

2010年度 修士論文

世界大会で首位打者を獲得した女子野球選手の
スイング動作中の床反力と筋放電量の研究

Ground reaction force and muscle activity level
during swing movement
in prominent female baseball player

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 コーチング研究領域

5009A076-5

松本 慶

Matsumoto, Kei

研究指導教員： 岡田 純一 准教授

目次

第 1 章	緒言	1
第 2 章	方法	4
2 - 1	被験者	4
2 - 2	実験方法	4
	① 実験試技	4
	② EMG 採取	5
	③ MVC	6
	④ 床反力	6
	⑤ 撮影条件	7
2 - 3	分析方法	8
	① 局面分け	8
	② EMG	10
	③ 床反力	11
	④ スイング速度	12
	⑤ 同期方法	13
第 3 章	結果	14
3 - 1	① 床反力	14
	② BW	16
3 - 2	① 筋放電量	17
	② % MVC	21
	③ スイング期の % MVC	24
3 - 3	スイングスピード	24
3 - 4	局面時間	24

第4章	考察	27
4-1	床反力	27
4-2	内転筋の筋放電量	27
4-3	上肢の筋活動パターン	28
4-4	スイング期の筋活動パターン	29
4-5	運動連鎖	30
4-6	スイング時間の比較	32
4-7	トレーニングへの応用	33
第5章	結論	34
参考文献		35
謝辞		39

第 1 章 緒言

2010 年春，関西において“女子プロ野球リーグ”が開幕し，大きな話題をよんでいる．年々増えていく女子野球人口は，推定 3,000 人を超える．これは，他のスポーツの競技人口と比べると非常に少ない数である．2005 年に行われた第 1 回全日本女子硬式野球選手権大会の出場チームは 16 チームであったが，今年 8 月に行われる第 6 回大会では，出場チームは 30 チームに増えていることが報告されている³⁸⁾．このことから，女子野球は今後の底辺拡大が期待されるスポーツのひとつであると考えられる．

野球は，「投げる」「打つ」「捕る」「走る」の 4 つの主要動作で成り立っている²⁸⁾．その中で，野球の攻撃において主となる「打つ」ことは，得点を得るために必要かつ重要な技術である²²⁾²⁸⁾³³⁾．これまでに多くの研究が報告されており，とくにスイング動作に必要な筋力やスイング速度を向上させるトレーニング³⁴⁾，あるいはスイング動作中の筋放電量などの研究³⁾⁴⁾⁵⁾³⁰⁾は，動作技術と体力因子の関連に言及する資料を提示している⁶⁾．しかし，これらすべての研究においてその対象者が男子選手であった¹¹⁾²⁸⁾³⁰⁾．前川ら²⁰⁾は，男子プロ野球選手と一流女子ソフトボール選手の形態を比較し，体脂肪を除く，身長(男 $179.6 \pm 5\text{cm}$ ，女 $163.9 \pm 5.08\text{cm}$)や体重(男 $84.8 \pm 7.5\text{kg}$ ，女 $65.2 \pm 8.6\text{kg}$)，および四肢長(上肢長，男 $79.6 \pm 2.6\text{cm}$ ，女 $72.5 \pm 3.3\text{cm}$)などの諸指標において，男子の方が有意に高い値を示したことを示唆している⁴¹⁾．このほかにも多くの性差が報告されており²³⁾³⁵⁾，とくに女子選手と男子選手の間には形態および運動機能に性差を認めている⁴¹⁾．一方，女子のスイング動作(バッティング)を研究対象とした報告がなされている¹⁰⁾³²⁾⁴⁰⁾．けれど

も、授業のための教材研究¹⁰⁾や未熟練者を対象とした研究⁴⁰⁾がほとんどであり、動作の詳しい分析までには至っていない。このように、男子野球および男女ソフトボールを対象とした報告²¹⁾に比べ、女子野球選手に関する知見は皆無に等しい。さらに前述したように、ソフトボールでの男女差、あるいは男子野球選手と女子ソフトボール選手の比較において、体力ばかりでなく、技術的な差違も指摘されていることから、女子野球選手の技術情報を集積することは、技術指導および種目特異的なトレーニングといった強化の方向性を定める上で急務であろう。

野球のバッティングにおいて、軸足の運動が重要といわれている³⁾。軸足加重期に身体重心を捕手方向に移動させるのは、スイング期に身体重心を投手方向に加速させるための準備動作であると言われており、打者はこの動作を大きくすることで投手方向への運動量を増すことができると考えられる³⁶⁾。また、熟練者は前後、左右および上下の各方向の床反力において、未熟練者より1.5～2.3倍の値を示している³¹⁾。したがって、より高いスイングスピードを得るためには、できるだけ短時間で速やかな体重移動が必要とされる。

さらに、熟練者のバッティング動作中の前頸骨筋と腓腹筋内側頭、大腿直筋と大腿二頭筋の間に、相反的な放電が見られている³¹⁾。相反的な筋運動とは、連動し難い動作を円滑な動作にすることに貢献する³⁷⁾と考えられており、力発揮が素早く、瞬発的で強力なスイングの発現に関わっていると推察される。また、前腕の円回内筋において、熟練者には未熟練者にはみられなかった筋放電が認められている²⁾。この、熟練者にみられる円回内筋の筋放電は、インパクト直前から直後という短時間の中で前腕を回内させ、バットのヘッド速度を高めようとしているためと考えられる。すなわち、バッティング動作において、前腕の回内はス

イング速度を高める上で重要だといえる。

本研究では，世界大会で首位打者を獲得した女子野球選手のバッティング動作中の，筋活動量および床反力を指標とし，女子硬式野球選手のバッティング動作を明らかにし，今後の技術指導や種目特異的なトレーニングを行う上で有用な情報を得ることを目的とした。

第 2 章 方法

2 - 1 被験者

被験者は、第 3 回女子野球ワールドカップ（国際野球連盟 (IBAF) 主催，2008 年於愛媛県松山市）において，首位打者（.733）および得点王（10 得点）を獲得した，現役女子野球日本代表選手 1 名であった．身長 163.5cm，体重 63.0kg，体脂肪 25.4%，年齢 22 歳で右投右打の捕手である．実験に先立ち，被験者に本研究の目的，方法および実験の参加に伴う危険性を書面，口頭で十分に説明をし，書面による実験参加への同意を得た．また，本研究は，早稲田大学学術研究倫理委員会の承認（申請番号：2010-123）を得て実施された．

2 - 2 実験方法

本研究は世界大会で首位打者を獲得した選手のスイング動作中の床反力，筋放電量を評価するため，ティーバッティング時の床反力，筋電図および映像を記録した．なお，機材の条件により，筋電図採取においては，上肢，下肢および体幹その他と 3 つに分け，さらに，床反力においては左右を 2 回に分けて計測したため，合計 6 回の試技を行った．

2 - 2 - ① 実験試技

本研究の実験試技には，ティーバッティングを採用した．また，この試技は高さや広さを十分に備えた室内で実施している．室内は，ゴム材の床が敷かれ，天井から防球ネットを吊り下げた．被験者は室内用の運動靴を履き，ティー台（KENKO 社製）に置かれた硬球（Wilson 社製，重量 142g，円周 22cm）を，金属バット（株式会社ミズノ社製 V KONG

02, 83cm, 900g) を用いて防球ネットに向かって全力で打った。試行は各試技を 5 球ずつ, 6 試技で合計 30 球であった。

2 - 2 - ② EMG 採取

テレメトリー筋電計 (キッセイコムテック株式会社製, MARQ) を用い, 筋電図を記録した。電極を介して導出したアナログ信号をテレメトリー筋電計を介してデジタル変換し, サンプリング周波数 1000Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ (DELL 社製 LATITUDE D820) (図 1)。被験筋を 24 箇所 (左回外筋, 右円回内筋, 左右上腕二頭筋, 左右上腕三頭筋, 左右三角筋, 左右大胸筋, 左右僧帽筋, 左右広背筋, 左右腹直筋, 左右大腿直筋, 左右大腿二頭筋, 左右内転筋群, 左右腓腹筋) とし, Perotto の方法²⁹⁾ に基づいて, 帯状ディスプレイ電極 (株式会社アドバンス社製, レクトロード NP, 38×19mm) を貼付した。電極を貼付する際, 脱脂綿, アルコールおよび皮膚前処理剤 (日本光電工業株式会社製, スキンピュアー) を用い, 電極装着部位を清潔にした。また, 電極は筋線維の走行方向に沿うように, 各筋の筋腹付近に貼付した。測定時のノイズを減少させるため, 不関電極を左上前腸骨棘に貼付した。計測器のチャンネル数の制限から測定を 3 回に分けた。それぞれ上肢 (左回外筋, 右円回内筋, 左右上腕二頭筋, 左右上腕三頭筋, 左右三角筋), 下肢 (左右大腿直筋, 左右大腿二頭筋, 左右内転筋群, 左右腓腹筋), 体幹その他 (左右大胸筋, 左右僧帽筋, 左右広背筋, 左右腹直筋) とした。

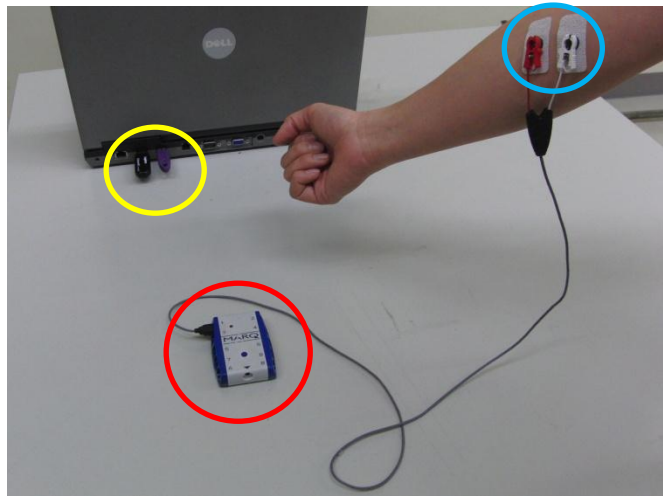


図 1：筋電計回路
(テレメトリー筋電計を赤丸，電極を青丸，プロテクトキーを黄丸で示した)

2 - 2 - ③ MVC

各被験筋における最大随意収縮（MVC：Maximal Voluntary Contraction）時の EMG を実験試技と同様に記録した．等尺性収縮において最大収縮を行った際の筋活動を用い各スイング試行における筋活動を標準化するために MVC を実施した．MMT(Manual Muscle Test)の手順⁸⁾に従い，各被験筋において検者が徒手抵抗を加え，それに抗って被験者が等尺性の最大随意筋力発揮を 3 秒間行った．得られた筋電図の筋出力および波形が安定した 1 秒間を分析区間として採用した．

2 - 2 - ④ 床反力

床反力の測定には，実験室に埋設した床反力計（日本キスラー株式会社製，多成分測定用フォースプレート 9286A，縦 60cm，横 40cm）を用いた．被験者の解剖学的肢位での前額面からみた左右方向を x 軸，前後方向を y 軸ならびに上下方向を z 軸とした．床反力計から発生したアナログ信号はチャージアンプ（日本キスラー株式会社製，チャージアンプ

9865) によって増幅され，データ解析ソフトウェア（キッセイコムテック株式会社製，KineAnalyzer）上で A/D 変換を行い，サンプリング周波数 1000Hz でパーソナルコンピュータ（DELL 社製 LATITUDE D820）に取り込んだ．床反力計の配置と軸の関係を図 2 に示した．

2 - 2 - ⑤ 撮影条件

ティー台を被験者の任意で，最も打ちやすいと思う場所へ設置した．被験者の前額面に直交するティー台の正面にハイスピードカメラ（カシオ計算機株式会社製，液晶デジタルカメラ EX-FH20）を設置した．また，ティー台上のボールがカメラの画角の中央に位置し，被験者およびバットがすべて収まるようズームを調節した（図 9）．カメラの設定は，シャッタースピード 1/1000 秒，フレームレート 420fps とした．

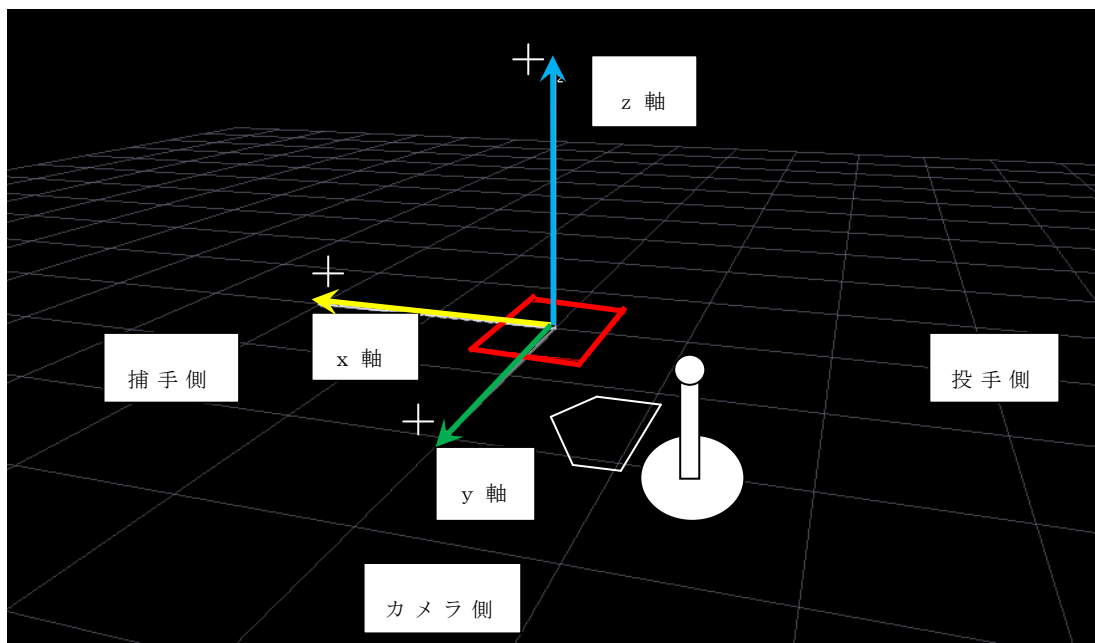


図 2：床反力の設置

（床反力計を赤，x 軸を黄，y 軸を緑，z 軸を青で示した）

2-3 分析方法

2-3-①局面分け

床反力のデータと映像から、先行研究²¹⁾を参考に以下の方法で5つの動作局面に区分した。

右足（軸脚）の局面分け

- ①スタンス期…両足が地面に接地しており、テイクバックの準備、いわゆる踏出脚に一度体重を移動させたときから(A), 踏出脚離地時(B)
- ②軸脚加重期…踏出脚離地時から、軸脚への体重移動終了時(C)
- ③踏出期…軸脚への体重移動終了時から、踏出脚着地時(D)
- ④スイング期…踏出脚着地時から、インパクト（ボールとバットの接触）時(E)
- ⑤フォロースルー期…インパクト時から、スイング終了時(F)

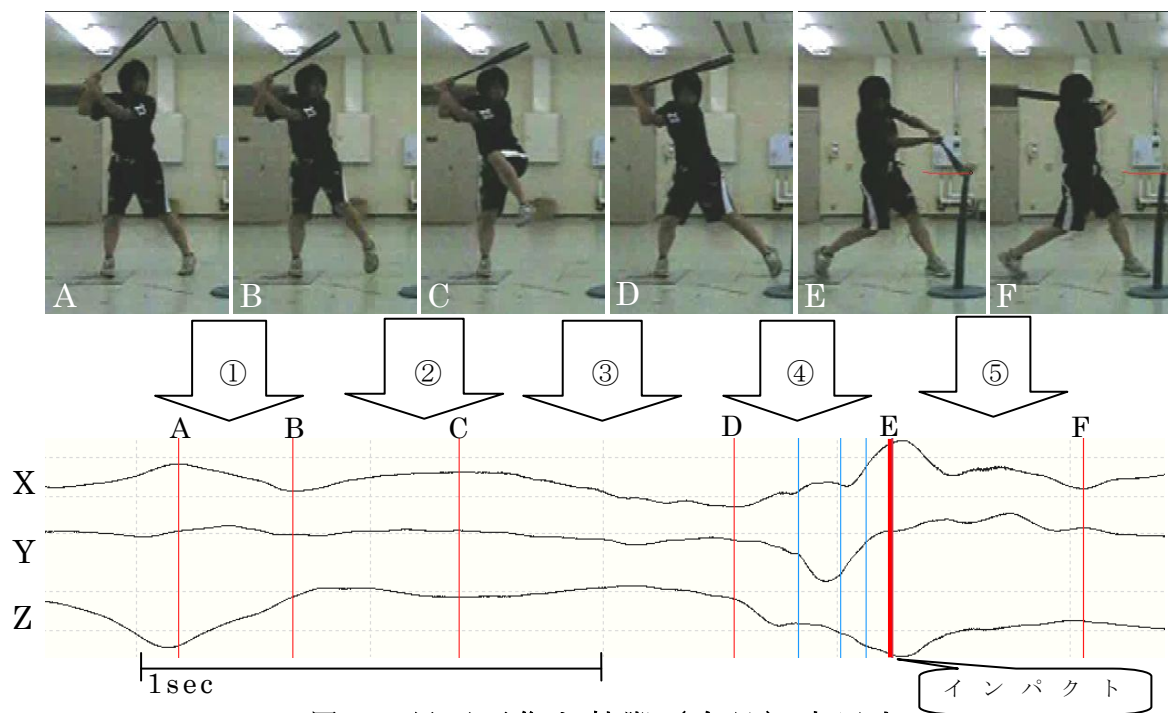


図3：局面画像と軸脚（右足）床反力

左足（踏出脚）の局面分け

- ① スタンス期…両足が地面に接地しており，テイクバックの準備，いわゆる踏出脚に一度体重を移動させたとき(A)から，踏出脚離地時(B)
- ② 軸脚加重期…踏出脚離地時から，軸脚への体重移動終了時すなわち，左膝が最高地点に達し停止した時(C)
- ③ 踏出期…軸脚への体重移動終了時から，踏出脚着地時(D)
- ④ スイング期…踏出脚着地時から，インパクト時(E)
- ⑤ フォロースルー期…インパクト時から，スイング終了時(F)

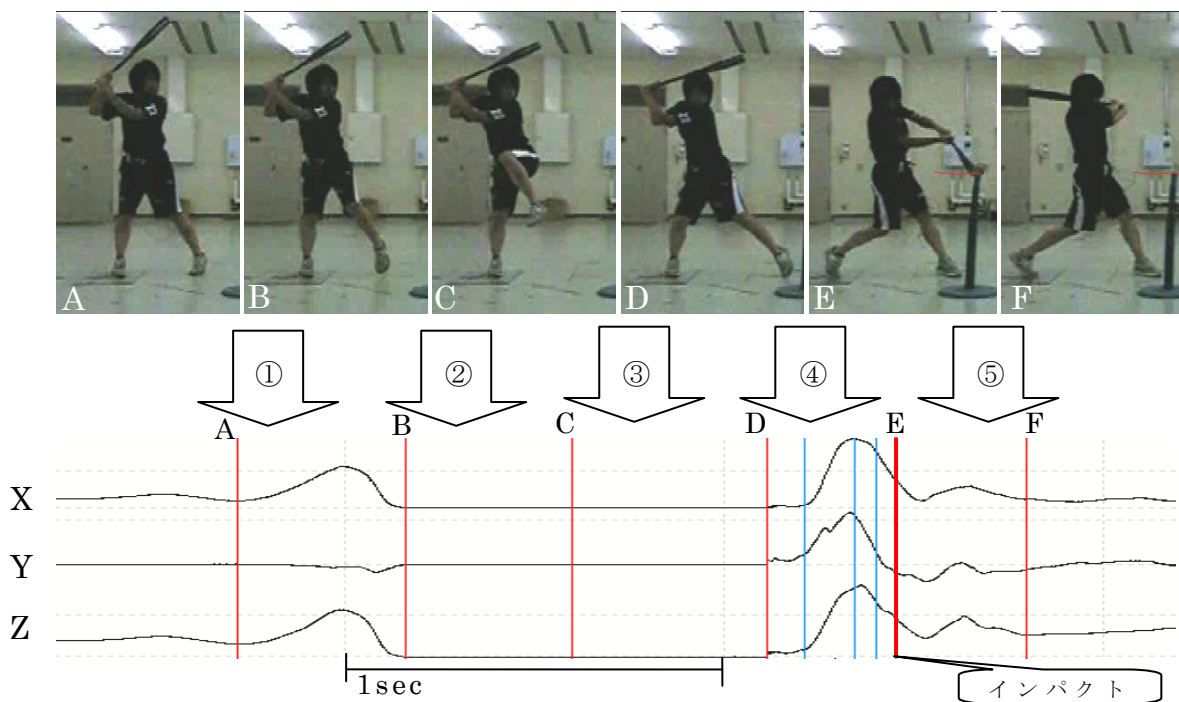


図 4：局面画像と踏出脚（左足）床反力

さらにスイング期を (A) early, (B) middle, (C) late の 3 つに区分した⁴⁾。(A) をバットが前へ動き始めた時点 (a) から，バットが地面と垂直になった時点 (b)，(B) を (b) からバットが地面と平行になった時点 (c)，(C) を (c) からインパクト時 (d) までとした (図 5)。

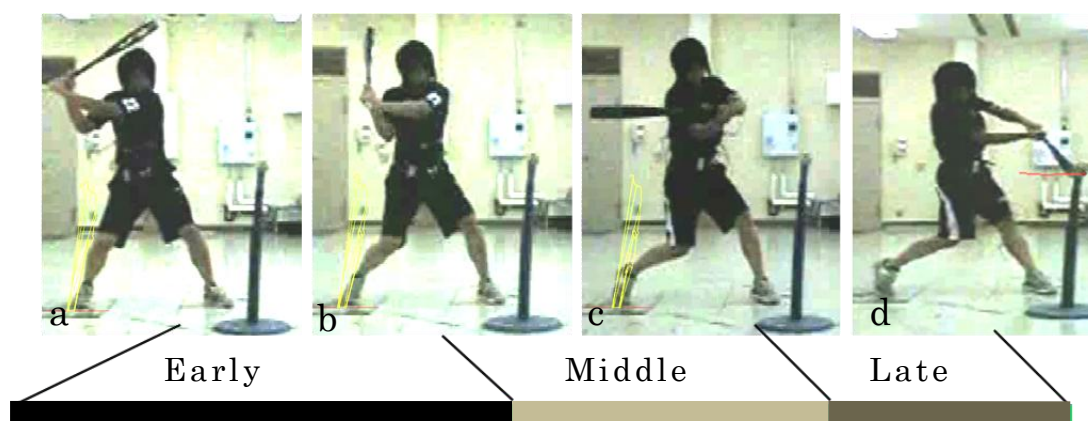


図 5：スイング期の局面分け

2 - 3 - ② EMG

得られたすべてのデータは，前述のデータ解析ソフトウェアに取り込み，フィルタ設定を，ローカット 4Hz，ハイカット 500Hz として処理した．はじめに筋電図を全波整流（図 6）し，RMS（Root Mean Square）値（図 7）を求めた．そして，MVC 値に対して標準化した．すなわち，MVC 時の EMG 値を被験者の筋力発揮の 100%とし，MVC 時の EMG 値で除すことによって%MVC 値としてあらわした．さらに左右の床反力測定時の 2 回の試行を 5 試行ずつ行い，10 試行のインパクト位置を合わせ，平均値を算出した．

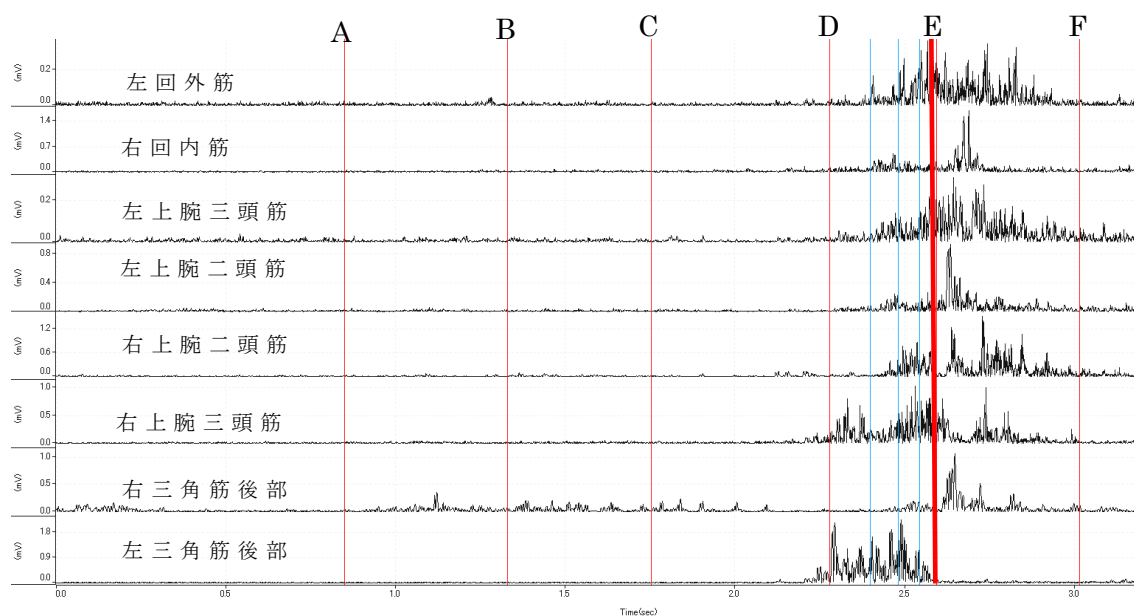


図 6：全波整流後の生波形

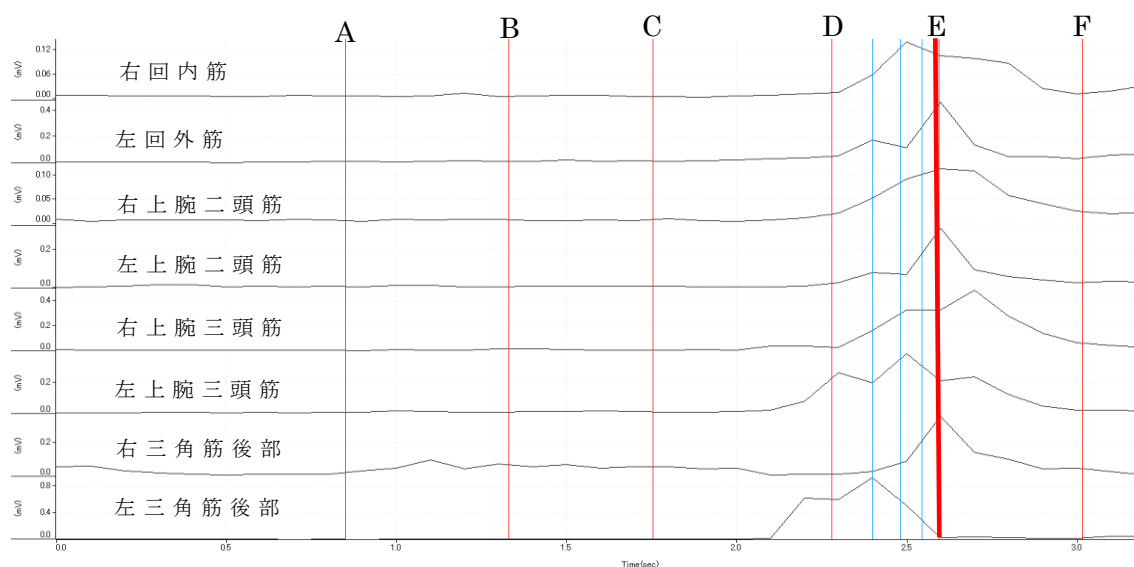


図 7：RMS 値の波形

2 - 3 - ③ 床反力

得られた床反力のデータは、移動平均（100ms）を用いて、平滑化し、体重に対して標準化した。時間-力曲線からインパクト時点の左右方向、前後方向、上下方向の床反力を抽出し、全 30 球の平均値±標準偏差および変動係数を求めた。

2-3-④スイング速度

デジタルハイスピードカメラから得られた撮像データは SD カードにファイルとして保存した。その後、パーソナルコンピュータに取り込み、画像変換ソフト（ACCESSPORT 株式会社製，Woopie）により，avi ファイルに変換した。前出の動作解析ソフトに，画像ファイルを取り込み，ソフト上でバットのヘッド位置をデジタイズした。キャリブレーションスケールの両端のピクセル数をもとに実長換算し，スイング速度を算出した。この際，バットのヘッド位置が確認できるインパクト（図 8）前後 5ms のフレームを分析区間とした。

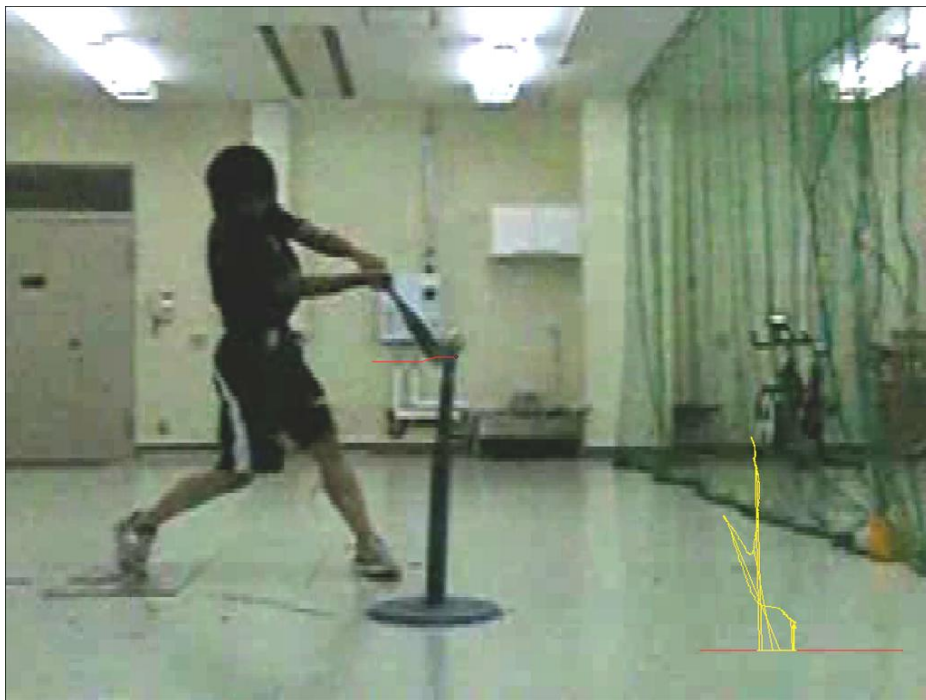


図 8：インパクト

2 - 3 - ⑤ 同期方法

これら筋電図，床反力および映像の情報は，無線トリガ（KISSEI COMTEC 社製，MARQ TRANSMIT TRIGGER）を用いて，前述した動作解析ソフトウェア上で同期した．データ取得開始時に送信機から無線トリガを発信するとともに，その LED ランプを撮影した．受信機はトリガ信号を受信すると 100msec の間，1V の矩形波を同期チャンネルに挿入する設定であった（図 9）．

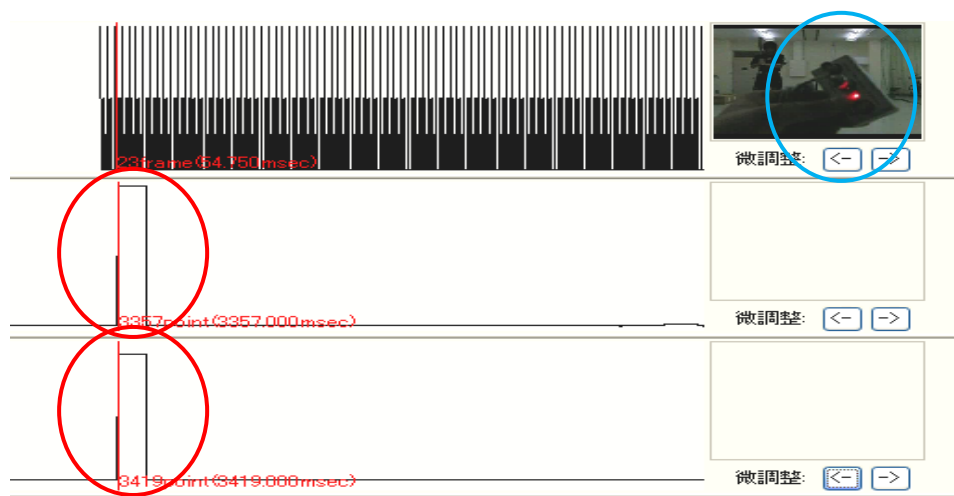


図 9：トリガ（矩形波を赤丸，LED ランプ映像を青丸に示した）

第 3 章 結果

3 - 1 床反力

3 - 1 - ① 床反力

スイング動作中の床反力を局面ごとの画像とともに図 10 に示した。
また、インパクト時の床反力を表 1 に示した。

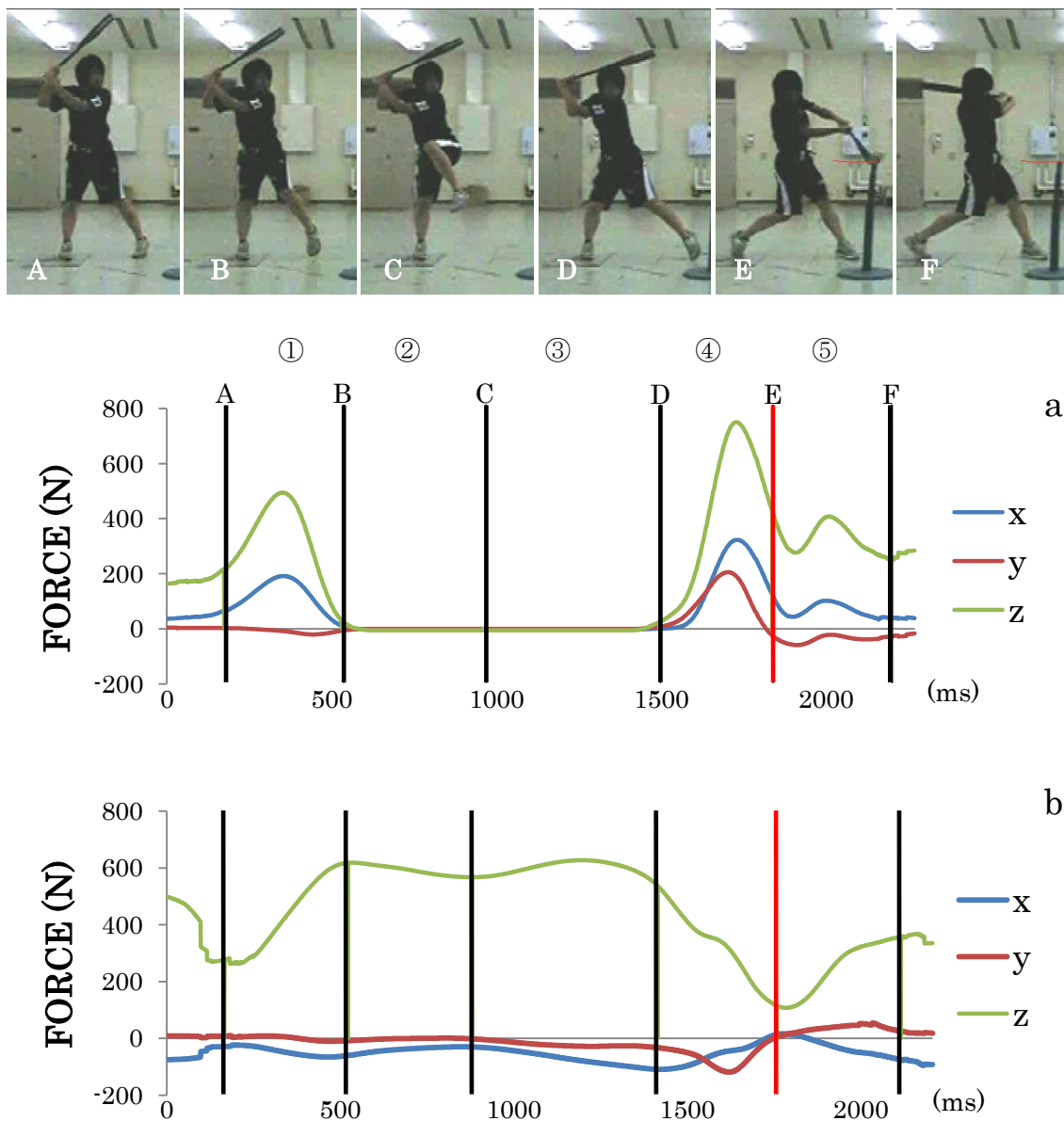


図 10 : 左右の床反力
a:左足 (踏出脚) の床反力
b:右足 (軸脚) の床反力

表 1 : 床反力の平均値

踏出脚	平均	標準偏差	変動係数
x(N)	120.48	33.15	0.28
y(N)	-25.34	12.11	0.48
z(N)	422.06	47.30	0.11
軸脚			
x(N)	13.76	14.97	1.09
y(N)	4.47	15.53	3.48
z(N)	115.86	21.50	0.19

N=15

スタンス期①では、左足（踏出脚）に投手方向への力（ x のプラス方向）と鉛直方向への力（ z のプラス方向）が見られる．この動作で打撃動作が開始される．また右足では、体重の完全移動に向けて鉛直方向（ z のプラス方向）へ急上昇している．同時に捕手方向（ x のマイナス方向）へ約 70N の力が認められる．軸脚加重期②では、右足に左右方向に約 50N 前後の力が見られ、片脚でバランスを保っている．踏出期③では、左足着地の準備に入り、右足には徐々に捕手方向へ力が認められる．スイング期④では、左足が着地し、そこから約 0.2 秒で左足の鉛直方向への力がピークに達し、体重以上の力が地面に対して生まれている．同時に、 x および y のプラス方向への力が認められる．右足においては、インパクト直前に x および y のマイナス方向への床反力がみられた．その間、右足の鉛直方向への力は徐々に下降していき、左足へ体重移動をしている．インパクトでは、右足の鉛直方向への力が最も低くなり、左足

へ体重が移動したことがわかる．フォロースルー期⑤では，インパクトの衝撃に耐えるような後方への力が見られる．左足では，インパクト後に x 方向のプラスおよび y 方向のプラスの力が加わり，左右の足に体重を分散させている．

3 - 1 - ② % BW

本研究で得られた床反力のデータを体重で正規化し，%BW であらわした．それらのインパクト位置を中心に平均したものを図 11，12 に示した．

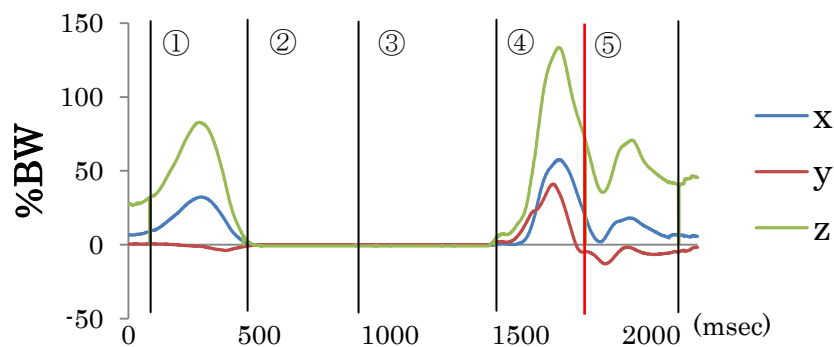


図 11：踏出脚（左足）の床反

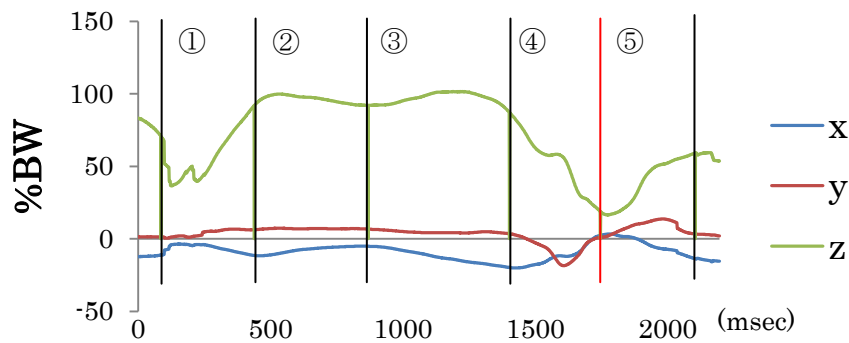


図 12：軸脚（右足）の床反力

この図から，スタンス期での踏出足の地面を蹴る力は約 80% BW に達していることがわかる．その後の軸脚加重期では，踏出足離地後，軸足に約 100% BW の力がかかり，完全に体重が移動し片足で体勢を維持し

ている．踏出脚着地直前から軸足への加重が低下し，インパクト直前の踏出脚では約 130% BW の力が認められた．インパクト時の軸足への加重は約 20% BW にまで下がり，フォロースルー期後半で両足におよそ 50% BW ずつの加重になり，スイング動作を終了していた．

3 - 2

3 - 2 - ①筋放電量

図 13（上肢），図 14（下肢）ならびに図 15（体幹その他）に，各筋の筋放電量を図示した．

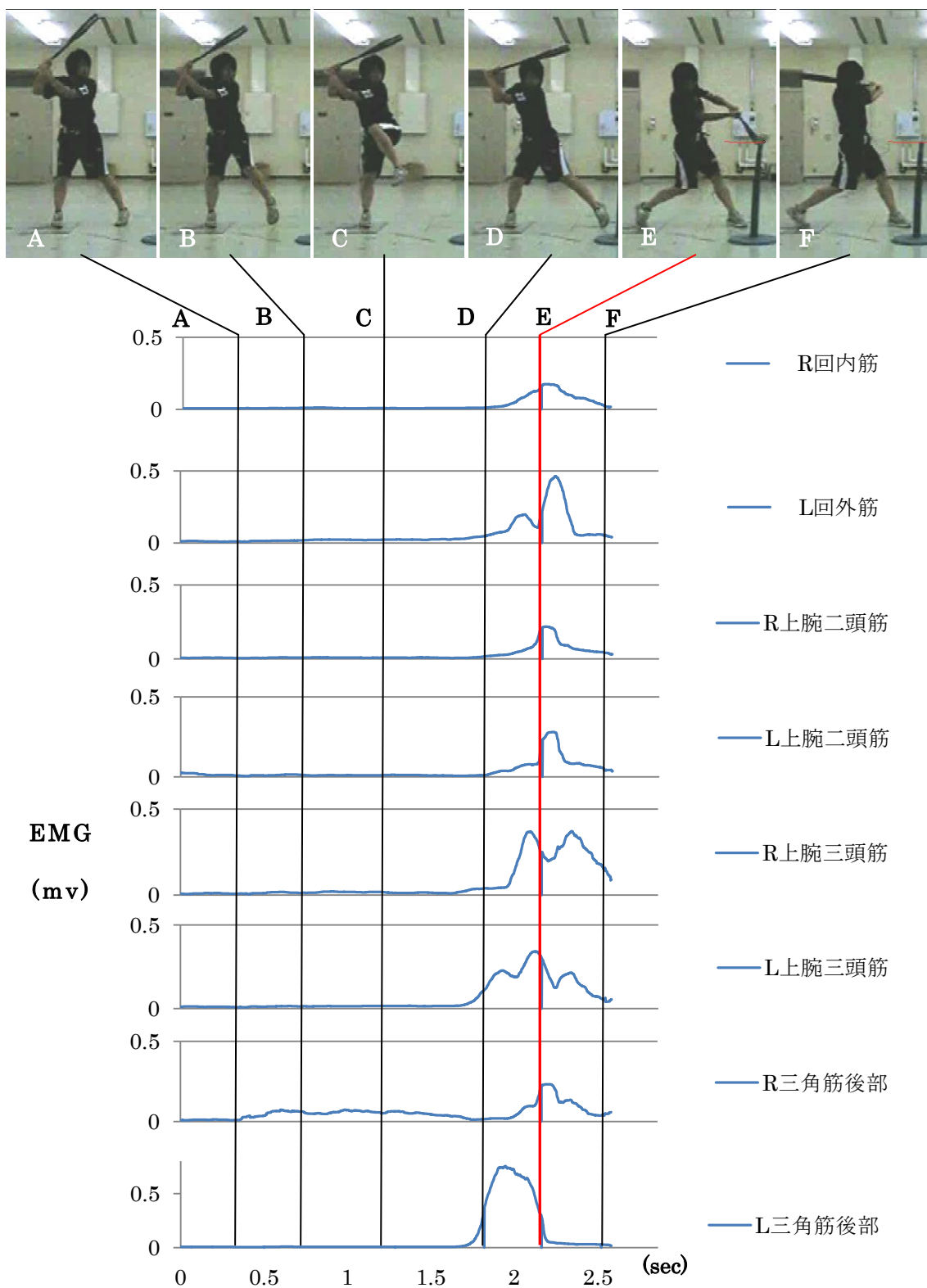


図 13 : 上肢の筋放電量

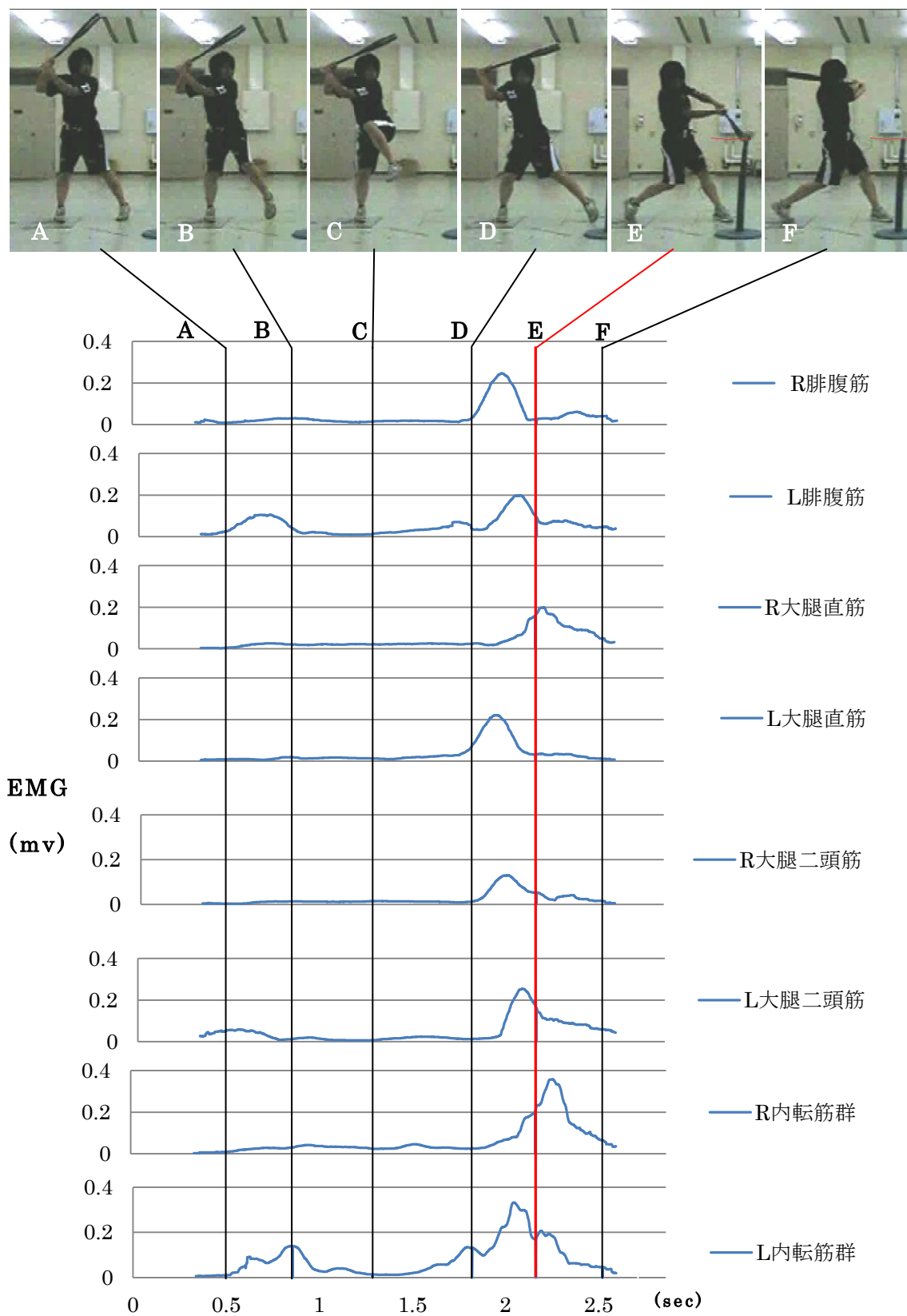


図 14：下肢の筋放電量

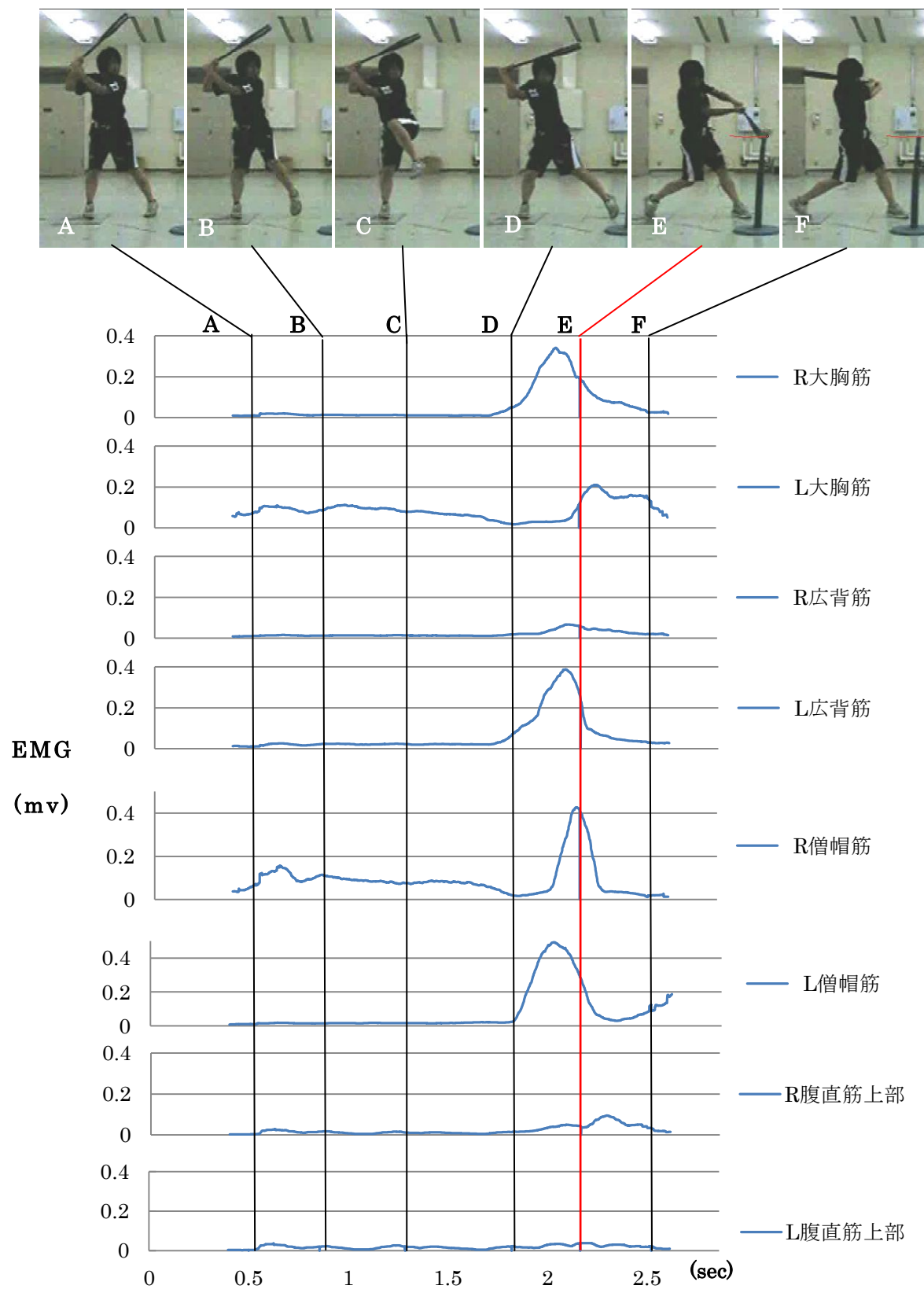


図 15 : 体幹その他の筋放電量

3 - 2 - ② %MVC

本研究で得られた各筋の EMG を %MVC 値で図示した(図 16,17,18).

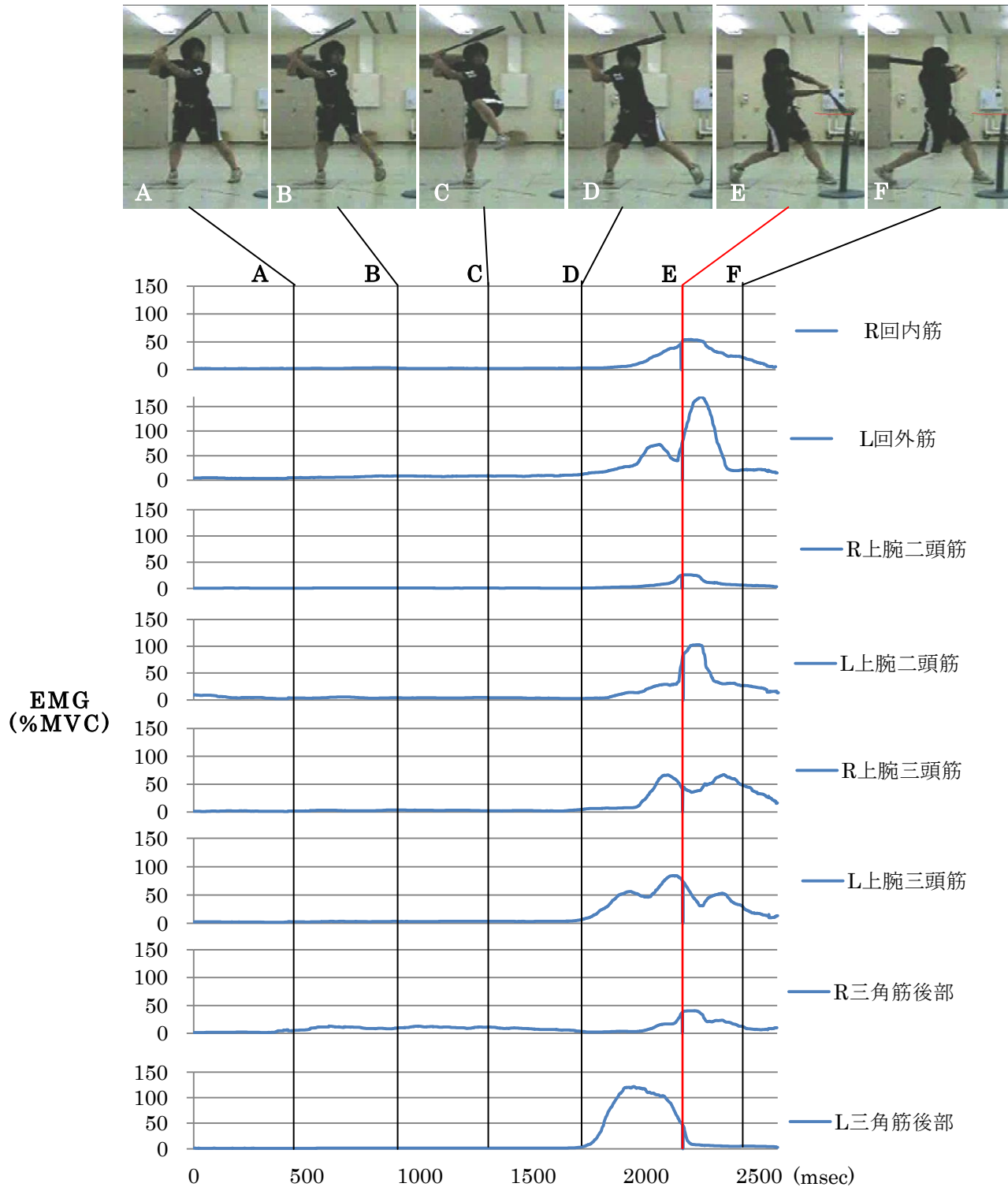


図 16 : EMG の %MVC からみられる放电量(上肢)

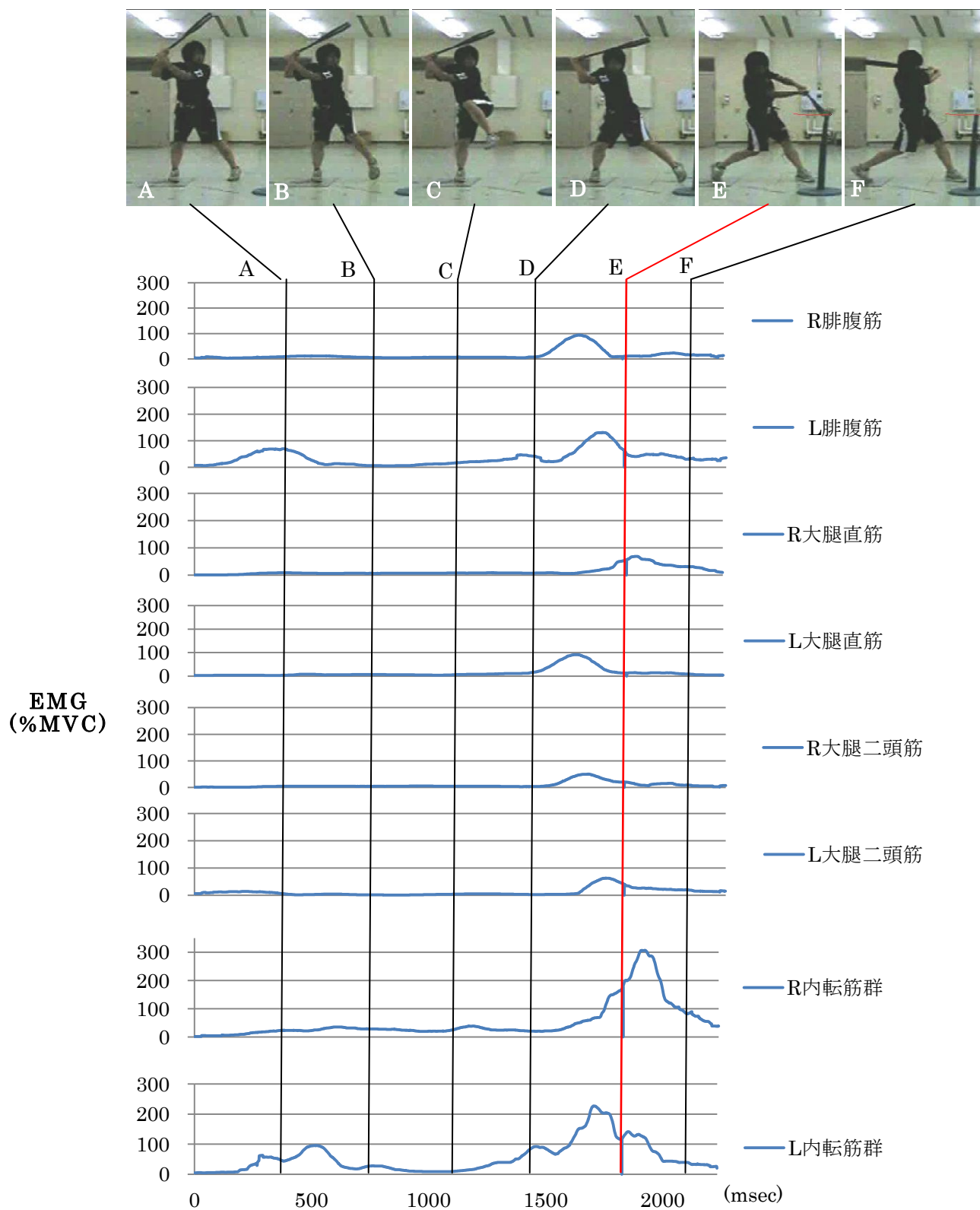


図 17 : EMG の % MVC からみられる放電量(下肢)

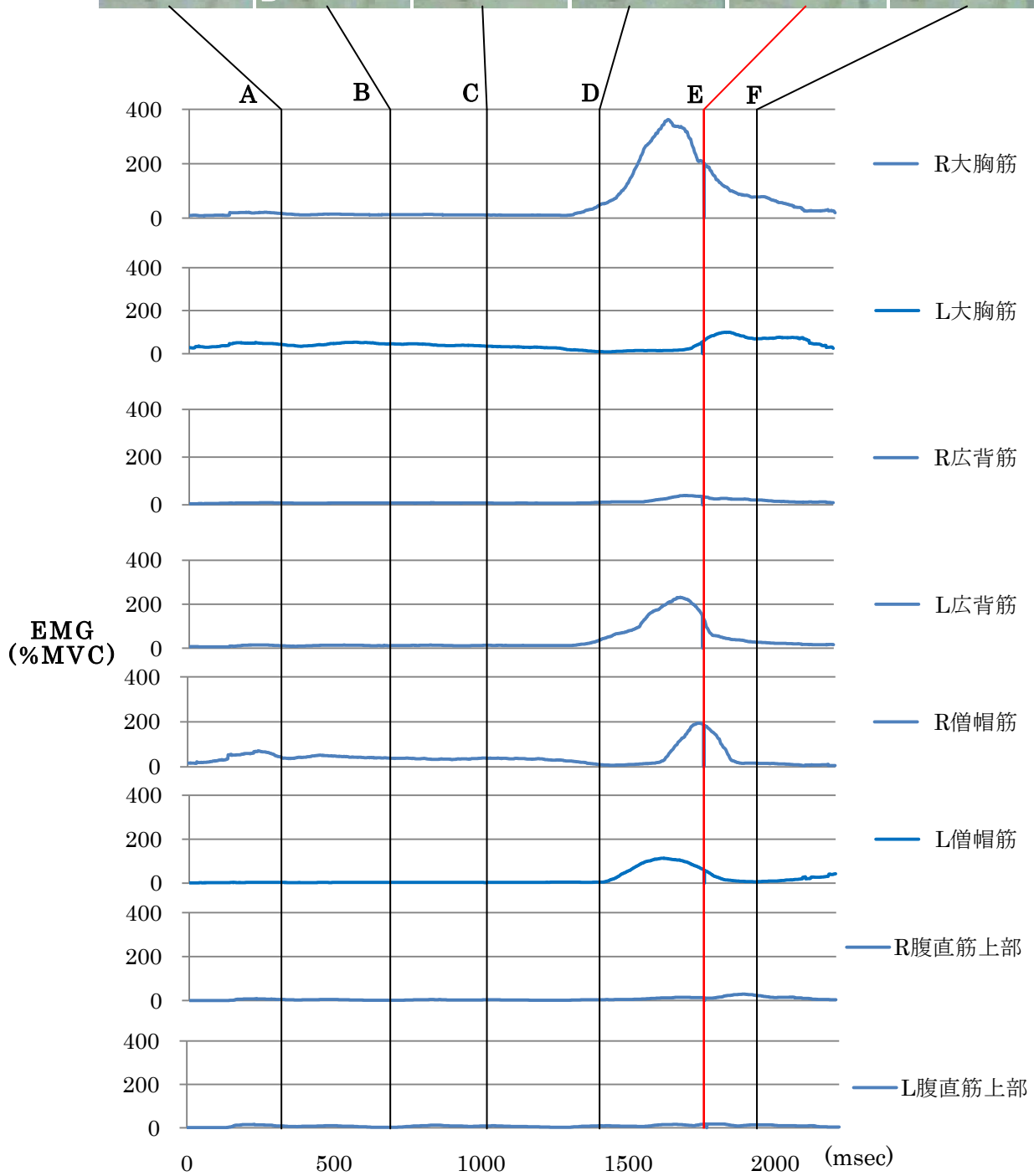
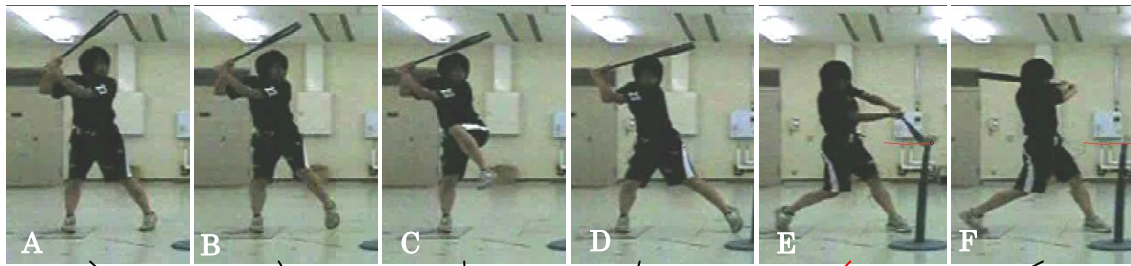


図 18 : EMG の %MVC からみられる放电量(体幹その他)

3-2-③スイング期の%MVC

スイング期の (A) early, (B) middle, (C) late における各期の %MVC を表 2 に示した. 特に大きな筋放電量 (90%MVC 以上) が認められたのは, (A) early 期で, 左三角筋 (96% MVC), 右腓腹筋 (95% MVC), 左腓腹筋 (114% MVC), 左内転筋群 (172% MVC), 右大胸筋 (259% MVC), 左広背筋 (165%MVC), 左僧帽筋 (100%MVC) であった. 次に, middle 期で顕著な筋放電を見せたのが, 左三角筋後部 (86%MVC), 左腓腹筋 (147%MVC), 右内転筋群 (153%MVC), 左内転筋群 (217%MVC), 右大胸筋 (219%MVC), 左広背筋 (191%MVC), 右僧帽筋 (114%MVC) であった. 最後に late 期においては, 左腓腹筋 (108%MVC), 右内転筋群 (241%MVC), 右大胸筋 (147%MVC), 左広背筋 (152%MVC), 右僧帽筋 (158%MVC) であった.

3-3 スイングスピード

本実験で測定した全 30 試技のスイングスピードの平均±標準偏差および, 変動係数を算出し, 表 3 に示した.

表 3 スイングスピード

	平均	標準偏差	変動係数
インパクト直前(m/s)	28.3	0.30	0.010
インパクト直後(m/s)	23.2	0.31	0.013

N=30

3-4 局面時間

これらの局面所要時間を, 局面ごとに平均, 標準偏差および変動係数を求め, 表 4 に示した. また, スイング期での局面, EARLY, MIDDLE,

LATE の各局面の所要時間の平均，標準偏差および変動係数を表 5 に示した．

表 4 スイング動作の局面時間

		平均	標準偏差	変動係数
スタンス期	(sec)	0.357	0.099	0.279
軸脚加重期	(sec)	0.429	0.039	0.091
踏み出し期	(sec)	0.535	0.072	0.135
スイング期	(sec)	0.343	0.019	0.054
フォロースルー期	(sec)	0.358	0.058	0.160

表 5 スイング期の局面時間

		平均	標準偏差	変動係数
EARLY	(sec)	0.090	0.02	0.21
MIDDLE	(sec)	0.057	0.03	0.06
LATE	(sec)	0.050	0.06	0.12

	R回内筋	L回外筋	R上腕二頭筋	L上腕二頭筋	R上腕三頭筋	L上腕三頭筋	R三角後部	L三角後部
Early (%)	13.1±6.2	49.0±26	4.7±0.9	15.4±5.4	19.4±7.2	42.7±8.6	4.5±0.9	96.4±13.9
Middle (%)	32.9±6.4	42.9±9.3	8.5±2.1	24.6±5.2	59.3±21.7	73.4±11.2	15.1±4.6	89.6±16.9
Late (%)	38.2±15.9	33.0±3.9	11.4±2.5	25.6±5.9	43.2±15.5	81.7±16.9	12.4±4.2	49.0±15.9
平均±SD								

	R腓腹筋	L腓腹筋	R大腿直筋	L大腿直筋	R大腿二頭筋	L大腿二頭筋	R内転筋群	L内転筋群
Early (%)	95.2±33.4	114.6±69.4	21.0±21.4	77.9±31.1	57.9±32.0	28.1±21.9	77.4±56.7	172.7±73.5
Middle (%)	26.5±2.4	147.4±27.8	43.7±27.8	32.3±26.7	40.2±29.4	73.8±23.4	153.6±68.8	217.9±59.5
Late (%)	21.0±21.2	108.3±66.6	59.6±33.3	29.6±22.4	44.1±35.1	63.8±73.3	241.8±73.3	179.0±80.9
平均±SD								

	R大胸筋	L大胸筋	R広背筋	L広背筋	R僧帽筋	L僧帽筋	R腹直筋上部	L腹直筋上部
Early (%)	259.7±66.8	13.0±2.3	20.1±5.8	165.4±27.8	23.6±19.4	100.3±12.9	11.0±2.0	12.9±6.2
Middle (%)	219.5±51.2	17.2±2.2	32.5±16.5	191.7±34.7	114.5±54.4	87.0±12.9	12.2±7.0	9.4±1.4
Late (%)	147.3±11.4	23.8±4.2	34.6±25.0	152.7±54.7	158.6±72.4	67.1±24.1	11.5±7.8	8.0±1.8
平均±SD								

表 2 スイング期の% MVC

第 4 章 考察

4 - 1 床反力

スタンス期において、踏出脚である左足に体重の約 80% (約 80% BW, 以下同様の表記とする) に相当する床反力が見られた。これは軸脚である右足へ体重移動をするために、左足に投手方向と鉛直方向への力を発揮することで、地面を蹴っているからである。この力が働かなくなった時点 (左足離地時) と同時に軸脚である右足にほぼ体重と等しい最大加重がみられた。これは、右足に体重を一度すべて移動させていることを示している。その後、踏出脚着地からインパクトにかけて、左足の鉛直方向へ約 130% BW を示し、同時に投手方向 (約 60% BW)、前方向 (約 40% BW) に加重が見られた。この値は先行研究の大学野球選手¹⁴⁾ やプロ野球選手³⁹⁾ と、同程度であった。また左足の床反力のピークが出現する直前に、右足の捕手方向および後方に、力発揮が見られることから、インパクトに爆発的な力を働かせるために、右足で地面を蹴り、投手方向へ素早い体重移動を促していることが考えられる。また右足では、インパクト直前に x および y のマイナス方向への床反力が見られることから、軸脚を回転させ、さらに投手方向へ擦っていることがうかがえる。

4 - 2 内転筋群の筋放電量

20 ～40% MVC の持続的な筋放電がテイクバック開始時からインパクトまでに右内転筋群においてみられた。また、左内転筋群は左足離地時に一度放電量が上昇し、その後左足着地時まで約 30% MVC 前後の持続的な放電がみられた。この右内転筋群の筋放電は、右膝を屈曲し、全体重を支え、バランスをとっているためと考えられる。左内転筋群の筋

放電は、左膝を左肘に引きつける動作によって、左大腿を内転し、左膝を屈曲した姿勢を保っているためと考えられる。一方左内転筋群はスイング期に入ると(B) middle 期でピーク(約 230% MVC)を迎える。また、右内転筋群はインパクト直後にピーク(約 300% MVC)達した。先行研究²⁾では野球熟練者である大学野球部員のバッティング動作において左足が接地した時に、右内転筋の顕著な放電が認められた。これは、右上肢の鋭い振りを左大腿で受け止める用意がなされているためと考えられている。しかし、本研究の被験者(以下、T 選手)には左足着地時に右内転筋群に顕著な放電がみられなかった。また、インパクト前に右内転筋群のピーク、インパクト時に左内転筋群のピークを迎えるという先行研究²⁾に反し、インパクト前に左のピーク、インパクト後に右のピークをむかえた。このことは、左腰部を開かないようにバッティング動作を行っているため、左股関節の内旋位を保ちながら左足を着地していると考えられた。

4-3 上肢の筋活動パターン

インパクト直前から直後に、右回内筋に放電が認められた。特に、インパクト直後の放電が顕著であった。また、インパクト直後に左回外筋が顕著な放電をみせたことから、右回内筋から左回外筋へ連動させてスイング動作を行っていることがわかった。東ら²⁾は、熟練者のバッティングにおけるインパクト直前の円回内筋に筋放電が見られ、その筋活動はバットスピードを高めるために行われていると考察している。

さらに、T 選手の上肢の各筋群の筋放電量は、右側が平均 50% MVC 以下であるのに対し、左側は平均 110% MVC を超える値が得られた。これは、野球打撃動作の上肢における関節トルク、パワーに左右差が認めら

れている先行研究¹⁸⁾を支持する結果であると考えられる。また、左右広背筋の筋放電量はインパクト前にピークを迎えたが、右は 40%MVC、左は 230%MVC に達し、右の約 6 倍に相当していた。上腕三頭筋にも同時に顕著な筋放電が見られ、左三角筋後部は 120%MVC の筋放電が見られた。これは、T 選手がボールインパクトまで投手側の腕の引き下げを積極的に行い、インサイドアウト¹²⁾のスイングが行われていると考えられる。このスイングは、エネルギーロスが少なく、強い打球を放つことができ、変化球にも対応できるといわれている⁹⁾。すなわち、T 選手のスイングはバットをボールに当てる能力に優れ、高打率につながったと考えられる。

4-4 スイング期の筋活動パターン

本研究では、スイング期をさらに(A) early, (B)middle, (C)late の 3 局面に分類した¹⁵⁾。スイング期は他の局面と比べて多くの筋において顕著な筋放電が見られた。また、特に顕著であった筋の %MVC を表 6 にあらわした。

この表から、左大腿直筋と左大腿二頭筋では、early 期において左大腿直筋は 77%MVC、左大腿二頭筋 28%MVC であったが、middle 期に移ると左大腿直筋は 32%MVC に低下し、一方、左大腿二頭筋は 73%MVC に増大した。early 期から middle 期にかけて、急激に筋活動レベルの変化（増減）が見られるのは、左膝が短時間で伸展していることを裏付ける。この間は約 0.08 秒であり、非常に短い時間で主働する筋を転移させ力発揮の入れ替えを行い、効率良く力強い動きをしていると考えられた。また、右大胸筋と、右僧帽筋においても middle 期から late 期にかけて同じような筋活動が見られた。また、左右の僧帽筋においては、early

期から late 期にかけて左から右に力が連鎖していた。僧帽筋と大胸筋の連鎖は熟練者を対象とした先行研究においても認められている¹⁷⁾。この相反的な活動が、インパクト直前という短時間の局面で、大きな力を発揮するため大きく貢献していると考えられた。また、インパクト前に大きな活動を見せる下肢の筋群に続き、インパクトからインパクト後にかけて、上肢の筋放電が顕著になることから、下肢からの力を連鎖的に上肢に伝え、力を発揮していることが示唆された。近位部から遠位部にエネルギーが効率良く伝わっているということは、動作がスムーズでたおやかな動作であるといえる⁶⁾。

表 6：スイング期の %MVC

	Early(%)	Middle(%)	Late(%)
L 大腿直筋	77.9±31.1	32.3±26.7	29.6 ± 22.4
L 大腿二頭筋	28.1±21.9	73.8±23.4	63.8 ± 73.3
R 大胸筋	259.7±66.8	219.5±51.2	147.3 ± 114.0
R 僧帽筋	23.6±19.4	114.5±54.4	158.6 ± 72.4
L 僧帽筋	100.3±12.9	87.0±12.9	67.1 ± 24.1

N=10

4－5 運動連鎖

打撃動作は、身体部位が連動して行われている¹⁸⁾。単体では決して素早いスイングはできない。はじめに活動を開始する腓腹筋は、体の並進移動のために使われる下肢の主働筋と言われている⁶⁾。T 選手にも、①スタンス期直前に筋放電が見られる（図 17 緑丸）。同時に鉛直方向への床反力が見られた（図 17 青丸）。また、その後、鉛直方向ならびに投手方向への力が認められるのと同時に、左腓腹筋の顕著な放電がみられた。

このことから、体重移動を行う引き金として腓腹筋が働いていることがわかる。

④インパクトの直前（テイクバック時）に、左上腕三頭筋および左三角筋後部に顕著な筋放電がみられた。三角筋後部の放電は、スイング動作に移行するため、左腕でバットを投手方向へ引き出していくために起こる。左肘を伸展させることで左上腕三頭筋は活動し、テイクバックにおいて左肩が投手方向に突っ込んでしまわないように、制御していると考えられる。また、多くのプロ野球強打者がテイクバックの際、左肘を伸展する傾向にあることが報告されている²²⁾が、映像から判断すると T 選手には顕著な伸展が見られない。しかし、一流日本人野球選手の一人で、同じように完全伸展が見られない選手がいる。この理由として、左肘を伸展することで、バットが体幹から離れモーメントアームが長くなり、発揮する力が小さくなる⁷⁾という力学的法則から、完全に伸展しない方がより大きな出力をバットの先端へ伝達できると考えられる。実際には肘伸展を行っている打者が多いけれども、完全肘伸展がスイングスピード向上に関与していないという報告もあるため²²⁾、テイクバックの果たす役割が結果に大きくかわると言われている⁶⁾。さらにインパクト時のスイングスピードを短くすること、インパクト時のスイング時間を大きくすること、共に重要であることは確かである⁴⁾。左肘完全伸展をおこなう男性選手と、同じようにスイング動作へ入るとスイングが遅くなり、スイング動作が素早くできなくなってしまう可能性が考えられる。これは、全体のスイングと **EARLY SWING** の割合がメジャーリーグと比べて長いことからバットの振り出しに時間がかかっていると推察された。すなわち T 選手は自らに合ったバッティング動作をしていると考えられる。

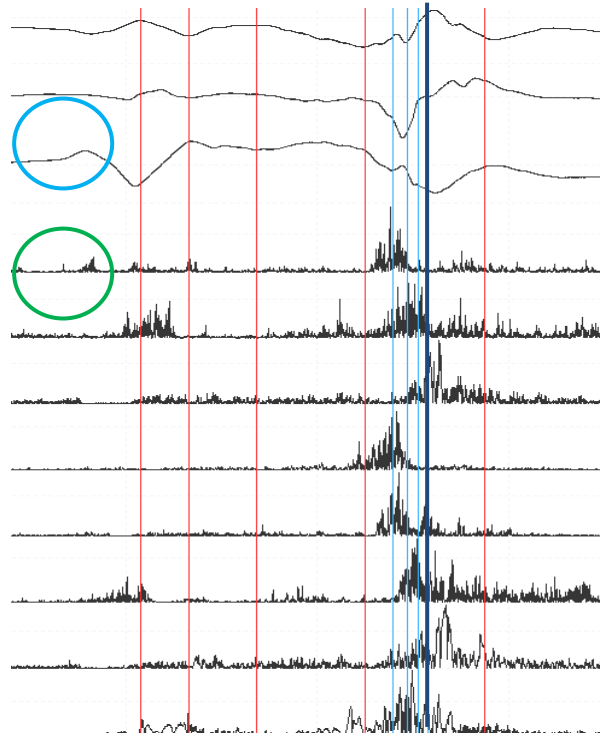


図 17：腓腹筋の始動

4-6 スイング時間の比較

T 選手のスイング期の平均時間は 0.34 秒であった。これは、平野ら⁵⁾において報告されている大学一流野球選手の 0.16 秒に比べて長い。スイング時間を短くすることは、投球を見極める際、なるべく長く投球を見ることができるため、重要な技術といえる²⁴⁾。これは男女の体力的、形態的差異だけの問題ではなく、投球速度が違うために、生じることであったと考えられた。メジャーリーグでは 150km/h 前後の球速の球を打ち返す必要がある。しかし、女子野球の場合、平均速度約 90~110km/h と言われている¹⁾。この投球速度の差がスイング速度の差の一因であると推測される。また、大学野球一流選手のスライド時間に関しては 0.24 秒という報告⁵⁾があるが、T 選手は 0.96 秒であった。スライド時間とは、打者の踏出脚が離地し、着地するまでをいう。また、他の先行研

究においても，メジャーリーガーのスイング全体の 28% がストライド時間であったこと³¹⁾に対して，T 選手は 57% という割合であった．これは前述したように，投球速度の違いからスイング動作内の各局面の長さに違いがあらわれたものと考えられた．投手の投球したボールが打者のところまで達する時間が長ければストライド時間を長くなるとり，ボールの見極めを助けることになろう．球速の違う投球におけるバッティング動作の違いについて，踏出脚着地の時期を調節していたため，球速の変化に対応する場合，ストライドの長さが関係すると考えられている¹⁴⁾．男子の場合，全体的に速い投球の中で低頻度で直面する遅い投球を打つ時にストライド時間を短くし，タイミングをとっているという報告がある³⁶⁾．T 選手の場合は，元来女子の投球速度が男子より遅いため，男子と比較し遅いタイミングで打つ必要があり，ストライド時間が長くなっていると考えられた．

4-7 トレーニングへの応用

これらのことから，種目特異的なトレーニングとして，女子野球選手に，引き手側上肢の筋力，短時間での強い力発揮，速やかな体重移動，および筋活動レベルの変化が重要であることが導き出され，素振りやティーバッティング，短時間で大きな力を発揮するベンチプレスやスクワット，ジャンプなどの体全体の瞬発力を向上させるトレーニングが必要であろう．

第 5 章 結 論

本研究は，世界大会で首位打者を獲得した女子野球選手のスイング動作中の，床反力および筋放電量に関する分析を行い，今後の技術指導や種目特異的なトレーニングを行う上で有用な情報となることを目的とした．

その結果，T 選手のバッティング動作中の床反力は男子野球選手と同程度ということがわかった．また，動作特徴はややオープンステップであり，インパクト時に右足をすりながら左足へ体重を移動していることがわかった．また，筋活動では，左右僧帽筋，左大腿二頭筋と左大腿直筋および右僧帽筋と右大胸筋において，相反的な筋活動を示した．

参考文献

- 1) 7bimajyo (2009) いろいろ記事, いろいろ情報
<http://www.iroiopro.com/archives/3021.html>
- 2) 東隆史・徳山廣 (1989) 打撃動作の基礎的研究—野球の筋電図的研究—, 大阪教育大学紀要, IV, 38(2): 205-215
- 3) 土岐仁・穂刈真樹・廣瀬圭 (2007) 野球・バッティングにおける軸脚の運動力学解析, 日本機械学会, シンポジウム講演論文集: 108-112
- 4) 平野裕一 (1979) バットスイングの分析, 体育の科学, 29(8): 543-548
- 5) 平野裕一・宮下充正 (1983) 野球の打撃の基本動作に関する研究, 日本バイオメカニクス学会, 身体運動の科学 V, 「スポーツ・バイオメカニクスへの挑戦」, 杏林書院: 東京, pp260-267
- 6) 平野裕一 (1992) 打つ科学, スポーツ科学ライブラリー, 7, 大修館書店: 東京
- 7) 平野裕一 (1996) 打つ動作のバイオメカニクス, 体育学研究, 40: 399-404
- 8) Hislop J. Helen・Montgomery Jacqueline (2003) 新・徒手筋力検査法, 7, 協同医書出版社: 東京
- 9) 池山隆寛・中村好志 (2004) バッティング革命, p171, 永岡書店: 東京
- 10) 入澤裕樹・森本吉謙 (2008) ソフトボール授業における未習熟者に対する打撃指導のための教材開発—大学生を対象に—, 仙台大学紀要, 40(1): 125-132
- 11) 石垣尚男・樽本裕樹 (2010) 野球の打撃動作の改善—ボールへの視点から—, 愛知工業大学研究報告, 45(B)

- 12) 石井喜八・山崎武 (1970) 球技における動作範囲, 体育の科学, 20 : 560-565
- 13) 岩田晃, 中尾栄治, 淵岡聡 (2004) 高校野球における総合的な競技能力の規定因子－大会出場登録選手とそれ以外の選手比較から－J Rehabil Health Sci, (2) : 14-18
- 14) 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野球の打撃動作の特性, 体育学研究, 40 : 381-398
- 15) Kitzman W.Eric (1963) Baseball: Electromyographic Study Of Batting Swing, The Research Quarterly, 35(2) : 166-178
- 16) Kitzmiller Lee Laura (1970) A CINEMATOGGRAPHIC ANALYSIS OF THE EXTERNAL MOVEMENT INVOLVED IN SOFTBALL BATTING, Texas Tech University,
- 17) 小林堯・西菌秀嗣・磨井祥夫・宮下充正, VIII バッティングの分析, 第2章 球技の科学 : pp157-170
- 18) 小池関也・川村卓・阿江通良 (2006) 野球打撃動作における四肢間接トルク・パワー, 日本機械学会, 6(35) : 110-115
- 19) 前田正登 (2005) 高校野球選手におけるバットスイングの類型化, 日本機械学会, 5(16) : 14 - 19
- 20) 前川剛輝・柳澤修・船渡和男 (2005) プロ野球選手および一流女子ソフトボール選手における体力特徴の検討, 体力科学, 54(6) 648
- 21) 宮西智久 (2006) 打動作と体幹・四肢の角運動量～野球のバッティングの場合～, 体育の科学, 56(3) : 181-186
- 22) 宮西智久・桜井直樹・森本吉謙 (2007) 野球の打撃テイクバック時の引き腕肘伸展動作がバットヘッド速度へ及ぼす即時的効果, 日本体育学会予稿集, 58 : 215

- 23) 宮谷昌枝・東香寿美・金久博昭・久野譜也・福永哲夫 (2003) 下肢筋厚における加齢変化の部位差および性差－20歳代と70歳代の比較－, 体力科学, 52: 133-140
- 24) 村田厚生 (1998) 野球のスイング時のバットのヘッドスピードに及ぼす要因の検討, 人間工学, 34(3): 151 - 155
- 25) 永松邦夫・満園良一 (2005) 野球選手におけるウェイトトレーニングが体幹部の動的パワーおよび打球飛距離に及ぼす影響, 久留米大学健康・スポーツ科学センター研究紀要, 13(1): 7 - 13
- 26) 小田伸午・森谷敏夫・田口貞善・松本珠希 (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
- 27) 奥村浩正 (2001) 野球選手のバットスイングと体力要素の関係, 九州産業大学健康・スポーツ科学研究, (3): 29-36
- 28) 小野芳夫・田巻弘之・下大迫晃・西藺秀嗣・倉田博 (1992) 野球のティーバッティングにおける踏み込み足の床反力, 体力科学, 41(6): 891
- 29) Perotto Aldo (2003) Anatomical Guide for the Electromyographer: the Limbs and Trunk (4th Ed.) 栢森良二翻訳, 筋電図のための解剖ガイド, 西村書店: 東京
- 30) 坂下一平・橋本ちさと・興谷謙吾・田巻弘之・萩田太・竹倉宏明・桐本光・北田耕司 (2008) 野球の打撃動作における上肢筋の筋放電活動調節様式, 体力科学, 57(6): 900
- 31) Shaffer Ben, Jobe W. Frank, Pink Marilyn, Perry Jacquelin (1993) Baseball Batting An Electromyographic Study, Clinical Orthopaedics And Related Research Number 292: 285-293
- 32) 白坂琢・三浦望慶 (1996) 女子におけるバッティングの技レベルと

動作の特徴，日本体育学会大会号，47：558

- 33) 鈴木基弘・前田正登（2003）野球におけるバットスイングの類似化に関する研究，日本機械学会，3(12)：125-129
- 34) Szymanski J. David（2008）バットのスイング速度を向上させるレジスタンストレーニング，NSCA's Performance Training Journal，15(10)：62-66
- 35) 立正伸・牛山潤一・宮谷昌枝，久野譜也・金久博昭・福永哲夫（2003）膝関節伸展トルクおよび脚伸展パワーにおける年齢差および性差，52：141-148
- 36) 高木斗希夫・藤井範久・小池関也・阿江通良（2008）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)：158-166
- 37) 坪井三郎（1973）剣道に関する動的姿勢の研究－基本動作の姿勢分析－，体力科学，18(2)：71-81
- 38) WBAJ，特定非営利活動法人日本女子野球協会公式サイト，
<http://www.wbaj.or.jp/>
- 39) Welch M. Christian, Banks A. Scott, Cook F. Frank, Draovitch Pete,（1995）Hitting a Baseball:A Biomechanical Description, Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 22(5)：193 - 201
- 40) 山本博男・長田真実・牛津安未・西村達弥（2010）女子大学生における新バッティングの基礎的実験，金沢大学人間社会学域学校教育学類紀要2：89-93
- 41) 柳澤修・前川剛輝・船渡和男（2005）プロ野球選手および一流女子ソフトボール選手における形態的特徴の検討，体力科学，54(6)：542

謝 辞

本研究は，主査岡田純一先生，副査彼末一之先生，土屋純先生のもと行われました．岡田先生には実験計画から文章構成にいたるまで，丁寧な指導をしていただきました．岡田研究室の杉崎範英さんにはいつも多くのアドバイスをいただき，励ましていただきました．岡田研究室 M1 である彼らにもいつも励ましてもらい，元気をもらいました．岡田研究室の先輩である飯島康平さんには，お忙しい中，休日を使って機材の使用方法を教えていただきました．平成国際大学女子硬式野球部の T 選手には，遠方からわざわざ被験者として実験のため来ていただきました．周りの友達もいつも私を応援してくれました．家族は温かく見守ってくれました．他にもたくさんの方に支えられて，本論文を完成させることができました．この経験をこの先の人生に活かして，いろいろな人やものに愛を持って生きていきたいと思います．

みなさん本当にありがとうございました．

2011 年 1 月 13 日

早稲田大学スポーツ科学研究科 松本 慶