

卒業論文要旨

靴紐の締め具合に応じた歩行メカニズムの変化

Effect of shoelaces tightness for gait mechanism

システム工学群

動的デザイン研究室 1250133 林 暖

1. 緒言

近年、様々な靴の種類が存在しており、靴は硬い地面から足を守り、歩行などの運動の効率化を目的としている。その設計では一般的に靴紐をきつく締めることを想定しているが、実際には靴紐が緩い状態の人が多い。この靴紐の緩さが歩行メカニズムに影響を及ぼす可能性があるが、その知見は確立されていない。先行研究では、健康者を対象として足底圧分布と靴内変位に及ぼす靴紐の影響を調査し、より緩い靴紐を使用した場合足底圧が小さくなることが明らかになっている⁽¹⁾。しかし、靴紐が足底圧以外の脚部の運動に及ぼす影響や靴紐の締め具合の定量化に課題がある。

本研究では、靴紐の締め具合を定量的に評価するとともに、靴紐の締め具合が歩行メカニズムに及ぼす影響を調査することを目的とする。対象を若年健康者のトレッドミル歩行とし、光学式モーションキャプチャと慣性センサを用いて計測する。靴紐の締め具合は、靴と足が離れている距離で評価を行い、歩行メカニズムは前後・左右方向の頭部加速度、鉛直軸周りの腰部角速度、立脚時の膝の屈曲角度、重心の鉛直軸変位の4つの指標を用いて調査する。

2. 歩行メカニズムの評価指標

本研究では、靴紐の締め具合が歩行に及ぼす影響を調査する。以下の3つの仮説に基づいて、評価指標を検討した。

第一の仮説として、歩行時は頭部を基準とした姿勢制御を行うために頭部の水平加速度を抑制していると仮定する。この仮説が正しければ、靴紐が緩いと立脚時に靴の中で足が滑ることで頭部加速度が抑制できないことが想定される。これを確認するために、歩行時の矢状面・前額面の頭部加速度の二乗平均平方根(RMS)を1つ目の評価指標とする。

第二の仮説として、靴紐が緩いことで離地時に地面を十分に蹴ることができず、推進力が得られないと考える。その場合は、重心加速度と骨盤の回転が減少することが想定される。トレッドミル歩行であることを考慮して、本研究では腰部(骨盤)角速度のRMSを2つ目の評価指標とする。

第三の仮説として、靴紐が緩い場合は遊脚時の靴のズレを抑制するために、足首を背屈してつま先を上に向けることが考えられる。その状態から足部が接地すると、膝が突っ張りやすくなると考えられる。その結果として、立脚時の膝関節の最大屈曲角度が浅くなり、重心の上下動が増大することが予想される。以上より、立脚時の最大屈曲角度の平均値を3つ目の評価指標とする。

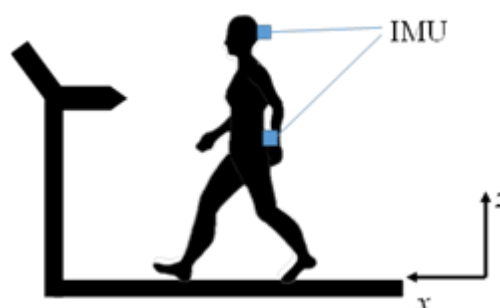


Fig. 1 Schematic diagram of the experiment

3. 実験方法

3.1 実験の概要

図1に実験の概略図を示す。本実験では、被験者として20代前半の男性健康者4名を対象としてトレッドミル歩行を実施した。被験者には、指定された速度で顔を前に向け、歩調や歩幅は被験者の自由にしてよいと指示した。歩行条件として、3, 6, 10 km/hの3種類の一定速度で95秒間の歩行を行った。被験者は、素足、スリッパに加えて、ランニングシューズ(1011B602-100, Asics)を着用し、靴紐をloose, normal, tightの3条件とした。各被験者は足部の5条件と3種類の歩行速度の合計15回の歩行実験を行った。

計測には、光学式モーションキャプチャ(MAC3D System, Motion Analysis)と無線式慣性センサ(TSND151, ATR-Promotions)を使用した。いずれもサンプリング周波数を100 Hzとした。光学式モーションキャプチャにおけるマーカ配置として、Helen-Hayesマーカセットを使用した。また、慣性センサは図1に示すように後頭部と腰部に取り付け、計測は加速度と角加速度とした。計測レンジは、重力加速度は8g, deg/sは ± 1000 deg/sにそれぞれ設定した。

3.2 評価方法

各データの解析区間は、各歩行速度で約50~60歩の計測ができるように、3km/hでは20~80秒、6km/hでは25~60秒、10km/hでは30~60秒とした。

まず、靴紐の締め具合を定量的に評価するために、各被験者の右足の靴と足の間のズレを光学式モーションキャプチャのデータから評価する。Helen Hayesマーカセットでは外くるぶし(r_{ol})、内くるぶし(r_{om})、か

かと (r_{hl}) にマーカが配置されるため、靴のズレで変化する足部との両くるぶしの距離 d を以下のように定義した。

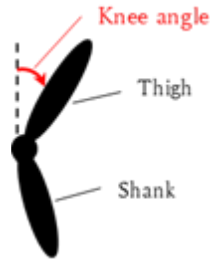


Fig. 2 Definition of knee flexion angle.

$$d = \left\| \frac{\mathbf{r}_{mL} + \mathbf{r}_{am}}{2} - \mathbf{r}_{hl} \right\| \quad (1)$$

式で得られた d の標準偏差を靴紐の締め具合を表す物理量として評価する。

慣性センサ計測に基づく頭部加速度と腰部角速度については、拡張カルマンフィルタを用いて慣性センサの姿勢角を推定し、座標変換により鉛直および水平成分を評価した。ただし、センサのヨー回転は推定していないため、頭部の矢状面と前額面の頭部加速度は頭部の向きとする。腰部角速度については、鉛直軸まわりの角速度を評価した。膝屈曲角度と重心高さについては光学式モーションキャプチャ計測と筋骨格ソフト KinTools を用いて評価した。膝屈曲角度の評価対象は右脚とし、角度の定義を図 2 に示す。

4. 結果

図 3 に靴のズレを表す d の標準偏差を示す。すべての被験者で loose の値が tight より大きく、靴のズレが生じている。この結果より、靴紐の締め具合を定量的に評価できた。

図 4 に矢状面と前額面の頭部加速度の RMS を示す。矢状面では靴紐の締め具合による頭部加速度の違いはみられなかったが、前額面では被験者 A, B は靴紐が緩い方が大きくなったが、被験者 C と D は逆の傾向であった。図 5 に鉛直軸まわりの腰部角速度の RMS を示す。被験者 C と D は予想した傾向であるが違いは小さく、被験者 A は loose のほうが腰部の回転が大きいため、予想した結果は得られなかった。図 6 に膝の最大屈曲角度の平均値を示す。被験者 A, B, C では、loose の場合の膝の最大屈曲角度が大きくなった。

5. 結言

本研究では、靴紐の締め具合を定量的に評価する方法の提案及び、靴紐の締め具合が歩行メカニズムに及ぼす影響の調査を目的として、トレッドミル歩行を用いた歩行実験を行った。結果として靴紐の締め具合を定量的に計測する方法を、光学式モーションキャプチャシステムを用いて算出した。また、仮説通りの結果が出た評価指標もあり、靴紐の締め具合が変わることで歩行メカニズムに与える影響はあるといえる。

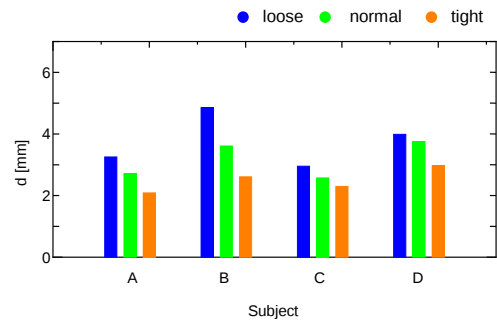


Fig. 3 Standard deviation of distance (d) between ankle and heel

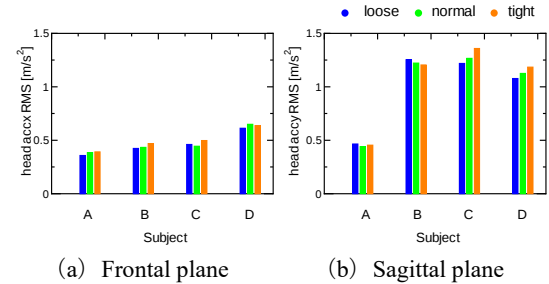


Fig. 4 RMS of head acceleration.

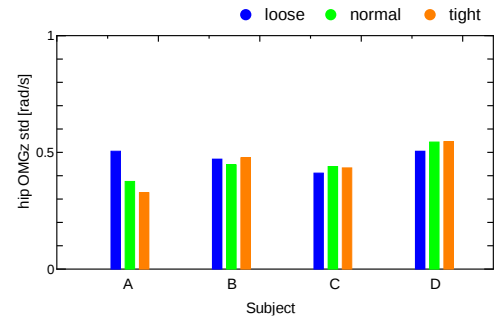


Fig. 5 RMS of angular velocity of pelvis around vertical axis

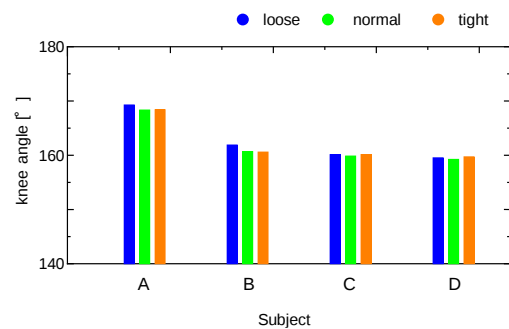


Fig. 6 Maximum knee flexion angle in stance phase.

文献

- (1) Karin Elisabeth Fiedler, Wijnand Jan A. Stuijzand, Jaap Harlaar, Joost Dekker, Heleen Beckerman., "The effect of shoe lacing on plantar pressure distribution and in-shoe displacement of the foot in healthy participants", Gait & Posture, No33 (2011), pp 396-400