

トレッドミルと音楽を利用した運動強度制御に関する研究

Control of Exercise Intensity using Treadmill and Music

梅野 貴俊

坂本 尊

Takatoshi UMENO

Takashi SAKAMOTO

技術教育研究ユニット

北九州市立黒崎中学校

(令和5年9月28日受付, 令和5年12月22日受理)

This study examined the relationships among step rate while running (beats per minute; bpm), heart rate, and leg joint characteristics at various running speeds. Kinematic gait analysis of 81 young people (40 males, 41 females) was performed on a treadmill. Three kinematic parameters (hip, knee, and ankle flexion) and heart rate were measured when the subjects ran at speeds of 4, 6, 8, 10, and 12 km/h. The results showed that 1) the distance from the heel to the femoral head is positively correlated with the step rate independent of running speed, and 2) it is possible to devise a suitable training model for individual subjects by measuring the distance from the heel to the femoral head and referring to the relationship of step rate, heart rate, and treadmill speed.

1. 緒言

食習慣や運動習慣などの生活習慣が、糖尿病、高血圧を誘発し、脳卒中や心臓病など、命に関わる大きな疾病の発症や進行に深く関係することが明らかとなっている。このため、これらの生活習慣病の改善と予防が急務とされている。生活習慣病の原因の一つとして運動不足が挙げられ、この運動不足を解消する方法として定期的なウォーキングやランニングが用いられる。また、高齢者の運動機能強化や運動器疾患のリハビリテーションにおいても、ウォーキングやランニングが頻繁に行われている。一方、アスリートのウォーミングアップやトレーニングにおいても、ランニングメニューが多く存在するなど、ランニングは最も知名度が高くかつ頻繁に行われている運動と言える。

生活習慣病の予防に重点を置いたランニングや高齢者の運動機能強化を目的としたリハビリテーションに導入されるウォーキングなど、軽度の運動から、アスリートのトレーニングに導入される負荷の高いランニングなど、ランニングの目的は様々である。特に前者のウォーキングやランニングは、目的に合わせ本人に適した無理のないペースで行うこと、その運動を継続して行うことが必要である。したがって、効果的に運動を実践するには、運動意欲の向上と維持だけではなく、目的に適した運動強度と頻度を考慮した運動メニューを構築することが重要であると考えられる。これらウォーキングと運動強度の研究^{1~3)}は盛んに行われており、単位時間あたりの歩数より歩行率を求め、運動強度の推定や年齢に適した歩行率などが提案されている。一方、ウォーキング、ジョギングやランニングにおいて、そのペースの維持および継続的な運動に対するモチベーションを維持する効果的な方法の一つとして、楽曲を聞きながら運動する方法がある。実際に楽曲を聴きながら運動することで身体に感じる疲労感や不快感を軽減し、ランニングのリズムが維持できる^{4,5)}。楽曲には基本単位となる「拍」が存在する。これをビートと呼び、単位時間(分)あたりのビートの回数をbpm (beat per minute)として表される。これまでに、様々なbpmの楽曲を用いた音楽療法、スポーツトレーニング、リハビリテーションに関する様々な応用研究がなされている^{6~9)}。楽曲のビートを利用し、運動強度の指標となる歩行率を制御した運動メニューを構築できれば、リハビリテーションやトレーニング分野へ貢献することが可能と考えられる。そこで本研究では、ウォーキングからランニングまでの速

度変化にともなう歩行リズム (bpm) と下肢の身体的特徴との関係を明らかにし、トレッドミルと楽曲を利用した運動メニューの構築を試みたので報告する。

2. 方法

2.1 運動時のランニングリズム (bpm) の定義

本研究では、被験者のランニングリズムを bpm として表している。ランニング時の片足 (右足) を基準とし、その基準足が地面に接地した瞬間を 1 ビートとして計測し、1 分間の接地回数を測定する。これを被験者のランニングリズムと定義した。

2.2 被験者

被験者は、日常的な運動習慣の有無に関係なく無作為に抽出した大学生 81 名 (男性 40 名, 女性 41 名) である。被験者の年齢, 身長, 体重を Table 1 に示す。なお, 全ての実験において被験者には事前に研究の趣旨と内容に関して十分な説明を行い, 実験に対する理解と同意を得た上で実施した。

Table 1 Test subjects

	male, n=40 [mean±SD]	female, n=41 [mean±SD]
Age	20.65±1.33	19.73±1.21
Height, cm	171.21±5.41	157.84±4.59
Weight, kg	62.74±8.54	51.79±5.47

2.3 実験方法

実験前に、各被験者の身長、体重、直立時の踵から膝回転中心および大腿骨頭までの長さ、つま先から踵までの長さを計測した。被験者はトレッドミル (TRD-310, サカイメディカル社製) 上をランニング速度 4, 6, 8, 10, 12 km/h に設定し、それぞれ 2 分 30 秒間走行した (Fig. 1)。ランニング中の被験者を右側面および背面より、ビデオカメラを用いて 60fps で撮影した。撮影した映像より、動画解析ソフト (Kinovea, ver.0.8.25) を用いて、ランニング時の被験者の足、膝、股関節の屈曲度、歩幅とランニングリズム (bpm) を測定した。また、被験者左腕に心拍センサ (OH1, POLAR 社製) を取り付け、ランニング中の心拍数を測定した。

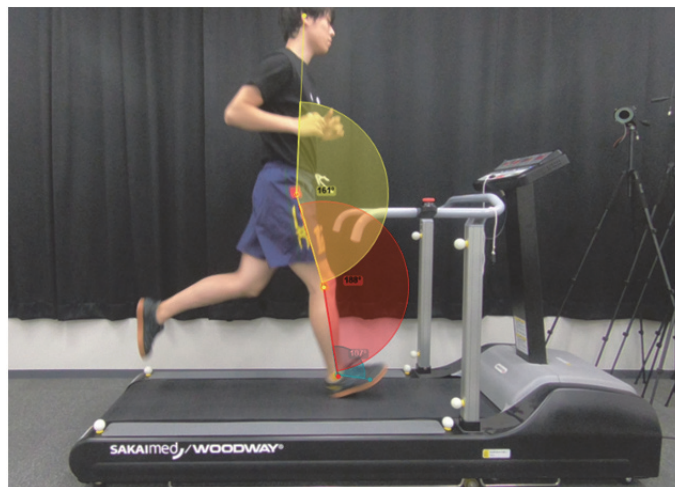


Fig. 1 Photograph during the experiment (running speed 8 km/h)

統計解析においては、統計ソフト“JMP Pro14”を用い、相関係数の算出を行った。有意水準は5%とし、 $p < 0.05$ で有意差ありとした。

3. 結果と考察

踵が接地した後、再び接地するまでを1歩行周期とし、1歩行周期の足、膝、股関節の屈曲角度の典型的な一例を Fig. 2 に示す。膝関節では、踵接地後に軽屈曲を行い、つま先離れ後の遊脚期において大きく屈曲している。足関節では、つま先離れ時の蹴り上げとともに、最大底屈を示していた。股関節では、つま先離れ近位に最大伸展が認められ、一般的な健常者を対象とした走行解析結果¹⁰⁾と同様の結果が認められた。

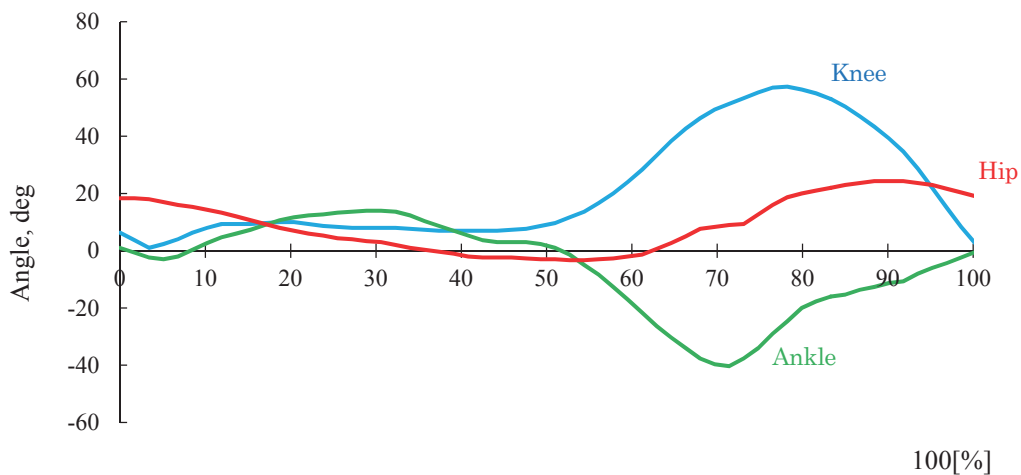


Fig. 2 Ankle, knee and hip flexion in a walking cycle (4 km/h)

ランニング速度 4, 8, 12 km/h における、ランニングリズムとつま先から踵までの長さ、踵から膝回転中心および大腿骨頭までの長さとの相関の有無と、その相関係数を Table 2 に示す。成人男性のウォーキング速度に相当する 4 km/h では、踵から大腿骨頭までの長さに関連が認められ、8, 12 km/h ではランニングリズムと下肢の各計測長さすべてに相関が認められた。すべてのランニング速度において、ランニングリズムとの相関が最も高い項目は、踵から大腿骨頭までの長さであることが明らかとなった。下肢を構成する各関節間の長さが、ランニングリズムに関係しており、速度の増加に伴いその値は高いことが明らかとなった。ランニングリズムは歩き方、走り方の癖や特徴が異なっても、下肢を構成する関節間の長さを測定することで、ある程度の予測が可能であると考えられる。

Table 2 Correlation between each length of lower limbs and running rhythm (n=81)

	Foot-length	knee	Hip
Running rhythm (bpm), 4 km/h	×	×	○ (-0.44)
Running rhythm (bpm), 8 km/h	○ (-0.50)	○ (-0.46)	○ (-0.56)
Running rhythm (bpm), 12 km/h	○ (-0.62)	○ (-0.54)	○ (-0.65)

各速度における、ランニングリズムと心拍数の関係を Fig. 3 に示す。一般的な歩行速度に近い 4 km/h, ジョギング程度の速度の 6 ~ 8 km/h, ランニング速度と考えられる 10 km/h, 12 km/h における心拍数の平均値は、それぞれ 95.57, 117.32, 126.82, 137.37, 147.94 bpm, ランニングリズムの平均値はそれぞれ 57.60, 75.91, 82.88, 85.88, 87.90 bpm であった。速度の増加にともないランニングリズムが増加しているが、その増加率は 8 km/h より減少し、一定値に収束していることが認められた。12 km/h よりランニング

速度を上げても、ランニングリズムの増加は少なく、12 km/h と同じ値を示すと予想される。本実験では、トレッドミル上の走行実験であり、速度とランニングリズムより歩幅の近似値を算出できる。すなわち、ランニング速度が 8 km/h 以降では、ランニング速度の増加に対して、被験者がランニングリズムを変化させるのではなく、歩幅を大きくすることで対応していると考えられる。この運動負荷の増加により心拍数が増加したと考えられる。

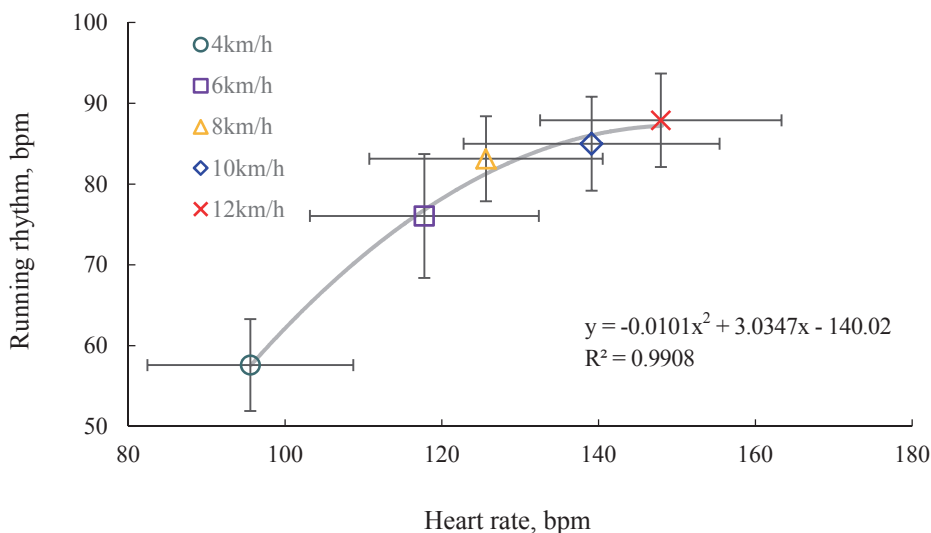


Fig. 3 Correlation between Running rhythm and heart rate at each running speed.

生活習慣病の予防、リハビリテーションやスポーツアスリートのランニングでは、各個人に合わせた運動メニューが必要となる。この運動メニューの構築において管理すべき重要な項目として運動強度が挙げられ、その指標にはエネルギー消費 (METs)、心拍数、自覚的運動強度 (RPE) などが用いられる。しかしながら、運動中のモニタリングは困難であるため、簡易的な方法として歩行率を用いた運動強度の推定が有効とされている¹⁻³⁾。また、病院内のリハビリテーション施設では、トレッドミルを用いたリハビリテーションやトレーニングが行われ、トレーニングジムでのランニングはトレッドミルを用いて行う。歩行率は単位時間 (分) あたりの歩数であり、本研究におけるランニングリズムの 2 倍と同じである。すなわち、被験者のランニング速度に適した楽曲を推定し、そのビートに合わせた運動により、運動強度の推測が可能となる。さらに、下肢の計測より、トレッドミルの各速度設定における心拍数とランニングリズムが推定できる。このリズムと同じビートの楽曲を選定し、その楽曲に合わせた運動によって、目的とする心拍数と運動強度に合わせた運動メニューが構築できると考えられる。一方、陸上選手などアスリートのトレーニングでは、下肢の計測と競技に合わせたトレーニング負荷を決定し、楽曲と運動時間を選定することで、より効果的なパーソナルトレーニングメニューの構築が可能であると考えられる。

本研究ではトレッドミルを用いた運動に限定している。トレッドミル歩行は床上での歩行とは異なる歩行パターンが確認されており、床上、公園やトラック上でのランニングには応用できない。また、被験者の年齢域に近い若年層の解析結果であり、年齢域を拡大した場合は実験結果が変わる可能性が予想される。今後、様々な被験者を対象とした実験を行い、年齢の変化がランニングリズムに及ぼす影響、楽曲を用いたランニングが、被験者の疲労感や不快感などの精神面に及ぼす影響について評価する予定である。

4. 結言

トレッドミル上を、ランニング速度を変化させ、その時のランニングリズムと心拍数を計測し、下肢関節間の測定結果と比較した。この結果、速度変化に関わらず、踵から大腿骨頭までの長さでランニングリズム (bpm) に相関が認められた。また、トレッドミルの速度変化とランニングリズムの関係より、運動中の心拍数が予測できることが示唆された。

5. 参考文献

- (1) Catrine Tudor-Locke, et.al, “Walking cadence (steps/min) and intensity in 21–40 year olds: CADENCE-adults”, International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, vol. 16, Article number 8, (2019).
- (2) 藤原誠助ほか, “若年者における歩行速度, 歩行率を考慮した歩行時の運動強度推定”, 健康支援, 第19巻, 第1号, (2017), pp. 19-26.
- (3) 坂井 智明, 石原 一成, “高齢女性における新たな運動強度指標としての歩行率の妥当性”, 体育測定評価研究, 第13巻, (2014), pp. 1-7.
- (4) 関島安澄ほか, “内的テンポと外的テンポの不一致が歩行と感情に及ぼす影響”, 広島大学心理学研究, 第14号, (2014), pp. 129-139.
- (5) 大平茂輝, 長尾確, “身体リズムに適応したウォーキング/ジョギング中の音楽再生支援システム”, 第21回人工知能学会全国大会要旨集, (2007), 3C7-3.
- (6) 板垣咲紀, 野崎とも子, “パーソナルテンポと性格傾向および生体機能の関連についての検討”, 千葉大学教育学部研究紀要, 第64巻, (2016), pp. 375-384.
- (7) 足立幸祐, 仲谷義雄, “運動テンポの変化をリズムで支援するシステムの提案”, 第72回情報処理学会全国大会要旨集, Vol.4, (2010), pp. 227-228.
- (8) 足立幸祐, 仲谷義雄, “スポーツの競争場面において運動テンポの変化動作を楽曲リズムで支援するシステム”, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 要旨集, pp. 813-816.
- (9) 近藤隆夫, “ビートランニング”, マイナビ出版, (2011).
- (10) 畠中泰彦, “歩行分析・動作分析のグローバル・スタンダード”, 理学療法学, 第40巻, 第8号, (2013), pp. 567- 572.

謝辞

本研究の一部は, 科学研究費補助金基盤研究 (C)19K11464 の援助のもと行われた。ここに記して感謝の意を表する。

