

3 軸加速度センサによる計測データに基づくスラックライン動作の上達指標に関する基礎的検討

A Basic Study on Growth Indicators of Slackline Using High Time Resolution 3D Accelerometer.

千野 匠^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}, 永井 孝^{*3}

Takumi CHINO^{*1}, Mizue KAYAMA^{*2}, Takashi NAGAI^{*3}

^{*1,*2} 信州大学大学院

^{*1,*2} Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

^{*3} ものづくり大学

^{*3} Monodukuri University

Email: 22w2066h@shinshu-u.ac.jp

あらまし：本研究の目的は、加速度センサによるスラックライン測定データから上達指標を検討することである。スラックラインの動作は、屋内でのモーションキャプチャーによる測定が主であった。そこで、計測環境に限らず、動作に影響しない装着型小型加速度センサを用いた。本稿では、3 軸加速度と速度に関する習熟度別の特徴を整理し、加速度と速度のなす角の時系列的特徴を成長指標として検討する。

キーワード：スラックライン、特徴検出、加速度センサ、習熟度、上達指標

1. はじめに

スラックラインは、ベルト状のライン上でバランスやトリックを決める競技である。近年、バランス・トレーニングとしても注目されている。先行研究では主にモーションキャプチャーを用いて、熟練者と初心者の違いや熟達のコツが検討された^(1,2,3)。しかし、この方法では計測場所が制約される。そこで我々は、小型 3 軸加速度センサによりスラックライン動作を計測し、そのデータの解析を試みる。本稿では、加速度センサによるスラックライン計測データから 3 軸加速度と速度に関する習熟度別の特徴を整理し、力と速度のなす角の時系列的特徴がスラックラインの上達指標になりうるかどうかを検討する。

2. 計測データ

本章では、解析対象の被験者群、解析時のパラメータを示し、リサーチクエスション(RQ)を示す。

2.1 被験者と解析対象データ

被験者 被験者は、一般社団法人スラックライン推進機構が主催するスラックラインアカデミーの参加者 12 名(うち女性 3 名, 平均年齢 9.0±2.6 歳)と指導者 1 名(男性 19 歳)である。参加者の熟練度は 3 段階(初級群 5 名, 中級群 4 名, 上級群 3 名)である。

解析対象 計測対象はライン上での 10 秒間片足立ちとした。計測データの内、1 秒～9 秒の 8 秒間を解析対象区間とする。これは、動作の開始時と終了時にはラインの乗り降りが含まれるためである。計測データ数は、初級者群 20 データ, 中級者群 25 データ, 上級者群 19 データ, 指導者 8 データの計 72 データを使用する。

2.2 使用パラメータ

本研究では被験者の腰部に装着した高時間分解能

3 軸加速度センサ(標準化周波数: 1.4kHz, 2.1kHz)で計測する。このセンサから得た 3 軸(左右・前後・上下)の加速度と速度を解析時の使用パラメータとする。これら 6 種データに対して上達指標を検討する。

2.3 2 つの RQ

本稿では、以下 2 つの RQ を設ける。

RQ1: 解析対象区間において、有意な群間差があるパラメータはどれか。

RQ2: バランスを崩す前後の動きで、有意な群間差があるパラメータはどれか。

3. RQ1

3.1 検証方法

RQ1 を検証するために、2.2 で示した 6 種のデータの解析対象区間全体の平均値, 中央値, 四分位範囲を計算し、群間比較を行った。「各群間で解析対象区間の代表値に違いはない」を帰無仮説とし、比較結果から上達指標としての可能性を検討する。

RQ1 では、初級群・中級群・上級群・指導者の 4 群に対して、マンホイットニーの U 検定により群間比較を行った。検定の有意水準は 5%とした。

3.2 検定結果

平均値と中央値では群間に有意差はなかった。四分位範囲における結果を表 1 に示す。*は有意差のある群の組み合わせを示しており、全てのパラメータにおいて有意差を持つ群間が存在していることが分かる。

3.3 考察

表 1 の結果から初級と中級, 中級と上級の間で有意差があるパラメータに着目する。初級-中級間では初級者は、左右方向の速度・加速度に有意差があることから左右方向の練習が改善につながると考えら

表 1:四分位範囲の検定結果

	速度			加速度		
	左右	前後	上下	左右	前後	上下
初級vs中級	*			*		*
中級vs上級		*	*	*	*	*
上級vs指導者				*	*	*
初級vs上級	*	*	*	*	*	*
初級vs指導者	*	*	*	*	*	*
中級vs指導者	*	*	*	*	*	*

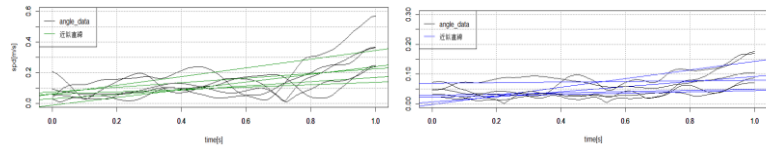


図 2 : 前 1 秒区間での標準偏差の大きい中級者 5 名の速度推移 (左)と標準偏差が小さい上級者 5 名の速度推移(右)

れる。また、上級-指導者間では、加速度に有意差があったことから瞬間的な姿勢制御に違いがあることが考えられる。

4. RQ2

この RQ を検証するために、力と速度のなす角(以下、なす角)に注目する。

4.1 先行研究

なす角に関する先行研究として Pereira, J. G.ら⁽⁴⁾と Redding, J. L.⁽⁵⁾ の報告がある。ここでは、2次元空間内における相対的な力をかけている粒子の運動の様子を観測し、初速の条件や力の加え方を変化させることで粒子の運動の変化を確認した。その結果、内積の計算結果からなす角を計算した時、なす角は速度の絶対値変化に影響を及ぼすことが分かった。

本研究では、スラックライン上でのバランスを崩した際の動作となす角の対応付けができると考えた。スラックライン上の片足立ち動作の解析結果からこの指標の時間推移を求め、上達との関連を考察する。

4.2 なす角の計算方法

力の計算には運動方程式 $m\vec{a} = \vec{F}$ を用いる。なす角の計算は以下の式(1, 2)を用いる。

$$\theta = \arccos(\vec{v} \cdot \vec{a} / |\vec{v}||\vec{a}|) \quad (\vec{v} \times \vec{a} > 0) \quad (1)$$

$$\theta = 2\pi - \arccos(\vec{v} \cdot \vec{a} / |\vec{v}||\vec{a}|) \quad (\vec{v} \times \vec{a} \leq 0) \quad (2)$$

(θ は速度と力のなす角)

定義域を $0 \leq \theta \leq 2\pi$ まで拡張するために、外積計算を用いた。計算された角度は速度ベクトルを基準に反時計回りに増加する。この計算を前後左右平面、前後上下平面、左右上下平面の 3 平面で計算した。

4.3 使用するデータ範囲と検定方法

使用するデータ 解析対象区間は、被験者がバランスを最も崩していると考えられる最高合成速度の直前 1 秒間(前 1 秒)・直後 1 秒間(後 1 秒)・これらを合わせた計 2 秒間(前後 1 秒)の 3 種のデータ範囲に対して、中央値、標準偏差、四分位範囲を検定に使用する。

検定方法 RQ1 の結果から上級群と指導者には速度の有意差がなかったため、指導者を上級群に含めることとした。3 群比較では正規性の有無を確認し、3 群全てに正規性が確認出来た際は、Tukey-Kramer 法、1 つの群でも正規性が確認できなかった際には Bonferroni 補正をした t 検定を行った。検定の有意水準は 5%とした。

4.4 検定結果

初級群-中級群における有意差はなかった。一方、初級群-上級群では、前後左右平面における前後 1 秒のなす角の中央値で有意差があった(初級: 3.2082 ± 0.4407 , 上級: 2.843 ± 0.4218 , $p = 0.0161$)。また、中級群-上級群では前後左右平面における前 1 秒のなす角の標準偏差で有意差があった(中級: 2.0422 ± 0.1861 , 上級: 1.9196 ± 0.1634 , $p = 0.046$)。

4.5 考察

なす角の中央値は体の動きの全体のバランスにかかわるパラメータと考えることができる。検定結果から中央値は小さい方に偏ることが上達指標として考えることができる。

一方、中級群-上級群におけるなす角の標準偏差の高低で、速度の上昇の様子に差異があった。図 2 の速度推移のグラフから近似直線を速度の上昇幅として考えると傾きには群間で有意差があった(中級: 0.1807 ± 0.0847 , 上級: 0.0574 ± 0.058 , $p = 0.0296$)。また、図 2 の被験者 10 名におけるなす角の標準偏差と近似直線の傾きには強い正の相関(相関係数: 0.7061)が見られた。このことから標準偏差を小さくすることが体の速度を抑えるための上達指標として考えることができる。

5. 終わりに

本稿では、スラックライン動作の高時間分解能時系列データに対して、動作中央 8 秒間と最高合成速度前後 1 秒間に注目し、上達指標を検討した。今後は、なす角における速度と力の寄与度や調和解析などを行い、今回の考察をより深めていきたい。

参考文献

- (1) 児玉謙太郎,山際英男,安田和弘:“全身協調バランス・スポーツ“スラックライン”における片脚立ちの熟達:初級者と上級者の比較”,2020 年度日本認知科学学会第 37 回大会講演論文集,pp.313-316 (2020).
- (2) Stein, K. & Mombaur, K.:“Performance indicators for stability of slackline balancing”, 2019 IEEE-RAS 19th International Conference on Humanoid Robots, pp. 469-476(2019).
- (3) Huber, P., & Kleindl, R.:“A case study on balance recovery in slacklining”, ISBS-Conference Proceedings Archive(2010).
- (4) Pereira, J. G., Mouchrek-Santos, V. E., & Ferreira Jr, M. M.:“Relativistic motion under constant force: velocity and acceleration behavior”, arXiv:1806.08680(2018).
- (5) Redding, J. L. “Spatial relations between force and acceleration in relativistic mechanics”, Am. J. Phys.50, p163 (1982).