

身体動作解析によるリフティング熟達者の身体動作の特徴の考察 —メタ認知的言語化の実践研究に向けて—

A study of body control in expert jugglers using motion analysis - Towards practical research on metacognitive verbalization -

岡村 将弥[†], 遠山 紗矢香[†]
Masaya Okamura, Sayaka Tohyama

[†] 静岡大学大学院総合科学技術研究科
Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University
okamura.masaya.21@shizuoka.ac.jp

概要

膝下程度の高さでのリフティングにおいて、先行研究では、熟達者群・初心者群ともに足関節は底屈し、熟達者群は膝関節をより伸展させ、初心者群は足関節をより底屈させていたことが示されている。本研究では、サッカー競技経験者5名と未経験者6名に対して、膝より上から目線の高さ程度までボールを蹴り上げる実践的なリフティングを行わせ、ボールコンタクト時の膝関節と足関節の位置座標を Mediapipe で取得し、身体動作解析によって熟達者の身体動作の特徴について検討した。その結果、熟達者は膝関節を初心者よりも伸展させ、常に足関節を底屈させていたことが示された。また、同程度の競技歴を持つ者であってもリフティングのパフォーマンスは互いに異なったことから、選手間の熟達過程に違いがあった可能性が示された。メタ認知的言語化をはじめとする熟達化過程の質を高める介入を検討する必要性が示された。

キーワード:

リフティング, 熟達化, Mediapipe, 身体動作解析,
メタ認知的言語化

1. はじめに

ある課題に特化した熟達者の知識構造や技能体系を初心者と比較検討する熟達化研究は数多く行われてきた。行為者が多自由度の身体動作を発揮する課題として、サッカー競技におけるリフティングがある。先行研究[1]によれば、リフティング時の操作脚の動作および筋電図データから、両群ともに足関節は底屈し、熟達者群は膝関節をより伸展させ、初心者群は足関節をより底屈していたことが示された。ここで、先行研究[1]の測定試技では、熟達者群のリフティング最高回数は20秒間で 39.0 ± 1.6 回であり、ボールコンタクト時のボール高さが 29.8 ± 8.0 cmであったと報告されている。サッカー経験者である筆者が追実験を行った結果、先行研究[1]における熟達者は膝下程度の高さでリフティングしていたことが推測された。これに対して、膝より上から目線の高さ程度までボールを蹴り上げるリフティングはより実践向きである。こうした高い位置でのリフ

ティングにおいて、先行研究[1]と同様の身体制御がみられるかは検討の余地がある。

そこで本研究では、リフティング中のボールコンタクト時の膝関節と足関節の位置座標を取得し、身体動作解析によって熟達者の身体動作の特徴について検討することを目的とした。

2. 実験方法

2.1. 実験被験者

サッカー競技経験者5名を熟達者群、未経験者6名を初心者群として実験を行った。両群の年齢とサッカー競技歴を表1に示した。熟達者群の候補者として、サッカー競技経験が10年以上である男性10名を集めた。候補者のうち、インステップのみでのリフティングが50回以上できる者に対して本実験の熟達者として協力を依頼した。これは、サッカー熟達者は必ずしもリフティング熟達者とは限らないことを考慮したためである。初心者群の被験者(男性5名, 女性1名)は、実験前にサッカーの経験がほとんどなく、リフティング技術も熟達していなかった。すべての被験者から実験への参加について同意を得た。

表1 被験者プロフィール

	年齢 (yr)	競技歴 (yr)
熟達者群 (n=5)	21.4 ± 0.8	14.0 ± 1.3
初心者群 (n=6)	22.5 ± 1.4	—

2.2. 実験環境

本実験は、静岡大学浜松キャンパスのグラウンドで行った。また、実験日は、天候が晴れ、実験に影響を与

えない程度の風の日を選んだ。3台のビデオカメラ(Panasonic社製)を用いて、フルHD画質(1080p)、フレームレート50fpsの設定で測定を行った。それらを以下の図1のように配置した。ただし、図1中の○は被験者を表す。このように配置した意図は、被験者の自由度の高い動きに応じて、可能な限り被験者の腰と垂直方向からの視点で撮影できるようにすることで、正確な位置座標が取得できるためである。

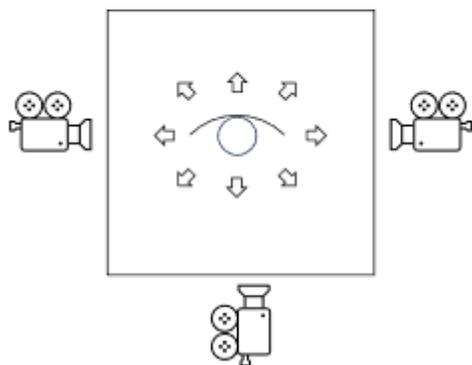


図1 ビデオカメラの配置構成図

2.3. 実験の流れ

実験では、5号球のサッカーボールを用いた。まず、被験者は手からボールを落下させ、ボールが地面に落下するまでを1セットとし、1セットの間にボールを蹴った連続回数を測定した。その際、被験者にはインステップのみを使い、ボールが膝より上から目線の高さ程度にボールを蹴り上げ、50回を目安に可能な限り多くリフティングするように指示をした。1人当たり3セットの計測を行い、測定間には1分程度の休息を与えた。また、実験は被験者ごとに個別で計測した。

3. 分析方法

本実験では、MediaPipe[2]およびMediaPipeのPoseソリューション[3]を利用してリフティング時の姿勢推定を行った。まず、撮影した動画の全フレームを、静止画像に書き出した。次に、全ての静止画像の中から被験者がボールコンタクトした瞬間だけを抜き出し、その静止画像を入力として、MediaPipe Poseで被験者の身体各部位の位置座標を取得した。入力に用いた静止画像のボールは、座標精度を高めるためにMagic Eraser[4]を利用して消去した。この入出力システムは、Python言語を使い、Visual Studio Code上でプログラムを作成・

実行した。計測したデータの一例を図2に示す。

計測においては図2のように、腰と膝の座標を結んだ直線(図中赤破線)と、膝と足首の座標を結んだ直線(図中赤実線)がなす角を、膝の屈曲角度とした。また、膝と足首の座標を結んだ直線の垂線(図中青破線)と、踵とつま先を結んだ直線(図中青実線)のなす角(90度±図中青矢印の角度)を足首の底背屈角度とした。足首の背屈は90度より小さく、底屈は90度より大きい角度であることを表す。

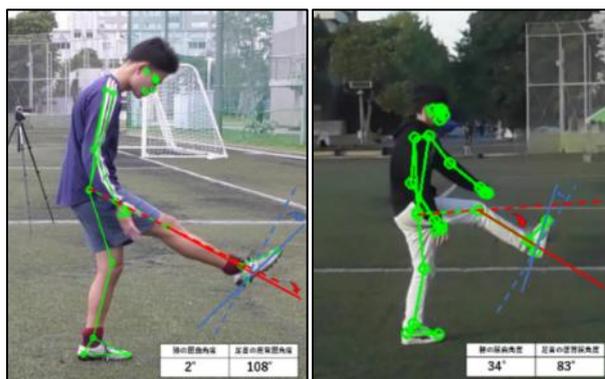


図2 計測データの例(左が熟達者、右が初心者)

4. 仮説

本実験では、リフティングにおけるボールコンタクト時の身体制御の様式について以下の仮説を立てた。

1. 熟達者は初心者群に比べて膝関節をより伸展させてボールコンタクトを行う。
2. 熟達者群、初心者群ともに足関節は底屈し、初心者群は熟達者群に比べて足関節をより底屈してボールコンタクトを行う。

5. 実験結果

5.1. リフティングの連続回数

リフティングの連続回数は熟達者群の全員が3セット全てで50回を達成した。なお、熟達者のうち1名は、腿や頭など足背以外でのボールコンタクトが多く見られ、教示が守られていなかったことから分析対象から除外した。対して、初心者群(A~F)は各セット10回前後であった(表2)。データ数を初心者群に近づけるため、熟達者群4名については各セットの開始直後から10回目までのデータを分析対象とすることとした。

表2 初心者群のリフティング連続回数

	1set	2set	3set	<i>M</i>
A	5	3	6	4.7
B	3	5	12	6.7
C	4	7	11	7.3
D	2	2	3	2.3
E	4	3	4	3.7
F	3	3	4	3.3

5.2. 膝関節における身体制御の違い

両群の膝の屈曲角度の平均値と標準偏差を表3に示す。膝の屈曲角度データは、正規性が確認できなかったため、ノンパラメトリック検定を用いて分析を行った。仮説1について、膝の屈曲角度を群間で比較するマン・ホイットニーU検定を行った結果、熟達者群の方が有意に小さいことが示された($U=3248.0, p<.01$)。仮説1は支持された。また、同角度の標準偏差を比較した結果、熟達者群の方が小さいことが示された。

表3 膝の屈曲角度

	熟達者群		初心者群	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
角度 (deg)	7.5	7.5	15.9	13.5

5.3. 足関節における身体制御の違い

両群の足関節の底背屈角度の平均値と標準偏差を表4に示す。実験結果から、足関節の底背屈角度データは、正規性が確認できなかったため、ノンパラメトリック検定を用いて分析を行った。仮説2について、足首の底背屈角度を群間で比較するマン・ホイットニーU検定を行った結果、熟達者群の方が有意に大きいことが示された($U=2076.5, p<.01$)。仮説2は支持されなかった。また、同角度の標準偏差を比較した結果、熟達者群の方が小さいことが示された。

表4 足首の底背屈角度

	熟達者群		初心者群	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
角度 (deg)	108.4	8.0	95.9	12.2

6. 考察

6.1. ボールコンタクト時の膝関節制御

仮説1について、熟達者群は初心者群に比べて膝関節をより伸展させてボールコンタクトしていたことが

示された。加えて、本研究では熟達者群は初心者群に比べて膝の屈曲角度の標準偏差が小さかったことが示された。膝以外の身体部位や軸のずれ等を考慮しない場合、図3のようにボールコンタクト時に膝関節を伸展させることで、ボールを真上に蹴り上げられると推測される。このため、熟達者はボールの落下位置が収束するように、膝関節を伸展させボールコンタクトしている可能性がある。一方で、初心者は熟達者に比べて、膝関節が屈曲していた傾向があり、かつボールコンタクト時の膝の屈曲角度にばらつきが大きかった。そのため、初心者はボール軌道が不安定になり、リフティングを連続して行うことができなかったといえる。ボールを膝より上から目線の高さ程度に蹴り上げるリフティングでは、ボール軌道の自由度が高くなる。そのため、熟達者は次にコンタクトしやすい位置にボールをコントロールするために膝関節を伸展させボールに加える力の方向を調整しているといえる。



図3 膝関節の伸展によるボール軌道

6.2. ボールコンタクト時の足関節制御

仮説2について、先行研究[1]では熟達者群、初心者群ともに足関節は底屈し、初心者群は熟達者群に比べて足関節を底屈させてボールコンタクトしていたことが示されていた。対して本研究では、熟達者群は初心者群に比べて足関節をより底屈させてボールコンタクトしていたことが示された。また、図4に示すように、熟達者群の総リフティング回数120回の足首は全て底屈していたが、初心者群の総リフティング回数84回のうち、足首の背屈が28回観察された。また、全ての初心者のリフティングで各1回以上の足首の背屈が観察された。

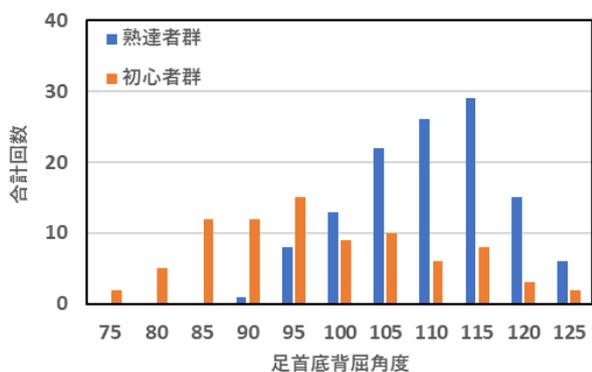


図4 足首の底背屈角度のヒストグラム

加えて、本研究では熟達者群の方が足首の底背屈角度の標準偏差が小さかったことが示された。足首以外の身体部位や軸のずれ等を考慮しない場合、図5のように熟達者はボールコンタクト時に足関節をやや底屈させることでつま先の向きが地面と平行に近い状態でコンタクトして、ボールに対して地面と垂直方向の力を加えている可能性がある。対して、初心者ではボールコンタクト時に足首が背屈しているため、ボールに対して地面と垂直方向以外の力が加わることでボールを真上に蹴り上げることができていない可能性がある。従って、初心者はボールを上手くコントロールできず、リフティングの連続回数が少なくなったと考えられる。以上より、仮説2が支持されなかった要因として測定試技をより実戦向きのリフティングに変更したことが、初心者と熟達者の差異をより明らかにしたといえる。

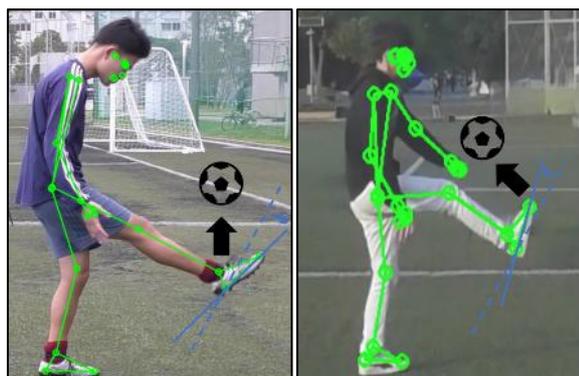


図5 足関節の底屈角度によるボール軌道の違い (左が熟達者, 右が初心者)

7. まとめと今後の展望

本研究では、サッカー競技経験者4名と未経験者6名の計10名のリフティングでのボールコンタクト時の

身体動作解析を行った。その結果、熟達者は初心者と比べて1. 膝関節をより伸展させ、2. 常に足関節を底屈させてボールコンタクトを行っていたことが示された。

今後は、本研究で得られた知見を基に、サッカー競技経験があり、かつリフティング技術が熟達していない者の熟達化研究を予定している。その理由は、本研究で同程度のサッカー競技歴を持つ者であっても、リフティングにおいて初心者と同様の身体動作や連続回数だった者がいたためである。先行研究[5]を踏まえれば、選手自身の身体動作への気づきがリフティング技術の熟達に寄与すると期待される。同等の練習期間を経た者同士でこのようなパフォーマンスの違いが表れる原因の一つとして、被験者間で各自の身体動作への気づきや捉え方が異なっていた可能性が指摘できる。

諏訪[5]によれば、自身の身体動作や気づきを言語化し振り返ることは、身体と環境の関係の再構築を促すため、身体知獲得において有効であると報告されている。そこで今後は、この「メタ認知的言語化」を被験者に継続的に行わせ、リフティング技術の熟達を目指す。また、熟達過程における身体動作や言語量、言語化内容の変化などを分析することを予定している。

また、先行研究では身体と環境の関係の再構築を促進するために科学的計測を併用する方法が示されている[6]。これを踏まえて、被験者自身のリフティング映像やボールコンタクト時の姿勢を Mediapipe で可視化した画像をフィードバックする方法も合わせて試行する。上記の二つを合わせて、複数のサッカー競技経験者に対して個別に行い、それらの間を比較することで、メタ認知的言語化の質や量とパフォーマンスの向上に相関関係が見られるのか、またその相関の現れ方にはどのような個人差があるのかについて検討する。

文献

- [1] 佐藤幸一郎, 山田洋, 内山秀一, 小河原慶太: 熟練度の違いによるサッカーボールリフティングの運動制御機構, バイオメカニズム学会誌, Vol.45, No.2, pp.95-101 (2021)
- [2] MediaPipe: <https://chuoling.github.io/mediapipe> (2025/07/10 参照)
- [3] MediaPipe Pose: <https://github.com/google-ai-edge/mediapipe/blob/master/docs/solutions/pose.md> (2025/07/10 参照)
- [4] Magic Eraser: <https://www.google.com/photos/editing/#magic-eraser> (2025/07/10 参照)
- [5] 諏訪正樹: 身体知獲得ツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, Vol.20, No.5, pp.525-532 (2005)
- [6] Nishiyama, T. and Suwa, M.: Visualization of posture changes for encouraging meta-cognitive exploration of sports skill, International Journal of Computer Science in Sport, Vol. 9, No. 3, pp.42-52 (2010)