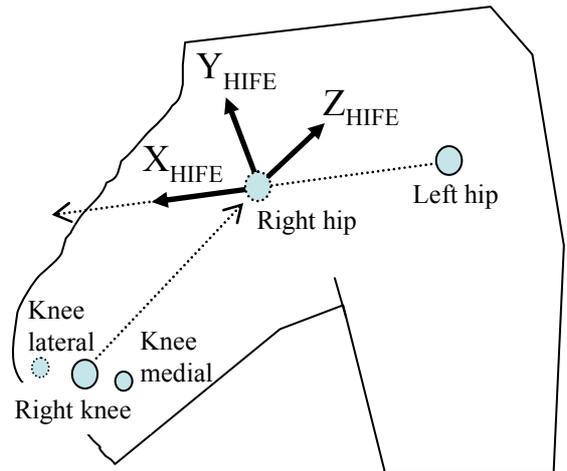


(d) Shoulder internal/external rotation coordinate system

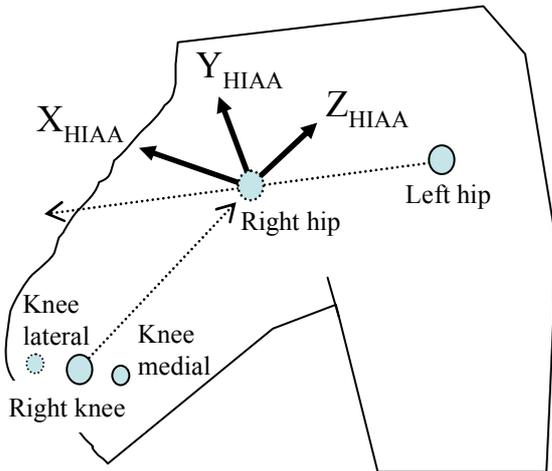
Figure 3-5 Upper torso and shoulder coordinate systems



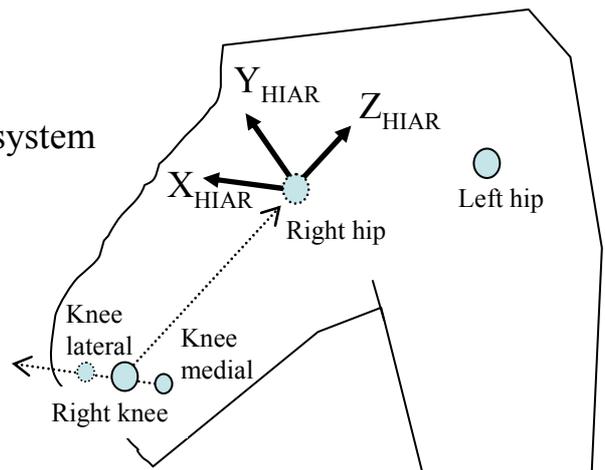
(a) Lower torso coordinate system



(b) Hip flexion/extension coordinate system

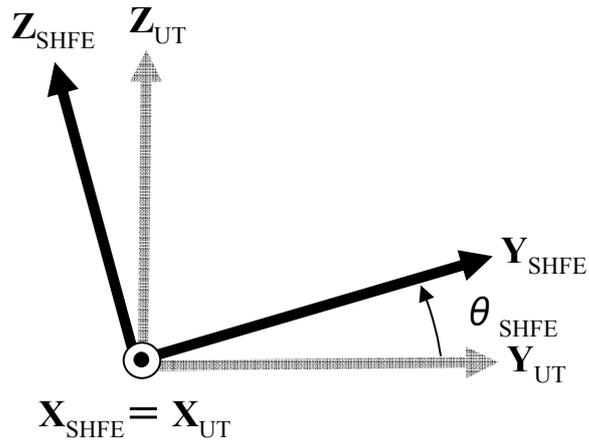


(c) Hip adduction/abduction coordinate system

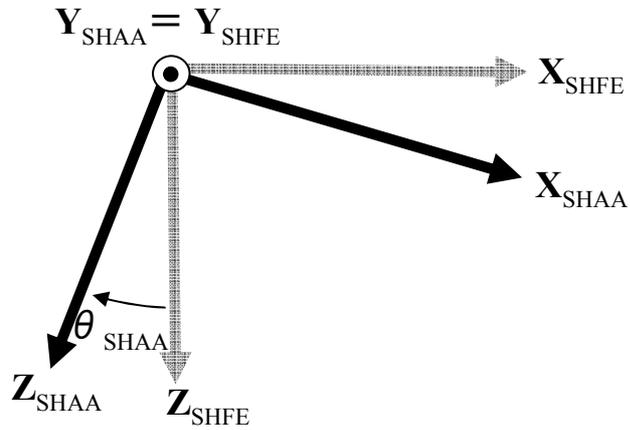


(d) Hip internal/external rotation coordinate system

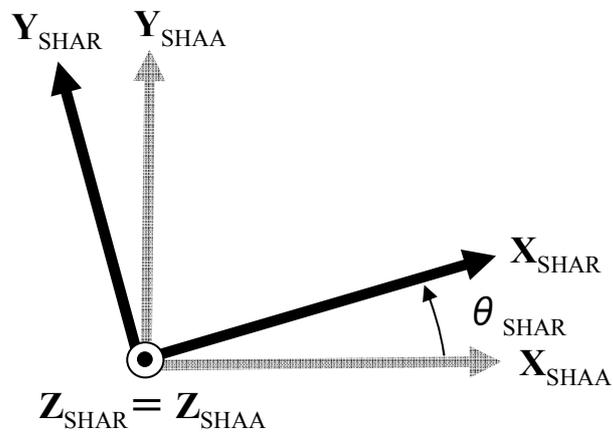
Figure 3-6 Hip coordinate systems



(a) Shoulder extension(-)/flexion(+) angle

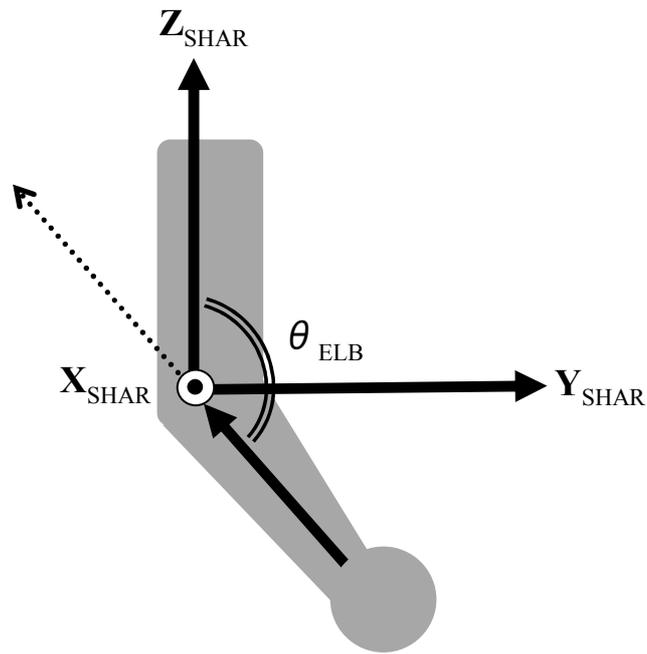


(b) Shoulder adduction(-)/abduction(+) angle

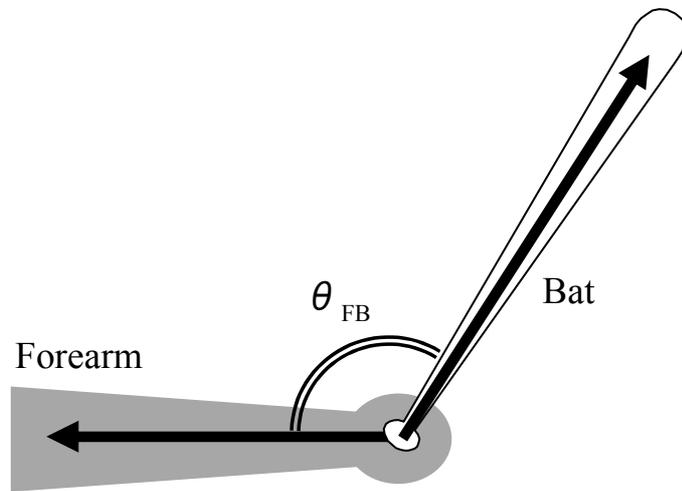


(c) Shoulder internal(+)/external(-) rotation angle

Figure 3-7 Definition of shoulder joint angles

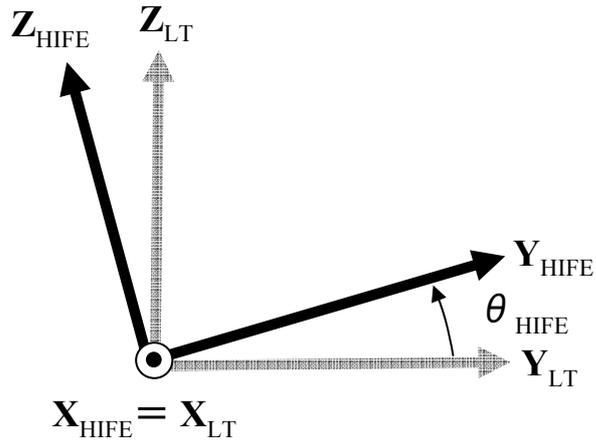


(a) Elbow joint angle

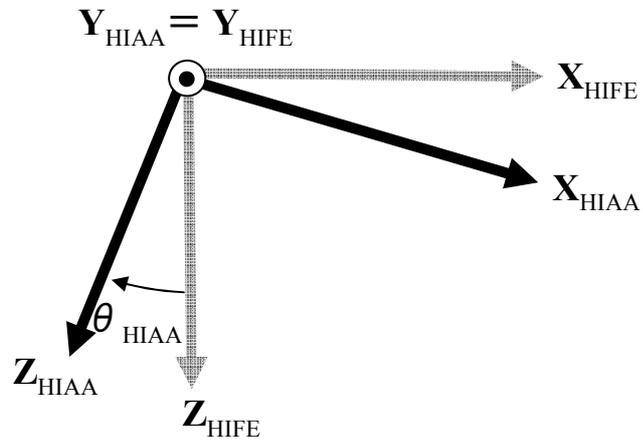


(b) Bat-forearm angle

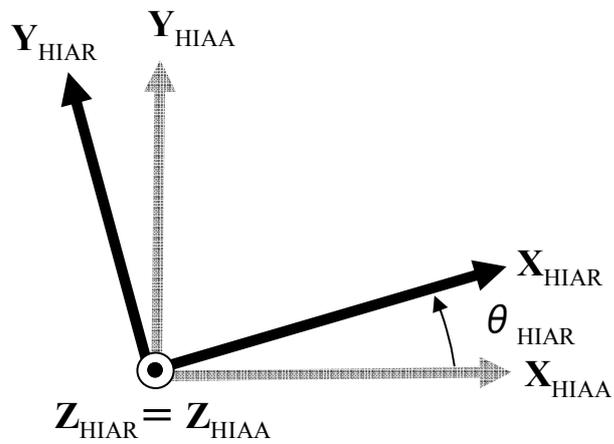
Figure 3-8 Definitions of elbow joint angle and bat-forearm angle



(a) Hip extension(-)/flexion(+) angle



(b) Hip adduction(-)/abduction(+) angle



(c) Hip internal(+)/external(-) rotation angle

Figure 3-9 Definition of hip joint angles

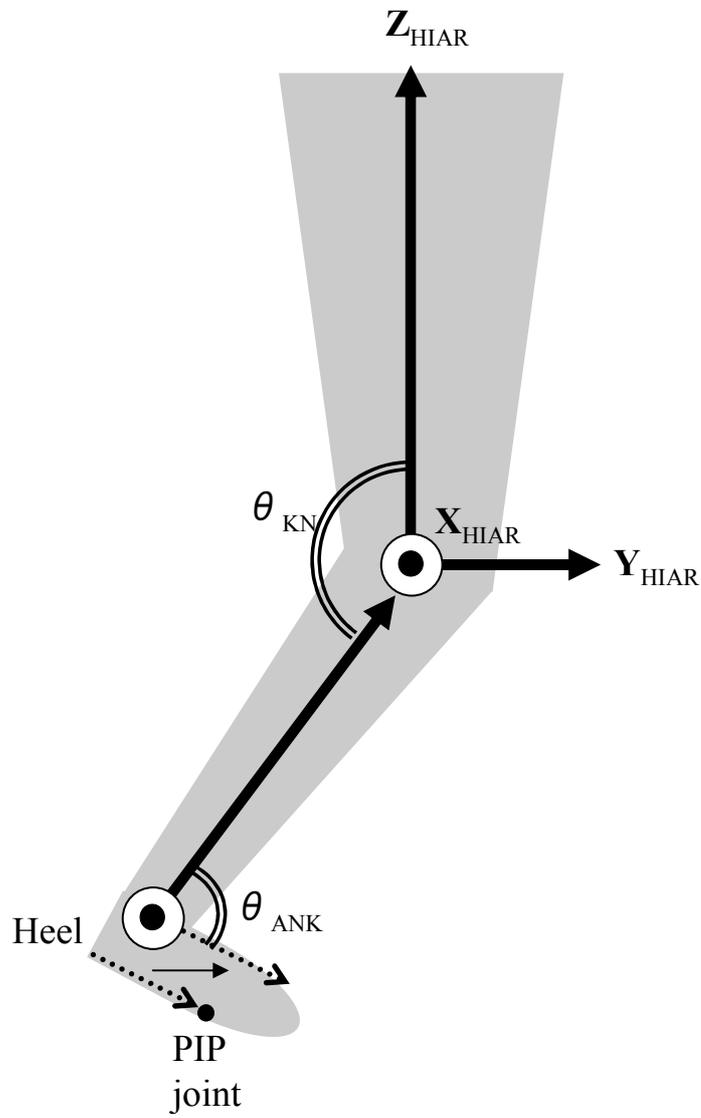


Figure 3-10 Definitions of knee and ankle joint angles

クトルのなす角度を足関節底屈背屈角度とした (図 3-10).

3.5.6 動作時点

動作時点を以下のように定義した (図 3-3).

動作時点 1… ステップ動作前に踏出足の地面反力の合成成分の大きさが最大となった時点

(以下「GRFmax」と略す)

動作時点 2… 身体重心が捕手方向へ最も移動した時点 (以下「CGmin」と略す)

動作時点 3… ステップ動作後に踏出足のつま先が地面に接地した時点 (以下「FC」と略す)

動作時点 4… 下胴角速度が正となった時点 (下胴回転開始: 以下「HIP」と略す)

動作時点 5… バット角速度が正となった時点 (バット回転開始: 以下「BAT」と略す)

動作時点 6… 両肋骨下端部を結ぶ線が水平面内で打球方向へ回転を開始した時点 (中胴回転

開始: 以下「RIB」と略す)

動作時点 7… 上胴角速度が正となった時点 (上胴回転開始: 以下「SHL」と略す)

動作時点 8… 身体重心速度の Y 軸成分が最大となった時点 (以下「CGv」と略す)

動作時点 9… 上下胴角度が最小値を示した時点 (体幹の捻りが最大となった時点: 以下

「TWI」と略す)

動作時点 10… 上胴角速度が最大となった時点 (以下「PSHL」と略す)

動作時点 11… ボールにバットが接触する直前時点 (以下「IM」と略す)

3.6 キネティクスのパラメータの算出項目および算出方法

キネティクスのパラメータは以下の手順により算出した。すなわち、まずセグメント座標系を定義し、その後、下肢・体幹部の関節力および関節トルクを算出した。

3.6.1 セグメント座標系の定義

身体に貼付したマーカー（図 3-2）を用いて、足、下腿、大腿、下胴に固定したセグメント座標系を設定した。右足セグメントでは踵からつま先へ向かうベクトルを y 軸、母指球中足骨から小指中足骨に向かうベクトルを補助ベクトル s 軸とし、 s 軸と y 軸のベクトル積により z 軸を、 y 軸と z 軸のベクトル積により x 軸を定義し、これを右足座標系とした。左足セグメントでは、 s 軸を小指中足骨から母指球中足骨に向かうベクトルとして、同様の処理を行うことにより座標系を定義した。右下腿セグメントでは足関節から膝関節へ向かうベクトルを z 軸とし、足関節内側から外側へ向かうベクトルから s 軸を求め、 z 軸と s 軸のベクトル積により y 軸を、 y 軸と z 軸のベクトル積により x 軸を定義し、これを右下腿座標系とした。左下腿セグメントでは、 s 軸を足関節外側から内側へ向かうベクトルとして、同様の処理を行うことにより座標系を定義した。右大腿セグメントでは膝関節から股関節へ向かうベクトルを z 軸とし、膝関節内側から外側へ向かうベクトルから s 軸を求め、 z 軸と s 軸のベクトル積により y 軸を、 y 軸と z 軸のベクトル積により x 軸を定義し、これを右大腿座標系とした。左大腿セグメントでは、 s 軸を膝関節外側から内側へ向かうベクトルとして、同様の処理を行うことにより座標系を定義した。なお、股関節の解剖学的座標系については、大腿座標系の x , y , z 軸を用い、それぞれを屈曲伸展、内転外転、内旋外旋軸とした。

下胴セグメントでは左股関節から右股関節へ向かうベクトルを x 軸とし、両股関節中心から両肋骨下端中点へ向かうベクトルを補助ベクトル s 軸とし、 s 軸と x 軸のベクトル積により y 軸を、 x 軸と y 軸のベクトル積により z 軸を定義し、これを下胴座標系とした。

3.6.2 下肢・体幹部の関節力および関節トルクの算出

セグメント角速度を算出するため、下肢および下胴の各セグメントの直交移動座標系の各軸回りの角速度成分 (ω_1 , ω_2 , ω_3) を以下の式により算出した (和達, 1983)。

$$\omega_1 = k \cdot \frac{dj}{dt}, \quad \omega_2 = i \cdot \frac{dk}{dt}, \quad \omega_3 = j \cdot \frac{di}{dt} \quad (1)$$

ここで、 i , j , k はそれぞれセグメント座標系の x , y , z 軸方向の単位ベクトルを示す。

セグメント座標系における角速度とセグメントの主慣性モーメント (阿江, 1996) を乗じることにより、セグメント座標系における角運動量を算出し、これを静止座標系に変換した。

セグメント j がセグメント $j+1$ から受ける関節力 \mathbf{F}_j を以下の式により算出した。

$$\mathbf{F}_j - \mathbf{F}_{j-1} - m_j \mathbf{g} \mathbf{K} = m_j \mathbf{a}_j \quad (2)$$

ここで \mathbf{a}_j はセグメント j の重心加速度、 \mathbf{F}_{j-1} はセグメント j がセグメント $j-1$ に作用させる関節力、 m_j はセグメント j の質量、 \mathbf{g} は重力加速度、 \mathbf{K} は静止座標系の Z 軸方向の単位ベクトルを示す。

セグメント j がセグメント $j+1$ から受ける関節トルク \mathbf{T}_j は以下の式により算出した。

$$\mathbf{T}_j - \mathbf{T}_{j-1} + \mathbf{r}_{j,j+1} \times \mathbf{F}_j - \mathbf{r}_{j,j-1} \times \mathbf{F}_{j-1} = \mathbf{M}_j \quad (3)$$

ここで \mathbf{T}_{j-1} はセグメント j がセグメント $j-1$ に作用させる関節トルク、 $\mathbf{r}_{j,j+1}$, $\mathbf{r}_{j,j-1}$ はセグメント j の重心から近位端、遠位端への位置ベクトルをそれぞれ示す。 \mathbf{M}_j は静止座標系における重心回りの角運動量を微分したものである。足部に関しては足部が地面に作用させるフリーモーメント成分を測定し、これを \mathbf{T}_{j-1} としている。

下胴セグメントが上胴セグメントから受ける関節力 \mathbf{F}_j と関節トルク \mathbf{T}_j (以下上下胴トルク) を以下の式により算出した。

$$\mathbf{F}_j - \mathbf{F}_{s_{j-1}} - \mathbf{F}_{p_{j-1}} - m_j \mathbf{g} \mathbf{K} = m_j \mathbf{a}_j \quad (4)$$

$$\mathbf{T}_j - \mathbf{T}_{s_{j-1}} - \mathbf{T}_{p_{j-1}} + \mathbf{r}_{j,j+1} \times \mathbf{F}_j - \mathbf{r}_{j,s_{j-1}} \times \mathbf{F}_{s_{j-1}} - \mathbf{r}_{j,p_{j-1}} \times \mathbf{F}_{p_{j-1}} = \mathbf{M}_j \quad (5)$$

ここで、 $\mathbf{F}_{s_{j-1}}$, $\mathbf{T}_{s_{j-1}}$ は下胴セグメントが踏出足側大腿セグメント s_{j-1} に作用させる関節力、関節トルクを示している。 $\mathbf{F}_{p_{j-1}}$, $\mathbf{T}_{p_{j-1}}$ は下胴セグメント j が軸足側大腿セグメント p_{j-1} に作用させる関節力、関節トルクを示している。また、 $\mathbf{r}_{j,j+1}$, $\mathbf{r}_{j,s_{j-1}}$, $\mathbf{r}_{j,p_{j-1}}$ は下胴セグメントの重心から上下胴分節点、踏出足側股関節、軸足側股関節への位置ベクトルをそれぞれ示す。なお、算出され

た関節力および関節トルクを被験者の体重で除すことにより規格化した。

3.6.3 関節力および股関節トルクの下胴回転成分

下胴の重心から股関節へ向かうベクトルと大腿セグメントから下胴セグメントへ作用する関節力とのベクトル積を両脚について算出し、関節力による下胴回転に作用するモーメントを求めた。さらに、そのモーメントを下胴座標系の z 軸へ投影した成分を股関節力によるモーメントの下胴回転成分とした。また、股関節トルクの各軸成分を下胴座標系における z 軸に投影し、股関節トルクの下胴回転成分を算出した。

3.7 データの規格化

時系列データは、SLOW においては CGmin から IM までに要した時間 (MT_{SLOW}) を 100% として規格化し、データを平均化した。また MEDIUM と FAST においては、CGmin から IM までに要した時間 (MT_{MEDIUM} , MT_{FAST}) を MT_{SLOW} で除すことにより SLOW の動作時間に対する割合 (%) を算出し、CGmin から IM までの時系列データを P_{MEDIUM} , P_{FAST} (%) として規格化し、データを平均化した。

第4章 野球における速度の異なるボールに対する打撃動作のキネマティクス的研究

4.1 目的

野球打撃において、ホームランやヒットの確率を上げるためには大きな打球速度の獲得が必要とされる。また、打球速度を大きくするためには、投手が投げるボールを時間的かつ空間的に正確に打撃することとバット速度を大きくすることの2つの要素が重要である。

一般に、指導現場においては速度の大きいボールに対して大きな打球速度を獲得できないことが問題の一つとして指摘されている。投球速度が大きい条件では、ボールを見る時間が制限されるため、時間的かつ空間的に正確にボールを打撃することが困難になると考えられる。また、スイング時間を短くすることがバットをボールに正確に当てるためには有効であることが指摘されている (Hay, 1978 ; 平野, 1984) が、スイング時間を短くするためには、スイング動作の開始時点を、よりインパクトに近づけて動作範囲を小さくする必要があり、それらの動作はインパクト時のバット速度の減少を招く可能性もある。したがって、速球に対する打撃では、バットをボールに正確に当てる能力を維持すること、そしてその上でバット速度の増加を図ることが重要となる。

これまで、打撃動作に関する研究には、バット速度を大きくする技術要因に関する研究 (大藪ら, 1979 ; 浅井, 1991 ; 小田ら, 1991 ; 宮西, 2004 ; 田内ら, 2004), バットをボールに正確に当てるための動作要因について検討した研究 (工藤, 1987 ; Matsuo and Kasai, 1994 ; 勝又と川合, 1996 ; Katsumata, 2007), 打者の意思決定に関する研究 (小村ら, 1983 ; 石田ら, 2000), 打撃の打ち分けや打撃ポイントの違いによる打撃動作の変化に関する研究 (McIntyre and Pfautsch, 1982 ; 田子ら, 2006a ; 田子ら, 2006b) などが行われてきた。その中で、バット速度を大きくするための技術要因について検討した研究では、主としてティーバッティングによ

るものであり、時間的な調整も関係する投球打撃において検討を行っていないことなどから、バット速度を大きくするために必要な技術が十分に明らかにされているとはいえない。また、バットをボールに正確に当てるための動作要因について検討した研究では、主として地面反力による分析であるため、3次元における動作分析が行われていないこと（勝又と川合，1996；Katsumata, 2007）、下肢の動作を制限するなど打撃動作に制限を加えていること（工藤，1987）、ボールを発光ダイオードで代用した打撃のシミュレートであること（Matsuo and Kasai, 1994）などから、実際の打撃においてバットをボールに正確に当てるための動作要因が十分に検討されていない。以上のことから、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするための動作についても、主観に基づく指導が多いのが現状である。

本章の目的は、速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴をキネマティクスの的に明らかにすることにより、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な動作要因を明らかにすることである。

4.2 方法

4.2.1 データ収集とデータ処理

データ収集およびデータ処理は第3章で述べた方法を用いた。

4.2.2 算出項目および算出方法

① 打球速度およびバットヘッド速度

打球速度とバットヘッド速度 (V_{Bat}) は第3章で述べた方法を用いて算出した。

② インパクト角

インパクト角は第3章で述べた方法を用いて算出した。

③ 反発係数

反発係数 e を以下の式により算出した.

$$e = (\mathbf{V}'_b - \mathbf{V}'_a) / (\mathbf{V}_a - \mathbf{V}_b) \quad (1)$$

ここで

\mathbf{V}_a : インパクト直前のバットヘッド速度の \mathbf{Y} 軸成分

\mathbf{V}_b : インパクト直前のボール速度の \mathbf{Y} 軸成分

\mathbf{V}'_a : インパクト直後のバットヘッド速度の \mathbf{Y} 軸成分

\mathbf{V}'_b : インパクト直後のボール速度の \mathbf{Y} 軸成分

④ 手部速度

両手部に貼付した計測点の midpoint の座標を手部 midpoint とし, これを数値微分することにより手部速度 (\mathbf{V}_{Hand}) を算出した.

⑤ バットヘッド速度の並進成分と回転成分

手部速度 (\mathbf{V}_{Hand}) と手部速度に対するバットヘッドの相対速度との関係から, バットヘッド速度 (\mathbf{V}_{Bat}) は以下のように表せる.

$$\mathbf{V}_{Bat} = \mathbf{V}_{Hand} + \boldsymbol{\omega}_{Bat} \times \mathbf{r}_{HT} \quad (2)$$

ここで $\boldsymbol{\omega}_{Bat}$ はバットの角速度ベクトル, \mathbf{r}_{HT} は手部 midpoint からバットヘッドへ向かう位置ベクトルを表している. 本研究では, \mathbf{V}_{Hand} のバット速度ベクトルへの投影成分をバット速度の並進成分, $\boldsymbol{\omega}_{Bat} \times \mathbf{r}_{HT}$ のバット速度ベクトルへの投影成分をバット速度の回転成分とした.

⑥ バットヘッドの移動距離

CGmin から IM までの各時点から IM までのバットヘッドの軌跡の長さ (以下「バット移動距離」) を算出した.

⑦ 身体重心位置および身体重心速度

身体重心位置および身体重心速度は第 3 章で述べた方法を用いて算出した.

⑧ XY 平面内におけるバットおよび体幹部の角度

XY 平面内におけるバットおよび体幹部の角度，角速度は第 3 章で述べた方法を用いて算出した。

⑨ 動作時間

第 3 章で述べた動作時点のうち，CGmin, HIP, BAT, SHL, TWI, PSHL から IM までの動作時間を算出した。

⑩ 関節角度

上肢および下肢の関節角度を第 3 章で述べた方法を用いて算出した。

4.2.3 統計処理

各測定項目におけるボール速度条件間の差を検定するために，反復測定の一元配置分散分析を行った。その結果，F 値が有意であった項目に関しては，Scheffe の方法により多重比較検定を行った。なお，統計処理の有意性は危険率 5%で判定した。

4.3 結果

4.3.1 打球速度

図 4-1 は分析を行った被験者の打球速度の Y 軸成分をボール速度条件毎に示したものである。高速度 VTR カメラによりボール速度を測定した被験者は 14 名中 10 名であったため，図 4-1 では 10 名分の結果を示している。左図では全ての分析対象者の値をボール速度条件毎に示し，右図ではボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示している。以降，各測定項目におけるボール速度条件間の比較では図 4-1 と同様の処理をしており，有意差がみられたものについては，右図に記すものとする。打球速度の Y 軸成分にはボール速度条件間に有意差はみられなかった。

4.3.2 インパクト角と反発係数

図 4-2 は、分析を行った被験者のインパクト角をボール速度条件毎に示したものである。インパクト角にはボール速度条件間に有意差はみられなかった。

図 4-3 はインパクト角および反発係数を分析した全被験者のインパクト角と反発係数の関係を示したものである。反発係数が負の値を示した被験者がいるが、これはインパクト直後のボール速度の Y 軸成分がインパクト直後のバット速度の Y 軸成分よりも小さかったことを意味している。インパクト角と反発係数との間には強い負の相関関係 ($p<0.001$) が認められた。

4.3.3 バット速度およびバット速度の並進成分と回転成分

図 4-4 は、全被験者の IM でのバット速度とバット速度の並進成分と回転成分をボール速度条件毎に示したものである。IM でのバット速度は、SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が有意に小さかった (順に $p<0.05$, $p<0.01$)。バット速度の並進成分はボール速度条件間に有意差はみられなかったが、バット速度の回転成分では SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が有意に小さかった (順に $p<0.01$, $p<0.05$)。

4.3.4 打球速度とインパクト角および打球速度とバット速度との関係

表 4-1 は打球速度の Y 軸成分とインパクト角および IM でのバット速度との関係を示したものである。SLOW では、打球速度の Y 軸成分とインパクト角との間に相関関係は認められなかったが、打球速度の Y 軸成分とバット速度との間に相関関係が認められる傾向にあった ($p=0.081$)。一方、MEDIUM と FAST では、打球速度の Y 軸成分とインパクト角との間に負の相関関係が認められた ($p<0.001$)。

4.3.5 動作時間

表 4-2 は、CGmin からボールリリースまでの時間および CGmin, HIP, BAT, SHL, TWI,

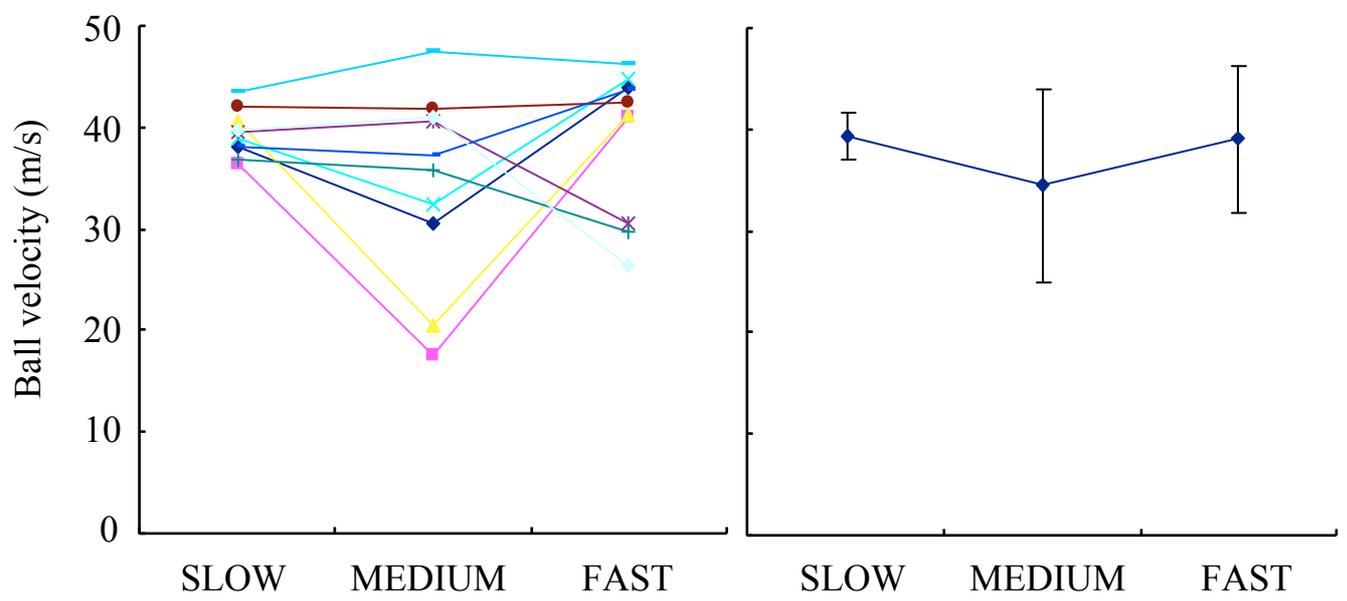


Figure 4-1 Hit ball velocity (Y axis component)

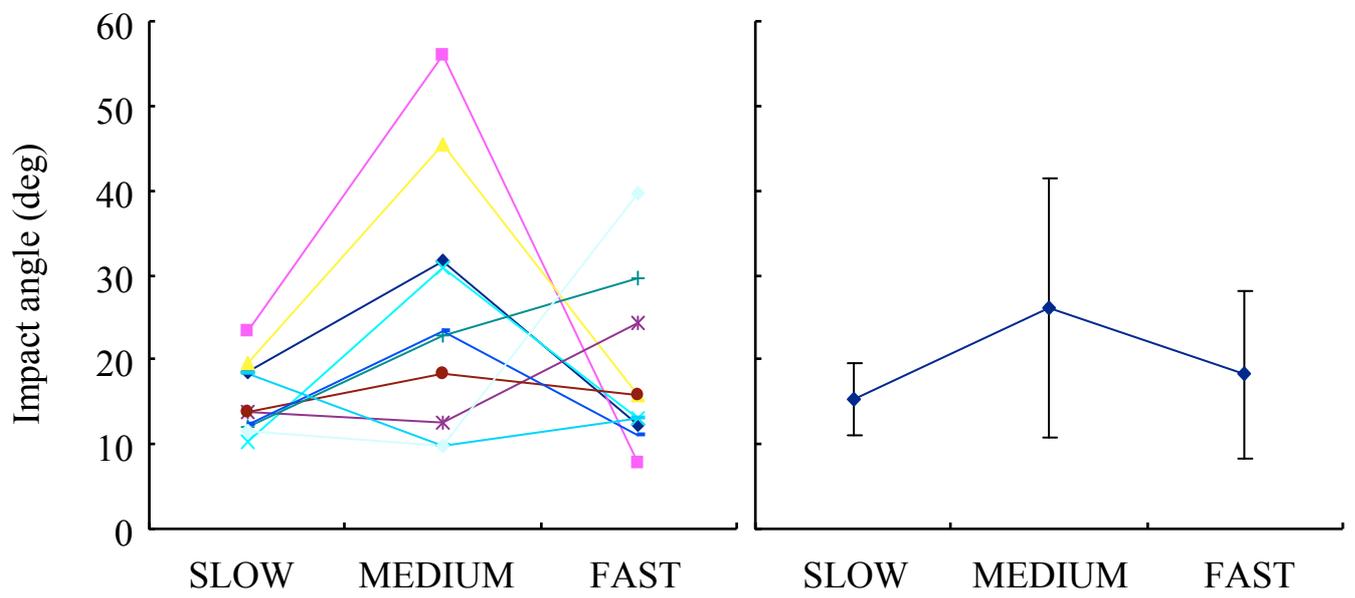


Figure 4-2 Impact angle

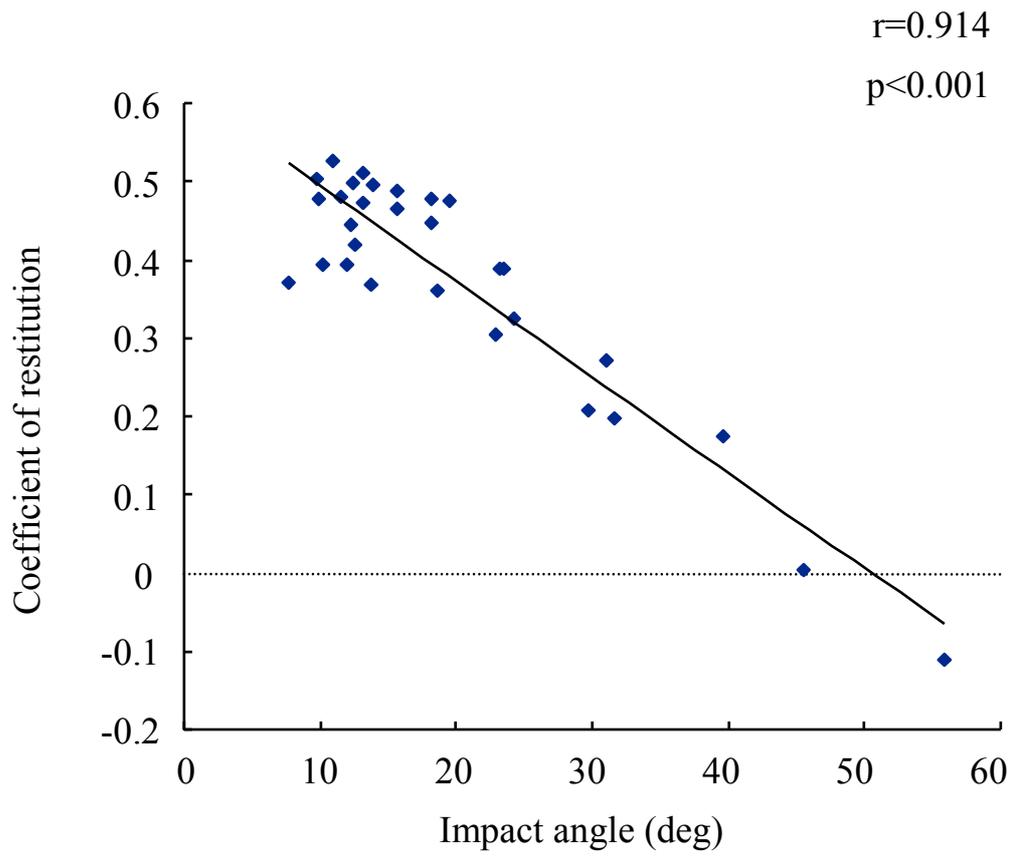


Figure 4-3 Relationship between impact angle and coefficient of restitution (n=30)

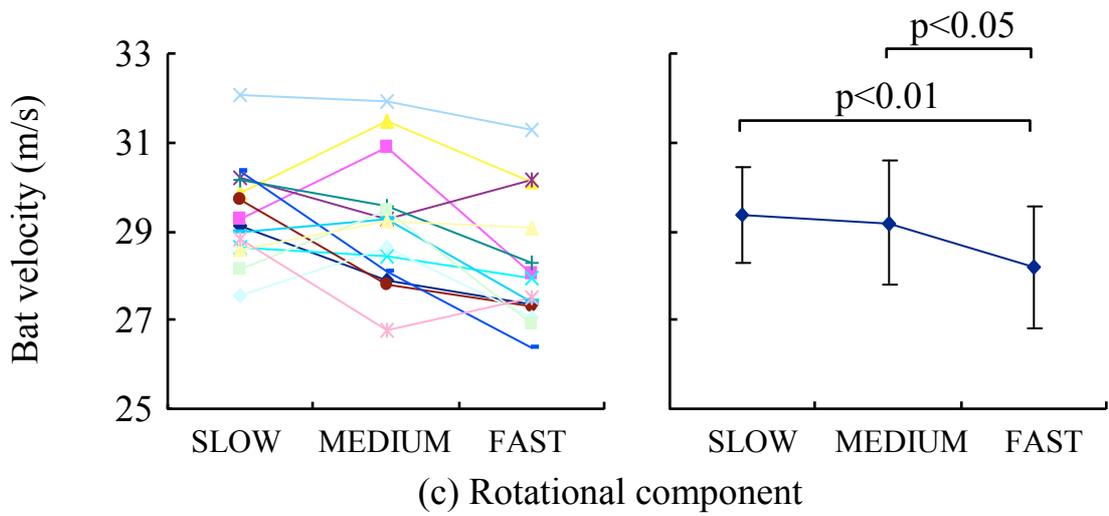
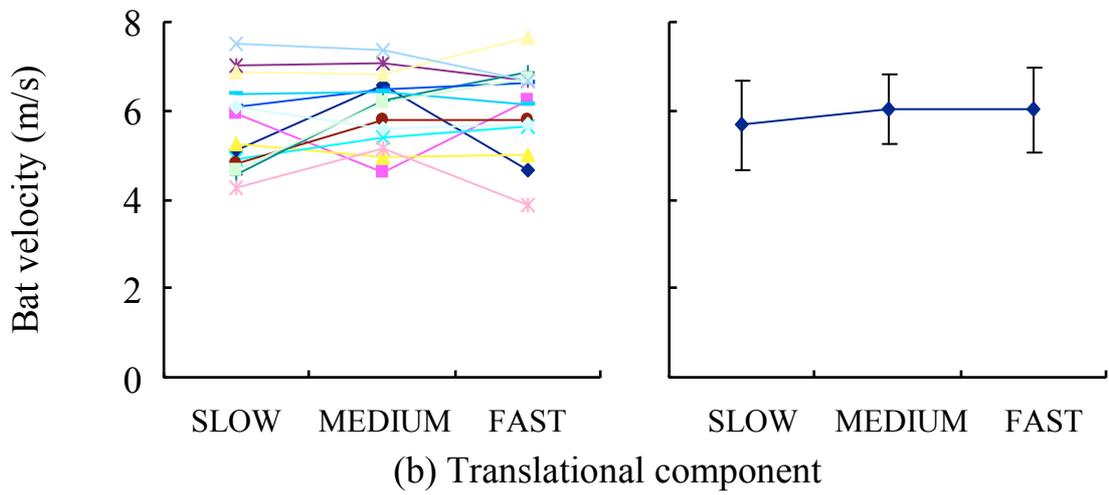
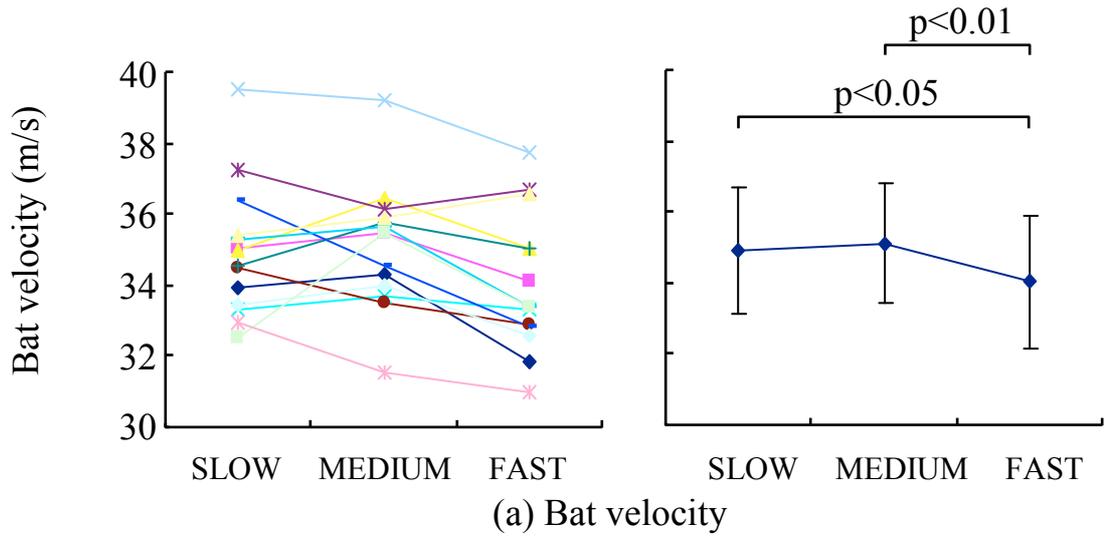


Figure 4-4 Bat velocity at IM

Table 4-1 Relationships of Y axis component of hit ball velocity to bat head velocity, and impact angle

	SLOW (n=10)	MEDIUM (n=10)	FAST (n=10)
Ball velocity- Bat velocity	0.577 ns (p=0.081)	0.145 ns	0.765 **
Ball velocity- Impact angle	0.032 ns	-0.974 ***	-0.917 ***

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Table 4-2 Time from CGmin to ball release and movement times from motion events to IM

	CGmin-ball release	CGmin	HIP	BAT	SHL	TWI	PSHL
SLOW	0.01 ± 0.09	0.75 ± 0.14	0.30 ± 0.06	0.25 ± 0.06	0.20 ± 0.04	0.11 ± 0.01	0.05 ± 0.00
MEDIUM	0.11 ± 0.11	0.66 ± 0.11	0.27 ± 0.05	0.26 ± 0.06	0.20 ± 0.05	0.11 ± 0.01	0.05 ± 0.01
FAST	0.15 ± 0.16	0.66 ± 0.15	0.28 ± 0.04	0.26 ± 0.05	0.20 ± 0.04	0.11 ± 0.01	0.05 ± 0.01
Difference	S<M,F**	S>M**	ns	ns	ns	ns	ns
	M<F*	S>F**					

S:SLOW M:MEDIUM F:FAST * : p<0.05 , ** : p<0.01 unit:s

PSHL の各動作時点から IM までの動作時間をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。CGmin からボールリリースまでの時間は値が大きいほどボールリリースよりも前に CGmin が出現していたことを示す。CGmin からボールリリースまでの時間はボール速度が大きくなるに従って有意に大きくなる特徴を示した (SLOW<MEDIUM, FAST ; $p<0.01$, MEDIUM<FAST; $p<0.05$)。CGmin から IM までの動作時間は, SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が有意に短かった ($p<0.01$)。他の動作時間にはボール速度条件間に有意差はみられなかった。

4.3.6 身体重心の移動

図 4-5 は全被験者の GRFmax から CGmin までの Y 軸方向の身体重心移動距離をボール速度条件毎に示したものである。GRFmax から CGmin までの Y 軸方向の身体重心移動距離はボール速度条件間に有意差はみられなかった。図 4-6 は全被験者の CGmin から IM までの Y 軸方向の身体重心移動距離をボール速度条件毎に示したものである。Y 軸方向への身体重心移動距離はボール速度が大きくなるに従って小さくなっており, SLOW に比べて FAST と MEDIUM の方が有意に小さかった ($p<0.05$)。図 4-7 は CGmin から IM までの全被験者の身体重心速度の時系列データをボール速度条件毎に規格化し, 平均化したものである。なお左図は IM を基準として示したものであり, 右図は CGmin を基準として示している。SLOW では CGmin 以降に身体重心速度が緩やかに増加するのに対して, MEDIUM と FAST では比較的急激に増加する傾向を示していた (図 4-7 右図)。図 4-8 は, 全被験者の身体重心速度の最大値をボール速度条件毎に示したものである。身体重心速度の最大値は SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が有意に小さかった (順に $p<0.01$, $p<0.05$)。図 4-9 は全被験者の CGmin での軸足つま先から IM での手部中点までの Y 軸方向距離をボール速度条件毎に示したものである。CGmin での軸足つま先から IM での手部中点までの Y 軸方向距離では, SLOW に比べて FAST の方が有意に小さ

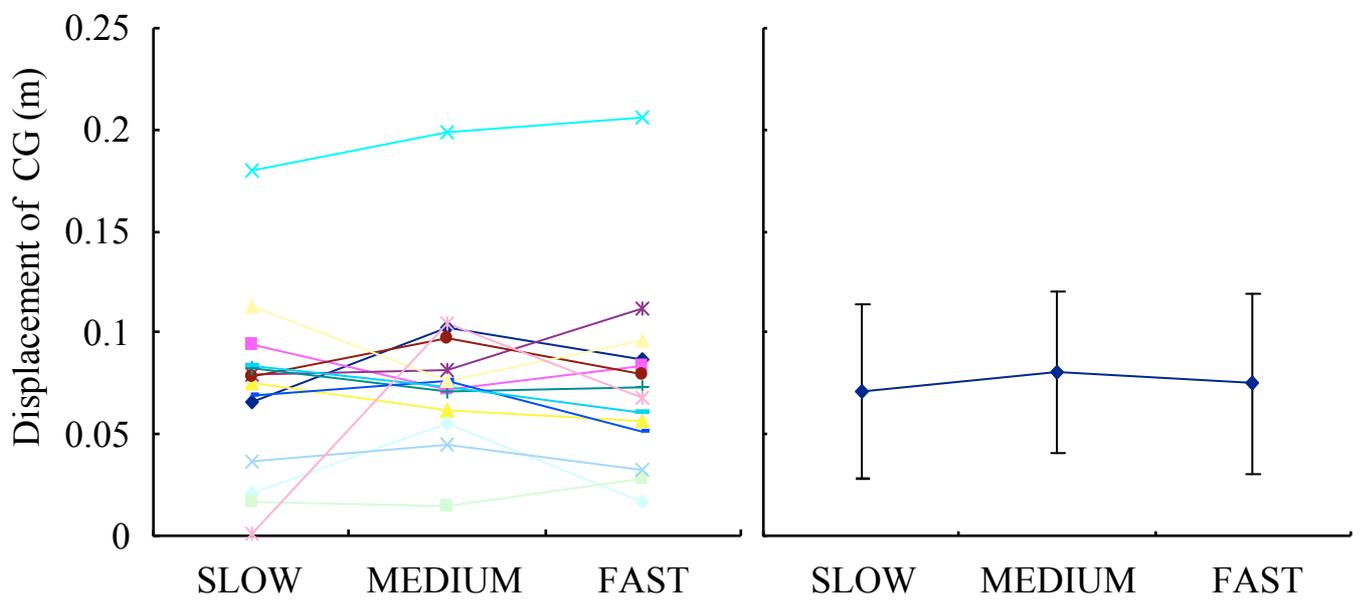


Figure 4-5 Displacement of the center of gravity from GRFmax to CGmin

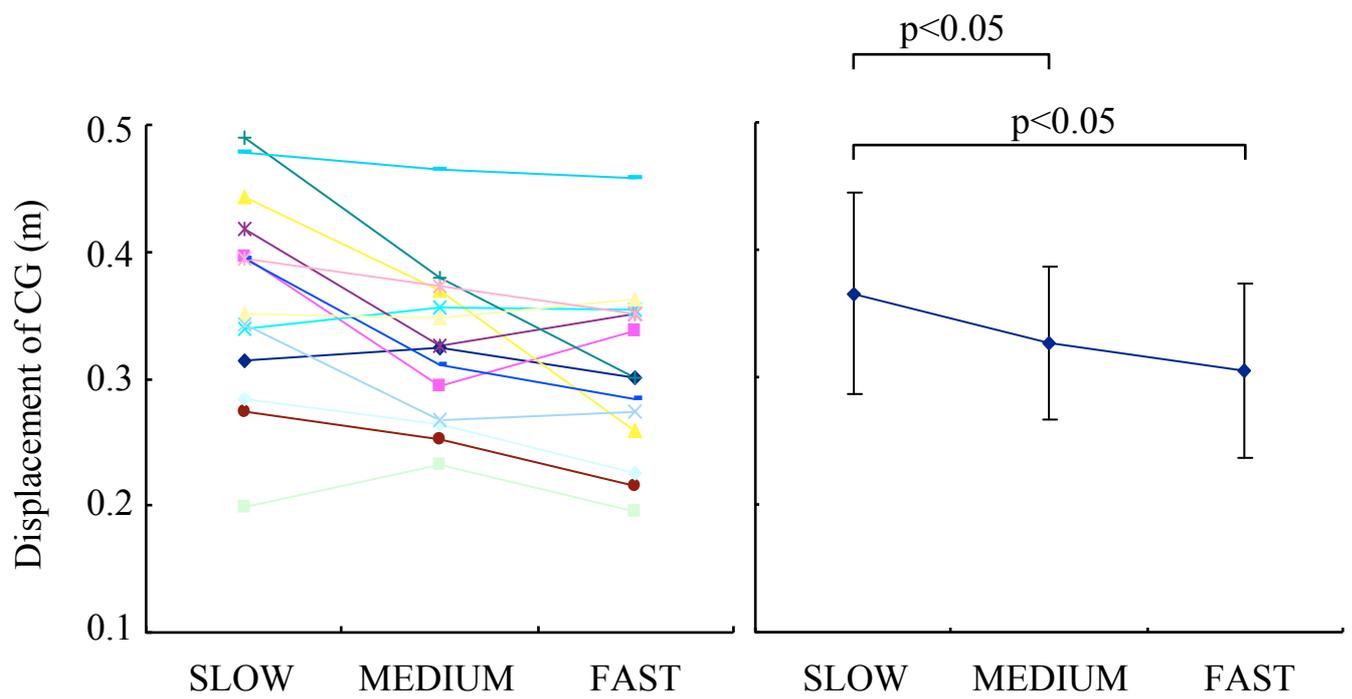


Figure 4-6 Displacement of the center of gravity from CGmin to IM

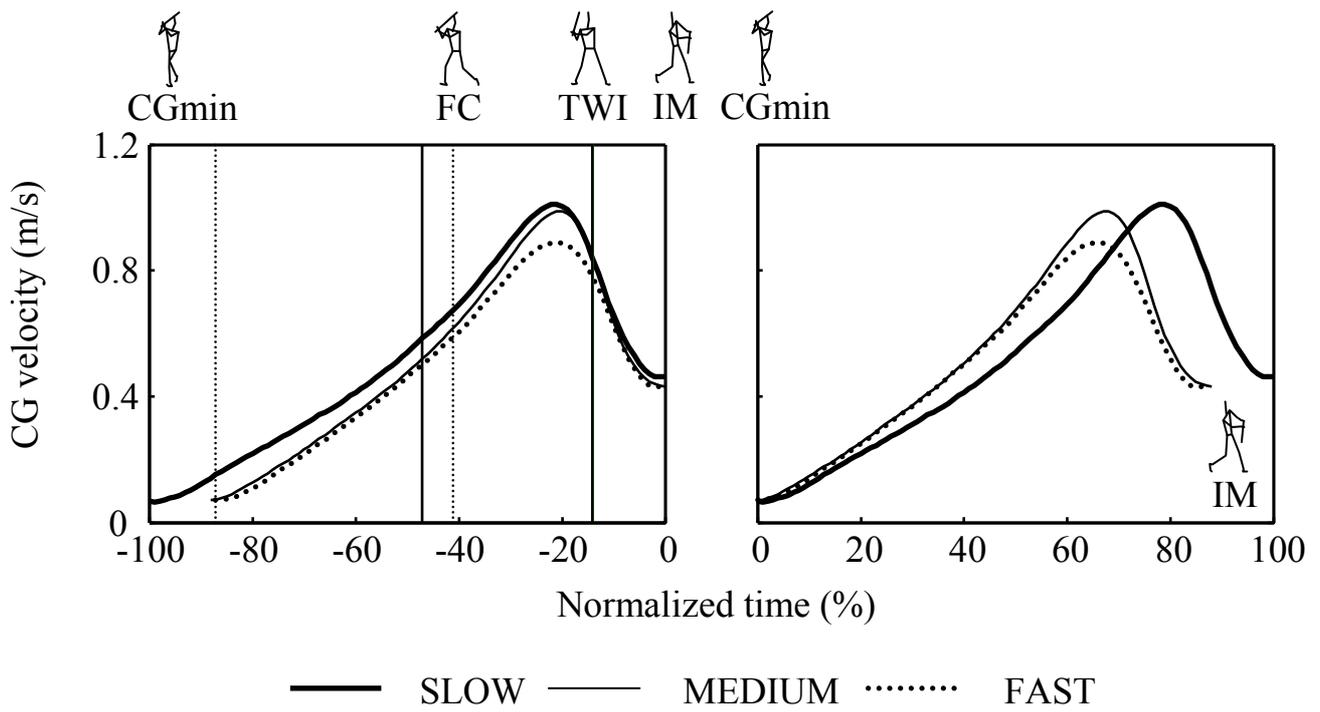


Figure 4-7 Velocity of the center of gravity

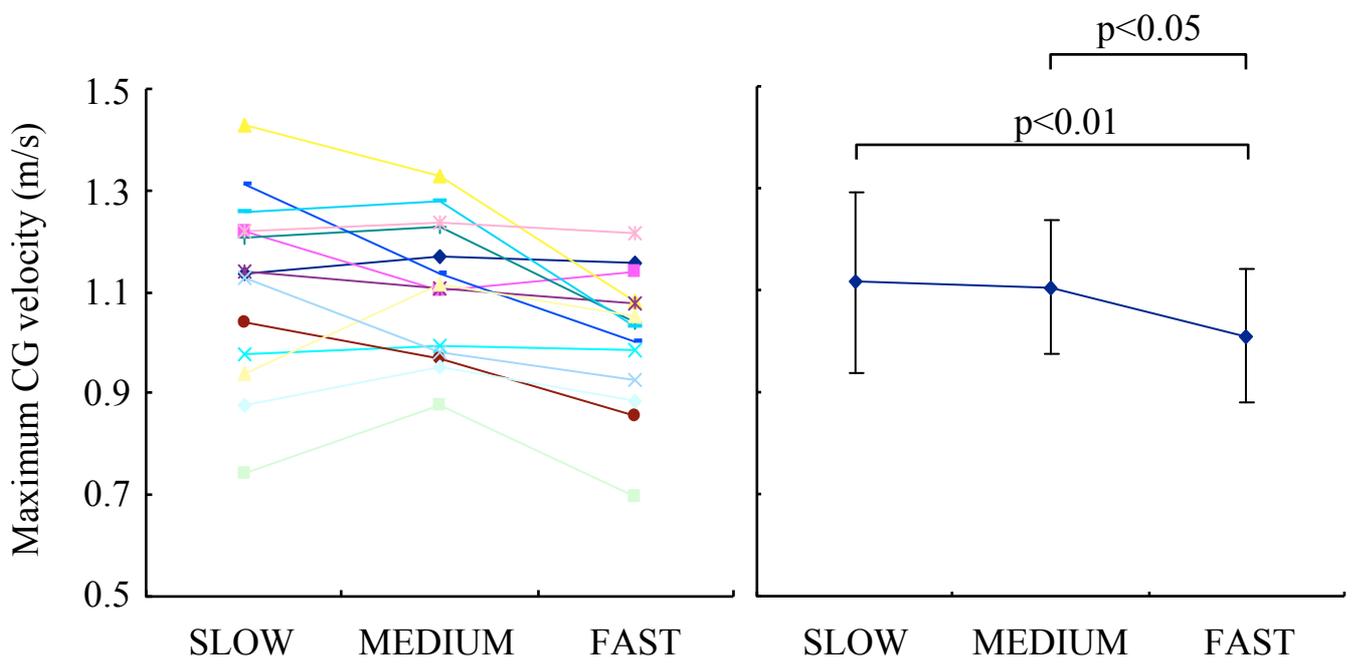


Figure 4-8 Maximum velocity of the center of gravity

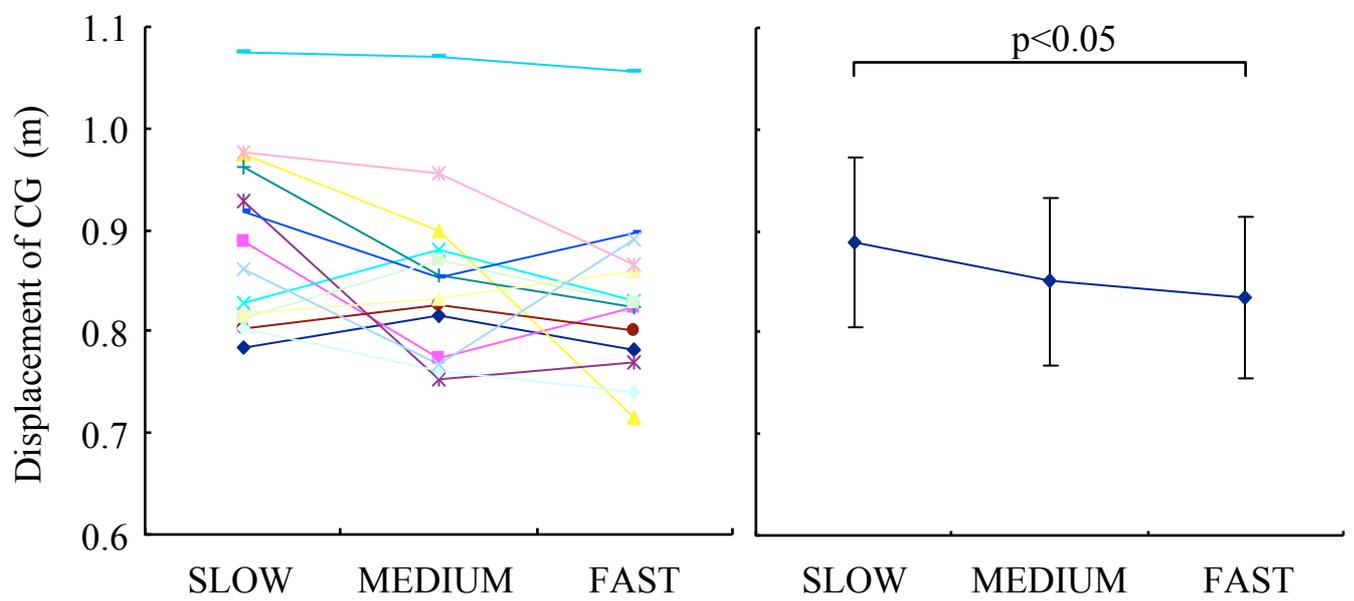


Figure 4-9 Displacement from toe of pivot foot at CGmin to center of the hand at IM in Y axis

かった ($p<0.05$).

4.3.7 バット移動距離およびバットと身体の回転運動

図 4-10a は、CGmin から IM までの各時点から IM までのバット移動距離を、IM を基準として示したものである。また図 4-10b は全被験者の BAT から IM までのバット移動距離をボール速度条件毎に示したものである。BAT から IM までのバット移動距離はボール速度条件間に有意差はみられなかった。

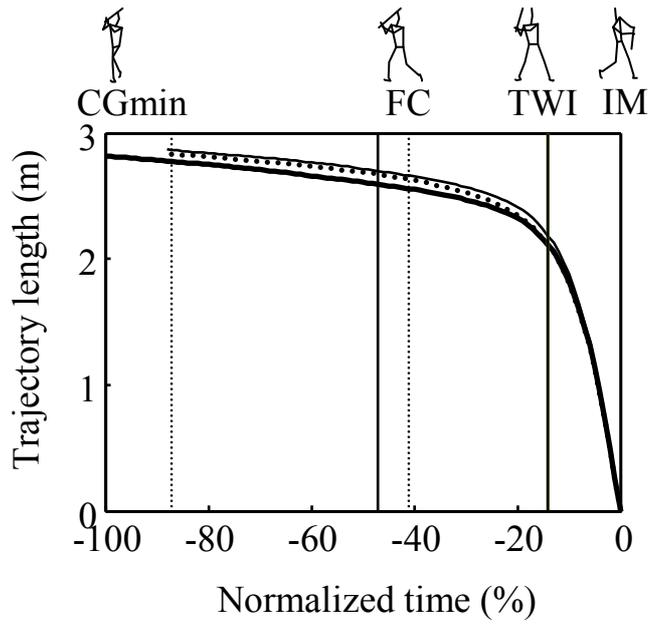
図 4-11 は各動作時点におけるバット角度、上胴角度、下胴角度をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。なお、ここで角度が大きいとは、バットあるいは体幹が打球方向へ回転していることを示している。各動作時点におけるバット角度および上胴角度では TWI においてのみボール速度条件間に有意差がみられ、SLOW に比べて FAST の方が有意に大きかった ($p<0.05$)。一方、下胴角度には、すべての動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

図 4-12 は、全被験者の TWI での上下胴角度をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。TWI での上下胴角度はボール速度条件間に有意差はみられなかった。

表 4-3 は、上胴角速度、下胴角速度、上下胴角速度の最大値をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。上胴角速度の最大値は、有意差はみられなかったものの、SLOW に比べて FAST の方が小さい傾向を示した ($p=0.052$)。

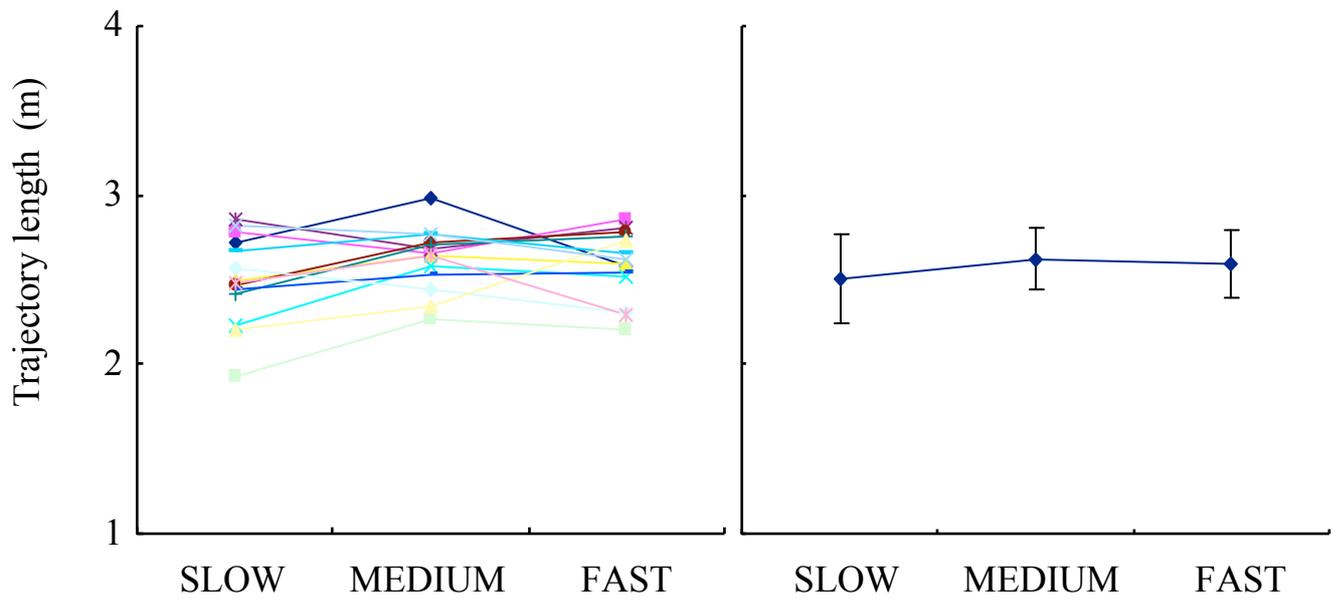
図 4-13 は上胴角速度の最大値と IM でのバット角速度の関係を示したものである。上胴角速度の最大値と IM でのバット角速度との間には正の相関関係が認められた ($p<0.001$)。

図 4-14 は TWI から IM までのバットおよび上胴の回転動作範囲を示したものである。TWI から IM までの上胴の回転動作範囲は SLOW に比べて FAST と MEDIUM の方が小さかった ($p<0.01$)。TWI から IM までのバットの回転動作範囲にはボール速度条件間において有意差は



— SLOW — MEDIUM FAST

(a) Averaged patterns of trajectory length of bat head



(b) Trajectory length of bat head from BAT to IM

Figure 4-10 Trajectory length of bat head

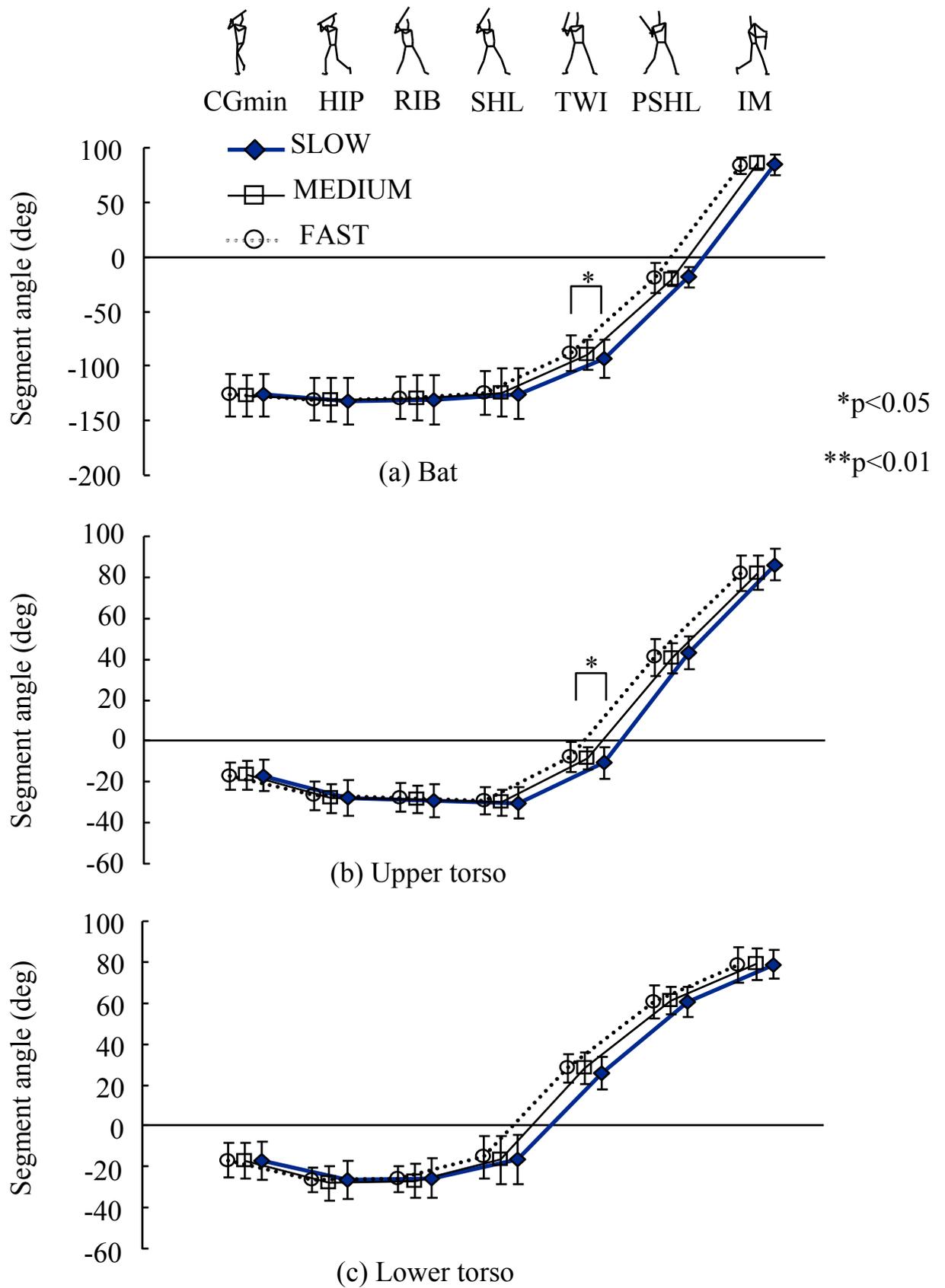


Figure 4-11 Angles of bat and torso

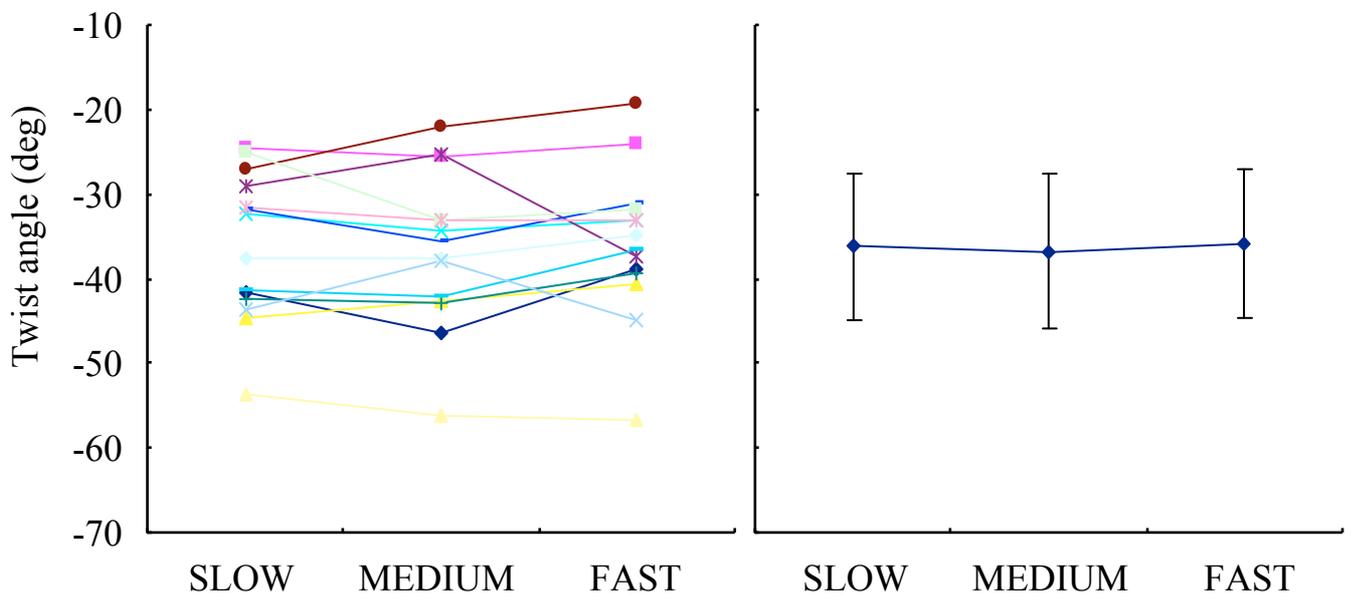


Figure 4-12 Torso twist angle at TWI

Table 4-3 Maximum angular velocities of torso segments in XY plane

	Upper torso	Lower torso	Torso twist
SLOW	1067.2 ± 69.7	650.2 ± 61.7	581.3 ± 90.6
MEDIUM	1041.3 ± 95.7	659.1 ± 61.5	564.2 ± 92.5
FAST	1017.2 ± 94.9	638.9 ± 62.5	551.2 ± 79.3
Difference	ns (S>F, p=0.052)	ns	ns

unit:deg/s

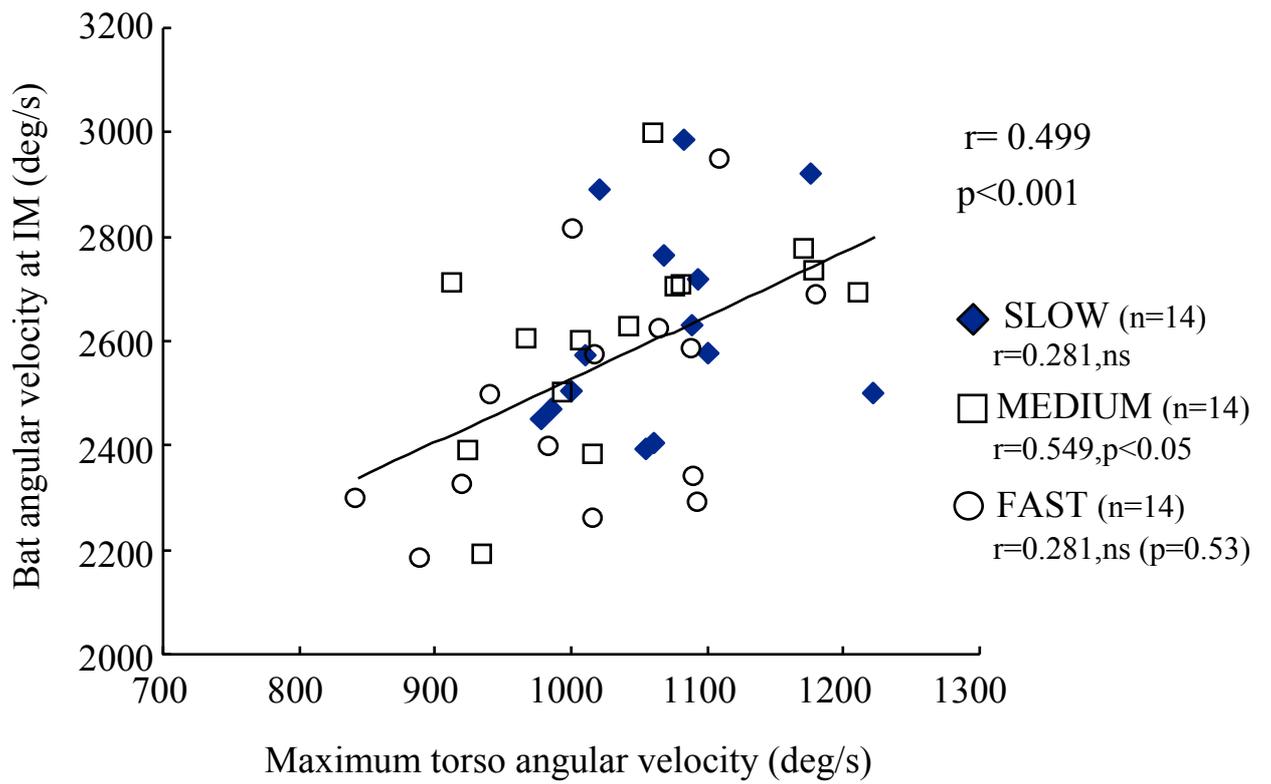
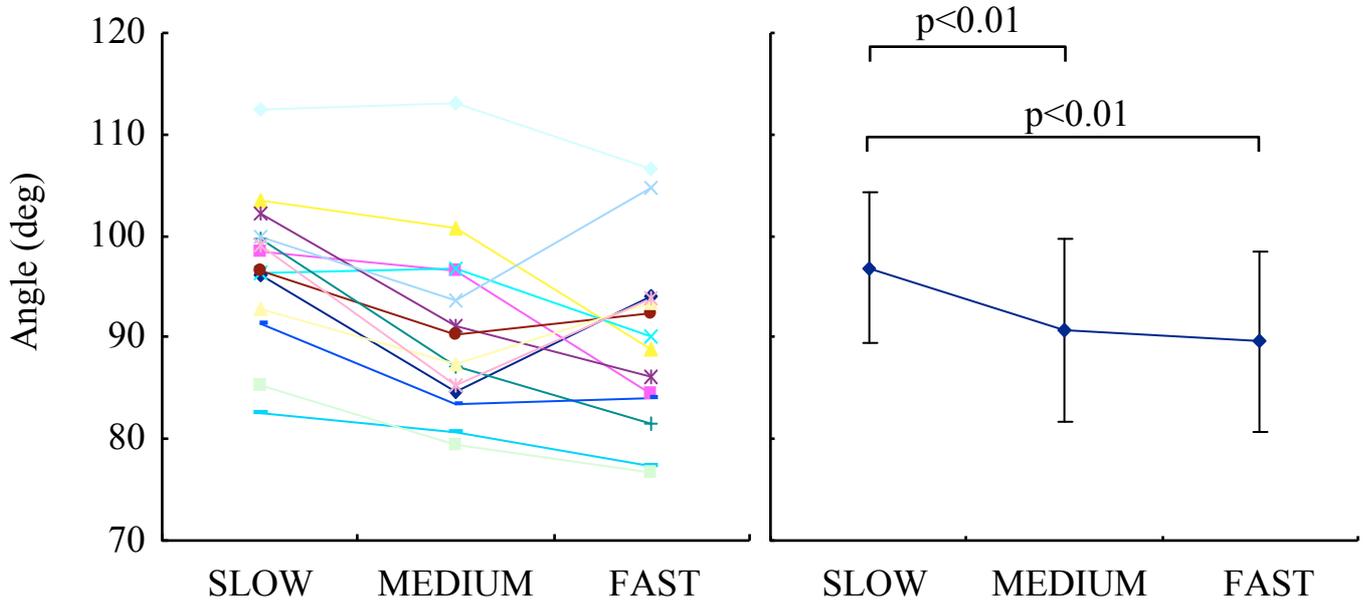
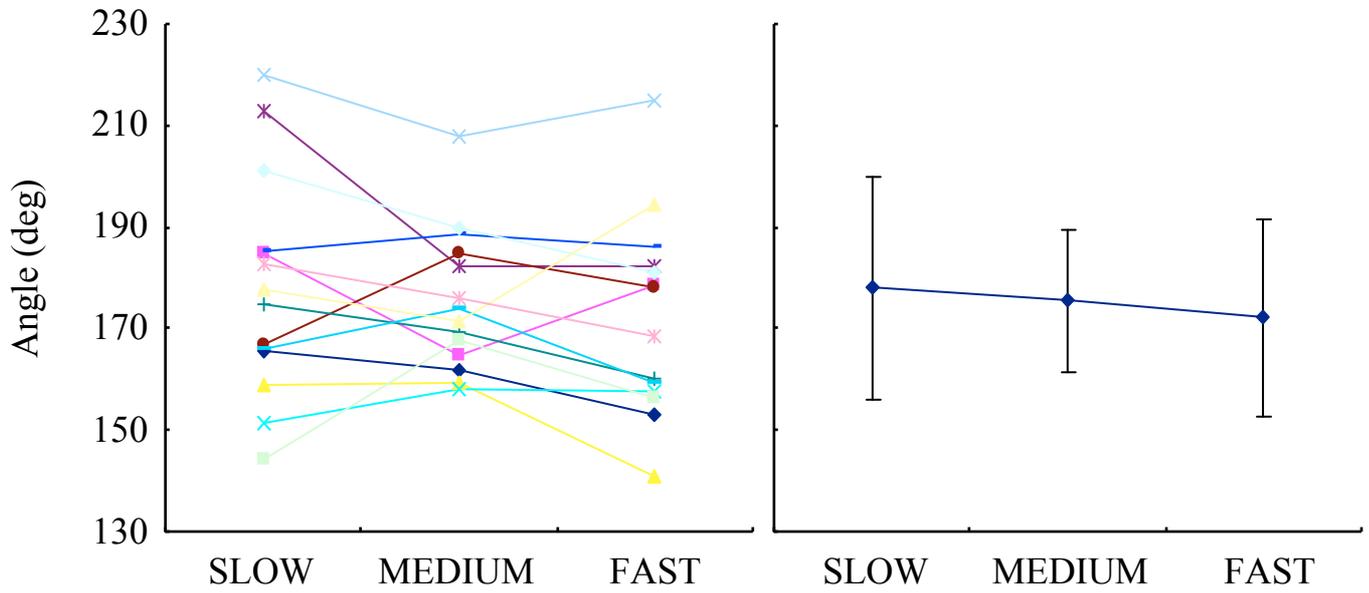


Figure 4-13 Relationship between maximum torso angular velocity and bat angular velocity at IM (n=42)

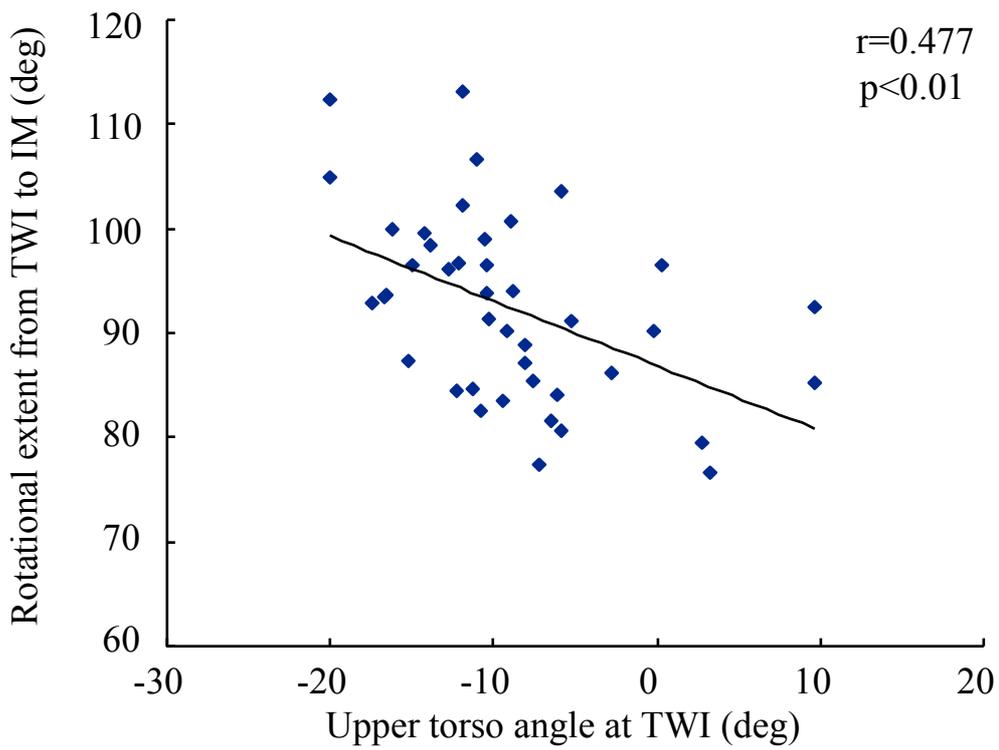


(a) Upper torso

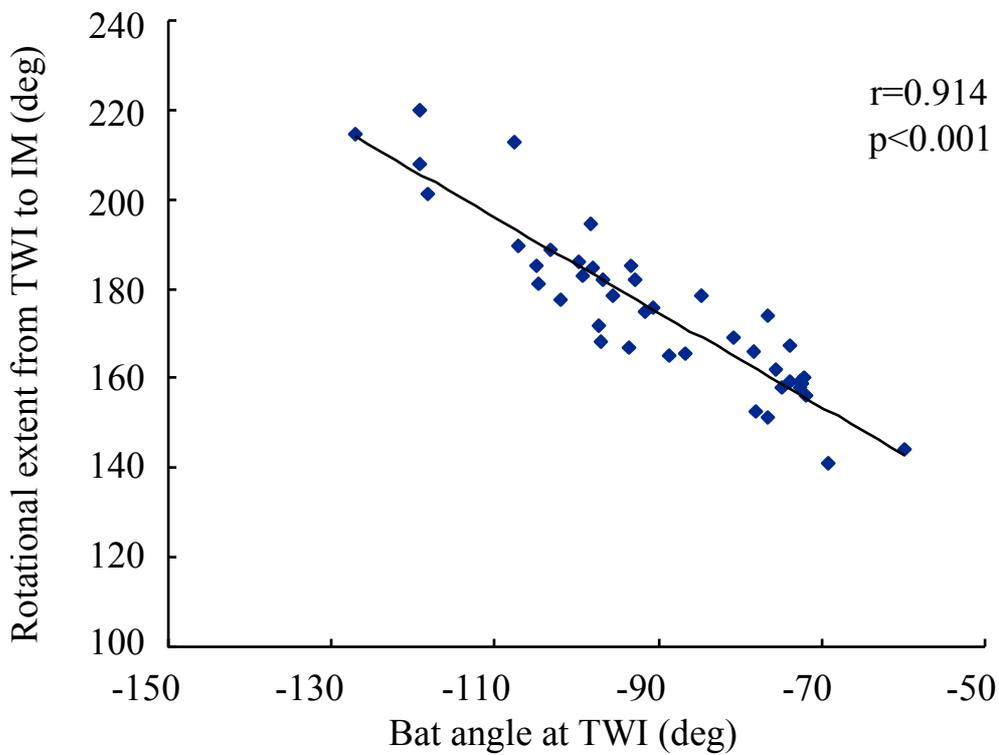


(b) Bat

Figure 4-14 Rotational extent from TWI to IM about upper torso and bat



(a) Upper torso



(b) Bat

Figure 4-15 Relationships between the angle at TWI and rotational extent from TWI to IM about upper torso and bat (n=42)

みられなかった。図 4-15 は TWI でのバット角度と TWI から IM までのバットの回転動作範囲の関係、および TWI での上脗角度と TWI から IM までの上脗の回転動作範囲の関係をそれぞれ示したものである。バット角度および上脗角度はともに、TWI での角度と TWI から IM までの回転動作範囲の間に負の相関関係が認められた（順に $p < 0.001$, $p < 0.01$ ）。

4.3.8 関節角度

① 踏出足側肩関節角度

図 4-16a~c は各動作時点における踏出足側肩関節屈曲伸展角度、肩関節内転外転角度、肩関節内旋外旋角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。踏出足側肩関節屈曲伸展角度、肩関節内転外転角度、肩関節内旋外旋角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

② 踏出足側肘関節屈曲伸展角度

図 4-17 は各動作時点における踏出足側肘関節屈曲伸展角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。踏出足側肘関節屈曲伸展角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

③ 踏出足側バット前腕角度

図 4-18 は各動作時点における踏出足側バット前腕角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。踏出足側バット前腕角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

④ 踏出足側股関節角度

図 4-19a~c は各動作時点における踏出足側股関節屈曲伸展角度、股関節内転外転角度、股関節内旋外旋角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。踏出足側股関節屈曲伸展角度、股関節内転外転角度は各動作時点でボール速度条件間に有意差はみ

られなかった。HIP および PSHL の股関節内旋外旋角度は、SLOW に比べて MEDIUM の方が有意に小さかった (いずれも $p<0.05$)。

⑤ 踏出足側膝関節屈曲伸展角度

図 4-20 は各動作時点における踏出足側膝関節屈曲伸展角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。踏出足側膝関節屈曲伸展角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

⑥ 踏出足側足関節底屈背屈角度

図 4-21 は各動作時点における踏出足側足関節底屈背屈角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。踏出足側足関節底屈背屈角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

⑦ 軸足側肩関節角度

図 4-22a~c は各動作時点における軸足側肩関節屈曲伸展角度、肩関節内転外転角度、肩関節内旋外旋角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。軸足側肩関節屈曲伸展角度、肩関節内旋外旋角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。PSHL および IM の肩関節内転外転角度では、SLOW に比べて FAST の方が有意に大きかった (いずれも $p<0.05$)。

⑧ 軸足側肘関節屈曲伸展角度

図 4-23 は各動作時点における軸足側肘関節屈曲伸展角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。軸足側肘関節屈曲伸展角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

⑨ 軸足側バット前腕角度

図 4-24 は各動作時点における軸足側バット前腕角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。軸足側バット前腕角度には各動作時点でボール速度条件間

に有意差はみられなかった。

⑩ 軸足側股関節角度

図 4-25a~c は各動作時点における軸足側の股関節屈曲伸展角度，股関節内転外転角度，股関節内旋外旋角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。軸足側股関節屈曲伸展角度は HIP, RIB, IM において SLOW に比べて FAST の方が有意に大きく ($p<0.05$)，CGmin, HIP, RIB において MEDIUM に比べて FAST の方が有意に大きかった ($p<0.05$)。軸足側股関節内旋外旋角度は TWI, PSHL において SLOW に比べて FAST の方が有意に小さかった (順に $p<0.01$, $p<0.05$)。軸足側股関節内転外転角度には各動作時点でボール速度条件間に有意差はみられなかった。

⑪ 軸足側膝関節屈曲伸展角度

図 4-26 は各動作時点における軸足側膝関節屈曲伸展角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。軸足側膝関節屈曲伸展角度は HIP, RIB, SHL において SLOW に比べて FAST の方が小さく (いずれも $p<0.01$)，HIP, RIB において MEDIUM に比べて FAST の方が有意に小さかった (いずれも $p<0.05$)。

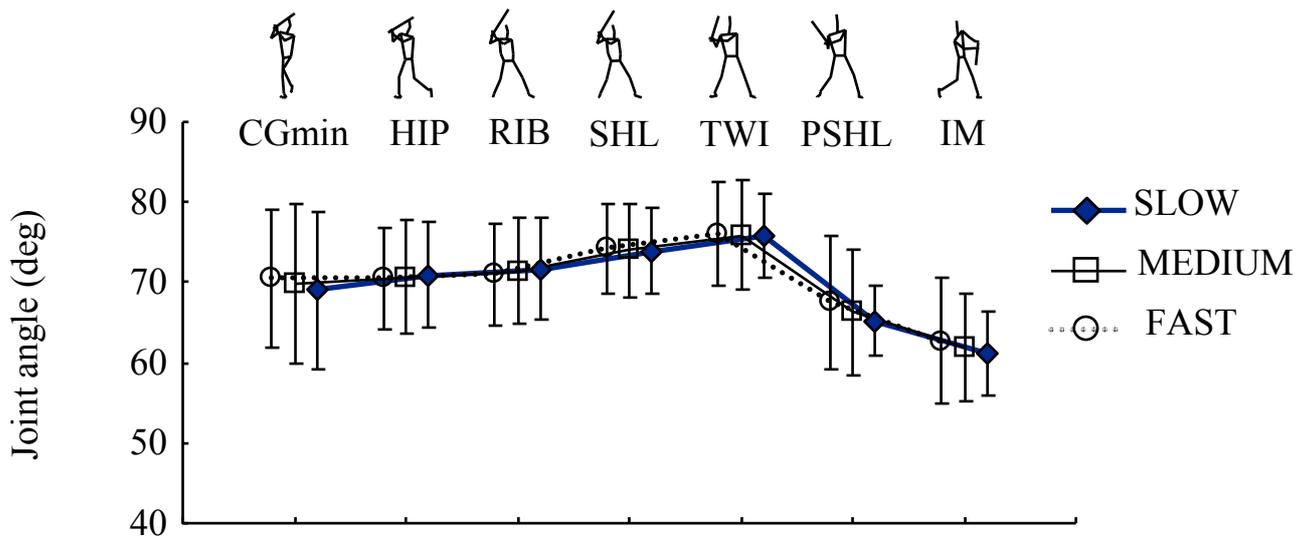
⑫ 軸足側足関節底屈背屈角度

図 4-27 は各動作時点における軸足側足関節底屈背屈角度をボール速度条件毎に全被験者の平均値と標準偏差で示したものである。軸足側足関節底屈背屈角度は RIB, PSHL, IM において SLOW に比べて FAST の方が有意に小さく (いずれも $p<0.05$)，IM において MEDIUM に比べて FAST の方が有意に小さかった ($p<0.05$)。

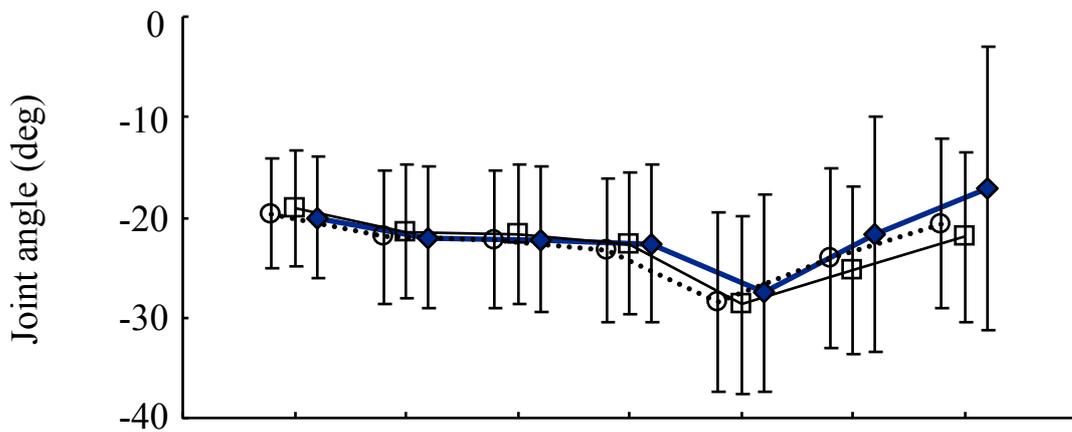
4.4 考察

4.4.1 速度の異なるボールに対する打撃の評価

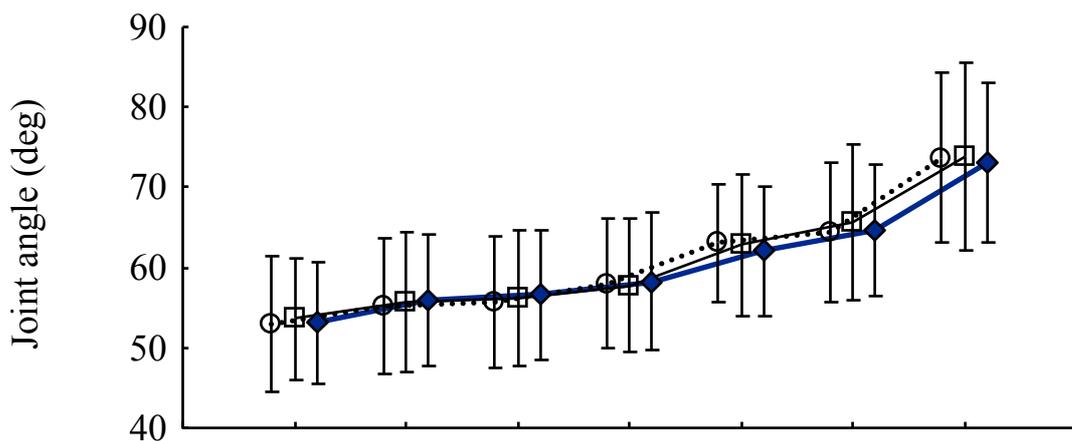
打者のすべての試技における打球方向をレフト，センター，ライトの3つの方向へ分類した



(a) extension(-)-flexion(+)



(b) adduction(-)-abduction(+)



(c) internal rot.(+)-external rot.(-)

Figure 4-16 Shoulder joint angles of stride foot side

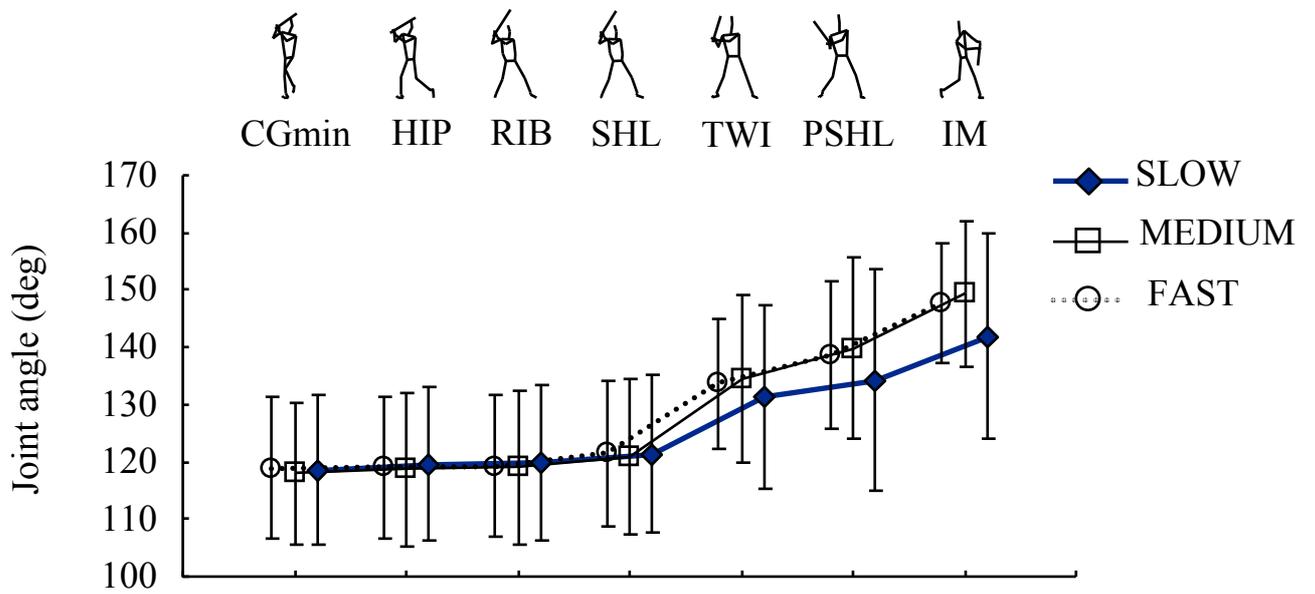


Figure 4-17 Elbow joint angle of stride foot side

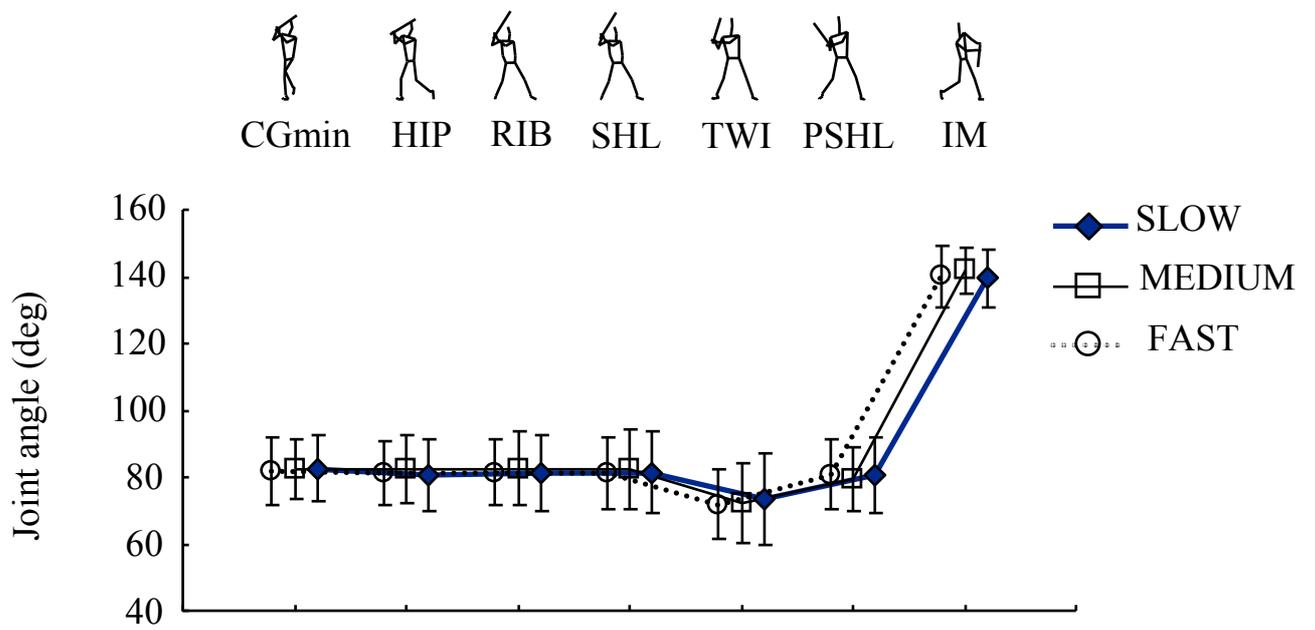
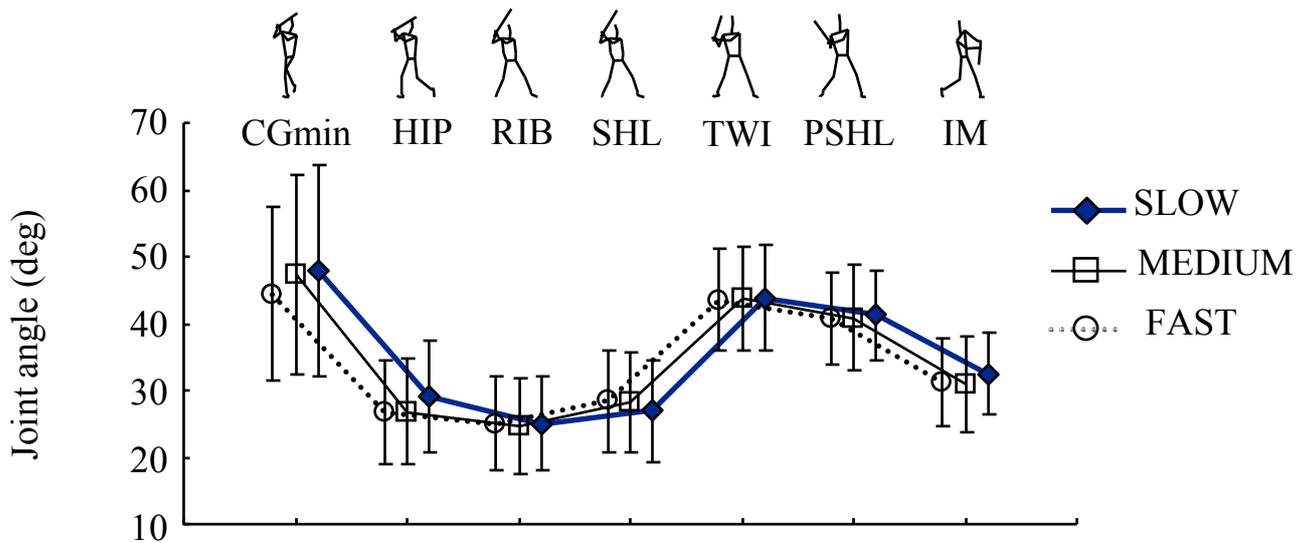
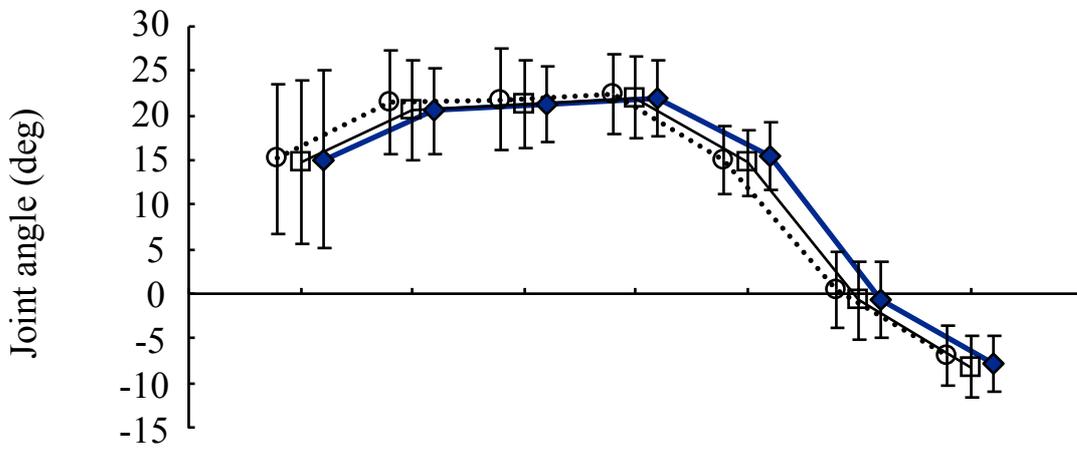


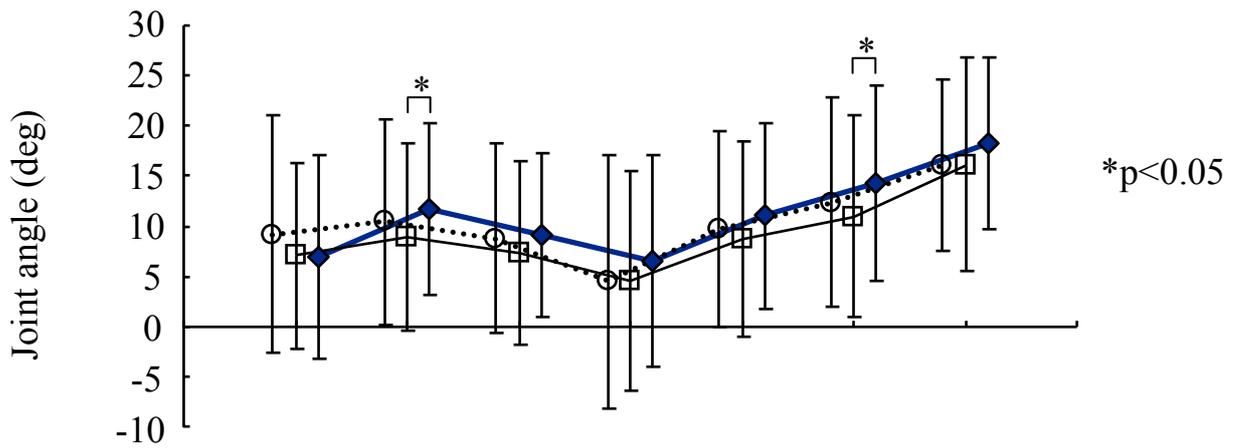
Figure 4-18 Bat-forearm angle of stride foot side



(a) extension(-)-flexion(+)



(b) adduction(-)-abduction(+)



(c) internal rot.(+)-external rot.(-)

Figure 4-19 Hip joint angles of stride foot side

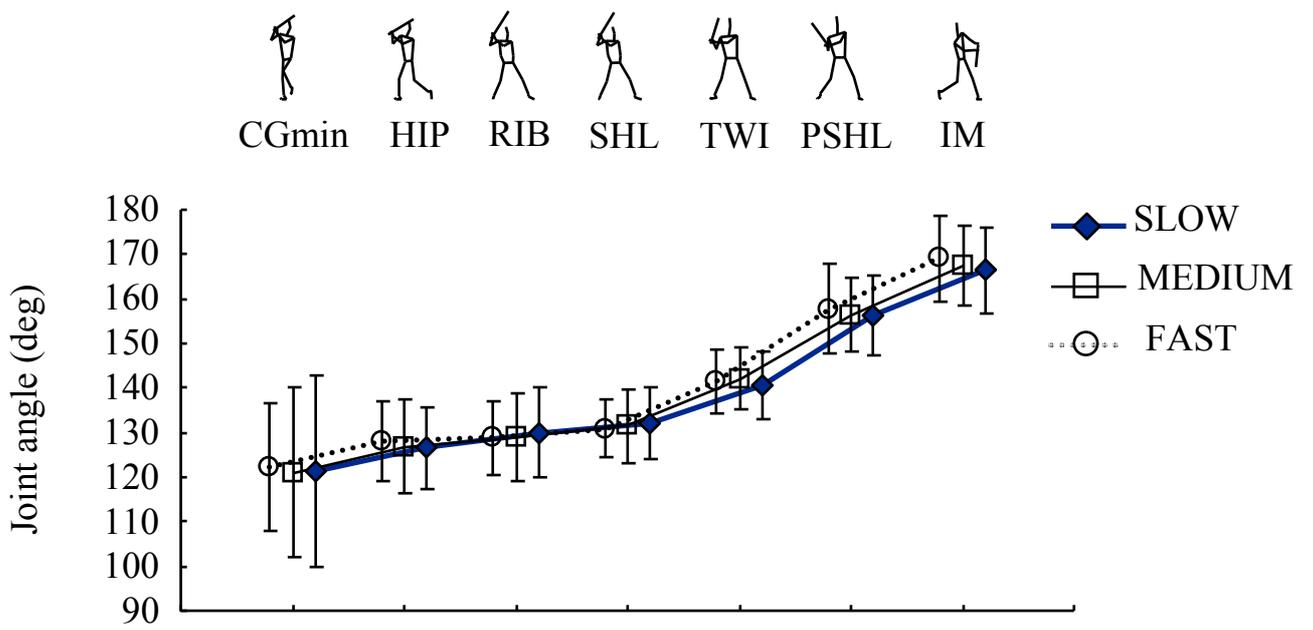


Figure 4-20 Knee joint angle of stride foot side

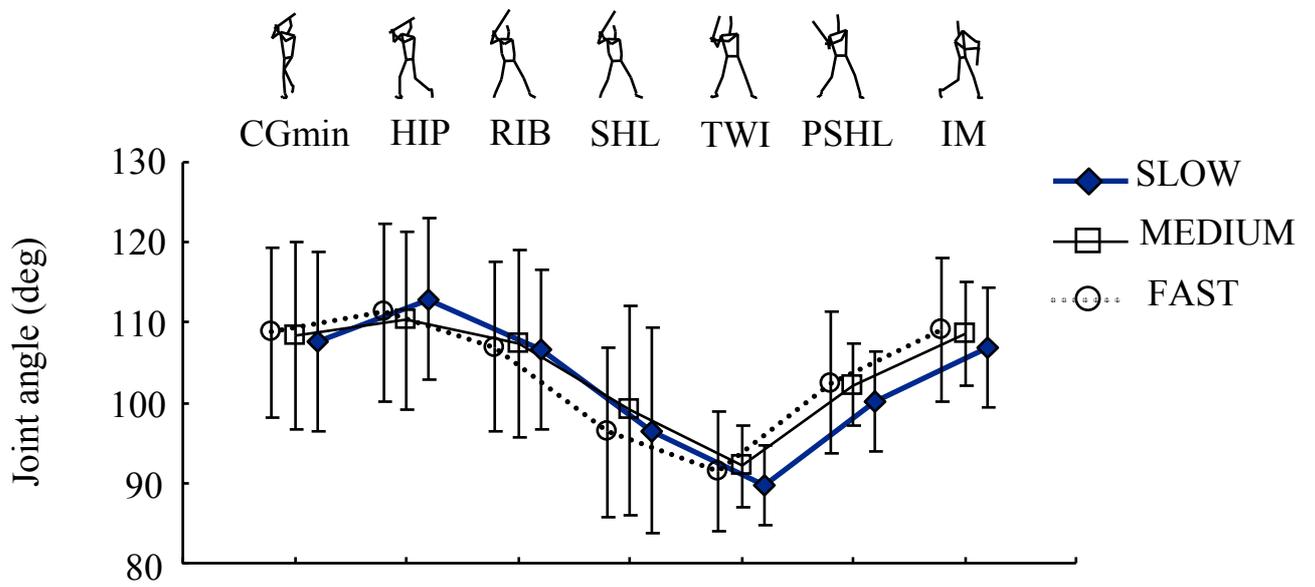
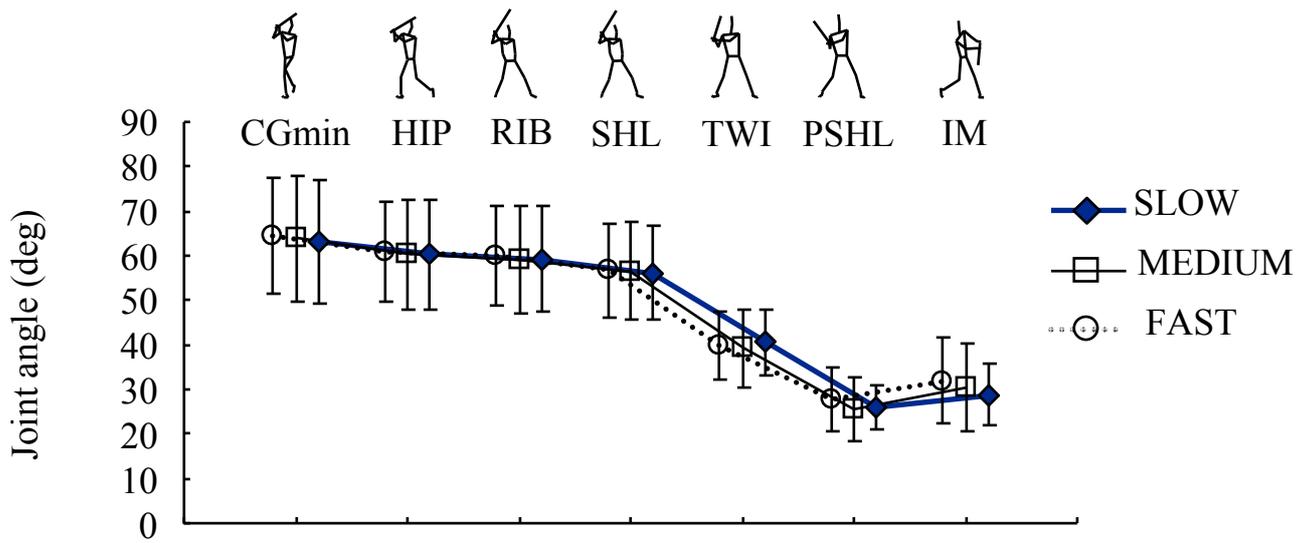
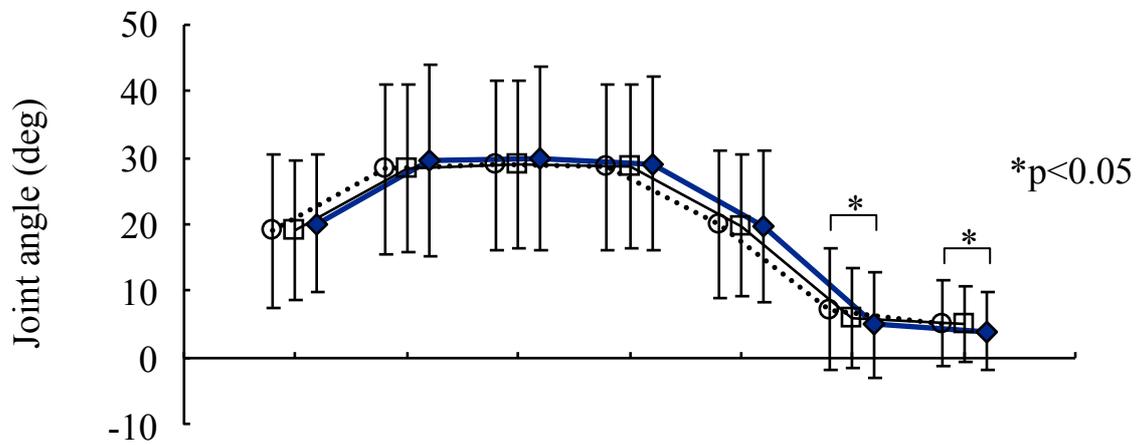


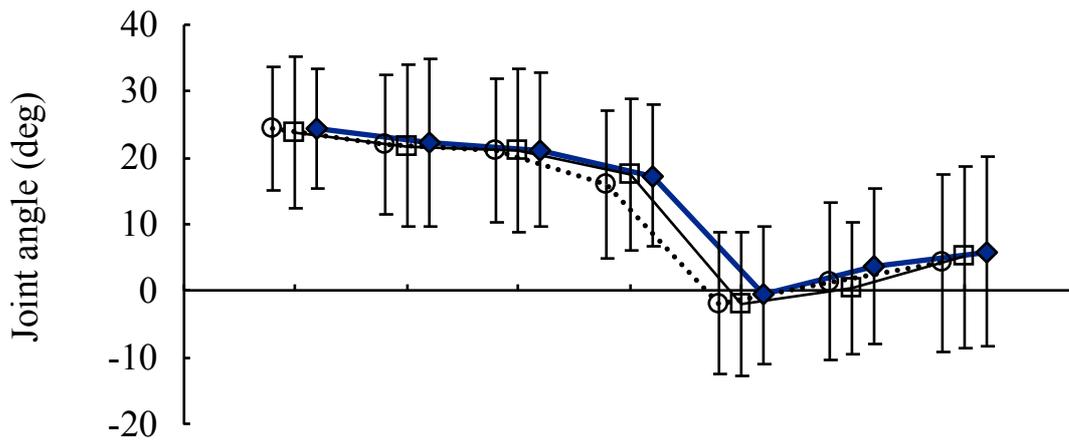
Figure 4-21 Ankle joint angle of stride foot side



(a) extension(-)-flexion(+)



(b) adduction(-)-abduction(+)



(c) internal rot.(+)-external rot.(-)

Figure 4-22 Shoulder joint angles of pivot foot side

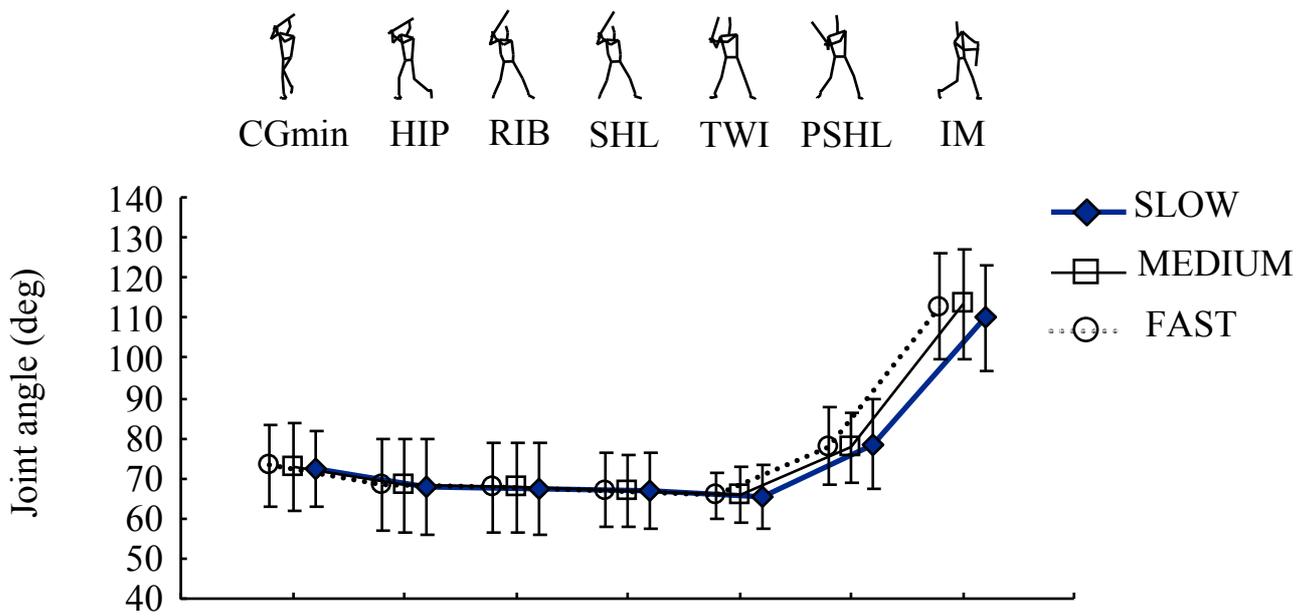


Figure 4-23 Elbow joint angle of pivot foot side

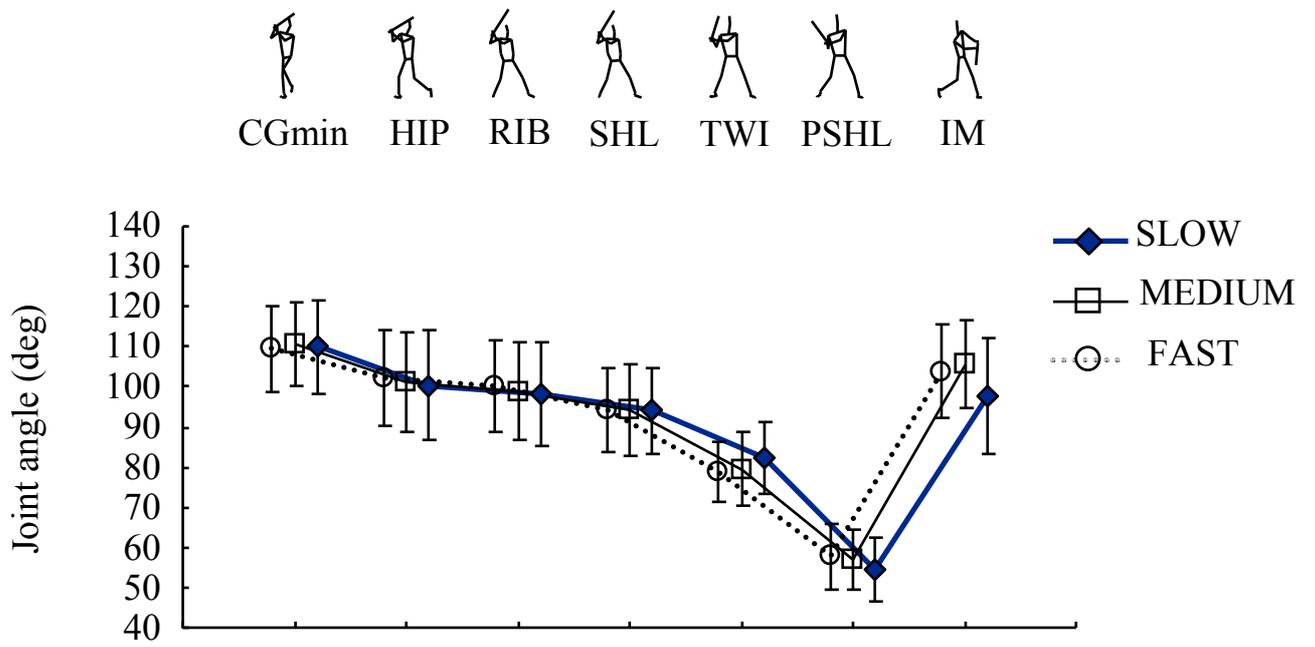


Figure 4-24 Bat-forearm angle of pivot foot side

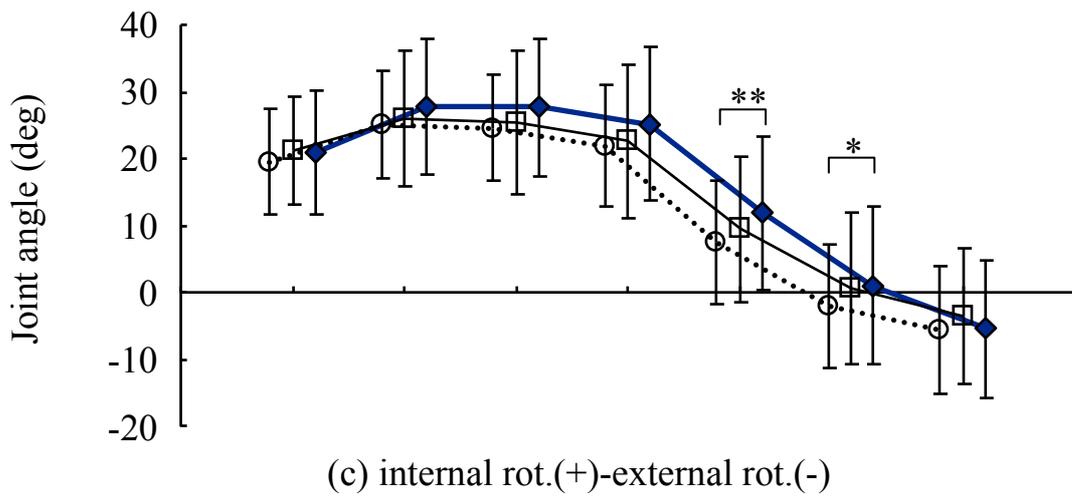
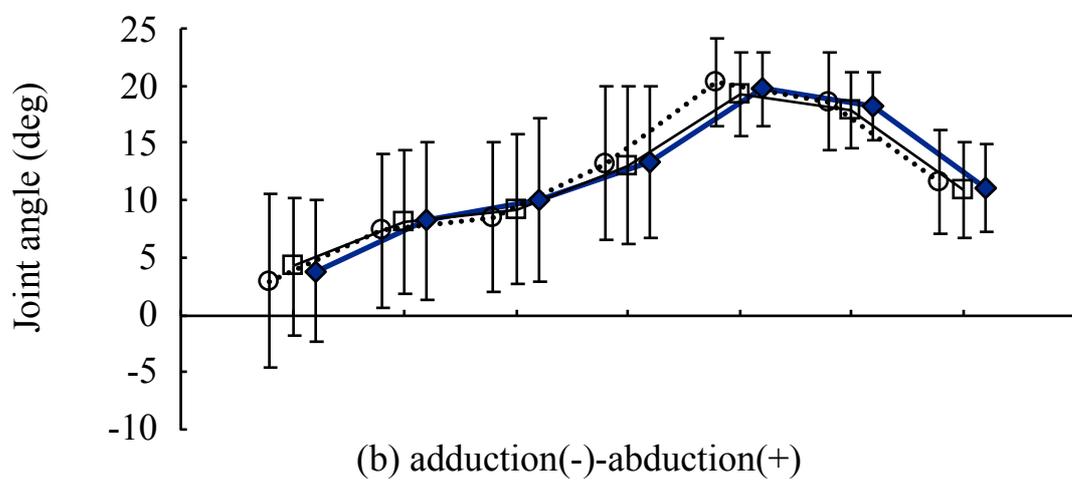
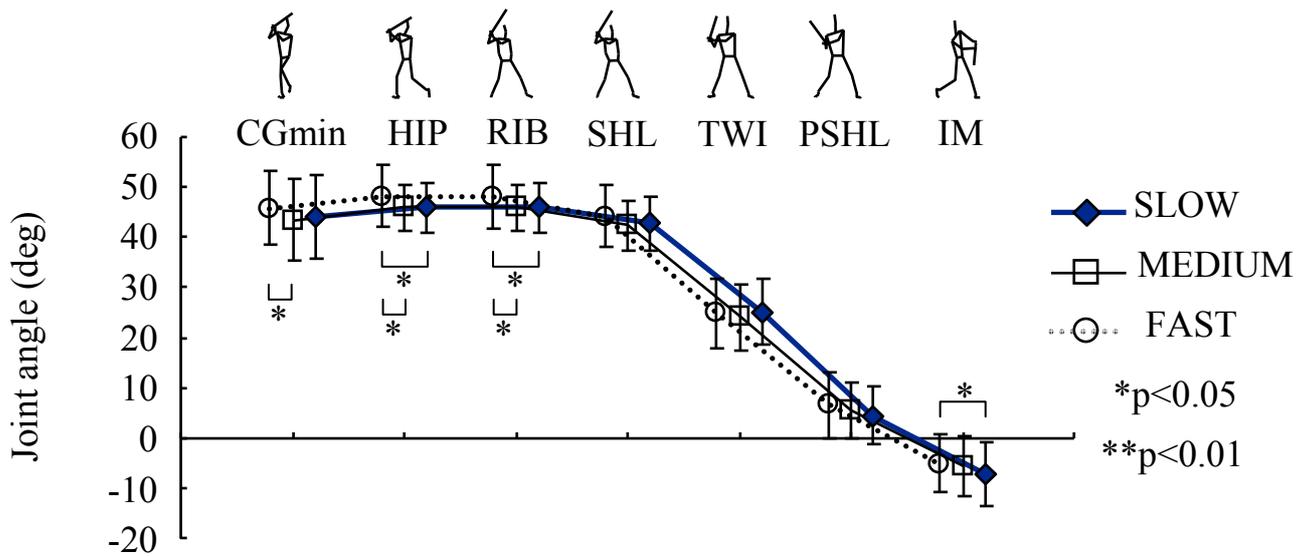


Figure 4-25 Hip joint angles of pivot foot side

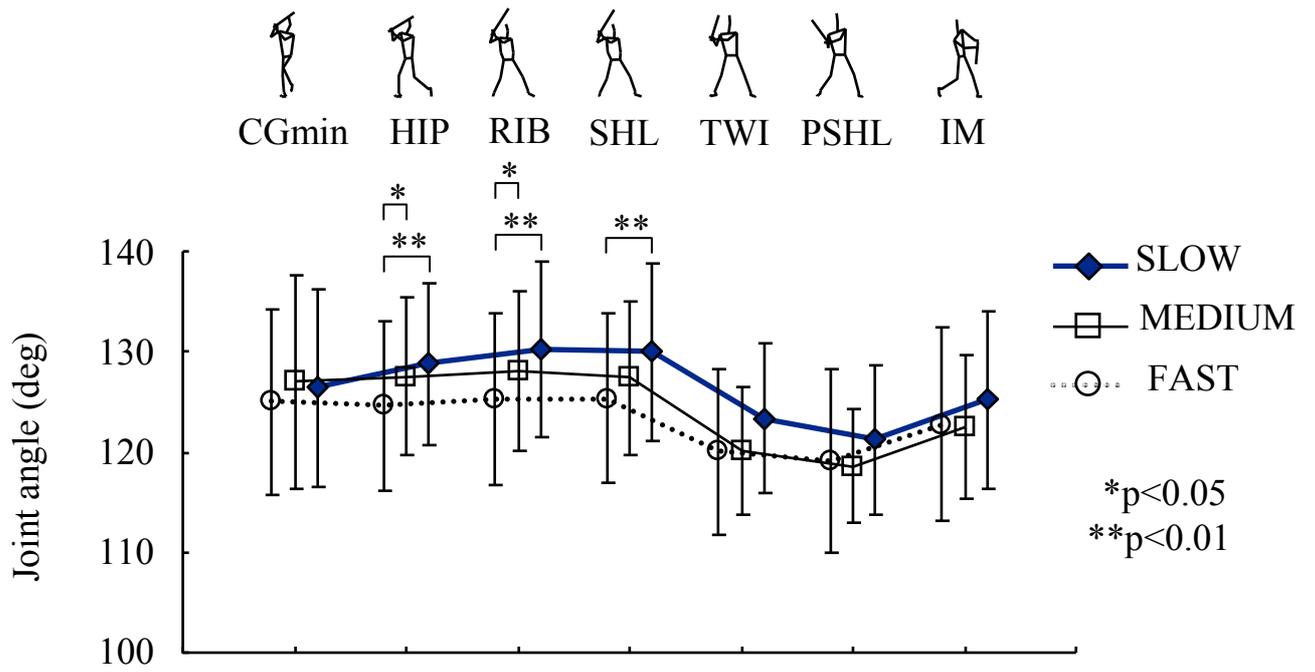


Figure 4-26 Knee joint angle of pivot foot side

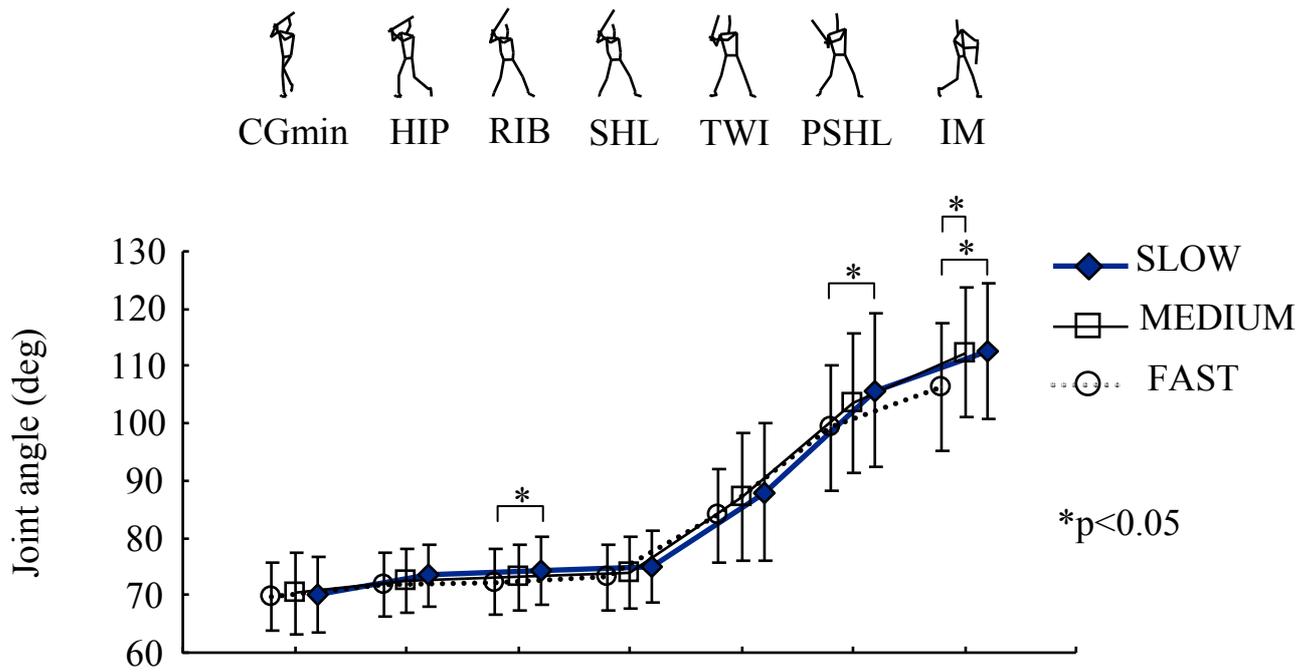


Figure 4-27 Ankle joint angle of pivot foot side

場合、レフト、センター、ライト方向へ飛翔した打球は SLOW ではそれぞれ 45.7%, 44.3%, 10.0%, MEDIUM ではそれぞれ 25.0%, 45.8%, 29.2%, FAST ではそれぞれ 14.9%, 39.1%, 46.0% であり、大きな速度のボールに対してはタイミングが遅延する傾向があったことから、FAST では特に投手方向へ打撃することが困難となる課題が設定されていたことを示唆している。

本研究では、時間的および空間的にバットをボールに正確に当てる能力を測る指標としてインパクト角を用いた。バットをボールに正確に当てる能力に関係する指標として、先行研究では、ボールを発光ダイオードでシミュレートした条件においてタイミング一致誤差を測定すること（小村ら，1983；工藤，1987；Matsuo and Kasai，1994）や、ティーバッティングにおいてインパクト直後のボール速度をインパクト直前のバット速度で除すことで得られる指標を用いること（小田ら，1991；川村ら，2000）などが行われてきた。前者は時間的な正確性を評価しており、後者は（インパクト直前のボール速度がゼロであるティーバッティングを前提としていることから）空間的な正確性を評価している例といえよう。しかし、時間的あるいは空間的な正確性のどちらか一方のみを評価するだけではバットをボールに正確に当てる能力を評価するためには十分であるとはいえない。川村ら（2000）は、直衝突を測る指標の一つとしてインパクト角を算出している。インパクト角は正確な打撃を直接的に評価する指標ではないが、ボールとバットの衝突における時間的かつ空間的な誤差を反映する一つの指標となると考えられる。また、反発係数とインパクト角の間には強い相関関係が認められた ($p < 0.001$) (図 4-3) ことは、本研究においてインパクト角がボールとバットの衝突位置と衝突のタイミングの正確性を評価する指標として妥当なものであったことを示唆している。

打球速度の Y 軸成分にはボール速度条件間に有意差はみられなかった (図 4-1)。また、打球速度の Y 軸方向に対して SLOW ではバット速度との間に相関関係が認められる傾向があり ($p = 0.081$)、インパクト角との間に相関関係は認められなかった。一方、MEDIUM と FAST ではバット速度に比べてインパクト角との間に強い相関関係 ($p < 0.001$) が認められた (表 4-1)。

このことは、打球速度を高めるための技術要素がボール速度によって異なることを示唆しており、特にボール速度が大きい場合には、インパクト角を小さくすること、すなわちバットをボールに正確に当てることを優先させる必要があることを示唆している。

インパクト角はボール速度条件間に有意差はみられなかった（図 4-2）が、IM でのバット速度は SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が小さかった（順に $p<0.05$, $p<0.01$ ）（図 4-4a）。そして、FAST における IM でのバット速度の小ささは主として回転成分の小ささに起因していた（図 4-4c）。一般に、動作の正確性と動作速度との間には相反関係があるといわれており（Schmidt and Lee, 2005）、これは動作速度が大きいほど動作の正確性は低下し、動作の正確性を上げるためには動作速度を小さくすることが必要であることを意味している。また、ボール速度が大きい場合には、バット速度よりもむしろバットをボールに正確に当てることを優先させることが、投手方向への打球速度を大きくするためには有効であることが示唆された（表 4-1）。以上のことを踏まえると、速度が大きいボールに対して大きな打球速度を獲得するためには、バット速度をある程度減少させてでも、バットをボールに正確に当てることを優先する対応が必要になると考えられる。

4.4.2 速度の異なるボールに対する打者の対応動作について

CGmin から IM までの各動作時点における上肢の関節角度に関しては、IM および PSHL での軸足側肩関節において SLOW に比べて FAST の方が大きい外転角度を示した以外では、全ての動作時点においてボール速度条件間に有意差はみられなかった。また、踏出足側下肢関節角度では、HIP と PSHL の股関節内旋外旋角度において MEDIUM と SLOW の間に有意差がみられたのみで、FAST と SLOW の間には全ての動作時点において有意差はみられなかった。一方、軸足側下肢関節角度では、SLOW に比べて FAST の方が、HIP、RIB における軸足側股関節の屈曲角度が大きく（図 4-25a, $p<0.05$ ）、HIP、RIB、SHL における軸足側股関節内旋角度が小さ

い傾向を示し（図 4-25c, SHL では $p=0.071$ ）、HIP, RIB, SHL における軸足側膝関節の屈曲角度が大きかった（図 4-26, $p<0.01$ ）。

以上のように、ボール速度条件間の比較では、特に軸足側下肢関節角度に差がみられたことから、身体重心の移動についてみると SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が、投手方向への身体重心移動距離が小さかった（図 4-6, いずれも $p<0.05$ ）。また、SLOW と MEDIUM に比べて FAST では、身体重心速度の最大値が小さかった（図 4-8, 順に $p<0.01$, $p<0.05$ ）。軸足側股関節および膝関節を屈曲し、さらに股関節を内旋させた姿勢では、股関節および膝関節を伸展させることによって身体重心は投手方向へ移動する。以上のことを踏まえて考えると、FAST における軸足側下肢関節角度の特徴が、身体重心移動距離の小ささにも影響を及ぼす動作であったことが示唆される。すなわち、SLOW に比べて FAST では HIP 付近以降に軸足側股関節の内旋を小さく保ち、股関節および膝関節の屈曲を小さくすることによって身体重心移動距離を小さくしていたと考えられる。

実際の試合状況では、投手が投じるボールを予め提示されることはないため、ボール速度が大きい場合には、打者は準備動作などに十分な時間をとることができず、結果として身体重心移動距離や身体重心速度が小さくなる可能性がある。一方、本研究（実験 1）では、打者に予めボール速度を提示する実験設定を用いた。そして、ボール速度が大きいほど CGmin の出現時点がボールリリースよりも前に移行しており（表 4-2）、この結果は、打者がボールリリースからインパクトまでの時間を予測し、これに合わせて動作の開始時間を調整していたことを示している。このことから、予めボール速度を打者に提示した場合、身体重心移動距離や身体重心速度を大きくするなどの、打撃に必要な動作時間の確保は、打者にとってそれ程難しいものではなかったことが推察される。以上のことを踏まえると、FAST において身体重心移動距離や身体重心速度が小さくなった理由として、時間的な制約以外の要因もあった可能性が示唆される。

投手方向への大きな身体の運動量はボールを遠くまで飛ばすことに効果的であるといわれている（平野，1984）。このため，SLOW では身体重心速度を大きくし，その結果として身体重心移動距離も大きくなったことが示唆される（図 4-6）。一方，投手方向への移動距離の増加は，打撃ポイントを投手方向へ移動させる可能性が高く（図 4-9），その分，ボールリリースから打撃までのボールの移動距離は短くなる。指導現場においては，打者に速度の大きいボールに対して，「手元までボールを呼び込んで」「よくボールを見て打つ」ことを指導する場面が多い（若林ら，2007）。これは，ボールリリースから打撃までのボールの移動距離を長くすることにより，それだけ長くボールを見ることが可能となるため，これらのことを強調した指導であると考えられる。また，平野（1984）は投手方向への大きな身体重心の移動速度はボールと眼との相対速度を大きくするため，ボールをとらえる正確性を犠牲にすると述べている。上述の可能性を示唆する典型的な例として，ボール速度条件に関わらず身体重心移動距離はほぼ同値を示し（SLOW：0.35m，MEDIUM：0.32m，FAST：0.34m），投手方向への身体重心速度は SLOW に比べて FAST の方がむしろ大きな値を示していた（SLOW：0.87m/s，MEDIUM：1.85 m/s，FAST：0.96m/s）被験者 S.K.は，FAST のインパクト角が大きい値を示した（SLOW：12.88 度，MEDIUM：18.96 度，FAST：60.31 度）（なお，被験者 S.K.は本研究の分析対象者からは外れている）。

以上のことを踏まえて考えると，投手方向への身体重心移動距離の大きさや身体重心速度の大きさは，バットをボールに正確に当てることに関して視覚的に不利な状況を生じさせる可能性があり，このため FAST では以上の動作を抑制することによって速度の大きいボールに対応していた可能性が示唆される。しかし，投手方向への身体重心移動距離や移動速度の大きさが，どの程度，ボールを視覚的に正確に捉えることに影響を及ぼすのか，また打撃時の運動制御にどのような影響を及ぼすのか等については，今後さらに検討する必要がある。

XY 平面に投影した体幹部およびバット角度では，TWI の時点についてのみボール速度条件

間に有意差がみられた。TWI でのバット角度と上脗角度は、いずれも SLOW に比べて FAST の方が大きく (図 4-11a, b), FAST ではバットおよび上脗をより打球方向へ回転させた姿勢をとっていた。TWI においてバット角度と上脗角度を大きくすることにより, TWI から IM までの回転動作範囲を小さくすることができる (図 4-14, 図 4-15)。

Schmidt (1969) や工藤 (1987) は、動作範囲を小さくすることによってタイミング一致誤差を低下できることを報告しており、動作範囲が小さくなるほど動作の変動性 (誤差) が小さくなること (Schmidt, 1979) がその理由の一つとして述べられている (工藤, 1987)。野球の打撃では、わずかなタイミングの誤差が打球方向へ大きく影響を及ぼす (例えば、本研究における IM でのバットの角速度は約 2500deg/s であり、仮に 0.02 秒タイミングに誤差が生じたとすると、バットの角度は約 50 度変化することになる)。以上のことを踏まえて考えると、TWI から IM までのバットと上脗の回転動作範囲を小さくする対応は、バットのタイミング一致誤差を低減することに有効な動作であったと考えられる。一方、上脗の回転動作範囲を小さくすることは、上脗の角速度の最大値を低下させる可能性がある。そして、上脗角速度の最大値の低下は IM でのバット角速度の減少を招く (図 4-13) ため、このことが FAST における IM でのバット速度を小さくする一要因となっていたと考えられる。

動作時間については、これまで指導現場や先行研究ではスイング時間を短くすることがボールを長く見ることにつながるため、バットをボールに正確に当てるための対応として有効であるとの指摘がされてきた (Hay, 1978 ; 平野, 1984)。そこで、本研究では、BAT および HIP, SHL, TWI 各々の動作時点から IM までの動作時間をボール速度条件間で比較した。その結果、上述の動作時間にはボール速度条件間に有意差はみられなかった (表 4-2)。以上の結果は、速度の大きいボールに対しては、スイング時間を短くすることが必ずしも効果的ではないことを示唆している。しかし、本研究では、トレーニング効果の検証など縦断的に獲得される技術に関しては検討していないため、今後は、例えばトレーニング効果としてのスイング時間の短さ

が速度の大きいボールに対する打撃向上に及ぼす影響など、縦断的な対応についても検討する必要がある。

一般にゴルフや野球、テニスなど、体幹部の長軸回りの回転動作によって打具速度を高めるスポーツ動作では、上胴角速度を高めるために体幹回旋筋群の伸張-短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle ; SSC) を利用するといわれている (田内ら, 2004)。そこで、TWI での上下胴角度をボール速度条件間で比較した結果、TWI での上下胴角度にはボール速度条件間に有意差はみられなかった (図 4-12)。また、上下胴角速度の最大値においてもボール速度条件間に有意差はみられなかった (表 4-3)。上述の結果は、ボール速度が大きい場合においても、体幹筋群を積極的に活動させる体幹の捻転動作を維持することが重要であることを示唆している。また体幹の捻転動作は、インパクト角を大きくするリスクとなる可能性がある身体重心距離や身体重心速度を大きくすることなく、また上胴の回転動作範囲を大きくすることなく、バット速度を獲得するためには合理的な対応であったと考えられる。

4.5 要約

本研究では、速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴を明らかにすることで、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするための対応動作について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① MEDIUM と FAST では、打球速度の Y 軸成分とインパクト角との間に強い負の相関関係が認められた。
- ② バットをボールに正確に当てる能力を測る指標として用いたインパクト角にはボール速度条件間に有意差がみられなかった。
- ③ SLOW と MEDIUM に比べて FAST では、IM でのバット速度が小さかった。
- ④ SLOW に比べて FAST では、投手方向への身体重心移動距離および身体重心移動速度が小

さかった。

- ⑤ SLOW に比べて FAST では、TWI でのバット角度および上胴角度が大きかった。
- ⑥ 上下胴角速度の最大値および TWI での上下胴角度にはボール速度条件間に有意差がみられなかった。

以上のことから、速度の大きいボールへの対応として、バット速度を減少させてでもバットをボールに正確に当てることを優先することが有効であると考えられる。そのためには、投手方向への身体重心移動距離や身体重心移動速度を抑え、TWI におけるバットおよび上胴を打球方向へ回転させることにより、その後の回転動作範囲を小さくすることが有効であると考えられる。特に TWI において体幹部を捕手方向ではなくむしろ投手方向へ回転させるという対応は、これまでの指導では述べられてこなかったことであり、今後効果的な指導を行う上で有用な視点を与えると考えられる。また、上述の動作を遂行するとともにバット速度の減少を最小限に抑えるためには、体幹の捻転動作をボール速度に関わらず維持することが重要である。

一方、本研究で対象とした被験者は大学野球選手であったため、他の技術レベルの競技者や本研究での実験設定とは異なる条件での対応動作については、本研究で得られた知見を基に今後さらに検討する必要があると考えられる。

第5章 野球における速度の異なるボールに対する打撃動作のキネティクス的研究

5.1 目的

第4章において、野球打撃における速度の異なるボールに対する対応をキネマティクスの的に分析した結果、上肢よりもむしろ軸足側下肢の動作、身体重心移動、体幹部の回転動作にボール速度条件間に差異がみられた。しかし、以上の動作がどのような力学的要因で発生したものであるのかについては明らかにされていない。動作の力学的要因の解明は、指導やトレーニングに関して有用な知見を導くと考えられる。これまで、野球打撃におけるキネティクス的研究として、宮西（2004）は、ピッチングマシンを用いた野球打撃における打者の全身の角運動量を算出し、スイングを開始してから、身体各部位の角運動量が全身の角運動量に占める割合は、体幹部が最も大きかったことを明らかにしている。矢内（2006）はティーバッティング時の身体の回転運動に作用する地面反力のモーメントを算出し、踏出足によるモーメント成分が軸足に比べて大きいことを明らかにしている。小嶋と飯野（2000）はティーバッティングにおける両脚股関節力によるモーメントおよび股関節トルクが下胴部の回転運動に作用する成分を算出し、軸足側股関節伸展トルクが下胴の回転に最も大きく貢献すると述べている。しかし、これらの研究はいずれもティーバッティングあるいは一定速度のボールの打撃であることから、速度の異なるボールに対する打撃動作をキネティクスの観点から明らかにした研究は見当たらない。

本章では、第4章で明らかにされた速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴をキネティクスの的に分析することにより、動作に影響を及ぼすキネティクスの要因について検討することを目的とした。

5.2 方法

5.2.1 データ収集とデータ処理

データ収集およびデータ処理は第3章で述べた方法を用いた。

5.2.2 算出項目および算出方法

① 動作時点間時間

第3章で定義した動作時点のうち、CGmin、FC、CGv、IMの各動作時点間に要した時間を算出した。

② 下肢・体幹部の関節力および関節トルク

下肢・体幹部の関節力および関節トルクは第3章で述べた方法を用いて算出した。

5.2.3 統計処理

各測定項目におけるボール速度条件間の差を検定するために、反復測定の一元配置分散分析を行った。その結果、F値が有意であった項目に関しては、Scheffeの方法により多重比較検定を行った。なお、統計処理の有意性は危険率5%で判定した。

5.3 結果

5.3.1 速度の異なるボールに対する動作時点間時間の比較

表5-1はCGmin、FC、CGv、IMの動作時点間に要した時間をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。CGminからFCまでの時間にボール速度条件間に有意差はみられなかった。またCGminからCGvまでの時間はSLOWに比べてMEDIUMとFASTの方が小さかった（いずれも $p < 0.01$ ）のに対し、CGvからIMまでの時間はボール速度条件間に有意差はみられなかった。

Table 5-1 Movement time relating to stride foot contact (FC) and maximum velocity of the center of gravity (CGv)

	SLOW	MEDIUM	FAST	Difference
CGmin-FC	0.39 ± 0.20	0.36 ± 0.15	0.35 ± 0.17	ns
FC-IM	0.35 ± 0.19	0.30 ± 0.16	0.31 ± 0.11	ns
CGmin-CGv	0.59 ± 0.13	0.51 ± 0.11	0.50 ± 0.14	S>M**, F**
CGv-IM	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.16 ± 0.01	ns
FC-CGv	0.20 ± 0.19	0.15 ± 0.16	0.15 ± 0.11	ns

S: SLOW, M: MEDIUM, F: FAST *: p<0.05, **: p<0.01 unit: s

5.3.2 地面反力および股関節力と股関節力によるモーメントの下胴回転成分

図 5-1 は CGmin から IM までの両足へ作用する地面反力の静止座標系における X 軸成分および Y 軸成分を、IM を基準としてボール速度条件毎に平均化したものである。時系列データの規格化については第 3 章で述べた方法を用いた。図中の縦線については、左側から点線が MEDIUM と FAST の CGmin を、実線が SLOW の FC を、点線が MEDIUM と FAST の FC を、実線がすべてのボール速度条件の TWI をそれぞれ示している。以後、時系列データに関する図については図 5-1 と同様の処理をしている。地面反力の X 軸成分は、両脚ともに、全てのボール速度条件において CGmin から-40%付近までほぼゼロの値を示していた。-40%以降軸足側では正（打者の前方）に転じていたのに対し、踏出足側では負（打者の後方）の方向への力が大きくなっていった。両脚ともに TWI 付近で X 軸成分の地面反力が最大となっていた。地面反力の Y 軸成分は、軸足側では CGmin から TWI 付近まで正の値を示していたのに対して、踏出足側では全てのボール速度条件において CGmin から-30%直前までほぼゼロの値を示していた。

図 5-2 は CGmin から IM までの大腿部から下胴セグメントへ作用する関節力の X 軸成分および Y 軸成分を、IM を基準としてボール速度条件毎に平均化したものである。関節力の X 軸成分は、両脚ともに、全てのボール速度条件において CGmin から-30%付近までほぼゼロの値を示していた。-30%以降、軸足側では正（打者の前方）に転じていたのに対し、踏出足側では負（打者の後方）の方向への力が大きくなっていった。両脚ともに TWI 直後に X 軸成分の関節力が最大となっていた。関節力の Y 軸成分は、軸足側では CGmin から-40%まで正の値を示していたのに対して、踏出足側では全てのボール速度条件において CGmin から-30%直前まで負の値を示していた。

図 5-3 は、両股関節力によるモーメントの下胴回転成分を、IM を基準としてボール速度

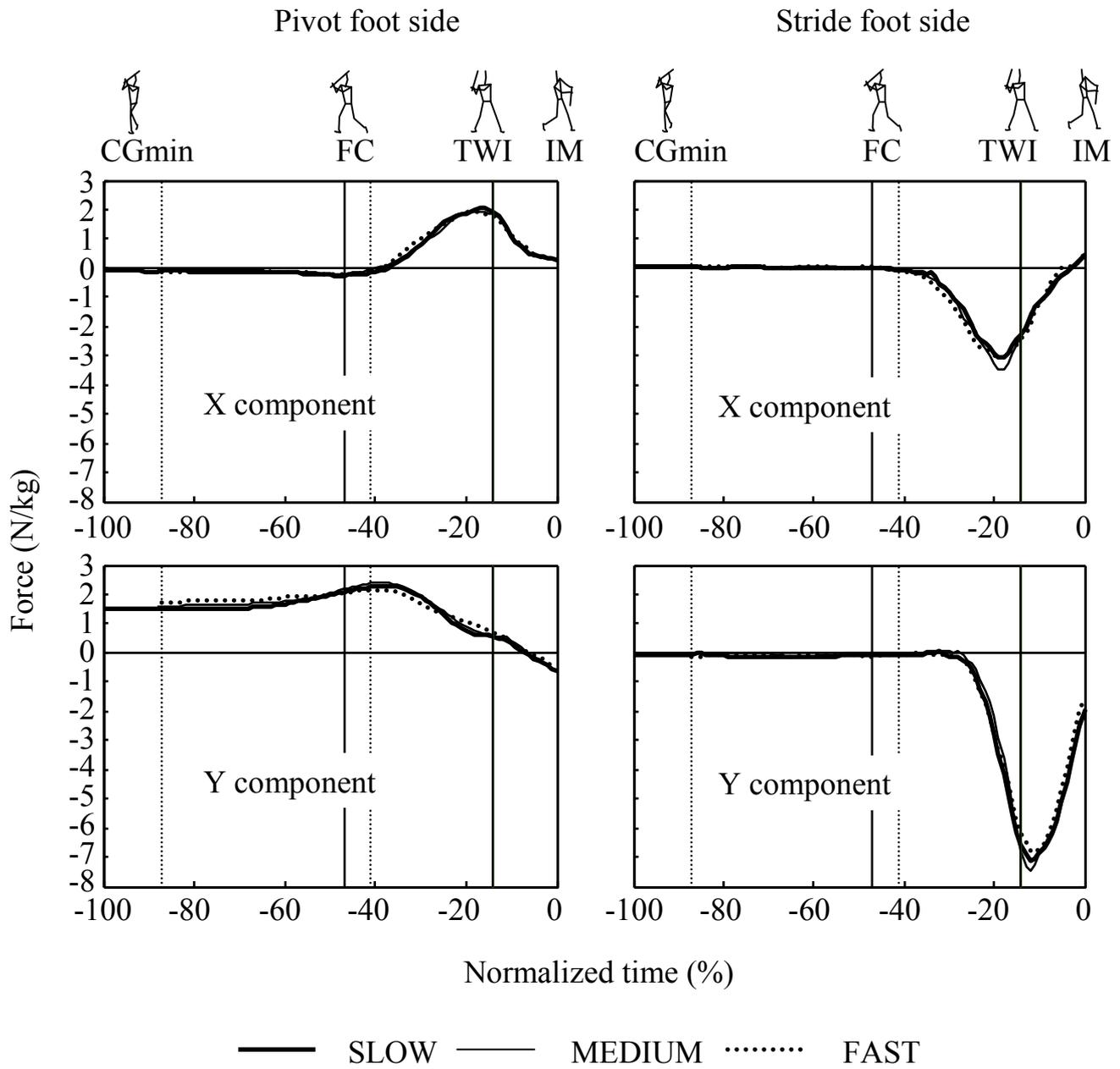


Figure 5-1 Ground reaction forces in XY plane

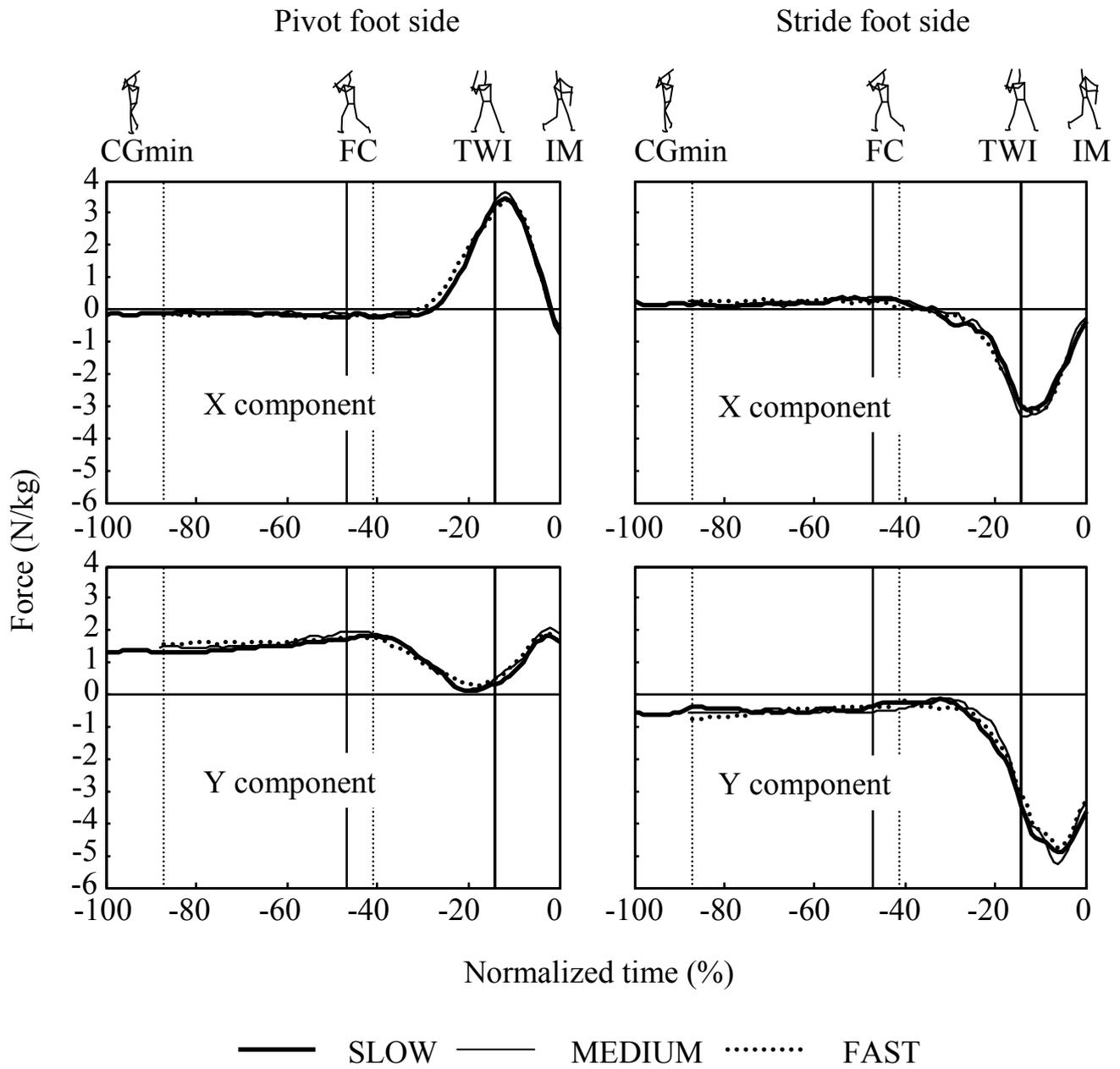


Figure 5-2 Joint force acted from thigh to lower torso

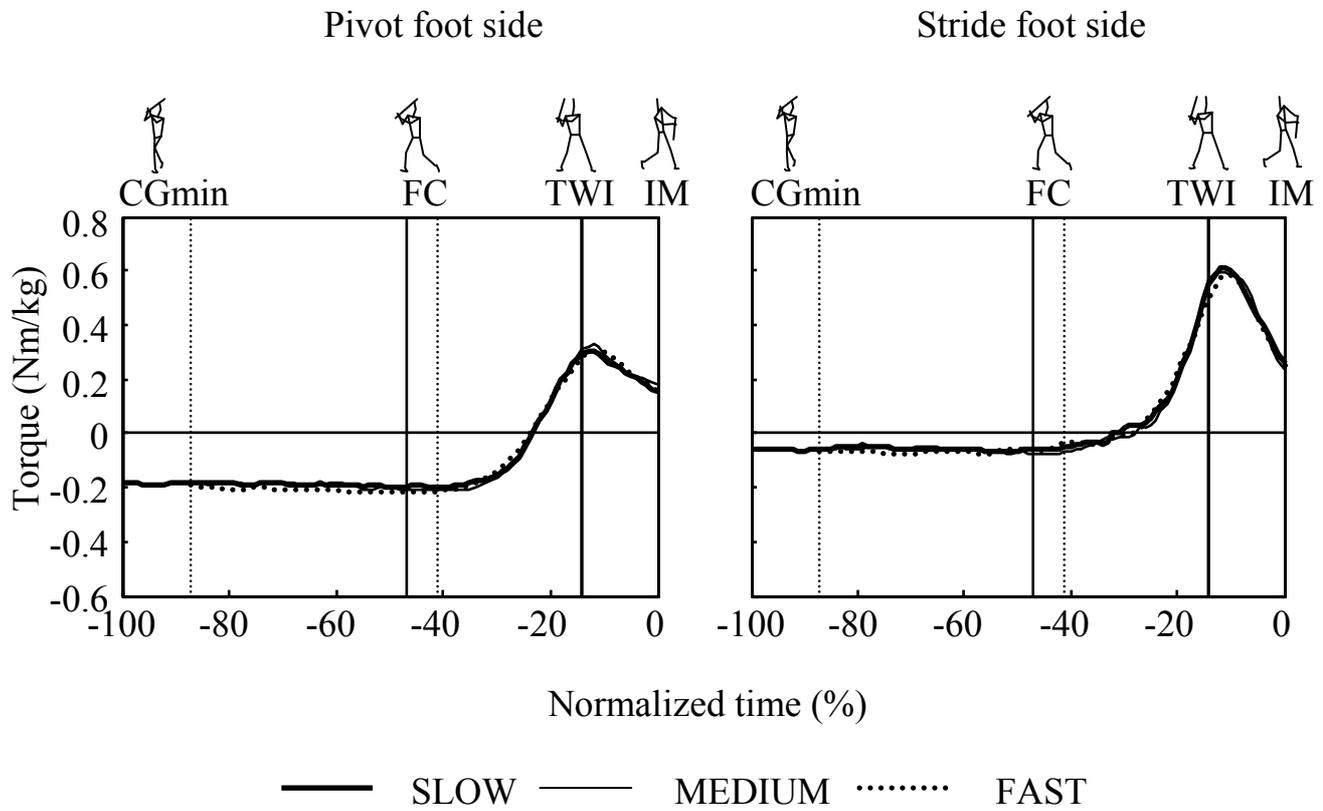


Figure 5-3 The torque acting on rotation of lower torso in its z axis (LT rotational component torque), generated from hip joint force

条件毎に平均化したものである。なお、下胴を投手方向へ回転させるモーメント成分を正としている。股関節力によるモーメントの下胴回転成分は、軸足側では比較的大きな負の値を示しており、踏出足側では全てのボール速度条件において CGmin から-30%まで比較的小さい負の値を示していた。-30%以降、両股関節ともに負から正の値に移行していた。

表 5-2 は、軸足側股関節力 Y 軸成分の力積と平均力をボール速度条件毎に示したものである。CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の力積は、SLOW に比べて FAST の方が小さかった ($p<0.05$)。一方、CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力には有意差はみられなかった。また、CGmin から FC までの軸足側股関節力 Y 軸成分の力積にはボール速度条件間に有意差はみられず、CGmin から FC までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力は、SLOW に比べて FAST の方が大きかった ($p<0.05$)。FC から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の力積はにボール速度条件間に有意差はみられなかった。

5.3.3 下肢関節トルクと上下胴トルク

図 5-4 は、CGmin から IM までの両股関節トルクを、IM を基準としてボール速度条件毎に平均化したものである。全てのボール速度条件において、軸足側では、CGmin から-40%付近まで股関節の伸展、外転、外旋トルクを發揮していた。踏出足側では股関節外転トルク發揮がわずかにみられ、他の軸におけるトルク發揮はほとんどみられなかった。-40%から TWI 付近まで、軸足側では股関節伸展、内転、外旋トルクが増加し、TWI 付近で最大値を示した。踏出足側では-40%付近から TWI 付近まで股関節屈曲および内転トルクが増加し、TWI 付近で最大値を示した。

図 5-5 は、CGmin から IM までの両股関節トルクの下胴回転成分を、IM を基準としてボール速度条件毎に平均化したものである。全てのボール速度条件において、軸足側では CGmin から-40%付近まで屈曲伸展軸、内転外転軸、内旋外旋軸成分がいずれも正の作用（下

Table 5-2 The impulse and average force of hip joint force (Y axis component) of pivot foot side

	SLOW	MEDIUM	FAST	Difference	
CGmin-CGv	Impulse (Ns/kg)	0.83 ± 0.16	0.75 ± 0.11	0.74 ± 0.16	S>F*
	Force (N/kg)	1.41 ± 0.26	1.49 ± 0.25	1.51 ± 0.26	ns
CGmin-FC	Impulse (Ns/kg)	0.63 ± 0.31	0.61 ± 0.25	0.58 ± 0.23	ns
	Force (N/kg)	1.54 ± 0.27	1.64 ± 0.27	1.69 ± 0.28	S<F*
FC-CGv	Impulse (Ns/kg)	0.20 ± 0.21	0.14 ± 0.21	0.16 ± 0.15	ns
	Force (N/kg)	0.86 ± 0.61	0.56 ± 0.74	0.87 ± 0.51	ns

S: SLOW, M: MEDIUM, F: FAST *: p<0.05, **: p<0.01

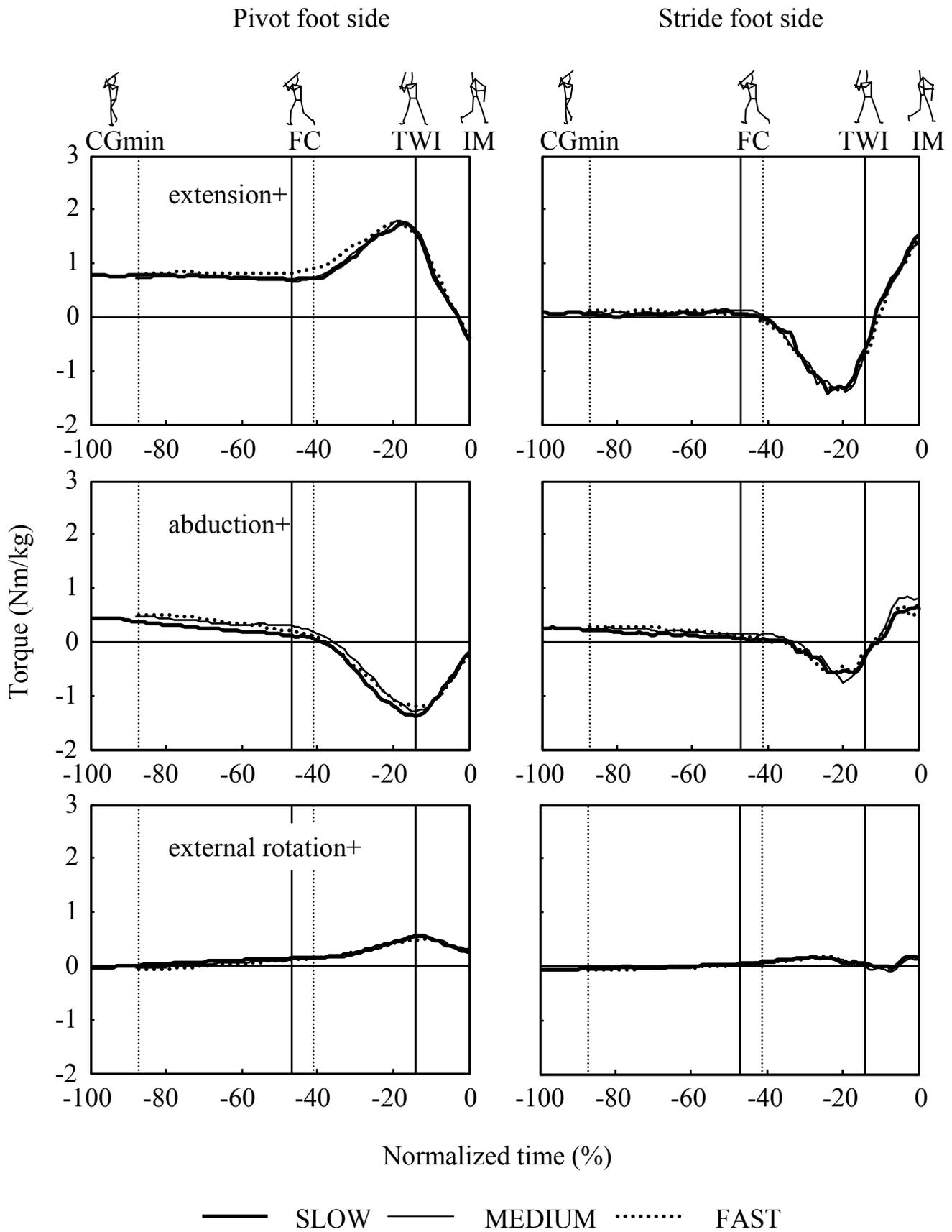


Figure 5-4 Hip joint torque

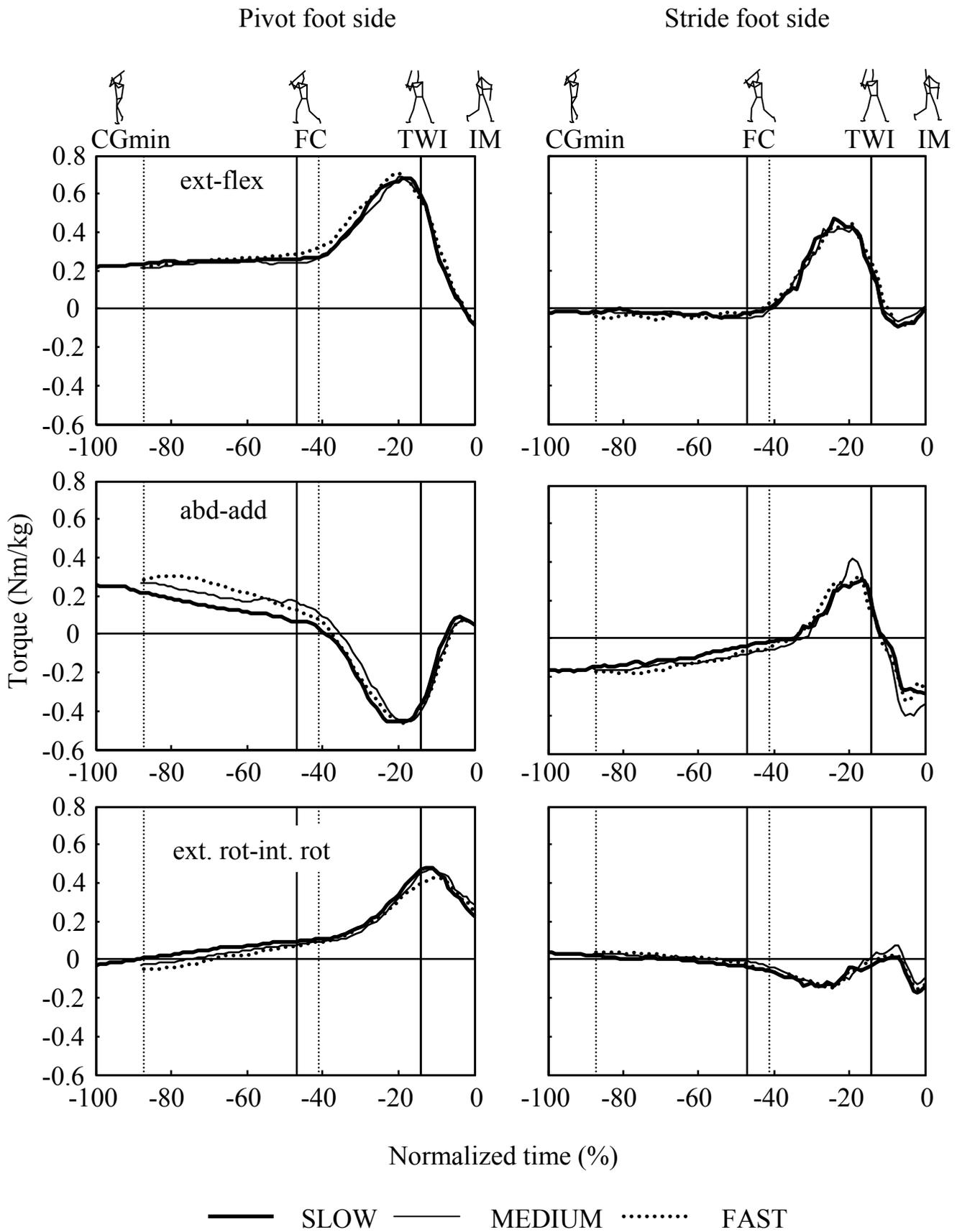


Figure 5-5 Lower torso rotational component torque generated hip joint

胴を z 軸回りに投手方向へ回転させる作用) を示していた。踏出足側では内転外転軸成分が負の作用を示した。-40%付近以後についてみると、軸足側では屈曲伸展軸、内旋外旋軸成分が増加し、TWI 付近で最大値を示した。一方、軸足側の内転外転軸成分では、負の作用を示し TWI 付近で最小値を示した。踏出足側では、-40%付近以後に屈曲伸展軸、内転外転軸成分が正の作用を示し、TWI 付近で最大値を示していた。

図 5-6 は、CGmin から IM までの上下胴トルクの捻転成分（上下胴トルクを下胴座標系の z 軸に投影したもの）を IM を基準としてボール速度条件毎に平均化したものである。上下胴トルクの捻転成分は、CGmin 以降に正の作用を、-40%付近以降に負の作用を示しており、TWI 付近で最小値を示した。

表 5-3 は、CGmin から HIP、HIP から TWI までの各局面における股関節トルクの平均値をボール速度条件毎に示したものである（以下「平均トルク」と略す）。CGmin から HIP までの局面において、軸足側の外転平均トルクは SLOW に比べて FAST の方が大きい傾向を示した ($p=0.065$)。踏出足側では、伸展平均トルクは SLOW に比べて FAST の方が大きかった ($p<0.05$)。

表 5-4 は、CGmin から HIP、HIP から TWI までの各局面における股関節トルクの下胴回転成分および上下胴トルクの捻転成分の平均値をボール速度条件毎に示したものである（以下「回転成分の平均」と略す）。CGmin から HIP までの局面についてみると、軸足側では、内転外転軸の回転成分の平均は SLOW に比べて FAST の方が大きかった ($p<0.05$)。踏出足側では、屈曲伸展軸の回転成分の平均は SLOW に比べて FAST の方が負の絶対値が大きかった ($p<0.05$)。HIP から TWI までの局面についてみると、両側ともに、ボール速度条件間に有意差はみられなかった。上下胴トルクの捻転成分の平均については、CGmin から HIP までの局面、HIP から TWI までの局面においてボール速度条件間に有意差はみられなかった。

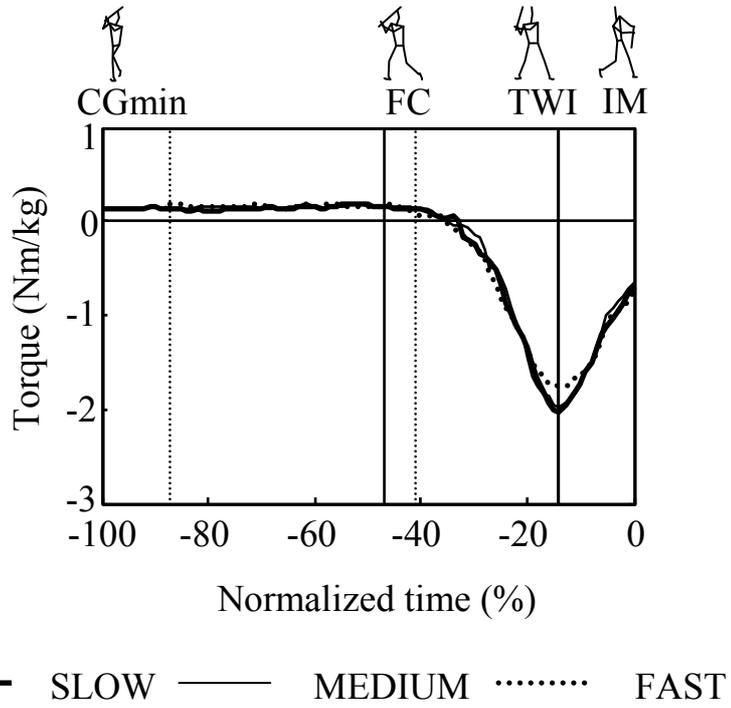


Figure 5-6 Torso twist torque about its z axis (pitcher direction +)

Table 5-3 Average hip joint torque

	CGmin-HIP				HIP-TWI				
	SLOW	MEDIUM	FAST	Difference	SLOW	MEDIUM	FAST	Difference	
	ext+	0.76	0.73	0.82	ns	1.33	1.45	1.44	ns
Pivot foot side	abd+	0.27	0.34	0.36	ns (S<F, p=0.065)	-0.72	-0.67	-0.64	ns
	ext. rot+	0.07	0.06	0.04	ns	0.32	0.31	0.30	ns
	ext+	0.06	0.08	0.11	S<F*	-0.86	-1.00	-0.96	ns
Stride foot side	abd+	0.15	0.19	0.20	ns	-0.29	-0.32	-0.32	ns
	ext. rot+	-0.01	-0.01	-0.02	ns	0.12	0.11	0.13	ns

S: SLOW, M: MEDIUM, F: FAST * : p<0.05, ** : p<0.01 unit: Nm/kg

Table 5-4 Average torque for lower torso rotation generated at the hip joint

	CGmin-HIP				HIP-TWI			
	SLOW	MEDIUM	FAST	Difference	SLOW	MEDIUM	FAST	Difference
ext-flex	0.25	0.24	0.26	ns	0.55	0.56	0.57	ns
Pivot foot side add-abd	0.15	0.19	0.22	S<F*	-0.30	-0.29	-0.30	ns
int-ext. rot	0.05	0.04	0.02	ns	0.24	0.23	0.22	ns
ext-flex	-0.02	-0.03	-0.04	S<F*	0.30	0.33	0.32	ns
Stride foot side add-abd	-0.11	-0.12	-0.12	ns	0.15	0.18	0.17	ns
int-ext. rot	0.00	0.00	0.01	ns	-0.10	-0.09	-0.10	ns
Torso z axis	0.14	0.16	0.17	ns	-0.72	-0.82	-0.75	ns

S: SLOW, M: MEDIUM, F: FAST * : p<0.05, ** : p<0.01 unit: Nm/kg

5.4 考察

5.4.1 速度の異なるボールに対する並進運動制御

第4章において、速度の異なるボールに対する打撃動作をキネマティクスの観点から分析した結果、特に軸足側下肢の動作、身体の重心移動、体幹部の回転運動に関してボール速度条件間に対応動作に差異がみられた。したがって、本章では身体重心の移動や体幹部の回転運動に大きく影響を及ぼすと考えられる下肢・体幹部のキネティクスに着目して検討を行う。

全てのボール速度条件において、CGmin から FC までの下胴セグメントに作用する股関節力の Y 軸成分は、踏出足側では比較的小さな値で負の作用を示していたのに対し、軸足側では比較的大きな値で正の作用を示していた (図 5-2)。このことは、体幹部の投手方向への並進移動は主として軸足側脚により行われていたことを示すものである。CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の力積は SLOW に比べて FAST の方が小さかった ($p<0.05$)。そこで、力積の成分を検討した結果、CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力にはボール速度条件間に有意差はみられず (表 5-2)、CGmin から CGv までの動作時間では、SLOW に比べて FAST の方が小さかった (表 5-1) ($p<0.01$)。第4章では SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が投手方向への身体重心移動距離が小さかったことが明らかとなっている (いずれも $p<0.05$)。以上のことから、FAST では、投手方向への関節力を小さくするのではなく、CGmin から CGv までの動作時間を短くすることにより、質量の大きい体幹部の投手方向への移動を抑え、この結果として全身の投手方向への移動も小さくしていたことが示唆される。

また、有意差はみられないものの、CGmin から FC まで、FC から CGv までの動作時間は SLOW よりも FAST の方が小さい値を示した (表 5-1)。そして、身体や体幹部の移動を止

める方向へ作用する成分となる踏出足側の地面反力および関節力の負の Y 軸成分は、FC を基準とすると、SLOW に比べて FAST の方が早いタイミングで作用していた(図 5-1, 図 5-2)。

上述の結果は、FAST では、投手方向への移動を開始してから比較的早いタイミングで踏出足を接地し、その後、踏出足側地面反力および股関節力 Y 軸成分の作用タイミングが比較的早かったことが、CGmin から CGv までの動作時間の小ささの一要因となっていたことを示唆している。図 5-7 は XY 平面における踏出足側大腿セグメント角度(股関節から膝関節へ向かう線分と X 軸とのなす角度：反時計回りを正)を、IM を基準としてボール速度条件毎に平均化したものである。FC では踏出足側大腿セグメントは正の値を示しており、FC 付近では踏出足側股関節屈曲トルクが発揮されていた。また、FC を基準とすると、踏出足側股関節屈曲トルクは、SLOW に比べて MEDIUM と FAST では比較的早いタイミングで作用していた(図 5-4)。先述した FAST における踏出足側地面反力の作用タイミングも考慮すると、FAST における踏出足側地面反力の作用タイミングの早さには、踏出足側股関節屈曲トルクの発揮タイミングの早さが関与していたと考えられる。しかし、以上のことは直接的に地面反力の成分を分析したものではないため、今後は地面反力に及ぼす関節トルクの影響について、さらに検討する必要がある。

一方、CGmin から FC までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力は SLOW に比べて FAST の方が大きかった ($p<0.05$)。また、第 4 章より、身体重心速度の増加パターンは SLOW に比べて FAST の方が増加の傾きが大きかった(図 4-7)。ボール速度が大きい状況においてもバット速度の獲得は重要な課題の一つであると考えられ、そのために身体の運動量を必要以上に減少させないことも重要であったと考えられる(平野, 1984)。

これまで指導現場においては、速球への対応として、FC 前の軸足側下肢の力発揮特性や投手方向への身体の並進運動にブレーキをかけて身体の回転運動につなげるために必要な踏出足側下肢の力発揮特性についてほとんど指導がされてこなかった。したがって、本研

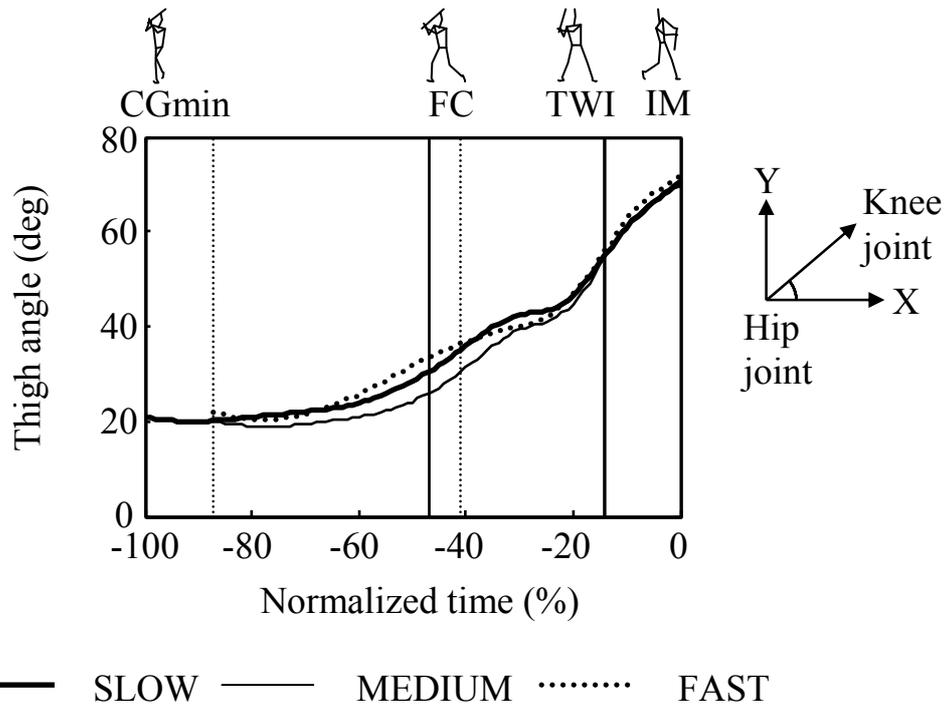


Figure 5-7 Thigh angle of stride foot side in XY plane

究で示された結果は、特に FC 前後の下肢の力発揮特性に関して有用な知見を示すものであると考えられる。

5.4.2 速度の異なるボールに対する体幹部の回転運動制御

下胴の回転の開始 (HIP) は、規格化時間では-40%から-36%付近であるが、この付近では両股関節力による下胴を回転させるモーメント成分にはほとんど変化がみられず、軸足側ではむしろ負のモーメントが作用していた (図 5-3)。一方、両股関節トルク屈曲伸展軸における下胴回転成分は-40%付近から増加していた (図 5-4, 図 5-5)。また、-40%付近においては軸足側股関節トルク内転外転成分における下胴回転成分は、正の値を示していた。上述の結果は、下胴の回転の開始は股関節力ではなく両股関節トルクによって行われていたことを示している。また、下胴が回転を開始した後には上下胴トルクの捻転成分が負の作用に転じていた (図 5-6)。これは下胴の回転により、体幹部に捻りが生じたため、これに抗するトルクが発揮されたためと考えられる。

下胴の回転の開始に作用する股関節トルク成分をボール速度条件間で比較すると、CGmin から HIP までの局面における軸足側股関節トルク内転外転成分における下胴回転成分が SLOW に比べて FAST の方が大きかった (表 5-4) ($p<0.05$)。また、この時股関節外転トルクが作用していた (図 5-4)。上述の結果は、下胴の回転の開始に作用するモーメント成分として SLOW に比べて FAST では、股関節外転トルクによる下胴回転成分が比較的大きく作用していたことを示している。第 4 章では TWI での上胴角度が SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が大きく、TWI での下胴角度に有意差はみられなかったものの SLOW に比べて FAST の方が大きい値を示した。このことから、速度の大きいボールに対して、軸足側では HIP から TWI までの股関節伸展トルクによる下胴の回転成分よりもむしろ HIP 付近における軸足側外転トルクによる下胴の回転成分を大きくすることによって TWI での体幹部の

姿勢を調整していたと考えられる。

上述の結果が示された理由のひとつとして、軸足側下肢関節の調整の方法がボール速度条件間で異なっていたことが上げられる。股関節および膝関節が屈曲した姿勢では股関節の内旋角度が大きいほど股関節伸展トルクの下胴回転成分への影響は大きくなる。また、小嶋（2000）はテニスのフォアハンドストロークを例として、軸足側股関節が外転位にあることにより、軸足側股関節伸展トルクが下胴の回転に貢献する成分を持つと述べている。一方で、上述の動作は軸足側下腿部をより投手方向へ傾けることにつながるため、身体重心をより捕手方向へ移動させる可能性がある。図 5-8 は TWI における全被験者の軸足側つま先から身体重心までの距離の Y 軸成分をボール速度条件毎に示したものである。TWI の軸足側つま先から身体重心までの距離の Y 軸成分は SLOW に比べて FAST の方が有意に小さかった ($p < 0.05$)。また先述したように投手方向への身体重心移動距離は SLOW に比べて FAST の方が小さかったことから、これらのことは上述した可能性を示唆するものであると考えられる。第 4 章において、投手方向への身体重心移動距離の大きさは、ボールを打撃する際に、視覚的に不利な状況を生む可能性があることが指摘されている。以上のことから、FAST のように速度の大きいボールに対応する場合には、投手方向への身体重心移動を比較的小さく抑えて体幹部を回転させる必要があり、そのためには軸足側の股関節および膝関節を屈曲させた姿勢から股関節外転トルクの発揮を大きくすることが有効であったと考えられる。また、HIP の軸足側股関節屈曲角度は SLOW に比べて FAST の方が大きく（図 4-25a）、FAST では股関節屈曲角度を大きくすることで、股関節外転トルクを効果的に下胴の回転成分へと作用させていたと考えられる。これまで、指導現場では、投手方向への移動を抑えて体幹部を回転させることの重要性については指摘しているものの、それを可能とする効果的な動作方法が明らかにされてこなかった。したがって本研究で示した結果は、速度の大きいボールに対して有効な指導やトレーニングを導く上で、ひとつの有用な知見

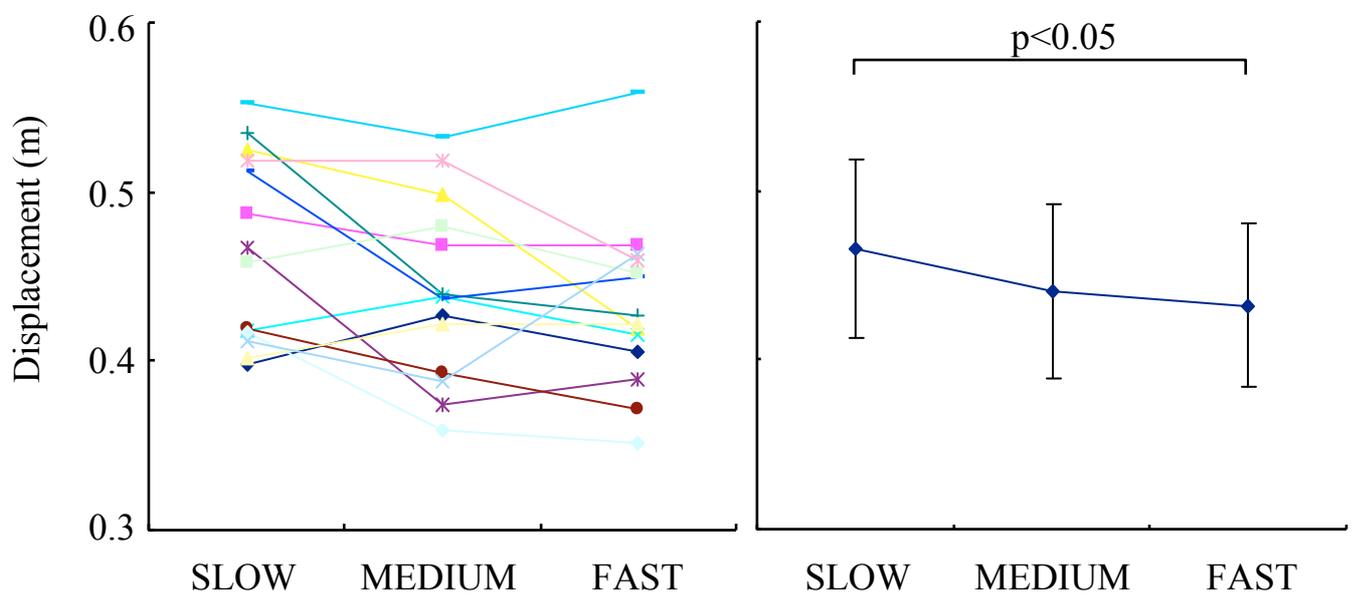


Figure 5-8 Displacement from toe of pivot foot to the center of gravity at TWI

になると考えられる。

5.5 要約

本章では、野球における速度の異なるボールに対する打撃動作のキネティクスの特徴を明らかにすることにより、第4章で明らかにされた速度の異なるボールに対する打者の動作対応に関わる力学的要因について検討することを目的とした。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の力積は SLOW に比べて FAST の方が小さかった ($p<0.05$)。
- ② CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力にはボール速度条件間に有意差はみられず、CGmin から CGv までの動作時間では、SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が小さかった (いずれも $p<0.01$)。
- ③ CGmin から FC までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力は、SLOW に比べて FAST の方が大きかった ($p<0.05$)。
- ④ HIP から TWI までの両側股関節トルクの伸展屈曲軸における下洞回転成分の平均にはボール速度条件間に有意差はみられなかった。
- ⑤ CGmin から HIP までの軸足側股関節トルクの内転外転軸における下洞回転成分の平均は SLOW に比べて FAST の方が大きかった ($p<0.05$)。

以上のことから、ボール速度条件間に CGmin から IM までの身体重心移動距離に差が生じた要因として、SLOW に比べて FAST では CGmin から CGv までの力積が小さく、これは主として動作時間の短さによるものであることが示された。また、CGmin から CGv までの動作時間を短くするためには、CGmin 後に早いタイミングで踏出足を接地すると共に、踏

出足側地面反力および股関節力を早いタイミングで生じさせることが必要である。以上のことを可能にするために、踏出足側股関節屈曲トルクを早いタイミングで発揮するなどの対応が有効であると考えられる。また、投手方向への移動を比較的小さく抑えると共に、体幹部を回転させるためには、軸足側股関節を屈曲位にした姿勢から、HIP 付近における軸足側股関節外転トルクによる下胴回転成分を大きくすることが有効である。

第 6 章 無作為にボール速度を変化させた条件における野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究

6.1 目的

第 4 章においては、速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴を比較し、速度の異なるボールに対する打者の対応動作について検討した。その結果、上肢動作や踏出足側下肢関節動作にはボール速度条件間に差異は認められず、軸足側下肢関節角度、身体重心移動距離や移動速度、XY 平面内における体幹部およびバットの角度において対応動作に差異が認められた。そして、投手方向への過度な身体重心移動距離や移動速度を抑えること、体幹部の捻りが最大となる時点において上胴部およびバットを投手方向へ回転させてその後の回転動作範囲を小さくすること、体幹の捻転動作はボール速度に関わらず変化させないことなどが、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするための対応として有効であることが示唆された。また、第 5 章においては第 4 章で明らかにされた動作をキネティクスの的に分析した。

方法（第 3 章）で述べたように、実験 1（第 4 章と第 5 章）では、予めボール速度を打者に提示する実験設定を用いた。一方、実際の試合状況では、打者は投手の投じるボールを予め提示されることはなく、また様々なコースのボールに対しては、上肢のみでなく下肢・体幹部の動作も積極的に調整することで対応することが報告されている（山本ら，1997）。さらに、予めボール速度を提示しない条件においては、特にタイミングの調整が要求されるため、それにとまなう動作の調整が行われることが示唆される（Matsuo and Kasai, 1994）。そこで本章では、予めボール速度を提示せず無作為に速度の異なるボールを投じる条件を設定し、実験 1 で明らかにされた速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な動作の妥当性を検証することを目的とした。

6.2 方法

6.2.1 データ収集とデータ処理

データ収集およびデータ処理は第3章で述べた方法を用いた。

6.2.2 算出項目および算出方法

① 打球速度，バット速度，インパクト角

打球速度およびバット速度，インパクト角は3章の方法を用いて算出した。

② 身体重心移動距離および身体重心速度

身体重心移動距離および身体重心速度は第3章で述べた方法を用いて算出した。

③ 体幹部の角度および角速度

体幹部の角度および角速度は第3章で述べた方法を用いて算出した。

④ 動作時間

本章では第3章で定義した動作時点に以下の動作時点を加え，各動作時点間の時間を算出した。

動作時点 10…下胴角速度が最大となった時点（以下「PHIP」と略す）

6.2.3 データの規格化

ボール速度の提示条件については，第3章で述べた方法によって球速提示ありと球速提示なし各々の条件について，ボール条件毎に時系列データを規格化し，その後平均化を行った。

6.2.4 統計処理

各測定項目における球速提示の有無の差およびボール速度条件間の差を検定するために、球速提示（あり，なし）×ボール速度条件（SLOW，MEDIUM，FAST）の2要因分散分析を行った。その結果，交互作用が有意であった項目に関しては，その後単純主効果検定を行った。なお，ボール速度条件間において交互作用に有意差がみられず，主効果に有意差がみられた項目に関しては，Scheffeの方法により多重比較検定を行った。統計処理の有意性は危険率5%で判定した。

6.3 結果

6.3.1 動作時間

表 6-1 は，各動作時点間に要した時間をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。CGmin から FC までの時間では，球速提示およびボール速度において，主効果および交互作用はみられなかった。FC から PHIP までの時間についてはボール速度において主効果 ($F(2,10) = 4.615, p < 0.05$) がみられ，球速提示×ボール速度において交互作用 ($F(2,10) = 7.996, p < 0.01$) がみられた。そこで，FC から PHIP までの時間について単純主効果検定を行った結果，FAST_R に比べて SLOW_R の方が大きく ($p < 0.01$)，SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きかった ($p < 0.05$)。また，PHIP 以降の動作時間には，球速提示およびボール速度において，主効果および交互作用はみられなかった。

6.3.2 パフォーマンスの基礎的評価指標

図 6-1 は，全被験者の打球速度，打球速度の Y 軸成分，バット速度，インパクト角の平均値と標準偏差をボール速度条件毎に示したものである。打球速度には，球速提示，ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった。打球速度の Y 軸成分には，球速提示において主効果 ($F(1,5) = 11.699, p < 0.05$) がみられ，球速提示なしの方が小さく，球速提示

Table 6-1 Movement time

	SLOW_N	MEDIUM_N	FAST_N	Difference
CGmin-FC	0.55±0.25	0.48 ± 0.22	0.51±0.25	ns
FC-PHIP	0.18±0.08	0.15 ± 0.11	0.20±0.18	ns
PHIP-PSHL	0.05±0.02	0.05 ± 0.01	0.06±0.01	ns
PSHL-IM	0.05±0.01	0.05 ± 0.01	0.05±0.01	ns

	SLOW_R	MEDIUM_R	FAST_R	Difference
CGmin-FC	0.58±0.31	0.47 ± 0.25	0.46±0.24	ns
FC-PHIP	0.35±0.14 [#]	0.22 ± 0.10	0.14±0.10	SLOW_R>FAST_R**
PHIP-PSHL	0.08±0.07	0.04 ± 0.03	0.05±0.02	ns
PSHL-IM	0.06±0.01	0.06 ± 0.01	0.05±0.01	ns

*:p<0.05, **:p<0.01 #: Indication of ball speed, p<0.05 unit:s

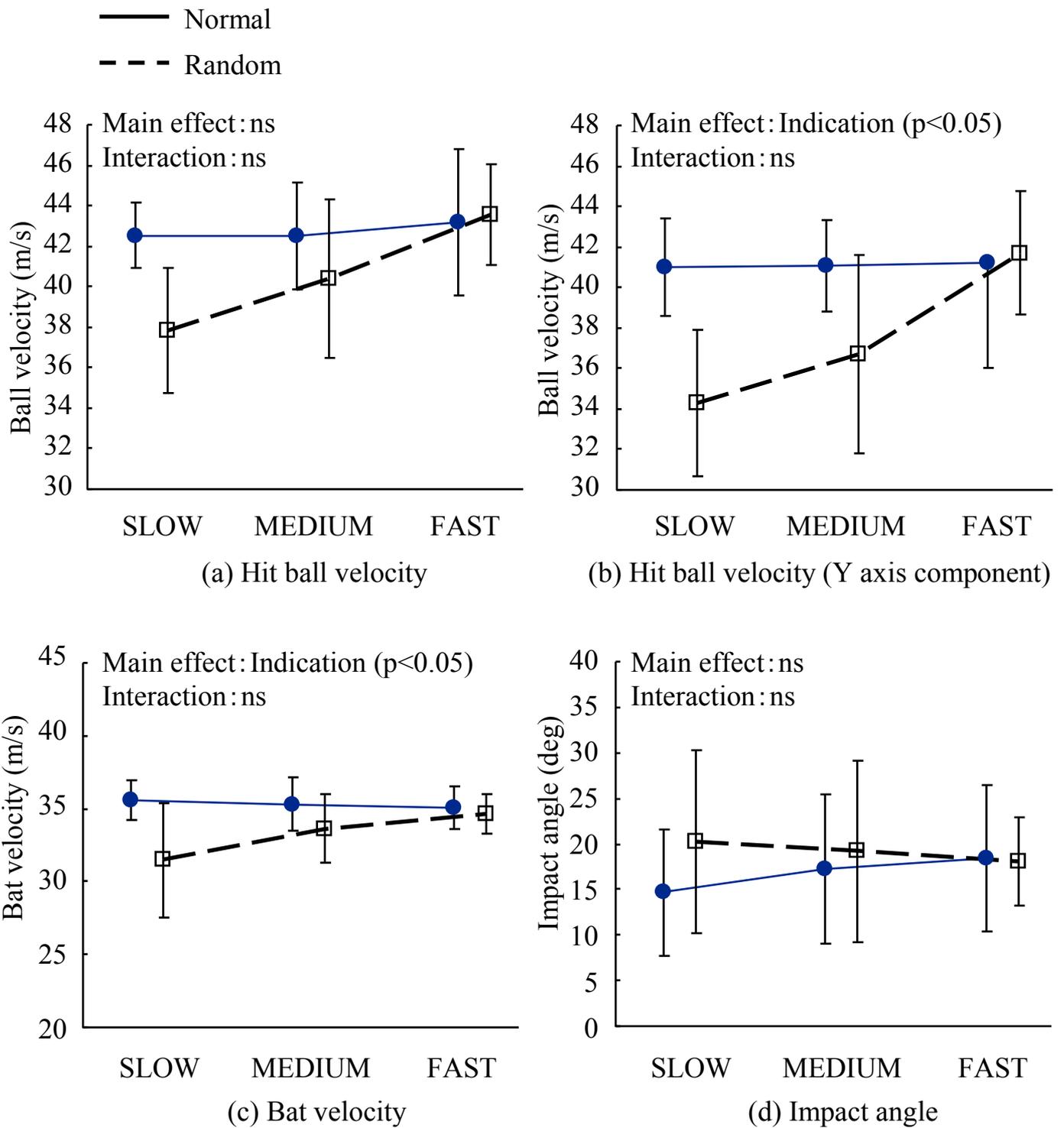


Figure 6-1 The parameters relating performance

×ボール速度において交互作用がみられる傾向にあった ($F(2,10) = 3.466, p = 0.072$)。バット速度は球速提示において主効果 ($F(2,10) = 15.517, p < 0.05$) がみられ、球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。インパクト角は球速提示およびボール速度において、主効果および交互作用はみられなかった。

6.3.3 身体の並進運動

第4章では、予めボール速度を提示した条件において異なる速度のボールに対する打撃動作を検討した結果、上肢動作にはボール速度条件間に有意差はみられず、特に軸足側下肢関節や身体の重心移動、体幹部の回転運動に関して対応動作に差異がみられた。したがって、本章では第4章で検討された動作に着目し、検討を行う。

図6-2は全被験者のCGminからIMまでの投手方向への身体重心移動距離および身体重心速度の最大値をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。投手方向への身体重心移動距離はボール速度において主効果 ($F(2,10) = 8.065, p < 0.01$) がみられ、交互作用はみられなかった。このため、ボール速度条件間の多重比較を行った結果、身体重心移動距離はSLOWに比べてMEDIUMとFASTの方が小さかった ($p < 0.05$)。投手方向への身体重心速度の最大値は、球速提示において主効果 ($F(1,5) = 15.054, p < 0.05$) がみられ、球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。図6-3はCGminを基準とした場合の、CGminからIMまでの投手方向への身体重心速度の時系列データを、典型例を用いて示したものである。図6-3の上図は球速提示あり(Normal)、下図は球速提示なし(Random)をそれぞれ示している。図中の縦線については、太線がSLOW、細線がMEDIUM、点線がFASTのFCをそれぞれ示している。なお、SLOW_Rにおいては、FCが2回存在したため、SLOW_Rの2回目のFCは破線で示している。球速提示なしにおいて、SLOW_Rでは他のボール速度条件に比べて、CGminからIMまでの動作時間が長く、身体重心速度の最大値が

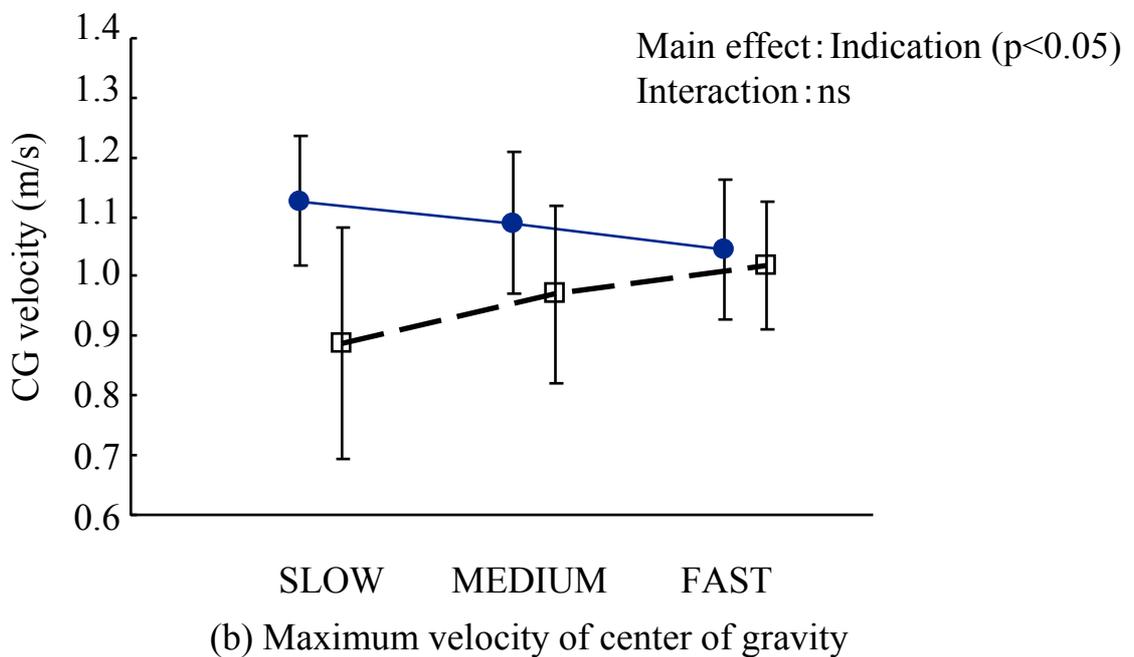
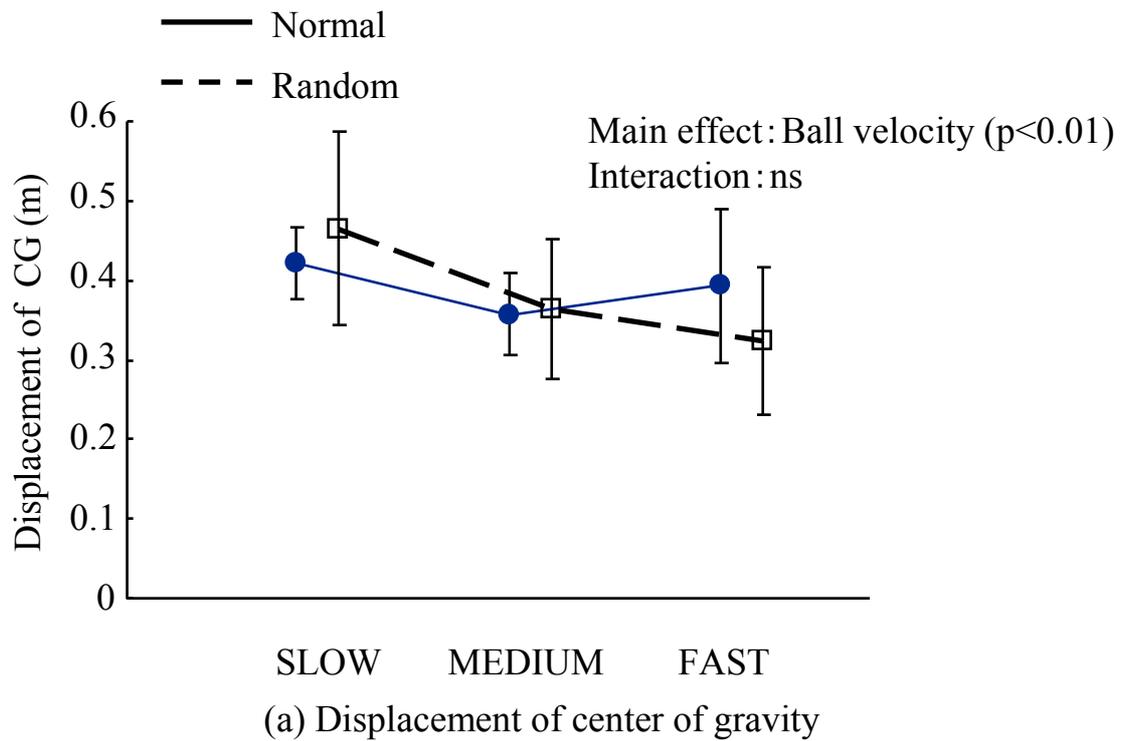


Figure 6-2 Displacement of center of gravity from CGmin to IM and maximum velocity of center of gravity

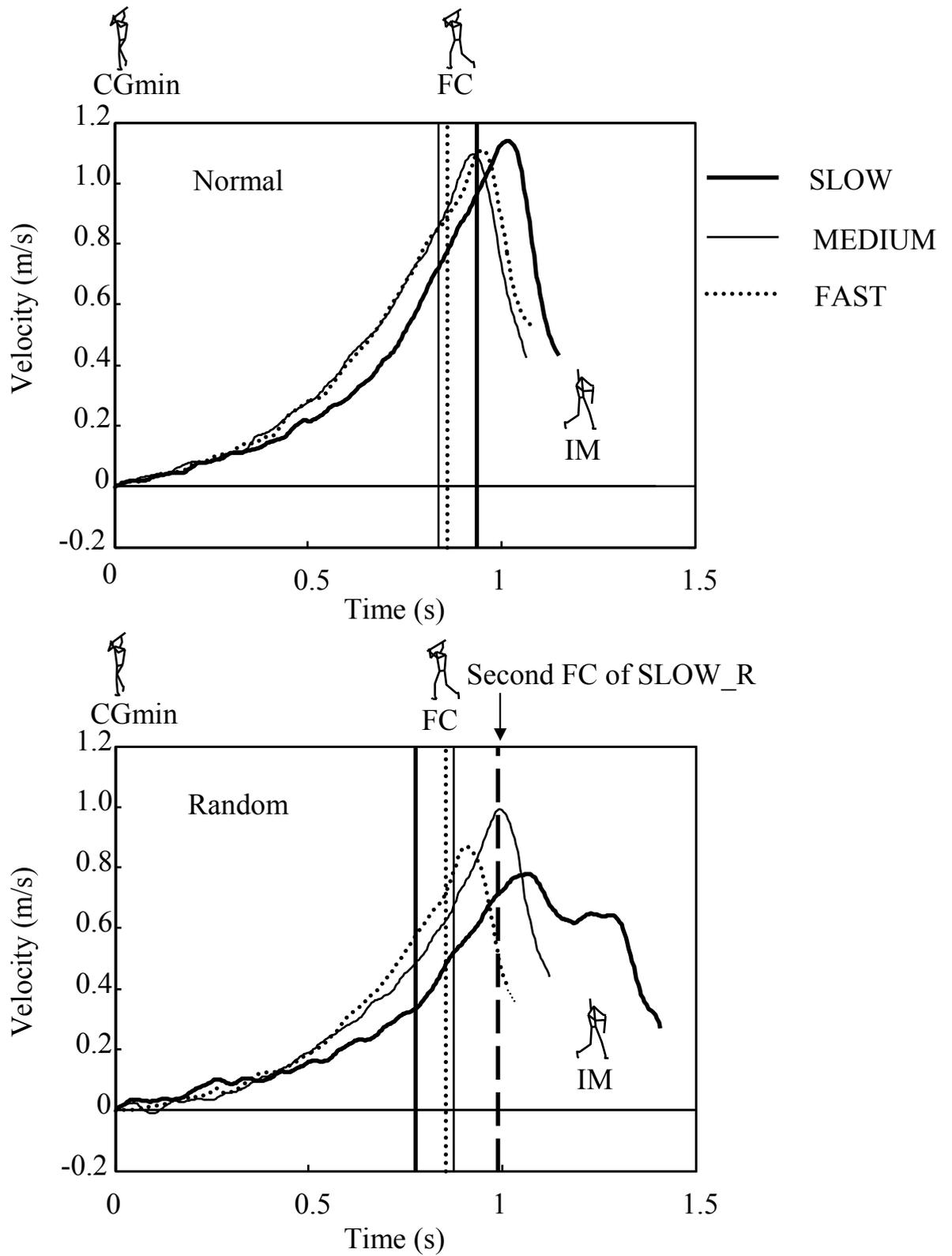
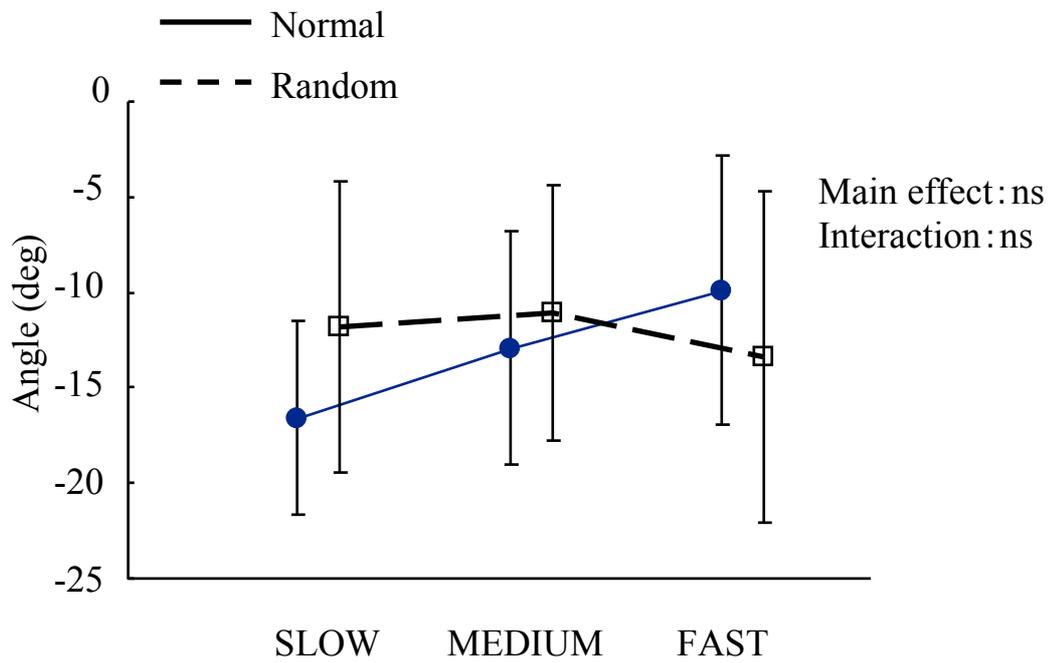


Figure 6-3 Typical pattern of the velocity of center of gravity in Y axis

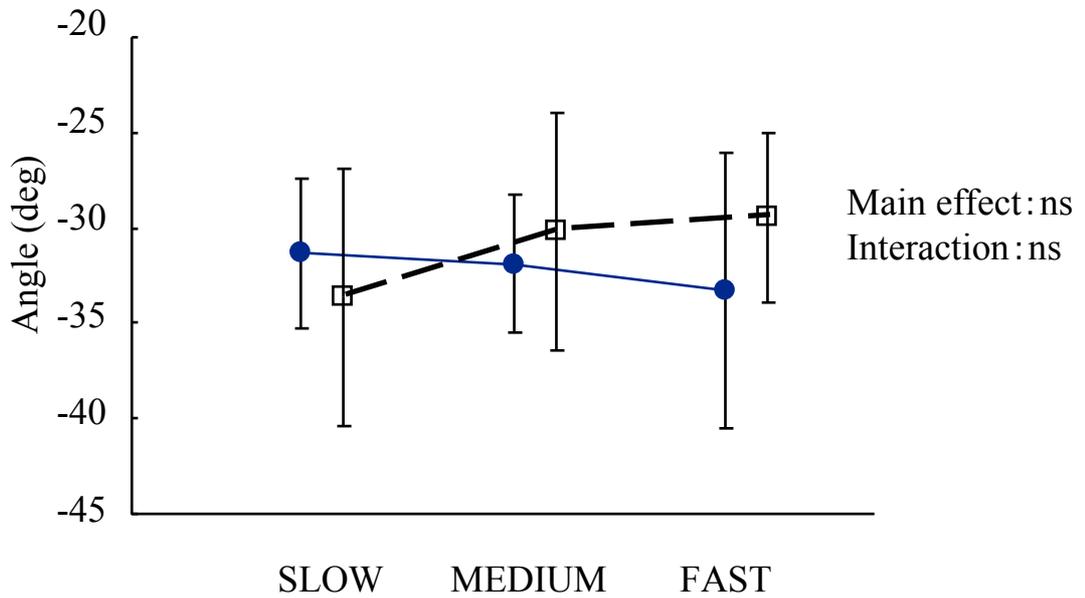
小さい特徴を示した。他の被験者においても、程度の違いはあるものの、同様の傾向を示していた。

6.3.4 身体の回転運動

図 6-4 は全被験者の TWI での上胴角度および上下胴角度をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。TWI での上胴角度は球速提示、ボール速度に主効果はみられなかったものの、球速提示×ボール速度に交互作用がみられる傾向にあった ($F(2,10) = 3.403, p = 0.075$)。なお、球速提示ありの TWI での上胴角度は、有意差はみられなかったものの、すべての被験者が SLOW_N, MEDIUM_N, FAST_N の順に大きくなっていった(投手方向へ回転していた)。TWI での上下胴角度には球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった。図 6-5 は TWI から IM までの上胴角度の回転動作範囲をボール速度条件毎に平均値と標準偏差で示したものである。TWI から IM までの上胴角度の回転動作範囲では球速提示およびボール速度に主効果(球速提示, $F(1,5) = 10.993, p < 0.05$; ボール速度, $F(2,10) = 7.628, p < 0.01$)がみられ、交互作用はみられなかった。したがって、ボール速度条件間において多重比較を行った結果、TWI から IM までの上胴角度の回転動作範囲は SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が小さかった(順に $p < 0.01, p < 0.05$)。図 6-6 は CGmin から IM までの下胴角速度を、IM を基準として平均化したものである。なお、図 6-6 は第 3 章で述べた方法を用いて、動作時間の規格化および時系列データの平均化を行っている。下胴角速度が最大値を示すタイミングは、IM を基準とすると、すべてのボール速度条件において球速提示の有無に関わらずほぼ同じであった。下胴角速度の最大値では球速提示において主効果 ($F(1,5) = 24.173, p < 0.01$) がみられ、球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。図 6-7 は CGmin から IM までの上胴角速度を、IM を基準として平均化したものである。上胴角速度が最大値を示すタイミングは、IM を基準とすると、す



(a) Upper torso



(b) Torso twist

Figure 6-4 Angle of upper torso and torso joint in XY plane at TWI

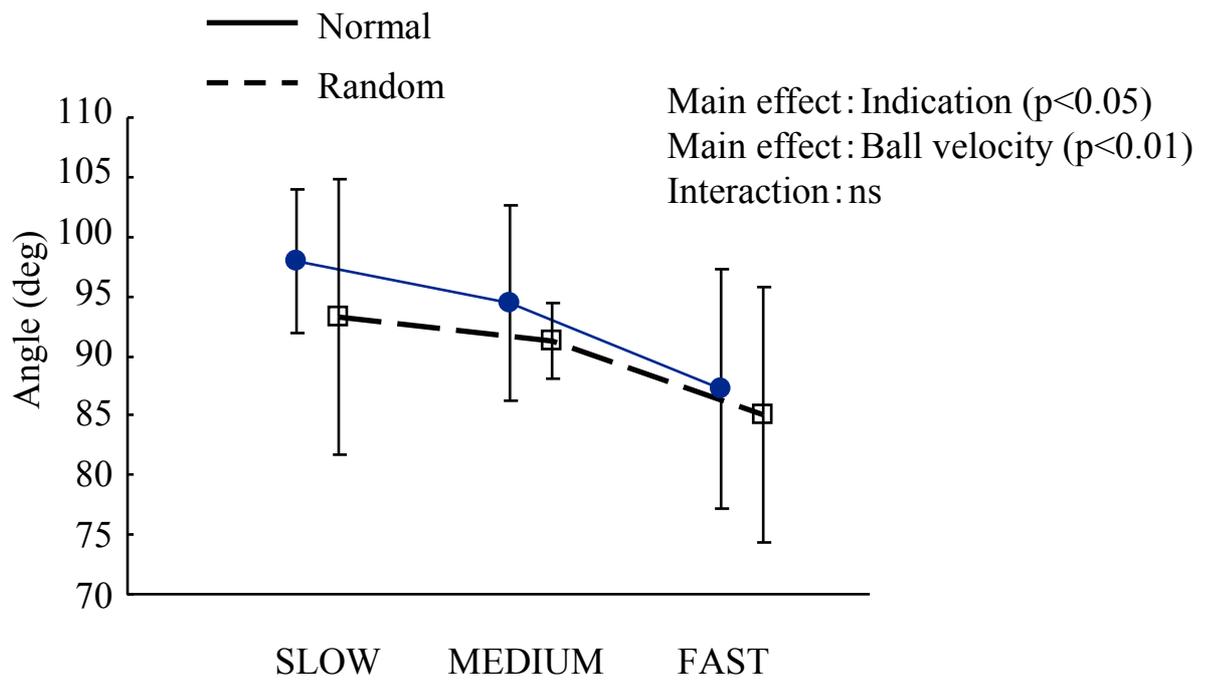


Figure 6-5 Range of the rotational movement of upper torso from TWI to IM

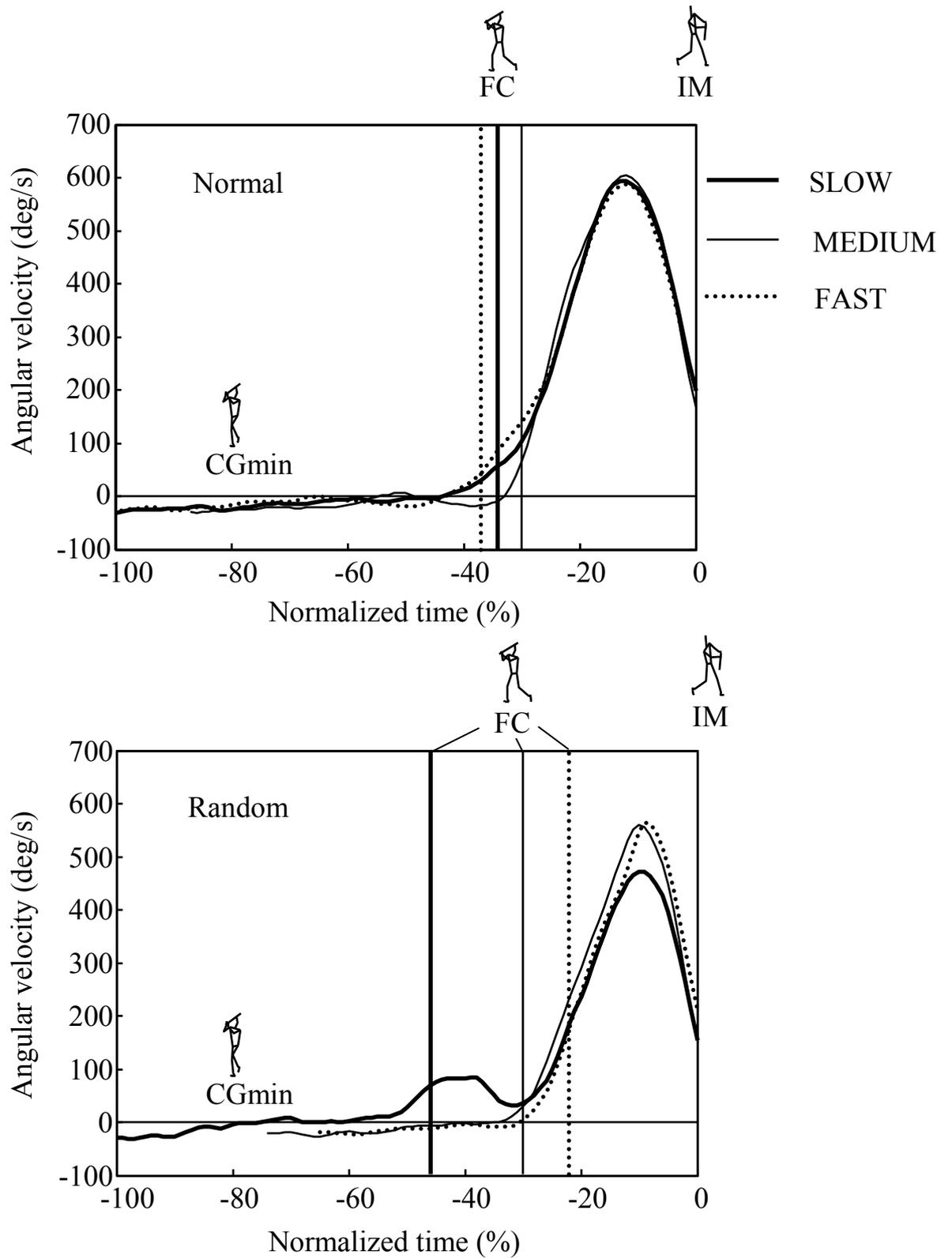


Figure 6-6 Angular velocity of lower torso in XY plane

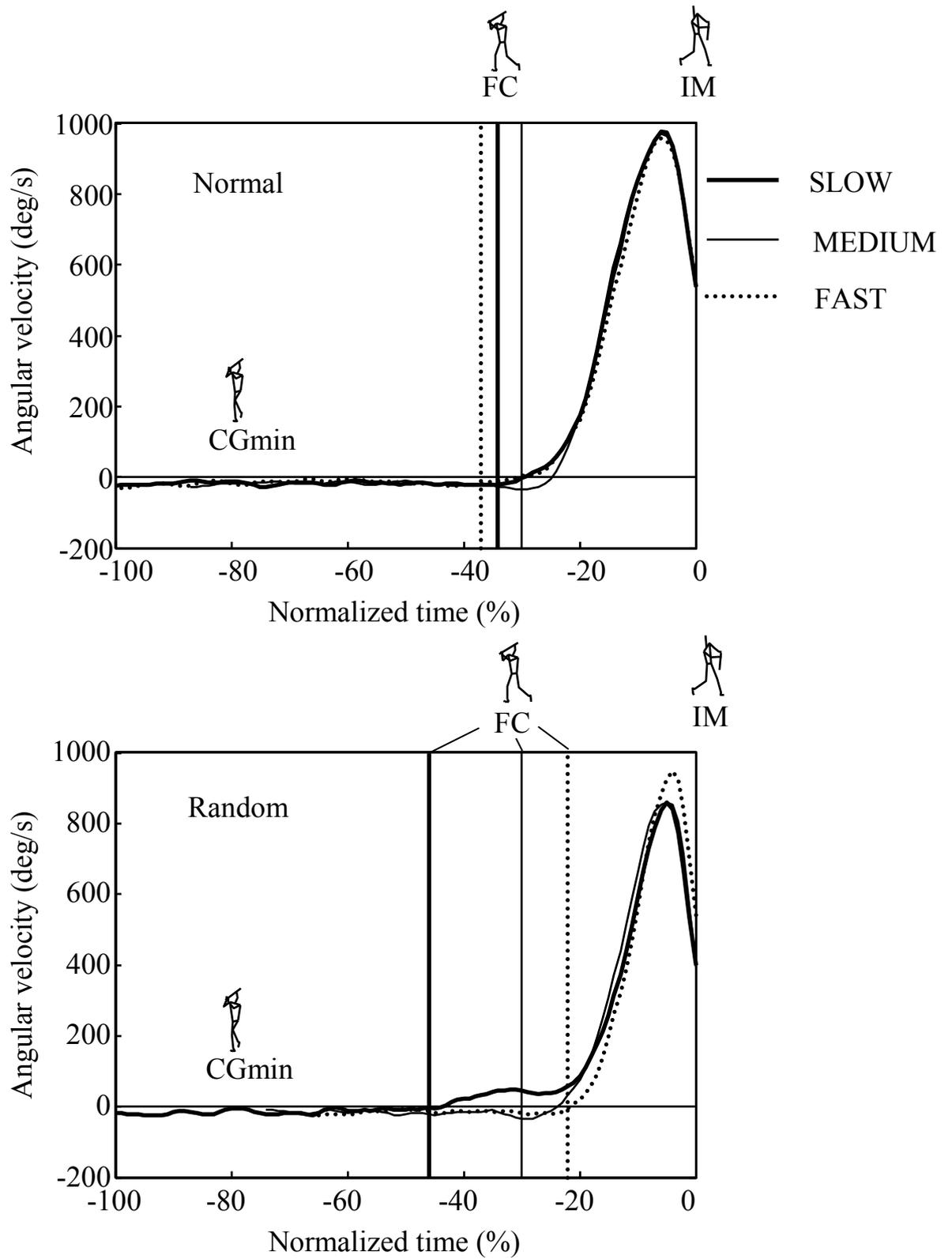


Figure 6-7 Angular velocity of upper torso in XY plane

すべてのボール速度条件において球速提示の有無に関わらずほぼ同じであった。上胴角速度の最大値では、球速提示において主効果がみられる傾向があり ($F(1,5) = 6.335, p = 0.053$)、球速提示なしの方が小さくなる傾向を示した。交互作用はみられなかった。

6.4 考察

6.4.1 無作為にボール速度を変化させた条件における動作のタイミング調節

各動作時点間に要した時間をボール速度条件毎に比較すると、FC から PHIP までの動作時間については FAST_R に比べて SLOW_R の方が大きく ($p < 0.01$)、SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きかった ($p < 0.05$) (表 6-1)。また、SLOW_R では、他のボール速度条件に比べて、CGmin から IM までの動作時間が長く、FC 後には並進速度を維持する特徴を示した (図 6-3) 上述の結果は、予めボール速度がわからない条件における打者のタイミング調整が CGmin から FC までの時間や PHIP 以降の動作調整によるものではなく、主として FC から PHIP までの局面で行われることを示唆するものである。また、それらのタイミング調節を実現するために、FC までは速度の大きいボールにタイミングを合わせて準備動作を行い、ボール速度が小さい場合には、身体重心速度をゼロにするよりもむしろ身体重心速度を維持させることで待球し、ボールに対応することを示唆している。なお、これらの並進移動調整に関する詳しい考察は「6.4.3 身体の並進運動の特徴」で述べる。

IM でのバット速度の大きさは上胴最大角速度と正の相関関係があることを第 4 章において示した (図 4-13)。以上のことを踏まえると、打者はバット速度の獲得に特に重要とされる体幹部の角速度が大きくなる PHIP 以前の局面においてタイミングの調整をする必要があったと考えられる。

6.4.2 球速提示ありと球速提示なしにおけるパフォーマンスの評価

打球速度では、球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかったが、全被験者が SLOW_N に比べて SLOW_R の方が小さかった (図 6-1a)。打球速度の Y 軸成分では、球速提示において主効果 ($F(1,5) = 11.699, p < 0.05$) がみられ、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった。また、打球速度の Y 軸成分には、交互作用がみられる傾向にあり ($F(2,10) = 3.466, p = 0.072$)、6 名中 5 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方が小さかった (図 6-1b)。バット速度は球速提示において主効果 ($F(1,5) = 15.517, p < 0.05$) がみられ、球速提示なしの方が球速提示ありに比べて小さかった (図 6-1c)。インパクト角には球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかったが、インパクト角は 6 名中 5 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きかった (図 6-1d)。

ボール速度がわからない状況では、打者はボールが投げられた後にボール速度を判断し、動作を開始しなければならない。このため、ボール速度が予めわかっている場合に比べてボール速度を特定することがより困難になると考えられる。また、動作の正確性と動作速度との間には相反関係があり、動作の正確性を上げるためには動作速度を小さくする必要があることが知られている (Schmidt and Lee, 2005)。以上のことを踏まえると、球速提示ありに比べて球速提示なしでは、動作速度すなわちバット速度を減少させて、動作の正確性の向上を図る必要があったと考えられる。SLOW_R においては、バット速度を減少させているにも関わらず、6 名中 5 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方がインパクト角は大きかった。予め打者にボール速度を提示していない場合、打者は速度の大きいボールにタイミングを合わせると考えられ (表 6-1)、SLOW_R では FAST_R や MEDIUM_R に比べて打撃動作中の運動プログラムの修正の程度が大きかったことが推察される。したがって、SLOW_R においては比較的多くの被験者においてバット速度を抑えてもなお、インパクト角が大きくなる傾向を示したと考えられる。また、それらのことが打球速度の Y 軸成分の低下にも影響を及ぼしていたと考えられる (図 6-1b~d)。

6.4.3 身体の並進運動の特徴

投手方向への身体重心移動距離はボール速度において主効果 ($F(2,10) = 8.065, p < 0.01$) がみられ, SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が小さかった ($p < 0.05$) (図 6-2a). また, FAST_R の身体重心移動距離は FAST_N と同程度であった. 上述の結果は, 予めボール速度がわからない状況においても打者は, 過度な投手方向への身体重心移動を抑えて対応することを示唆している.

投手方向への身体重心速度の最大値は, 球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった (図 6-2b) ($p < 0.05$). また, 下胴角速度の最大値は球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった ($p < 0.05$). 野球打撃では身体重心速度を増加させた後に踏出足により身体の重心移動を止め, その際に踏出足が受ける地面反力を利用して, 身体重心まわりに大きなモーメントを発生させて身体に回転運動を生じさせることが報告されている (矢内, 2006). 以上のことを踏まえると, 球速提示なしでは, 身体重心速度の小ささが間接的に体幹部の角速度を減少させる一要因となっていたと考えられる. また, 以上のことが結果としてバット速度の小ささにも影響を及ぼしていたと考えられる.

球速提示なしの SLOW_R では, 球速提示ありの SLOW_N に比べて身体重心速度の最大値が小さく, FC 以降に身体重心速度を比較的長い時間維持していた (図 6-3). 予めボール速度を提示しない条件では, 打者の多くがボールリリース前に投手方向への移動を開始するため, 身体重心が投手方向への速度をともなった状態でボール速度を判断することになる. そしてボール速度が小さかった場合に, 球速提示ありでの SLOW_N のように身体重心速度を増加させ続けると, 必要以上に身体重心が投手方向へ移動することになる. 逆に, 身体重心速度をいったんゼロにしてしまうと, 再び地面反力を得て投手方向への速度を獲得しなければならず, そのためには時間が必要となる. 以上のことから, SLOW_R では身

体重心の位置と速度を適切な範囲に留めるために、身体重心速度を維持して対応していたと考えられる。

6.4.4 身体の回転運動の特徴

TWI での上胴角度は球速提示×ボール速度に交互作用がみられる傾向にあり (F (2,10) =3.403, p=0.075), 有意差はみられなかったが, 球速提示ありの TWI での上胴角度は, すべての被験者において SLOW_N, MEDIUM_N, FAST_N の順に大きい値を示した (投手方向へ回転していた) (図 6-4a). また, TWI から IM までの上胴角度の回転動作範囲は SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が小さかった (図 6-5) (順に $p<0.01$, $p<0.05$). 第 4 章において, TWI から IM までの上胴とバットの回転動作範囲を小さくすることは, IM における打撃のタイミング誤差を低減することに役立つ動作であることが示唆されている. 以上のことから, 予めボール速度がわからない場合においても, TWI から IM までの上胴角度の回転動作範囲を小さくすることが, 速度の大きいボールへの対応として有効であったと考えられる.

TWI での上下胴角度は球速提示, ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった (図 6-4b). 第 4 章において, 体幹の捻転動作は投手方向への身体重心移動を大きくすることなく, また上胴およびバットの回転動作範囲が小さい状況においても, 遂行できる動作であり, 速度の大きいボールに対してバット速度の獲得を図るためには有効な動作であることが示唆されている. 本研究の結果は, 予めボール速度がわからない状況においても打者は身体重心移動と上胴部の回転を調整しながらも体幹部の捻転動作を抑えることなく, むしろ積極的に行うことが速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするためには有効であることを示唆するものである.

6.5 要約

本研究では、球速を予め提示した場合と（球速提示あり）と球速を予め提示しなかった場合（球速提示なし）において、速度の異なるボールに対する打者の対応および打撃のタイミング調節に及ぼす動作の影響を検討することを目的とした。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① FC から PHIP までの動作時間は FAST_R と SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きかった（順に $p<0.01$, $p<0.05$ ）。一方、他の局面における動作時間には球速提示、ボール速度条件間に有意差はみられなかった。
- ② 打球速度には球速提示、ボール速度条件間に有意差はみられず、打球速度の Y 軸成分は、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった ($p<0.05$)。インパクト角は球速提示、ボール速度条件間に有意差はみられず、バット速度は球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった ($p<0.05$)。
- ③ 投手方向への身体重心移動距離はボール速度において主効果がみられ、SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が小さかった ($p<0.05$)。また、投手方向への身体重心速度の最大値は、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった ($p<0.05$)。
- ④ TWI から IM までの上胴角度の回転動作範囲では、球速提示およびボール速度に主効果がみられ、ボール速度間の比較では SLOW と MEDIUM に比べて FAST の方が小さかった（順に $p<0.01$, $p<0.05$ ）。また、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった ($p<0.05$)。
- ⑤ TWI での上下胴角度には球速提示、ボール速度条件間に有意差はみられなかった。

以上の結果は、実際の試合状況など、予めボール速度がわからない状況においても、打

者は打撃のタイミング調整に必要な動作を遂行しながら、ボール速度に応じて身体の並進および回転運動を適切に調整して対応することを示唆するものである。それらの動作は互いにその効果を減じることなく、その効果を十分に発揮できるという意味において、極めて合理的な対応であったと考えられる。特にタイミングの調整、バットをボールに正確に当てること、バット速度の維持を同時に実現する対応動作に関する本研究の知見は、指導を考える上で有用になると考えられる。

第7章 指導への示唆

本研究では速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴を明らかにすることにより，速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするための動作要因について検討した．本章では，野球打撃に関する指導書あるいは実際に指導現場で頻繁に用いられる指導の内容と本研究で得られた知見とを比較し，速度の大きいボールに対して大きな打球速度を獲得するための指導あるいはトレーニングへの示唆を導く．

7.1 速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするために有効な指導

第4章では，速球に対して打球速度を大きくするためには，バット速度をある程度減少させてでもバットをボールに正確に当てる技術を優先する必要性があることが認められた．そして，バットをボールに正確に当てるためには①投手方向への身体重心移動距離および身体重心速度を小さくすること，②TWIからIMまでの上胴およびバットの回転動作範囲を小さくすることが有効であることが示唆された．また，上述の動作を行うとともにバット速度を維持するためには，体幹部の最大捻り角度を維持する対応が効果的であることが示唆された．第5章においては，上述の動作を生成するキネティクスの要因が検討され，その結果，投手方向への身体重心移動距離を小さくするためには，CGminからCGvまでの動作時間を短くすることにより，力積の投手方向成分を小さくする必要があることが示された．また，CGminからCGvまでの動作時間を短くするためには，CGmin後に早いタイミングで踏出足を接地するとともに，踏出足接地後に踏出足側股関節屈曲トルクの発揮タイミングを早めるなどの対応により，比較的早いタイミングで踏出足側地面反力が作用することの重要性が示唆された．また，TWIからIMまでの上胴およびバットの回転動作範囲を小さくするためにはTWIにおいて体幹部をより投手方向へ回転させた姿勢をとる必要があり，

そのためには HIP から TWI までの軸足側股関節伸展トルクによる下胴回転成分を大きくするとともに、HIP 付近において軸足側股関節を屈曲位にし、さらに軸足側股関節の内旋角度を小さくした姿勢で軸足側股関節外転トルクを大きくする対応が有効である(図 5-4, 図 5-5).

特に上述した股関節外転トルクの発揮を大きくして下胴を回転させる動作は、投手方向への身体の移動を抑えて体幹部を回転させるためにも有効であることが示唆される。また、軸足への荷重が大きい時点で股関節を内旋させると、いわゆる knee in-toe out の姿勢になり易く、膝関節障害のリスクとなる(野村, 2007) ことを踏まえて考えると、上述の動作は傷害のリスクを減らす上でも効果的な動作であることが推察される。

一般に指導現場では、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくすること、あるいは打球速度を損なわないことを目的として、以下に示す指導の内容が指摘されることが多い。

- ① 「テイクバック(捕手側への身体の移動)を小さくせよ」(應武, 2007)
- ② 「ボールをよく見なさい」「ボールを手元まで呼び込んでスイングせよ」(若林ら, 2007)
- ③ 「スイング時間を短くせよ」(魚住, 2004)
- ④ 「最短距離でコンパクトにスイングせよ」(若林ら, 2007)
- ⑤ 「体幹部を早く開かない」(若林ら, 2007)

そこで、本研究で得られた結果に基づいて、上述の指導について検討を加えていくことにする。

- ① 「テイクバックを小さくせよ」

指導現場では、テイクバックを小さくすることが投手のモーションに対してタイミングを合わせ易いなどの理由から、速度の大きいボールへの対応として指導されることがある。

GRFmax から CGmin までの身体重心移動距離にはボール速度条件間に有意差はみられなかった (図 4-5). 一方, CGmin から IM までの身体重心移動距離は SLOW に比べて FAST の方が有意に小さかった (図 4-6). 上述の結果から身体重心の移動においては, テイクバック時の身体重心移動よりもむしろ CGmin 以降の動作に着目して, 身体重心移動距離が大きい打者には移動距離を小さくするように指導することが有効であると考えられる. しかし, 今回の実験設定はピッチングマシンを用いたものであるため, 実際の投手が投じるボールへの対応については今後さらに検討する必要がある.

② 「ボールをよく見なさい」「ボールを手元までよびこんでスイングせよ」

Bahill and Karnavas (1993) が報告したように, 打者が打撃点までボールを追視することは生理学的に不可能であると考えられるが, より打者に近い位置までボール情報を獲得することは打者にとって有益であると指摘されている (Hay, 1978 ; 平野, 1984). 第 4 章において述べたように, FAST においても SLOW と同程度の投手方向への身体重心移動距離を示した被験者 S.K. では, インパクト角が大きく, バットをボールに正確に当てることが実現できなかったことを踏まえると, 特に投手方向への身体重心移動距離の大きい打者には, 身体重心移動距離を小さくしてボールを長く見るように指導することが有効であると考えられる.

③ 「スイング時間を短くせよ」

スイング時間を短くすることは先行研究においても比較的多く指摘されている (Hay, 1978 ; 平野, 1984). しかし, 第 4 章で述べたように BAT, HIP, SHL, TWI の各動作時点から IM までの動作時間にはボール速度条件間に有意差はみられなかった (表 4-2). 一方, ボール速度が大きい場合には TWI から IM までの上胴およびバットの回転動作範囲を小さくすることが打撃のタイミング誤差を低減するために有効な動作であることが示唆された (図 4-11, 図 4-14, 図 4-15). 上述の結果は, 動作時間を改善するよりもむしろ, 動作範囲

を小さくする対応が速度の大きいボールに対しては有効であることを示唆するものである。しかし、以上の動作は、試合などで即時的な対応を求められる場合において特に有効であることを意味しており、より長期的なトレーニングにおいて得られたスイング時間の短さの有効性については今後検討する必要がある。

④ 「最短距離でコンパクトにスイングせよ」

指導現場において最短距離でスイングすることは頻繁に指摘されている。これは最短距離でスイングすることがバットの移動距離を小さくし、スイング時間の減少にもつながることがひとつの理由として考えられる。しかし、BAT から IM までのバットヘッドの移動距離にはボール速度条件間に有意差がみられなかった (図 4-10b)。一方、先述したように TWI から IM までの上胴およびバットの回転動作範囲を小さくすることが打撃のタイミング誤差を低減するために有効な動作であることが示唆されている。以上のことは、バットが回転を開始する時点からインパクトまでのバットの軌道を小さくするよう指導するよりも、TWI 以降のバットの回転動作範囲を小さくすることを促す指導の方がより効果的であることを示唆している。具体的には「上胴部の姿勢は変えずに (捕手側へ大きく回転させることなく)、下胴部を回転させることで体幹部は大きく捻ってスイングしなさい」などの指導が提案できる。これまで、指導現場においては「コンパクトにスイングせよ」と指摘するのみで具体的にどの局面で、どのような動作によってコンパクトにスイングすべきなのかについての正しい指摘は少なかったようである。そのため、本研究で得られた結果は指導法に関する一つの有用な知見になるものと考えられる。

⑤ 「体幹部を早く開かない」

指導現場においては、速度の大きいボールに対して体幹部の回転動作が尚早になることを防ぐために、「体幹部を早く開かない」ように指導する場合がある (若林ら, 2007)。本研究結果から、TWI での上下胴角度にボール速度条件間に有意差はないことが示唆された

ことを踏まえて考えると、体幹部あるいは下胴部を開かないように指導することは、TWIにおける上胴部の角度をより捕手方向へ移動させてしまう可能性がある。したがって動作範囲を小さくしてセンター方向への打球を打つためには「体を開かないように」指導するよりもむしろ、「上胴部を若干投手側へ回転させた姿勢で構えて、バックスイング時に上胴部を捕手側へ大きく回転させずにスイングしなさい」など、TWIでの上胴およびバットをより投手方向へ回転させるような動作を促す指導が効果的であると考えられる。一方、以上の動作はあくまで、速球に対してセンター方向への打撃を意図した場合に有効であり、試合の状況や投手の投げる球種やコースの違いによっても対応は異なる可能性があるため、それらについては今後検討する必要がある。

7.2 速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするためのトレーニング

ここでは、7.1で示された技術要素の一つである、軸足側膝関節および股関節を屈曲させた姿勢で、股関節外転トルクの発揮を大きくして下胴を回転させる動作の習得について検討する。速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするためのトレーニングを考える際には、上述の動きを習得する課題を提案することがひとつの手がかりになると考えられる。

一般的に用いられるトレーニング手段の一つとして斜め横方向からトスされたボールを投手方向へ打ち返すトスバッティングがある。トスバッティングには、後方からボールを投げたり、トスの速度を変化させたりと様々な方法が指導現場において考案されているが、その内の一つとして、両足を大きく開いて膝関節および股関節を屈曲させて構え、ステップ動作は行わずにトスされたボールを、打者と正対する方向（右打者では右打席から左打席へ向かう方向）に打撃する練習課題がある（大川，2007）。その練習手段では、投手方向への移動をともなわず、下胴の回転は最小限にとどめて（下胴を捕手側に回転させた状態

から再び基本姿勢の状態に戻す程度) トスされたボールを打撃する。大川 (2007) は「ボールを手元までひきつける」感覚を身につけさせるための練習として紹介しているが、膝関節および股関節の屈曲を大きくし、股関節の内外転動作 (実際は骨盤が回転することで解剖学的に内転位から外転位の姿勢となる) によって下胴に回転を起こさせるように指導することで、股関節外転トルクによって下胴に回転を起こさせるために効果的な手段であると考えられる。そして、上手く打てるようになったら、打撃方向を投手方向へと徐々に近づけていくことにより、基礎的な技術の獲得から実際のスイングに近い動作へと段階的に課題を発展させることが必要であろう。

また、本研究結果から、ボール速度によらず体幹部の捻転動作はバット速度を増加させるためには重要な動作であることが示唆されている。体幹の捻転動作に関与する体幹部筋群は下胴部の回転により上下胴に捻りが加わる時点から TWI まではエキセントリックな活動によって筋力を発揮し、TWI 以降ではコンセントリックな筋収縮により筋力を発揮する。体幹部回旋筋群のトレーニングはメディシンボールやバーベルを用いて立位で体幹の捻転動作を行う運動が考えられるが、本研究で示唆された股関節および膝関節屈曲位で股関節外転トルク発揮を大きくして下胴を回転させる技術の習得も考慮に入れると、以下のトレーニング手段が提案できる。

- ① 両足を大きく開き、股関節および膝関節を屈曲させた姿勢でメディシンボールを持つ。
- ② メディシンボールが膝の外側に来るまで勢いよく体幹部を捻り、下胴の回転と体幹部の捻り戻しを利用してメディシンボールを勢いよく正面に投げる。
- ③ 以上を、左右交互に二人一組で、あるいは一人で壁やネットにボールを当てて行う。

このトレーニングは、体幹部の捻転動作による Stretch-Shortening Cycle に関与する体幹部回旋筋群および下肢による体幹部回転に作用する筋群に負荷を与え、用いる道具が少なく、

広い場所を必要とせず，一人でもトレーニングが可能である，という点で基礎的な筋力及び動作習得を図る上で有用なものであると考えられる．

第 8 章 結論

本研究の目的は、速度の異なるボールに対する打撃動作の特徴を明らかにすることにより、速球に対して打球速度を大きくするために有効な動作要因を明らかにし、指導への示唆を得ることであった。

本研究の結果から以下の結論を導くことができる。

8.1 速球に対して打球速度を大きくするために有効な動作

- (1) SLOW では打球速度の Y 軸成分とインパクト角との間に相関関係は認められなかったが、打球速度の Y 軸成分とバット速度との間に相関関係が認められる傾向にあった。一方、MEDIUM と FAST では、インパクト角と打球速度の Y 軸成分に負の相関関係が認められた。このことは、打球速度を高めるための技術要素がボール速度によって異なることを示唆しており、速度の大きいボールに対しては、バット速度をある程度減少させてでもバットをボールに正確に当てることを優先させる対応が有効である。
- (2) 速度の大きいボールに対しては、投手方向への身体重心移動距離および身体重心速度を抑える対応が有効であることが示唆される。また、投手方向への身体重心移動距離を抑えるためには、CGmin から CGv までの軸足側股関節力 Y 軸成分の平均力の大きさではなく同局面の動作時間の短さが大きく影響を及ぼす。
- (3) 速度の大きいボールに対しては、TWI でのバットおよび上胴角度を捕手方向ではなく投手方向へ移動させることで TWI から IM までの回転動作範囲を小さくできる。また、TWI から IM までの回転動作範囲の小ささは、バットをボールに正確に当てるための対応として有効である。体幹部の回転の調整には軸足側では股関節伸展および外転トルク、踏出足側では股関節屈曲および内転トルクが関与する。また、速度の大きいボ

ールに対して体幹部をより投手方向へ回転させるためには、軸足側股関節の屈曲を大きくした姿勢で股関節外転トルクを発揮することが有効である。

- (4) 体幹の捻転動作は、バットをボールに正確に当てることを損なわせる動作をとまなうことなく、バット速度の増大を図ることができるという点で、速度の大きいボールへの対応として効果的な動作要素である。
- (5) 予めボール速度がわからない状況における打撃においても、上述の対応動作が認められたことから、本研究で明らかにした動作要素は、指導への示唆を導く上で有用である。
- (6) 予めボール速度がわからない状況においては、打者は速度の大きいボールを想定して準備動作を行い、ボール速度が小さい場合には、動作の局面ごとにタイミングの調整を図るのではなく、特定の局面、すなわち踏出足接地から下胴の角速度が最大になる時点までの時間を調節することで打撃のタイミングを調整する。

上述の結果は、速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするための対応を考え、また指導を行っていく上での重要な視点を与え、トレーニング方法を実施・考案する際の基礎的資料を与えるものである。

8.2 指導への示唆

速度の大きいボールに対して打球速度を大きくするためには、スイング時間やスイングの軌跡の長さを指導するよりも TWI 以降の上胴およびバットの回転動作範囲を小さくする指導が有効であると考えられる。また、HIP 付近において軸足側股関節および膝関節を屈曲させた姿勢から、股関節外転トルク発揮を大きくすることにより下胴を回転させることが投手方向への身体重心の移動を抑えて、体幹部を回転させるためには有効である。そして、

上述の動作の習得には、体の正面に向かってボールを打撃するなどのトレーニング手段が有効であると考えられる。

8.3 今後の課題

本研究は、首都大学野球連盟一部リーグに所属する大学硬式野球部員を対象として、真ん中コースに投げられた速度の大きいボールを打つための動作要因を明らかにし、指導への示唆を導いたものである。したがって、今後は異なる競技年齢、競技レベルの選手など本研究で扱った大学野球部員以外の対象者の特徴を検討していく必要がある。また、真ん中コース以外のボールへの対応動作や変化球への対応など、本研究では扱わなかった状況における対応についても検討する必要がある。さらに、選手個人への動作指導に発展させていくために、本研究で明らかにされた統計処理に基づく全体的な傾向を踏まえた上で、個々の選手の動作特性も考慮に入れて分析・検討していくことが必要だろう。

予めボール速度を提示せずは無作為にボール速度を変化させた条件においては、成功試技あるいは失敗試技の前の試技のボール速度が、どの程度次の試技の動作やパフォーマンス（打球速度やバット速度、インパクト角など）に影響を及ぼすのかを明らかにすることも重要であると考えられる。それは、打者の失敗試技あるいは成功試技の確率を高める配球を明らかにする可能性がある。

謝 辞

本研究は、藤井範久准教授をはじめ、阿江通良教授、木塚朝博准教授、宮川俊平教授の懇切丁寧なご指導・ご校閲により行われたものである。藤井範久准教授のご指導により、研究に携わる者の態度や、問題解決の際に必要な考え方など、研究を通じて研究以外の事柄においても重要かつ不可欠な心得を学びました。また、阿江通良教授、木塚朝博准教授、宮川俊平教授のご指導により、より広い視野で深く物事を洞察することの大切さを学びました。

そして、被験者としてご協力を頂いた筑波大学野球部部員、被験者の実験参加を快く承諾して下さった川村卓准教授、験者として実験に協力し、本研究への貴重なご指摘を与え、議論に応じてくれたスポーツバイオメカニクス研究室の諸兄姉、実験機材等の借用を快く承諾し、またデータ解析の知識・技術をご教授下さった小池関也准教授、その他本研究に携わり協力してくれた多くの方々のご支援・ご協力がなければ、本研究は成し得るものではありませんでした。

ここに記して、ご協力を賜った多くの方々へ深く感謝の意を表すとともに、ここで学び得たものを磨き高め、活かすことを誓います。

文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15 (3) : 155-162
- 浅井英典 (1991) 熟練度およびスウィング強度がバッティング動作に及ぼす影響.
愛媛大学教養部紀要, 24 (2) : 1-7
- Bahill, A.T., Karnavas, W.J. (1993) The perceptual illusion of baseball's rising fastball and breaking curveball. *Journal of Experimental Psychology*, 19 (1) : 3-14
- Castaneda, B., Gray, R. (2007) Effects of focus of attention on baseball batting performance in players of differing skill levels. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29: 60-77
- Cross, R., Nathan, A.M. (2006) Scattering of a baseball by a bat. *American Journal of Physics*, 74 (10) : 896-904
- Derrick, T. R. (2004) Signal Processing. Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S. N. (Eds), *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics, Champaign, pp.227-238
- Gray, R. (2002) Markov at the bat: A model of cognitive processing in baseball batters. *Psychological Science*, 13 (6) : 542-547
- Hay, J.G. (1978) *The biomechanics of sports techniques* 2d ed. Prentice-Hall, New Jersey,

pp.206-216

平野祐一（1984）バットによる打の動作. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 3（3）：
199-208

Hirano, Y.（1985）An analysis of timing in softball hitting. *体育学紀要*: 1-8

平野祐一（1993）当てる打撃と運ぶ打撃. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 12
（6）：340-345

平野祐一，石田和之（2004）少年野球選手の打動作の習得ーその2ー. 第18回バイオ
メカニクス学会大会論集，pp.164-165

Hubbard, A.W., Seng, C. N.（1954）Visual movements of batters. *Research Quarterly*, 25:
42-57

稲尾和久，吉村正（2001）勝つための野球術 生まれ変わるピッチング. 新星出版
社，東京

石田和則，仲井良平，平野祐一（2000）野球打者の打撃の意思決定とバットの運
動調節に関する実験的研究. *バイオメカニクス研究*, 4（3）：172-178

石垣尚男，福田和夫（1997）野球のバッティングにおけるボール情報の有用性.
愛知工業大学研究報告, 32A：27-31

加藤貴昭，福田忠彦（2002）野球の打撃準備時間相における打者の視覚探索スト

ラテジー. 人間工学, 38 (6) : 333-340

Kato, T., Fukuda, T. (2002) Visual search strategies of baseball batters: Eye movements during the preparatory phase of batting. *Perceptual and Motor Skills*, 94: 380-386

勝又宏, 川合武司 (1996) 地面反力からみた異なる投球速度に対する打撃動作の特性. *体育学研究*, 40 : 381-398

Katsumata, H. (2007) A functional modulation for timing a movement: A coordinative structure in baseball batting. *Human Movement Science*, 26: 27-47

川村卓, 功力靖男, 阿江通良 (2000) 熟練野球選手の打撃動作に関するバイオメカニクス的研究ーバットの動きに着目してー. *大学体育研究*, 22 : 19-32

小嶋武次, 飯野要一 (2000) 野球のバッティング動作における体幹のその長軸周りの回転を生み出す脚の働き. 第8回日本運動生理学会/第16回日本バイオメカニクス学会合同大会論集, p458

小嶋武次 (2000) 身体運動の科学. 東京大学身体運動科学研究室 (編), 教養としてのスポーツ・身体運動. 東京大学出版会, 東京, pp.86-87

小村堯, 西園秀嗣, 磨井祥夫, 宮下充正 (1983) バッティングの分析. 日本バイオメカニクス学会 (編), 身体運動の科学IV「スポーツバイオメカニクス」. 杏林書院, 東京, pp.157-170

工藤孝幾 (1984) タイミングの遅延反応に関する分析. *体育学研究*, 29 (3) : 195-205

- 工藤孝幾 (1987) バッティング動作におけるタイミングの分析. 体育学研究, 31 (4) : 285-291
- 倉林準, 持丸正明, 河内まき子 (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. バイオメカニクス学会誌, 27 (1) : 29-35
- Matsuo, T., Kasai, T. (1994) Timing strategy of baseball batting. *Journal of Human Movement Studies*, 27: 253-269
- McIntyre, D.R., Pfautsch, E.W. (1982) A kinematic analysis of the baseball batting swings involved in opposite-field and same-field hitting. *Research Quarterly*, 53 (3) : 206-213
- Messier, S.P., Owen, M.G. (1984) Bat dynamics of female fast pitch soft ball batters. *Research Quarterly*, 55 (2) : 141-145
- Messier, S.P., Owen, M.G. (1985) The mechanics of batting: Analysis of ground reaction forces and selected lower extremity kinematics. *Research Quarterly*, 56 (2) : 138-143
- 宮西智久 (2004) 野球の打撃動作の角運動量解析. 第18回バイオメカニクス学会大会論集, pp.160-161
- 宮崎義憲, 羽鳥好夫, 朽木勤 (1984) 野球の打撃動作におけるストライドについて. 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集「走・跳・投・打・泳運動におけるよい動きとは」, pp.137-141

村田厚生, 杉足昌樹 (2000) スポーツビジョンと野球の打撃能力の関係. 人間工
学, 36 (4) : 169-179

Nathan, A.M. (2000) Dynamics of the baseball bat collision. American Journal of Physics,
68 (11) : 979-990

野村亜樹 (2007) 競技種目に基づいたリハビリテーションプログラミング バス
ケットボール. 日本体育協会 (編), 公認アスレティックトレーナー専門科目テ
キスト7 アスレティックリハビリテーション. 文光堂, 東京, pp.298-305

小田伸午, 森谷敏夫, 田口貞善, 松本珠希, 見正富美子 (1991) 地面反力からみ
た野球のティーバッティング技術. 体育学研究, 36 : 255-262

大川和正 (2007) 桐蔭学園中学. 強くなるドリル・シリーズ 1 Baseball 中学軟式
野球. ベースボールマガジン社, 東京, pp.40-49

應武篤良 (2007) 1番になれるバッティング上達テクニック. 成美堂, 東京.

大室康平, 坂元龍斗, 永見智行, 大部隆志, 長谷川伸, 野村徹, 彼末一之 (2004)
野球のバットスイングの解析ー速さか安定性かー. ジョイント・シンポジウム
2004 講演論文集, pp.108-112

大藪由夫, 高橋邦郎, 須藤芳樹, 佐藤宣庚紘 (1979) 野球におけるバッティング
の動作分析. 工学院大学研究論叢, 17 : 55-74

笹川スポーツ財団 (2006) 青少年のスポーツライフ・データー10代のスポーツライフに関する調査報告書ー. SSF 笹川スポーツ財団, 東京

Sawicki, G.S., Hubbard, M., Stronge, W.J. (2003) How to hit home runs: Optimum baseball bat swing parameters for maximum range trajectories. *American Journal of Physics*, 71 (11) : 1152-1162

Schmidt, R.A. (1969) Movement time as a determiner of timing accuracy. *Journal of Experimental Psychology*, 79 (1) : 43-47

Schmidt, R.A., Zelaznik, H.N., Hawkins, B., Frank, J.S., Quinn, J.T.Jr. (1979) Moto-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86: 415-451

Schmidt, R.A., Lee, T.D. (2005) *Motor control and learning 4th ed.* Human Kinetics Publisher, Champaign, pp.207-242

島田明 (2001) 明治維新と日米野球史. 文芸社, 東京, pp.14-26

角晃司 (2004) 野球上達 BOOK バッティング. 成美堂, 東京

田子孝仁, 阿江通良, 藤井範久, 小池関也, 高橋佳三, 川村卓 (2006a) 野球における打撃ポイントの高さが打撃動作に及ぼす影響. *バイオメカニクス研究*, 10 (1) : 2-13

田子孝仁, 阿江通良, 藤井範久, 小池関也, 高橋佳三, 川村卓 (2006b) 野球にお

ける内外角の打撃ポイントが打撃動作に及ぼす影響. バイオメカニクス研究,
10 (4) : 222-234

田内健二, 南形和明, 川村卓, 高松薫 (2004) 野球のティーバッティングにおける体幹の捻転動作がバットスピードに及ぼす影響. スポーツ方法学研究, 18
(1) : 1-9

魚住廣信 (2004) 指導に悩んだときのベースボールコーチングマニュアル. 恒星出版, 大阪

和達三樹 (1983) 物理のための数学. 岩波書店, 東京

若林憲一, 佐伯勉, 篠田秀美, 川端理香 (2007) 150 キロのボールを打つ. ナツメ社,
東京

Watts, R.G., Bahill, A.T. (1990) Keep your eye on the ball. W. H. Freeman and company,
New York, pp.151-168

Welch, C.M., Banks, S.A., Cook, F.F., Draovitch, P. (1995) Hitting a baseball: A
biomechanical description. Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 22
(5) : 193-201

Winter, D.A. (1990) Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley
and Sons, New York, pp.41-43

Wickstrom, R.L. (1975) Developmental kinesiology: maturation of basic motor patterns.

Exercise and sport sciences reviews, 3: 179-181

山本裕二，池上康男，桜井伸二（1997）打動作における柔軟さと固さーバッティング動作における視覚情報との同期ー．日本認知科学会第 14 回大会論文集，pp.188-189

矢内利政（2006）野球のバッティングにおける回転運動の力学的メカニズム．第 19 回日本バイオメカニクス学会大会論集，p57