

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

松島正知, 矢野澄雄

神戸大学大学院人間発達環境学研究科

キーワード: トランポリン, 踏切動作, 移動距離

【抄録】

本研究はトランポリンの踏切における, 下肢および体幹筋群の活動と移動距離との関係を明らかにすることを目的とした. 被験者 9 名に 10 本跳躍を行わせ, 中心位置の跳躍と後方位置の跳躍に分けた. 測定は体幹および下肢筋の筋電図, ハイスピードカメラによる映像ならびにロードセルから検出した出力を同期記録した. 踏切局面の区間はトランポリンの沈みを前半と後半, 上りを前半と後半に分割して分析した. その結果, 下肢関節角度は沈み局面と上り局面ともに終始, 変化を示していたが, 筋活動は沈み局面の方が上り局面より大きく活動していた. また, 腓腹筋の筋活動と移動距離とに相関関係が認められた. 腓腹筋の伸張性収縮が移動距離に影響している可能性が示唆された. そして, これらの知見を手がかりに, 実践現場へのヒントを検討した.

スポーツパフォーマンス研究, 10, 15-26, 2018 年, 受付日: 2017 年 1 月 12 日, 受理日: 2018 年 1 月 23 日

責任著者: 松島正知 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11 神戸大学

e-mail: m19832011@yahoo.co.jp

Relation between muscle activity during takeoff and landing positions in the trampoline straight jump

Masaharu Matsushima, Sumio Yano

Graduate School, Kobe University

Key words: trampoline, take-off motion, traveling distance

【Abstract】

The present study aimed to examine the relation between muscle activity in the lower legs and the trunk and traveling distance at takeoff in trampoline. Nine participants made 10 jumps, which were divided into jumps from a central position and jumps from a rear position. Synchronous recordings were made of the electromyogram (EMG) of the trunk and lower leg muscles, videos using a high-speed camera, and output from a load cell. The takeoff phase was analyzed by segmenting both the sinking stage and

the rebounding stage into halves. The results suggested that the angle of the joint of the lower legs changed continuously through both the sinking stage and the rebounding stage, but that muscle activity was greater in the sinking stage than in the rebounding stage. Also, a correlation was observed between activity of the gastrocnemius muscle and traveling distance. It was suggested that an eccentric contraction of the gastrocnemius muscle may have affected the traveling distance. Possible practical applications of these results are discussed.

1. 緒言

トランポリン競技は連続した異なる 10 種目の実施を評価される競技である。評価方法は水平方向の移動に対し評価する Horizontal displacement 点 (以下, 移動減点), 美しさを評価する演技点, 宙返りなどの種目の回転数や捻り数を評価する難度点と種目の滞空時間を評価する跳躍時間点の 4 つの評価によって順位が決定する (Trampoline Code of Points 2017-2020, 2016)。その中でも移動減点はこれまで演技点の一部に含まれていた要素であったが, 2017 年から新たに単独で評価されるように改正された。同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の変動を及ぼしている (日本体操協会, 2017a, b)。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。

これまでの移動減点の評価基準ではトランポリンのベッド上に引いてある真ん中の横 1.08m, 縦 2.15m の長方形 (以下, ジャンピングゾーン) (図 1 左) から出なければ移動減点はなかったが, このジャンピングゾーン内にも移動減点の新たな基準範囲が追加された。図 1 右は 2017 年より新たに追加された移動減点をトランポリンのベッド上に表記したイラストである。真ん中のジャンピングゾーンの中を正方形に区切った範囲が移動減点無しの 0.0 点 (以下, 中心位置) であり, その範囲以外に着床するような移動した跳躍は 0.1 点または 0.2 点の減点があるので, 中心位置から移動距離が短い跳躍のほうが移動減点は無く, 評価が高いことになる。

移動減点が無い中心位置の範囲で跳躍するためには踏切動作が重要だと指導の現場では言われている。しかし, 中心位置とそれ以外の位置の踏切りで, どのように筋が活動しているかまでは明らかになっていない。また先行研究では, 深い腰, 膝の曲げからの素早い伸ばしが必要と述べていたり (大林・長谷川, 1968), 熟練者と非熟練者との膝関節角度変化の比較検討した研究では熟練者の膝関節のほうが, より屈曲して伸展していると報告していたりする (伊藤ほか, 2000; 山崎ほか, 1999, 2000)。筋活動の様相の研究では幼少者と成人者を比較しており踏切中の各筋活動を示している (東, 1974)。しかしトランポリンの踏切動作に関する研究数は充分ではなく, さらに中心位置における鉛直上方への垂直跳躍 (Straight jump 以下, SJ) の踏切動作をみた研究はあるが, 移動距離との関係を示した研究は見あたらない。よって, 下肢関節角度変化や筋活動の様相と移動距離との関係を明らかにすることはルール改正された競技現場に有益な示唆をもたすと考えられる。

そこで本研究は初級者が最初に習得する最も基本的な種目 (大林, 1998; 伊藤, 2008, 2009) である SJ について, 着床位置による筋活動の特徴を明らかにし, 踏切動作の指導のヒントを得るために基礎資料を得ようとした。

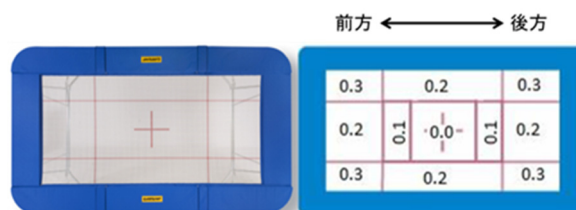


図 1 上から見たトランポリンと位置による移動減点表示

2. 方法

A. 対象

被験者は、男性 5 名、女性 4 名の計 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) であった。

B. 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 社製ユーロトランポリン Premium4×4 を使用した。試技は被験者にトランポリン上で立位静止から真つすぐ跳躍する SJ を 5 本予備跳躍させて、そのまま続けて 10 本の SJ を行わせた。被験者には、最大努力でできるだけ高く SJ を行うように指示した。

試技は、十分なウォーミングアップの後、疲労による影響が出ないように十分に配慮し行わせた。実験終了後、被験筋の等尺性随意最大収縮 (Maximum voluntary contraction 以下, MVC) を実施するため、脊柱起立筋と腹直筋は Vera-Garcia et al. (2010) の方法に、その他の被験筋は MMT 法 (Manual muscle test) に従い検者の徒手を用いて測定した。

測定項目は、トランポリン側方中央のスプリング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) を取り付け、牽引力データから被験者がトランポリンに触れた接地時、最も深く沈んだ最下点、足が離れる離地時を求めた。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 筋の筋腹中央にワイヤレス電極を貼付しマルチテレメーターシステム (日本光電製:WEB-7000) で EMG 信号を受信した。EMG 信号は 1000Hz のサンプリング周波数でデジタルデータを PC に収録した。また試技中、1 台ハイスピードカメラ (CASIO 製:EX-F1) をトランポリンの側方に設置して、300fps, シャッタースピード 1/1000 秒で踏切動作を撮影した。カメラはトランポリンのベッド面と同じ高さ 1.155m, トランポリンのベッド面中心側方から 5.550m の位置に設置した。EMG, ロードセル信号および映像を同期記録するために、LED ランプの同期信号を収録した。なお、映像を二次元解析するため、実長換算用のキャリブレーションを実験終了後に行った。

C. 踏切局面

踏切動作の局面を図 2 のように分けた。トランポリンに接地して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に分割した (映像 1)。さらに両局面に要した時間を半分に前半と後半に分けて、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 分割にして分析した。

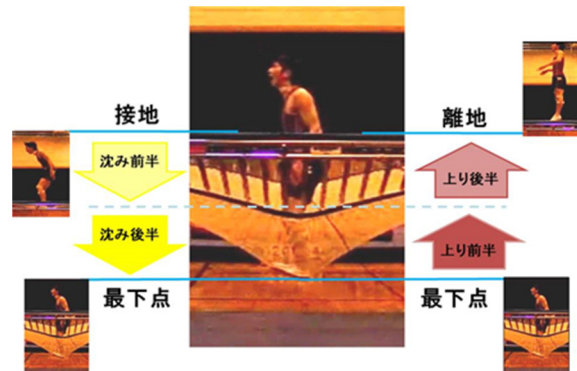


図 2 踏切局面

D. 算出項目

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、単位時間当たりの平均積分値を求めた。そして MVC 時の EMG を 100%として正規化(%MVC)することで動作中の筋活動水準を評価した。その後、局面ごとに積分値を算出して、それを各局面に要した時間で除し EMG 振幅を求めた。

撮影した映像は、二次元解析ソフト(DKH 社製:フレームディアスIV)を用いて、肩峰、大転子、膝関節外側点、外果、踵骨、第 5 中足骨頭をデジタイズポイントとし、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線と大転子から膝関節外側点を結ぶ線とのなす角とした。膝関節角度は、大転子と膝関節外側点を結ぶ線と膝関節外側点と外果を結ぶ線とのなす角とした。足関節角度は、膝関節外側点と踵骨を結ぶ線と踵骨と第 5 中足骨頭を結ぶ線とのなす角とした。また解剖学的肢位を開始肢位 0 度として各関節角度を求めた。

跳躍の分類は、移動減点無しを中心位置から離地して中心位置に着地する跳躍(以下、中心跳躍)(映像 2)と中心位置から後方の移動減点 0.1 もしくは 0.2 の範囲(以下、後方位置)(映像 3)に着地する跳躍(以下、後方跳躍)に分類した。両跳躍の分類は映像から判別した。この分類した跳躍について比較分析を行った。跳躍の移動距離は二次元解析ソフトを用いて、離地時の踵から着地時の踵までの距離を画像上で算出した。

E. 統計処理

移動距離、下肢関節角度、各局面の EMG 振幅について 2 群間の平均値±標準偏差を比較した。また各被験筋の筋活動と移動距離との関係性について、Pearson の相関分析を行い有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

A. 対象跳躍

9 名の被検者に各 10 本の SJ 跳躍のうち、該当する中心跳躍は 15 本(被験者 B, C, D, F, H の 5 名)、後方跳躍は 13 本(被験者 A, B, C, E, F, G, I の 7 名)であった。

B. 移動距離

中心跳躍の移動距離の平均は $0.141 \pm 0.021\text{m}$, 後方跳躍の移動距離の平均は $0.433 \pm 0.046\text{m}$ であり, 後方跳躍の移動距離の方が長かった。

C. EMG と下肢関節角度変化の一例

踏切動作の EMG と下肢関節角度変化の一例として, 図 3 は中心跳躍の場合, 図 4 は後方跳躍の場合をそれぞれ異なる被験者のデータを示した. 両跳躍とも股関節, 膝関節は接地から離地にかけて伸展していた. 足関節は両跳躍とも接地から最下点にかけて背屈して, 最下点から離地にかけて底屈していることが観察された。

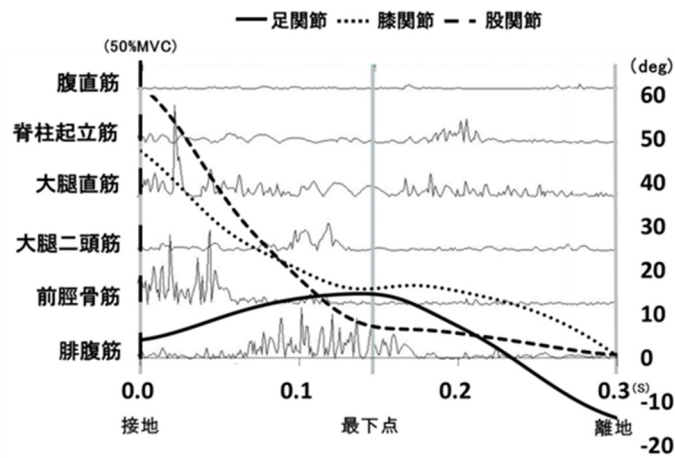


図 3 中心跳躍の EMG と下肢関節角度変化の一例

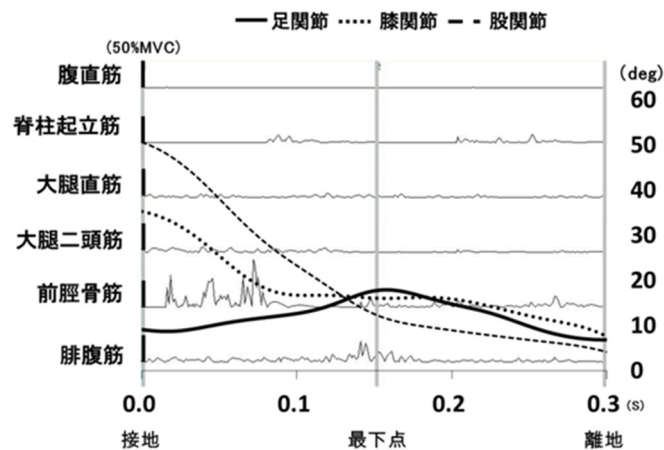


図 4 後方跳躍の EMG と下肢関節角度変化の一例

D. 下肢関節角度

図5は両跳躍の接地, 最下点, 離地における足関節, 膝関節, 股関節の角度の被験者の平均を比較したものである. 両跳躍の角度の差は股関節の接地が 10deg 程度であったが, 他の角度の差は 4deg 程度の差であった.

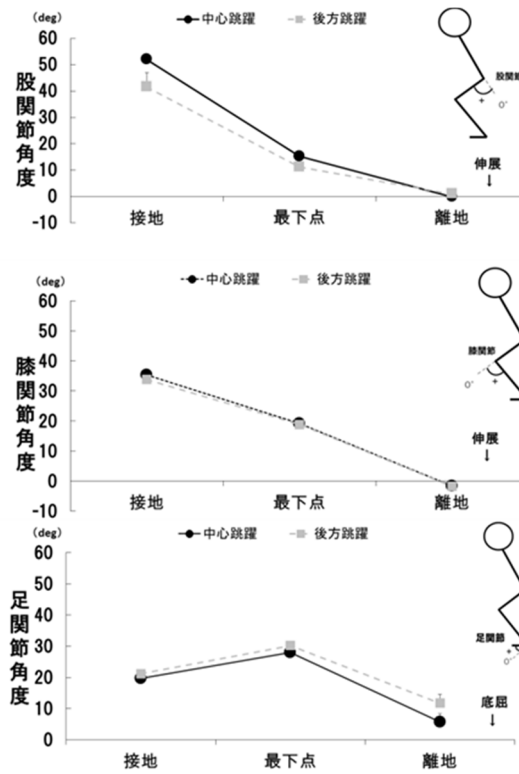


図5 接地, 最下点および離地における下肢関節角度

E. EMG 振幅

4つの局面において, 8被験筋のEMG振幅を両跳躍で比較したものを図6~図9に示す.

図6の沈み局面前半で大腿二頭筋と腓腹筋は, 中心跳躍の方が後方跳躍よりもEMG振幅で50%以上大きかった. 前脛骨筋は, 後方跳躍の方が中心跳躍よりもEMG振幅で40%以上大きかった.

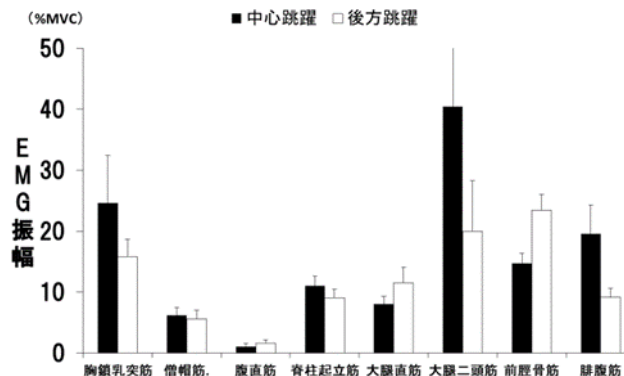


図6 沈み局面前半におけるEMG振幅の比較

図 7 の沈み局面後半で腓腹筋と大腿二頭筋の EMG 振幅は、中心跳躍の方が大きかった。胸鎖乳突筋の EMG 振幅は沈み局面前半とは逆に、後方跳躍の方が大きくなった。

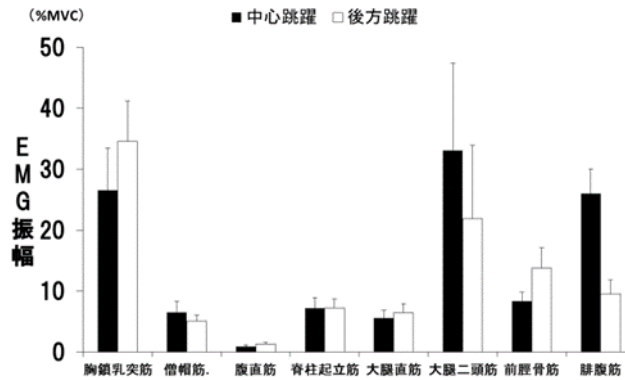


図 7 沈み局面後半における EMG 振幅の比較

図 8 の上り局面前半と図 9 の上り局面後半で、EMG 振幅 10%MVC 程度の大きさを示した筋は両跳躍とも無かった。

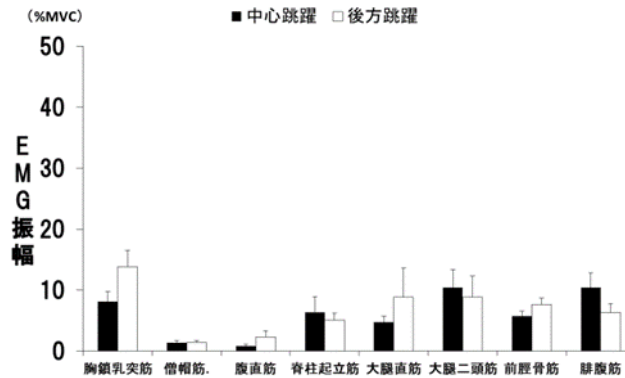


図 8 上り局面前半における EMG 振幅の比較

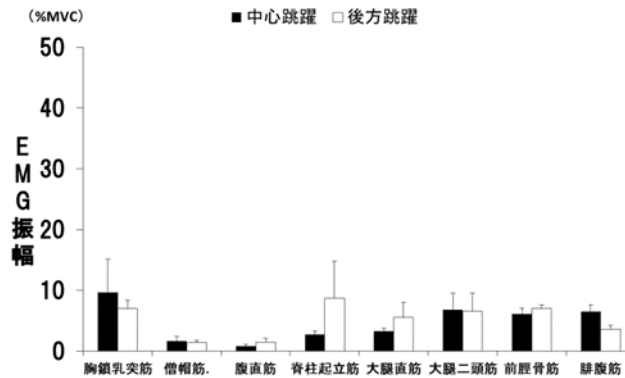


図 9 上り局面後半における EMG 振幅の比較

F. EMG 振幅と移動距離との相関関係

表 1 は被験筋の EMG 振幅と移動距離との相関係数を局面ごとに求めた。中心跳躍において、下肢の腓腹筋との間に、沈み局面後半および上り局面前半で $r=-0.613$ ($p<0.05$) (図 10) および $r=-0.604$ ($p<0.05$) (図 11) の有意な相関関係が認められた。体幹にも、上り局面前半で僧帽筋と $r=-0.589$, 上り局面後半で脊柱起立筋と $r=0.523$ の 5%水準の有意な相関関係が認められるものの、それ以外の被験筋には 5%水準で有意な相関関係はみられなかった。後方跳躍の被験筋の EMG 振幅との有意な相関関係は認められなかった。

表 1 EMG 振幅と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
中心跳躍	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
中心跳躍	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
中心跳躍	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
中心跳躍	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

* $p<0.05$

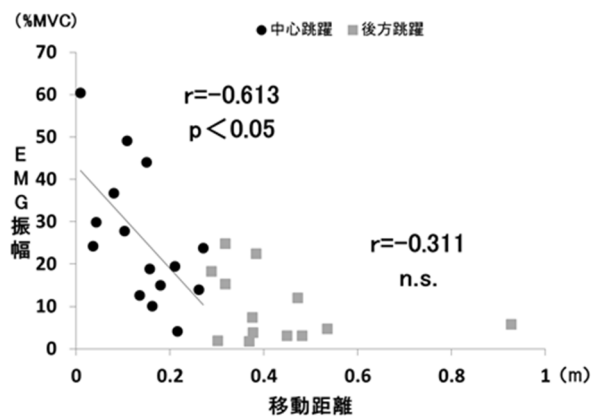


図 10 沈み局面後半における腓腹筋の筋活動と移動距離との相関関係

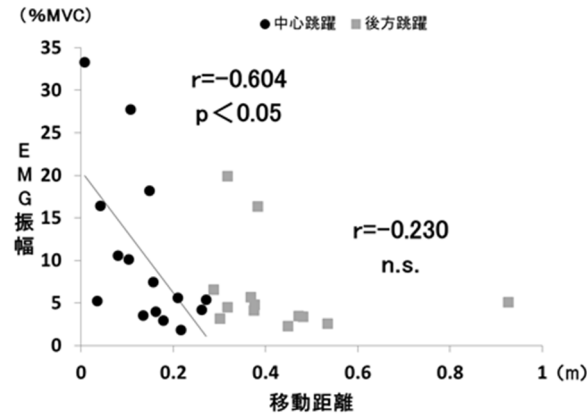


図 11 上り局面前半における腓腹筋の筋活動と移動距離との相関関係

4. 考察

本研究は SJ について着床位置による筋活動の特徴を明らかにし、踏切動作の指導のヒントを得るために基礎資料を得ようとした。

図 3～図 5 より両跳躍の下肢関節角度を比較すると、膝関節と股関節は両跳躍ともに接地から離地にかけて伸展しており、山崎ら(1999, 2000)、伊藤ら(2000)の報告と一致していた。これは伊藤ほか(2000)が述べているように、膝関節と股関節の伸展によって、トランポリンのベッドを下方へ押し込み、高く跳躍しようとしているものと考えられる。

一方、股関節の伸展に関わる大腿二頭筋の EMG 振幅の結果(図 6, 7)によると、沈み局面ではどの被験筋よりも EMG 振幅が大きくて、上り局面(図 8, 9)では 10%MVC 以下にまで下がっていた。下肢関節の動きは接地から離地まで終始、伸展していたが、大腿二頭筋の筋活動は沈み局面の方が上り局面より大きかった。このように映像からは膝関節や股関節の伸展する様子が見られるが、筋活動の生起とは必ずしも一致しないことを示唆している。このことは、局面によって指導内容や指導のタイミングを変える必要があると考えられる。沈み局面はわずか約 0.15 秒(伊藤ら, 2000; 上山・淵本, 2007)の踏切時間であるため、接地する前から踏切動作の準備を始める必要があると考えられる。接地前の局面にも着目した研究を今後の課題とする。

前述で示したように図 3～図 5 より、沈み局面における足関節は中心跳躍と後方跳躍ともに背屈を示していた。しかし、沈み局面の EMG 振幅の比較を見ると、中心跳躍の腓腹筋の筋活動は後方跳躍よりも大きく、後方跳躍の前脛骨筋の筋活動は中心跳躍よりも大きかった。沈み局面において両跳躍は足関節の背屈と同じ動きをしていたが、中心跳躍と後方跳躍の腓腹筋と前脛骨筋ではそれぞれ相反する筋活動の大きさを示した。この測定結果から足関節の背屈時は、中心跳躍の場合、腓腹筋による伸張性収縮をしており、後方跳躍の場合、前脛骨筋による短縮性収縮をしていると考えられる。さらに中心跳躍の腓腹筋の筋活動と移動距離との相関関係(図 10)が認められた。このことは中心位置で跳躍するには、足関節を背屈しながらトランポリンのベッドを深く押し込むことと腓腹筋の伸張性収縮を起こすことが移動距離に影響を及ぼしていると考えられる。また、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と考えられる。そのため、前脛骨筋はリラックスさせて極力、筋活動を起こさせないことが腓腹筋の伸張性収縮を十分に活動させるときには求められる。

図5の接地時における後方跳躍の股関節角度は中心跳躍より小さく、股関節伸展位を示していた。踏切動作の開始である接地時に股関節伸展位であることは、大腿二頭筋の筋出力が十分に発揮しにくい関節角度である(石田ら, 2007)。図6と7の大腿二頭筋のEMG振幅においても、後方跳躍の方が中心跳躍より小さいことを示している。このように接地において股関節角度を伸展よりも屈曲させて、大腿二頭筋を活動的にする準備が中心位置で跳躍するには重要であると考えられる。つまり接地時の踏切姿勢が重要であり、股関節の伸展位の状態から踏切動作を行うと、大腿二頭筋の十分な筋出力が抑制され、中心位置ではなく後方位置へ移動してしまう結果になると考察される。

指導現場では、足関節の底屈によるつま先でトランポリンのベッドを強く蹴る(伊藤, 2008)ということが見受けられる。測定結果から、足関節の背屈による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。特に映像からでは筋の活動性や収縮様式は判断しにくい場合があるため、腓腹筋の伸張性収縮を促すようなトレーニングによって適応性を高める鍛錬が必要であると考えられる。

5. 実践現場への示唆

本研究の知見を手がかりに、トランポリンのベッド中の中央位置で跳躍するための指導のヒントを検討すると、以下のことが考えることが出来る。

- 1) 沈み局面における腓腹筋の活発な筋活動が、中心位置で跳躍するには重要であるため、局面によって力の入れ方や指導のタイミングを変える必要があると考えられる。
- 2) 足関節の背屈でトランポリンのベッドを押し込み、同時に腓腹筋が伸張性収縮しやすいように前脛骨筋はリラックスすることが求められる。
- 3) 接地時に股関節の屈曲位から伸展動作を始めることによって、大腿二頭筋の十分な筋活動を生起させた踏切動作が重要である。

謝辞

本研究に際し、武庫川女子大学の伊東太郎先生および植杉優一先生に多大なるご協力をいただきました。あらためて深謝致します。

文献

- ・ 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.
- ・ Federation of Internationale 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).
- ・ Helen J. Hislop, Jacqueline Montgomery, Barbara Connelly, Lucile Dales(1995) Daniel's and Worthmgham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination.
- ・ 伊藤直樹, 山崎博和, 平井敏幸, ほか (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.
- ・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).
- ・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, pp.66-68.
- ・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, Vol.57, No7:516-520.
- ・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.