

2021 年度 3 月修了 修士論文

腰痛有無による打撃動作時の腰部・胸部挙動の比較

～股関節・胸部回旋可動域は打撃動作時の腰部回旋挙動に関連するか？～

Comparison of lumbar and thoracic behavior during baseball bat swing motion
depending on the presence or absence of low back pain

~Is the range of motion of hip / thoracic joint rotation related to the lumbar rotation behavior
during baseball bat swing motion? ~

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 スポーツ医科学研究領域

5020A051-2

土定 寛幸

研究指導教員：金岡 恒治 教授

目次

第 1 節 緒言	1
第 2 節 方法	3
2-1. 対象者	3
2-2. 実験手順.....	3
2-3. 赤外線反射マーカ貼付位置.....	5
2-4 股関節・胸部回旋可動域計測.....	5
2-5 打撃動作の期分け	7
2-6. 動作解析.....	8
2-6-1) 腰部・胸部挙動解析	8
2-6-2) 胸部回旋可動域解析	11
2-6-3) 股関節回旋可動域解析	11
2-7. 群分け条件（図 11）	12
2-7-1) 条件 1 腰痛の有無	12
2-7-2) 条件 2 股関節回旋可動域の大きさ	13
2-7-3) 条件 3 胸部回旋可動域の大きさ	14
2-8. 統計処理.....	15
第 3 節 結果	17

3-1. 腰部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）	17
3-1-1. 腰部屈曲・伸展角度.....	17
3-1-2. 腰部側屈角度.....	18
3-1-3. 腰部回旋角度.....	18
3-1-3'. 下位腰椎回旋挙動と上位腰椎回旋挙動	20
3-2. 胸部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）	24
3-2-1. 胸部屈曲・伸展角度.....	24
3-2-2. 胸部側屈角度.....	25
3-2-3. 胸部回旋角度.....	26
3-3. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（SHIR 群・LHIR 群）	27
3-3-1. 腰痛群・非腰痛群の投手側股関節内旋可動域比較	27
3-3-2. SHIR 群・LHIR 群の投手側股関節内旋可動域.....	27
3-3-3. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（SHIR 群・LHIR 群）	28
3-4. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（STR 群・LTR 群）	29
3-4-1. 腰痛群・非腰痛群の投手側への胸部回旋可動域比較	29
3-4-2. STR 群・LTR 群の投手側への胸部回旋可動域.....	29
3-4-3. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（STR 群・LTR 群）	30
第 4 節 考察	31

4-1. 腰部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）	31
4-2. 胸部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）	33
4-3. 投手側股関節内旋可動域の大小（SHIR 群・LHIR 群）によるフォロースルー期の腰部回旋角度比較	34
4-4. 投手側への胸部回旋可動域の大小（STR 群・LTR 群）によるフォロースルー期の腰部回旋角度比較	35
4-5. 本研究の限界	35
第 5 節 結論	36
参考文献.....	37
謝辞	39

第 1 節 緒言

野球選手は他競技の選手や一般人と比較して腰痛既往率¹⁾・腰椎椎間板変性率²⁾・腰椎分離症保有率が高い³⁾⁴⁾。また、野手は投手に比べて腰痛既往率が高く、最も多い腰痛誘発動作は打撃動作であることが報告されている⁵⁾。このように打撃動作は腰痛の原因となり得る。また、腰部に隣接する胸部の挙動は腰部挙動に影響を与え、腰痛の原因になり得ると考える。しかし、腰痛有無に着目した野球の打撃動作時の腰部挙動は報告されているものの⁶⁾⁷⁾少なく、腰部挙動に関与する胸部挙動に着目した研究に関してはこれまでにない。

腰椎分離症に着目すると、野球選手の腰椎分離症保有率は他競技に比べて高く、学生野球選手の 16.4%、プロ野球選手の 44.1%が腰椎分離症を保有したと報告されている³⁾。腰椎分離症の発生には腰椎伸展および回旋による椎間関節突起間部での圧縮応力の増加が関係し、特に回旋時は回旋方向と反対側の関節突起間部の圧縮応力が増加する⁸⁾。打撃動作時のフォロースルー期（ボールインパクト～動作終了まで）では、投手側への腰部回旋角度が増加し（右打者の場合、左回旋）、捕手側の関節突起間部に圧縮応力が生じることが考えられる。フォロースルー期の腰部回旋角度増加による繰り返しの負荷が、腰椎の椎間関節に微細なストレスを累積させ、腰椎分離症に繋がり得る。そのため、フォロースルー期において、投手側への腰部回旋角度を小さくすることが、腰椎分離症の予防のために重要である。打撃動作時の腰部回旋角度を小さくするために、腰部に隣接する股関節と胸部の回旋可動域が関係すると考える。投手側股関節内旋可動域・投手側への胸部回旋可動域の低下は、フォロースルー期での腰部回旋角度を増

加させ、腰部へのストレスを増加させる可能性がある。しかし、投手側股関節内旋可動域・投手側への胸部回旋可動域に着目して打撃動作時の腰部挙動を計測した研究はこれまでにない。

以上より、本研究の1つ目の目的は、腰痛の有無による打撃動作時の腰部・胸部挙動の違いを明らかにすることである。仮説として、腰痛を有する選手では、腰痛を有さない選手に比べて、大きな腰部回旋角度、小さな胸部回旋角度を示すと予想する。この比較によって、腰痛を有する選手の腰部・胸部挙動の特徴が明らかになり、腰痛予防のために必要とされる要因を特定する一助になる。また、本研究の2つ目の目的は、投手側股関節内旋可動域・投手側への胸部回旋可動域の大小による、打撃動作時のフォロースルー期の腰部回旋角度の違いを明らかにすることである。仮説として、投手側股関節内旋可動域・投手側への胸部回旋可動域が小さい選手は、フォロースルー期の投手側への腰部回旋角度が大きくなると予想する。この違いを明らかにすることで、打撃動作による椎間関節性腰痛および腰椎分離症を予防するために股関節回旋可動域・胸椎回旋可動域の重要性がエビデンスとして提唱できる。

第 2 節 方法

2-1. 対象者

対象者は大学準硬式野球部に所属する現役野球選手の野手 20 名とした。対象者募集時に、アンケートを用いて腰痛既往の有無を確認した。アンケートは、Google 社によるオンラインストレージサービス（Google ドライブ）内の Google フォームを使用して、Web 上に作成した。包含基準は、椎間板ヘルニアや腰椎分離症などの重篤な腰部障害既往がなく、現在打撃動作を行うことができる野手とした。その結果、腰椎分離症の既往歴のある 2 名を除いた 18 名の選手が対象者（平均年齢： 20 ± 1 歳、平均身長： 173.9 ± 5.8 cm、平均体重： 67.8 ± 3.5 kg、スイング速度： 106.7 ± 9.1 km/h）となった。対象者には、研究目的や実験内容を十分に説明し、書面にて実験参加の同意を得た。本研究は早稲田大学研究倫理委員会の承認（2020-408）を得た上で実施された。

2-2. 実験手順

実験手順を図 1 に示す。はじめに対象者へ直径 16mm の赤外線反射マーカー（QPM190、Qualysis AB）を貼付し、股関節の回旋可動域・胸部の回旋可動域を計測した。次に、対象者ごとに異なる腰部・胸部アライメントを標準化するために、解剖学的肢位での静止立位を 10 秒間計測した。そして、打撃動作の期分けで用いるインパクト位置を定義するためにマーカーを貼付したバットを対象者のインパクト位置で保持し、10 秒間計測した。その後、全力で打撃動作を行うために対象者各自でウォーミングアップを実施し、打撃動作として「素振り動

作」を3回実施した。素振り動作は、打撃練習として容易に実施でき野球選手の多くが実施している⁹⁾。また、実際にボールを打つことによる計測値への影響を排除するために、本研究では、打撃動作として素振り動作を課題試技とした。実験における全ての計測は、500Hzに設定した3次元動作解析装置（OQUS300plus、Qualysis社製）を用いた。

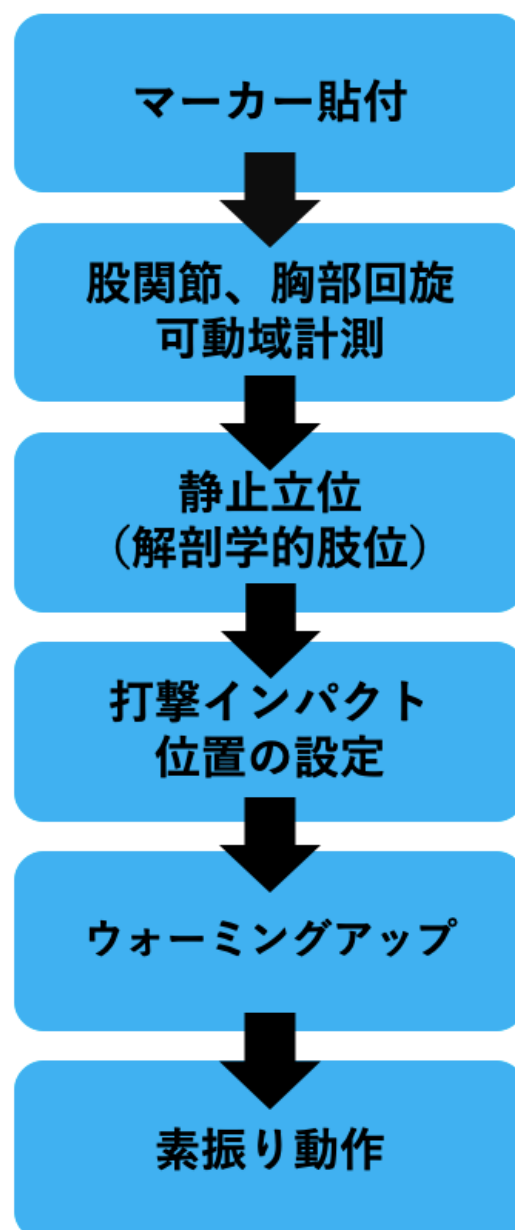


図1 実験手順

2-3. 赤外線反射マーカ貼付位置

対象者の全身および素振り動作に使用するバットへ赤外線反射マーカを貼付した（図2）。貼付位置は、肩峰・胸骨上切痕・剣状突起・第10肋骨・上前腸骨棘・上後腸骨棘・上腕骨内/外側上顆・前腕中央部・尺骨茎状突起・橈骨茎状突起・大転子・大腿骨内/外側上顆・腓骨頭・内/外果・第1・5中足骨頭・踵骨隆起・第7頸椎棘突起・第10胸椎棘突起・第1・2・6・8・11胸椎棘突起から両外側2cm・第1・5腰椎棘突起から両外側2cm・バットエンド・グリップエンドとした。また、股関節回旋可動域計測時のみ、脛骨粗面・足関節中心にマーカを追加で貼付した。

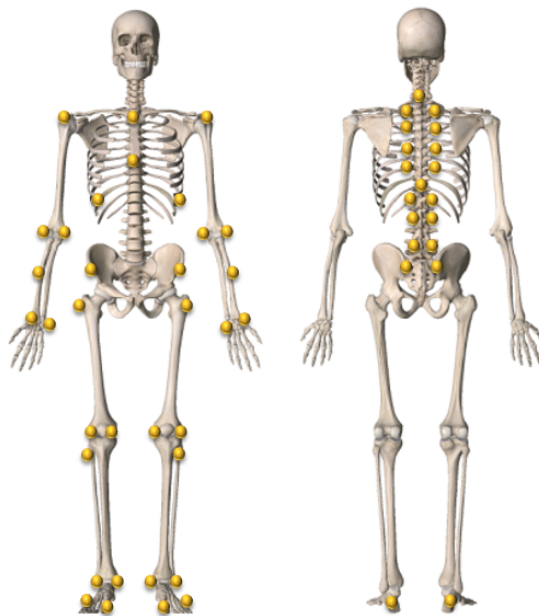


図2 赤外線反射マーカ貼付位置

2-4 股関節・胸部回旋可動域計測

股関節回旋可動域は、ベッド上で片側股関節・膝関節を90度屈曲させた背臥位（図3）および片側膝関節を90度屈曲させた腹臥位（図

4) で他動可動域を計測した。胸部回旋可動域は、長さ 2m の棒を肩に担いだ立位で自動可動域を計測した (図 5)。

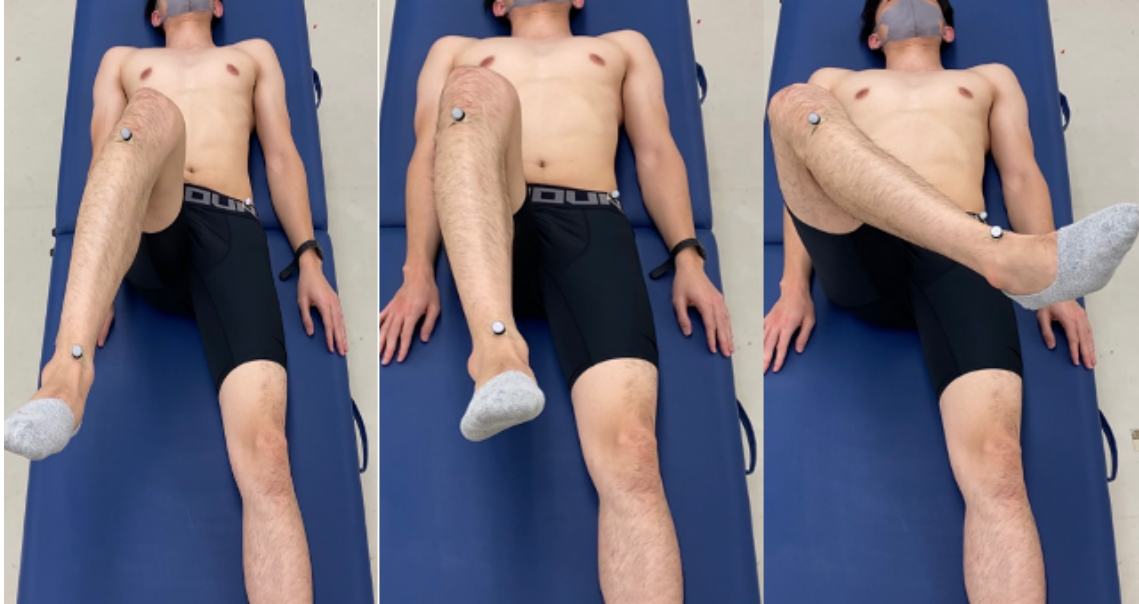


図 3 背臥位股関節回旋可動域計測



図 4 腹臥位股関節回旋可動域計測

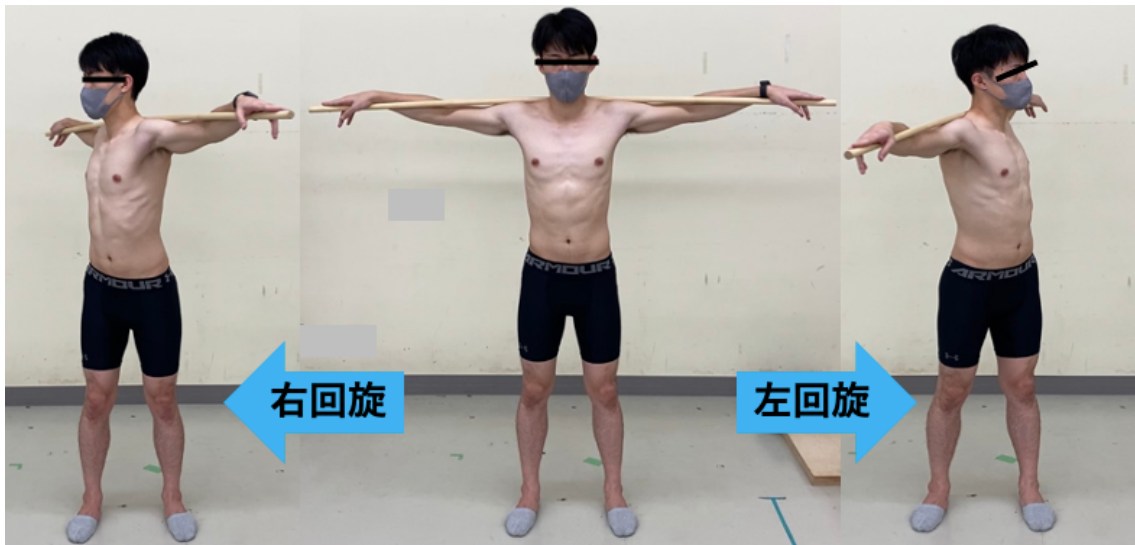


図 5 胸部回旋可動域計測

2-5 打撃動作の期分け

打撃動作は、投手側の爪先離地から、投手側第1中足骨頭のマーカ―が垂直方向最高点に到達するまでを「準備期」、準備期の終わりから、投手側の足が接地するまでを「スイング前期」、スイング前期の終わりから仮定したボールインパクト位置にバットが到達するまでを「スイング後期」、スイング後期の終わりから、スイング終了までを「フォロースルー期」とし、4期に分けた（図6）。

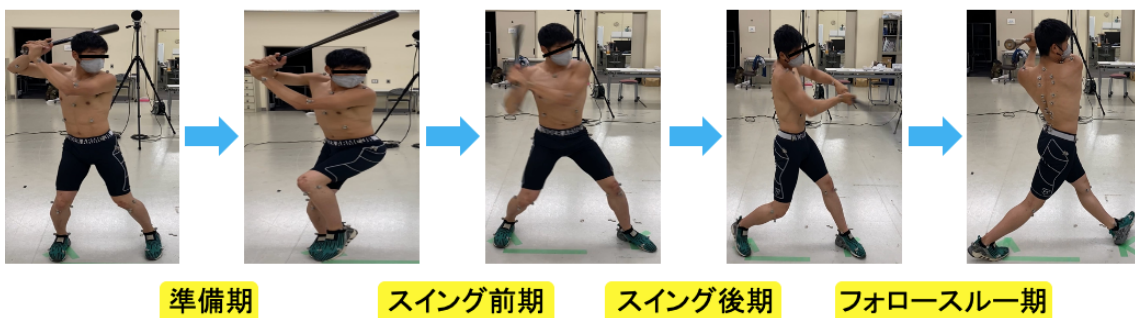


図 6 打撃動作期分け

2-6. 動作解析

2-6-1) 腰部・胸部挙動解析

打撃動作解析のために、全身を剛体リンクモデルと仮定し、各セグメントに座標系を定義した。本研究では、下位腰椎（図 7）・上位腰椎（図 8）・胸椎（図 9）に座標系を定義した。各座標の定義方法は以下の通りである。

・ 下位腰椎ローカル座標系

原点：両 PSIS の中点と L5 両側の中点を結んだ線分の中点

X 軸：左 PSIS から右 PSIS へ向かうベクトル

Y 軸：X 軸と原点から L5 両側の中点に向かうベクトルの外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

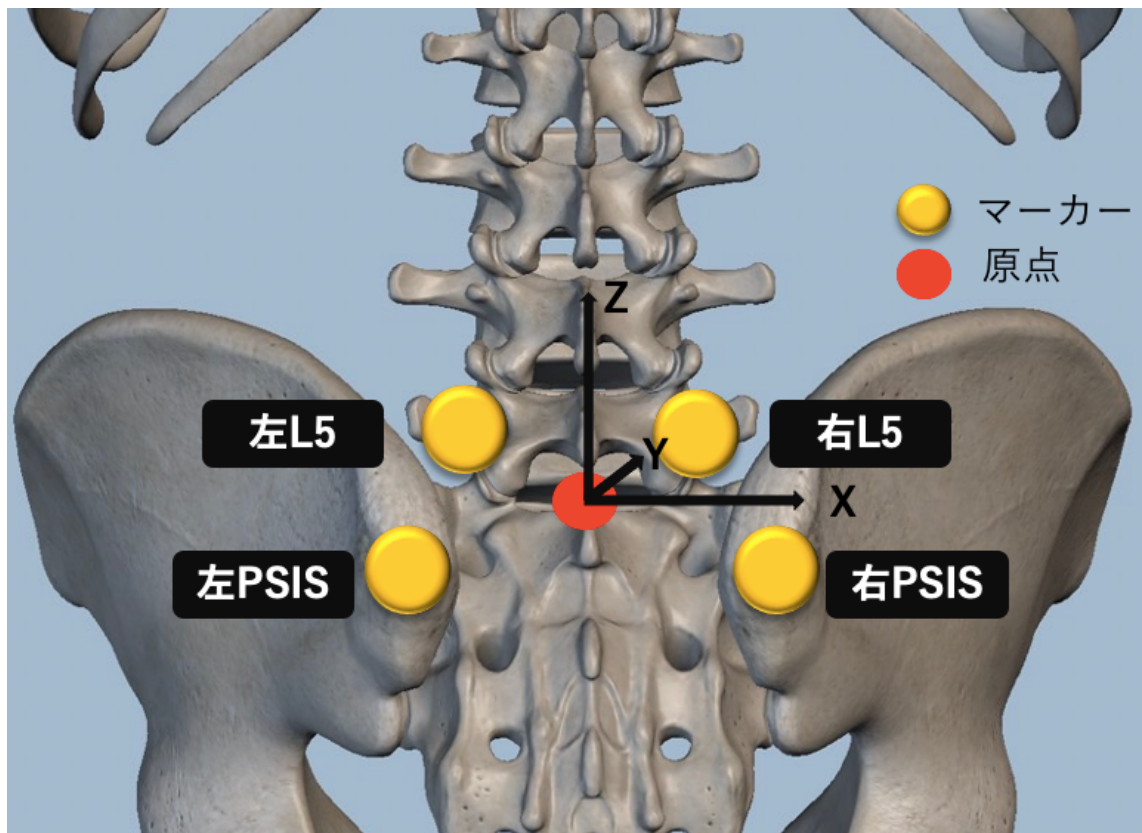


図 7 下位腰椎ローカル座標系

・ 上位腰椎ローカル座標系

原点：Th11 両側の中点と L1 両側の中点を結んだ線分の中点

X 軸：左 L1 から右 L1 へ向かうベクトル

Y 軸：X 軸と原点から Th11 両側の中点に向かうベクトルの外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

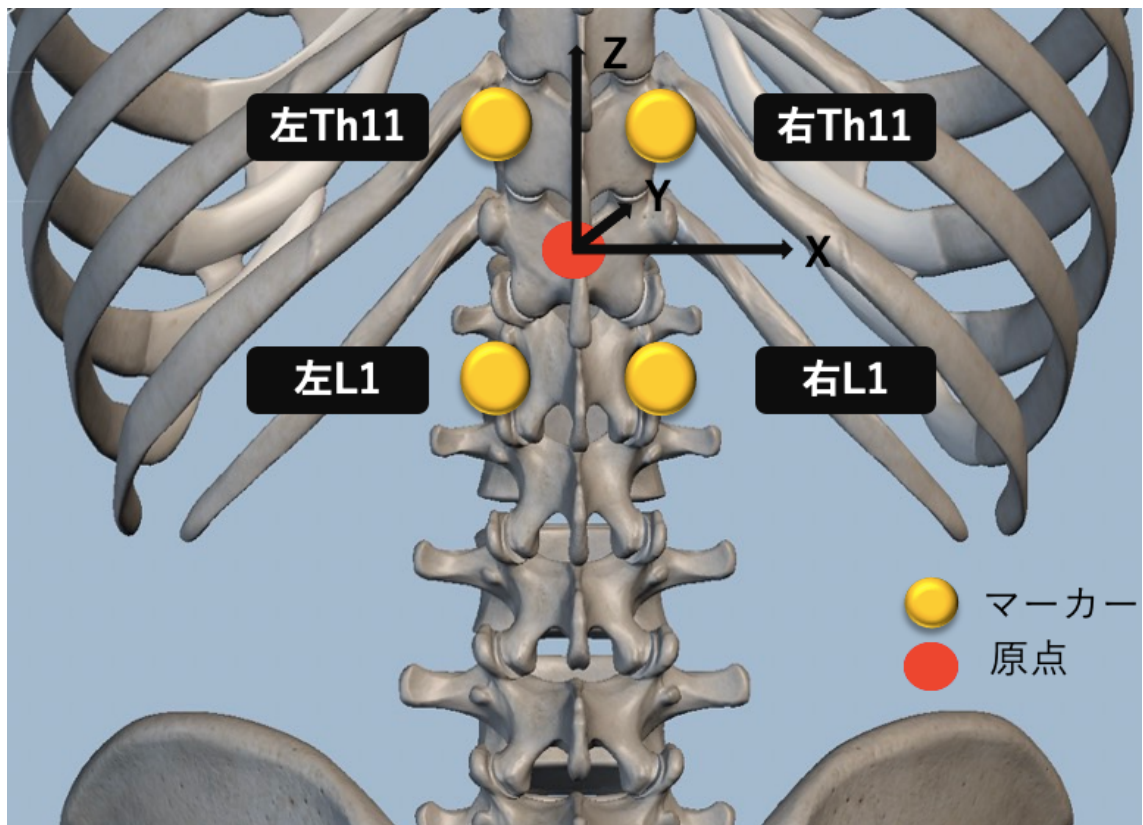


図 8 上位腰椎ローカル座標系

・ 胸椎ローカル座標系

原点：Th1 両側の中点と Th2 両側の中点を結んだ線分の中点

X 軸：左 Th2 から右 Th2 へ向かうベクトル

Y 軸：X 軸と原点から Th1 両側の中点に向かうベクトルの外積

Z 軸：X 軸と Y 軸の外積

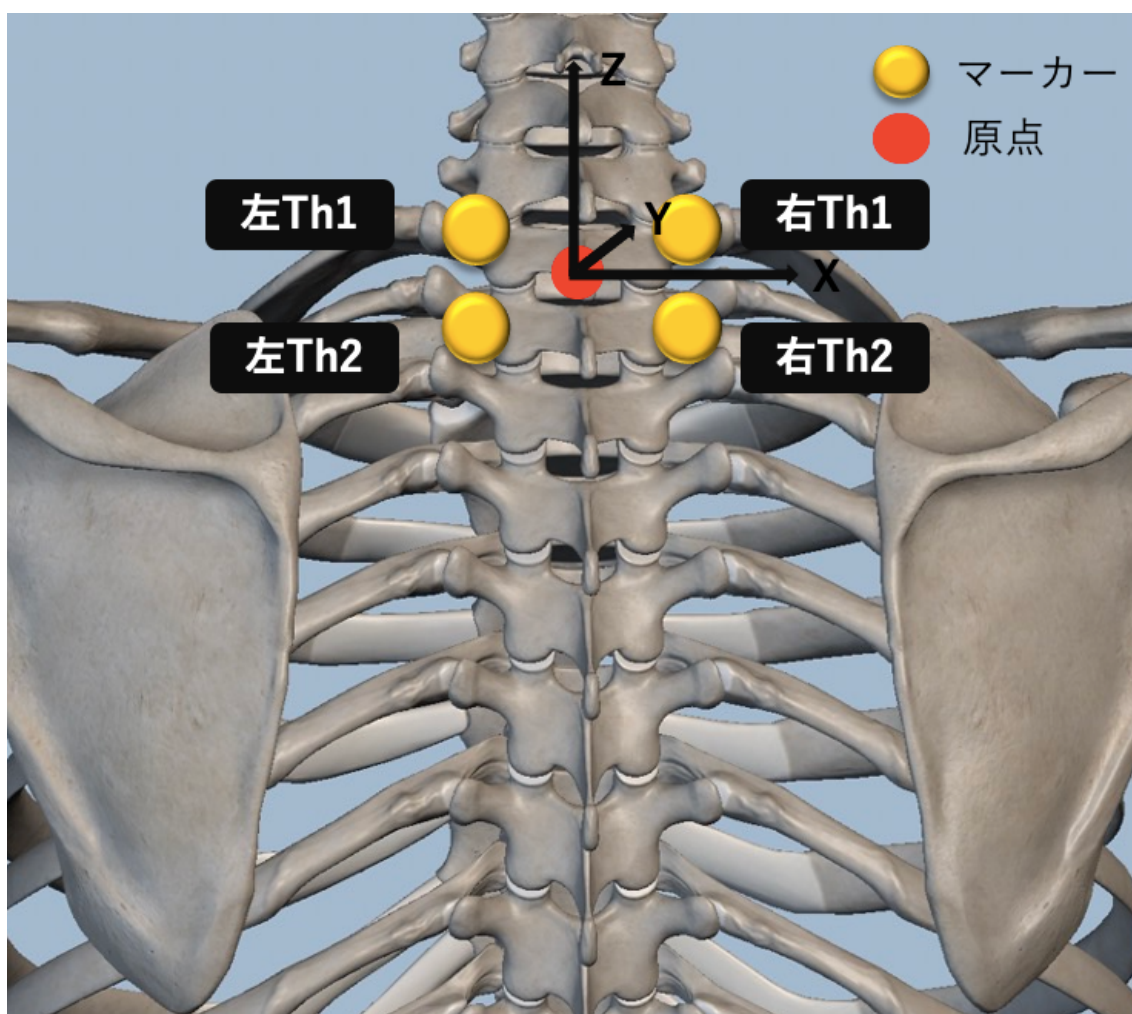


図 9 胸椎ローカル座標系

角度の算出は Matlab (Matlab R2021a、MathWorks 社製) を用いた。各マーカーの座標データを第 4 次 Butterworth 型のローパスフィルター (カットオフ値=12Hz) にて平滑化を行い、腰部・胸部における角度算出を行った。腰部・胸部の角度は下位の座標系に対する、上位の座標系の相対位置を X 軸、Y 軸、Z 軸の順で回転させ、カルダン角で算出した。腰部角度は、下位腰椎ローカル座標系に対する上位腰椎ローカル座標系の角度、胸部角度は、上位腰椎ローカル座標系に対する胸椎ローカル座標系の角度とした。腰部・胸部共に X 軸回りの回

転は屈曲・伸展、Y 軸回りの回転は側屈、Z 軸回りの回転は回旋を示す。

算出した打撃動作時の腰部・胸部挙動を静止立位時の腰部・胸部アライメントで減じることで、各対象者の腰部・胸部挙動を標準化した。その後、各期の腰部・胸部挙動データ数が対象者によって異なるため、各期で 100 個ごとのデータに変換した。さらに各期で 100 個あるデータを 4 等分し、各期において①～④で示した⁷⁾。本研究において、打撃動作 3 回における腰部・胸部挙動の平均値を各対象者の代表値として用いた。また、算出した左打者の側屈・回旋角度データの正負を入れ替えることで、全ての結果を右打者として表した。

2-6-2) 胸部回旋可動域解析

胸部回旋可動域は、打撃動作解析時の胸部挙動と同様に、上位腰椎ローカル座標系に対する、胸椎ローカル座標系の角度として Matlab にて算出した。

2-6-3) 股関節回旋可動域解析

股関節回旋可動域は、背臥位時は左右 ASIS のマーカー、腹臥位時は左右 PSIS のマーカーを結んだ線と脛骨粗面および足関節中心のマーカーを結んだ線とのなす角（図 10）を算出し、算出した値から 90 度減じた。



図 10 股関節回旋可動域計測時の基本軸および移動軸

2-7. 群分け条件 (図 11)

2-7-1) 条件 1 腰痛の有無

対象となった 18 名の選手のうち、打撃動作時の①腰部挙動・②胸部挙動を腰痛の有無で比較するため、部での練習時に打撃動作時に腰痛があった選手 8 名を腰痛群 (平均年齢: 19 ± 1 歳、平均身長: 176.7 ± 6.6 cm、平均体重: 69.2 ± 3.6 kg、スイング速度: 107.2 ± 9.4 km/h)、腰痛が無かった選手 10 名を非腰痛群 (平均年齢: 20 ± 1 歳、平均身長: 171.6 ± 3.6 cm、平均体重: 66.6 ± 3.0 kg、スイング速度: 106.3 ± 8.8 km/h) とし、2 群に分けた (表 1)。また腰痛群の病態は、腰痛発症部位や腰痛誘発動作より屈曲型腰痛 1 名・伸展型腰痛 5 名・判別不能が 2 名であった。その中でも伸展型腰痛者 5 名の腰痛誘発動作は伸展・右後方伸展・左後方伸展であり、腰痛群 8 名中 4 名が椎間関節性腰痛疑いの所見であった。なお実験時には、腰痛群の腰痛が発症しな

かったことを確認している。

表 1 腰痛群・非腰痛群の基本情報・身体特性

	腰痛群	非腰痛群	p値
年齢	19±1歳	20±1歳	0.264
身長	176.7±6.6cm	171.6±3.6cm	0.066
体重	69.2±3.6kg	66.6±3.0kg	0.133
スイング速度	107.2±9.4km/h	106.3±8.8km/h	0.842

2-7-2) 条件 2 股関節回旋可動域の大きさ

投手側股関節内旋可動域が打撃動作時のフォロースルー期での腰部回旋挙動にどのように影響するかを明らかにするため、18名の対象者のうち投手側背臥位股関節内旋可動域が小さかった下位9名をSHIR (small hip internal rotation) 群 (平均年齢: 19±1歳、平均身長: 173.0±3.4cm、平均体重: 67.0±2.9kg、スイング速度: 110.1±7.6km/h)、大きかった上位9名をLHIR (large hip internal rotation) 群 (平均年齢: 20±1歳、平均身長: 174.7±7.3cm、平均体重: 68.5±3.9kg、スイング速度: 103.3±8.8km/h) とし、2群に分けた (表 2)。同様に18名の対象者のうち投手側腹臥位股関節内旋可動域が小さかった下位9名をSHIR群 (平均年齢: 20±1歳、平均身長: 173.3±4.3cm、平均体重: 65.8±2.9kg、スイング速度: 107.0±10.2km/h)、大きかった上位9名をLHIR群 (平均年齢: 20±1歳、平均身長: 174.4±6.9cm、平均体重: 69.7±2.8kg、スイング速度: 106.4±8.0km/h) とし、2群に分けた (表 3)。

表 2 SHIR 群・LHIR 群の基本情報・身体特性（背臥位）

	SHIR群	LHIR群	p値
年齢	19±1歳	20±1歳	0.339
身長	173.0±3.4cm	174.7±7.3cm	0.557
体重	67.0±2.9kg	68.5±3.9kg	0.393
スイング速度	110.1±7.6km/h	103.3±8.8km/h	0.123

表 3 SHIR 群・LHIR 群の基本情報・身体特性（腹臥位）

	SHIR群	LHIR群	p値
年齢	20±1歳	20±1歳	0.850
身長	173.3±4.3cm	174.4±6.9cm	0.721
体重	65.8±2.9kg	69.7±2.8kg	0.015
スイング速度	107.0±10.2km/h	106.4±8.0km/h	0.899

2-7-3) 条件 3 胸部回旋可動域の大きさ

投手側への胸部回旋可動域が打撃動作時のフォロースルー期での腰部回旋挙動にどのように影響するかを明らかにするため、18名の対象者のうち投手側への胸部回旋可動域が小さかった下位9名をSTR

(small thoracic rotation) 群（平均年齢：20±1歳、平均身長：175.9±7.0cm、平均体重：68.6±3.8kg、スイング速度：103.8±8.8km/h）、大きかった上位9名をLTR (large thoracic rotation) 群（平均年齢：19±1歳、平均身長：171.8±3.1cm、平均体重：66.9±2.9kg、スイング速度：109.6±7.9km/h）とし、2群に分けた（表4）。

表 4 STR 群・LTR 群の基本情報・身体特性

	STR群	LTR群	p値
年齢	20±1歳	19±1歳	0.570
身長	175.9±7.0cm	171.8±3.1cm	0.151
体重	68.6±3.8kg	66.9±2.9kg	0.325
スイング速度	103.8±8.8km/h	109.6±7.9km/h	0.192

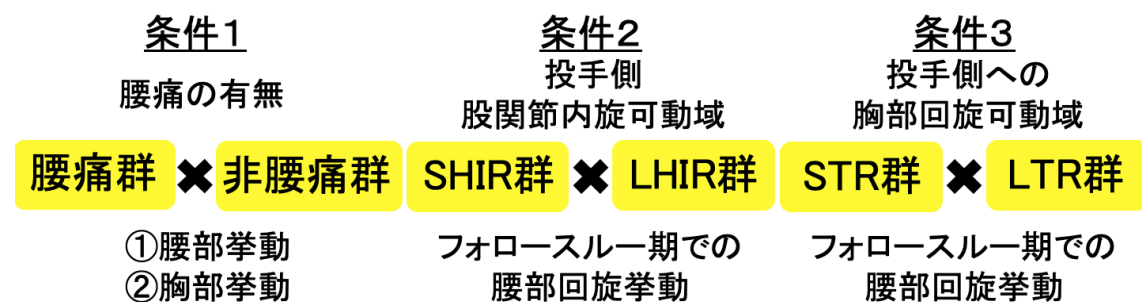


図 11 群分け条件

2-8. 統計処理

統計処理には SPSS Statistics27.0 (IBM 社製) を使用した。2-7 で示した 3 条件によって、条件 1 では腰部・胸部挙動を腰痛有無で比較するために腰痛有無および期の 2 要因とする 2 元配置分散分析を行った。事後検定はボンフェローニ法を用い、有意水準は 5%とした。条件 2 ではフォロースルー期での腰部回旋挙動を投手側股関節内旋可動域の大小で比較するために、SHIR 群と LHIR 群を対応のない t 検定で比較した。また、投手側股関節内旋可動域を腰痛群と非腰痛群で比較するために、腰痛群と非腰痛群を対応のない t 検定で比較した。条件 3 ではフォロースルー期での腰部回旋挙動を投手側への胸部回旋可動

域の大小で比較するために、STR 群と LTR 群を対応のない t 検定で比較した。また、投手側への胸部回旋可動域を腰痛群と非腰痛群で比較するために、腰痛群と非腰痛群を対応のない t 検定で比較した。有意水準は 5%とした。検定の効果量として Partial η^2 (小:0.01-, 中:0.06-, 大:0.14-) とコーエンの d 値 (小:0.20-, 中:0.50-, 大:0.80-) を算出した。

第 3 節 結果

3-1. 腰部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）

3-1-1. 腰部屈曲・伸展角度

腰痛の有無による腰部屈曲・伸展角度を比較したところ、有意な交互作用（ $P=0.169$, $F_{(15,510)}=1.827$, Partial $\eta^2=0.103$ ）および腰痛有無による主効果（ $P=0.713$, $F_{(1,34)}=0.140$, Partial $\eta^2=0.009$ ）を認めず、両群間に有意な差を認めなかった（図 12）。

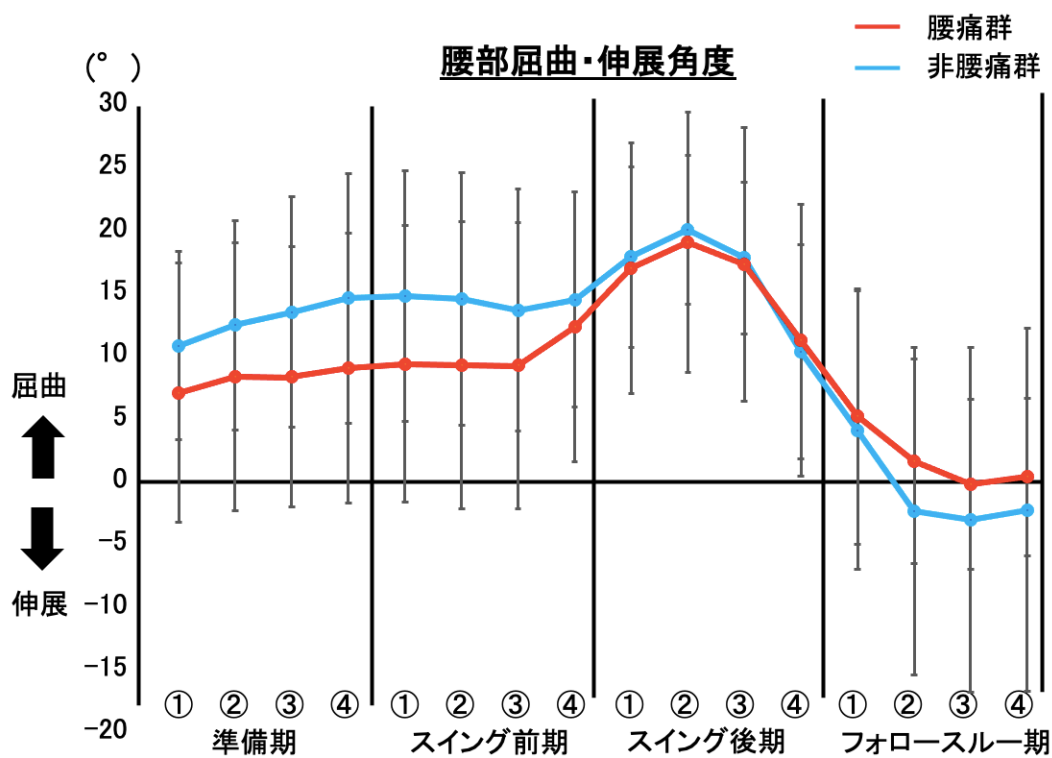


図 12 腰痛群・非腰痛群の腰部屈曲・伸展角度の比較

3-1-2. 腰部側屈角度

腰痛の有無による腰部側屈角度を比較したところ、有意な交互作用 ($P=0.537$, $F_{(15,510)}=0.686$, Partial $\eta^2=0.041$) および腰痛有無による主効果 ($P=0.599$, $F_{(1,34)}=0.288$, Partial $\eta^2=0.018$) を認めず、両群間に有意な差を認めなかった (図 13)。

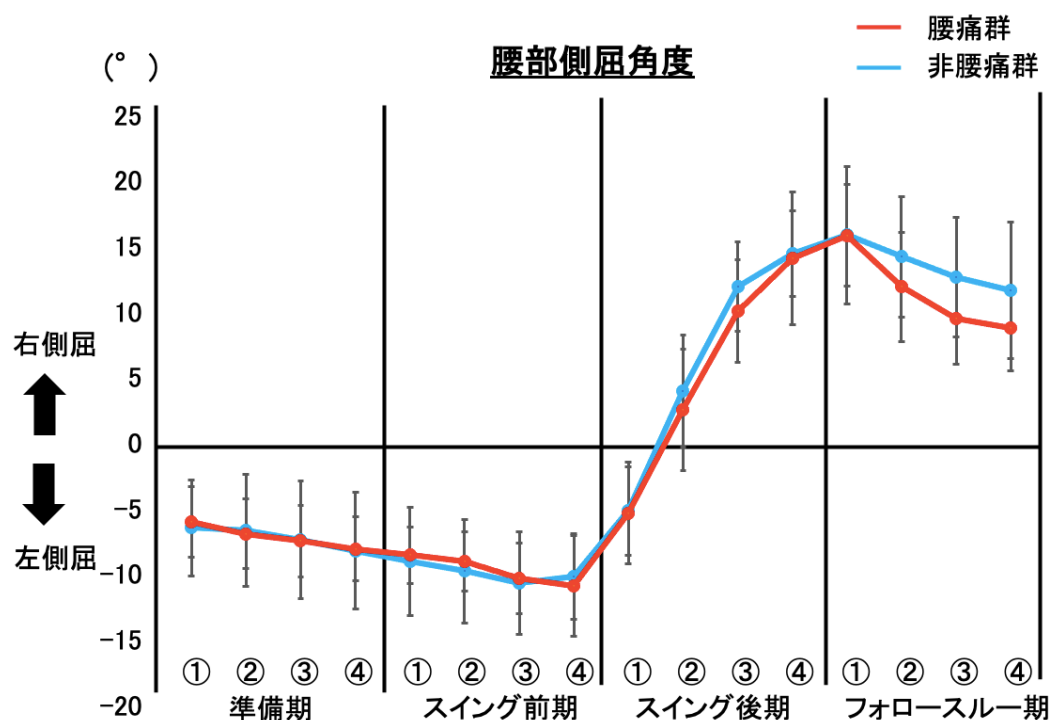


図 13 腰痛群・非腰痛群の腰部側屈角度の比較

3-1-3. 腰部回旋角度

腰痛の有無による腰部回旋角度を比較したところ、腰痛有無と期に関する有意な交互作用 ($P=0.016$, $F_{(15,510)}=2.939$, Partial $\eta^2=0.155$) を認めたため、各要因の単純主効果を検討し、スイング前期の③ ($P=0.036$, コーエンの $d=1.150$)・④ ($P=0.026$, コーエンの $d=1.231$) で腰痛有無に関する有意な単純主効果を認めた (図 14, 表 5)。スイング前期③・④において腰痛群は非腰痛群に比べて、有意

に大きな右回旋角度を示した。また有意な差を認めなかったものの、スイング前期②のコーエンの d 値は 0.8 を超え（表 5）、スイング前期②（ $P=0.103$ ，コーエンの $d=0.867$ ）において腰痛群は非腰痛群に比べて、大きな右回旋角度を示す傾向があった。同様に有意な差を認めなかったが、フォロースルー期③・④のコーエンの d 値は 0.8 を超え（表 5）、フォロースルー期③（ $P=0.093$ ，コーエンの $d=0.895$ ）・④（ $P=0.061$ ，コーエンの $d=1.008$ ）において腰痛群は非腰痛群に比べて、大きな左回旋角度を示す傾向があった。

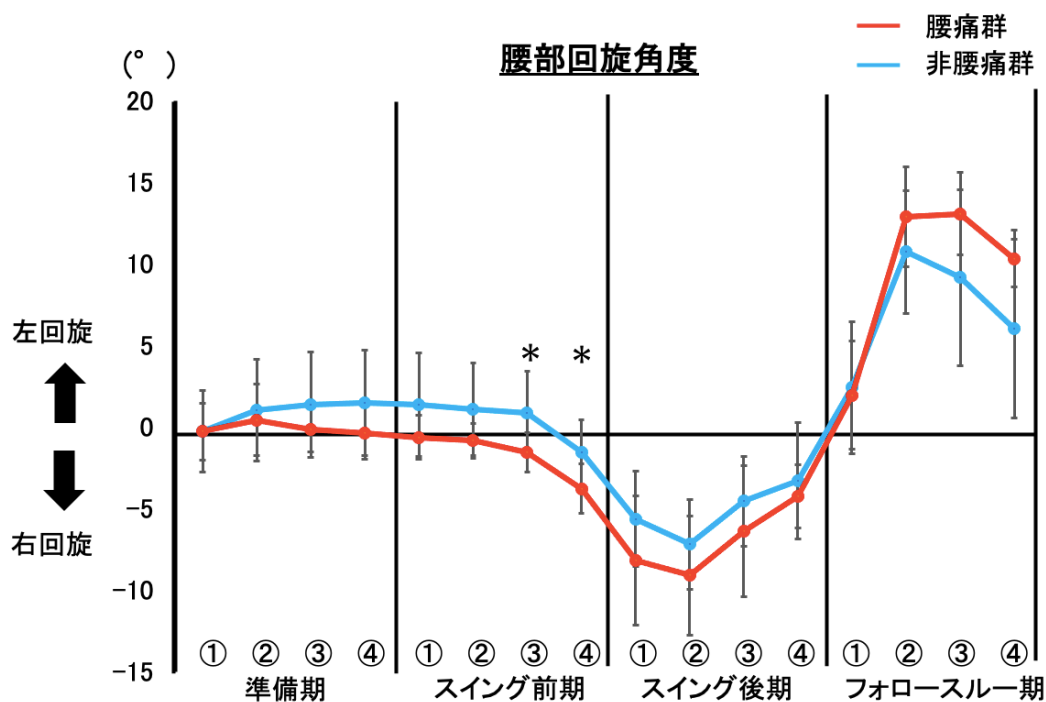


図 14 腰痛群・非腰痛群の腰部回旋角度の比較

表 5 各フェーズにおける腰部回旋角度の P 値・コーエンの d 値

	P値	コーエンのd値
準備期①	0.993	0.004
準備期②	0.673	0.216
準備期③	0.265	0.579
準備期④	0.182	0.699
スイング前期①	0.132	0.794
スイング前期②	0.103	0.867
スイング前期③	0.036	1.150
スイング前期④	0.026	1.231
スイング後期①	0.156	0.751
スイング後期②	0.250	0.602
スイング後期③	0.292	0.549
スイング後期④	0.525	0.326
フォロースルー期①	0.808	0.124
フォロースルー期②	0.237	0.617
フォロースルー期③	0.093	0.895
フォロースルー期④	0.061	1.008

3-1-3'. 下位腰椎回旋挙動と上位腰椎回旋挙動

腰部回旋角度の結果より、腰痛群と非腰痛群でスイング前期②・③・④、フォロースルー期③・④で回旋角度に差もしくは差を認める傾向があった。それらのフェーズにおけるグローバル座標系を基準とした下位腰椎ローカル座標系と上位腰椎ローカル座標系の回旋角度をそれぞれ算出し、腰痛群・非腰痛群で対応のない t 検定を用いて比較した。動作開始時の角度の値を各フェーズの角度から減ずることで、打撃動作時の下位腰椎ローカル座標系・上位腰椎ローカル座標系の角度とした。

その結果、下位腰椎に関して、腰痛群（スイング前期②： $-18.3 \pm 8.8^\circ$ ・③： $-20.1 \pm 8.6^\circ$ ・④： $-17.6 \pm 7.8^\circ$ 、フォロースルー期③： $115.5 \pm 8.0^\circ$ ・④： $119.5 \pm 8.7^\circ$ ）と非腰痛群（スイング前期②： $-17.2 \pm 6.7^\circ$ ・③： $-20.0 \pm 6.9^\circ$ ・④： $-17.5 \pm 8.2^\circ$ 、フォロースルー期③： $112.3 \pm 11.4^\circ$ ・④： $117.0 \pm 11.7^\circ$ ）で両群間に有意な差を認めなかった（図 15,16）。また、上位腰椎に関して、腰痛群（スイング前期②： $-17.5 \pm 8.4^\circ$ ・③： $-19.9 \pm 8.4^\circ$ ・④： $-18.9 \pm 8.5^\circ$ 、フォロースルー期③： $135.9 \pm 9.9^\circ$ ・④： $136.7 \pm 9.7^\circ$ ）と非腰痛群（スイング前期②： $-14.3 \pm 5.7^\circ$ ・③： $-17.4 \pm 5.4^\circ$ ・④： $-17.3 \pm 6.9^\circ$ 、フォロースルー期③： $131.3 \pm 13.3^\circ$ ・④： $132.3 \pm 13.1^\circ$ ）で両群間に有意な差を認めなかった（図 17,18）。

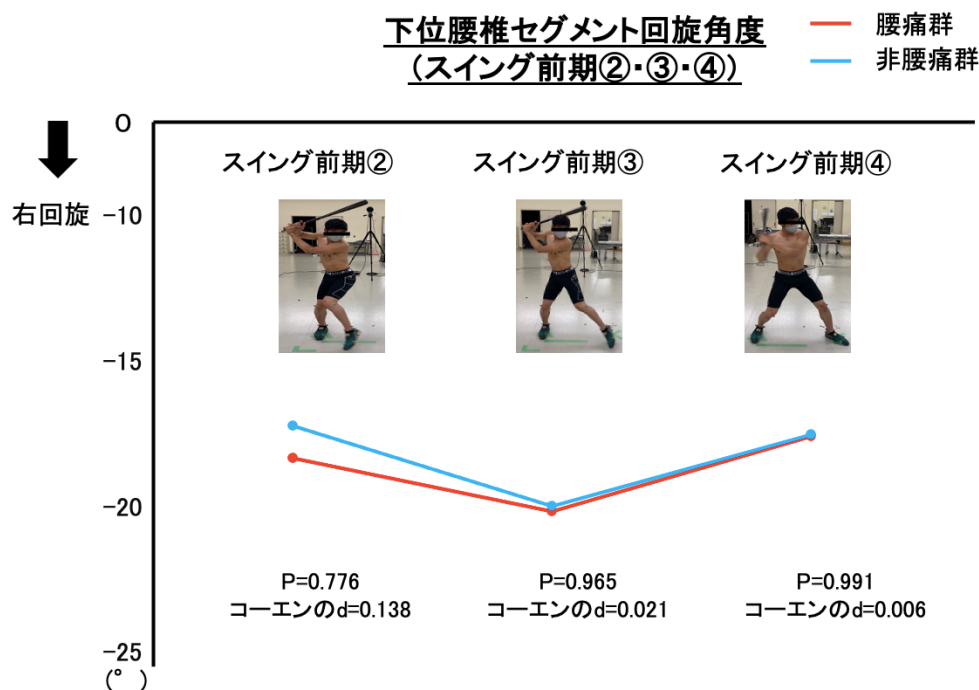


図 15 スイング前期②・③・④における腰痛群・非腰痛群の下位腰椎セグメント回旋角度の比較
0° は動作開始時の回旋角度を示す

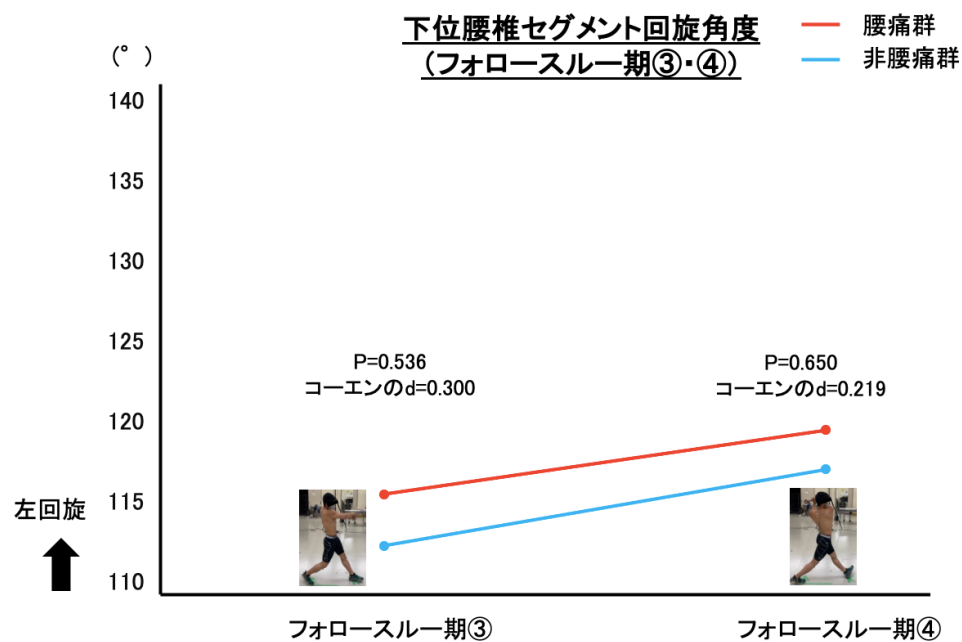


図 16 フォロースルー期③・④における腰痛群・非腰痛群の下位腰椎セグメント回旋角度の比較

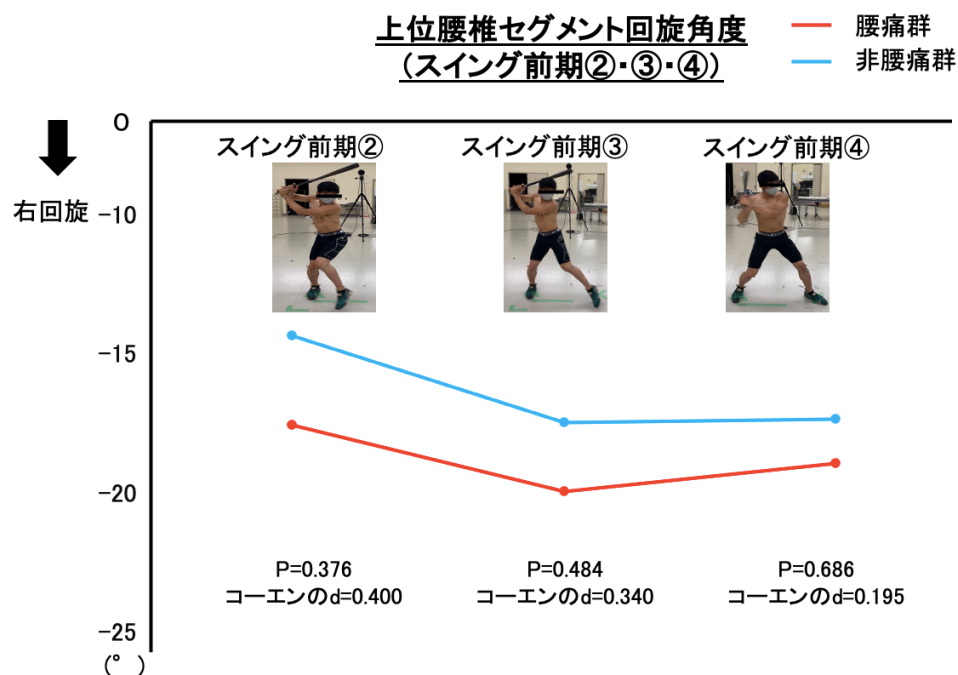


図 17 スイング前期②・③・④における腰痛群・非腰痛群の上位腰椎セグメント回旋角度の比較
0° は動作開始時の回旋角度を示す

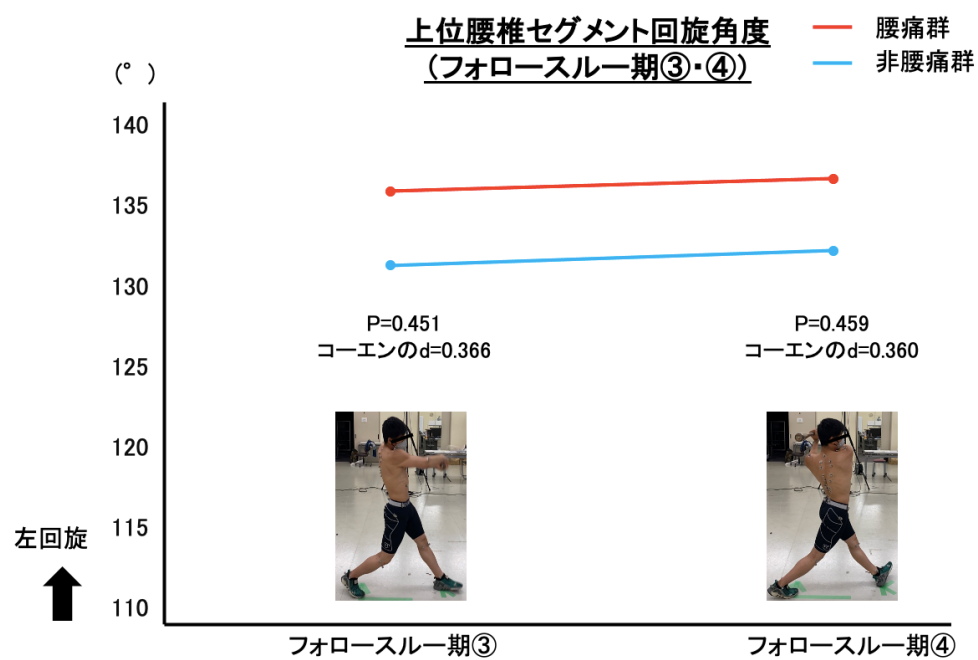


図 18 フォロースルー期③・④における腰痛群・非腰痛群の
上位腰椎セグメント回旋角度の比較

3-2. 胸部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）

3-2-1. 胸部屈曲・伸展角度

腰痛の有無による胸部屈曲・伸展角度を比較したところ、有意な交互作用（ $P=0.389$, $F_{(15,510)}=1.008$, $\text{Partial } \eta^2=0.059$ ）、および腰痛有無による主効果（ $P=0.555$, $F_{(1,34)}=0.364$, $\text{Partial } \eta^2=0.022$ ）を認めず、両群間に有意な差を認めなかった（図 19）。

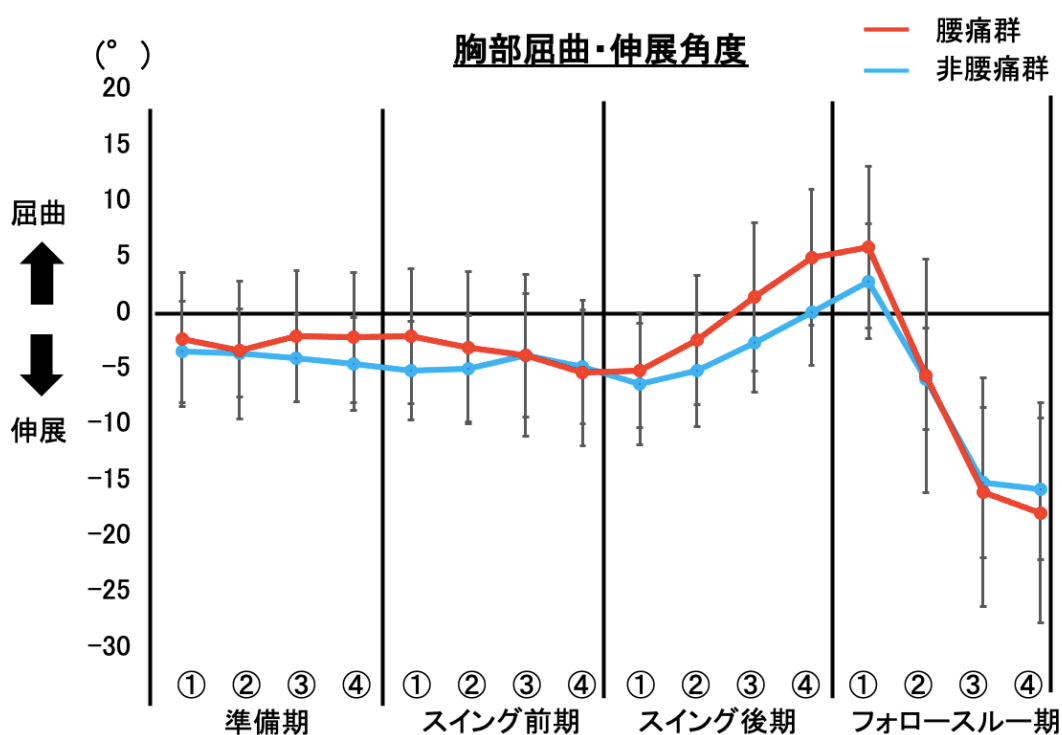


図 19 腰痛群・非腰痛群の胸部屈曲・伸展角度の比較

3-2-2. 胸部側屈角度

腰痛の有無による胸部側屈角度を比較したところ、有意な交互作用 ($P=0.517$, $F_{(15,510)}=0.790$, Partial $\eta^2=0.047$) および腰痛有無による主効果 ($P=0.226$, $F_{(1,34)}=1.583$, Partial $\eta^2=0.090$) を認めず、両群間に有意な差を認めなかった (図 20)。

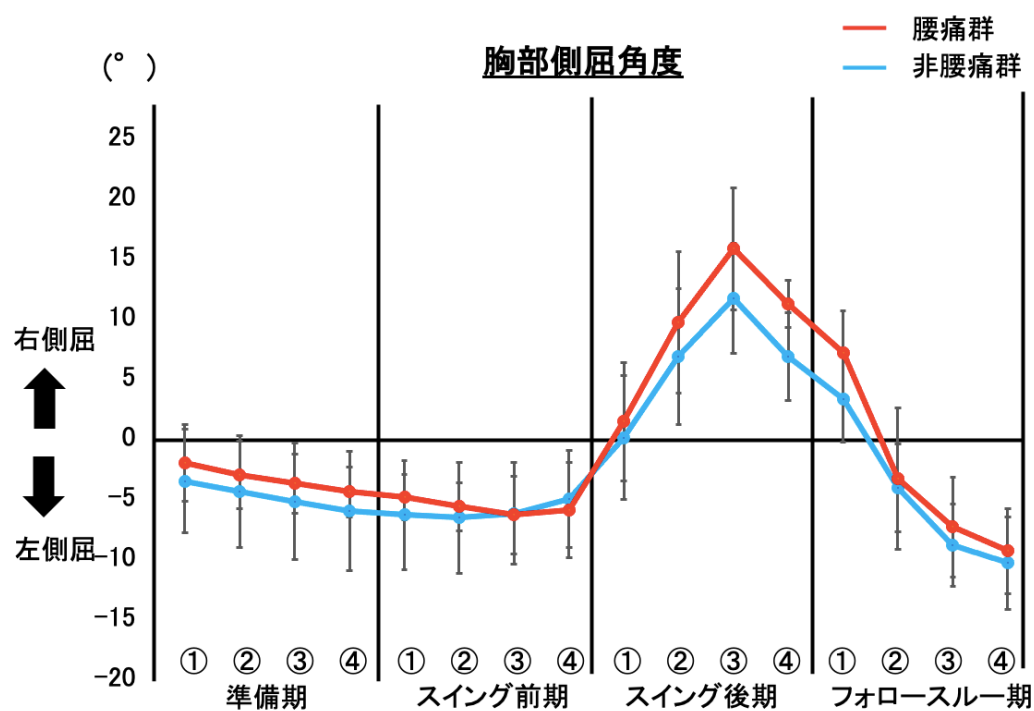


図 20 腰痛群・非腰痛群の胸部側屈角度の比較

3-2-3. 胸部回旋角度

腰痛の有無による胸部回旋角度を比較したところ、有意な交互作用 ($P=0.842$, $F_{(15,510)}=0.266$, Partial $\eta^2=0.016$)、および腰痛有無による主効果 ($P=0.693$, $F_{(1,34)}=0.162$, Partial $\eta^2=0.010$) を認めず、両群間に有意な差を認めなかった (図 21)。

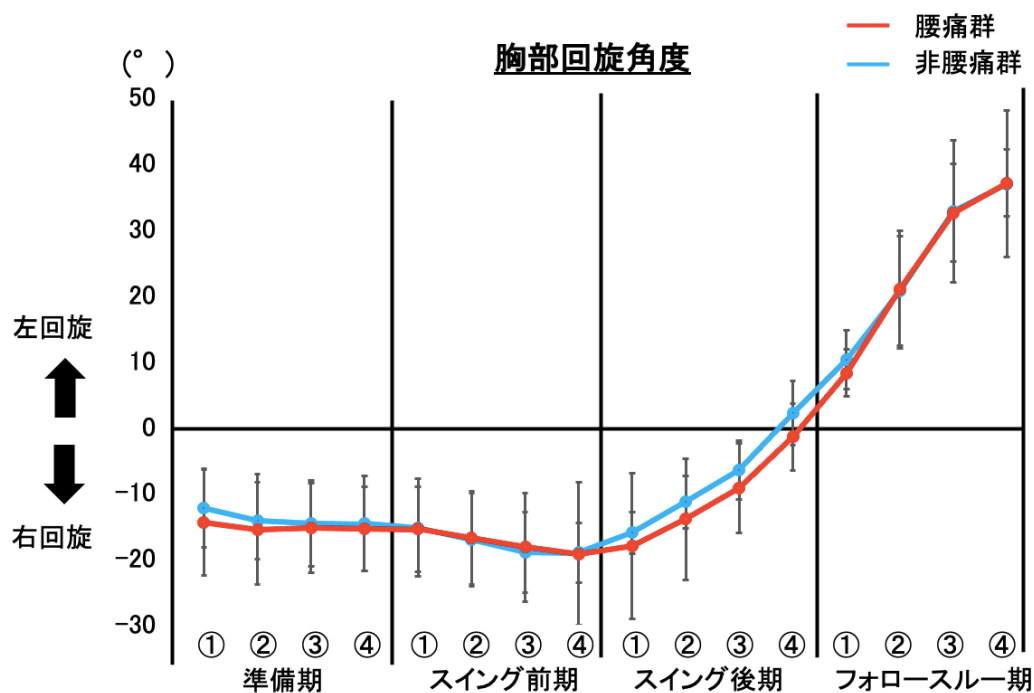


図 21 腰痛群・非腰痛群の胸部回旋角度の比較

3-3. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（SHIR 群・LHIR 群）

3-3-1. 腰痛群・非腰痛群の投手側股関節内旋可動域比較

背臥位投手側股関節内旋可動域を腰痛群（ $33.5 \pm 5.5^\circ$ ）と非腰痛群（ $32.4 \pm 12.9^\circ$ ）で比較したところ、両群間に有意な差を認めなかった（ $P=0.827$ ，コーエンの $d=0.098$ ）。同様に、腹臥位投手側股関節内旋可動域を腰痛群（ $42.9 \pm 7.1^\circ$ ）と非腰痛群（ $40.1 \pm 13.3^\circ$ ）で比較したところ、両群間に有意な差を認めなかった（ $P=0.598$ ，コーエンの $d=0.240$ ）（表 6）。

表 6 腰痛群・非腰痛群の投手側股関節内旋可動域比較

	腰痛群	非腰痛群	P値	コーエンのd値
背臥位股関節内旋可動域	$33.5 \pm 5.5^\circ$	$32.4 \pm 12.9^\circ$	0.827	0.098
腹臥位股関節内旋可動域	$42.9 \pm 7.1^\circ$	$40.1 \pm 13.3^\circ$	0.598	0.240

3-3-2. SHIR 群・LHIR 群の投手側股関節内旋可動域

背臥位投手側股関節内旋可動域を SHIR 群（ $25.8 \pm 5.4^\circ$ ）と LHIR 群（ $40.0 \pm 9.7^\circ$ ）で比較したところ、LHIR 群は、SHIR 群に比べて有意に大きな股関節内旋可動域を示した（ $P=0.002$ ，コーエンの $d=1.814$ ）。同様に、腹臥位投手側股関節内旋可動域を SHIR 群（ $32.6 \pm 5.7^\circ$ ）と LHIR 群（ $50.0 \pm 8.5^\circ$ ）で比較したところ、LHIR 群は、SHIR 群に比べて有意に大きな股関節内旋可動域を示した（ $P=0.001$ ，コーエンの $d=2.416$ ）（表 7）。

表 7 SHIR 群・LHIR 群の投手側股関節内旋可動域比較

	SHIR群	LHIR群	P値	コーエンのd値
背臥位股関節内旋可動域	$25.8 \pm 5.4^\circ$	$40.0 \pm 9.7^\circ$	0.002	1.814
腹臥位股関節内旋可動域	$32.6 \pm 5.7^\circ$	$50.0 \pm 8.5^\circ$	0.001	2.416

3-3-3. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（SHIR 群・LHIR 群）

背臥位 SHIR 群（フォロースルー期①： $1.2 \pm 3.9^\circ$ ・ ②： $13.1 \pm 3.1^\circ$ ・ ③： $11.9 \pm 4.4^\circ$ ・ ④： $8.0 \pm 4.2^\circ$ ）と LHIR 群（フォロースルー期①： $3.3 \pm 3.2^\circ$ ・ ②： $10.1 \pm 3.5^\circ$ ・ ③： $10.0 \pm 5.0^\circ$ ・ ④： $7.9 \pm 5.3^\circ$ ）、腹臥位 SHIR 群（フォロースルー期①： $3.1 \pm 3.8^\circ$ ・ ②： $12.5 \pm 3.6^\circ$ ・ ③： $11.9 \pm 3.5^\circ$ ・ ④： $8.8 \pm 4.2^\circ$ ）と LHIR 群（フォロースルー期①： $1.4 \pm 3.5^\circ$ ・ ②： $10.9 \pm 3.4^\circ$ ・ ③： $9.9 \pm 5.6^\circ$ ・ ④： $7.1 \pm 5.1^\circ$ ）でフォロースルー期の腰部回旋角度を比較したところ、背臥位股関節内旋可動域での群分け、腹臥位股関節内旋可動域での群分け共に、両群間に有意な差を認めなかった（図 22,23）。背臥位股関節内旋可動域での群分けでは、有意な差は認めなかったが、フォロースルー期②のコーエンの d は 0.800 であり、フォロースルー期②（ $P=0.109$, コーエンの $d=0.800$ ）において SHIR 群は LHIR 群に比べて、大きな左回旋角度を示す傾向があった（図 22）。

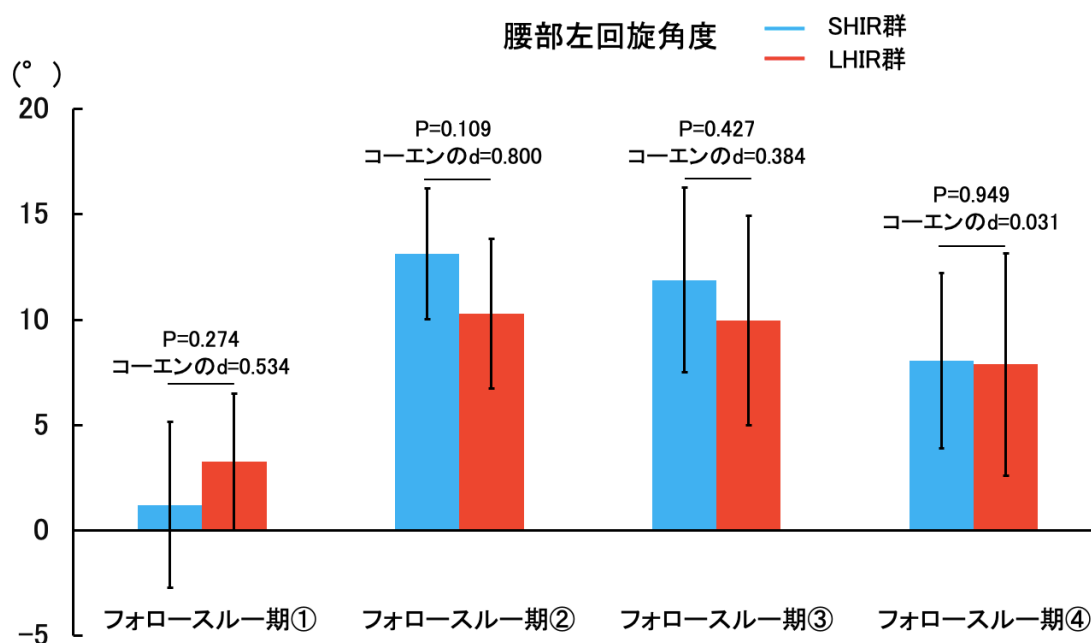


図 22 SHIR 群・LHIR 群の腰部回旋角度の比較（背臥位）

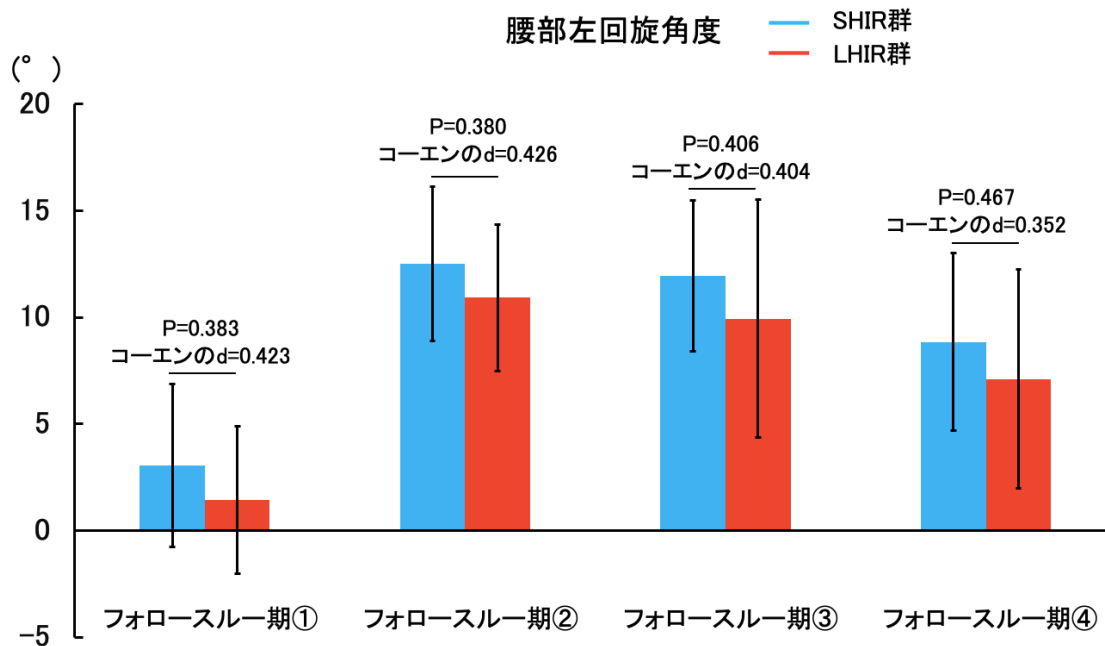


図 23 SHIR 群・LHIR 群の腰部回旋角度の比較（腹臥位）

3-4. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（STR 群・LTR 群）

3-4-1. 腰痛群・非腰痛群の投手側への胸部回旋可動域比較

投手側への胸部回旋可動域を腰痛群（ $36.4 \pm 8.5^\circ$ ）と非腰痛群（ $33.5 \pm 11.2^\circ$ ）で比較したところ、両群間に有意な差を認めなかった（ $P=0.560$ ，コーエンの $d=0.274$ ）（表 8）。

表 8 腰痛群・非腰痛群の投手側への胸部回旋可動域比較

	腰痛群	非腰痛群	P値	コーエンのd値
胸部回旋可動域	$36.4 \pm 8.5^\circ$	$33.5 \pm 11.2^\circ$	0.560	0.274

3-4-2. STR 群・LTR 群の投手側への胸部回旋可動域

投手側への胸部回旋可動域を STR 群（ $26.4 \pm 7.7^\circ$ ）と LTR 群（ $43.3 \pm 3.7^\circ$ ）で比較したところ、LTR 群は、STR 群に比べて有意に大きな胸部回旋可動域を示した（ $P=0.001$ ，コーエンの $d=2.776$ ）（表

9)。

表 9 STR 群・LTR 群の投手側への胸部回旋可動域比較

	STR群	LTR群	P値	コーエンのd値
胸部回旋可動域	26.4±7.7°	43.3±3.7°	0.001	2.776

3-4-3. フォロースルー期の腰部回旋角度比較（STR 群・LTR 群）

STR 群（フォロースルー期①：2.6±3.5° ・ ②：10.7±3.6° ・ ③：9.8±5.2° ・ ④：7.1±5.7°）と LTR 群（フォロースルー期①：1.8±4.3° ・ ②：12.7±3.8° ・ ③：12.1±4.7° ・ ④：8.9±4.0°）でフォロースルー期の腰部回旋角度を比較したところ、両群間に有意な差を認めなかった（図 24）。

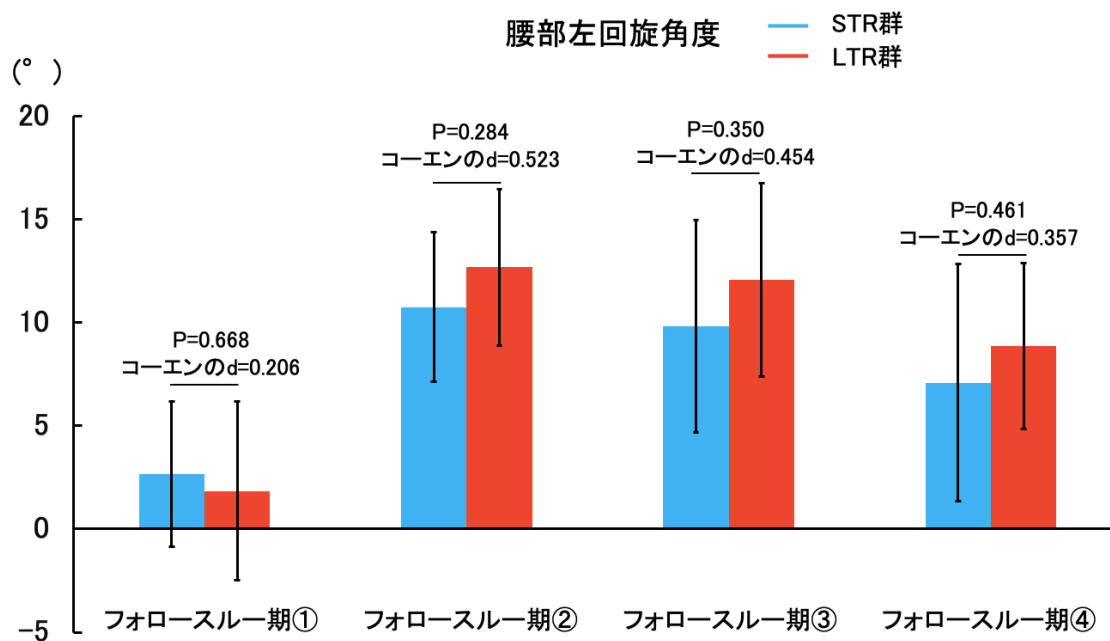


図 24 STR 群・LTR 群の腰部回旋角度の比較

第 4 節 考 察

本研究は腰痛の有無による打撃動作時の腰部・胸部挙動の違いを明らかにすること、また投手側股関節内旋可動域・投手側への胸部回旋可動域の大小による、打撃動作時のフォロースルー期の腰部回旋角度の違いを明らかにすることを目的とした。

4-1. 腰部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）

打撃動作時の腰部挙動を腰痛群・非腰痛群で比較したところ、屈曲・側屈角度に差が無かった。回旋角度ではスイング前期の③・④において、腰痛群は非腰痛群に比べて、大きな右回旋角度を示した。またフォロースルー期③・④において、腰痛群は非腰痛群に比べて、大きな左回旋角度を示す傾向があった。また、それらのフェーズにおいて、下位腰椎ローカル座標系と上位腰椎ローカル座標系それぞれの回旋角度を腰痛群・非腰痛群で比較したところ、有意な差を認めなかったが、スイング前期③・④において、上位腰椎ローカル座標系では腰痛群が大きな右回旋角度を示し(図 17)、フォロースルー期③・④において、上位腰椎ローカル座標系では腰痛群が大きな左回旋角度を示した(図 18)。

腰部回旋時は回旋方向と反対側の関節突起間部の圧縮応力が増加する⁸⁾。そのため腰痛群はスイング前期③・④で、上位腰椎の投手側への回旋が遅れたために大きな右回旋角度を呈し、左椎間関節の関節突起間部の圧縮応力が増加することが考えられる(図 25)。また、腰痛群はフォロースルー期③・④で、上位腰椎の左回旋が大きくなり、右椎間関節の関節突起間部の圧縮応力が増加することが考えられる(図

26)。今回の対象者の腰痛群 8 名のうち 5 名は伸展型腰痛であったことから、腰痛群では打撃動作時に椎間関節へストレスが加わっている可能性が高い。本研究の腰痛群の打撃動作時に発生する腰痛の原因として、腰部回旋角度の増大による、椎間関節へのストレスが考えられる。

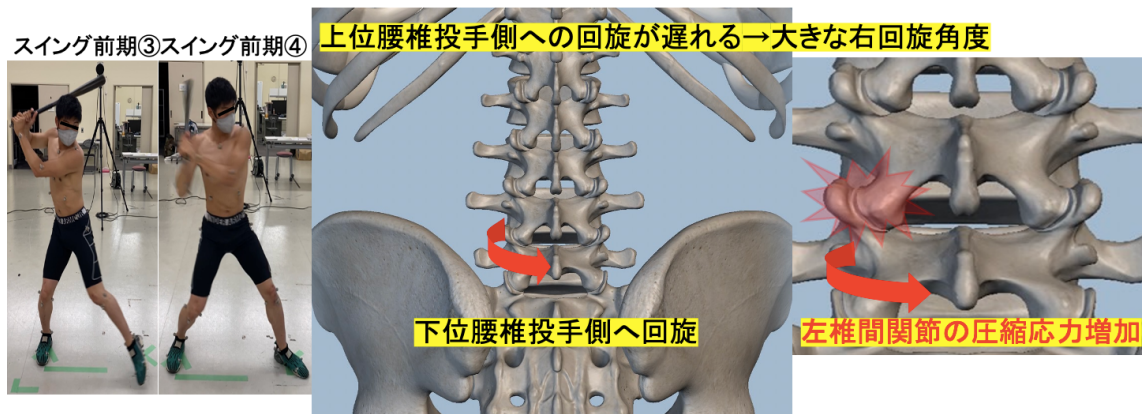


図 25 スイング前期③・④における非腰痛群と比較した時の腰痛群の腰部挙動の特徴

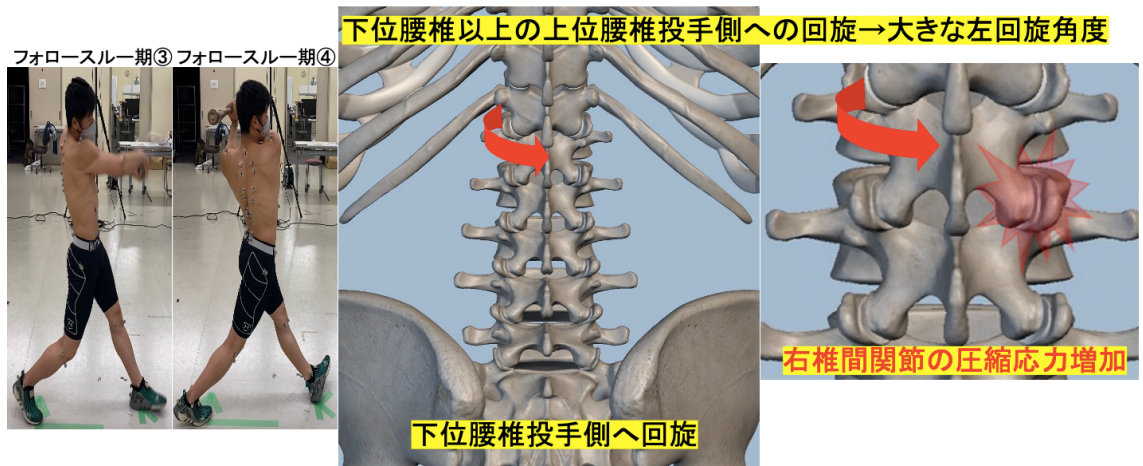


図 26 フォロースルー期③・④における非腰痛群と比較した時の腰痛群の腰部挙動の特徴

4-2. 胸部挙動比較（腰痛群・非腰痛群）

打撃動作時の胸部挙動を腰痛群・非腰痛群で比較したところ、屈曲・側屈・回旋角度全てにおいて差がなかった。仮説では、腰痛を有する選手では腰痛を有さない選手に比べて、小さな胸部回旋角度を示すと予想したが、本結果は仮説を支持しなかった。

多くのスポーツ動作において、力は下肢から体幹筋を通じて上肢に伝達される¹⁰⁾。また、野球打撃動作のスイングでは下肢が体幹・上肢に先立って打撃方向へと回旋する¹¹⁾。つまり打撃動作は下肢から起こり、骨盤、腰部、胸部と下位から上位に向けて力の伝達が起こると考えられる。胸部は腰部よりも上位に位置するため、打撃動作時の胸部挙動は腰痛の有無での影響を受けなかったと考える。

腰痛群・非腰痛群で差がなかったが、本研究の胸部挙動のデータは打撃動作時の胸部挙動を計測した初めての研究である。腰部最大伸展角度は、非腰痛群のフォロースルー期③で $3.3 \pm 13.7^\circ$ であり、胸部最大伸展角度は腰痛群のフォロースルー期④で $18.0 \pm 9.9^\circ$ であった。生理的な腰椎伸展角度は 15° 、胸椎伸展角度は $20 \sim 25^\circ$ であり¹²⁾、打撃動作においても生理的な可動域に従って胸部伸展角度は大きくなると考える。また、腰部最大左回旋角度は腰痛群のフォロースルー期③で $13.1 \pm 2.5^\circ$ であり、胸部最大左回旋角度は腰痛群のフォロースルー期④で $37.1 \pm 5.1^\circ$ であった。生理的な腰椎回旋角度は 5° 、胸椎回旋角度は 30° であり¹²⁾、胸部回旋においても生理的な可動域に従って角度が大きくなると考える。今後も胸部挙動のデータを増やし、打撃動作時の胸部挙動の特徴をより明確にする必要があると考える。

4-3. 投手側股関節内旋可動域の大小（SHIR 群・LHIR 群）によるフォロースルー期の腰部回旋角度比較

SHIR 群と LHIR 群でフォロースルー期の腰部回旋角度を比較したところ、背臥位で SHIR 群・LHIR 群に分けたときのフォロースルー期②で SHIR 群が LHIR 群と比較して腰部左回旋角度が大きい傾向にあった。

ゴルファーを対象とした先行研究では、前脚（左脚）の股関節内旋可動域が制限されている群は、フォロースルー期での腰椎の左回旋角度が大きくなると報告されている¹³⁾。また別の先行研究は、股関節の柔軟性が低下すると、骨盤の大腿骨上の回旋角度が低下すると報告した¹⁴⁾。このことから、ゴルファーを対象とした先行研究では前脚の股関節内旋可動域が制限されると、骨盤の左回旋が制限され、最終的にフォロースルー期での腰椎左回旋の代償運動が大きくなったと考察されている¹³⁾。本研究においても、SHIR 群では投手側股関節内旋可動域が小さいことで、骨盤の左回旋が制限され、その結果として腰部回旋角度が代償的に大きくなったと考える。したがって、打撃動作時の腰痛の原因となり得る腰部回旋角度の増大を防ぐためには、投手側股関節内旋可動域を大きくする必要があると考える。

4-4. 投手側への胸部回旋可動域の大小（STR 群・LTR 群）によるフォロースルー期の腰部回旋角度比較

STR 群と LTR 群でフォロースルー期の腰部回旋角度を比較したところ、フォロースルー期①・②・③・④全てにおいて差が無かった。仮説では、投手側への胸部回旋可動域が小さい選手は、フォロースルー期の腰部回旋角度が大きくなると予想したが、本結果は仮説を支持しなかった。

考察 4-2.で示したとおり、打撃動作は下肢から起こり、骨盤、腰部、胸部と下位から上位に向けて力の伝達が起こると考えられる。胸部は腰部よりも上位に位置するため、本研究では胸部の可動域の違いが腰部へ影響を与えなかったために、STR 群と LTR 群でフォロースルー期の腰部回旋角度に差が無かったと考える。そのため、打撃動作時の腰痛の原因となり得る腰部回旋角度の増大を防ぐことに、投手側への胸部回旋可動域の大小は影響しない。

4-5. 本研究の限界

本研究の限界点として、皮膚上に反射マーカを貼付したため、皮膚上の反射マーカの動きと実際の腰椎・胸椎の動きに差が生じることが挙げられる。また、腰痛群の病態分類では屈曲型・伸展型・判別不能に分類したが、各選手によって腰痛発症部位は異なるため、腰痛群全員が椎間関節性腰痛ではない。今後は腰痛群の中で詳細な病態分類を行い、実験・解析をする必要がある。

第 5 節 結 論

本研究は、腰痛群と非腰痛群で打撃動作時の腰部・胸部挙動を比較した。腰部回旋角度ではスイング前期③・④において、腰痛群は非腰痛群に比べて、大きな捕手側への回旋角度を示した。またフォロースルー期③・④において、腰痛群は非腰痛群に比べて、大きな投手側への回旋角度を示す傾向があった。この結果より、打撃動作時に発生する腰痛は、腰部回旋角度が大きくなることによる、椎間関節へのストレスが原因であることが示唆された。

投手側股関節内旋可動域および投手側への胸部回旋可動域の大小によるフォロースルー期の投手側への腰部回旋角度の比較では、投手側股関節内旋可動域が小さい群でフォロースルー期の回旋角度が大きかった。打撃動作時の腰痛の原因となり得る腰部回旋角度の増大を防ぐためには、投手側股関節内旋可動域を大きくする必要があることが示唆された。

参考文献

- 1) Hangai M, Kaneoka K, Okubo Y, et al. : Relationship between low back pain and competitive sports activities during youth. The American Journal of Sports Medicine. 2010;38(4): 791-796.
- 2) Hangai M, Kaneoka K, Hinotsu S, et al. : Lumbar intervertebral disk degeneration in athletes. The American Journal of Sports Medicine. 2009;37(1): 149-155.
- 3) Sakai T, Sairyo K, Suzue N, et al. : Incidence and etiology of lumbar spondylolysis: review of the literature. Journal of Orthopaedic Science. 2010;15(3): 281-288.
- 4) Iwamoto J, Takeda T, Wakako K. : Returning athletes with severe low back pain and spondylolysis to original sporting activities with conservative treatment. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2004; 14(6):346-351.
- 5) Oshikawa T, Morimoto Y, Kaneoka K. : Unilateral rotation in baseball fielder causes low back pain contralateral to the hitting side. The Journal of Medical Investigation. 2018 ; 65 : 56-59.
- 6) 田口直樹, 金岡恒治, 宮川俊平, 他: 野球打撃動作における腰部回旋拳動, 日本臨床スポーツ医学会誌 2019; 27(1):11-19.
- 7) Oshikawa T, Kaneoka K, Morimoto Y et al. : Comparison of lumbar kinematics with a history of low back pain during baseball hitting. International Journal of Sports Medicine. 2020 ; 41 (2) : 119-127.
- 8) Sairyo K, Katoh S, Komatsubara S: Spondylolysis fracture angle

in children and adolescents on CT indicates the fracture producing force vector: A biomechanical rationale. Internet J Spine Surg,1 (2) 2005

9) 奈良隆章,川村卓,島村一志,他:大学野球選手における中学時代の競技環境の違いが自己の技能に与えた影響についてー中学校部活動と硬式クラブの比較からー.スポーツコーチング研究第7巻 2009

10) Santana JC, McGill SM, Brouwn LE et al. : Anterior and posterior serape the rotation core. Strength Cond Journal. 2015 ; 37(5): 8-13.

11) Welch CM, Banks SA, Cook FF et al. : Hitting a baseball a biomechanical description. J Orthop Sports Phys Ther. 1995 ; 22(5): 193-201.

12) Donald A. Neumann. : 筋骨格系のキネシオロジー.第1版第9刷発行.2010 ; 303,310.

13) Sol-Be Kim, Sung H, Oh-Yun Kwon et al. : Lumbopelvic kinematic characteristics of golfers with limited hip rotation. The American Journal of Sports Medicine. 2015 ; 43 (1) : 113-120.

14) Montgomery T, Boocock M, Hing W. : The effects of spinal posture and pelvic fixation on trunk rotation range of motion. Clin Biomuch. 2011 ; 26 (7) : 707-712.

謝 辞

修士論文執筆に際し、多くの方々にご指導を賜り、ご支援下さったことに心から感謝申し上げます。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授、金岡恒治先生には大学院入学から2年間様々にご指導をいただきました。研究面での考え方や論理的な思考を養っていただき、今後の人生に役立つ基盤を作ることができました。2年間と短い時間でしたが、丁寧にご指導いただいたことに感謝いたします。今後とも宜しく願いいたします。

副査を快く引き受けてくださった早稲田大学スポーツ科学学術院教授、広瀬統一先生、矢内利政先生には研究面のみならず、スポーツ現場に必要な知識や、動作解析を行う上での数学的な知識など深いところまでご指導いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

また、本研究の対象者である早稲田大学準硬式野球部の選手の皆様には、研究に快く協力していただき改めて感謝申し上げます。

金岡研究室の皆様にも大変お世話になりました。特に助教の押川智貴先生には入学時から、研究面のことや物事を論理的に考える力、人に物事を伝える力、プレゼンテーションの見せ方まで細かく指導していただきました。また、修士論文執筆に際し、多くの助言をいただき、細く添削もしていただきました。押川先生のご指導のおかげで、2年間で研究者のみならず社会で働いていく上で必要なスキルを身に付けることができ、成長を実感しております。まだまだ至らない点もございますが、押川先生に指導していただいたことを活かしこれからも精進いたします。改めて丁寧にご指導をいただいたことに感謝いたします。阿久澤弘先生には、臨床のこと研究のことを優しく指導していた

だきました。2年間指導していただき感謝いたします。聖学院大学の松永直人先生には、データ解析の際に大変お世話になり、解析について優しくご指導していただきました。改めて感謝申し上げます。研究室の先輩や後輩にも多くの助言、実験のお手伝いをしていただきました。特に同期である、松本美瑳さん、松下大輝さんには入学時から中々対面で会うことが難しい中、お互い助け合って2年間を過ごすことができました。同期2人の存在がとても心強かったです。皆様に感謝申し上げると共に、今後のご活躍をお祈り申し上げます。

最後に、1度社会人を経て、大学院で再び学びたいという私に理解を示し、1度も否定せず、誰よりも味方でいてくれ、全力で支援してくれた両親に心より感謝申し上げます。

2021年12月30日
土定 寛幸