

プロジェクト2

投手の投球動作についての科学的視点からの提言

プロジェクト・メンバー

松尾知之（大阪大学）

中本浩揮（鹿屋体育大学）

神事努（國學院大學、NEXT BASE）

森下義隆（国立スポーツ科学センター）

蔭山雅洋（日本スポーツ振興センター）

1. 全日本野球協会からの依頼内容

(…前略)

2. 投手の投球動作について、科学的視点からの提言

スムーズな動作ではなく、二段モーションや、自由な足を一度上げて動作を止めたりすることの科学的視点からのご提言をお願いします。(後略…)

2. 計測・調査のための背景調査

公認野球規則(2018 年度版)

(…前略)

さて、今年度の規則改正であるが、いわゆる“二段モーション”を反則投球とする、我が国が独自に定めた、定義 38 の【注】を削除することとした。国際的な基準に合わせて、走者のいないときの“二段モーション”に対してはペナルティを課さないとするための措置であるが、技術的な面においても、マナーの面においても“二段モーション”は望ましい投球フォームではないという考え方に変更はないことは強調しておきたい。(後略…)

※定義38 ILLEGAL PITCH「イリーガルピッチ」(反則投球) — (1)投手が、投手板に触れないで投げた打者への投球、(2)クイックリターンピッチ、をいう。 — 走者が塁にいるとき反則投球すれば、ボークになる。

【注】投手が 5.07(a)(1)および(2)に規定された投球動作*に違反して投球す多場合にも、反則投球となる。

*「打者への投球に関連する動作を起したならば、途中で止めたり、変更したりしないで、その投球を完了しなければならない。」

アマチュア野球連盟規則委員会の通達(2018 年 2 月)

(…前略)

我が国での“二段モーション”の始まりは、何とかして打者のタイミングを外そう、打者を幻惑しようとする投球動作がルーツです。マナー面の問題としても許されない動作を規制するため当時の規則委員会では日本独自の【注】を設けて対応してきましたが、現在では打者にとっての不利益を与えるような問題はなくなってきているものの、ナチュラルな投球動作とは 言えない“二段モーション”と言われる動作が根絶されていないことは事実です。(後略…)

3. 調査の概要

上記の経緯を踏まえ、2つの方向性から調査することとした。1つは、マナー面に
関連することとして、二段モーションや振り上げ足を一旦静止するような投球動作は、
打者を幻惑し、打者の打撃パフォーマンスを下げることに繋がるのか、という点。もう
一つは、技術面に関することとして、そのような投球動作を行うことによって、投手自
身のパフォーマンスや投球障害に陥る危険性に影響を及ぼすのか、という点である。

4. 調査の目的

本調査の具体的な目的を以下に記す。

- (1) 二段モーションや一旦静止モーション(以下、変則足上げモーションとする)が、
打撃パフォーマンス(フェアゾーンへの打球率、打球速度、打球方向)に与える
影響を明らかにすること。
- (2) 変則足上げモーションが打者の重心移動(地面反力)のタイミングに与える影響
を明らかにすること。
- (3) 変則足上げモーションが、投球パフォーマンス(投球速度、制球力、ボールの回
転数、ボールの回転軸、ボールの変化量)および投球障害危険因子に及ぼす
影響を明らかにすること。
- (4) 変則足上げモーションが、その後の投球動作に与える影響を明らかにすること。

5. 調査結果の概要

- (1) 変則足上げモーションは、フェアゾーンへの打球率、打球速度、打球方向に代
表される打撃パフォーマンスに一義的な影響^{*}を与えなかった。
- (2) 変則足上げモーションによって、打者の地面反力は何らかの影響を受けている
可能性があるが、それは打者の踏み込み足の着地時にはほぼ解消され、投手が
ボールをリリースする際には、その影響はほぼ消失した。
- (3) 変則足上げモーションは、投球速度、制球力、ボールの回転数、ボールの回転
軸、ボールの変化量に代表される投球パフォーマンスに一義的な影響^{*}を及ぼさ
なかった。また、肘関節内反トルク、肩関節牽引力、肩関節剪断力に代表される
投球障害危険因子にも影響を及ぼさなかった。
- (4) 変則足挙げモーションによって、片脚立位姿勢(バランスポジション)時の投球動
作には若干の違いが認められた。その違いは、一旦静止動作の方が通常の動作
よりも、腰や肩の捻りを抑え、重心位置が軸足の真上に近い状態となることであ
った。つまり、股関節上に“乗った”感じを得られ易い動作と言える。しかし、その違
いによる効果は、踏み出し足の着地時にはほぼ解消し、それ以降の動作は同じも
のとなった。

※一義的な影響とは、足上げ条件の違いによって、何らかの変化が認められ、その変化が多くの選手において同じ方向であるような影響(投球速度を例に挙げると、多くの人が速度増加を示す場合)。

6. 提言

今回の調査により、変則足上げモーションによる打者のパフォーマンスへの影響はないことが明らかになり、また投手側への影響は、バランスポジションで立った際の姿勢に違いが見られたものの着地時には解消されるため、実質的に、ほぼ「ない」こともわかった。したがって、変則足上げモーションも、腕の上げ方や腕の振り方に個人差や個性があることと同等に扱って良いといえる。

しかしながら、一方で、塁上に走者がいる際には、変則足上げモーションは、足を上げてから着地するまでの時間が長いために大きなデメリットを有しているだけでなく、走者を意図的に幻惑させることに繋がる。したがって、走者がいるケースだけでペナルティを課す国際ルールに変更した今回の規則改正は、的を射ていると言える。

投手や指導者は、上記のことを念頭に入れ、自分(または指導する投手)の身体特性・運動特性・選好性をよく理解し、状況に応じた投球動作を身に付けることが肝要である。

7. 調査方法および結果

A. 変則足上げモーションが打撃パフォーマンスおよび打撃時の各足の地面反力に及ぼす影響

(1) 研究対象

大学野球選手14名

(2) 課題

室内大規模実験場において、コンピュータグラフィクス（以下、CG）の投手（図 1A）の投球動作に合わせて、130km/h 程度のボールが投射されるバッティングマシンを用いた打撃課題とした（図 1B）。打者には、打球速度を最大にするように教示した。投球動作は、以下の5つの条件を満たすように作成した CG 映像（図 1C）を投球映像とし、各条件で10 スイングずつ打撃を行わせた。

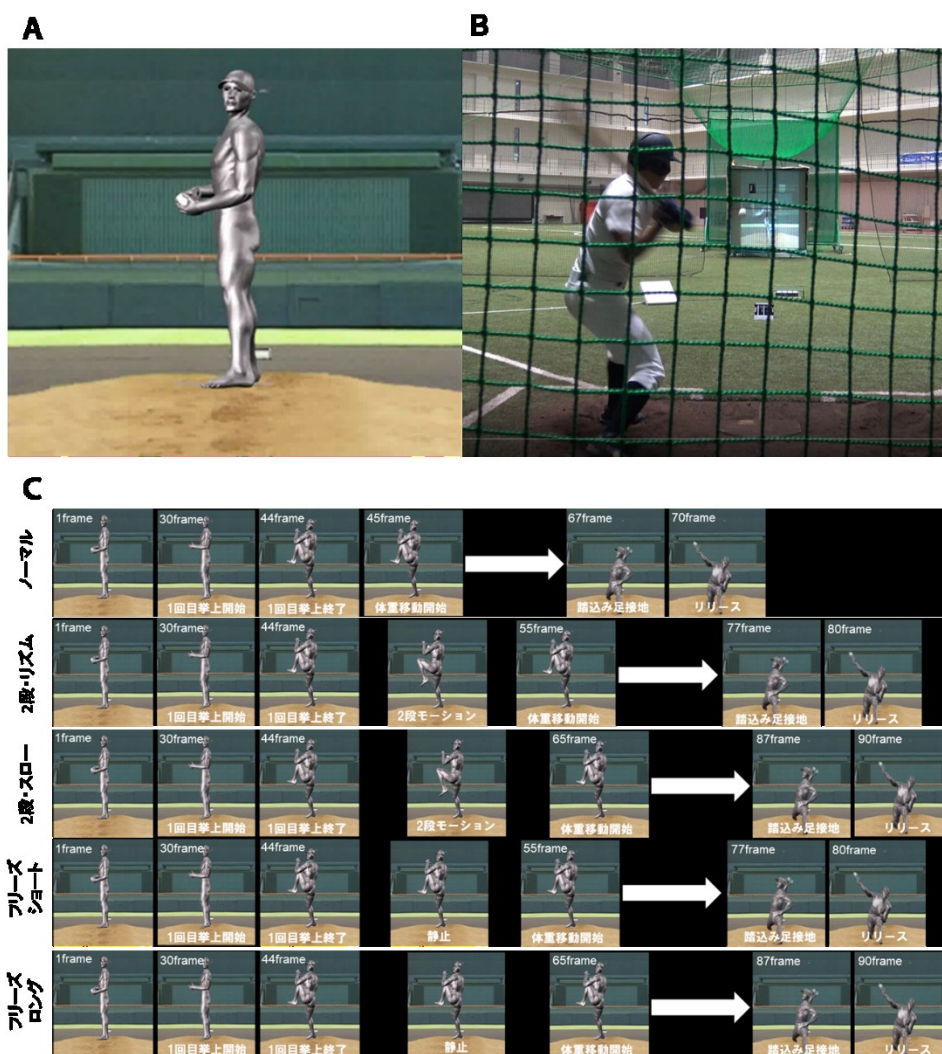


図1. (A)投球映像付きバッティングマシンに使用した CG 映像, (B) 実験中の打撃課題の様子, (C) 各課題条件における投球局面の出現時間（1frame=33.3ms）

課題条件1: ノーマル(変則足上げモーションではない、通常の動作)

課題条件2: 二段モーション A(ダブル・リズム: 1回目と2回目の挙上の速さが同じ動作)

課題条件3: 二段モーション B(ダブル・スロー: 1回目は上記と同じだが、2回目の挙上が若干遅い動作)

課題条件4: 静止モーション(フリーズ・ショート: 膝の最大挙上時に1秒の静止)

課題条件5: 静止モーション(フリーズ・ロング: 膝の最大挙上時に2.5秒静止)

* 尚、各条件の体重移動開始からリリースまでの時間は同じとした(図 2)。

(3) 手続き

- 研究対象者は、研究内容について文書および口頭での説明を受け、同意書に署名した後、ストレッチ、ランニング、素振り、トス打撃など、日頃の練習で実施しているウォーミングアップと同等のウォーミングアップを実施した。
- 練習試行として、室内バッターボックス(図 1B)に立ち、CG付きマシンから投射されるボールを10球から20球程度打球した。この際、CG映像は、課題条件1のノーマルのものを使用した。
- 「普段の打撃と同じように、できるだけ強い打球を打つ」という教示の下、各条件(図 2)につき10球の打球を行った。この際、打球は打撃用のRapsodoシステムを使って記録した。尚、CGの投球条件の提示順は研究対象者間でカウンターバランスをとって実施した。

(4) 計測項目

- ① 打撃パフォーマンス: 打撃用 Rapsodo システムで以下の項目を計測した。
 - i. フェアゾーンへの打球率(ファールや空振りを除き、打球がフェアゾーンに入った割合)
 - ii. 打球速度
 - iii. 打球方向
- ② タイミング動作: 打席地面内に左右両足用に別々に埋め込んだ床反力計を用い、以下の項目を計測した。
 - i. 離地開始時間: ボールリリースを基準とした、踏込足が地面から離れた時間。
 - ii. 踏込開始時間: ボールリリースを基準とした、踏込足が地面に着いた時間。

(5) 統計

研究対象者 14 名のうち、すべてのデータがうまく取得できた 8 名分について、以下の処理を行った。課題条件を要因とした対応のある一元配置分散分析を行った。要因効果が認められた場合、ボンフェローニ法により多重比較検定を行った(IBM SPSS statistics 25)。

(6) 結果

① 打撃パフォーマンス

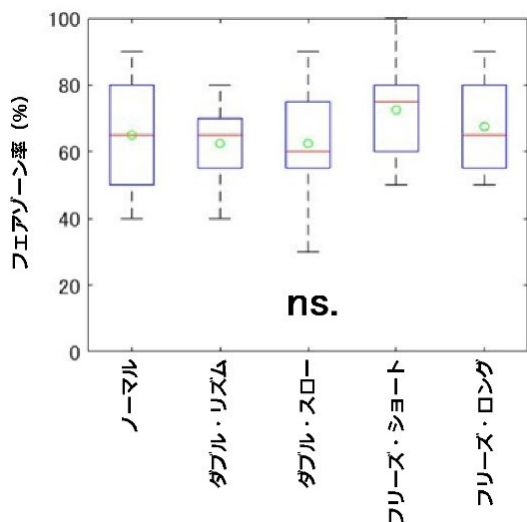


図2. 条件別フェアゾーン打球率

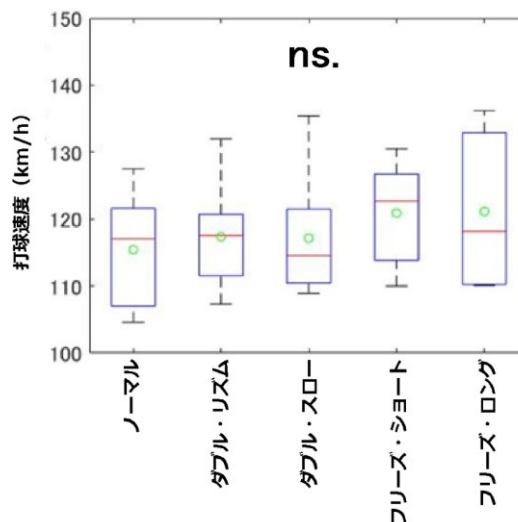


図3. 条件別打球速度

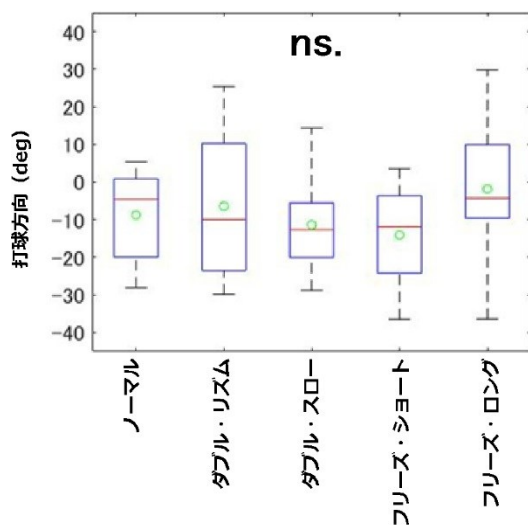


図4. 条件別方向

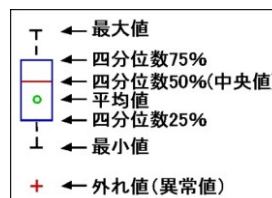


図2~4の箱ひげ図の見方

(ただし、ここでは+はない)

四分位数とは、値を小さな順番に並べた時に、前から 25、50、75%に当たる値のことをいう。

ns.: 統計的に差がなかったことを示す

フェアゾーンへの打球率、打球速度、打球方向のいずれに関しても、課題条件間で有意差は認められなかった。

② タイミング動作

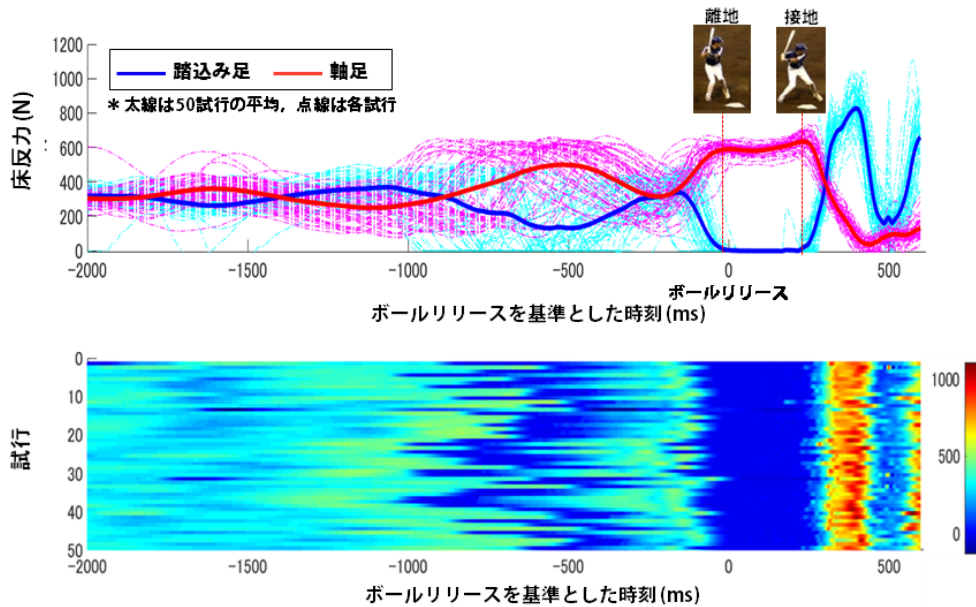


図5. 上段:床反力の時系列データの典型例 (n=1), 下段:典型例の打者の各試行の床反力のヒートマップ

図5上段は、打者の軸足および踏み込み足の床反力の典型例である。横軸の 0ms が投手のボールリリースの時点である。ボールリリース前に打者は、軸足と踏み込み足とで揺らぐように加重の比率を緩やかに交互に変化させている。ボールリリースの約 150ms 前(およそ投手の軸足が着地した時点)で急激に軸足加重の割合を高め、ボールリリース時には完全に軸足加重となっている。

その後、250ms付近で踏み込み足を着地させ、今度は踏み込み足加重の比率を急激に高めながらスイングを行っている。

図5下段のヒートマップは、上段の図の青線で表わされている踏み込み足の床反力を色で表わすことによって 1 行で 1 試技の情報とし、複数(50 回分)の試技を合わせることによって、試技間のバラツキを視覚的に一目でわかるように描いたものである。この結果は、上段に示した選手の 50 試技分の結果である。

ボールリリース前(横軸の負値)は、水色や青色の境界が非常にばらついている。0ms 付近では完全に青色になっているおり、その後の色の境界線は、その前の水色と青との境界線のバラツキよりも格段に小さくなっている。

以上の結果を、前述と同様に箱ひげ図で表したのが、以下の図6である。

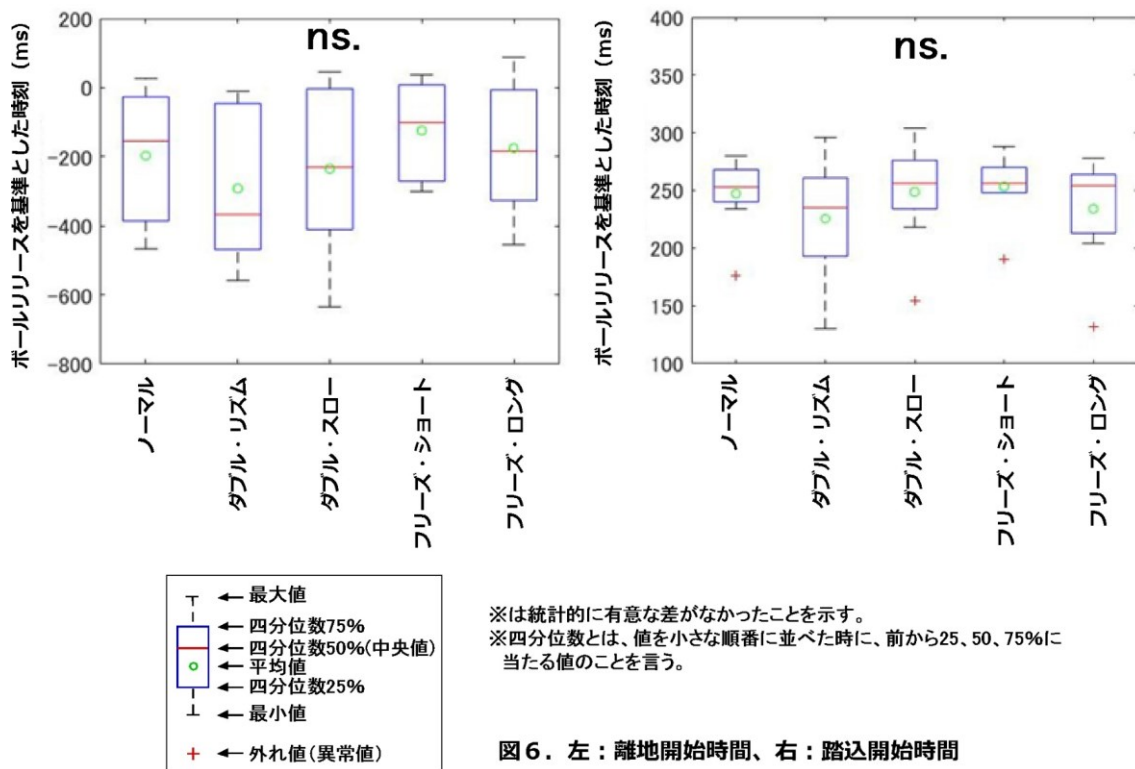


図5の典型例に示す通り、ボールリリース前の床反力はバラツキが大きく、CG映像による投球動作の影響が認められる。しかし、全参加者を対象にした踏込足が地面から離れる時間については、課題条件の影響は統計的にはない。これは、**同じ条件内で個人間のバラツキが大きい**ためと考えられる。しかし、平均値の差は条件間で最大200ms 近いものもあり、現実的には大きな差であるといえる。

踏込足が着地する時間についても、統計的有意差はない。これは、上述した条件内でバラツキが大きいために生じたケースとは異なり、**バラツキは離地開始時間の約 1/9 ~ 1/2 と著しく小さくなっている**にもかかわらず、条件間での差が平均で30ms 以内になったことから生じており、踏込足を上げてから、**着地するまでに巧みにタイミング調整を行った結果**と言える。

B. 変則足上げモーションが投球パフォーマンス、投球障害危険因子、およびその後の投球動作に及ぼす影響

(1) 研究対象

大学野球選手 10 名 (Normal 動作: 6 名、二段モーション的動作: 3 名※、
静止動作: 1 名)

(※二段モーション的動作とは、明白な二段モーションではなく、二段モーションであるとも二段モーションでないとも言えるような足の上げ方をする動作)

(2) 課題

室内大規模実験場において、室内マウンド上から正規の距離を隔てた位置的(図7)を目掛けて、以下の3つの条件で、それぞれ 10 球ずつ投球した。



図7. 捕手の位置に設置した同心円の的

投球条件1(ノーマル条件): 変則足上げモーションではない、ノーマルな動作。

投球条件2(二段モーション条件): 明白な二段モーション。

投球条件3(静止条件): バランスポジションで、約 3 秒の静止をする動作。

※尚、条件の提示順は研究対象者間でカウンターバランスをとって実施した。

(3) 手続き

- 研究対象者は、研究内容について文書および口頭での説明を受け、同意書に署名した後、ストレッチ、ランニング、キャッチボール、投球練習など、日頃の練習で実施しているウォーミングアップと同等のウォーミングアップを実施した。
- 反射マーカー(直径 14mm)を研究対象者の全身 45 ヶ所(頭部 3 ヶ所、体幹 10 ヶ所、上肢片側 8 ヶ所、下肢片側 8 ヶ所)に貼付し、直径 6mm の反射マーカーを投球腕側の指に 3 ヶ所、貼付した(図8)。また、投球の邪魔にならないように、ボールの4箇所にも直径 6mm の反射マーカーを貼付した(図9)。
- 室内マウンド上(図10)から、的を目掛けて再度投球練習を実施した。この際、3つの投球条件すべての条件での投球を実施した。また、試合で投げる状態に近くなるよう、投球練習中に最低 5 球の全力投球を実施した。
- 「できるだけ速く、且つ、コントロール良く」という教示の下、的に向かって、各条件につき 10 球の投球を行った。この際の身体およびボールに貼付したマーカーの3次元位置座標を、超高速モーションキャプチャーシステム(Vicon MX-T20, T40)および付随

の分析ソフトウェア(Nexus)で、獲得した。

- 三次元位置座標を基に、関節中心、身体部分重心、身体部分中心および関節中心の速度、加速度を求めた。また、各関節の角速度も算出した。さらに、ニュートン・オイラー法による逆動力学によって、身体部分間に生じる力やトルクを算出した。

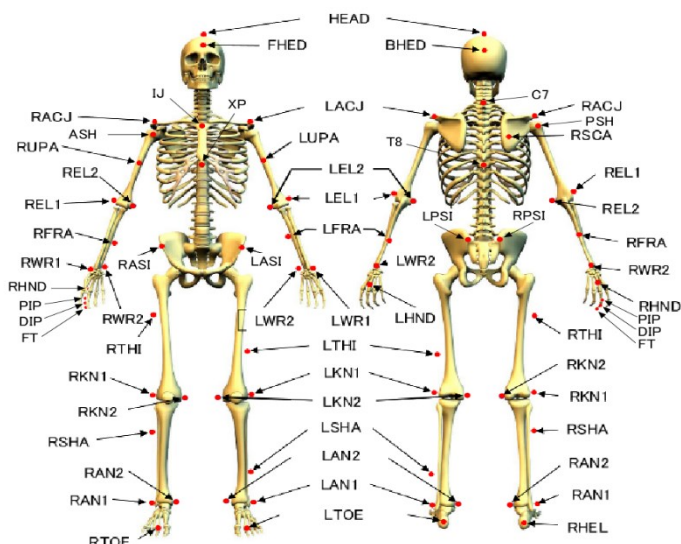


図8. 反射マーカの貼付位置



図9. ボールとマーカ



図10. 屋内大規模実験場内の室内マウンドを使った投球

(4)計測項目

①投球パフォーマンス

- 投球速度:ボールリリース直後の投球速度の平均値.
- コントロール:的にボールが当たった際の、的の中心位置からの距離の平均値.
- 回転数:ボールリリース直後のボールの回転数.

- iv. 回転軸の角度: ボールリリース直後のボールの回転軸の角度(投球方向との内積で求めた角度で、ボール変化への有効性を示す値)。
- v. 水平方向(横)の変化量: ボールが実際に到達した位置と回転せずに到達した場合との差の水平成分。
- vi. 垂直方向(縦)の変化量: ボールが実際に到達した位置と回転せずに到達した場合との差の垂直成分。

②投球障害危険因子

- i. 肘関節内反トルク: 所謂“腕のしなり”と言われる肩関節最大外旋位付近では、体幹の回転や肘を若干前に出す動作によって発生する力によって、肩関節には外旋する方向に回転力(外反トルク)が発生し、前腕は後方に回転する(図9:黄色の矢印)。投球するためには、この回転力に逆らって、逆方向に回転(内旋)することが要求される(図9:赤色の矢印)。このため、肘関節には強いストレスが発生し、野球肘の主要な要因の一つと考えられている。



- ii. 肩関節牽引力: ボールリリース前後では、腕が極めて高い速度でスイングされるために、強い遠心力が働く。この力は腕を体幹から引き離す方向に働くが、肩関節周囲筋群がこの力に負けないように上腕骨頭を関節窩に戻そうと強く収縮している。この際に働く力の繰り返しが肩関節障害の一つの要因になると考えられている。ここでは、その力を分解し、胸部の左右軸に働く力を牽引力とした。



- iii. 肩関節剪断力@コッキング相: 剪断力は体幹の上下および前後から成る面と平行な方向に作用する力で、上記の牽引力と直行する。コッキング相(踏み出し足の着地から肩関節最大外旋位)では、肘を上げたり、後ろに引いたりすることで、この剪断力が大きくなる場合があり、肩関節障害の要因の一つと考えられている。



- iv. 肩関節剪断力@フォロースルー相: フォロースルーでは、腕の振りは依然として高い速度を保持しており、腕は体幹に巻き付くように斜め下方に移動する。このため、腕を体幹から引き離す方向に働いていた力は、方向を変えて、高い剪断力となって現れる。フォロースルー一時のこの力も肩関節障害の要因の一つと考えられている。



③投球動作

- i. 重心位置(図12a): バランスポジション(振り上げ足の膝が最も高く上がった時点)での身体重心と軸足の踵の Y 軸(投球)方向の距離。尚、グラブについては、グラブを図11に示すような剛体に近似することによって、グラブの重量および慣性テンソルを以下のように決定し、手掌の上にグラブを付着するように一体化させることにより、グラブの位置および重心位置を算出した。その他の身体部位の慣性特性値については、阿江ら(1992)の身体部分推定係数により、個人の体重および部分長を用いて推定した。

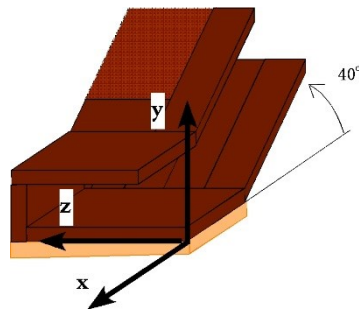


図11. 剛体近似したグラブ

グラブ重量: 0.6kg

グラブ重心: $(x, y, z) = (-0.124, 0.048, 0.098)$ m

グラブ慣性テンソル

	x	y	z
x	0.0044628	0.0037392	0.0069890
y	0.0051783	0.0046653	0.0026119
z	0.0069890	0.0026119	0.0041924

- ii. 腰部捻転角(図12b): バランスポジションでの骨盤の水平面での角度.
- iii. 胸部捻転角(図12c): バランスポジションでの胸郭の水平面での角度.
- iv. ステップ長(図12d): 踏み出し足の着地時の投手板と足首中心との水平面での距離.
- v. 左右着地位置(図12e): 踏み出し足の着地時の足首中心の位置(左右方向)
- vi. 足の向き(図12f): 踏み出し足の着地時の足の向き.
- vii. 膝関節角度(図12g): 踏み出し足の着地時の膝の角度.
- viii. 腰部最大回転速度(図12h): 腰部角速度の最大値.
- ix. 腰部最大回転速度時間: 上記が発生する時間. 踏み出し足の着地を 0%とし、からボールリリースを 100%とした場合の%表示.
- x. 胸部最大回転速度(図12i): 胸郭角速度の最大値.

- xi. 胸部最大回転速度時間:上記が発生する時間. 踏み出し足の着地を 0%とし、からボールリリースを 100%とした場合の%表示.
- xii. 肩関節最大外旋角(図12j):肩関節外旋の最大値.
- xiii. 肘関節最大伸展速度(図12k):肘関節伸展角速度の最大値.
- xiv. 肩関節最大内旋速度(図12l):肩関節内旋角速度の最大値.
- xv. 肘関節最大伸展角(図12m):肘関節伸展角度の最大値.



図12. 計測項目の概略図

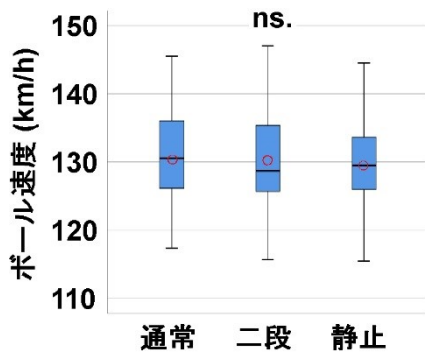
(5)統計

投球条件を要因とした対応のある一元配置分散分析を行った。要因効果が認められた場合、ボンフェローニ法により多重比較検定を行った(IBM SPSS statistics 25)。

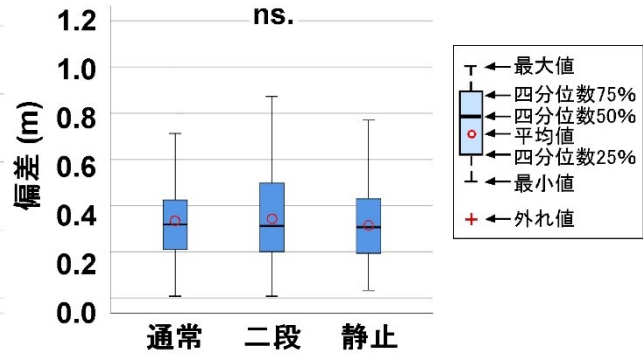
(6) 結果

① 投球パフォーマンス

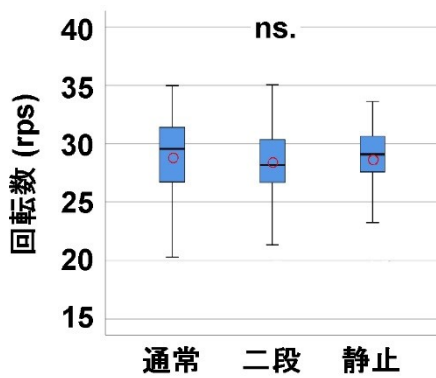
i. 投球速度



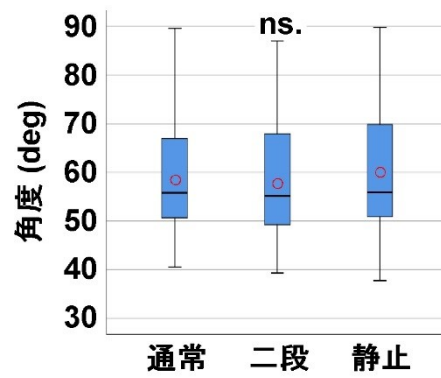
ii. コントロール



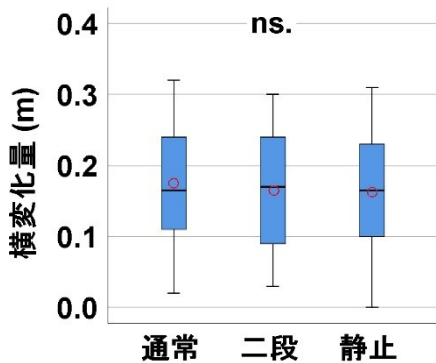
iii. 回転数



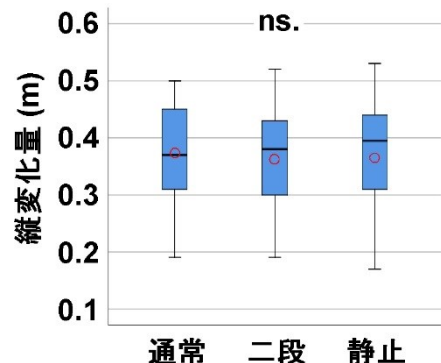
iv. 回転軸の角度



v. 横変化量



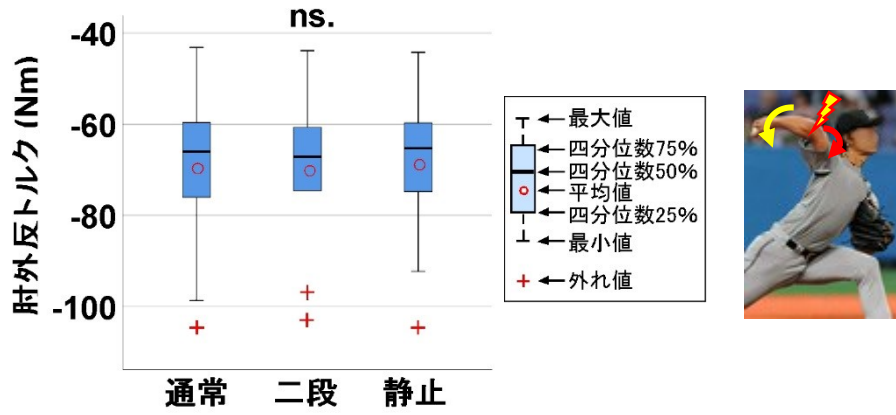
vi. 縦変化量



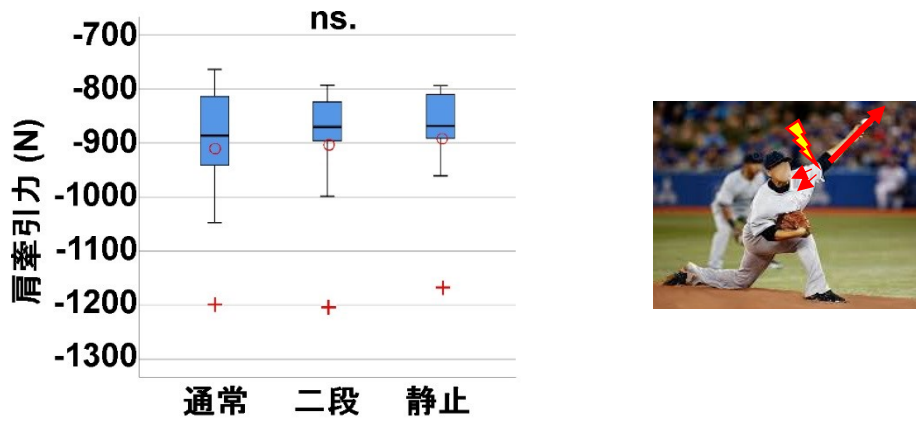
投球パフォーマンスの指標として計測した、(i)投球速度、(ii)コントロール(的中心からの平均偏差)、(iii)ボールの回転数、(iv)ボールの回転軸と投球方向との角度、(v)横変化量、(vi)縦変化量のいずれにおいても、投球条件による有意な影響は認められなかった。

②投球障害危険因子

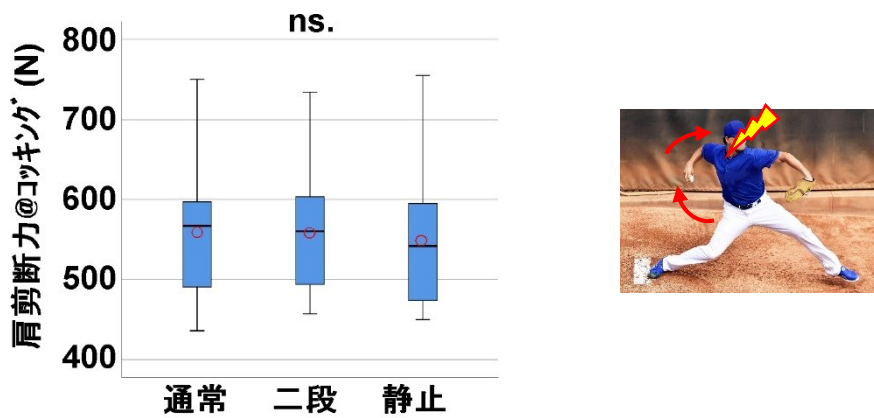
i. 肘関節内反トルク



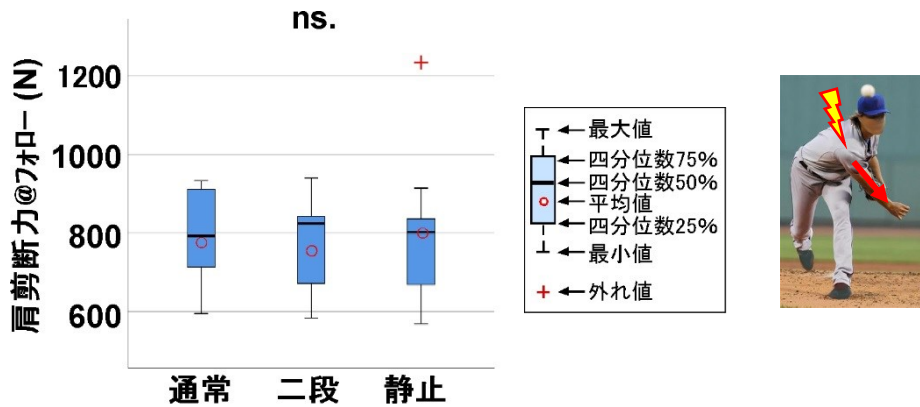
ii. 肩関節牽引力



iii. 肩関節剪断力@コッキング相



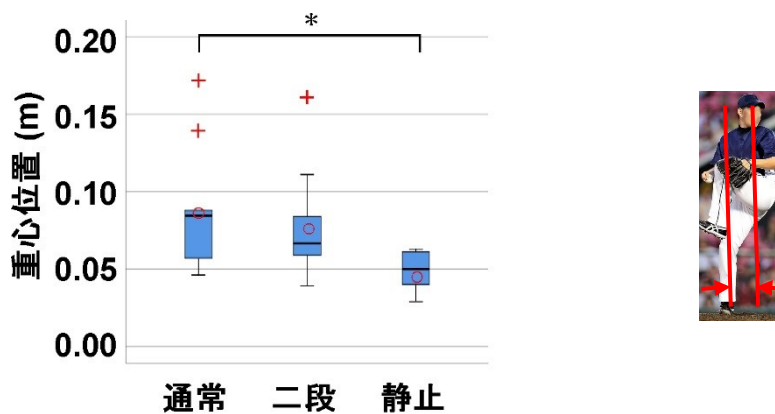
iv. 肩関節剪断力@フォロースルー相



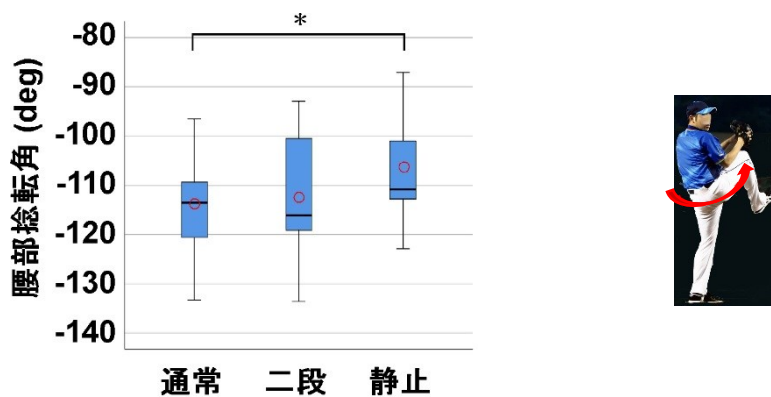
投球障害危険因子として算出した4つの指標(肘関節内反トルク、肩関節牽引力、コッキング相での肩関節剪断力、フォロースルー相での肩関節剪断力)のいずれも投球条件の主効果は認められなかった。

③投球動作

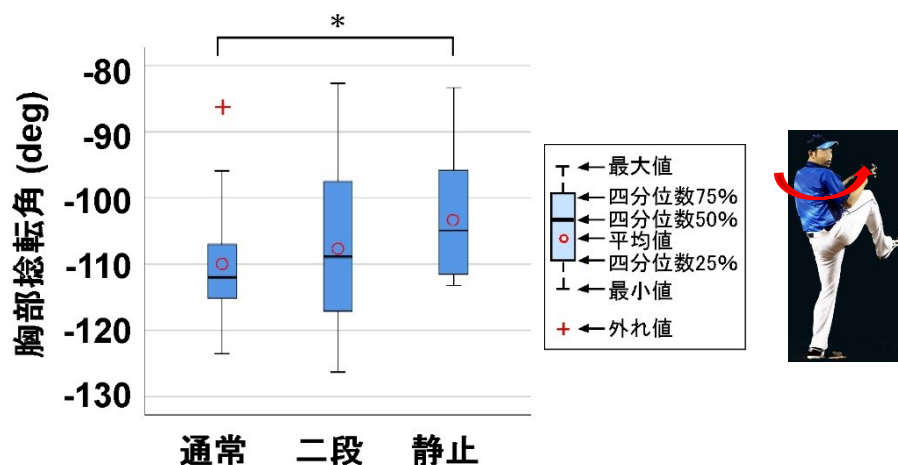
i. 重心位置



ii. 腰部捻転角



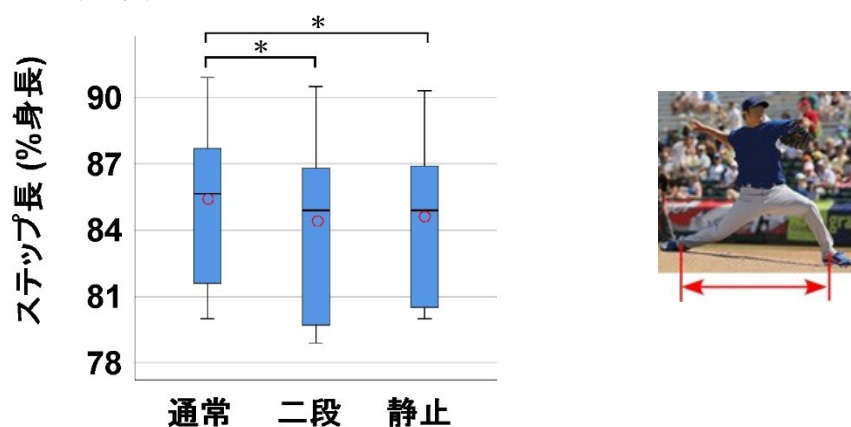
iii. 胸部捻転角



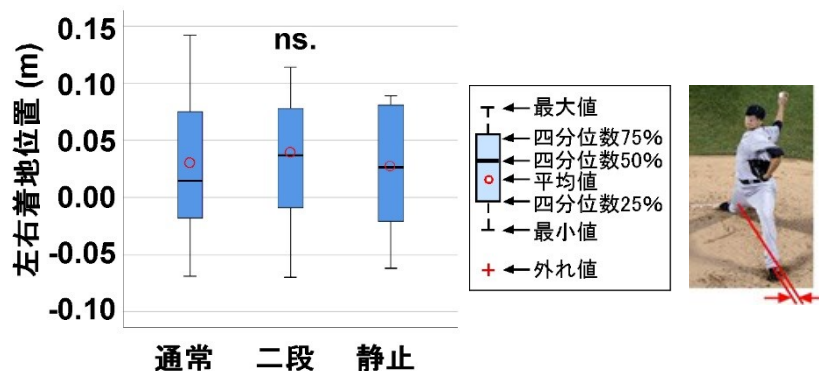
上記の 3 項目は、いずれもバランスポジションにおける計測項目である。一元配置分散分析の結果、投球条件の効果が有意となり($p < .05$)、多重比較により、いずれもノーマル条件と静止条件とで有意差が認められた($p < .05$)。

ノーマル条件の重心位置(8.8cm)に比べて静止条件の重心位置(4.9cm)は、平均で約 4cm 軸足に近かった。また、ノーマル条件の腰部や胸部の捻り具合に比べて静止条件では、平均で約 7° 捻りが浅かった。静止条件では腰部や胸部をあまり捻らずに、身体重心をより軸足の真上に近い位置になるようにバランスを保ち、軸足で立っていることが明らかとなった。

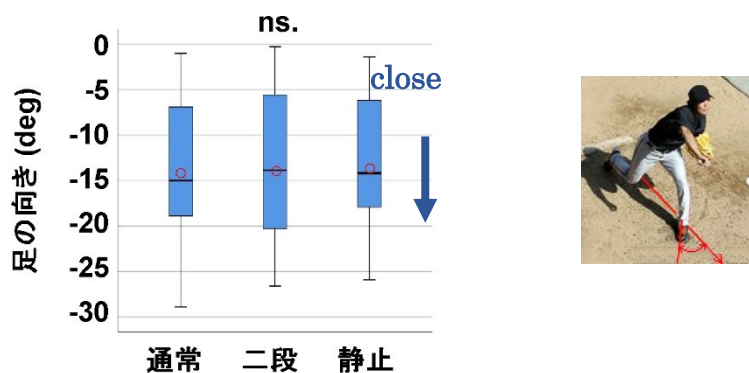
iv. ステップ長



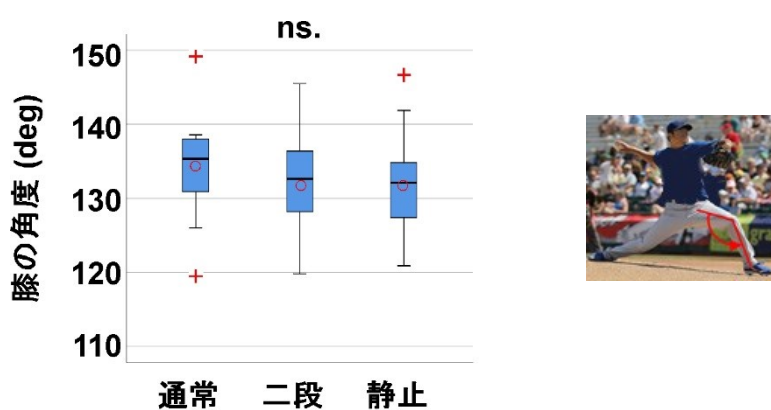
v. 左右着地位置



vi. 足の向き

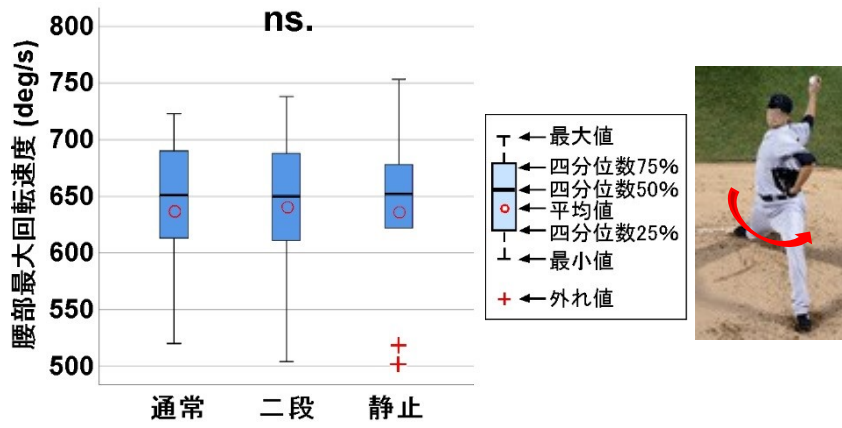


vii. 膝関節角度

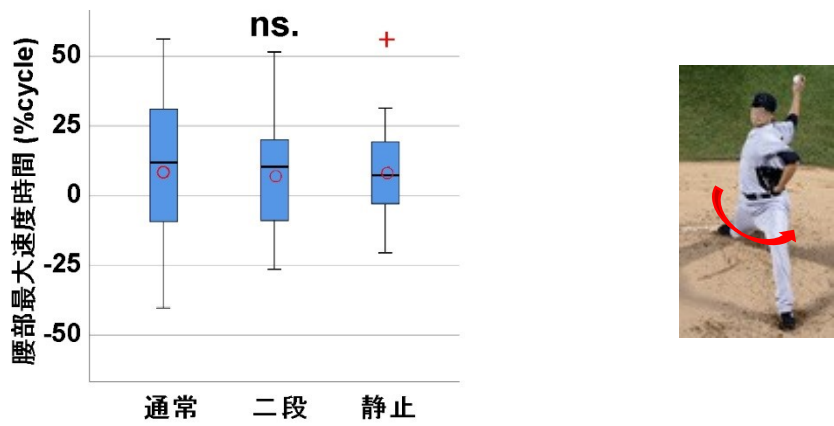


iv~vii の項目は、踏み出した足が着地した際の変数である。分散分析の結果、投球条件に効果が認められたのは、ステップ長だけであった($p < 0.01$)。多重比較の結果、ノーマル条件に比べて、二段モーション条件や静止条件において、ステップ長が短い傾向にあった。この違いは、平均で身長1%未満、つまり実測の平均値で約1.5cmであった。この際の膝の角度および足の左右への着地位置や足の向きには有意差は認められなかった。

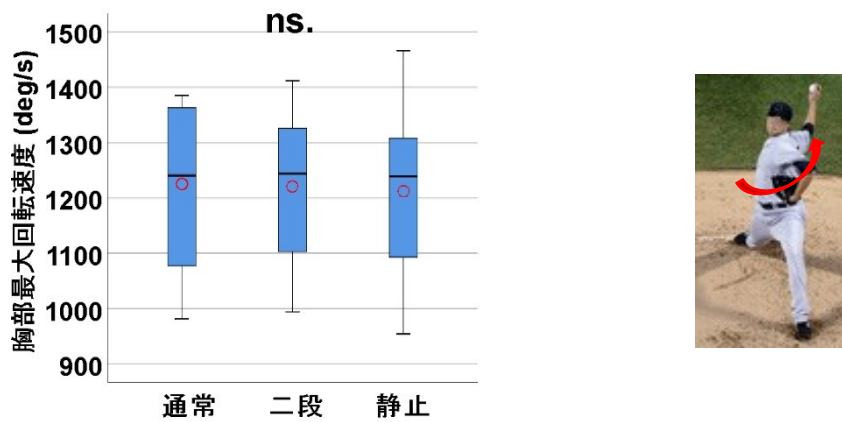
viii. 腰部最大回転速度



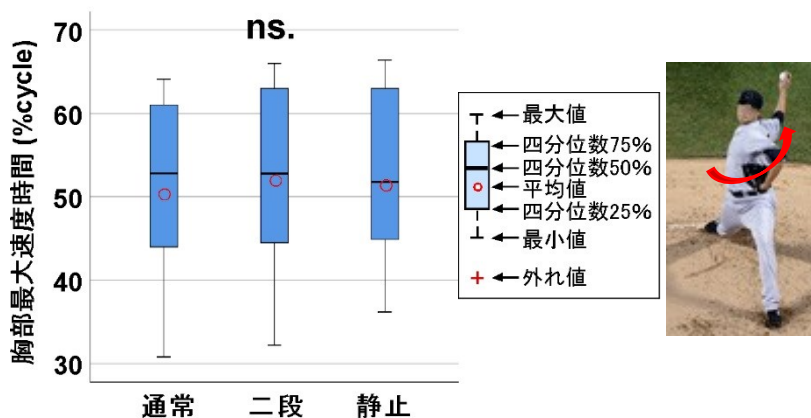
ix. 腰部最大回転速度時間



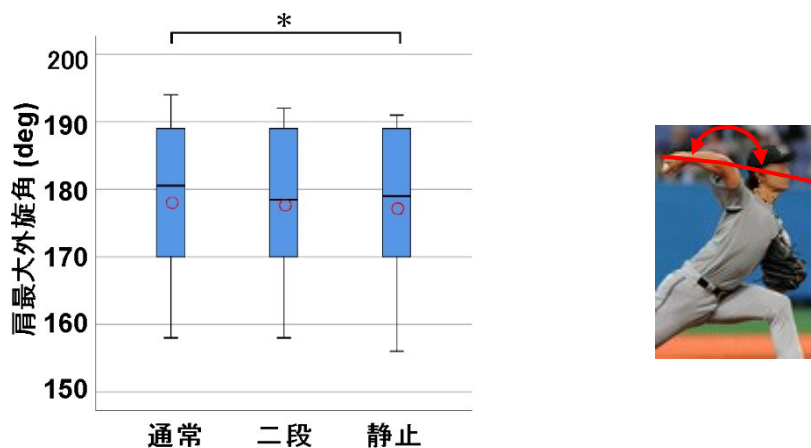
x. 胸部最大回転速度



xi. 胸部最大回転速度時間

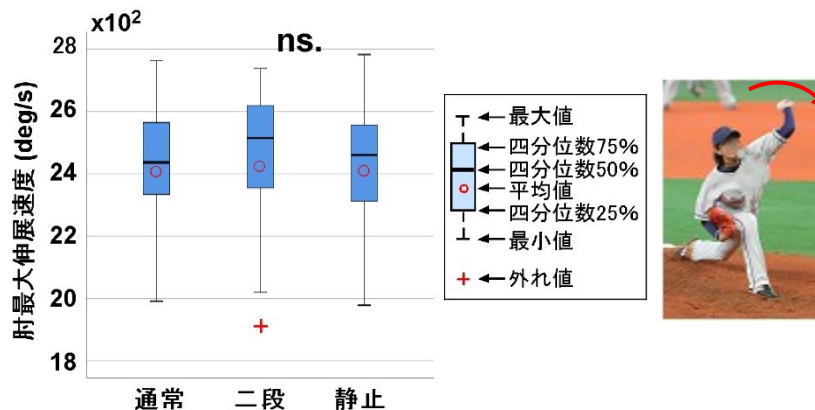


xii. 肩関節最大外旋角

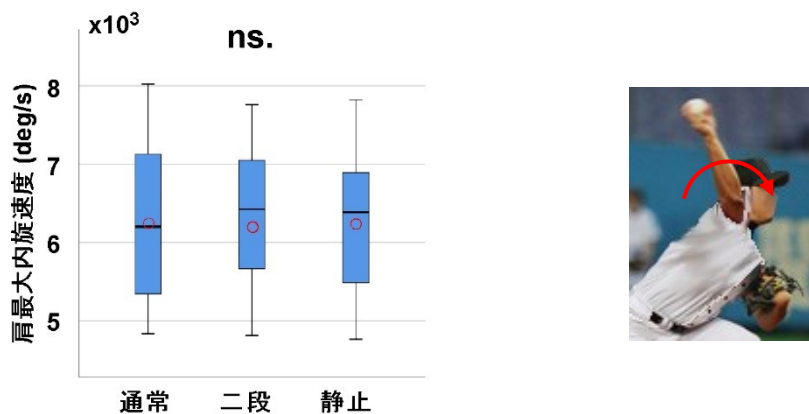


viii～xii は着地後から肩関節最大外旋位までの、上肢加速の準備期間にあたる期間の変数である。腰部や胸部などの体幹の最大回転速度およびその発生時間に投球条件による差は認められなかった。肩関節最大外旋位には、有意な主効果が認められ($p < 0.05$)、多重比較の結果、ノーマル条件と静止条件の間に 5%水準で有意差があった。静止条件の最大外旋角($178 \pm 11^\circ$)は、ノーマル条件のそれ($179 \pm 12^\circ$)に比べて、平均で約 1° だけ外旋角が小さかった。

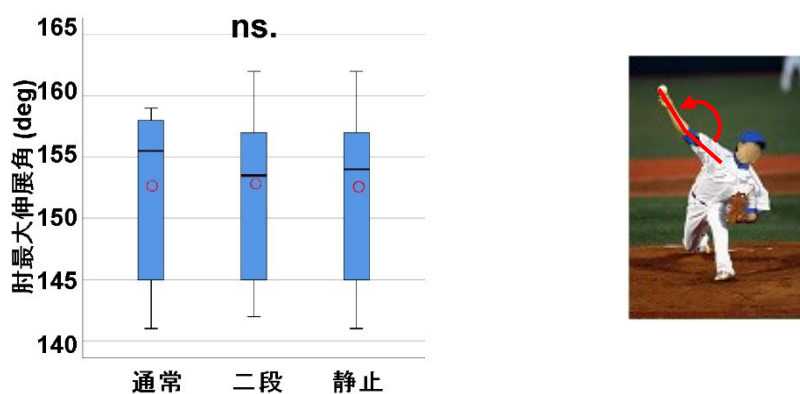
xiii. 肘関節最大伸展速度



xiv. 肩関節最大内旋速度



xv. 肘関節最大伸展角



xiii~xv の項目は、上肢の加速期に関する変数である。肘関節最大伸展速度、肩関節最大内旋速度の速度関連項目には投球条件による影響は認められなかった。また、リリース時に見られる肘関節最大伸展角度にも主効果の影響は認められなかった。

投球動作全般をまとめると、ノーマル条件と二段モーションとの違いは、ステップ長で二段モーションの方が身長の1% (約 1.8cm) 短かったのみで、それ以外の項目に差は見られなかった。

ノーマル条件と静止条件で投球条件の主効果が見られたケースは幾つかあった。バランスポジションでは静止条件において腰や体幹の捻転がやや少なく(約 7°)、身体重心が軸足の真上に近い姿勢(ノーマル条件 8.8cm、静止条件 4.9cm)で、片足立位姿勢を保っていた。そして、着地時のステップ長は若干短め(約 1.5cm)であった。また、肩関節最大外旋位において、ノーマル条件に比べて、静止条件の方が、平均で約 1° だけ外旋角が小さかった。体幹の回転速度や腕の振りの速度を含む他の10項目に関して、主効果は見られなかった。

9. まとめ

本研究に参加した打者は、同一条件下でも比較的大雑把なタイミングで踏込足を上げており、そのため足を上げるタイミングのバラツキは大きかった。しかしながら、その後、足を地面に付けるまでに、タイミング調整を行い、極めて高い精度で着地動作のタイミングを合わせていた。このことは、あまり早い段階からタイミングを合わせる必要がないこと、しかし、リリース直後までにはタイミングを合わせておく必要があることを示唆する。

このような観点からすると、二段モーションや振り上げ足を一旦静止するような投球動作は、ボールリリースのだいぶ前の段階の動作であり、このことで打者がタイミングを狂わされることは、少なくとも一般的な大学生レベルではほとんどないことが示唆された。打撃パフォーマンスの指標として計測した3つの項目(フェアゾーンへの打球率、打球速度、打球方向)の結果は、そのことを支持しており、どの項目においても課題条件の違いの影響は見られなかった。したがって、“打者を幻惑する”ことを目的に二段モーションや静止モーションを採り入れることは、無意味なことであるといえる。

二段モーションや静止モーションを行うことで、投手自身のバランスポジションでの姿勢に影響が出ることも明らかになった。特に、静止モーションでは比較的長い時間、片足立位姿勢を保つ必要があるために、身体重心を軸足の真上に近い位置にすることで、発生するトルク(力のモーメント)を低減させ、バランスを維持しやすい姿勢をとっているものと思われる。また、体幹の捻転の減少もバランス維持のために行われたものと推測できる。

しかしながら、このようなバランスポジションでの違いは、踏み出し足の着地後にほぼ解消される。二段モーションと静止モーションのステップ長は、ノーマル動作と比較して、統計的に有意に短かったものの、その違いは約 1.5cmで、ステップ長の1%にも満たないことから、実質的に意味のある違いと考えるには無理がある。また、静止モーションにおいて、

肩最大外旋角が統計的に有意に小さかったものの、これも約180°のうちの1°の違いであり、取るに足りない値であることは言うまでもない。これ以外に測定した、投球に重要であると思われる体幹の回転速度や腕の振りの速さに関する項目では、有意差は認められなかった。

結果的に、投球パフォーマンスとして計測した、投球速度、コントロール、ボールの回転数、回転軸の角度、横の変化量、縦の変化量のいずれにも有意な主効果は認められず、また、投球障害危険因子として算出した、肘関節内反トルク、肩関節牽引力、肩関節剪断力のいずれにも有意な影響は見られなかった。

以上のように、走者がいない状況で行われる変則足上げ動作は、打者にも投手自身にも極めて限定的な影響しか与えないことが本調査により明らかになった。

最後に、本調査の限界も幾つか挙げておく。まず、打者および投手のいずれも大学野球選手であったことが挙げられる。小中学生の野球選手やプロ野球選手に本研究結果を適用できるとは限らず、結果の適用範囲は限定的であると考えべきである。今後、広範な対象者を調査することにより、本研究の結果を確実なものにする必要があるだろう。

次に、不慣れな投球動作で投球したことが挙げられる。普段行っていない動作で投球したことによって、何らかの影響を与えた可能性は否定できない。計測前にそれぞれの投げ方を練習したとはいえ、長い期間練習してきた普段の投球動作とその練習量には雲泥の差があることは確かである。その可能性を最小限にするために、二段モーションや静止モーションを行っている投手も採用したが、人数に限りがあった。

打撃においては、CG映像付きのバッティングマシーンを用いて実施したことが挙げられる。実際の投手では、一球一球全く同じ動作であることはありあえないし、バッティングマシーン特有の打つ易さ／打ち難さがあったかもしれない。このことが何らかの影響を与えたかもしれないが、課題条件間で同一であることから、この影響は限定的であると思われる。

このような結果の適用範囲や方法論上の限界が存在することを念頭に、本調査の結果を今後の野球界の発展のために活用していただきたい。