



トランポリンにおける熟練別に見た踏切動作の研究

松島, 正知

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2019-03-25

(Date of Publication)

2020-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7387号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007387>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

トランポリンにおける熟練別にみた踏切動作の研究

神戸大学大学院人間発達環境学研究科

松 島 正 知

目次

第1章 序論	…	1
1.1 トランポリンについて	…	1
1.1.1 トランポリン器具および用途	…	1
1.1.2 トランポリンの運動による傷害	…	1
1.1.3 トランポリン競技	…	2
1.2 踏切動作の先行研究と問題点	…	3
1.2.1 トランポリンの踏切動作の先行研究	…	3
1.2.2 問題点	…	4
1.3 本論文の目的と構成	…	5
第2章 トランポリンアスリートによるトランポリンのジャンプの 踏切中の筋活動と着床位置との関係	…	6
2.1 緒言	…	6
2.2 方法	…	6
2.2.1 対象	…	6
2.2.2 測定方法	…	6
2.2.3 測定項目	…	7
2.2.4 踏切局面と着地領域・跳躍分類	…	9
2.2.5 算出項目	…	11
2.2.6 統計処理	…	13
2.3 キネマティックデータの結果	…	13
2.3.1 滞空時間 t と跳躍高 H	…	13
2.3.2 沈み局面の鉛直距離 L と時間 t_1 および速度 v_1 , 上り局面時間 t_2 と速度 v_2	…	14
2.3.3 離地から着地までの水平移動距離 L_h	…	18
2.3.4 滞空時間 t との相関関係	…	19
2.4 中央跳躍と後方跳躍を比較した結果	…	21
2.4.1 中央跳躍と後方跳躍とのキネマティックデータの結果	…	21

2.4.2	下肢関節の角度と EMG の変化	.....	22
2.4.3	EMG 平均振幅 (%MVC)	.....	24
2.4.4	EMG 平均振幅 (%MVC) と水平移動距離との相関関係	.....	25
2.5	考察	.....	27
2.5.1	中央跳躍と後方跳躍の踏切動作	.....	27
2.5.2	キネマティクスデータの考察	.....	29
2.6	まとめ	.....	29

第3章	トランポリン未経験者と経験者によるトランポリンの ジャンプとリバウンドジャンプとの違いについて	...	31
3.1	緒言	.....	31
3.2	方法	.....	31
3.2.1	対象	.....	31
3.2.2	測定方法	.....	31
3.2.3	測定項目	.....	32
3.2.4	踏切局面	.....	33
3.2.5	算出項目	.....	34
3.2.6	統計処理	.....	35
3.3	結果	.....	35
3.3.1	滞空時間 t と跳躍高 H	.....	35
3.3.2	沈み局面の鉛直距離 L	.....	38
3.3.3	沈み局面時間 t_1 と上り局面時間 t_2 および接地時間 t_1+t_2	.....	40
3.3.4	下肢関節の角度変化	.....	43
3.3.5	足底圧の変化	.....	49
3.4	考察	.....	59
3.4.1	未経験者の踏切動作	.....	59
3.4.2	経験者の踏切動作	.....	60
3.4.3	沈み局面における未経験者と経験者の違い	.....	62
3.5	まとめ	.....	62

第4章 総合考察	…	64
4.1 TJの踏切動作における足部の役割	…	64
4.2 トランポリン指導およびトレーニングへの応用	…	66
4.3 研究の限界と課題	…	67
第5章 総括	…	69
参考文献	…	71
謝辞	…	77
掲載論文一覧	…	78

第1章 序 論

1.1 トランポリンについて

1.1.1 トランポリン器具および用途

トランポリンはトランポリン器具の上で跳躍を行う運動である。トランポリン器具の構造は金属製のフレームで囲われており、その中に金属製のスプリングとナイロン製の網（以下、トランポリンベッド）が張られている。基本的な特性は、スプリングとトランポリンベッドから得られる反発力を生かして、簡単に高い跳躍高を獲得し、繰り返し反復跳躍することができることである。トランポリンの用途はトランポリン競技やレクリエーションやリハビリテーションおよび他競技の技術習得練習（器械体操、モーグルスキー、飛込競技等）など多目的に渡っており、対象者は幼児から成人、障がい者や競技者まで幅広く利用されている。リハビリテーションでは、知的障がい者などの運動に取り入れられ、機能改善の効果があると示唆されている（後藤ほか，1999；池田ほか，2016；野田，1994；杉谷と芝垣，2001；安井ほか，1993）。他競技の技術習得練習においては、簡単に高く跳躍高が得られるため、宙返りなどの練習に導入されている。レクリエーションでは、円形型（半径約 0.75 m～約 2.5 m）や長方形型（約縦 4.5 m，横 2.5 m，高さ 1.0 m）などの器具が使用されて、家庭や商業施設など国内外で普及している。トランポリン競技では、競技用の器具（縦 5.20m×横 3.05m×高さ 1.15m）を使用して、高難度種目の実施を可能としている。これらのようにトランポリンは目的や用途に合わせて幅広く利用されている（塩野，1992）。

1.1.2 トランポリンの運動による傷害

トランポリンの幅広い利用に伴い、国内外で傷害の報告がなされている。ノルウェーにおいて 2001 年から 2004 年までのトランポリン愛好者 556 名を対象とした調査では、受傷機会の多くが着地時であり、下肢の受傷が多かった (Nysted and Drogset, 2006)。Nysted and Drogset は子供が利用する場合、首と肘に重度な傷害発生の可能性があるため使用するべきでないと示して、傷害の危険が潜む警鐘を促している。脊髄損傷などの重症度の傷害を引き起こすこともあるため、安全に実施するためのガイドラインが重要であると強調している。オーストラリアにおける 2002 年から 2011 年までの調査では、15,636 件入院するケースがあり、年間平均が 1,737 件であった (Ashby K et al., 2015)。アメリカにおける 2010 年から 2014 年までの家庭用トランポリンと商業

施設のトランポリンパークでの調査では、年間約 7,000 件近く傷害が報告なされている (Kasmire et al., 2016). 香港における 2014 年のケースでは、安全性について、まずは反発力の弱いトランポリン器具から実施していくべきであり、宙返りの実施を制限して安全マットを整備するべきであると述べている (Cheung et al., 2016). 日本国内の大学トランポリン部における傷害の調査を行った藤田 (1992) の報告では、男女 106 名中、半数以上が何らかの傷害を経験していた。主要な傷害部位は腰椎部、膝関節、足関節が多く、膝靭帯断裂や下腿の骨折などの重度の傷害もあった。トランポリン競技者でも指導者の監視下において傷害発生が報告なされている。

傷害発生の一要因は、空中へ飛び出す前の踏切動作の制御能力の欠如 (上岡と菊池, 2009) や踏切の熟練度の低さ (藤田, 1992) によって、着地場所や空中姿勢のコントロール不足を引き起こし、傷害が起こると考えられている。トランポリンでの跳躍は陸上における硬い床面上の跳躍とは異なり、踏切面が下方向に沈むという非日常的な踏切動作である。そのため、跳ね返り時に空中へ出る方向が鉛直上向きではなく、斜めに飛び出し、姿勢を崩して鉄製のフレーム上に着地して受傷する場合がある。安全な連続の跳躍のためには踏切動作がコントロールされて、トランポリンベッドの中央領域で跳ぶことが求められる。初心者や不慣れな者には普及型やレクリエーション用のトランポリン器具から始めて、トランポリン経験歴が長くなってから反発力が強い競技用を使用することを日本体操協会は推奨している (日本体操協会, 2016)。

1.1.3 トランポリン競技

トランポリン競技では、選手が連続した異なる 10 種目の技を実施して、審判が評価する。評価方法は、(1) 美しさを評価する演技点、(2) 宙返りなどの種目の回転数や捻り数を評価する難度点、(3) 種目の滞空時間を評価する跳躍時間点、(4) 水平方向の移動に対し評価する Horizontal displacement 点 (以下、移動減点) の四つがある。跳躍時間点は 2011 年から新たな評価方法として導入され、トランポリンのベッド面下にあるセンサーにより、演技種目の滞空時間を 1/1000 秒まで測定し、そのまま得点に採用される。2015 年の第 52 回全日本トランポリン競技選手権大会での、予選上位男女 40 名の自由演技得点を分析すると、跳躍時間点は約 30% を占めていた (日本体操協会, 2015a ; 日本体操協会, 2015b)。長い滞空時間を得ることが、直接競技成績に影響し、重要な得点源となる。移動減点は 2017 年から新たな評価方法として導入された。トランポリンベッド面上に赤線が縦と横と数本引かれており、中央にある正方形の枠

線内で跳躍すると移動減点が無い 0.0 点で最も良い評価であるが、その枠線内から跳び出て着地すると移動減点はマイナスの得点となる。これまで、移動減点は演技点の一部に含まれており、審判員の目視で判定されていたが、現在は専用の機器が測定して得点化されるようになった。2017 年に行われた国内トップレベルの第 4 回全日本トランポリン年齢別選手権大会の個人オープン男女決勝得点を分析すると、移動減点が総合得点に影響して順位を決定していた(日本体操協会, 2017a; 日本体操協会, 2017b)。それほど移動減点は重要な評価基準であることがわかる。

これらのルール改正前では、総合得点に占める割合は演技点が最も高かった。演技点は演技審判員が競技ルールに基づき採点するものであるが、専用の機器が測定する新たな二つの評価方法によって、トランポリン競技は採点競技から測定競技へと変わりつつある(日本体操協会, 2016)。競技ルールに基づき高評価を得ようとする場合、高難度種目を美しく実施するだけでなく、より高く、より真ん中で跳躍することが求められるようになった。

1.2 踏切動作の先行研究と問題点

1.2.1 トランポリンの踏切動作の先行研究

これまで数少ないトランポリンの踏切動作の先行研究では、下肢関節の動作に着目している。トランポリン経験の浅い初心者に対しては、膝の屈伸による踏切動作をせず伸ばしたまま、腕を廻すことによって、トランポリンベッドを押し下げることが最初に習得するべきであると述べている(大林と長谷川, 1968; 伊藤, 2008; 伊藤, 2009)。伊藤(2008)は下肢による踏切動作ではなく、身体全体を垂直方向に真っすぐに伸ばした状態でトランポリンベッドを沈ませて、真上に跳んでいくことを指導の一端に掲げている。それだけトランポリンベッドを沈ませることが、跳躍には重要である。技術レベルの高い熟練者の下肢関節の角度をみた研究も数例報告されている。長谷川(1968)によると、熟練者の男子大学生を対象にした研究では、股関節と膝関節の角度はともに、トランポリンベッドの最も深い沈み込みの最下点で 147 deg~160 deg の範囲であった。山本ほか(1992)は日本代表レベルの対象者女子において、足関節では着地時に 107 deg, 最下点時には最大背屈の 79 deg, 膝関節では着地直前には最大屈曲の 117 deg, 股関節では着地時には最大屈曲の 127 deg であったとの結果を報告している。伊藤ほか(2000)では、熟練者の男女大学生において、膝関節 138 度~144

度で着地し、その後伸展されていたと述べている。山崎ほか (1999, 2000) によると、日本代表レベルの対象者男子の膝関節角度の変化では、着地において、熟練者では 143.9 deg , その後トランポリンの最下点までの間に 152.5 deg まで伸展していたが、未熟練者では 162.8 deg で着地して、最下点まであまり変化しなかった。

踏切における下肢関節の動作のタイミングについて、上山と淵本 (2007) は最下点で膝を少し屈曲させて上昇時にキックすることで、上昇距離を一定に保つことができると述べている。そして、宙返りを実施する場合、最下点で膝を伸展させた状態であれば、跳躍方向を安定させられず、よい演技が難しくなるとも報告している。山崎ほか (2001, 2002) による選手へのアンケート調査では、トランポリンベッドから跳び出す離地時につま先を下へ押し伸ばすと答え、低中レベル者は膝を曲げないように力を入れていると質問紙で回答していた。全レベルに共通して、足の指でトランポリンを押し下げているとまとめている。

跳躍中の筋電図を分析した研究 (東, 1974) では、仙棘筋の活動が上半身のバランスを保つように働き、内側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋、および大殿筋の筋活動では下肢の伸展動作に働くことを報告している。金子と豊岡 (1978) では、下肢筋群の活動が沈み局面でみられ、上り局面ではほとんどみられなかったと述べ、山本ほか (1992) では、腓腹筋とヒラメ筋が沈み込み局面で大きな筋放電が観察され、前脛骨筋では着地の 0.15 s 前から離地まで筋放電が続いたと報告している。Song et al. (2011) では踏切中に腓腹筋の顕著な筋活動が示された。

1.2.2 問題点

先行研究ではトランポリン経験歴のある経験者もしくはハイレベルの熟練者を対象にしている。しかし、トランポリンの傷害の多くは未経験者や初心者に発生している。この対象者における踏切動作の先行研究は非常に少ない。さらに、トランポリンの指導書も少ないため、初心者などに対する安全な指導も十分とは言えない。先行研究の少なさが、エビデンスに基づく指導や技術習得のための段階を踏襲しない練習方法、そして傷害発生へと波及していると考えられる (福井, 2006)。初心者や未経験者が陥りやすい踏切動作を示し、改善案や練習方法と正しい指導が求められる。

2000年のシドニー夏季オリンピックで正式種目として採用されて以来、トランポリンの競技人口は徐々に増加傾向にある。しかし、これまでトランポリンの運動学的研究は盛んには行われてこなかったが、トランポリン器具は改良され続けている。トラ

ンポリンベッドは網目状に張られ、その網状の1本のテープ幅は8 mm から現在は4 mm と細くなって空気抵抗を受けにくくなり、反発力が強くなった (Eurotramp 社, 2018)。
トランポリン競技ルールの改正やトランポリン器具の改良はトランポリン愛好者やこれから競技者を目指す人の練習方法および指導に関わることである。

これまでのトランポリンの踏切動作におけるバイオメカニクス的研究のほとんどは、下肢関節の角度に着目していた。足底のどの箇所が踏切面に接して、どのように圧力分布しているのかを示すことで、より定量的な評価が可能になる。また、下肢関節の動作分析と併せて、下肢筋群の筋放電量を測定することは、映像だけでは確認できない筋収縮様式がわかるため、トレーニングにも役立てることができる。

これらのように、トランポリン未経験者を含めた熟練別の対象者にキネマティクスデータと併せたバイオメカニクスの分析結果を、今後の練習方法および指導に活用していくことが、踏切動作による傷害発生の減少のために求められる。そのためにまずは、踏切動作について明らかにすることであると考えられる。

1.3 本論文の目的と構成

本研究の目的は、熟練度の異なるトランポリンアスリートと経験者および未経験者のトランポリンのジャンプ (Trampoline Jump 以下, TJ) の踏切動作を明らかにすることである。さらに、得られた知見を基にトランポリン未経験者に対する指導や熟練度の高い選手に対してのトレーニングに役立てることとする。

第2章では、トランポリンアスリート (国内レベル～日本代表レベル) を対象に、競技用トランポリン器具を使用して、映像による下肢関節の角度と筋電図の分析を行う。また、踏切中の筋活動と離地から着地までの水平移動距離との関係を調べて、トランポリンベッドの中央の領域で跳躍できる踏切動作を示す。

第3章では、トランポリン未経験者と経験者を対象にトランポリン器具上と陸上で跳躍の試技を行わせて、足底圧の分布と映像による下肢関節の角度を比較検討する。

第4章では、未経験者と経験者およびアスリートのトランポリンの踏切動作における足部の動きについて考察する。

第5章では、これまでに得られた知見を基に、熟練別の踏切動作をまとめる。

第2章 トランポリンアスリートによるトランポリンのジャンプの踏切中の筋活動と着床位置との関係

2.1 緒言

トランポリン競技のルール上、トランポリンベッドの中央の領域で跳躍しなければ移動減点される。さらに、トランポリンベッドの中央の領域外で着地すると器具外へ跳び出て、傷害が起きる可能性が高くなるため、常に中央の領域で跳躍することが安全な跳躍である。そこで、熟練度の高いトランポリンアスリートを対象にトランポリンのジャンプ (Trampoline Jump 以下, TJ) を映像による動作分析とともに筋活動の様相を調べることで、トランポリンベッドの中央の領域で跳躍するための踏切動作を明らかにすることを目的とした。

2.2 方法

2.2.1 対象

被験者は全日本選手権大会出場者から日本代表経験者までの高い競技レベルのアスリート女性4名 (A1~A4)、男性5名 (A5~A9) の計9名 (年齢 19.3 ± 1.6 歳, 身長 163.6 ± 7.1 cm, 体重 58.7 ± 8.6 kg, 競技歴 7.8 ± 4.4 年) とした。実験参加に先立ち、被験者へ本実験の詳細を武庫川女子大学の研究倫理審査委員会 (承認番号 No. 13-52) の実験計画書を用いて十分に説明をした。その後に被験者の同意を文書で得た。

2.2.2 測定方法

実験に使用するトランポリン器具は国際体操連盟公認の EUROTRAMP 社製競技用ユーロトランポリン4×4 (縦5.20m, 横3.05m, 高さ1.15m) とした。試技について、被験者にはトランポリンベッド上で、連続20本のTJを立位静止から真っすぐにできるだけ高くトランポリンベッドの中央で行うように指示した。なお、TJの試技は十分なウォーミングアップの後に行った。

実験終了後、被験筋の等尺性随意最大収縮 (Maximum voluntary contraction 以下, MVC) の測定を実施するため、被験筋はMMT法 (Manual muscle test) (Hislop and Montgomery, 2002) に従い検者の徒手抵抗を用いて、3 sで漸増的に収縮力を上げ、その後MVCを2 s保持するように力発揮をさせた。最大振幅時の前後0.5 sの計1.0 sをMVCとして用いた。胸鎖乳突筋は前頭部に徒手抵抗を加えながら、頸部前屈を行

わせた。僧帽筋は後頭部に徒手抵抗を加えながら、頸部後屈を行わせた。大腿直筋は椅子に股関節 90 deg で座らせ、下腿前面に徒手抵抗を加えながら膝関節の伸展を行わせた。大腿二頭筋は腹臥位で、下腿後面に徒手抵抗を加えながら膝関節の屈曲を行わせた。前脛骨筋は座位で、足背内側面に徒手抵抗を加えながら足関節の背屈を行わせた。腓腹筋は片側立位で足関節の底屈を行わせて測定した。Vera-Garcia et al. (2010) の方法に基づいて、脊柱起立筋は腹臥位で、脚を抑えて後背部に徒手抵抗を加えながら、体幹の後屈を行わせた。腹直筋は仰臥位で、脚を抑えて肩に徒手抵抗を加えながら、体幹の前屈を行わせて、MVC 測定を行った。

2.2.3 測定項目

トランポリン側方（長辺片側）中央のスプリング（右端から数えて 17 本目）とフレームの間に引張圧縮両用型小型ロードセル（共和電業製：LUX-B-2KN-ID）を図 2.1 のように取り付けた。ロードセルの出力から解析ソフト（キッセイコムテック社製：BIMUTAS II）を用いて、被験者がトランポリンベッドに触れた着地、被験者によってトランポリンベッドが最も深く沈んだ最下点、被験者がトランポリンベッドから離れる離地を求めた。なお、トランポリン器具とスプリングとの間に連結させたときのロードセルの出力が 3.000V ~3.015V であったことから、3.016 V 以上に上がり始めた時点を着地、最高値を最下点、3.016 V 以下に下がった時点を離地とした。跳躍中の被験筋の筋放電（Electromyography 以下、EMG）は、胸鎖乳突筋、僧帽筋上部、腹直筋、脊柱起立筋（腰椎 4 レベル）、大腿直筋、大腿二頭筋長頭、前脛骨筋、腓腹筋の計 8 筋とした。アーチファクトを取り除くために、ワイヤレス電極の貼付部位には事前にアルコール綿で脱脂して、被験筋の筋腹中央に専用の EMG 粘着テープで貼付した (Aldo, 2007)。ワイヤレス電極からの EMG 信号は、マルチテレメーターシステム（日本光電製：WEB - 7000）で受信した。サンプリング周波数は 1000Hz とした。

また試技中、1 台のビデオカメラ（CASIO 製：EX - F1）をトランポリンの側方に設置して、300 fps、シャッタースピード 1/1000 s で踏切動作を撮影した。ビデオカメラはトランポリンベッドと同じ高さ 1.155 m、トランポリンベッドの中心側方から 5.550 m の位置に設置した。EMG 信号はロードセルの出力とともに A/D 変換を介して PC に収録し、図 2.2 のようにビデオカメラの映像と同期した。撮影された映像は二次元解析ソフト（DKH 社製：フレームディアス IV）を用いて二次元 4 点実長換算法による分析を行った。本研究における座標系は水平方向を X 軸、鉛直上方向を Y 軸、X 軸と Y 軸

に垂直な方向を Z 軸とした。キャリブレーションのリファレンスポイントと基準長は X 軸方向のカメラ側のトランポリンベッドの両端 (4.280m) とした。一人の検者が 1.8m の真っ直ぐな棒を持ってトランポリンベッドの中央に立ち、水平器を利用して棒の長軸を X 軸方向の水平と Y 軸方向の垂直とに持ち構えて、もう一人の検者がそれぞれ撮影した。その映像をもとに、棒の両端をコントロールポイントとしてデジタイズし、X 軸方向と Y 軸方向の歪みを自動補正した。リファレンスポイントおよびコントロールポイントの実座標と二次元 4 点実長換算法による算出座標との誤差は 1~2mm であった。導出されたデータはバターワース型ローパスフィルタにより遮断周波数 6Hz で平滑化を行った。

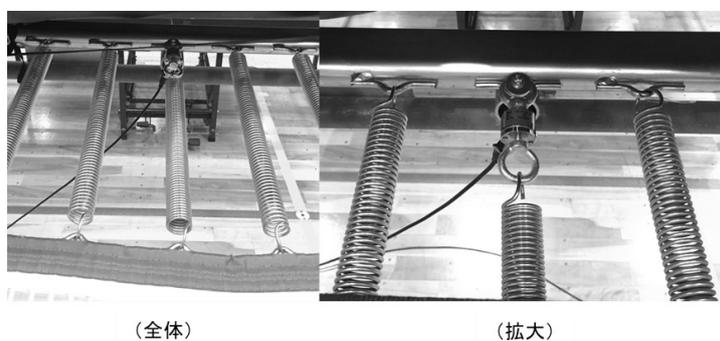


図 2.1 フレームとスプリングとの間に取り付けたロードセル

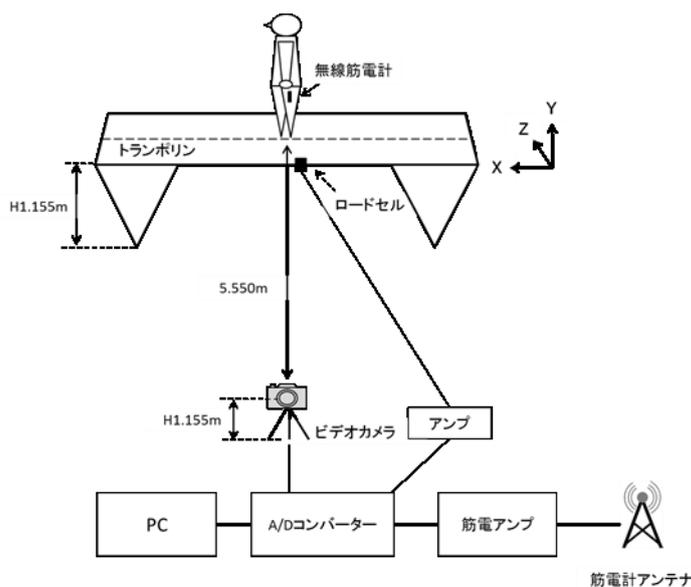


図 2.2 実験の測定設定

2.2.4 踏切局面と着地領域・跳躍分類

図 2.3 のように踏切動作の局面を，着地から最下点までを沈み局面，最下点から離地までを上り局面として，両局面に要した時間を半分ずつの前半と後半に分け，沈み局面前半，沈み局面後半，上り局面前半と上り局面後半の 4 分割に分けた。

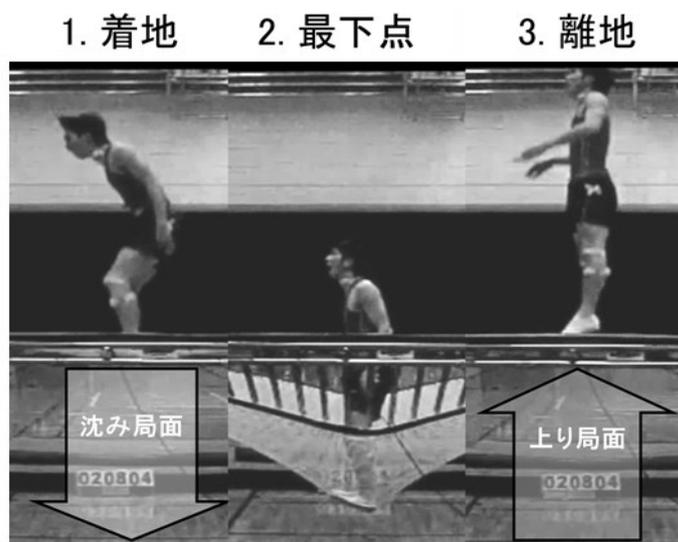


図 2.3 踏切局面

トランポリンベッドを上から見たイラストを図 2.4 に示す。図 2.4 の上の図は，国際体操連盟トランポリン競技の 2017 年のルール (Fédération of Internationale Gymnastique, 2016) による着地の移動減点とトランポリンベッド上に描かれている各線の長さを表示している。X 軸方向と Z 軸方向の長さの比は 2 : 1 である。次の図では移動減点をもとに三つの領域に分けた。移動減点 0.0 点の領域を中央領域とし，X 軸方向にある移動減点 0.1 点および 0.2 点の領域を前方領域，後方領域とした。トランポリンベッドは柔軟性をもつため，トランポリンベッドのたわみ形状は着地位置によって異なるが，中央領域で着地すると深く沈みやすい。

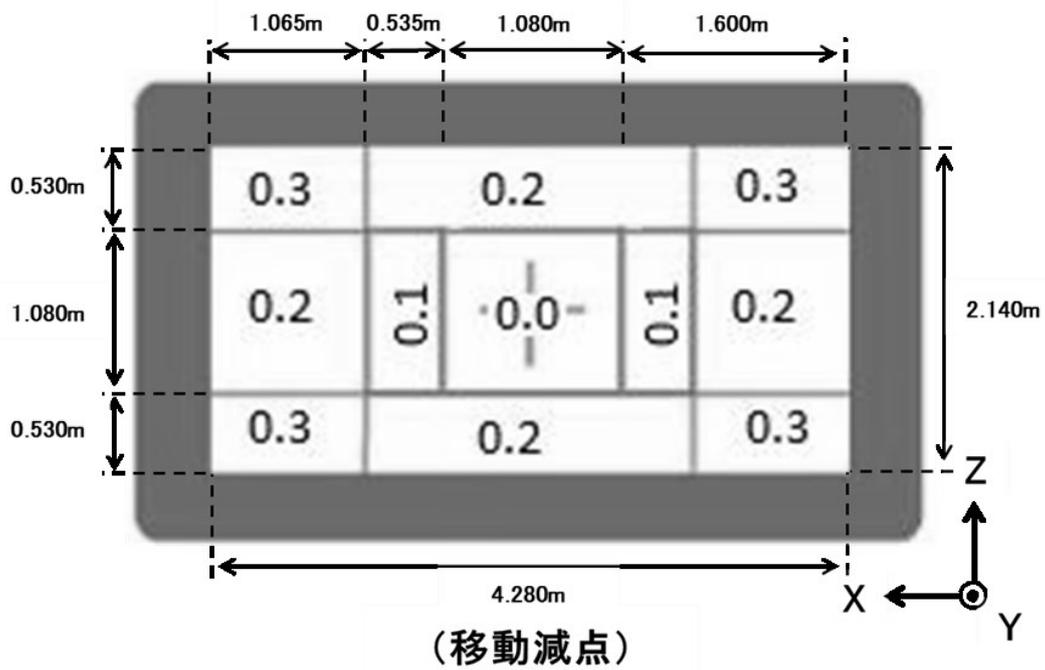


図 2.4 トランポリンベッドの移動減点と着地領域の表示
 (Fédération of Internationale Gymnastique, 2016. を改変)

跳躍は以下のように分類した。

中央跳躍 : 中央領域から離地して, 中央領域に着地

後方跳躍 : 中央領域から離地して, 後方領域に着地

前方跳躍 : 中央領域から離地して, 前方領域に着地

2.2.5 算出項目

試技は中央領域で立位静止から真っすぐに 20 本の跳躍をさせた。その内, 6 本目から 15 本目までの 10 本の左足を分析対象とした。

各試技のロードセルの出力によって着地, 最下点, 離地を導き, 滞空時間 t (s), 着地から最下点までの沈み局面時間 t_1 (s) および最下点から離地までの上り局面時間 t_2 (s) を算出した。なお, 参考値として跳躍高 H (m) は式 (2.1) で算出した。

$$H = g t^2 / 8 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで g は重力加速度 9.8 m/s^2 , t は滞空時間である。

沈み局面の鉛直距離 L (m) を式 (2.2) および式 (2.3) で対応する沈み局面速度 v_1 (m/s) および上り局面速度 v_2 (m/s) を算出した。

$$v_1 = L / t_1 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$v_2 = L / t_2 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

トランポリンベッドの沈み局面の鉛直距離 L (m) と水平移動距離を二次元解析ソフトで求めた。沈み局面の鉛直距離では, Y 軸方向における着地から最下点までの踵の鉛直距離とした。水平移動距離では, 図 2.5 のように X 軸方向における被験者の離地から着地までの踵の水平移動距離とした。

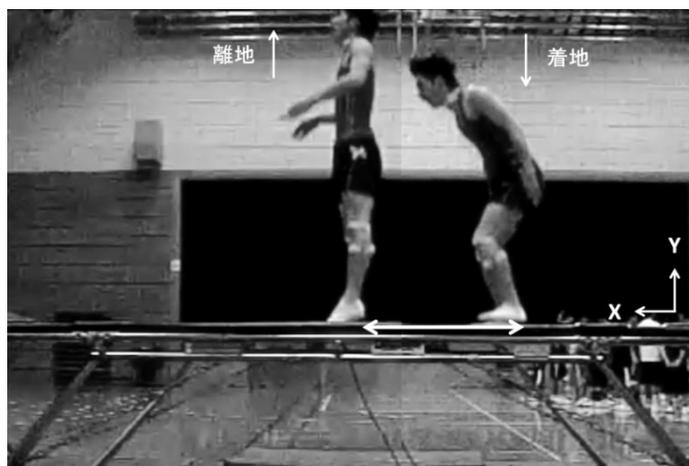


図 2.5 跳躍における離地 (左) から着地 (右) までの踵の水平移動距離

撮影した映像をもとに二次元解析ソフトより、肩峰、大転子、膝関節外側点、腓骨外果、踵骨、第5中足骨頭をデジタイズポイントし、矢状面内における股関節角度、膝関節角度、足関節角度を図 2.6 のように求めた。股関節角度は、肩峰から大転子を結ぶ延長線を開始肢位 0 deg として、大転子と膝関節外側点を結ぶ線とのなす角度とし、膝関節角度は、大転子から膝関節外側点を結ぶ延長線を開始肢位 0 deg として、膝関節外側点から腓骨外果を結ぶ線とのなす角度とした（米本ほか，1995）。股関節と膝関節角度では開始肢位 0 deg に対して屈曲を正 (+)，伸展を負 (-) とした。足関節角度は、腓骨外果－踵骨－第5中足骨頭のなす角度の直角を開始肢位 0 deg とした。足関節角度では、開始肢位 0 deg に対して背屈を正 (+)，底屈を負 (-) とした。足部セグメント角度は、踵骨を通る水平軸－踵骨－第5中足骨頭のなす角度とし、踵骨を通る水平軸を開始肢位 0 deg とした。足部セグメント角では、踵を通る水平軸（開始肢位 0 deg）より上向きにある角度を正 (+)，下向きにある角度を負 (-) とした。

記録した EMG は、バンドパスフィルタ (20-500Hz) を通して、全波整流をした後、各局面に要した時間で除し、平均振幅値を求めた。そして、MVC 時の 1.0s 間の全波整流平均値で除すことで 100 % として正規化 (%MVC) して、跳躍動作中の筋活動水準を評価した。

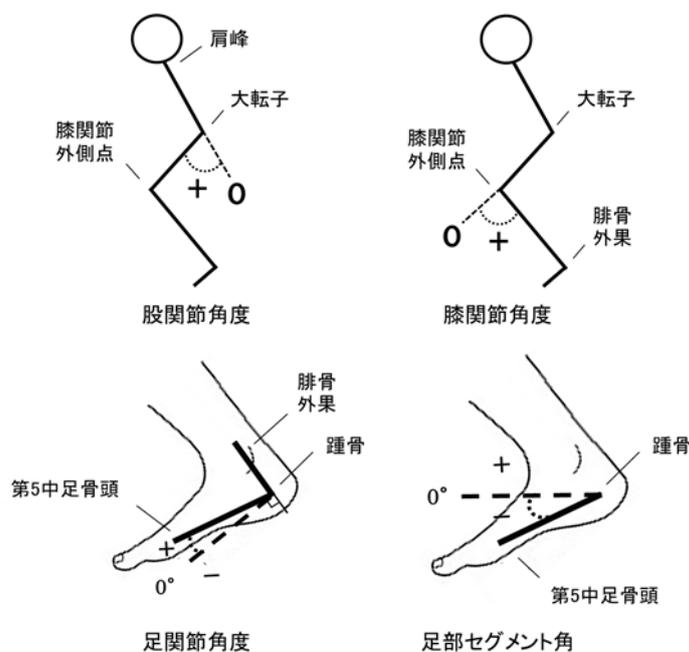


図 2.6 下肢関節の角度の定義

2.2.6 統計処理

滞空時間, 跳躍高, 沈み局面の鉛直距離, 沈み局面時間, 上り局面時間, 沈み局面速度, 上り局面速度, 接地時間, 水平移動距離, 下肢関節の角度および各局面の EMG 平均振幅 (%MVC) について平均値±標準偏差を比較した. 各被験筋の筋活動と水平移動距離との関係性については, Pearson の相関分析を行い, 有意水準は 5%未満とした.

2.3 キネマティクスデータの結果

2.3.1 滞空時間 t ・跳躍高 H

被験者毎の各 10 本の滞空時間と跳躍高を表 2.1 と表 2.2 に示した. 最も長い滞空時間 (最も高い跳躍高) は被験者 A9 の 9 本目の 1.907 s (4.455m), 最も短い滞空時間 (最も低い跳躍高) は被験者 A6 の 1 本目の 1.456 s (2.597m) であった. 被験者毎の TJ の滞空時間の CV 値は最大で 3.3%と小さかった. 参考としての跳躍高は TJ の CV 値は最大で 6.4%と小さかった.

全 90 本の滞空時間および跳躍高の平均値±標準偏差 (CV 値) は, $1.684 \pm 0.105s$ (6.2%), $3.488 \pm 0.439m$ (12.6%) であった. 被験者毎の体重と滞空時間の平均値との間には相関 ($r=0.255$, not significant) は認められなかった.

表 2.1 被験者 A1~A9 の TJ の各 10 本の滞空時間 t (s)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	1.583	1.514	1.566	1.553	1.640	1.456	1.640	1.677	1.806
2	1.627	1.552	1.625	1.583	1.687	1.499	1.700	1.740	1.843
3	1.660	1.550	1.659	1.598	1.693	1.510	1.727	1.748	1.874
4	1.687	1.565	1.684	1.607	1.703	1.540	1.789	1.787	1.890
5	1.703	1.577	1.700	1.640	1.706	1.547	1.768	1.808	1.890
6	1.710	1.600	1.710	1.650	1.663	1.534	1.717	1.813	1.892
7	1.714	1.600	1.723	1.620	1.647	1.555	1.710	1.830	1.891
8	1.716	1.613	1.741	1.610	1.634	1.557	1.725	1.802	1.900
9	1.727	1.618	1.745	1.603	1.666	1.590	1.757	1.785	1.907
10	1.720	1.603	1.741	1.629	1.693	1.592	1.774	1.764	1.890
平均	1.685	1.579	1.689	1.609	1.673	1.538	1.731	1.775	1.878
標準偏差	0.045	0.032	0.055	0.027	0.025	0.039	0.041	0.043	0.029
CV	2.7%	2.0%	3.3%	1.7%	1.5%	2.6%	2.4%	2.4%	1.6%

表 2.2 被験者 A1~A9 の TJ の各 10 本の跳躍高 H (m)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	3.070	2.808	3.004	2.954	3.295	2.597	3.295	3.445	3.996
2	3.243	2.951	3.235	3.070	3.486	2.753	3.540	3.709	4.161
3	3.376	2.943	3.372	3.128	3.511	2.793	3.654	3.743	4.302
4	3.486	3.000	3.474	3.164	3.553	2.905	3.921	3.912	4.376
5	3.553	3.046	3.540	3.295	3.565	2.932	3.829	4.004	4.376
6	3.582	3.136	3.582	3.335	3.388	2.883	3.611	4.027	4.385
7	3.599	3.136	3.637	3.215	3.323	2.962	3.582	4.102	4.380
8	3.607	3.187	3.713	3.175	3.271	2.970	3.645	3.978	4.422
9	3.654	3.207	3.730	3.148	3.400	3.097	3.782	3.903	4.455
10	3.624	3.148	3.713	3.251	3.511	3.105	3.855	3.812	4.376
平均	3.479	3.056	3.500	3.173	3.430	2.900	3.671	3.863	4.323
標準偏差	0.182	0.122	0.225	0.105	0.104	0.147	0.175	0.183	0.133
CV	5.2%	4.0%	6.4%	3.3%	3.0%	5.1%	4.8%	4.7%	3.1%

2.3.2 沈み局面の鉛直距離 L と時間 t_1 および速度 v_1 , 上り局面時間 t_2 と速度 v_2

被験者毎の各 10 本の着地から最下点までの沈み局面鉛直距離 L を表 2.3 に示した。全 90 本の沈み局面鉛直距離の平均値±標準偏差 (CV 値) は, $0.851 \pm 0.071\text{m}$ (8.3%) であった。CV 値において, 被験者毎の最大では 4.5%と小さかったが, 被験者間では 8.3%と大きかった。また, 図 2.7 のように被験者毎の体重と沈み局面鉛直距離の平均値との間には, 強い相関 ($r=0.834$, $p<0.01$) が認められた。

表 2.3 被験者 A1~A9 の TJ の各 10 本の沈み局面鉛直距離 L (m)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	0.834	0.844	0.786	0.738	0.878	0.826	0.866	0.884	0.927
2	0.790	0.792	0.795	0.738	0.875	0.838	0.832	0.954	0.911
3	0.841	0.864	0.841	0.720	0.907	0.872	0.893	0.930	0.948
4	0.835	0.868	0.829	0.696	0.922	0.811	0.822	0.984	0.951
5	0.841	0.859	0.750	0.766	0.918	0.820	0.810	0.942	0.981
6	0.865	0.868	0.789	0.739	0.920	0.826	0.750	0.919	0.971
7	0.734	0.887	0.826	0.805	0.878	0.829	0.826	0.938	0.969
8	0.786	0.799	0.793	0.747	0.948	0.830	0.848	0.951	0.893
9	0.822	0.828	0.781	0.729	0.923	0.842	0.872	0.899	0.919
10	0.824	0.767	0.825	0.769	0.899	0.839	0.813	0.981	1.030
平均	0.817	0.838	0.801	0.745	0.907	0.833	0.833	0.938	0.950
標準偏差	0.036	0.038	0.027	0.028	0.023	0.016	0.038	0.030	0.038
CV値	4.4%	4.5%	3.3%	3.8%	2.5%	1.9%	4.5%	3.3%	4.0%

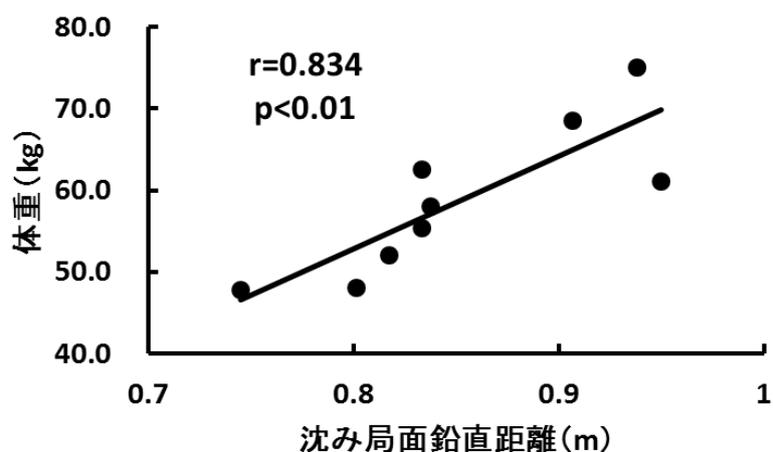


図 2.7 被験者毎の体重と沈み局面鉛直距離の平均値との関係

被験者毎の各 10 本の着地から最下点までの沈み局面時間 t_1 を表 2.4 に示した. 全 90 本の沈み局面時間の平均値±標準偏差 (CV 値) は, 0.154 ± 0.010 s (6.5%) であった. 被験者毎の CV 値は最大で 3.4% と小さかった.

表 2.4 被験者 A1~A9 の TJ の各 10 本の沈み局面時間 t_1 (s)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	0.155	0.165	0.151	0.148	0.168	0.178	0.158	0.158	0.152
2	0.142	0.155	0.146	0.145	0.165	0.178	0.160	0.162	0.145
3	0.145	0.162	0.145	0.145	0.160	0.175	0.149	0.158	0.140
4	0.149	0.162	0.149	0.145	0.163	0.171	0.147	0.158	0.142
5	0.145	0.158	0.148	0.139	0.165	0.168	0.148	0.155	0.148
6	0.142	0.158	0.145	0.142	0.165	0.172	0.145	0.155	0.151
7	0.138	0.158	0.145	0.142	0.165	0.165	0.151	0.149	0.148
8	0.145	0.155	0.148	0.142	0.165	0.169	0.154	0.149	0.148
9	0.148	0.159	0.145	0.138	0.172	0.171	0.152	0.155	0.148
10	0.138	0.155	0.152	0.149	0.161	0.168	0.148	0.155	0.152
平均	0.145	0.159	0.147	0.144	0.165	0.172	0.151	0.155	0.147
標準偏差	0.005	0.003	0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004
CV	3.4%	2.0%	1.7%	2.4%	1.9%	2.4%	3.1%	2.5%	2.6%

被験者毎の各 10 本の着地から最下点までの沈み局面速度 v_1 を表 2.5 に示した. 全 90 本の沈み局面速度の平均値±標準偏差 (CV 値) は, 5.547 ± 0.429 m/s (7.7%) であった. CV 値において, 被験者毎の最大では 4.7% と小さかったが, 被験者間では 7.7% と大きかった.

表 2.5 被験者 A1～A9 の各 10 本の沈み局面速度 v_1 (m/s)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	5.383	5.116	5.206	4.988	5.224	4.639	5.480	5.595	6.096
2	5.561	5.112	5.447	5.091	5.300	4.708	5.203	5.888	6.285
3	5.800	5.331	5.800	4.966	5.670	4.980	5.994	5.884	6.770
4	5.604	5.361	5.563	4.798	5.654	4.740	5.595	6.230	6.696
5	5.800	5.439	5.065	5.511	5.564	4.879	5.471	6.078	6.630
6	6.094	5.497	5.443	5.201	5.577	4.801	5.175	5.929	6.431
7	5.322	5.612	5.695	5.669	5.319	5.023	5.472	6.294	6.547
8	5.418	5.153	5.355	5.263	5.744	4.914	5.504	6.382	6.033
9	5.553	5.205	5.384	5.283	5.368	4.923	5.736	5.802	6.209
10	5.972	4.947	5.428	5.163	5.583	4.992	5.494	6.331	6.775
平均	5.651	5.277	5.439	5.193	5.500	4.860	5.512	6.041	6.447
標準偏差	0.245	0.195	0.204	0.245	0.172	0.125	0.224	0.249	0.264
CV	4.3%	3.7%	3.7%	4.7%	3.1%	2.6%	4.1%	4.1%	4.1%

被験者毎の 10 本の平均値の沈み局面時間（表 2.4）とトランポリンベッドの沈み局面鉛直距離（表 2.3）をそれぞれ 0 から 100%として正規化して、沈み局面時間の 10% 毎の変化率を求めて、被験者毎に表 2.6 に示した。着地直後の時間 1～30%が最も大きい変化を示し、その後最下点に向けて徐々に変化率は小さくなっていく様子が見られた。

表 2.6 沈み局面鉛直距離と時間を正規化したトランポリンベッドの変化率 (%)

	A1		A2		A3		A4		A5		A6		A7		A8		A9	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
1～10%	15	0.8	15	0.6	15	0.3	15	0.8	14	0.4	14	0.6	14	0.4	15	0.6	15	0.7
11～20%	15	1.0	14	1.0	14	0.8	15	1.0	14	0.6	14	0.9	14	0.7	15	1.0	15	0.8
21～30%	15	0.6	15	0.6	15	0.6	15	0.6	14	0.5	14	0.5	14	0.8	15	0.5	15	0.4
31～40%	14	0.6	13	0.5	14	0.2	14	0.6	13	0.4	14	0.5	13	0.2	13	0.4	14	0.5
41～50%	13	0.3	13	0.2	13	0.5	13	0.3	12	0.2	12	0.2	13	0.6	13	0.5	13	0.7
51～60%	10	0.2	10	0.2	10	0.5	10	0.2	11	0.8	12	0.6	10	0.6	10	0.4	10	0.4
61～70%	9	0.3	9	0.4	9	0.2	9	0.3	9	0.2	9	0.3	9	0.3	9	0.4	8	0.3
71～80%	6	0.3	6	0.2	6	0.3	6	0.3	7	0.3	7	0.5	6	0.4	6	0.3	6	0.2
81～90%	3	0.6	4	0.5	3	0.3	3	0.6	4	0.3	4	0.7	4	0.3	4	0.4	3	0.5
91～100%	1	0.6	1	0.4	1	0.5	1	0.6	1	0.4	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.6

被験者毎の各 10 本の最下点から離地までの上り局面時間 t_2 を表 2.7 に示した。全 90 本の上り局面時間の平均値±標準偏差（CV 値）は、 0.168 ± 0.010 s（6.0%）であった。被験者毎の CV 値は最大で 4.4%と小さかった。上り局面時間の TJ90 本の平均値は、沈み局面時間より長かった。

表 2.7 被験者 A1~A9 の各 10 本の上り局面時間 t_2 (s)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	0.160	0.175	0.169	0.162	0.189	0.179	0.168	0.182	0.165
2	0.171	0.180	0.169	0.165	0.182	0.180	0.164	0.175	0.172
3	0.165	0.165	0.161	0.162	0.187	0.185	0.168	0.177	0.171
4	0.158	0.170	0.161	0.158	0.187	0.182	0.143	0.175	0.168
5	0.158	0.175	0.155	0.168	0.175	0.175	0.167	0.170	0.162
6	0.161	0.172	0.158	0.161	0.178	0.171	0.165	0.169	0.157
7	0.155	0.165	0.162	0.155	0.178	0.180	0.162	0.171	0.167
8	0.159	0.175	0.157	0.155	0.181	0.178	0.165	0.171	0.155
9	0.158	0.165	0.156	0.149	0.185	0.175	0.168	0.161	0.158
10	0.165	0.169	0.152	0.151	0.189	0.175	0.168	0.168	0.161
平均	0.161	0.171	0.160	0.159	0.183	0.178	0.164	0.172	0.164
標準偏差	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	0.004	0.007	0.005	0.006
CV	2.8%	2.9%	3.3%	3.6%	2.6%	2.2%	4.4%	3.2%	3.4%

被験者毎の各 10 本の最下点から離地までの上り局面速度 v_2 を表 2.8 に示した. 全 90 本の最下点までの上り局面速度の平均値±標準偏差 (CV 値) は, $5.079 \pm 0.422 \text{m/s}$ (8.3%) であった. CV 値において, 被験者毎の最大では 6.2% と小さかったが被験者間では 8.3% と大きかった. 上り局面速度の TJ90 本の平均値は, 沈み局面速度より遅かった.

表 2.8 被験者 A1~A9 の各 10 本の上り局面速度 v_2 (m/s)

No.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	5.215	4.823	4.652	4.557	4.643	4.613	5.154	4.857	5.616
2	4.618	4.402	4.706	4.474	4.805	4.655	5.076	5.451	5.299
3	5.097	5.234	5.224	4.444	4.851	4.711	5.316	5.252	5.543
4	5.284	5.109	5.148	4.403	4.928	4.454	5.752	5.625	5.660
5	5.323	4.910	4.836	4.560	5.246	4.684	4.848	5.541	6.057
6	5.375	5.049	4.995	4.588	5.170	4.829	4.548	5.437	6.185
7	4.738	5.374	5.098	5.194	4.930	4.605	5.101	5.484	5.802
8	4.941	4.565	5.048	4.822	5.236	4.666	5.137	5.561	5.761
9	5.201	5.016	5.004	4.893	4.991	4.810	5.190	5.585	5.816
10	4.994	4.537	5.428	5.094	4.756	4.793	4.840	5.841	6.396
平均	5.079	4.902	5.014	4.703	4.956	4.682	5.096	5.464	5.813
標準偏差	0.240	0.302	0.224	0.266	0.195	0.107	0.303	0.247	0.307
CV	4.7%	6.2%	4.5%	5.7%	3.9%	2.3%	6.0%	4.5%	5.3%

2.3.3 離地から着地までの水平移動距離 L_h

被験者毎の各 10 本の跳躍における、水平移動距離 L_h と着地領域を表 2.9 と跳躍の分類を表 2.10 にまとめた。表 2.9 において、●印はその同じ領域で離地して着地したことを示している。矢印は離地した領域から移動して着地した領域を示している。全 90 本の水平移動距離 L_h の平均値±標準偏差 (CV 値) は、 0.343 ± 0.281 m であった。中央領域で跳躍するように被験者には指示したため、跳躍の分類では、中央領域から離地して中央領域に着地する跳躍が最も多かった。中央領域から離地してから、次に多かった着地領域は後方領域であった。

表 2.9 被験者 A1~A9 の水平移動距離 L_h と着地領域

	前	中	後	被験者A1	距離(m)		前	中	後	被験者A4	距離(m)		前	中	後	被験者A7	距離(m)
1			←	後→中	0.240	1			←	後→中	0.234	1			→	中→後	0.288
2			→	中→後	0.317	2			→	中→後	0.318	2			●	後→後	0.050
3			←	後→中	0.183	3			●	後→後	0.085	3			←	後→中	0.620
4			→	中→後	0.473	4			●	後→後	0.002	4			●	中→中	0.210
5			←	後→中	0.608	5			●	後→後	0.328	5			●	中→中	0.035
6			→	中→後	0.449	6			●	後→後	0.234	6			←	中→前	0.382
7			●	後→後	0.201	7			●	後→後	0.326	7			→	前→後	0.961
8			●	後→後	0.036	8			●	後→後	0.270	8			●	後→後	0.087
9			●	後→後	0.091	9			←	後→中	0.995	9			←	後→中	0.301
10			←	後→中	0.261	10			←	中→前	0.319	10			●	中→中	0.271
	前	中	後	被験者A2	距離(m)		前	中	後	被験者A5	距離(m)		前	中	後	被験者A8	距離(m)
1			●	中→中	0.261	1			●	中→中	0.080	1			→	中→後	0.383
2			●	中→中	0.162	2			●	中→中	0.042	2			●	後→後	0.100
3			●	中→中	0.136	3			●	中→中	0.149	3			●	後→後	0.026
4			→	中→後	0.301	4			←	中→前	0.108	4			●	後→後	0.112
5			←	後→中	0.199	5			→	前→中	0.038	5			●	後→後	0.135
6			●	中→中	0.216	6			→	中→後	0.927	6			●	後→後	0.023
7			●	中→中	0.179	7			●	後→後	0.436	7			●	後→後	0.207
8			←	中→前	0.348	8			●	後→後	0.100	8			●	後→後	0.026
9			→	前→中	0.582	9			←	後→中	0.567	9			←	後→中	1.164
10			→	中→後	0.375	10			●	中→中	0.157	10			←	中→前	0.467
	前	中	後	被験者A3	距離(m)		前	中	後	被験者A6	距離(m)		前	中	後	被験者A9	距離(m)
1			●	中→中	0.108	1			→	中→後	0.482	1			←	後→中	0.546
2			←	中→前	0.370	2			←	後→中	0.609	2			←	中→前	0.536
3			→	前→中	0.277	3			→	中→後	0.376	3			●	前→前	0.299
4			←	中→前	0.297	4			●	後→後	0.031	4			→	前→後	1.154
5			●	前→前	0.055	5			←	後→中	0.379	5			●	後→後	0.015
6			→	前→中	0.436	6			→	中→後	0.369	6			←	後→中	0.187
7			●	中→中	0.008	7			●	後→後	0.070	7			←	中→前	0.546
8			←	中→前	0.222	8			●	後→後	0.088	8			→	前→後	1.025
9			→	前→中	0.286	9			←	後→中	0.457	9			←	後→中	0.525
10			←	中→前	0.361	10			→	中→後	0.535	10			●	中→中	0.103

表 2.10 跳躍分類による本数

離地	→	着地	数
中央	→	中央	15
中央	→	後方	13
中央	→	前方	11
後方	→	中央	17
後方	→	後方	24
後方	→	前方	0
前方	→	中央	5
前方	→	後方	3
前方	→	前方	2

2.3.4 滞空時間 t との相関関係

図 2.8～図 2.12 のように、トランポリン競技の評価に用いられる滞空時間 t と全 90 本の沈み局面鉛直距離 L 、沈み局面時間 t_1 、速度 v_1 、上り局面時間 t_2 および速度 v_2 との間に相関関係が認められた。沈み局面鉛直距離では弱い相関 ($r=0.567$, $p<0.01$) (図 2.8)、沈み局面時間では弱い負の相関 ($r=-0.471$, $p<0.01$) (図 2.9)、沈み局面速度 v_1 では強い負の相関 ($r=-0.856$, $p<0.01$) (図 2.10)、上り局面時間では弱い負の相関 ($r=-0.305$, $p<0.01$) (図 2.11)、上り局面速度 v_2 では負の相関 ($r=-0.778$, $p<0.01$) (図 2.12) が示された。滞空時間と水平移動距離 L_h との間には相関関係は認められなかった (図 2.13)。

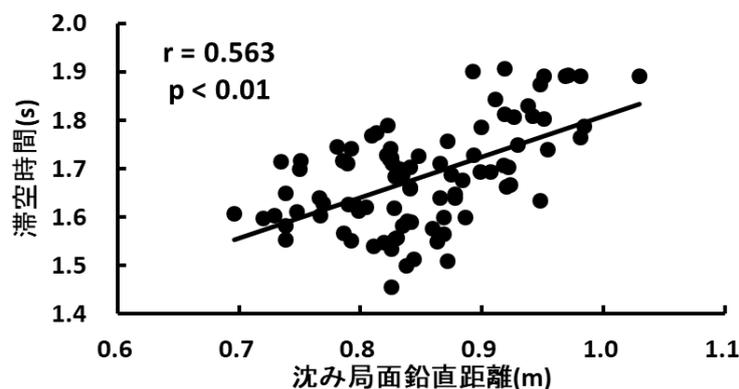


図 2.8 全 TJ90 本の滞空時間と沈み局面鉛直距離との関係

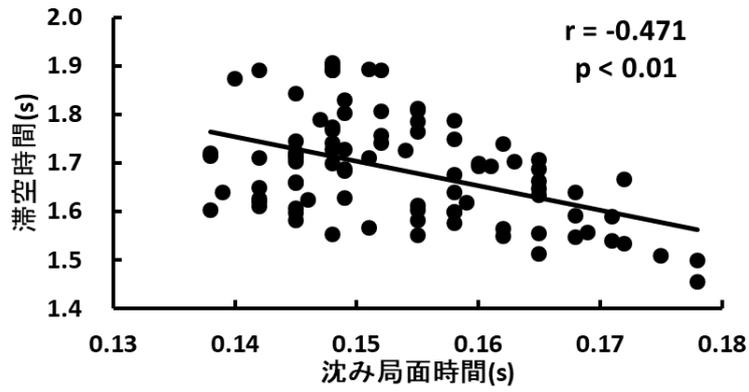


図 2.9 全 TJ90 本の滞空時間と沈み局面時間との関係

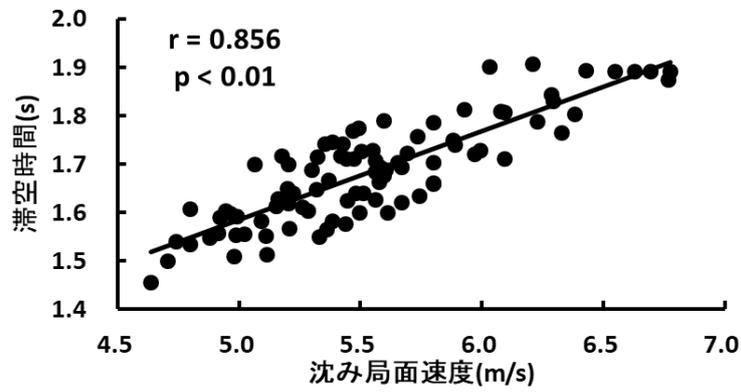


図 2.10 全 TJ90 本の滞空時間と沈み局面速度 v_1 との関係

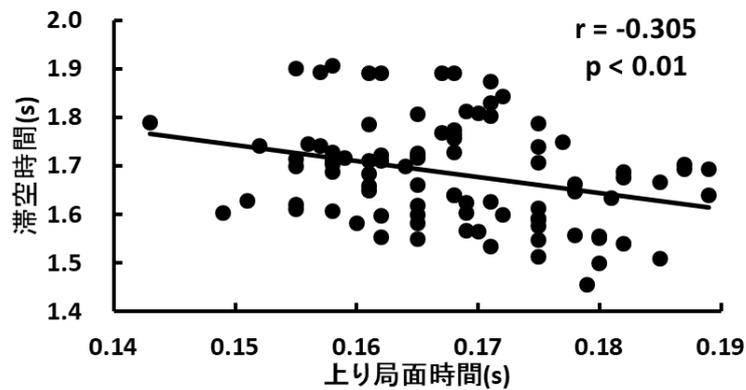


図 2.11 全 TJ90 本の滞空時間と上り局面時間との関係

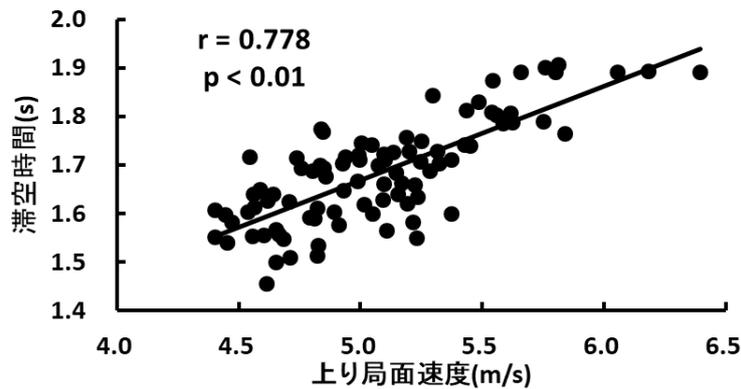


図 2.12 全 TJ90 本の滞空時間と上り局面速度 v_2 との関係

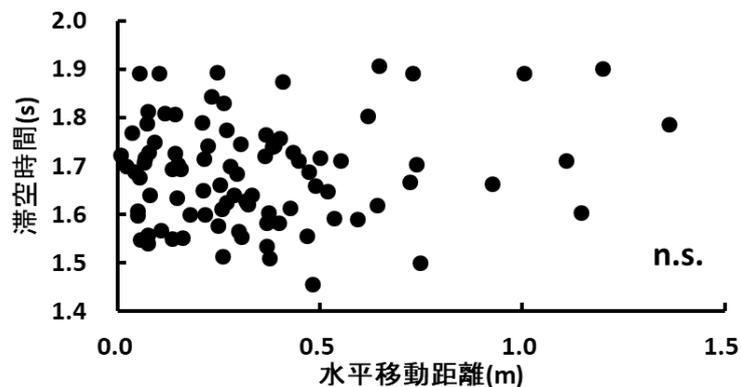


図 2.13 全 TJ90 本の滞空時間と水平移動距離との関係

2.4 中央跳躍と後方跳躍を比較した結果

2.4.1 中央跳躍と後方跳躍とのキネマティクスデータの結果

被験者 9 名の各 TJ10 本の着地領域 (表 2.9) の結果から、分析対象となる中央跳躍は 5 名の 15 本 (被験者 A2, A3, A5, A7, A9), 後方跳躍では 7 名の 13 本 (被験者 A1, A2, A4, A5, A6, A7, A8) であった。同じ被験者の 10 本のデータに両方の跳躍が含まれているわけではないので、平均値±標準偏差での比較とした。

中央跳躍と後方跳躍との滞空時間 (s), 跳躍高 (m), 沈み局面鉛直距離 (m), 沈み局面時間 (s), 沈み局面速度 (m/s), 上り局面時間 (s), 上り局面速度 (m/s) および水平移動距離 (m) の平均値±標準偏差を表 2.11 にまとめた。水平移動距離と沈み局面鉛直距離などのキネマティクスデータとの相関係数は全て 0.1 以下であり、中央跳

躍と後方跳躍ともに全て無相関であった。

表 2.11 中央跳躍と後方跳躍のキネマティクスデータの平均値

	中央跳躍 (n=15)	後方跳躍 (n=13)
水平移動距離(m)	0.141 ± 0.077	0.430 ± 0.161
滞空時間(s)	1.670 ± 0.104	1.608 ± 0.078
跳躍高(m)	3.429 ± 0.430	3.177 ± 0.307
沈み鉛直距離(m)	0.861 ± 0.059	0.843 ± 0.056
沈み時間(s)	0.156 ± 0.007	0.159 ± 0.012
沈み速度(m/s)	5.511 ± 0.387	5.309 ± 0.421
上り時間(s)	0.172 ± 0.012	0.171 ± 0.007
上り速度(m/s)	5.040 ± 0.482	4.932 ± 0.325

2.4.2 下肢関節の角度と EMG の変化

図 2.14 の上と下に、中央跳躍における下肢関節の角度と整流平滑化した EMG の変化の例を着地から離地までの同じ時間で表した。股関節と膝関節は、大きい屈曲位で着地して、離地にかけて伸展していた。足関節では、背屈位で着地して、さらに徐々に背屈し、その後底屈していた。足部セグメント角では、着地から正の領域で変化していた。腓腹筋は沈み局面の後半まで活動が大きいことが観察された

図 2.15 のように中央跳躍と後方跳躍の着地、最下点、離地における股関節、膝関節、足関節および足部セグメントの角度の平均値±標準偏差を比較した。両跳躍の角度の差は股関節の着地時が 10 deg 程度であったが、他の角度の差は 4 deg 程度の差であった。

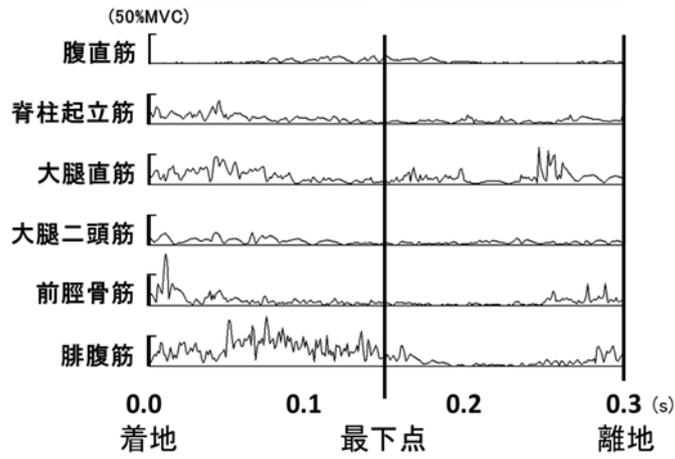
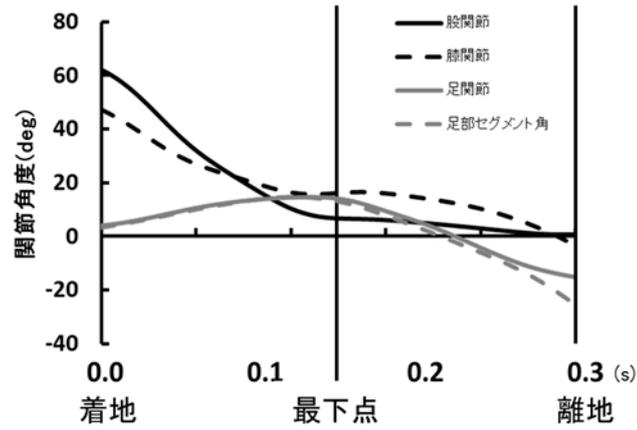


図 2.14 中央跳躍の着地から離地までの下肢関節の角度と EMG の変化の例

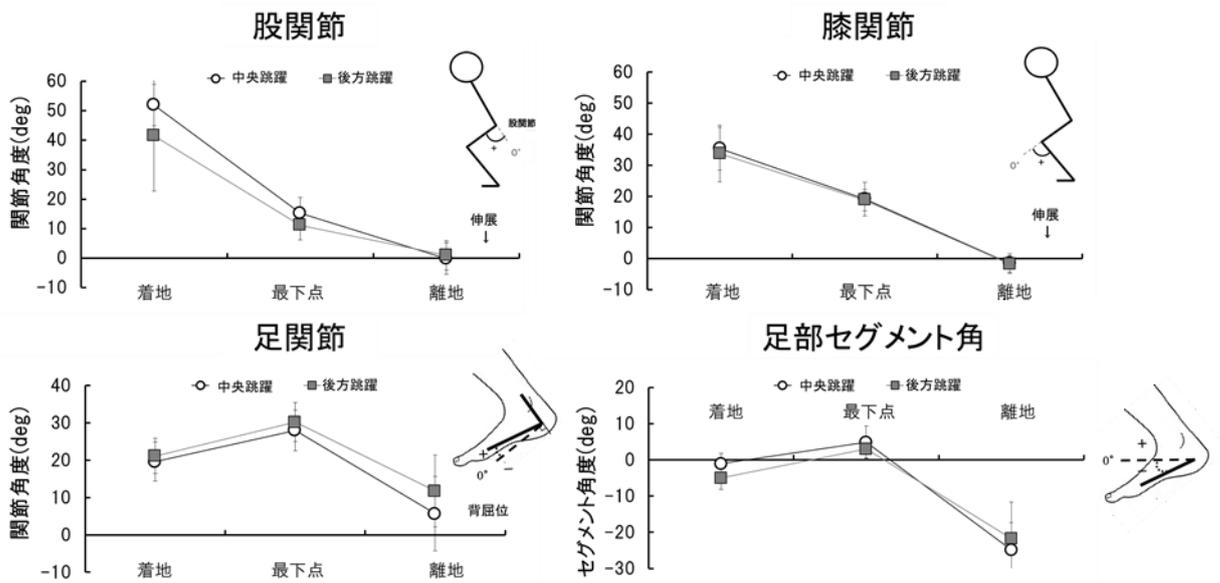


図 2.15 中央跳躍と後方跳躍との下肢関節の角度の平均値

2.4.3 EMG 平均振幅 (%MVC)

被験筋の EMG 平均振幅 (%MVC) について、中央跳躍と後方跳躍との比較を四つの局面ごとに図 2.16 から図 2.19 に示す。

図 2.16 のように沈み局面前半で大腿二頭筋と腓腹筋は、後方跳躍よりも中央跳躍の方が EMG 平均振幅 (%MVC) で 50 %以上大きかった。前脛骨筋は後方跳躍の方が中央跳躍よりも EMG 平均振幅 (%MVC) で 40 %以上大きかった。図 2.17 のように沈み局面後半で腓腹筋と大腿二頭筋の EMG 平均振幅 (%MVC) は中央跳躍の方が大きかった。胸鎖乳突筋の EMG 平均振幅 (%MVC) は沈み局面前半とは逆に、後方跳躍の方が大きかった。

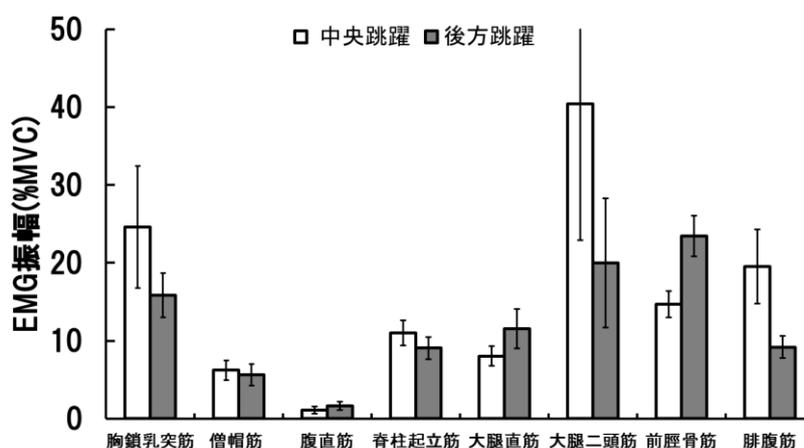


図 2.16 沈み局面前半における EMG 平均振幅 (%MVC) の比較

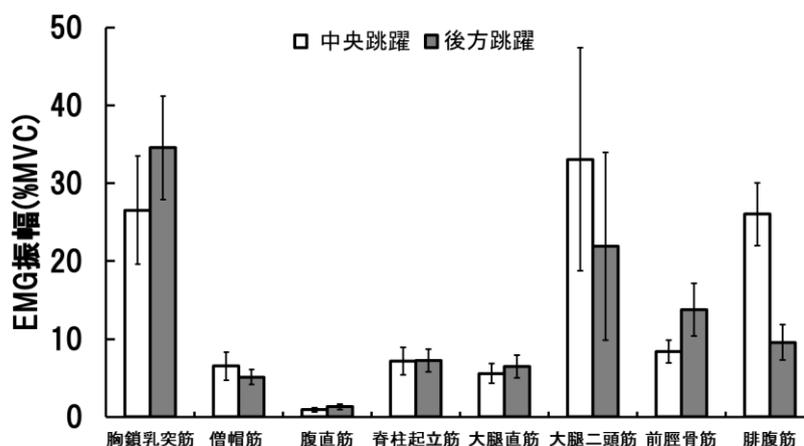


図 2.17 沈み局面後半における EMG 平均振幅 (%MVC) の比較

図 2.18 の上り局面前半と図 2.19 の上り局面後半のように EMG 平均振幅 (%MVC) は、15 %程度の大きさを示した筋は両跳躍とも無かった。

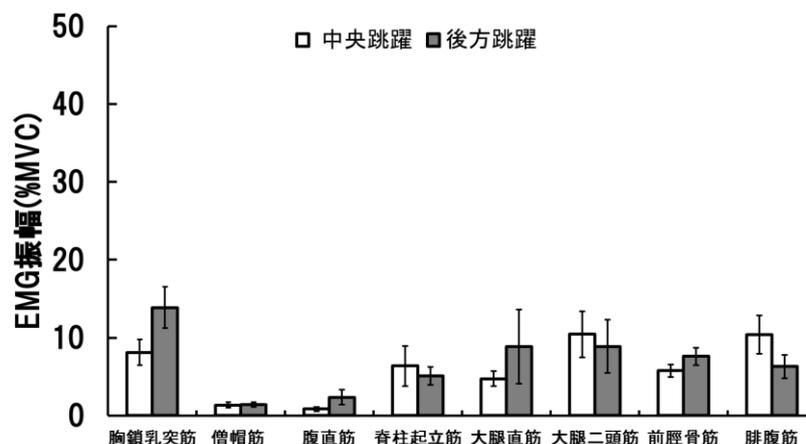


図 2.18 上り局面前半における EMG 平均振幅 (%MVC) の比較

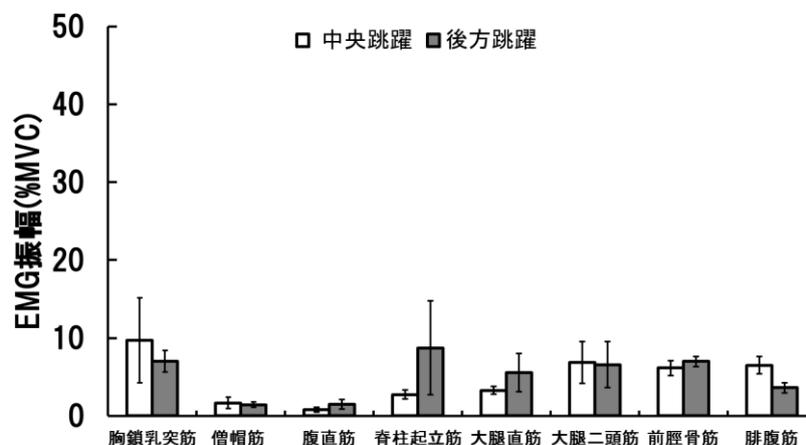


図 2.19 上り局面後半における EMG 平均振幅 (%MVC) の比較

2.4.4 EMG 平均振幅 (%MVC) と水平移動距離との相関関係

被験筋の EMG 平均振幅 (%MVC) と水平移動距離との間の相関係数を局面ごとに求め、表 2.12 に示す。中央跳躍において、腓腹筋との間に、沈み局面後半と上り局面前半で、有意な弱い負の相関 $r = -0.613$, $p < 0.05$ (図 2.20) と $r = -0.604$, $p < 0.05$ (図 2.21) が認められた。体幹においても、上り局面前半で僧帽筋との間に、弱い負の相関 $r =$

-0.589，上り局面後半で脊柱起立筋との間に弱い相関 $r=0.523$ が示された。それ以外の中央跳躍および後方跳躍の被験筋との間には有意な相関関係は認められなかった。

表 2.12 EMG 平均振幅 (%MVC) と水平移動距離との相関係数

沈み局面前半	胸鎖乳突筋	僧帽筋	腹直筋	脊柱起立筋	大腿直筋	大腿二頭筋	前脛骨筋	腓腹筋
中央跳躍	r -0.343	-0.211	-0.430	0.240	-0.301	0.230	-0.345	-0.447
	p 0.21	0.45	0.11	0.39	0.27	0.41	0.21	0.09
後方跳躍	r -0.183	0.162	-0.044	-0.175	-0.124	-0.139	0.295	0.451
	p 0.55	0.60	0.89	0.57	0.69	0.65	0.33	0.12
沈み局面後半	胸鎖乳突筋	僧帽筋	腹直筋	脊柱起立筋	大腿直筋	大腿二頭筋	前脛骨筋	腓腹筋
中央跳躍	r -0.167	-0.435	-0.389	0.099	0.009	0.008	-0.284 *	-0.613
	p 0.55	0.11	0.15	0.73	0.97	0.98	0.30	0.02
後方跳躍	r -0.160	0.456	-0.067	0.155	-0.253	-0.224	0.488	-0.311
	p 0.60	0.12	0.83	0.61	0.40	0.46	0.09	0.30
上り局面前半	胸鎖乳突筋	僧帽筋	腹直筋	脊柱起立筋	大腿直筋	大腿二頭筋	前脛骨筋	腓腹筋
中央跳躍	r -0.312 *	-0.589	-0.450	0.106	-0.084	0.198	-0.466 *	-0.604
	p 0.26	0.02	0.09	0.71	0.77	0.48	0.08	0.02
後方跳躍	r -0.032	0.323	-0.079	-0.154	0.052	-0.151	-0.255	-0.230
	p 0.92	0.28	0.80	0.62	0.86	0.62	0.40	0.45
上り局面後半	胸鎖乳突筋	僧帽筋	腹直筋	脊柱起立筋	大腿直筋	大腿二頭筋	前脛骨筋	腓腹筋
中央跳躍	r -0.308	-0.271	-0.270 *	0.523	-0.040	0.303	-0.290	-0.302
	p 0.26	0.33	0.33	0.05	0.89	0.27	0.30	0.27
後方跳躍	r 0.060	0.082	0.022	-0.439	0.011	-0.298	0.228	0.193
	p 0.84	0.79	0.94	0.1300	0.97	0.32	0.45	0.53

* $p < 0.05$

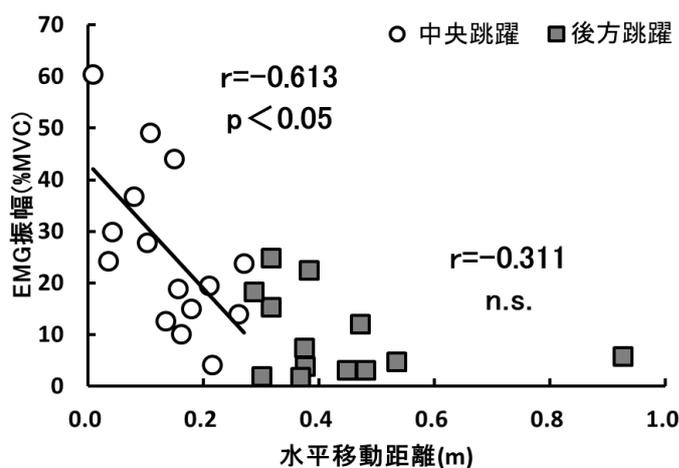


図 2.20 沈み局面後半における腓腹筋の筋活動と水平移動距離との関係

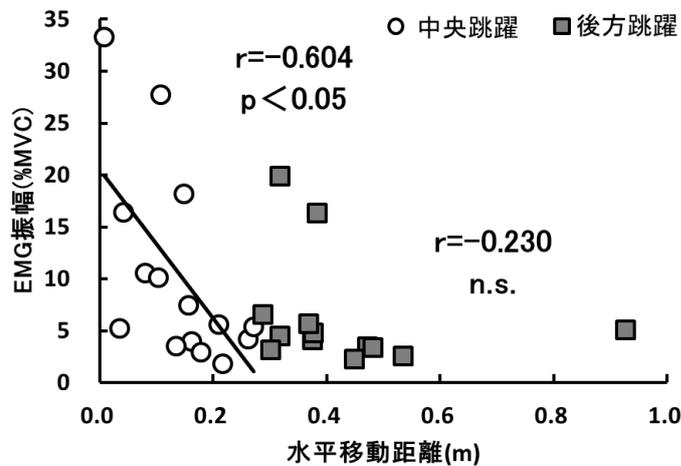


図 2.21 上り局面前半における腓腹筋の筋活動と水平移動距離との関係

2.5 考察

2.5.1 中央跳躍と後方跳躍の踏切動作

トランポリンのジャンプ (TJ) の跳躍高 H は、表 2.2 のように約 4 m 近い高さまで空中に上がっており、頂点の被験者の目線は、トランポリンベッドの高さ 1.15 m と被験者の平均身長 1.637 m を加えると、トランポリン器具を設置している地上面からは約 6.5 m まで高く跳び上がっている。アスリートはこのような高い跳躍高をコントロールしながら、着地がトランポリンベッドの中央領域 1.08 m × 1.08 m 内に収まるようにして跳ばなければならない。表 2.9 の着地領域の結果のように、常に中央領域で跳躍することは非常に難しい課題である。中央領域以外の端の領域で跳躍すると、器具外へ落下するリスクが高くなり、器具外へ落下した場合、重度な傷害が起こる可能性がある。中央跳躍することは、熟練度の高いアスリートでさえも高度な踏切動作の技術が必要であることがわかる。また、被験者毎の全 TJ の滞空時間と水平移動距離との間には有意な相関は認められなかった。これは辻本と松儀 (2015) との結果と一致した。被験者は高く跳ぶことと中央領域で跳ぶことの異なる二重課題を遂行しながら跳躍しなければならない。

中央跳躍と後方跳躍の踏切における下肢の動作では、両跳躍ともに股関節と膝関節は大きい屈曲位で着地してから、トランポリンベッドを下方に押し込むような伸展動作がみられた。着地時の股関節角度 (図 2.15) をみると、中央跳躍の方が後方跳躍よ

り 10 deg 程度大きいことを示した。股関節の角度によって、大腿二頭筋の発揮筋力は変わる(林と大西, 2014; Herzog et al., 1991; 石田ほか, 2007; Maffiuletti and Lepers., 2003)。そのため、着地時に筋力発揮しやすい股関節角度で屈曲位させておくことが、中央跳躍では求められると考えられる。先行研究では、開始の股関節の角度によって、スクワットジャンプでの跳躍高に変化があることを示している (Bobbert et al., 1996; 原ほか, 2008)。原ほか (2008) によると、膝関節を 90 deg に固定して、股関節の初期角度をそれぞれ個人の至適角度、最小伸展角度 (より屈曲した角度)、最大伸展角度で跳躍した結果、最小伸展角度 (より屈曲した角度) が最も高い跳躍高であった。TJ の踏切動作においても、着地から伸展動作が開始される時の股関節の角度が重要であると推察される。

沈み局面では、中央跳躍と後方跳躍の足関節は同じ背屈方向への動作をしていたが、沈み局面の腓腹筋および前脛骨筋の EMG 平均振幅 (%MVC) を比較すると、中央跳躍での腓腹筋の筋活動は後方跳躍よりも大きく、後方跳躍での前脛骨筋の筋活動は中央跳躍よりも大きかった (図 2.16, 図 2.17)。中央跳躍は腓腹筋による伸張性収縮をしており、後方跳躍は前脛骨筋による短縮性収縮をしていると推察される。中央跳躍の腓腹筋の伸張性収縮は、トランポリンベッドによって足関節が背屈方向へ押された結果、引き起こされたと考えられる。これまで、垂直跳びの反動動作における踏切時の伸張性収縮については、研究がなされている (小嶋, 1990; 深代, 1990)。着地時における活動筋が伸張性収縮することによって、生じたエネルギーは、その後の短縮性収縮時に再利用され、筋の増強作用が起こることを報告している (Komi, 1979; Van Ingen Schenau, 1984; Van Ingen Schenau et al., 1985; 深代, 2000)。しかし、垂直跳びの反動動作に利用されている伸張性収縮による効果は、TJ でも起きている可能性は考えられるが、本研究ではそこまでの実証は得られなかった。

中央跳躍の腓腹筋の筋活動と水平移動距離との間には相関関係が認められた (図 2.20, 図 2.21)。後方跳躍では、沈み局面で前脛骨筋が短縮性収縮することによって、腓腹筋の伸張性収縮を抑制している可能性がある。中央跳躍するには、前脛骨筋をリラックスさせて、腓腹筋の伸張性収縮を十分に活動させることが重要である。映像からは足関節を背屈動作する様子がみられるが、筋の収縮様式によって主働筋が異なることを示している。指導現場では、足関節の底屈動作でトランポリンベッドを強く蹴る (伊藤, 2008) ということが見受けられるが、足関節の背屈と腓腹筋の働きにも注

視して、指導していくことが大切であると考えられる。

2.5.2 キネマティクスデータの考察

アスリートは中央跳躍を長い滞空時間（高い跳躍高）で行わなければならない。滞空時間はトランポリンベッドから跳び上がる初速度で決まるため、上り局面速度との間に相関（ $r=0.778$, $p<0.01$ ）が強かった。跳び上がる初速度は、トランポリンベッドを深く沈めることで得られる（大林, 1998）。体重と沈み局面鉛直距離との間には相関（ $r=0.834$, $p<0.01$ ）は非常に強かったが、滞空時間と沈み局面鉛直距離との間にはそれほど強い相関（ $r=0.563$, $p<0.01$ ）ではなかった。一方、滞空時間と沈み局面速度との間には非常に強い相関（ $r=0.856$, $p<0.01$ ）が認められた。つまり、トランポリンベッドの長い沈み局面鉛直距離を短い踏切時間で沈められるような、速い踏切速度が長い滞空時間（高い跳躍高）を得られることが示唆された。伊藤ほか（2000）によると、トランポリンベッドを深く沈めるためには、高い位置から自由落下した質量によるものだけではなく、踏切動作による要因も関係していると述べている。熊山と山田（2012）は沈み込み距離を長くするための要因は、トランポリンベッドに着地する前後での選手の姿勢にあると報告している。弾力性のあるトランポリンベッドは表 2.6 のように、深く沈めていくほど抵抗が大きい終末負荷がかかるため、踏切動作では股関節と膝関節の伸展動作による下方深くまで押し込みが必要である。

2.6 まとめ

アスリートにおける中央跳躍と後方跳躍の踏切動作について、得られた結果・考察を以下に示す。

- 1) TJ の踏切動作は、足関節の背屈位で、着地から股関節と膝関節の伸展動作によってトランポリンベッドの押し込みを行っている。
- 2) 中央跳躍するには、大腿二頭筋の十分な筋出力ができるような股関節の屈曲位の角度で着地することである。
- 3) 中央跳躍の沈み局面後半および上り局面前半における、腓腹筋の筋活動と水平移動距離との間には相関関係が認められた。
- 4) 中央跳躍するには、沈み局面で前脛骨筋をリラックスさせて、腓腹筋が伸張性収縮しやすいようにすることである。
- 5) 熟練度の高いアスリートでもトランポリンベッドの中央領域のまま高く跳躍し続

けることは非常に難しい課題である。

- 6) 水平移動距離と滞空時間や沈み局面鉛直距離などのキネマティクスデータとの間には、相関関係は認められなかった。
- 7) 長い滞空時間を得るには、トランポリンベッドを速く沈める（トランポリンベッドの深い沈み局面鉛直距離と短い沈み局面時間）踏切動作を行うことである。
- 8) 長い滞空時間を得るには、体重によるトランポリンベッドの深い沈み込みの他に、踏切動作によって押し込むことも重要である。

第3章 トランポリン未経験者と経験者によるトランポリンのジャンプとリバウンドジャンプとの違いについて

3.1 緒言

第2章ではトランポリンアスリートの踏切動作を示した。一方、傷害の多くはトランポリンの運動に慣れていないトランポリン未経験者や経験の浅い初心者である。踏切動作を誤り、トランポリン器具外に落下することで発生することがある。そこで、トランポリン未経験者と経験者とのトランポリンのジャンプ (Trampoline Jump 以下, TJ) と床面上でのリバウンドジャンプ (Rebound Jump 以下, RJ) の踏切動作を足底圧と下肢関節の角度について比較検討を行い、TJの踏切動作について明らかにすることを目的とした。

3.2 方法

3.2.1 対象

被験者はトランポリン未経験者、男性9名 B1~B9 (年齢 30.5 ± 1.5 歳, 身長 168.2 ± 4.1 cm, 体重 70.2 ± 5.1 kg, トランポリン歴0年) とトランポリン経験者、男性9名 C1~C9 (年齢 28.3 ± 2.8 歳, 身長 171.7 ± 2.2 cm, 体重 64.5 ± 2.2 kg, トランポリン歴 7.8 ± 1.2 年) とした。実験参加に先立ち、被験者へ本実験の詳細を神戸大学大学院人間発達環境学研究科の研究倫理委員会 (承認番号 No. 247) の実験計画書を用いて十分に説明をした。その後被験者の同意を文書で得た。

3.2.2 測定方法

実験に使用するトランポリン器具は、安全面を考慮して競技用器具ではなく、日本体操協会公認のセノー株式会社製普及型 (縦 4.64 m, 横 2.76 m, 高さ 1.00 m) とした。測定開始前、被験者には安全を考慮して、トランポリンの運動に慣れさせるための練習をさせた。試技1は被験者に床面上でRJを連続20本行わせた。十分な休息をとった後、試技2はトランポリン器具上で立位静止から真っすぐ跳躍するTJを連続20本行わせた。トランポリン競技は1分間以内の予備跳躍の後に続けて演技を10本実施して合計15本以上跳躍するので、本実験試技のジャンプも20本とした。なお、安全面に配慮してTJの跳躍時の腕はバランスをとるために固定の指示はしなかった。同様にRJも同じ条件下で腕の固定の指示はしなかった。また、被験者に測定用のケー

ブルをつなげたまま試技を行うため、トランポリンベッドの中央の位置で姿勢を崩さずに跳躍して、なるべく高く跳ぶように指示した。試技は十分なウォーミングアップの後に行わせた。

3.2.3 測定項目

ビデオカメラ（CASIO 製：EX - F1）1 台で 300fps，シャッタースピード 1/1000 s で踏切動作を撮影した。図 3.1 のように，ビデオカメラは TJ の試技ではトランポリンのベッド面と同じ高さ 1.00 m でトランポリンベッドの中央の側方 2.38 m 離れた位置に，RJ の試技では高さ 0.47 m で被験者の側方 2.30 m 離れた位置に設置した。踏切時，トランポリンのベッド越しの身体をより鮮明に撮影するために，ビデオカメラと同じ高さに照明機材（Andoer 製：228 球 LED ライト）2 台を設置した。なお，映像は二次元解析ソフト（DKH 社製：フレームディアスⅣ）を用いて二次元 4 点実長換算法による分析を行った。本研究における座標系は水平方向を X 軸，鉛直上方向を Y 軸，X 軸と Y 軸に垂直な方向を Z 軸とした。キャリブレーションのリファレンスポイントと基準長は X 軸方向のカメラ側のトランポリンベッドの両端（3.74m）とした。一人の検者が 1.0m の真っ直ぐな棒を持ってトランポリンベッドの中央に立ち，水平器を利用して棒の長軸を X 軸方向の水平と Y 軸方向の垂直に傾けて，もう一人の検者がそれぞれ撮影した。その映像をもとに，棒の両端をコントロールポイントとしてデジタル化し，X 軸方向と Y 軸方向の歪みを自動補正した。リファレンスポイントおよびコントロールポイントの実座標と二次元 4 点実長換算法による算出座標との誤差は 1～2mm であった。導出されたデータはバターワース型ローパスフィルタにより遮断周波数 6Hz で平滑化を行った。

さらに，F-SCANⅡシステム（ニッタ株式会社）を用いて足底圧を測定した。被験者の足底の靴下の外側に超薄型センサーシート（厚さ 0.15mm，センシングポイント 955 点，分解能 5.08mm）を薄い両面テープで接着した。超薄型センサーシートと PC に繋ぐケーブルは被験者の腰にマジックテープで束ねた。試技前，F-SCANⅡシステムに被験者の体重を入力し，ステップキャリブレーションを片足ずつ行った。試技中は検者が後方よりケーブルを持って，被験者の跳躍に支障がないように操作した。足底圧の図 3.2 のように測定対象は，拇趾（Hallux），第 2-5 趾（2nd-5th toes），拇趾球（Ball of the foot），第 2-3 中足骨頭（2nd-3rd metatarsal head），第 4-5 中足骨頭（4-5th metatarsal head），第 5 中足骨粗面（Tuberosity of fifth metatarsal），および踵（Heel）

の計七ヶ所とした。試技中の足底圧はPC にサンプリング周波数 300 Hz で収録した。

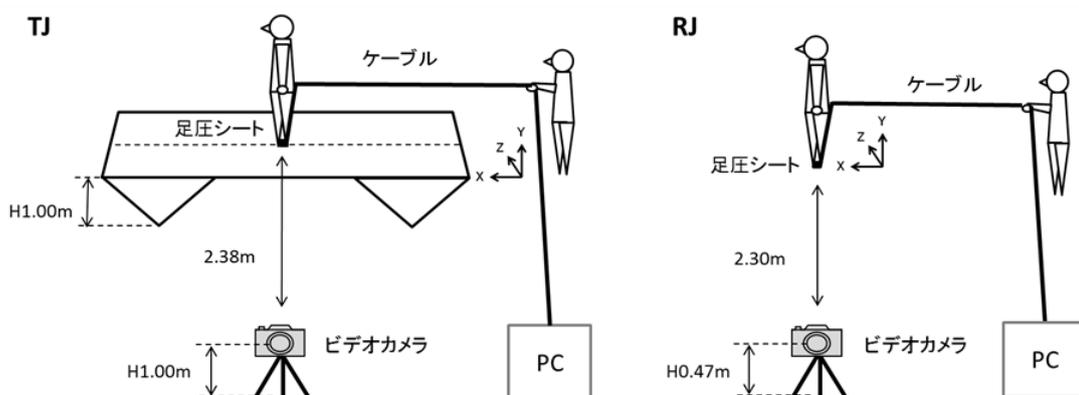


図 3.1 実験の測定設置 (左 : TJ, 右 : RJ)

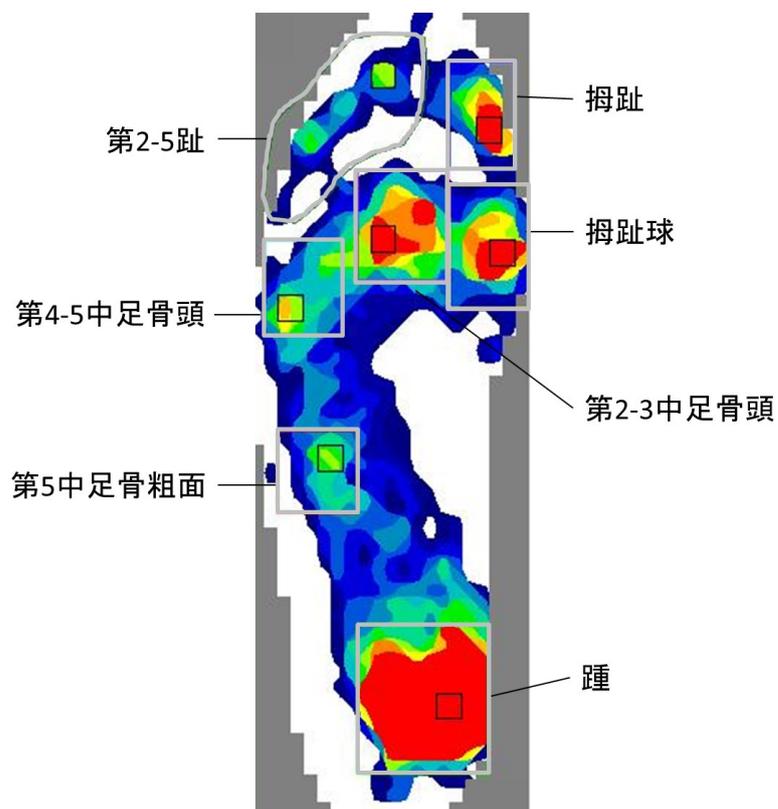


図 3.2 測定対象とした七ヶ所の足底圧

3.2.4 踏切局面

図 3.3 のように、TJ と RJ の踏切動作の局面は映像より分けた。TJ では、被験者の足部がトランポリンベッドに着地してからトランポリンベッドが最も沈み込んだ最下

点までを沈み局面，最下点から足部がトランポリンベッドを離地するまでを上り局面に分割した。RJ では，被験者の足部が床面に着地してから膝関節角度の最大屈曲を示した時点までを沈み局面，膝関節角度の最大屈曲から足部がトランポリンベッドを離地するまでを上り局面とした。

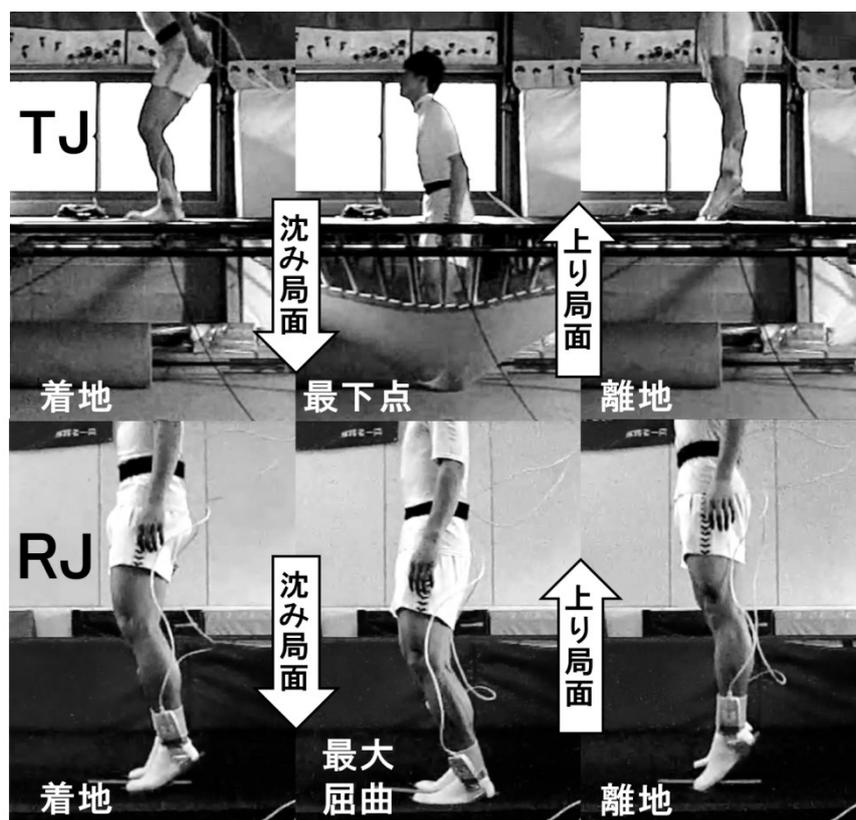


図 3.3 TJ と RJ の踏切動作の局面分け

3.2.5 算出項目

各試技は立位静止から真っすぐに 20 本の跳躍をさせた。その内，6 本目から 15 本目までの 10 本の左足を分析対象として平均値を算出した。

滞空時間 t (s)，着地から最下点まで（沈み局面）の踵の鉛直距離 L (m)，沈み局面時間 t_1 (s) と最下点から離地までの上り局面時間 t_2 (s) および着地から離地までの接地時間 t_1+t_2 (s) は，二次元解析ソフトを用いて求めた。なお，参考値として跳躍高 H (m) を式 (2. 1) で算出した。

第 2 章の図 2. 7 と同じように，撮影した映像をもとに二次元解析ソフトより，肩峰，

大転子，膝関節外側点，腓骨外果，踵骨，第 5 中足骨頭をデジタルポイントし，矢状面内における股関節角度，膝関節角度，足関節角度を求めた．股関節角度は肩峰から大転子を結ぶ延長線を開始肢位 0 deg として，大転子と膝関節外側点を結ぶ線とのなす角度とし，膝関節角度は大転子から膝関節外側点を結ぶ延長線を開始肢位 0 deg として，膝関節外側点から腓骨外果を結ぶ線とのなす角度とした（米本ほか，1995）．股関節と膝関節の開始肢位 0 deg に対して屈曲を正 (+)，伸展を負 (-) の角度とした．

足関節角度は腓骨外果－踵骨－第 5 中足骨頭のなす角度とし，直角を開始肢位 0 deg とした．足関節の開始肢位 0 deg に対して背屈を正 (+)，底屈を負 (-) の角度とした．足部セグメント角度は踵骨を通る水平軸－踵骨－第 5 中足骨頭のなす角度とし，踵骨を通る水平軸を開始肢位 0 deg とした．足部セグメント角では，踵を通る水平軸（開始肢位 0 de）より上向きにある角度を正 (+)，下向きにある角度を負 (-) とした．

収録した足底圧のデータを F-SCAN II システムのソフトで，対象の七か所を範囲指定して，サンプリング周期ごとの圧力のピーク値を自動的に得た．沈み局面と上り局面の時間をそれぞれ 100%に正規化して，20%毎にした全 90 本の平均値±標準偏差を算出し比較した．

3.2.6 統計処理

被験者群内における滞空時間，下肢関節の角度および足底圧などを比較するためには対応のある t 検定を行い，被験者群間における各データを比較するためには対応のない t 検定を行った．全ての検定の有意水準は 5 %未満とした．

3.3 結果

3.3.1 滞空時間 t と跳躍高 H

未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の滞空時間を表 3.1 に，RJ は表 3.2 に示した．跳躍高は式 (2.1) により算出して，被験者毎の 10 本の平均値を TJ と RJ について表 3.3 に示した．被験者毎の TJ の滞空時間の平均値は RJ より長かった．TJ の滞空時間の変動係数（以下，CV 値）は最大 8.5%～最小 1.7%，RJ では最大 8.6%～最小 2.4%と小さかった．参考としての跳躍高は滞空時間の 2 乗に比例しているため，TJ の CV 値は最大 16.4%～最小 3.4%，RJ では最大 17.5%～最小 4.8%と少し高かった．被験者毎の体重と滞空時間の平均値との間には相関 ($r=-0.500$, not significant) は認められなかった．

全 90 本の滞空時間の平均値±標準偏差は, TJ が 0.499 ± 0.106 s, RJ が 0.300 ± 0.072 s で TJ の方が約 1.6 倍長く, 跳躍高の平均値は, TJ が 0.319 ± 0.136 m, RJ が 0.117 ± 0.051 m で TJ の方が約 2.7 倍高いことが認められた ($p < 0.01$).

表 3.1 未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の滞空時間 t (s)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1	0.457	0.367	0.433	0.333	0.443	0.614	0.637	0.477	0.484
2	0.477	0.394	0.444	0.337	0.470	0.617	0.647	0.503	0.450
3	0.473	0.373	0.443	0.377	0.494	0.613	0.654	0.526	0.464
4	0.483	0.377	0.490	0.367	0.490	0.607	0.664	0.524	0.494
5	0.487	0.380	0.533	0.377	0.487	0.603	0.683	0.517	0.496
6	0.483	0.373	0.533	0.377	0.493	0.584	0.727	0.533	0.493
7	0.480	0.363	0.507	0.343	0.497	0.610	0.753	0.526	0.453
8	0.513	0.347	0.533	0.360	0.460	0.623	0.726	0.527	0.466
9	0.537	0.313	0.537	0.337	0.463	0.617	0.737	0.563	0.487
10	0.530	0.327	0.547	0.337	0.413	0.603	0.753	0.563	0.523
平均	0.492	0.361	0.500	0.355	0.471	0.609	0.698	0.526	0.481
標準偏差	0.025	0.024	0.042	0.018	0.026	0.010	0.043	0.024	0.021
CV	5.0%	6.6%	8.5%	5.0%	5.5%	1.7%	6.2%	4.6%	4.5%

表 3.2 未経験者群における被験者毎の RJ の各 10 本の滞空時間 t (s)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1	0.337	0.200	0.223	0.203	0.353	0.367	0.353	0.247	0.297
2	0.347	0.207	0.254	0.187	0.364	0.373	0.370	0.247	0.307
3	0.353	0.203	0.224	0.186	0.357	0.357	0.373	0.247	0.327
4	0.353	0.177	0.237	0.233	0.376	0.367	0.337	0.263	0.356
5	0.350	0.206	0.243	0.187	0.376	0.393	0.357	0.270	0.337
6	0.364	0.213	0.243	0.186	0.390	0.373	0.354	0.256	0.353
7	0.364	0.206	0.223	0.173	0.383	0.387	0.363	0.274	0.360
8	0.353	0.203	0.237	0.217	0.380	0.393	0.347	0.273	0.324
9	0.367	0.207	0.237	0.207	0.373	0.390	0.360	0.274	0.327
10	0.353	0.207	0.234	0.197	0.387	0.393	0.373	0.270	0.363
平均	0.354	0.203	0.235	0.198	0.374	0.379	0.359	0.262	0.335
標準偏差	0.009	0.009	0.010	0.017	0.012	0.013	0.011	0.011	0.022
CV	2.4%	4.6%	4.0%	8.6%	3.1%	3.4%	3.1%	4.3%	6.5%

表 3.3 未経験者群における被験者毎の TJ と RJ の 10 本の平均跳躍高 H (m)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
TJ	平均	0.297	0.161	0.309	0.154	0.273	0.455	0.599	0.340	0.284
	標準偏差	0.030	0.021	0.051	0.016	0.029	0.015	0.074	0.031	0.025
	CV	10.2%	12.8%	16.4%	10.1%	10.6%	3.4%	12.4%	9.2%	9.0%
RJ	平均	0.154	0.051	0.068	0.048	0.171	0.176	0.158	0.084	0.138
	標準偏差	0.007	0.004	0.006	0.008	0.011	0.012	0.010	0.007	0.018
	CV	4.8%	8.7%	8.1%	17.5%	6.2%	6.7%	6.2%	8.5%	12.8%

経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の滞空時間を表 3.4, RJ は表 3.5 に示した。跳躍高は式 (2.1) により算出して, 被験者毎の 10 本の平均値を TJ と RJ について表 3.6 に示した。被験者毎の TJ の滞空時間の平均値は RJ より長かった。TJ の滞空時間の CV 値は最大で 2.5%, RJ は最大で 5.1% と小さかった。参考としての跳躍高は滞空時間の 2 乗に比例しているため, TJ の CV 値は最大で 4.9%, RJ は最大で 10.2% と少し高かった。被験者毎の体重と滞空時間の平均値との間には相関 ($r=0.199$, not significant) は認められなかった。

滞空時間の全 90 本の平均値±標準偏差は, TJ が 0.976 ± 0.073 s, RJ が 0.333 ± 0.078 s で, TJ の方が約 3 倍長く, 跳躍高の平均値は TJ が 1.173 ± 0.165 m, RJ が 0.143 ± 0.062 m で, TJ の方が約 8 倍高いことが認められた ($p < 0.01$)。

表 3.4 経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の滞空時間 t (s)

No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0.943	0.783	0.993	0.994	0.963	0.993	0.967	1.107	0.997
2	0.954	0.782	1.007	1.007	0.973	0.964	0.990	1.073	0.996
3	0.967	0.793	1.017	0.993	0.950	0.990	0.993	1.083	0.970
4	0.973	0.797	1.027	0.987	0.934	1.014	0.983	1.070	0.953
5	0.970	0.787	1.020	1.013	0.972	1.016	0.957	1.094	0.967
6	0.973	0.794	1.012	1.024	0.976	1.043	0.960	1.053	0.970
7	0.953	0.817	1.003	1.004	0.994	1.034	0.962	1.083	0.973
8	0.957	0.810	1.007	1.004	0.993	1.043	0.970	1.057	0.977
9	0.970	0.810	1.014	1.007	1.007	1.020	0.987	1.016	0.980
10	0.957	0.773	1.020	1.010	1.017	0.993	0.997	1.053	0.953
平均	0.962	0.795	1.012	1.004	0.978	1.011	0.977	1.069	0.974
標準偏差	0.010	0.013	0.009	0.010	0.024	0.024	0.014	0.024	0.014
CV	1.0%	1.7%	0.9%	1.0%	2.5%	2.4%	1.5%	2.3%	1.5%

表 3.5 経験者群における被験者毎の RJ の各 10 本の滞空時間 t (s)

No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0.423	0.247	0.313	0.406	0.356	0.210	0.226	0.373	0.390
2	0.413	0.240	0.310	0.417	0.344	0.217	0.230	0.383	0.366
3	0.427	0.253	0.310	0.404	0.377	0.216	0.247	0.386	0.364
4	0.397	0.246	0.326	0.437	0.353	0.223	0.234	0.370	0.367
5	0.423	0.263	0.300	0.466	0.363	0.207	0.247	0.367	0.383
6	0.413	0.263	0.294	0.463	0.363	0.216	0.247	0.367	0.377
7	0.420	0.256	0.284	0.463	0.383	0.223	0.253	0.400	0.377
8	0.416	0.244	0.306	0.457	0.394	0.223	0.233	0.393	0.386
9	0.416	0.250	0.317	0.443	0.396	0.224	0.237	0.377	0.383
10	0.413	0.250	0.296	0.434	0.387	0.213	0.253	0.357	0.376
平均	0.416	0.251	0.306	0.439	0.372	0.217	0.241	0.377	0.377
標準偏差	0.008	0.007	0.012	0.023	0.017	0.006	0.009	0.013	0.008
CV	1.9%	2.9%	3.8%	5.1%	4.6%	2.6%	3.9%	3.3%	2.2%

表 3.6 経験者群における被験者毎の TJ と RJ の 10 本の平均跳躍高 H (m)

No.		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
TJ	平均	1.133	0.774	1.255	1.236	1.172	1.253	1.168	1.401	1.161
	標準偏差	0.023	0.026	0.023	0.025	0.058	0.060	0.034	0.063	0.034
	CV	2.0%	3.4%	1.8%	2.0%	4.9%	4.8%	2.9%	4.5%	2.9%
RJ	平均	0.212	0.077	0.115	0.237	0.170	0.058	0.071	0.175	0.174
	標準偏差	0.008	0.005	0.009	0.024	0.016	0.003	0.006	0.012	0.008
	CV	3.8%	5.8%	7.6%	10.2%	9.3%	5.2%	7.7%	6.7%	4.5%

未経験者群と経験者群における被験者毎の TJ と RJ の滞空時間の 10 本の平均値の比較を図 3.4 に示した。経験者群の TJ の滞空時間は未経験者群よりも長かった。TJ の CV 値では未経験者群で最大 8.5% (表 3.1), 経験者群では最大 2.5% (表 3.4) であり, 経験者群の方が小さかった。TJ90 本の滞空時間の平均値は, 未経験者群よりも経験者群の方が有意 ($p < 0.01$) に長いことが認められた。

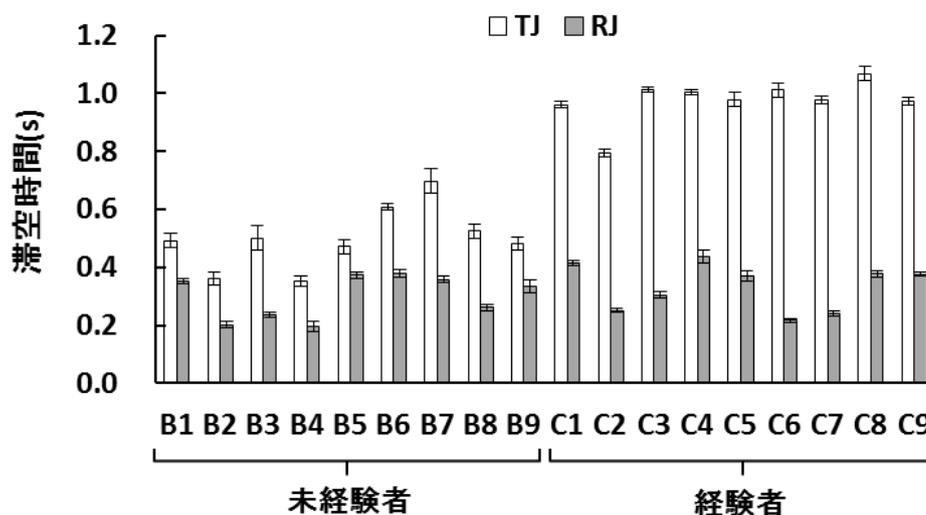


図 3.4 未経験者と経験者の被験者毎における TJ と RJ の滞空時間の平均値

3.3.2 沈み局面の鉛直距離 L

未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の着地から最下点までの沈み局面鉛直距離 L を表 3.7 に示した。全 90 本の沈み局面鉛直距離の平均値±標準偏差は, 0.571 ±0.107 m であった。被験者毎の CV 値は最大 13.4%~最小 4.9%と比較的小さかった。また, 図 3.5 のように被験者毎の体重と沈み局面鉛直距離の平均値との間には, 相関

($r=0.609$, not significant) は認められなかった。

表 3.7 未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の沈み局面鉛直距離 L (m)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1	0.475	0.614	0.531	0.612	0.612	0.622	0.643	0.464	0.446
2	0.414	0.494	0.525	0.636	0.676	0.613	0.687	0.513	0.386
3	0.507	0.521	0.549	0.674	0.638	0.591	0.843	0.533	0.417
4	0.569	0.502	0.480	0.656	0.677	0.585	0.803	0.529	0.497
5	0.558	0.509	0.519	0.748	0.643	0.656	0.616	0.458	0.417
6	0.554	0.458	0.515	0.708	0.622	0.541	0.695	0.510	0.494
7	0.538	0.414	0.524	0.684	0.622	0.481	0.692	0.507	0.474
8	0.513	0.583	0.494	0.676	0.683	0.583	0.736	0.419	0.446
9	0.570	0.489	0.510	0.631	0.774	0.636	0.719	0.542	0.384
10	0.541	0.379	0.458	0.788	0.752	0.536	0.831	0.562	0.427
平均	0.524	0.496	0.511	0.681	0.670	0.584	0.726	0.504	0.439
標準偏差	0.047	0.067	0.025	0.052	0.052	0.050	0.073	0.042	0.038
CV	8.9%	13.4%	4.9%	7.6%	7.8%	8.5%	10.1%	8.3%	8.7%

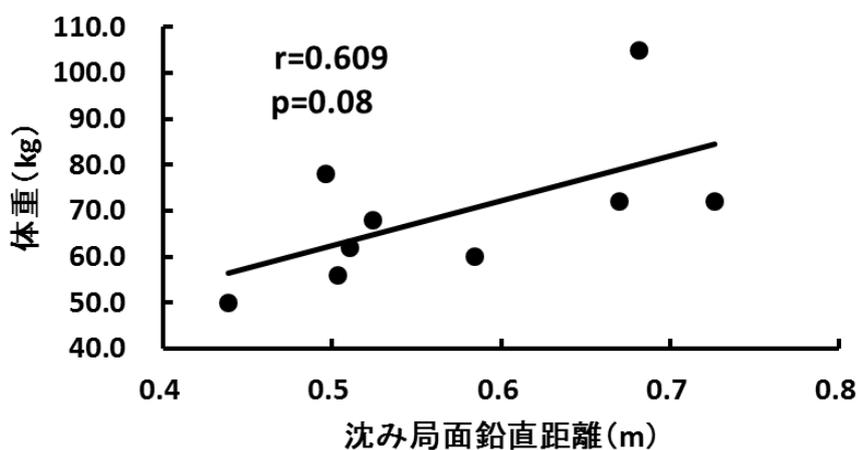


図 3.5 未経験者群における被験者毎の体重と沈み局面鉛直距離の平均値との関係

経験者群における被験者毎の各 10 本の TJ の着地から最下点までの沈み局面鉛直距離 L を表 3.8 に示した。全 90 本の沈み局面鉛直距離の平均値±標準偏差は、 0.749 ± 0.072 m であった。被験者毎の CV 値は最大 10.6%～最小 1.4% と比較的小さかった。図 3.6 のように、被験者毎の体重と滞空時間の平均値との間には相関 ($r=0.248$, not significant) は認められなかった。TJ90 本の沈み局面鉛直距離の平均値は、未経験者群よりも経験者群の方が有意 ($p < 0.01$) に長いことが認められた。

表 3.8 経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の沈み局面鉛直距離 L (m)

No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0.681	0.690	0.751	0.634	0.864	0.770	0.836	0.750	0.704
2	0.675	0.709	0.826	0.636	0.906	0.784	0.679	0.730	0.779
3	0.819	0.745	0.820	0.691	0.826	0.770	0.767	0.669	0.848
4	0.751	0.729	0.696	0.655	0.869	0.767	0.793	0.727	0.855
5	0.719	0.846	0.770	0.619	0.758	0.784	0.782	0.624	0.731
6	0.827	0.756	0.830	0.670	0.795	0.767	0.697	0.726	0.796
7	0.635	0.720	0.885	0.580	0.817	0.793	0.580	0.696	0.845
8	0.687	0.759	0.767	0.703	0.796	0.782	0.618	0.735	0.761
9	0.756	0.776	0.810	0.685	0.802	0.767	0.705	0.733	0.773
10	0.688	0.704	0.821	0.743	0.904	0.755	0.761	0.587	0.793
平均	0.724	0.743	0.798	0.661	0.834	0.774	0.722	0.698	0.788
標準偏差	0.060	0.043	0.050	0.044	0.047	0.011	0.077	0.051	0.048
CV	8.3%	5.8%	6.3%	6.7%	5.7%	1.4%	10.6%	7.4%	6.1%

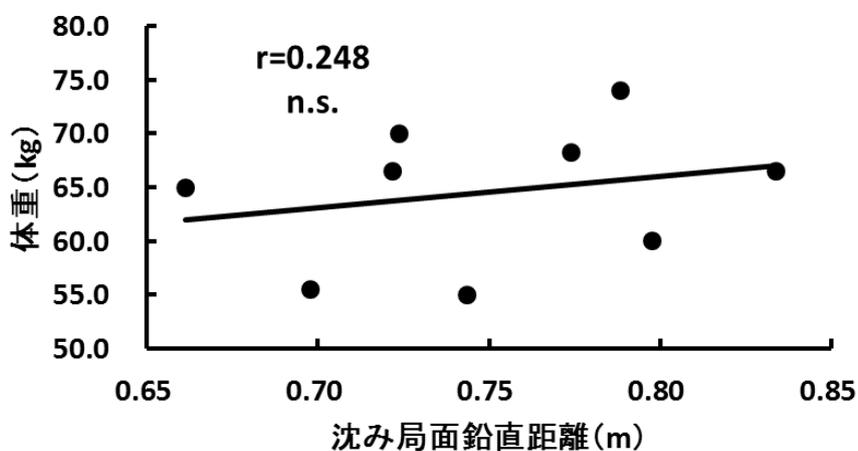


図 3.6 経験者群における被験者毎の体重と沈み局面鉛直距離の平均値との関係

3.3.3 沈み局面時間 t_1 と上り局面時間 t_2 および接地時間 t_1+t_2

未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の沈み局面時間 t_1 と上り局面時間 t_2 を表 3.9 と表 3.10 に示した。全 90 本の沈み局面時間の平均値±標準偏差は、 0.219 ± 0.027 s、上り局面時間の平均値±標準偏差は、 0.212 ± 0.024 s であった。沈み局面時間の平均値は、上り局面時間より長かった。しかし、被験者 B1 と B3 の沈み局面時間の平均値は、上り局面時間より短かった。被験者毎の沈み局面時間および上り局面時間の CV 値は最大で 5.5% と 5.4% で小さかった。

表 3.9 未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の沈み局面時間 t_1 (s)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1	0.213	0.260	0.230	0.277	0.233	0.173	0.207	0.197	0.217
2	0.217	0.250	0.224	0.277	0.227	0.193	0.217	0.203	0.187
3	0.207	0.257	0.207	0.273	0.233	0.187	0.220	0.200	0.210
4	0.217	0.250	0.207	0.267	0.220	0.200	0.210	0.193	0.207
5	0.200	0.247	0.206	0.260	0.227	0.187	0.203	0.207	0.206
6	0.217	0.243	0.210	0.260	0.217	0.217	0.197	0.203	0.197
7	0.200	0.263	0.207	0.243	0.223	0.190	0.196	0.204	0.203
8	0.224	0.263	0.202	0.272	0.217	0.190	0.203	0.197	0.200
9	0.204	0.286	0.197	0.267	0.227	0.187	0.200	0.200	0.203
10	0.210	0.263	0.190	0.273	0.220	0.190	0.210	0.187	0.197
平均	0.211	0.258	0.208	0.267	0.224	0.191	0.206	0.199	0.203
標準偏差	0.008	0.012	0.011	0.010	0.006	0.011	0.008	0.006	0.008
CV	3.6%	4.5%	5.4%	3.7%	2.6%	5.5%	3.7%	2.8%	3.9%

表 3.10 未経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の上り局面時間 t_2 (s)

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1	0.224	0.243	0.216	0.264	0.200	0.194	0.213	0.203	0.203
2	0.223	0.236	0.217	0.276	0.197	0.186	0.197	0.193	0.193
3	0.227	0.230	0.230	0.257	0.193	0.196	0.207	0.196	0.196
4	0.233	0.240	0.220	0.254	0.207	0.183	0.206	0.196	0.196
5	0.234	0.237	0.207	0.267	0.206	0.183	0.217	0.190	0.190
6	0.220	0.233	0.200	0.256	0.207	0.177	0.200	0.193	0.193
7	0.234	0.223	0.207	0.263	0.203	0.187	0.197	0.187	0.187
8	0.203	0.220	0.197	0.263	0.207	0.190	0.203	0.200	0.200
9	0.216	0.247	0.197	0.267	0.204	0.177	0.196	0.194	0.196
10	0.207	0.223	0.203	0.244	0.204	0.177	0.176	0.193	0.193
平均	0.222	0.233	0.209	0.261	0.203	0.185	0.201	0.195	0.195
標準偏差	0.010	0.009	0.010	0.008	0.004	0.007	0.011	0.004	0.004
CV	4.6%	3.7%	5.0%	3.2%	2.2%	3.5%	5.4%	2.3%	2.3%

未経験者群の TJ と RJ における被験者毎の着地から離地までの接地時間 t_1+t_2 (s) の平均値を表 3.11 に示した。TJ と RJ の接地時間の CV 値は最大で 4.4%と 7.0%と比較的小さかった。全 90 本の接地時間の平均値±標準偏差は、TJ では 0.430 ± 0.048 s , RJ では 0.212 ± 0.044 s であった。

表 3.11 未経験者群の TJ と RJ における被験者毎の着地から離地までの
接地時間 t_1+t_2 (s) の平均値

No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
RJ	平均	0.208	0.243	0.292	0.247	0.191	0.156	0.191	0.227	0.154
	標準偏差	0.013	0.004	0.013	0.017	0.012	0.008	0.008	0.011	0.007
	CV	6.5%	1.8%	4.3%	7.0%	6.4%	5.3%	4.0%	4.6%	4.8%
TJ	平均	0.433	0.491	0.417	0.528	0.427	0.376	0.408	0.394	0.397
	標準偏差	0.009	0.015	0.018	0.013	0.004	0.009	0.013	0.005	0.011
	CV	2.1%	3.1%	4.4%	2.4%	0.9%	2.3%	3.2%	1.4%	2.6%

経験者群における被験者毎の各 10 本の TJ の沈み局面時間 t_1 と上り局面時間 t_2 を表 3.12 と表 3.13 に示した。全 90 本の沈み局面時間の平均値±標準偏差は、 0.149 ± 0.013 s，上り局面時間の平均値±標準偏差は、 0.163 ± 0.011 s であり，沈み局面時間の方が短かった。被験者毎の沈み局面時間の CV 値は最大 9.5%～最小 2.3%，上り局面時間では最大 8.6%～最小 1.7%と小さかった。

表 3.12 経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の沈み局面時間 t_1 (s)

No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0.157	0.174	0.150	0.155	0.147	0.140	0.137	0.147	0.136
2	0.154	0.183	0.150	0.157	0.137	0.156	0.153	0.144	0.157
3	0.150	0.156	0.150	0.154	0.160	0.163	0.140	0.133	0.150
4	0.150	0.173	0.147	0.154	0.147	0.133	0.150	0.137	0.143
5	0.150	0.173	0.144	0.150	0.143	0.123	0.150	0.120	0.140
6	0.140	0.177	0.147	0.150	0.153	0.136	0.156	0.134	0.160
7	0.146	0.160	0.144	0.147	0.157	0.140	0.147	0.137	0.157
8	0.143	0.164	0.130	0.153	0.150	0.130	0.126	0.143	0.153
9	0.143	0.170	0.143	0.160	0.163	0.127	0.126	0.143	0.160
10	0.146	0.186	0.144	0.154	0.153	0.120	0.150	0.120	0.163
平均	0.148	0.172	0.145	0.153	0.151	0.137	0.144	0.136	0.152
標準偏差	0.005	0.009	0.006	0.004	0.007	0.013	0.010	0.009	0.009
CV	3.4%	5.3%	3.9%	2.3%	5.0%	9.5%	7.1%	6.6%	5.8%

表 3.13 経験者群における被験者毎の TJ の各 10 本の上り局面時間 t_2 (s)

No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	0.170	0.173	0.170	0.160	0.150	0.176	0.153	0.150	0.160
2	0.174	0.173	0.166	0.157	0.153	0.177	0.163	0.150	0.177
3	0.174	0.177	0.163	0.166	0.170	0.167	0.166	0.140	0.160
4	0.170	0.176	0.164	0.160	0.150	0.153	0.170	0.157	0.154
5	0.183	0.173	0.157	0.166	0.170	0.137	0.160	0.136	0.173
6	0.177	0.176	0.164	0.160	0.174	0.154	0.160	0.163	0.177
7	0.166	0.167	0.160	0.160	0.170	0.150	0.173	0.143	0.166
8	0.177	0.174	0.163	0.160	0.170	0.150	0.156	0.157	0.176
9	0.186	0.170	0.160	0.160	0.160	0.160	0.147	0.156	0.176
10	0.164	0.170	0.166	0.159	0.153	0.137	0.167	0.140	0.177
平均	0.174	0.173	0.163	0.161	0.162	0.156	0.162	0.149	0.170
標準偏差	0.007	0.003	0.003	0.003	0.009	0.013	0.008	0.009	0.008
CV	3.8%	1.7%	2.1%	1.7%	5.7%	8.6%	4.7%	5.8%	4.9%

経験者群の TJ と RJ における着地から離地までの接地時間 t_1+t_2 (s) の平均値を表 3.14 に示した。TJ と RJ の接地時間 CV 値は最大で 8.5%と 5.9%と比較的小さかった。全 90 本の接地時間の平均値±標準偏差は，TJ では 0.312 ± 0.022 s，RJ では 0.179 ± 0.025 s であった。

表 3.14 経験者群の TJ と RJ における被験者毎の着地から離地までの
接地時間 t_1+t_2 (s) の平均値

	No.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
RJ	平均	0.200	0.162	0.165	0.152	0.148	0.203	0.217	0.200	0.166
	標準偏差	0.009	0.003	0.010	0.004	0.007	0.007	0.008	0.006	0.004
	CV	4.7%	1.7%	5.9%	2.9%	4.5%	3.6%	3.8%	3.0%	2.7%
TJ	平均	0.322	0.345	0.308	0.314	0.313	0.293	0.305	0.285	0.322
	標準偏差	0.007	0.009	0.008	0.004	0.014	0.025	0.016	0.016	0.016
	CV	2.2%	2.7%	2.4%	1.2%	4.4%	8.5%	5.3%	5.6%	4.9%

3.3.4 下肢関節の角度変化

未経験者における股関節と膝関節および足関節と足部セグメントの角度変化の例を図 3.7 および図 3.8 に示した。着地から離地までに要した時間を 100 % として換算し正規化した。股関節の RJ と TJ とともにほぼ同じ屈曲位で着地し、その後 RJ では、わずかに屈曲してから伸展していたが、TJ では着地時の屈曲位のままで、ほぼ一定であった。RJ の膝関節では前半に大きく屈曲して、後半から伸展していた。TJ では RJ よりも大きい屈曲位で着地した後、徐々に伸展していた。

足関節について、両跳躍ともに底屈位で着地してから、前半で大きく背屈し、後半では底屈していた。背屈の角度は終始、TJ の方が大きかった。足部セグメント角について、両跳躍とも負の角度内で変化をしており、着地ではつま先側（第 5 中足骨頭）が踵を通る水平軸よりも下向きにあり、徐々に水平 0 deg 近くまで上がって、その後離地まで下向きであった。水平 0 deg により近づいたのは TJ の方であった。

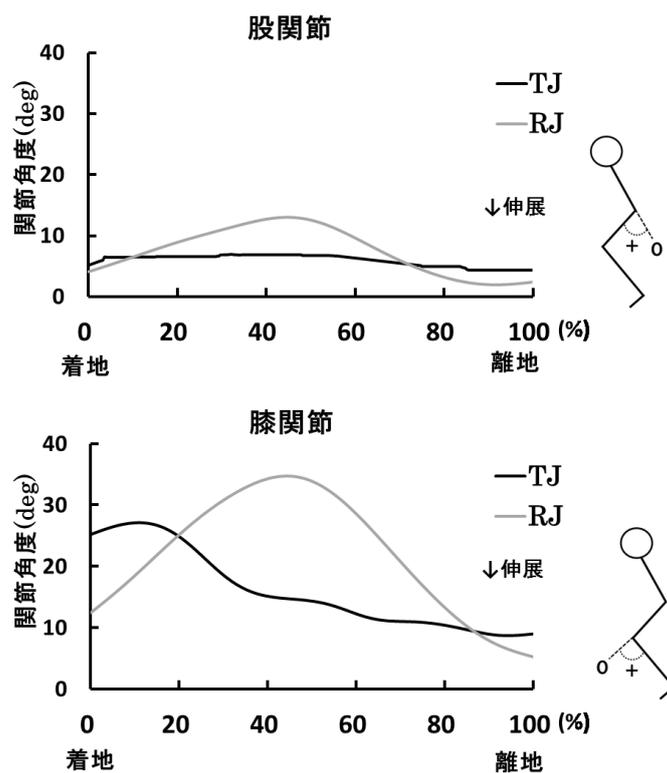


図 3.7 未経験者の着地から離地までの股関節と膝関節の角度変化の例

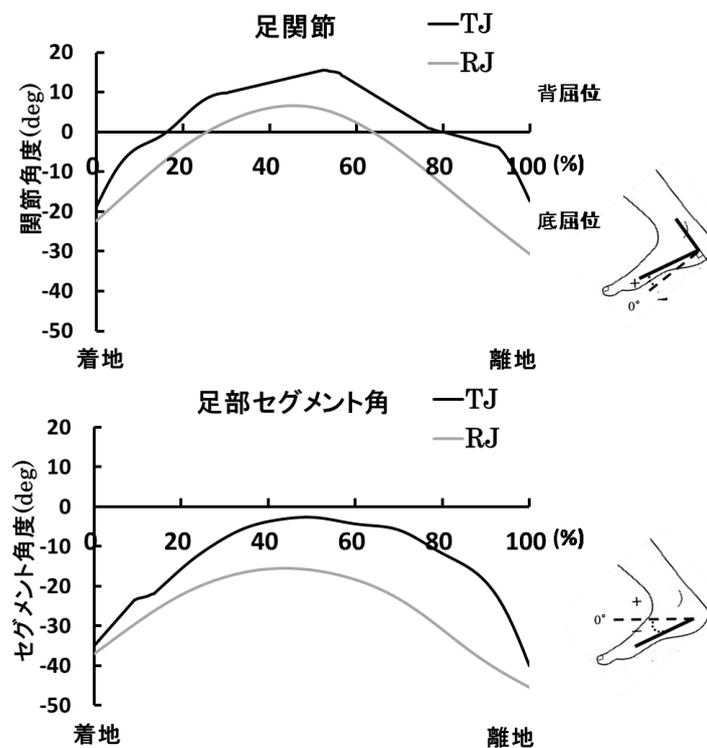


図 3.8 未経験者の足関節と足部セグメントの角度変化の例

未経験者群における被験者毎の TJ と RJ の着地, 最大屈曲・最下点, 離地における, 股関節, 膝関節, 足関節および足部セグメントの角度の全 90 本の平均値±標準偏差を図 3.9 のように比較した. 股関節と膝関節の着地以外は有意差が認められた. 膝関節の最下点では, RJ の方が TJ より顕著に大きい屈曲の角度が示唆された. 足関節について, 全ての時点で TJ の角度の方が, 有意に大きいことが認められ, ほぼ同じ角度の差であった. TJ と RJ とともに最大屈曲および最下点にて, 大きい背屈位であった. 足部セグメント角について, 全ての地点で TJ の角度の方が, 有意に大きいことが認められた. 特に TJ では最下点にて, 水平 0 deg により近づいていた.

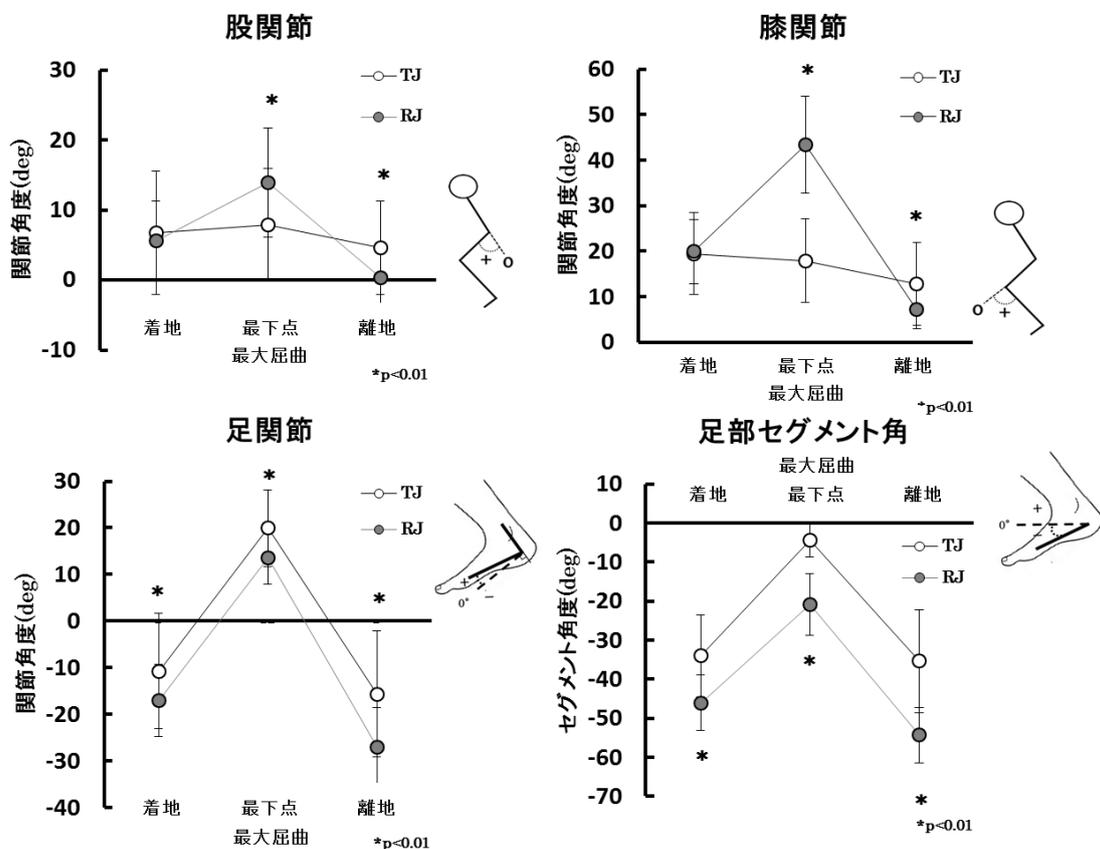


図 3.9 未経験者群の TJ と RJ における下肢関節の角度の平均値

経験者における股関節と膝関節および足関節と足部セグメントの角度変化の例を図 3.10 および図 3.11 に示した. TJ の股関節と膝関節は, RJ よりも大きい屈曲の角度で着地後, 離地まで徐々に伸展していた. RJ では屈曲位で着地後, さらに屈曲位にあり, 離地では伸展位であった.

足関節について、RJでは底屈位で着地し、徐々に大きく背屈位に変化して、その後離地では底屈位であった。TJでは背屈位で着地し、そのまま背屈位で維持して、その後離地では底屈位であった。足部セグメント角について、RJでは着地から離地まで負の角度内で変化していた。大きい負の値の角度から着地し、その後水平0 deg に近づき、再度、徐々に離地まで負の角度へ下がった。TJでは水平0 deg から着地して、徐々に正の値の角度に上がって、その後離地に向けて負の角度へ下がっていた。

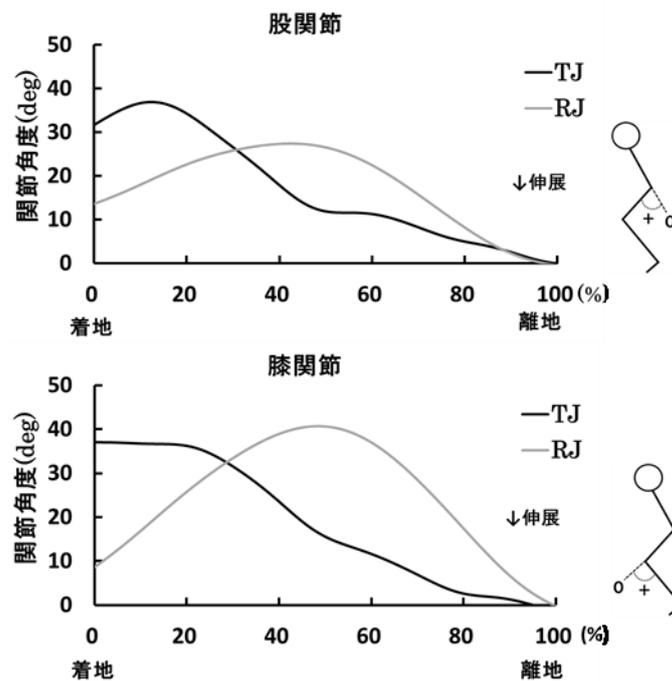


図 3.10 経験者の着地から離地までの股関節と膝関節の角度変化の例

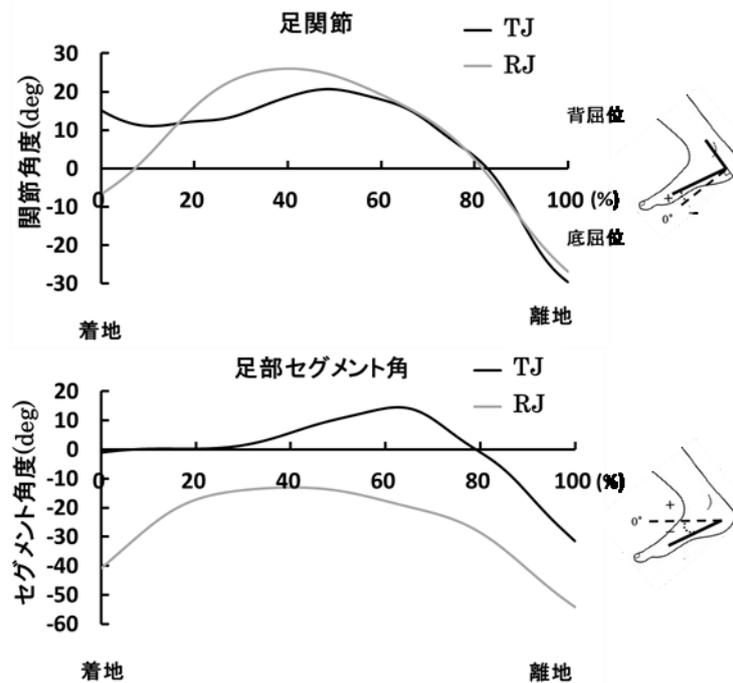


図 3.11 経験者の着地から離地までの足関節と足部セグメントの角度変化の例

経験者群における被験者毎の TJ と RJ の着地，最大屈曲・最下点，離地における，股関節，膝関節，足関節および足部セグメントの角度の全 90 本の平均値±標準偏差を図 3.12 のように比較した。股関節の最大屈曲・最下点以外，全てにおいて有意差が認められた。股関節について，TJ は RJ より大きい屈曲の角度，約 40 deg で着地していることが認められた。TJ の最下点と RJ の最大屈曲の角度では，有意差は認められなかった。膝関節について，着地時では TJ の方が大きい屈曲の角度で，最大屈曲・最下点では RJ の方が大きい屈曲の角度を示唆された。TJ の膝関節では約 40 deg で着地して約 0 deg の離地まで伸展位にあった。足関節について，着地時では TJ の方が大きい背屈の角度が認められて，最下点ではさらに大きい背屈の角度が示された。その後，離地では両跳躍とも底屈位を示していた。足部セグメント角について，着地時では TJ の方が，より 0 deg に近い角度であり，さらに，最大屈曲・最下点でも TJ の方が大きい正の値が認められた。RJ では負の領域での変化であったことが示された。

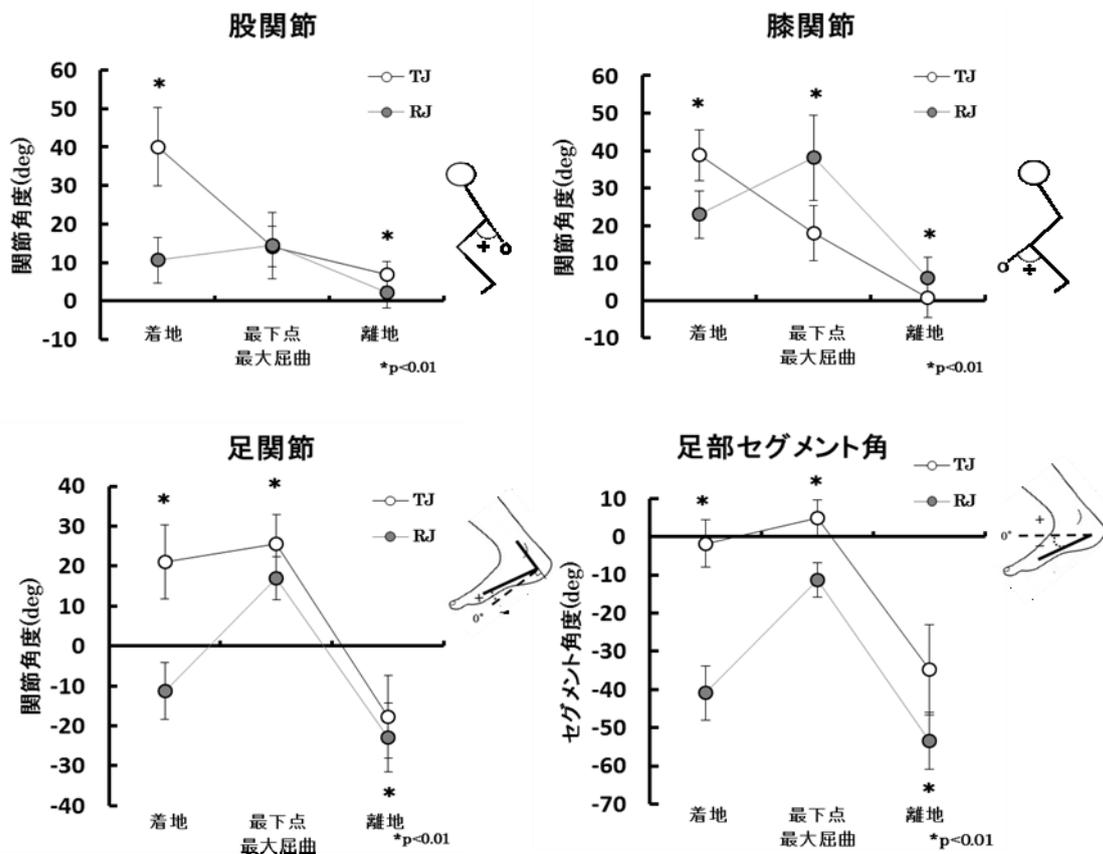


図 3.12 経験者群の TJ と RJ における下肢関節の角度の平均値

図 3.13 は経験者群と未経験者群の TJ と RJ の着地，最大屈曲・最下点，離地における股関節，膝関節，足関節および足部セグメントの角度の平均値を示した。RJ の関節角度において，足部セグメント角の最下点以外に有意差は認められなかった。TJ で股関節において，着地と最下点では経験者群の方が有意に大きいことが認められ，着地から離地に向けて伸展していた。両群の膝関節の角度は，着地時では経験者群，離地では未経験者群の方が有意に大きいことが認められた。膝関節は両群とも着地から離地に向けて伸展していた。両群の足関節の角度は，着地と最下点では経験者群の方が有意に大きいことが認められ，着地から最下点に向けて背屈位にあり，最下点から離地に向けて底屈位にあった。足部セグメント角の着地では経験者群の方が負の方向の角度は有意に小さかった。最下点では，未経験者群は負の角度，経験者群は正の角度を示しており有意差が認められた。TJ の離地では膝関節以外には有意差が認められなかった。

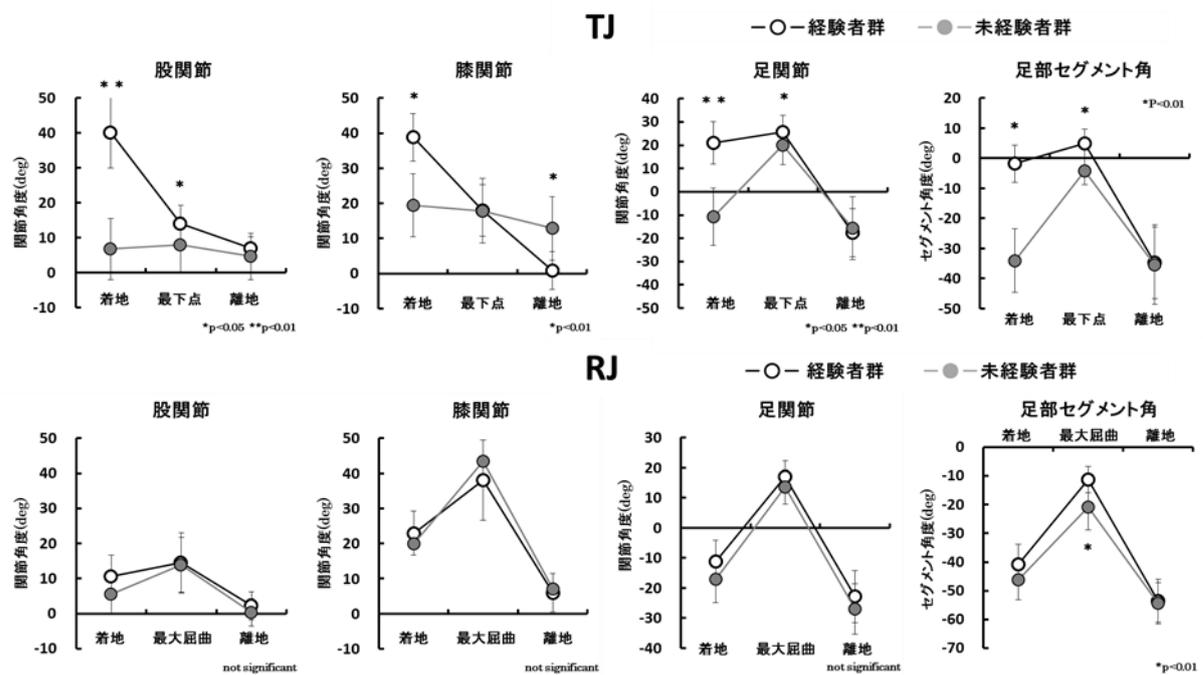


図 3.13 未経験者群と経験者群における TJ と RJ の下肢関節の角度の比較

3.3.5 足底圧の変化

未経験者の足底圧の変化の例を図 3.14 に示した。TJ と RJ の着地から離地までに要した時間を 100% として換算し正規化した。TJ と RJ とともに拇趾の圧力が最も大きく、次に第 2-5 趾と拇趾球の圧力が大きいことが観察された。TJ と RJ とともに踵の圧力が最も小さかった。

未経験者群の TJ と RJ の足底圧を沈み局面 (図 3.15) と上り局面 (図 3.16) とに分けて、局面毎に時間を 100% に正規化し、20% 毎に平均値 ± 標準偏差を比較した。沈み局面の全区間において、拇趾と第 2-5 趾と拇趾球および第 2-3 中足骨頭では、RJ の方が有意に大きく、踵では TJ の方が有意に大きいことが認められた。

上り局面において、拇趾では 1~40% 区間で、拇趾球と第 2-3 中足骨頭では 1~60% 区間で RJ の方が有意に大きいことが示された。踵では全ての区間で TJ の方が有意に大きいことが示唆された。

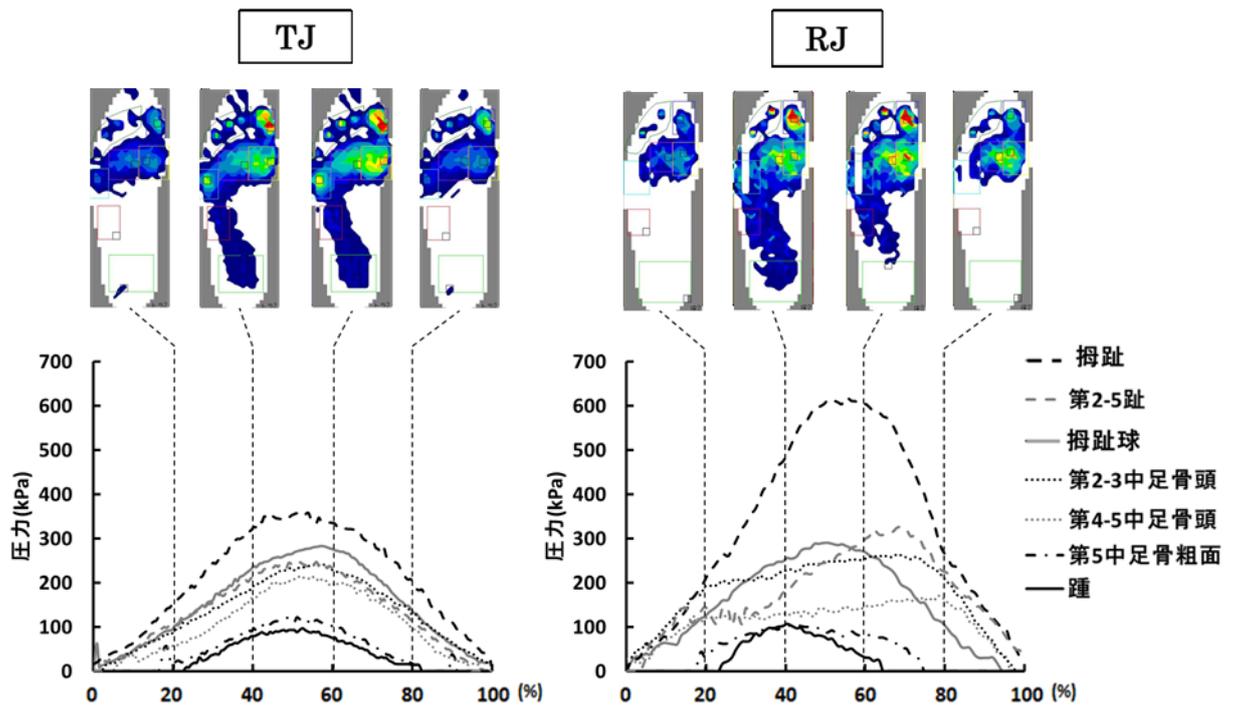


図 3.14 未経験者における着地から離地までの足底圧の TJ と RJ の例

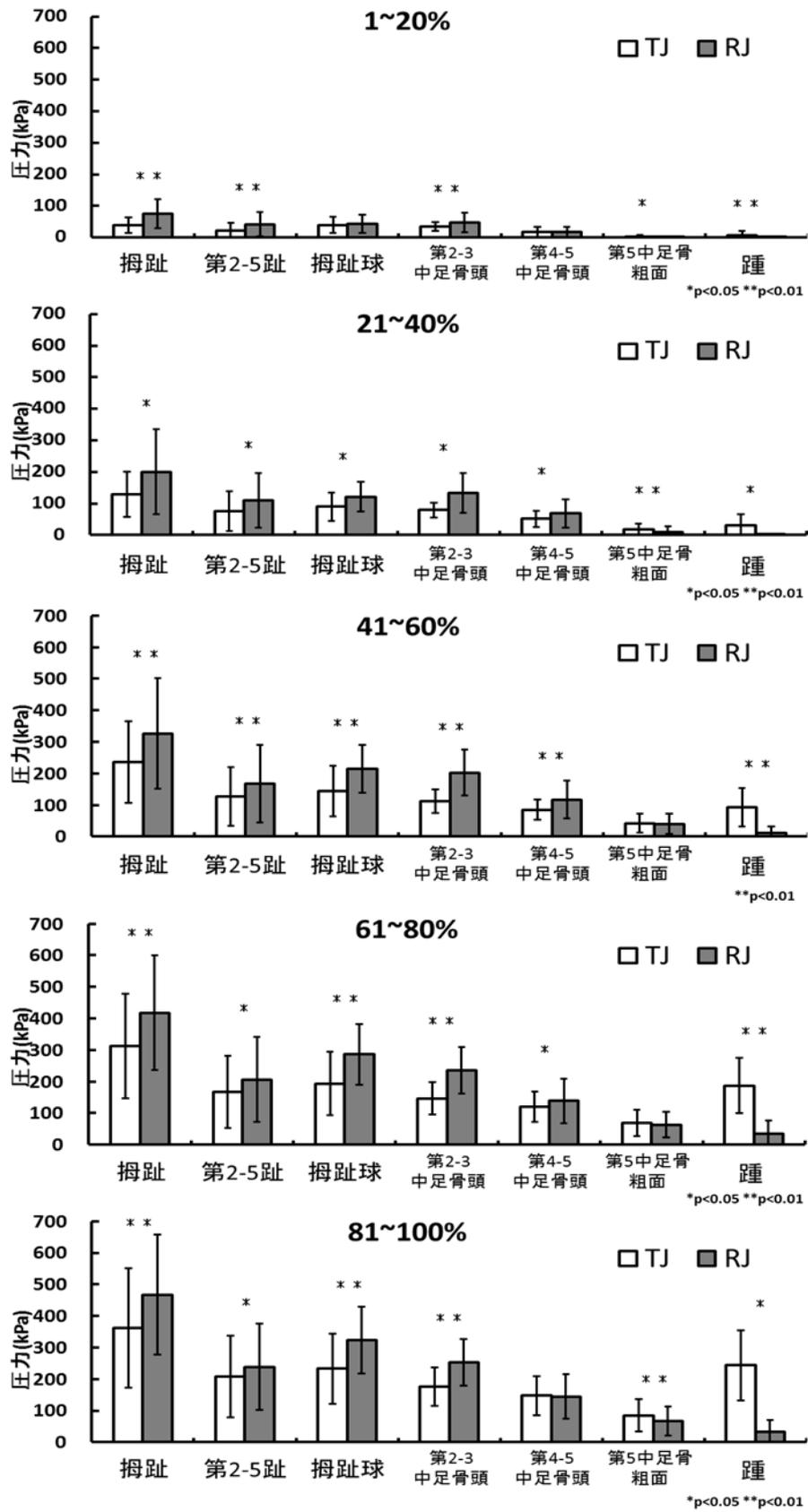


図 3.15 未経験者群における沈み局面の TJ と RJ の足底圧の比較

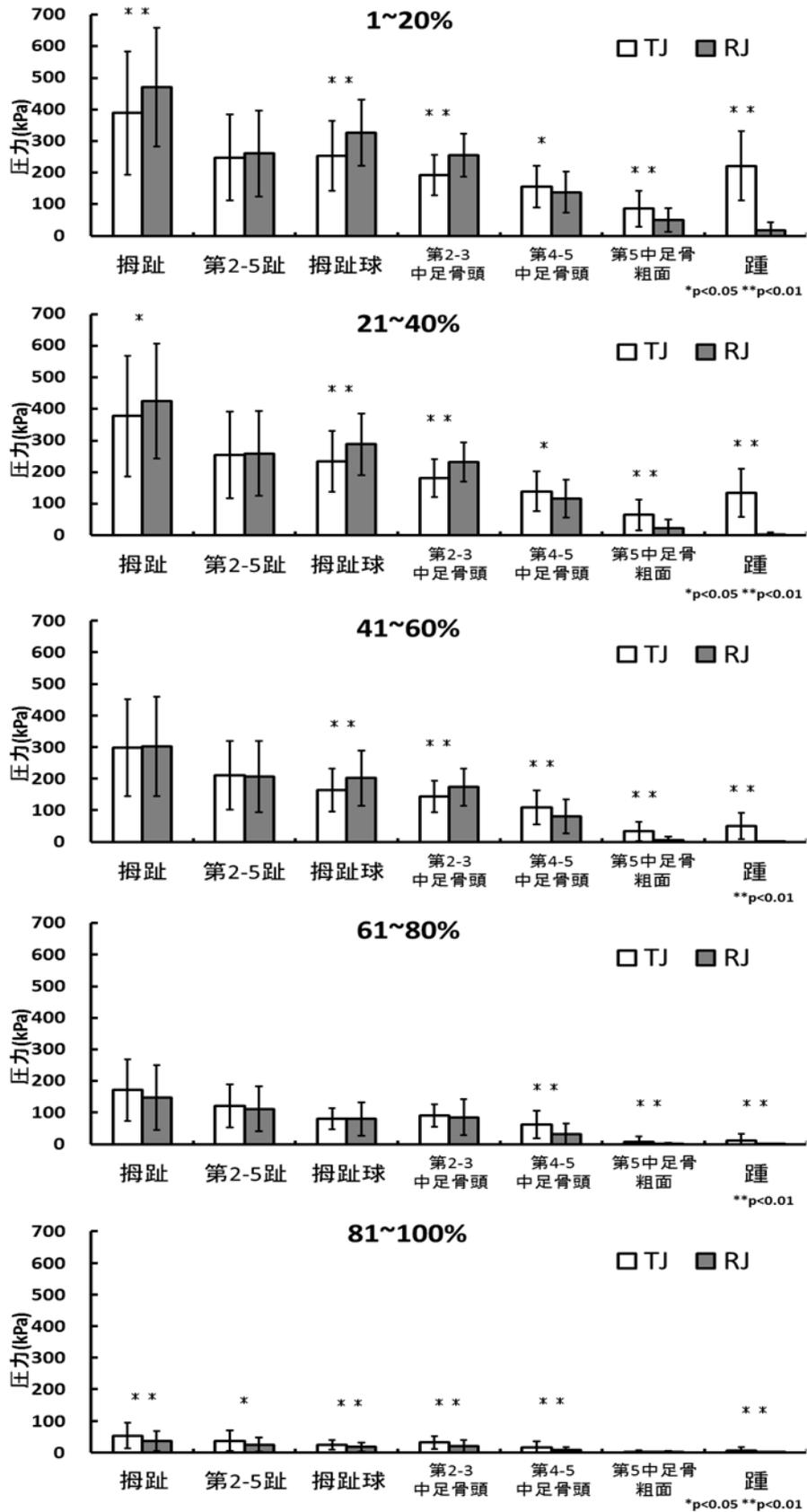


図 3.16 未経験者群における上り局面の TJ と RJ の足底圧の比較

経験者の足底圧の変化の例を図 3.17 に示した。TJ と RJ の着地から離地までに要した時間を 100 % として換算し正規化した。拇趾と拇趾球の圧力は TJ と RJ とともに同じぐらい大きく、次に第 2-5 趾と第 2-3 中足骨頭でも両跳躍は同じぐらい大きかった。TJ の踵では顕著に大きい圧力が認められた。RJ の踵の圧力は非常に小さかった。

経験者群の TJ と RJ の足底圧を沈み局面 (図 3.18) と上り局面 (図 3.19) とに分けて、局面毎に時間を 100% に正規化し、20% 毎に平均値 ± 標準偏差を比較した。沈み局面と上り局面の全区間における TJ の踵の圧力は RJ よりも有意に大きいことが認められた。沈み局面について、つま先側の拇趾球の圧力は RJ の方が、TJ よりも有意に大きいことが示された。RJ の拇趾は 1~60% 区間において、TJ より有意に大きかった。しかし、61~100% 区間では有意差が認められず、TJ と RJ とともに大きい足圧力であった。第 2-5 趾は 1~40% 区間では RJ の方が有意に大きく、61~100% 区間では TJ の方が有意に大きいことが示された。

上り局面について、つま先側の拇趾球の圧力では 1~60% 区間において、RJ の方が TJ よりも結に大きいことが認められた。拇趾と第 2-5 趾では全区間において、TJ の方が有意に大きいことが示唆された。

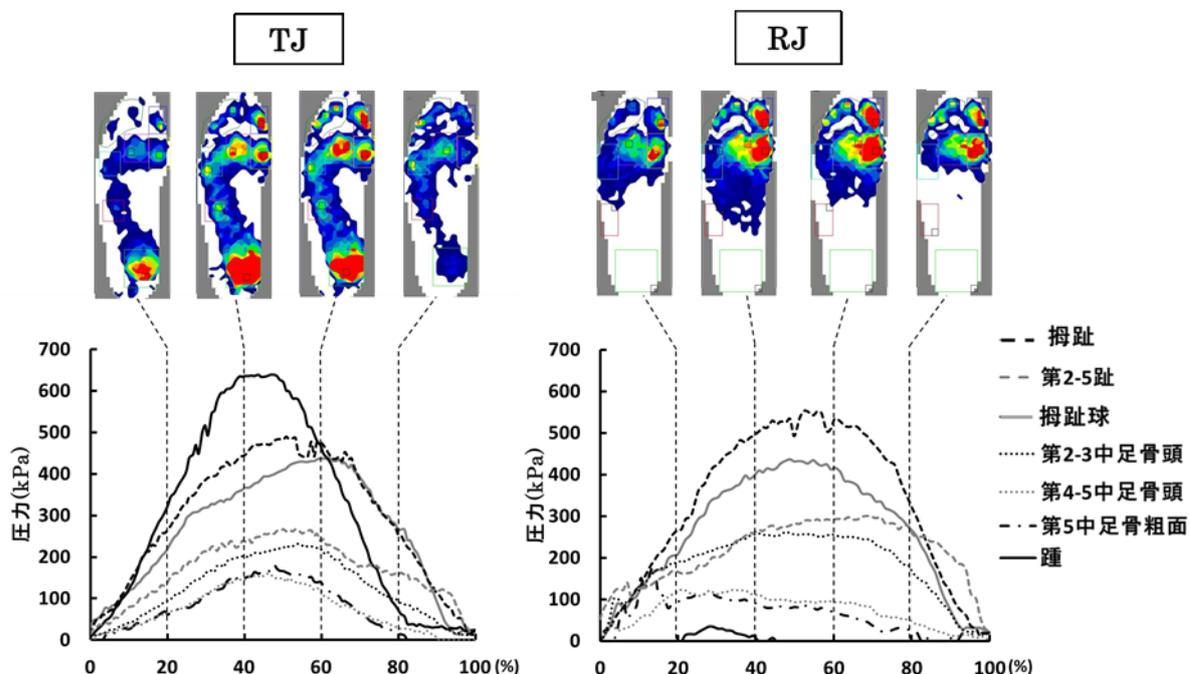


図 3.17 経験者における着地から離地までの足底圧の TJ と RJ の例

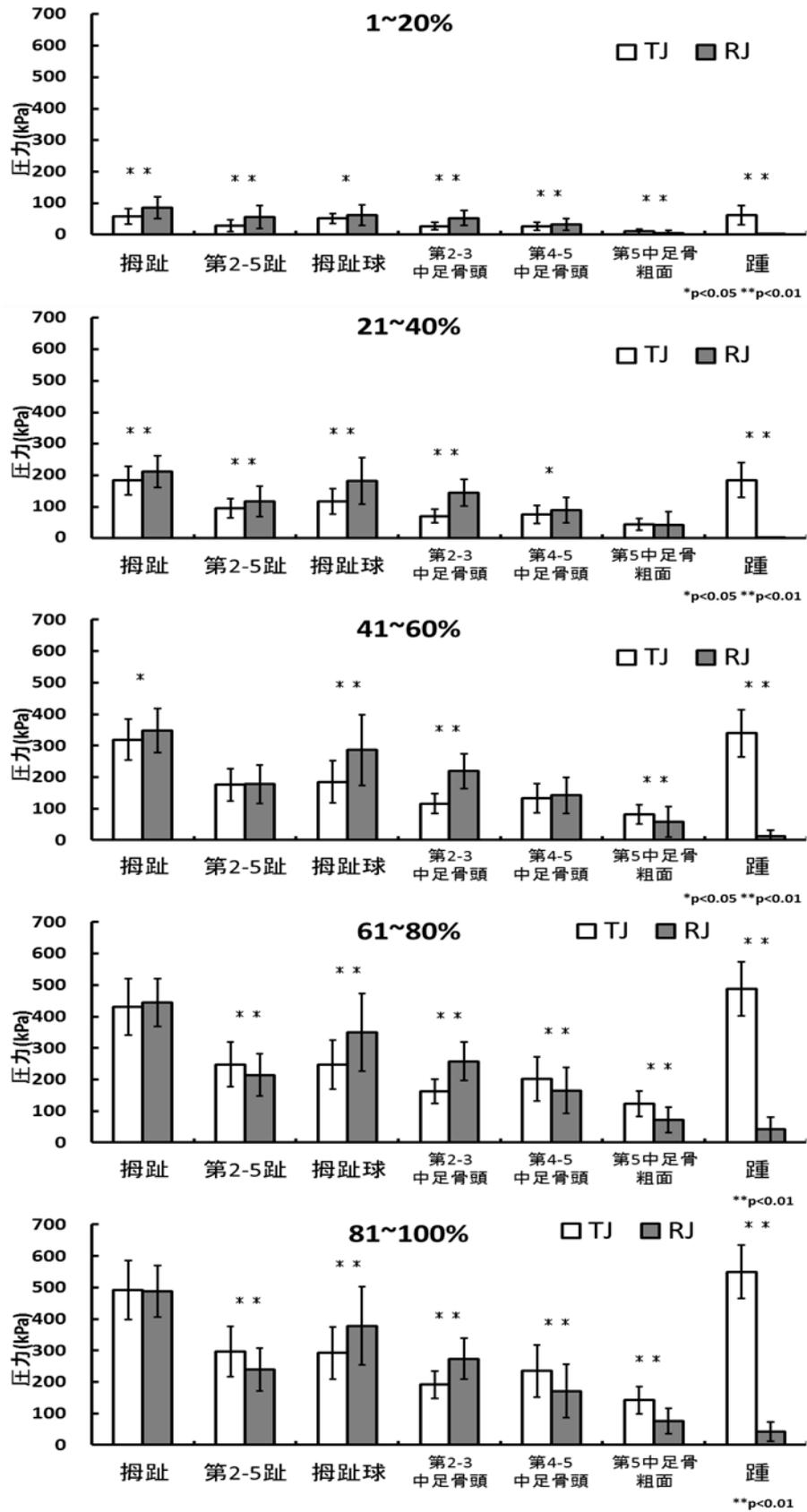


図 3.18 経験者群における沈み局面の TJ と RJ の足底圧の比較

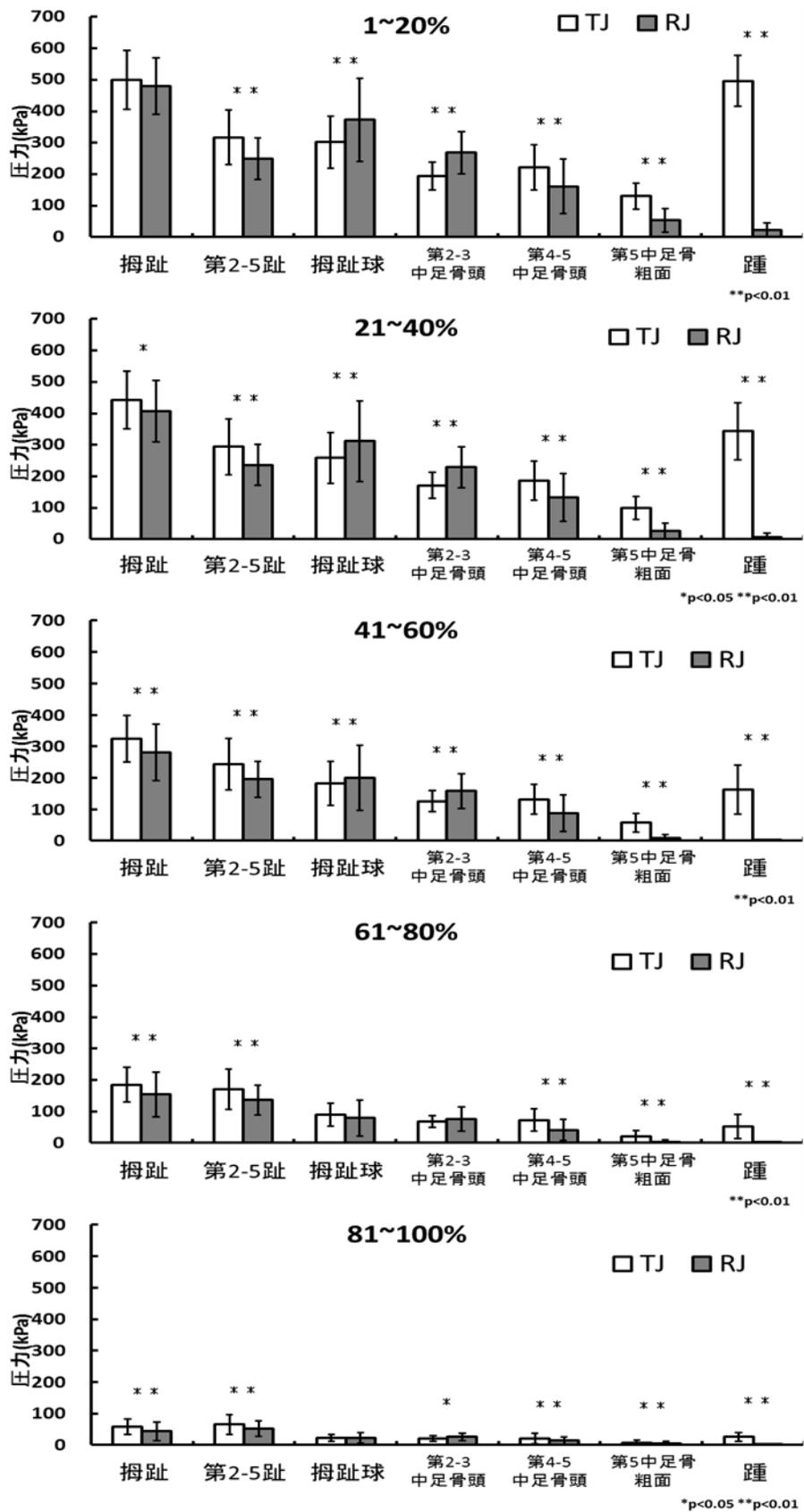


図 3.19 経験者群における上り局面の TJ と RJ の足底圧の比較

未経験者群と経験者群の TJ の足底圧を沈み局面（図 3.20）と上り局面（図 3.21）とに分けて，局面毎に時間を 100%に正規化し，20%毎に平均値±標準偏差を比較した．両局面の全区間で，踵の圧力は経験者群の方が有意に高いことが示唆された．拇趾と第 2-5 趾および拇趾球の前足部での圧力では，区間によって有意差は認められたが，特に沈み局面の後半および上り局面の前半で，両群ともに大きい足底圧であった．

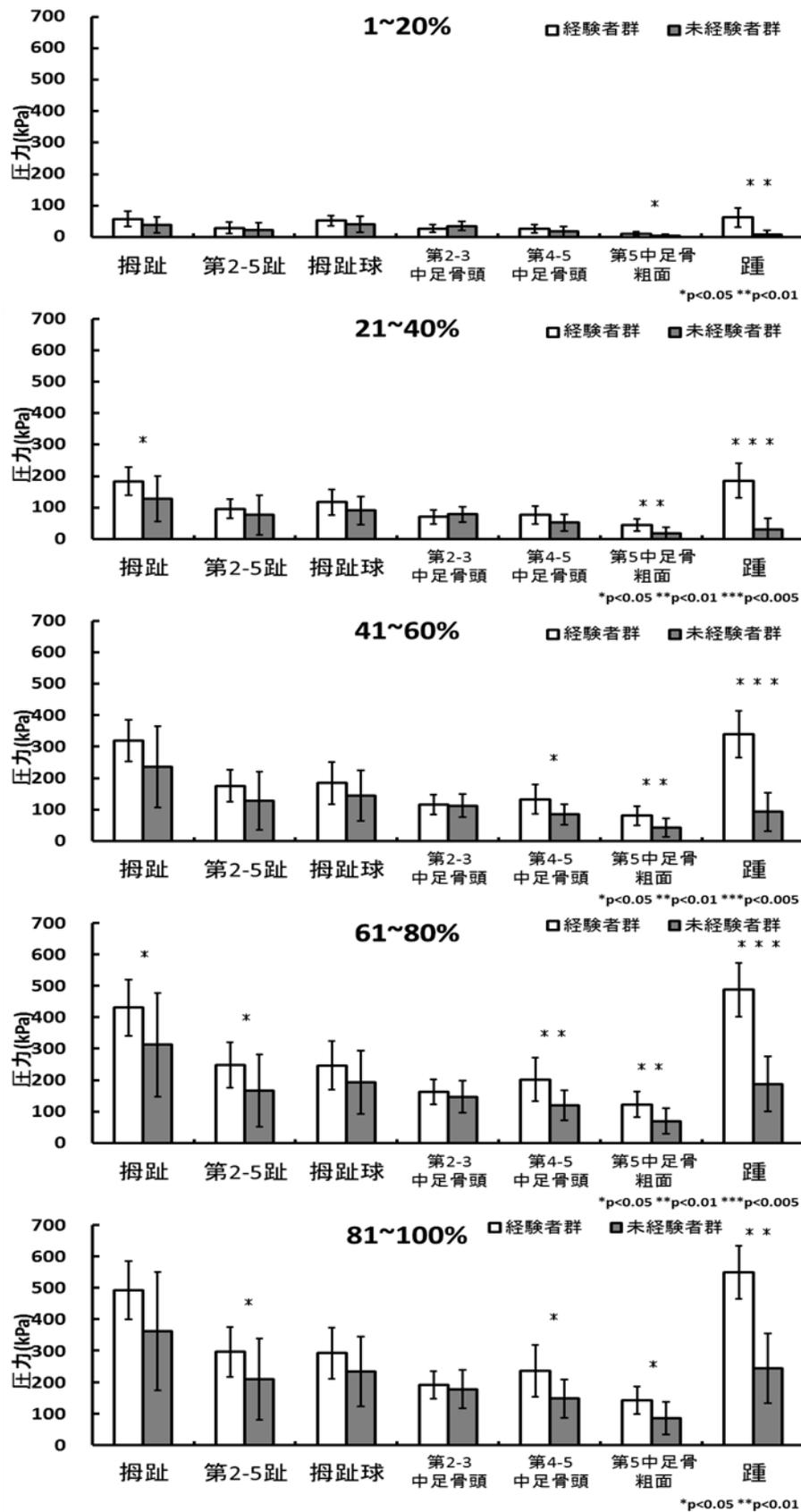


図 3.20 沈み局面における TJ の経験者群と未経験者群との足底圧の比較

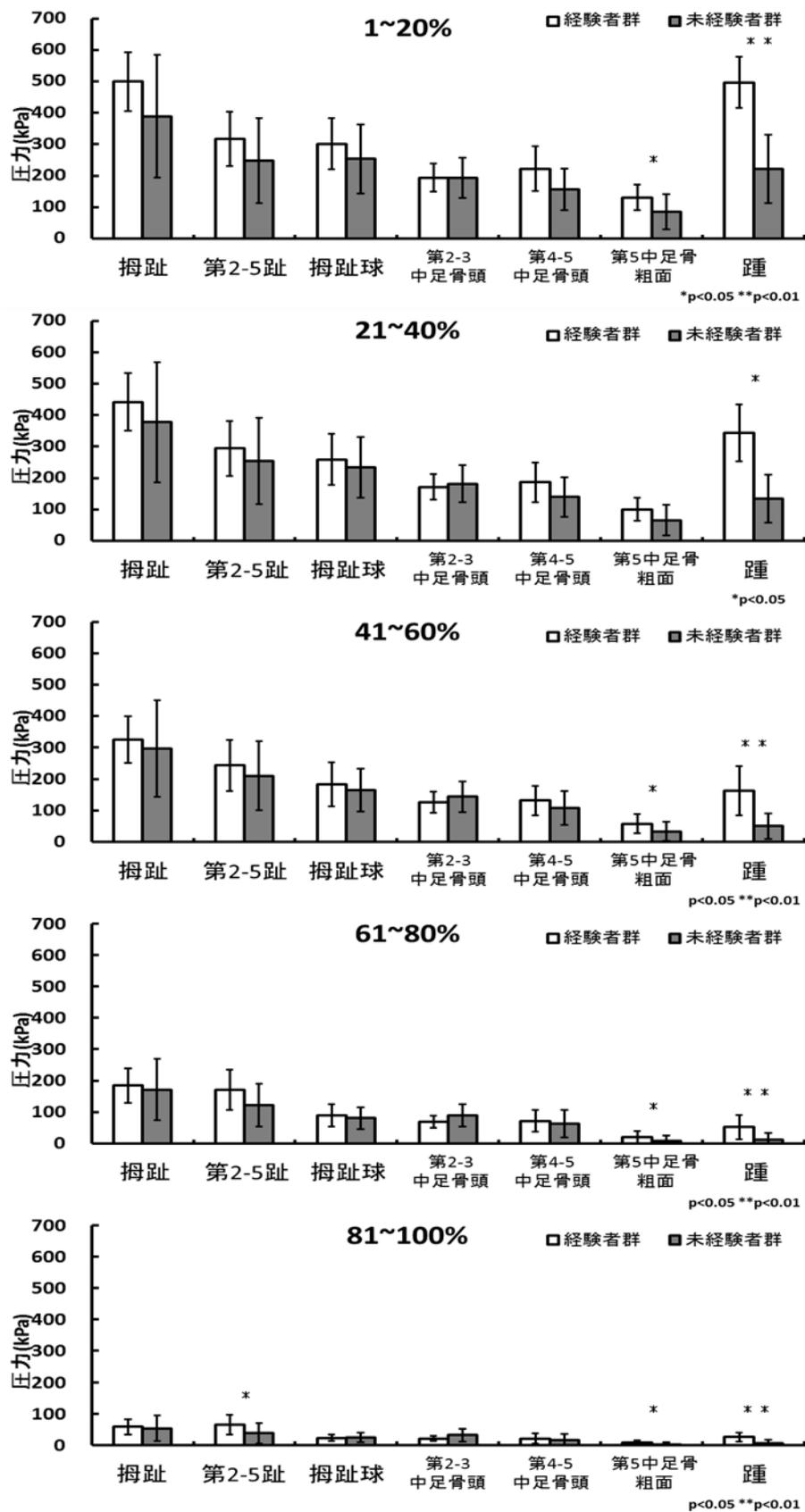


図 3.21 上り局面における TJ の経験者群と未経験者群との足底圧の比較

3.4 考察

3.4.1 未経験者の踏切動作

全被験者の滞空時間（跳躍高）はRJよりTJの方が有意に長い（高い）ことが認められたことから、トランポリン未経験者でも少なからずトランポリン器具の力を利用して跳躍していることがわかる。トランポリンベッドに着地してから最下点までの沈み局面鉛直距離では、器具の高さ1.00 mに対して、平均0.5 mほど沈んでおり、トランポリンベッドの柔軟性が高いことが表されている。

このようなトランポリンベッドの特性の中で、未経験者の着地時の股関節と膝関節の角度（図3.9）は、TJとRJともに近い角度で着地をしているとみられる。その後、RJでは離地まで股関節と膝関節を大きく使った屈曲・伸展動作で着地からの衝撃を吸収してから跳び上がっていた。しかし、TJでは股関節と膝関節の大きな角度の変化を示さなかった。未経験者のTJは慣れない空中からの落下とトランポリンベッドの反発力に対応できず、股関節と膝関節の屈伸動作を行えずに一定の角度にしたままで踏切っていると考えられる。TJの熟練度が高くなれば、股関節や膝関節を大きく使った屈曲と伸展動作ができはじめて、さらに高い跳躍高が増してくると推察される。また、普及型のトランポリン器具でもトランポリンベッドの反発力があり、意識せずとも勝手に高く跳ばされてしまう。未経験者にとって高さのある連続のTJを実施することは、跳躍をコントロールできずに、思いもよらない方向へ跳び出してしまう恐怖心が働いて、大きく屈曲・伸展動作を伴った踏切ができないのではないかと推察される。高所における立位の重心動揺（中原ほか，1998）や足圧の中心軌跡（植田ほか，2010）をみた研究では、平地での実施と比べて高所の方が、恐怖心が高まり重心動揺や足圧の中心軌跡を増加させたと報告がなされている。TJの高い跳躍高では、空中で姿勢が崩れてしまい、下肢による踏切動作の準備ができなかったのではないかと考えられる。

TJとRJの足関節と足部セグメント角の角度変化より、踵は踏切面からやや浮いている状態を示している。TJとRJは、足関節の底屈位のつま先側から着地し、背屈方向に動かされて着地衝撃の吸収をしようとしていると考えられる。足底圧の結果も同様のことが示された。沈み局面の全区間を通して、RJのつま先側にある拇趾と第2-5趾と拇趾球および第2-3中足骨頭の大きい圧力、踵の小さい圧力の結果は、つま先側で着地して、踵は床面から浮いていることを示唆された。一方、TJのつま先側の圧力は比較的大きい値を示していた。TJでもRJ同様に、つま先側から着地して、背屈方

向に動かされて着地の吸収を行っていたことが明らかになった。沈み局面と上り局面のいずれも TJ の踵の圧力は RJ より有意に大きいことが認められた(図 3. 15, 図 3. 16)。TJ もつま先側から着地するが、柔らかいトランポリンベッドのため沈むほど踵にまで網が接触していると考えられる。

3. 4. 2 経験者の踏切動作

トランポリン経験者の TJ の跳躍高は、RJ よりも約 8 倍も高く、陸上における床面上での RJ では到底達成できない高さまで跳び上がっていることがわかる。トランポリンベッドの沈み局面鉛直距離は器具の高さ 1.00 m に対して、平均 0.7 m 以上沈んでおり、深く沈んで高く跳躍している。キネマティクスデータの CV 値はどれも小さいことから、一定レベルを保ったまま跳躍していることが示唆された。高い跳躍高であるにも関わらず、制御された踏切動作であると言える。

RJ の下肢関節の動作において、股関節と膝関節では、沈み局面で屈曲動作、上り局面で伸展動作、足関節では沈み局面で背屈方向に動かされ、上り局面で底屈をしていたことから、経験者も未経験者と同様に、着地から衝撃を吸収するような下肢関節の動作を行っていたことが示された。TJ の下肢関節の動作において、着地時における股関節と膝関節の角度(図 3. 12)は、RJ より有意に大きいことが認められた。TJ では大きく曲げて着地してから、伸展動作による踏切動作を行っている。特に、着地時から伸展する角度変化は、沈み局面の方が上り局面より大きかった。つまり、沈み局面においてトランポリンベッドの深い沈み込みは伸展動作によって、大きい反発力を得ようとしていると考えられる。

最も深く沈み込んだ最下点では、股関節と膝関節の伸展動作によって、開始肢位 0 deg に近づいており、下肢をまっすぐに近い肢位に調節していると考えられる。上山と淵本(2007)は、TJ の安定した跳躍のために最下点で身体を一直線にすることと提言している。また、山本ほか(1990)によれば、身体の踏切とトランポリンベッドの跳ね返りが調和したときに安定した運動ができると述べている。本研究においても TJ の股関節と膝関節の伸展動作は、安定した跳躍を獲得するためであると考えられる。

実験で使用したトランポリン器具は周囲に弾性力の高い 100 本のバネとトランポリンベッドと連結されており、高い位置から落下してもトランポリンベッドが着地衝撃を吸収する。そのため、TJ では跳躍高が RJ よりも約 8 倍高いにも関わらず、着地時から股関節と膝関節を伸展動作することを可能としている。これに対し、RJ は硬い床

面に落下するため、着地衝撃を身体で吸収しなければならない。TJ と RJ の踏切動作における下肢の動作の違いは、沈み局面において踏切面に対応した結果であることが示された。

TJ の足関節では着地時で背屈位を示し、最下点に向かってさらに背屈を示していた。足部セグメント角では沈み局面で、正の領域で角度変化し、最下点で最も大きい正の角度を示した。つま先が上を向いた足関節の背屈位で踵からトランポリンベッドを沈まされている特徴が示唆された。RJ では足関節の底屈位で着地し、背屈方向へ動かされて着地衝撃を吸収していたが、TJ では全く反対の足関節の使い方であった。TJ では、踵でトランポリンベッドを沈めることによって、トランポリンベッドからの強い跳ね返りの反発力を踵から身体へ受けやすくするためであると考えられる。

このように沈み局面において、RJ の下肢三関節の動きは、落下からの衝撃を吸収していた。一方、TJ の下肢三関節では、沈み局面において、落下からの衝撃を吸収するような動作ではなく、股関節と膝関節の伸展動作および足部セグメントの正の角度内における足関節の背屈位で、踵からトランポリンベッドを深く沈めて踏切っていることを示した。この経験者群における足関節の背屈位での沈み込みは、足関節の底屈・背屈動作の運動範囲を極力小さくして、股関節と膝関節の伸展動作によるトランポリンベッドの押し下げを効果的にするためであると考えられる。これらのように沈み局面において、TJ と RJ の下肢の動作は、大きく役割が異なることが示唆された。また、TJ の踵からトランポリンベッドを沈めていたことは、沈み局面と上り局面における踵の圧力が大きい（図 3.18, 図 3.19）ことに表わされた。沈み局面において、足底全体の広い基底面で沈めるのではなく、踵だけの狭い基底面によって、トランポリンベッドの深い沈み距離を獲得しようとした動作であると考えられる。

上り局面の全区間における TJ の拇趾と第 2-5 趾の圧力は、RJ より有意に大きいことが認められた。これは TJ の足趾がトランポリンベッドを押しするような屈曲動作をしている可能性が考えられる。TJ は基底面の狭い踵から沈みながら、同時に足趾でもトランポリンベッドを押ししている。離地前では、足関節の底屈と合せて、トランポリンベッドを足趾で擦るような動作を行っている可能性がある。

これらの結果から経験者の TJ と RJ の踏切動作は異なることが明らかにされた。トランポリン経験歴が長くなり、高い跳躍高と弾力性の大きいトランポリンベッドでの踏切動作に慣れてくると、下肢の動作を大きく使えるようになり、足趾の動作も明確

に現れるようになることを期待できる。

3.4.3 沈み局面における未経験者と経験者の違い

未経験者群と経験者群との RJ の股関節と膝関節角度を比較した結果 (図 3.13), 両群ともに, 落下の衝撃を吸収するような着地からの屈曲動作を行っていた。一方, TJ では, 経験者群は股関節と膝関節の大きい屈曲位から伸展動作を行ってトランポリンベッドを沈めていた。TJ の踏切中に股関節と膝関節の屈曲動作を行うと, 跳び上がれずに静止することになる (Vaughan, 1980 ; 山本ほか, 1990 ; 大林, 1998)。TJ では股関節と膝関節を急激に屈曲させると反発力を吸収して静止できるため, 股関節と膝関節の屈曲や伸展動作のタイミングを誤ると跳躍しにくくコントロールが難しくなると考えられる。

TJ における着地の足関節の肢位は, 未経験者群では底屈位, 経験者群では背屈位と異なった結果であった。足関節の肢位の違いは, 股関節や膝関節の屈曲・伸展の機能に影響を及ぼすと考えられている (赤羽ほか, 2003 ; 赤羽ほか 2004 ; 牛ほか, 2010 ; 浦辺, 1986)。牛ほか (2010) は, 足関節の肢位を背屈位や底屈位に変えて, 膝関節を屈曲・伸展の等速運動を行った研究において, 背屈位が他の足関節の肢位よりも大きい膝関節伸展時のトルク値が認められたとある。さらに, 膝関節の伸展するトレーニングにおいて, 足関節を背屈位にすれば大腿四頭筋などの筋力へより強い促通の効果があり, 筋力を発揮し易くなることも述べている。TJ における経験者群の足関節の背屈位は, 着地からトランポリンベッドを沈ませる股関節と膝関節の伸展動作に効果的な影響を及ぼしている可能性があると考えられる。

着地と最下点の足関節と足部セグメント角の角度は, 未経験者群よりも経験者群の方が有意に大きく, 沈み局面の足底圧では前足部の拇趾や第 2 - 5 趾および踵では経験者群の方が有意に大きかった (図 3.20)。経験者群は沈み局面で, 背屈されながら足趾でもトランポリンベッドを押していると考えられる。経験者群では足趾と踵とでトランポリンベッドを押して沈めていると示唆された。

3.5 まとめ

未経験者と経験者の踏切動作における TJ と RJ の違いについて得られた結果・考察を以下に示す。

1) 沈み局面において, 両群の RJ の股関節と膝関節は着地衝撃を吸収するような屈曲

動作であった。

- 2) TJ において、未経験者群は股関節と膝関節を大きく屈曲せずに、一定の角度を維持して踏切動作を行っており、経験者群では股関節と膝関節の大きい伸展動作によって、トランポリンベッドを深く押し込んでいた。
- 3) TJ において、未経験者群の TJ は RJ のように、つま先側から着地して、足関節の背屈される動作によって着地衝撃の吸収を行っており、経験者群では、足関節の背屈位による踵の狭い基底面で、トランポリンベッドをより深く沈み込ませようとしていた。
- 4) 経験者群の足趾は沈み局面において、トランポリンベッドを押しするような屈曲動作をしている可能性がある。
- 5) 経験者群は着地から最下点まで踵でトランポリンベッドを沈ませて、上り局面でも踵に圧力をかけて跳び上がっていた。

第4章 総合考察

TJの踏切動作において、熟練別の特徴的な違いが明らかにされた。その中でも、踏切における未経験者および経験者の足底圧の分布やアスリートの下腿部における筋活動は、足部の動作を示唆する結果であった。そこで、第4章では、4.1節にTJの踏切における足部の動きに関して、足関節の解剖学的構造やトランポリンベッドの弾力性が及ぼす影響について考察する。そして、4.2節では、本研究で得られた知見を基に、トランポリンの指導およびトレーニングへの応用について考察する。4.3節では、研究の限界と課題を述べる。

4.1 TJの踏切動作における足部の役割

これまでにTJの踏切動作において足関節は、アスリートや経験者では背屈位、未経験者では底屈位でトランポリンベッドを沈ませていたことが示唆された。足関節は、距腿関節、距骨下関節、遠位脛腓関節の複合関節で構成されており、距腿関節が底屈・背屈運動のほとんどを生じさせている(福本, 2016)。距腿関節の骨性構造上、脛骨と腓骨からなる果間関節窩と距骨滑車は、骨性の安定性が高い関節である。特に距骨滑車の前方が後方よりも幅広いため、底屈位よりも背屈位の方が、距腿関節の安定性が高い上、遠位脛腓関節の安定性も高まる。よって、アスリートや経験者のTJに示された足関節の背屈位によるトランポリンベッドの沈ませ方は、機能解剖学的にも踏切動作に適した関節の使い方であることが言える。

しかしながら、未経験者において足関節の背屈位は認められなかった。これは未経験者にとってTJは不慣れな運動のために、RJの筋運動感覚残効の影響が働いたのではないかと推察する。工藤(1989)によれば、筋運動感覚残効とは、「先行する運動の経験によって、その直後の運動における筋運動感覚の知覚に歪みが生じること」と定義している。例えば、被験者9名に30回のトランポリンの跳躍の前後に地面での10回の垂直跳びを行った研究では、トランポリンの跳躍後の垂直跳びの跳躍高が低くなり、膝関節の屈曲の角度は浅かったと報告している(宮内と福村, 2016)。垂直跳びの跳躍高は最初の3回目までが筋運動感覚残効の影響を最も大きく受けていた。この残効の消失時間には個人差があるが、垂直跳びの試技8回目以降はほぼ消失していた。また、1分間のトランポリンの跳躍の前後にカウンタームーブメントジャンプ(Counter

Movement Jump 以下, CMJ) を行った研究 (Marquez et al., 2010 ; Marquez et al., 2013) でも, トランポリンの跳躍後の CMJ の跳躍高の方が低かった. Marquez et al. は, トランポリンの跳躍後の CMJ では, 着地時のエキセントリック局面における下肢のスティフネスの低下や弾性エネルギーの蓄積の減少が起きたと報告している. これらのように, これまでの運動経験に照らし合わせて, 運動を実施することで筋運動の知覚の歪みが発生している. 本研究では安全面を考慮して, 試技前に TJ と RJ の事前練習を行ったが, TJ では運動経験の多い RJ の知覚によって身体制御に歪みが生じた可能性がある. 未経験者と経験者との TJ の踏切動作の違いは, 蓄積された知覚経験の差であると考えられる. しかし, 先行研究では TJ の前後における陸上の跳躍について結果を示しているが, TJ に及ぼす影響は示されていなかった. 本研究でも, 未経験者が筋運動感覚残効を受けている実証までには至らず, 他の要因による可能性も考えられる.

アスリーの最下点前後における腓腹筋の筋活動は活発であり, 映像では足関節が背屈方向へ動かされていたので, 伸張性収縮をしていると考えられた (2.5 節). しかし, 意識して背屈動作を行おうとしていると伸張性収縮は起きにくい. そこで, 経験者の足底圧をみると, 拇趾と第 2-5 趾の圧力が大きく, 屈曲動作をしていると考えられた (3.4 節). 拇趾と第 2-5 趾の屈曲動作に作用する筋は長拇趾屈筋と長趾屈筋であり, 足関節の底屈動作の補助筋でもある (Andrew, 2012). 最下点前後では足関節は底屈動作を行おうとしているが, 図 4.1 のようにトランポリンベッドのたわみによって背屈方向に動かされて, 作用する腓腹筋が伸張性収縮をしたと考えられる. 長拇趾屈筋と長趾屈筋は, 腓腹筋とヒラメ筋の深層部にあるため, 表面筋電計で測定することは困難である (Aldo, 2007). しかし, 前足部に位置する拇趾球の圧力と比較 (図 3.20 の時間 81~100%, 図 3.21 の時間 1~20%) して, 足趾の方が大きいため, 長拇趾屈筋と長趾屈筋を働かせて足趾が屈曲動作している可能性がある. また, アスリートや経験者の最下点における足関節の角度は, 大きい背屈の角度を示した. この背屈の角度は米本ほか (1995) が示す他動運動 (外部からの力を加える運動) による関節の参考可動域角度の最大値程度であるため, 意識的に自らの力のみで背屈したのではなく, トランポリンベッドによって押されたと考えられる. アスリーの腓腹筋の筋活動と水平移動距離との間には相関関係が認められたように, 中央跳躍をするための腓腹筋の伸張性収縮は, このようなトランポリンベッドに足関節が背屈方向へ動かされた結

果であると言える。

これらの足部の動きは弾力性のあるトランポリンベッドに対応した踏切動作の特徴を表している。コントロール不足がみられる未経験者も、アスリートや経験者のようなトランポリンベッドに対応した足部の使い方ができれば、トランポリンベッドの中央領域で跳躍ができるのではないかと考えられる。

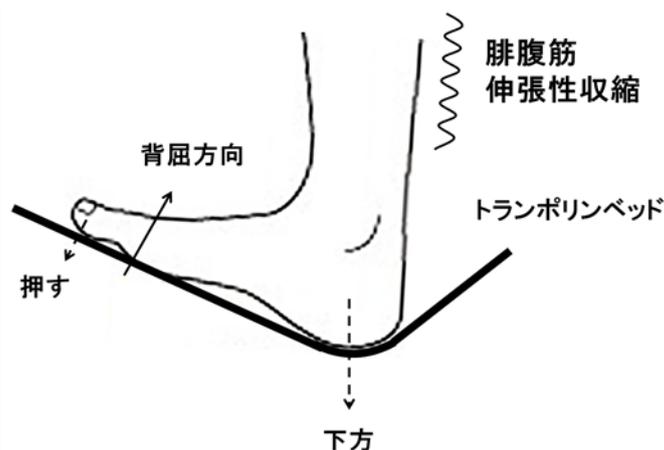


図 4.1 最下点前後のトランポリンベッドと足部

4.2 トランポリン指導およびトレーニングへの応用

トランポリンを初めて跳ぶ実施者は、陸上での硬い踏切面上の跳躍のように踏切動作を行ってしまうことが、第 3 章の下肢関節の角度や足底圧の結果から導かれた。さらに、図 3.5 の TJ と RJ の滞空時間の比較のようにトランポリン器具は普及用でも反発力は大きいため、軽く跳んでも自然と高い跳躍高になってしまう。初期指導では、先ずトランポリンベッドの弾力性を理解させるために、低い高さで跳躍することを意識させて、足関節の背屈位で、股関節と膝関節の伸展動作によってトランポリンベッドを下方に沈ませる感覚を養うことが考えられる。初心者が感じる TJ の恐怖心を払拭することが大切である。

トランポリンの現場では足関節を底屈動作するようなカーフレイズトレーニングがしばしば行われている。腓腹筋の短縮性収縮による足関節の底屈動作を行っているものであるが (半田ほか, 2007), 2.4 節からわかるように、TJ の場合は腓腹筋の伸張性収縮が起きているため、カーフレイズトレーニングでは、つま先立ちの状態から踵を下した背屈位の状態になるまでの間、力を抜かずに腓腹筋を引き伸ばしながら力発揮

をすることを意識して行う方が良いと考えられる。TJ の踏切中の接地時間は約 0.3 s と短い踏切時間でトランポリンベッドに力を伝えて、非常に高い跳躍高まで上がる。そのため、腓腹筋の伸張性収縮から短縮性収縮への素早い切返しのトレーニングが、TJ の中央跳躍には効果的に働くと考えられる。

4.3 研究の限界と課題

本研究では、研究計画やデータ収集にあたり、以下の限界が考えられる。

(1) トランポリン器具の力学的特性

トランポリン器具での跳躍は、実施者の踏切動作とスプリングおよびトランポリンベッドの弾性力も関係している。本研究では、トランポリン器具の力学的特性について調べていないため、今後は力学的な検討も求められる。

(2) 実験における測定の精度

トランポリン器具上での高い跳躍を行わせるために、ワイヤレス筋電計を使用した。このワイヤレス筋電計は、約 150m 離れた受信機までリアルタイムに EMG 信号を送れる長距離伝送タイプのマルチテレメーターシステム(日本光電製:WEB - 7000)であるが、測定環境などにより、EMG 信号の受信には多少の時間遅れの可能性が考えられるが、補正はしていない。ノイズが少ない測定環境の設定も必要である。

また、TJ の踏切動作の映像分析では、トランポリンベッド越しに下肢の関節をデジタル化しなければならなかった。そのために、ビデオカメラには可能な限り鮮明に記録できるように、ビデオカメラと同じ高さに照明機材を設置した。しかし、トランポリン器具の金属製のフレームに隠れてしまう付近ではデジタル化の精度に問題があるかもしれない。より精度の高い身体動作分析のために、今後は、ビデオカメラの台数を増やすことや三次元映像分析も求められる。

(3) 等尺性随意最大収縮 (Maximum voluntary contraction 以下, MVC) の測定

MVC の測定では最大筋力発揮に個人差があったと考えられる。事前に MVC の発揮の練習を積んでおくことと検者の徒手抵抗の技術の向上が必要である。

(4) トランポリンの施設と被験者の限界

本研究はトランポリン器具とトランポリン経験者やトランポリンアスリートが必要であったため、協力していただける施設や被験者に制約があった。実験で使用した施設の体操場の床面は、フローリング材質ではなく、硬めのスポンジ形状の板を敷き詰

めてあったため、RJの接地時間は、先行研究と比べて少し長かった（小森ほか，2012；本嶋ほか，2016；関子ほか，1996；関子ほか，2017）。また，近畿地方にトランポリン競技部がある大学は一校しかなく，競技者が少ないことから，トランポリンアスリートの被験者には，男女が混じったことが挙げられる。

第5章 総括

本研究の目的は、熟練度の異なるトランポリンアスリートと経験者および未経験者のトランポリンのジャンプ (Trampoline Jump 以下, TJ) の踏切動作を明らかにすることである。さらに、得られた知見を基にトランポリン未経験者に対する指導や熟練度の高い選手に対してのトレーニングに役立てることとした。

第2章では、熟練度の高いトランポリンアスリートを対象に踏切動作について映像および EMG を分析した。対象試技は着地領域による中央跳躍と後方跳躍に分類した。その結果、長い滞空時間 (高い跳躍高) の跳躍ほど、沈み局面速度が速い (沈み局面鉛直距離は長く、沈み局面時間は短い) ことが明らかになったが、離地から着地までの水平移動距離と滞空時間などのキネマティクスデータとの間には有意な相関関係は認められなかった。中央跳躍の踏切について EMG を分析した結果では、中央跳躍と後方跳躍における腓腹筋の筋活動と水平移動距離との間には、有意な相関関係が認められた。中央跳躍するには、足関節の背屈位で腓腹筋の伸張性収縮を十分に活動させることが重要であると考えられる。

第3章では、トランポリン未経験者と経験者を対象にして、映像の分析と足底圧の測定により、TJ とリバウンドジャンプ (Rebound Jump 以下, RJ) との比較検討を行った。その結果、未経験者の TJ の股関節と膝関節角度は着地から離地まで、RJ ほど大きな変化は示さなかった。未経験者にとって高さのある連続の TJ を実施することは、跳躍をコントロールできない恐怖心が働いて、大きく屈曲・伸展を伴った踏切動作ができない可能性がある。そのため、一定の関節角度を保持した状態で対応していると考えられた。着地から離地まで、TJ と RJ とともに拇趾と拇趾球の圧力は大きく、足部セグメント角ではつま先が踵骨を通る水平軸より下のままであった。この結果から TJ は RJ と同じように、つま先側で着地して踏切っていたことが明らかになった。未経験なトランポリンの運動に対して、RJ のような下肢動作になった可能性が示唆された。下肢関節の角度および踵と足趾の圧力には、TJ と RJ との間に有意差が認められた。トランポリン経験者は沈み局面において、股関節と膝関節を大きく伸展させながら押し込み、同時に踵からトランポリンベッドを下方へ沈ませていることが示唆された。これはトランポリンベッドをより深く沈める動作であり、その後の跳ね上がりでも真上方向に飛び出そうとしたと考えられる。沈み局面において、TJ と RJ の下肢関節の

動作は、トランポリンベッドの沈み込みと RJ の着地衝撃の吸収との役割が異なることが明らかになった。

第 4 章では、TJ の踏切動作における足部について考察を行った。アスリートや経験者の TJ の踏切動作では、足関節の背屈位での沈み込みがみられた。足関節の背屈位は、距腿関節の骨性構造上、底屈位よりも安定性が高い。アスリートや経験者の TJ に示された足関節の背屈位によるトランポリンベッドの沈ませ方は、機能解剖学的にも踏切動作に適した関節の使い方である。また、アスリートの腓腹筋の筋活動は活発であり、映像では足関節が背屈方向へ動かされていたので、伸張性収縮をしていると考えられた。しかし、意識して背屈動作を行おうとしていると伸張性収縮は起きにくい。そこで、経験者の足底圧をみると、拇趾と第 2-5 趾の圧力が大きく、屈曲動作をしていると推察される。拇趾と第 2-5 趾の屈曲動作に作用する筋は長拇趾屈筋と長趾屈筋であり、足関節の底屈動作の補助筋でもある。足関節は底屈動作を行おうとしているが、トランポリンベッドのたわみによって背屈方向に動かされて、作用する腓腹筋が伸張性収縮を起こしたと考えられる。

これらの熟練別の踏切動作を基に、今後さらに研究が進展すれば、踏切による傷害発生の減少へと繋がることが期待できる。

参 考 文 献

- 赤羽秀徳, 青木和夫, 星川 秀利 (2003) ペダリング動作時の足関節固定が下肢の運動機能に及ぼす影響. 人間工学, 39(4) : 169-179.
- 赤羽秀徳, 青木和夫, 星川 秀利 (2004) ペダリング動作時の足関節底屈・背屈運動の違いが自覚的運動強度に及ぼす影響. 人間工学, 40(3) : 115-124.
- Aldo O. Perotto. (2007) 筋電図のための解剖ガイド第3版. 西村書店, 東京.
- Andrew B. (2012) ボディ・ナビゲーション改訂版一触ってわかる身体解剖. 医道の日本社, 神奈川.
- Ashby K., Pointer S., Eager D., Day L. (2015) Australian trampoline injury patterns and trends. Australian and New Zealand Journal of Public Health, 39(5) : 491-494.
- 東文磨 (1974) 跳躍の研究・地上と Trampoline 上の跳躍についての筋電図的研究. 龍谷大學論集, 403 : 145-159.
- Bobbert MF., Gerritsen KG., Litjens MC., Van Soest AJ. (1996) Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. Medicine & Science in Sports & Exercise, 28(11) : 1402-1412.
- Cheung MY., Lai CL., Lam WH., Lau JS., Lee AK., Yuen GG., Chan YK., Tsang WL. (2016) Trampoline-related injuries in Hong Kong. Hong Kong Medical Journal, 22(1) : 81-84.
- Eurotramp 社 (2014) https://www.eurotramp.com/us-en/api/misc/download/product-information_types-of-jumping-beds_en_02a578734e.pdf (accessed 2018-11-1).
- Fédération of Internationale de Gymnastique (2016) Trampoline Code of Points 2017-2020. http://www.fig-gymnastics.com/publicdir/rules/files/tra/TRA-CoP_2017-2020-e.pdf, (accessed 2016-12-12).
- 福井卓也 (2006) トランポリン競技の技術体系に関する研究～垂直方向技術系統について～. 金沢学院大学紀要「情報科学・自然科学編」, 4 : 119-126.
- 福本貴彦 (2016) 「リハ専門医が知っておくべき骨関節の3次元動態」足関節のバイオメカニクス. リハビリテーション医学, 53 (10) : 779-784.
- 藤田一郎 (1992) 競技トランポリンの安全指導に関する研究－傷害に関する考察－. 北見工業大学研究報告, 24 (1) : 43-58.

- 深代千之 (2000) 反動動作のバイオメカニクス：伸張-短縮サイクルにおける筋-腱複合体の動態. 体育学研究, 45 (4) : 457-471.
- 深代千之 (1990) 跳ぶ科学. 大修館書店, 東京.
- 後藤幸生, 半田裕二, 野田燎 (1999) 意識障害患者に対する“音楽運動療法”とその脳活動電位・自律神経機能 正常者の心地よさの体験と 1 / f ゆらぎの参考に. 蘇生, 18 (1) : 41-48.
- 半田徹, 加藤浩人, 長谷川伸, 岡田純一, 加藤清忠 (2007) カーフレイズ系種目の筋力トレーニングにおける腓腹筋, ヒラメ筋の筋電図学的分析. スポーツ科学研究, 4: 63-74.
- 原樹子, 立正伸, 横澤俊治, 平野裕一 (2008) スクワットジャンプの股関節初期角度の違いがパフォーマンスに与える影響. JAPANESE JOURNAL of ELITE SPORTS SUPPORT, 4, 21-31.
- 長谷川輝紀 (1968) トランポリンにおけるフィート・バウンス (Feet Bounce) の分析的研究. 東京女子体育大学紀要, 3 : 47-50.
- 長谷川輝紀 (1966) トランポリンにおける後方宙返り抱型の分析的研究. 東京女子体育大学紀要, 1 : 40-45.
- 林恭輔, 大西崇仁 (2014) 関節角度およびトルクが股関節伸展筋群の筋活動に与える影響. 松山大学論集, 26 (3) : 101-116.
- Herzog W., Hasler E., Abrahamse SK. (1991) A comparison of knee extensor strength curves obtained theoretically and experimentally. Medicine and Science in Sports and Exercise, 23 (1), 108-114.
- Hislop HJ., Montgomery J. (2002) Daniels and Worthingham's Muscle Testing 7th ed. Philadelphia, WB Saunders Company.
- 池田千紗, 安井友康, 金澤恵美, 平山一馬, 中嶋秀一, 松田岳大, 山本理人, 千賀愛 (2016) 知的障害児のトランポリン跳躍姿勢の変化 特別支援学級における体育授業を通して. 北海道教育大学紀要 教育科学編, 67 (1) : 125-133.
- 伊藤直樹, 山崎博和, 平井敏幸, 鈴木雅大, 宮本英美子, 石井喜八 (2000) トランポリン運動<ストレートジャンプ>の研究. 日本体育大学紀要, 30 (1) : 59-64.
- 伊藤美夫 (2008) 2006 年度トランポリン初級教本：トランポリン基本練習方法論. 流通経済大学スポーツ健康科学部紀要, 1 (1) : 149-171.

- 伊藤美夫 (2009) 2008 年度トランポリン中級教本：トランポリン基本練習方法論. 流通経済大学スポーツ健康科学部紀要, 1 (2) : 139-179.
- 石田弘, 渡邊進, 田邊良平, 江口淳子, 小原謙一 (2007) 前かがみ姿勢での等尺性引き上げ運動における体幹および股関節伸展筋の筋電図学的検討 - 体幹前傾角度の違いが及ぼす影響 -. 理学療法学, 34 (3) : 74-78.
- 上岡洋晴, 菊池秀悦 (2009) 学生トランポリン競技大会で演技を大失敗した選手の特徴. 身体教育医学研究, 10 (1) : 7-21.
- 小嶋武次 (1990) 跳躍動作における伸張性筋収縮の意義. *Journal of Sports Sciences*, 9-3 : 123-129.
- 金子公宥, 豊岡示朗 (1978) Trampoline 運動中の呼吸循環系反応. *体育科学*, 6 : 9-16.
- Kasmire KE., Rogers SC., Sturm JJ. (2016) Trampoline Park and Home Trampoline Injuries. *Pediatrics*, 138 (3). DOI : 10. 1542/peds. 2016-1236.
- 河本晃一, 村上宏樹, 徳弘一路 (1995) モード解析を用いたテニスラケットのスイートスポットの決定と振動止めの効果. *神奈川工科大学研究報告 B 理工学編*, 19, 161-169.
- Komi PV. (1979) Neuromuscular performance. Factors influencing force and speed production. *Scandinavian journal of sports sciences*, 1 : 2-15.
- 小森大輔, 関子浩二, 小西麻耶子, 小森智美 (2012) リバウンドジャンプ初心者のための指導法-姿勢づくりに着目して-. *スポーツパフォーマンス研究*, 4 : 161-170.
- 工藤孝幾 (1989) 外界の視覚的認知. *運動行動の心理学*. 高文堂出版社, 東京.
- 熊山彩子, 山田昌尚 (2012) トランポリン競技における跳躍高に対するベッド沈み込み距離の画像解析. *情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集*, (1) : 425-427.
- Luhtanen P. and Komi PV. (1979) Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump takeoff. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 41 : 267-274.
- Maffiuletti NA. and Lepers R. (2003) Quadriceps femoris torque and EMG activity in seated versus supine position. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (9) : 1511-1516.
- Marquez G, Aguado X, Alegre LM, Fernandez-del-Olmo M. (2013) Neuromechanical adaptation induced by jumping on an elastic surface. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23 : 62-69.

- Marquez G, Aguado X, Alegre LM, Lago A, Acero RM, Fernandez-del-Olmo M. (2010) The trampoline aftereffect : the motor and sensory modulations associated with jumping on an elastic surface. *Experimental brain research*, 204 : 575-584.
- 宮内駿, 福村直博 (2016) トランポリン跳躍後の垂直跳びにおける筋運動感覚残効の研究. *電子情報通信学会技術研究報告*, 116 (343) : 31-36.
- 本嶋良恵, 小森大輔, 北川淳一, 前田明 (2016) 踏切面の違いが体操競技選手および陸上競技跳躍・混成選手のリバウンドドロップジャンプ遂行能力および跳躍動作に及ぼす影響. *体育学研究*, 61 (1) : 1-10.
- 中原はるか, 竹森節子, 鶴岡 尚志 (1998) 空間識と身体の平衡 : 起立時の高さと身体の動揺に関する検討. *Equilibrium Research*, 57 (4) : 435-442.
- 日本体操協会 (2015a) 第 52 回全日本トランポリン競技選手権大会個人男子予選結果. https://www.jpn-gym.or.jp/wp-content/uploads/2015/10/TRA_52nd_TGNC_IND_Men_Qualification.pdf, (accessed 2016-7-1).
- 日本体操協会 (2015b) 第 52 回全日本トランポリン競技選手権大会個人女子予選結果. https://www.jpn-gym.or.jp/wp-content/uploads/2015/10/TRA_52nd_TGNC_IND_Women_Qualification.pdf, (accessed 2016-7-1).
- 日本体操協会 (2016) トランポリンコーチ教本 2016 年度版, 東京, pp. 2-6, 18-23.
- 日本体操協会 (2017a) 第 4 回全日本トランポリン年齢別選手権大会個人オープン男子結果. http://www.jpn-gym.or.jp/wp-content/uploads/2017/05/TRA_4th_AgeAgeGr_Open_MEN_Result_Final.pdf, (accessed 2017-6-30).
- 日本体操協会 (2017b) 第 4 回全日本トランポリン年齢別選手権大会個人オープン女子結果. http://www.jpn-gym.or.jp/wp-content/uploads/2017/05/TRA_4th_AgeGroup_Open_WOMEN_Result_Final.pdf, (accessed 2017-6-30).
- 野田療 (1994) 重度脳性麻痺患者の音楽運動療法-トランポリン使用の音楽療法の神経学的考察による治療理論とその実践方法について-. *大阪芸術大学紀要*, (17) : 146-161.
- Nysted M. and Drogset JO. (2006) Trampoline injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 40 (12) : 984-7.
- 大林正憲, 長谷川輝紀 (1968) トランポリンにおけるフイート・バウンスの分析的研

- 究. 体育学研究, 12 (15) : 1.
- 大林正憲 (1998) トランポリン競技. 道和書院, 東京.
- 塩野尚文 (1992) 子どものトランポリン運動—エアリアル・トレーニング—. 道和書院, 東京.
- Song Y., Yao D., Sun W. (2011) Analsis about sEMG in the Process of Net-kicking of the Trampoline Athlete. Journal of Beijing Sport University, 34 (2) : 65-67.
- 杉谷崇, 芝垣正光 (2001) 重度障害児に対するトランポリン運動の研究, 富山大学教育学部研究論集, 4 : 53-58.
- 辻本典央, 松儀怜 (2015) トランポリン競技における跳躍安定性評価方法の確立とトレーニング応用への実践例. スポーツパフォーマンス研究, 7 : 99-112.
- 植田昌治, 久住武, 大谷純 (2010) 高所立位時の不安が左右の足圧中心値に及ぼす影響. 心身健康科学, 6(1) : 30-38.
- 上山容弘, 淵本隆文 (2007) トランポリンの踏切動作. 体育の科学, 57 (7) : 516-520.
- 浦辺幸夫 (1986) 足関節の位置が膝関節の筋力に与える影響. 北海道理学療法, 1(3) : 45-49.
- 牛志馨, 霍明, 丸山仁司 (2010) 膝関節運動における足関節角度の変化への影響について. 理学療法科学, 25(4) : 557-560.
- Van Ingen Schenau GJ. (1984) An alternative view of the concept of utilization of elastic energy in human movement. Human Movement Science, 3 : 301-336.
- Van Ingen Schenau GJ., Bobbert MF., Huijing PA., Woittiez RD. (1985) The instantaneous torque-angularvelocity relation in plantar flexion during jumping. Medicine & Science in Sports & Exercise, 17 : 422-426.
- Vaughan C.L. (1980) A kinetic analysis of basic trampoline stunts. Journal of Human Movement Studies, 6(3) : 236-251.
- Vera Garcia FJ., Moreside JM., McGill SM. (2010) MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women. Journal of Electromyography & Kinesiology, 20 (1) : 10-6.
- 安井友康 (1993) 疾病がダウン症児の呼吸循環器系機能に及ぼす影響 : 水痘罹患前後におけるトランポリン運動中の心拍数測定を通して. 年報いわみざわ初等教育・教師教育研究, 14 : 73-78.

- 山本博男, 穴田生, 東章弘, 木本明子 (1992) 跳躍頻度からみたトランポリンのストレートバウンス. 金沢大学教育学部紀要自然科学編, 41 : 33-38.
- 山本博男, 福島基, 南谷利直, 横山健, 安土武志 (1990) トランポリン運動における安全性の基礎的実験研究. 金沢大学教育学部紀要自然科学編, 39 : 81-86.
- 山崎博和, 平井敏幸, 伊藤直樹 (1999) トランポリン運動のストレートジャンプにおける熟練者と未熟練者の相違に関する研究: 膝関節角度の変化に着目して. 日本体育学会大会号, 50 : 494.
- 山崎博和, 平井敏幸, 伊藤直樹 (2000) トランポリン運動におけるストレートジャンプの技術に関する研究・膝関節角度と体幹の角度変化に着目して. 日本体育学会大会号, 51 : 391.
- 山崎博和, 平井敏幸, 藤田一郎, 伊藤直樹, 稲垣敦 (2001) トランポリン運動のストレートジャンプにおける経験的知識に関する研究: 着床期前半での跳躍能力別の経験的知識構造と経験的重要度評価から. 日本体育大学紀要, 30 (2) : 311-324.
- 山崎博和, 平井敏幸, 伊藤直樹 (2002) トランポリン運動のストレートジャンプにおける経験的知識の性差に関する研究・着床時および離床時の経験的重要度評価から. 日本体育大学紀要, 31 (2) : 49-64.
- 米本恭三, 石神重信, 近藤徹 (1995) 関節可動域表示ならびに測定法: 平成7年4月改訂. リハビリテーション医学, 32 (4) : 207-217.
- 関子浩二, 高松薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響-膝関節角度に着目して-. 体力科学, 45 : 209-218.
- 関子あまね, 荻山靖, 関子浩二 (2017) リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価. 体力科学, 66 (1) : 79-86.

謝 辞

本論文を執筆するにあたり，ご支援して下さった全ての皆様に心から感謝申し上げます。

神戸大学大学院 人間発達環境学研究科 人間環境学専攻 教授 矢野澄雄 先生には，主指導教官として，終始懇切丁寧に手厚いご指導，ご助言を賜りました。ここに深謝の意を表します。

神戸大学大学院 人間発達環境学研究科 人間環境学専攻 教授 井上真理 先生，准教授 福田博也 先生，ならびに，人間発達専攻 教授 前田正登 先生，准教授 木村哲也 先生には，本論文の細部にわたり，貴重なご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

また，修士課程の指導教官である武庫川女子大学大学院 健康・スポーツ科学研究科 健康・スポーツ科学専攻 教授 伊東太郎 先生には，測定機材とデータ解析ソフトをご提供いただき，心より感謝致します。

本研究の実験の実施にあたり，多大なるご支援をいただきました武庫川女子大学大学院ご出身の植杉優一氏，宮本英美香氏，村上堯之氏，森上真依氏，山下笑梨氏，ならびに，神戸大学大学院ご出身の鎌田庸平氏，沈紀昶氏，唐瑋超氏，鐘寧磊氏に感謝致します。また，被験者のご協力，およびトランポリン器具の貸出をいただきました阪南大学トランポリン競技部の岩下由利子先生と選手の皆様，ならびに，富田林トランポリンクラブの大谷宏美先生と選手の皆様に御礼申し上げます。

勤務先である大原簿記専門学校神戸校，大原医療福祉&スポーツ保育専門学校姫路校の教職員の皆様にも大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。そして，家族にも温かく見守っていただきました。本当に有難うございました。

掲 載 論 文 一 覧

以下は、筆者が神戸大学大学院人間発達環境学研究科人間環境学専攻博士課程後期課程に在籍中に掲載された論文（全て査読付き）であり、本論文に関するものである。

- 1) 松島正知, 中西増代, 中西康人, 植杉優一, 矢野澄雄, 伊東太郎 (2017) トランポリン競技の踏切における筋活動と滞空時間との関連. 体育・スポーツ科学, 26 : 31-36.
- 2) 松島正知, 矢野澄雄 (2018) トランポリンのストレートジャンプにおける踏切中の筋活動と着床位置との関係. スポーツパフォーマンス研究, 10 : 15-26.
- 3) 松島正知, 矢野澄雄 (2018) トランポリンのジャンプとリバウンドジャンプとの沈み局面での違いについて. 運動とスポーツの科学, 23 (2) : 133-135.
- 4) 松島正知, 矢野澄雄 (2018) トランポリン経験者と未経験者における傷害防止のための踏切動作分析. 体育・スポーツ科学, 27 : 39-48.