

身体知獲得を目的とした足裏にかかる圧力のリアルタイム可視化によるフォーム矯正の提案

田宮 大暉^{1,a)} 長谷川 大² 佐久田 博司¹

概要: 本研究では、ヒトの歩行時に足裏にかかる圧力分布の変化をリアルタイムで可視化するシステムを構築し、これを利用して走行トレーニングの改善方法に関する提案を行う。近年、ランニングフォームの最適化や安定性を向上させるための運動が注目されている。しかし時間的、経済的な負担から多くの場合は日常生活のトレーニングにおいて常にコーチが訓練者を指導する事は困難である。そこで本システムでは5つの圧力センサーを靴のインソールに取り付け、圧力を測定し、歩幅と接地順序を可視化した情報を歩行中にフィードバックする。また、疲労時と平常時の圧力も測定し、システムを用いることで足への負担が軽減できるかを検証する。評価は測定した圧力値から算出した接地時間、歩幅の分散値を算出する。実験ではフィードバックを用いることで歩幅、接地時間の分散値が減少する傾向が見られた。

Proposal of Form Correction by Real-time Visualization of Pressure on The Sole for Acquiring Physical Knowledge

TAMIYA DAIKI^{1,a)} HASEGAWA DAI² SAKUTA HIROSHI¹

Abstract: In this study, we construct a system to visualize changes in pressure distribution applied to the sole during walking of a human being in real time, and propose a method for improving running training using this system. In recent years, movement to improve the optimization of the running form and stability has been drawing attention. However, from the time and economic burden it is often difficult for coaches to instruct trainers at all times in daily life training. Therefore, in this system, five pressure sensors are attached to the insole of the shoe, the pressure is measured, and the information visualizing the stride and the contact order is fed back while walking. Also, measure pressure during fatigue and normal times, and verify whether the burden on the foot can be reduced by using the system. For the evaluation, the ground time calculated from the measured pressure value, the variance value of the stride is calculated. In the experiments, it was found that the variance of stride length and contact time decreased with feedback.

1. はじめに

1.1 背景

近年、ランニングフォームの最適化や安定性の向上を目指した補強運動が注目されている [2]。特に長距離走は長時間の継続した運動を行う必要があることから、走速度を維持するための持久力にくわえ、体力の消耗を抑えるための走動作の効率化と最適化が必要となる。そのため長距離

走において効率の良いフォームを身に付けることは重要であると考えられる。また、ランニングにおいて地面着地時に生じる衝撃力は、怪我との関係や、エネルギー効率のよいランニングとの関係についても研究され [3]、トレーニングや走技術の評価として重要な観点の1つである。とくに怪我との関係では、理論上は一定以上の衝撃力が、ある期間内に蓄積した量で障害が発生するリスクとなると述べられており、ランニング実践では衝撃力をどう柔らげるかは重要な課題である。ランニングフォームのバイオメカニクスの特徴と競技能力との関係については以前から検討されている。プロの競技者であれば専門のコーチのもと指導を受けられるため正しいフォームで走れる訓練を受けられ

¹ 青山学院大学
Aoyama Gakuin University

² 東京工科大学
Tokyo Koka University

a) c5616161@aoyama.jp

る。しかし時間的、経済的な負担から、多くの場合は日常生活のトレーニングにおいて常にコーチが訓練者を指導する事は困難である。また、指導員がいない状態で訓練する場合、自分の動作を動画に残す方法があるが、訓練者は走行中に得た感覚は薄れてしまう [4]。そこで本研究では走行時に足裏にかかる圧力分布の変化が、足にかかる衝撃と走行フォームを数値化するための指標として適切と考え、着地動作に着目する。圧力センサを複数用いることで足底圧および着地点を解析し、走行中に変化し続ける身体状況を被験者に把握させる事でランニングにおけるパフォーマンスを向上させる。またフィードバック方法は視覚や聴覚を利用したものが挙げられるが、走りながら音声を聞き、自身の身体情報を理解するのは困難と考えたため、本研究では視覚を利用したフィードバック方法を採用する。

1.2 先行研究

高橋らは熟練ランナーと未熟練ランナーを対象に走行時のランニング時の足底圧分布と接地時間地面に接地した時の足裏に及ぼす影響を検討する研究を行った [5]。その結果、熟練者は走速度上昇に伴って着地時の足底圧分布は足裏の中足部に移動することがわかった。未熟練者においては速度上昇による足底圧分布に変化は見られなかった。また床への接地時間は熟練者、未熟練者共に減少した。また、厳らはランニング時に脚が地面に着地した時の床反力を計測し、得られた計測データから床反力のピーク値、脚部のスティフネス値を計算しリアルタイムで視覚情報としてランナーにフィードバックすることでランニング時の脚への障害が起こる可能性を軽減する研究を行った [6]。この研究の結果フィードバックを与えた方が初期ピーク値、スティフネス値を小さく抑えることができた。これらの研究では着地点に詳細な分類ができていないことや自分の身体状況に関する情報をモニタリングしているため正しい値からどの程度離れているかを把握できないなどの課題点が挙げられる。

1.3 目的

ランニング時に足裏にかかる圧力分布の変化が、足にかかる衝撃と走行フォームを数値化するための指標として適切と考え、本研究では、被験者の足底圧を計測し評価する。未熟練者に走らせた際の歩容の乱れを自覚させ、自律的な改善を促すことで平常時の歩容を維持させることを目的とする。また、疲労時と平常時の圧力も測定し、システムを用いることで足への負担が軽減できるかを検証する。

2. デバイス概要

開発したデバイスを図 4 に示す。総重量は 145g であるため装着時の違和感はないと考えられる。構成要素は Arduino、モバイルバッテリー、圧力センサである。厚さ



図 1 圧力センサ配置図, インソール表面図

は 0.20mm 1.25mm, 感圧範囲は 0.2N から 20N となっている。圧力センサは片足に 5 個を図 1 のように配置する。Arduino から圧力センサまでをジャンパワイヤーでつなぎインソールにセンサを固定した。配線は踏まないようにインソールの外側に沿って配置した。インソール全体の厚さは 3mm であるため計測には問題ないと言える。



図 2 システム装着図

3. システム概要

本研究では Arduino と圧力センサを使用する。開発したシステムはインソールを靴の中に入れてトレッドミル上を走ってもらい Arduino で収集した圧力データを PC に Bluetooth で送信します。通信速度は 9600bps とする。PC 側では着地時に閾値を超えた場合に着地判定とする。また圧力のピーク値、足の接地時間、各センサ間の時間間隔、歩幅、足裏の接地順序を分析対象とする。足の接地時間は 5 つのセンサのうち、どれかのセンサが着地判定を行った瞬間から全てのセンサで着地判定をしなくなった瞬間までの時間とする。歩幅は片足が接地した瞬間からもう一方の足が接地するまでの時間とトレッドミルの速度から算出する。接地順序は足裏に取り付けたセンサの設置順序を取得する。得られた結果はランニング中リアルタイムにモニタリングすることでフィードバックを行う。フィードバックの内容は情報過多となるため分析対象の中から歩幅と接地順序とする。図 3 にシステム概要図を示す。

4. 実験

本研究では実験を 2 回に分けて行う。まず、未熟練者を対象に時速 3km, 6km, 9km の速度で各 5 分間の走行を行う。その際、疲労時の歩容の変化を見るため時速 9km の走行を 2 回行う。各速度の間を 10 分間とする。ここで得た足底圧から歩幅の分散と接地順序を算出し、フィード

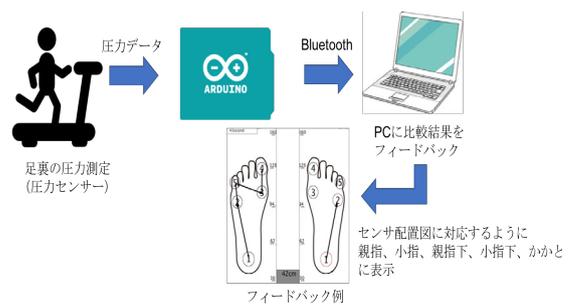


図 3 システム概要図

バックに用いる。歩幅は一步毎の歩幅の標準偏差±平均を正解とする。接地順序は左右の歩幅で分散値が低い方の足で接地順序が最も多かった組み合わせを正解とする。2回目の実験で1回目で算出したものをフィードバックさせながらの走行を行う。走行時に見せるフィードバックを図4に示す。図4の丸で囲まれた数字は各被験者ごとの1回目の実験で得た接地順序を示し、中央の数字は歩幅 (cm) を示す。歩幅は正解の範囲に入った時に灰色の部分が赤くなるようにすることでフィードバックを行う。

5. 考察

実験の結果からフィードバック有の接地時間は概ね減少する傾向が見られた。これは歩幅を合わせることを意識的に行うことで接地時間を無意識に統一させることができたと考えられる。歩幅の分散値はフィードバックありの方が増加しているところもあった。これは被験者の中に元々運動部に所属していた者もいたので平常時からすでに分散値が低いことが原因であると言える。また接地順序と歩幅をリアルタイムで可視化しており、特に時速 9km に関しては走りながらのフィードバックの確認が困難であったためと考えられる。

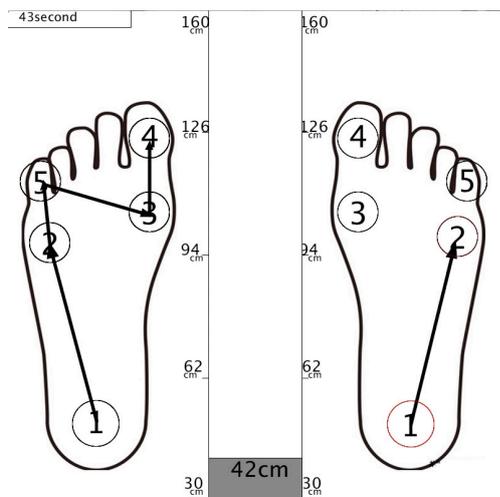


図4 フィードバック図

表1 時速 3km における歩幅分散値
Table 1 Variance value at 3 km/h

	左足平常時	左足 FB 有	右足平常時	右足 FB 有
被験者 1	42.87	110.35	27.41	23.81
被験者 2	117.39	120.72	314.07	229.32
被験者 3	1296.61	32.85	889.85	126.07
被験者 4	13.38	50.80	103.30	549.76

表2 時速 6km における歩幅分散値

Table 2 Variance value at 6 km/h

	左足平常時	左足 FB 有	右足平常時	右足 FB 有
被験者 1	22.69	344.68	21.92	165.24
被験者 2	198.95	325.62	1261.46	524.32
被験者 3	62.50	88.96	31.24	465.52
被験者 4	601.07	806.69	975.46	1264.37

表3 時速 9km における左足歩幅分散値

Table 3 Variance value at 9 km/h

	左足平常時	左足疲労時	左足 FB 有
被験者 1	65.66	418.27	68.97
被験者 2	830.12	708.24	468.95
被験者 3	673.76	70.43	340.72
被験者 4	154.70	16390.06	129.61

表4 時速 9km における右足歩幅分散値

Table 4 Variance value at 9 km/h

	右足平常時	右足疲労時	右足 FB 有
被験者 1	83.43	621.5	69.04
被験者 2	1067.41	807.8472347	485.2200452
被験者 3	1469.283864	461.55	113.76
被験者 4	274.40	18750.11	374.42

表5 時速 3km における接地時間分散値

Table 5 Ground time dispersion value at 3 km/h

	左足平常時	左足 FB 有	右足平常時	右足 FB 有
被験者 1	0.193	0.146	0.0045	0.0016
被験者 2	0.0044	0.112	0.2419	0.0697
被験者 3	0.00341	0.3734	0.00301	0.01462
被験者 4	0.0888	0.08173	0.0474	0.1603

表6 時速 6km における接地時間分散値

Table 6 Ground time dispersion value at 6 km/h

	左足平常時	左足 FB 有	右足平常時	右足 FB 有
被験者 1	0.000585	0.0648	0.01051	0.00223
被験者 2	0.00128	0.0156	0.0357	0.0217
被験者 3	0.00228	0.0119	0.000865	0.0186
被験者 4	0.0727	0.00954	0.0408	0.0307

表7 時速 9km における左足接地時間分散値

Table 7 Ground time dispersion value at 9 km/h

	左足平常時	左足疲労時	左足 FB 有
被験者 1	0.054	0.018	0.015
被験者 2	0.00099	0.0075	0.0139
被験者 3	0.0423	0.00311	0.0133
被験者 4	0.00966	0.309	0.00663

6. 結論

本研究では圧力センサを用いて走歩行時の圧力からランナーの接地順序、歩幅を可視化させルコとで自律的な歩容

表 8 時速 9km における左足接地時間分散値
Table 8 Ground time dispersion value at 9 km/h

	右足平常時	右足疲労時	右足 FB 有
被験者 1	0.004	0.002	0.017
被験者 2	0.000812	0.0127	0.00590
被験者 3	0.8633	0.00234	0.0384
被験者 4	0.00629	0.1811	0.1238

改善を行った。この結果、接地時間の分散値は減少する傾向が見られた。歩幅の分散値は運動を日常的にする人は値が増加する傾向が見られた。

7. 今後の展望

今回はトレッドミルを使用した実験であったので今後は外でこのシステムを用いて未熟練者の指導員なしでの自律的改善を行いたいと考えている。また、本研究で開発したシステムはセンサを有線で接続しているので無線でセンサの情報をシステムに送信することができればシステムを使用する人ごとにケーブルの長さを変える必要がなくなる。また加速度センサを用いて速度を算出することで外での走歩行時の歩幅を算出できるようになればより実践的なものにしていくことを検討している。

参考文献

- [1] 森脇 紀彦人間行動ビッグデータを活用した店舗業績向上要因の発見日本統計学会誌 69-83. (2013)
- [2] 塩田 徹ランニングフォーム矯正の一手段としてのベアフットランニング活用の可能性スポーツ健康科学紀要 25-34. (2017).
- [3] Chang Y H Metabolic cost of generating horizontal forces during human running Journal of Applied Physiology 1657-1662. (1999).
- [4] 松村 海沙 Head Mounted Display を用いた三人称視点におけるフォーム改善システム情報処理学会 357-358. (2016).
- [5] 高橋 昌宏長距離選手における走行時の足底圧分布スポーツ産業学研究 75-88. (2000)
- [6] 巖 和隆視覚フィードバックを用いたランニング障害の予防に関する研究バイオメカニズム学会誌 249-256. (2013)