



サドル型デバイスによるバーチャル走行運動の計測

Measurement of Virtual Running Motion Using The Saddle-Type Device

森田礼功武¹⁾, 戸塚圭亮²⁾, 坂口正道²⁾

Reisamu MORITA, Keisuke TOZUKA, and Masamichi SAKAGUCHI

1) 名古屋工業大学 工学部 創造工学教育課程 (〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, cnj18053@ict.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻 機械工学プログラム

(〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, {sakaguchi.masamichi, tozuka.keisuke}@nitech.ac.jp)

概要: 以前の取り組みとして, 上体を支持しながらバーチャル上で走行可能な, 安全性に優れたサドル型デバイスを開発した. このデバイスは, 野外でのランニングやトレッドミルでのランニングと比較して, 高齢者の運動やリハビリテーションでの活用が期待できる. 本研究では, サドル型デバイスを用いてバーチャル走行運動を行い, 運動中の心拍数を計測することで, トレッドミル走行との運動負荷の比較を行った.

キーワード: サドル型デバイス, トレッドミル, 心拍数, 運動負荷

1. はじめに

厚生労働省の調査によると, 2022 年の日本の健康寿命は, 男性が 72.57 歳, 女性が 75.45 歳であり, 平均寿命 (男性 81.05 歳, 女性 87.09 歳) との差は, 男性で約 8.5 年, 女性で約 11.6 年となっている [1]. この平均寿命と健康寿命の間は, 寝たきりなどで生活の質の低下を招くことが多く, 医療費や介護費も多くかかるため, 健康寿命を延ばし平均寿命に近づけることが課題となっている.

健康寿命を延ばすためには, 継続した適度な運動が必要である. 健康寿命を延伸する要因として, 順天堂大学大学院のスポーツ健康科学研究科では, 50~70 代を対象に週 2 回の頻度で 12 週間自重トレーニングを行ったところ, 骨格筋量や身体機能においての改善が得られたことを報告している [2]. 健康寿命を延ばすにあたり, 必ずしも負荷の大きな運動は必要なく, 各自の状態に合った継続的な運動が望ましい. ジョギングや散歩はその代表例であり, 誰でも気軽にできると思われがちである.

しかしながら, 運動機能が低下した高齢者にとって, 屋外での運動には転倒や突発的な発作等のリスクがある. このリスクは病院等の施設内であっても同様であり, 高齢者本人の希望に反して, 職員の責任問題や家族からの要望が理由で制限される.

本研究の目的は, 高齢者が一人で安全に運動が可能で, 各自の運動機能に合わせた幅広い運動負荷が設定可能であり, さらにモチベーション高く持続的に実施可能なバーチャルスポーツシステムを開発することである. 筆者らは, サドルに座り上体を支えることで, 適切に体重を免荷しながら両手足を前後に振る歩行や走行と同様の動作が可能であるサドル型デバイスを提案した. そして, そのデバイスを利用した

バーチャルランニングシステムの開発やそれらの運動へのモチベーションの影響について検討してきた [3]~[7].

本研究では, サドル型デバイスを用いた歩行や走行と, 一般的なトレッドミルを用いた歩行や走行において, 運動中の心拍数の変化を計測し, 運動負荷の比較を行った.

2. サドル型デバイス

以前提案したサドル型デバイスは, サドルに跨り上体を支え, 両手両足を自由に動かして運動を行う. サドル型デバイスを用いたバーチャル走行の様子を図 1 に示す. デバイス上で激しく動いても倒れることなく, かつ両手両足の運動は

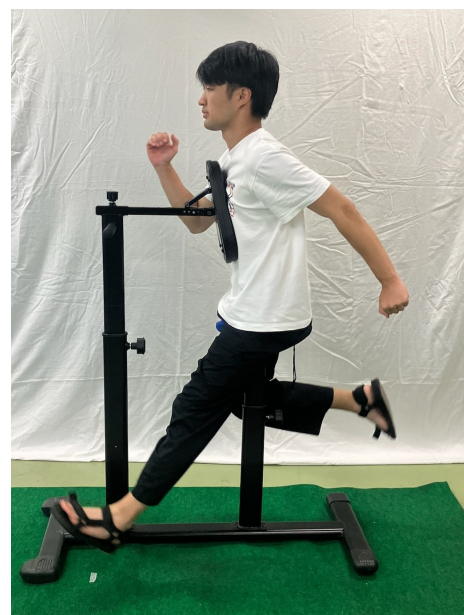


図 1: サドル型運動デバイスでのバーチャル走行



図 2: サドル型運動デバイス概要



図 3: 低摩擦サンダル

実際の走行と同様の動作が可能な設計とした。

製作したサドル型デバイスの外観を図 2 に示す。デバイスは全長 1180 mm、幅 500 mm、高さは最大 1350 mm である。サドルにはロードバイク用の幅の狭いサドルを用いており、サドル高さは 680 mm から 980 mm まで 50 mm 単位で 7 段階調節可能である。サドルの前方には上体支持部として胸当てを取り付け、前傾して胸当てに体を預けることで、両手を前後に振っても安定した走行動作を可能とした。また、床の摩擦によって足の前後運動が阻害されてしまうことを防ぐために、図 3 に示す靴底に低摩擦シートを装着した低摩擦サンダルを製作して用いた。

3. 実験

独自開発サドル型デバイスの運動量指標を得るために、トレッドミルを参照条件として心拍数を計測および比較する実験を設定した。3 つの歩行速度条件を設定し、4 分間の走行実験を実施、その 4 分間および最後の 1 分間平均心拍数を算出することで比較した。

3.1 実験参加者

実験参加者は健康な成人男性 6 名（年齢：21-24 歳、平均：21.8 歳）であった。サドル型デバイスにおいて、1 度も経験したことがない人が 4 名、1 度は経験したことがある人が 2 名であった。

3.2 実験条件

本実験は、室温 24 °C に設定された室内空間で行った。心拍数測定には、Polar 社の光学式心拍センサ OH1 を腕に装着させ、心拍の変動を記録した。計測前に安静時の心拍数を計測し、各条件での測定前に、安静時の心拍数から ± 5 bpm の範囲に戻るよう休憩を取らせた。

トレッドミルは、セノー社のラポート LX2200 を使用し、サドル型デバイスと比較した。サドル型デバイスの測定においては、床に人工芝マットを敷き、図 3 に示す専用のサンダルを用いた。トレッドミルでの測定においては、体育館シューズを着用した。両測定において服装の指定は行わなかった。

3.3 測定方法

3.3.1 トレッドミル

実験参加者は、初めにトレッドミルでの測定を行った。速度設定を 3.0 km/h、6.0 km/h、9.0 km/h の 3 段階で設定し測定を行った。速度調整には時間を有したため、目標速度に達した段階で心拍数の記録を開始した。心拍数の測定時間は 4 分間とした。3.0 km/h、と 6.0 km/h の速度では歩行させ、9.0 km/h の速度では走行させた。

また、同時にトレッドミルに表示された 4 分間の測定における走行距離と歩数を記録した。記録した走行距離と歩数から、参加者それぞれの各速度における平均歩幅と 1 分間当たりの歩数ペースを算出した。

3.3.2 サドル型デバイス

トレッドミルでの実験後に、参加者はサドル型デバイスにおける測定を行った。歩幅の設定に関しては、トレッドミル走行から算出された歩幅を基準とし、サドルの位置を中心に前方のマットにビニール製テープで印をつけた。前方へ足を振る動作は、その印の上に足首が来るように指示した。後方へ振る動作についても、前方と同じ振幅で振るように指示した。指定する歩幅が大きくなると、参加者の振幅が届かないこともあったが、その場合は可能な限り大きく足を振るように指示し、それ以上は無理をしないよう伝えた。

サドルの高さは、事前に参加者の股下の長さを測定し（既定のサンダルを履いた状態）、最も近い値になるように設定した。

足の振りのリズムに関しては、トレッドミル走行時に算出した 1 分間当たりの歩数に従い、メトロノームの音により指示した。例えば、トレッドミル走行が 80 steps/min であった場合には、メトロノームを 80 bpm に設定し、足が地面に擦れる音と同期させて振るように指示した。

サドル型デバイスでの測定において、練習フェーズとして、トレッドミルでの 3.0 km/h 測定時のデータを基に、その歩幅とリズムに基づく足の振り方を練習させた。足の振り幅とリズムは、参加者本人と観察者による目視で確認し、整合性をとった。

サドル型デバイスでその後本番フェーズを行い、トレッドミルでの 3 段階の速度に対応する歩幅とリズムにおいて、同様に 4 分間心拍数を測定した。

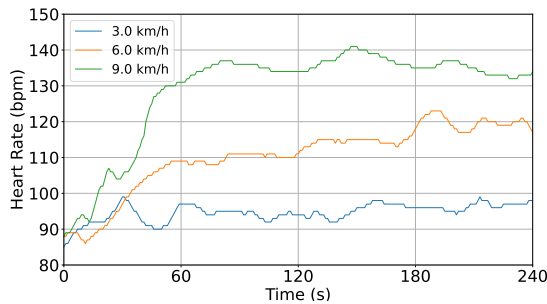


図 4: 心拍数の時間変化 (サドル型デバイス)

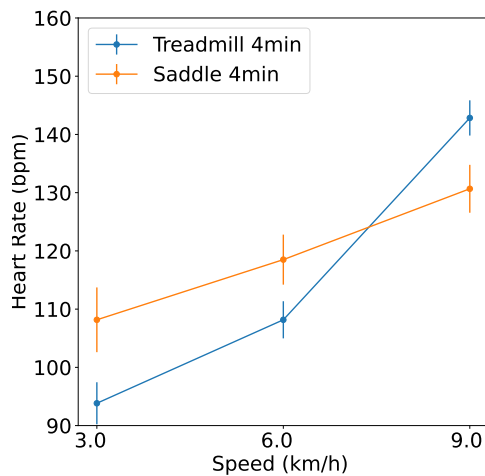


図 5: 4 分間の平均心拍数と標準誤差範囲

3.4 評価指標

サドル型デバイスを用いて 3 段階の速度で 4 分間計測した心拍数の時間変化の例を図 4 に示す。心拍数は、時間が経過するとともにある一定の値に収束する傾向が見られたため、心拍数の評価は、運動中の 4 分間の平均心拍数および最後の 1 分間の平均心拍数に着目した。これらのデータをもとに、トレッドミルとサドル型デバイスでの運動負荷の違いを分析した。

4. 結果

4.1 心拍数の平均値と傾向

各条件において、6 人の参加者の平均心拍数を算出した。速度（対応する歩数ペース）および測定期間ごとに比較した。4 分間の平均心拍数を図 5 に、最後の 1 分間の平均心拍数を図 6 に示す。SEM（標準誤差）をエラーバーとして追加した。グラフから得られた主な傾向として、低速（3.0 km/h）と中速（6.0 km/h）の歩行では、サドル型デバイスの方がトレッドミルよりも心拍数が高い傾向にあった。一方、高速（9.0 km/h）の走行では、トレッドミルの方が心拍数が高くなる逆の傾向が観察された。

4.2 正規性の検討

心拍数のデータについて、Shapiro-Wilk 検定を実施した結果、全ての条件において p 値が 1.000 付近または 0.4 以上

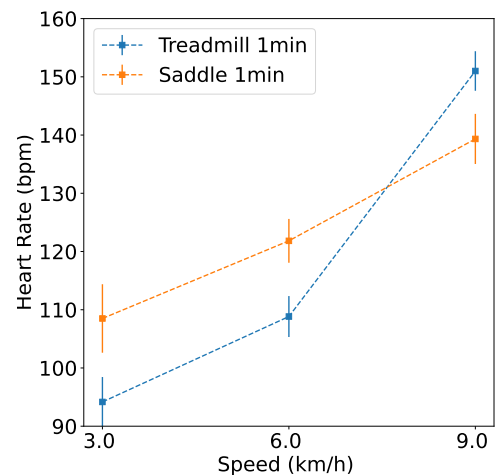


図 6: 最後の 1 分間の平均心拍数と標準誤差範囲

となり、正規性は確認できたが、サンプル数が少ないため、Wilcoxon 検定を行った。

4.3 検定による群間比較

4.3.1 Wilcoxon の符号順位検定

各条件におけるトレッドミルとサドル型デバイスの心拍数において Wilcoxon 検定を行った。低速（3.0 km/h）および中速（6.0 km/h）ではほぼすべての比較で $p < 0.05$ となっており、有意差が得られた。一方、高速（9.0 km/h）では 4 分間の比較において $p=0.062$ と有意水準をわずかに超え、有意差が明確に認められなかった。しかし、1 分間の比較では $p=0.031$ で有意差があり、サドル型デバイスとトレッドミルの心拍数に有意差が見られた。

4.3.2 二要因分散分析

心拍数の差（トレッドミル - サドル型）について二要因分散分析を行った。3.0 km/h と 6.0 km/h の比較では、速度と計測期間に加えて両因子の交互作用（ $C(\text{Speed}):C(\text{Period})$ ）が $p=0.0057$ で有意であった。一方、3.0 km/h と 9.0 km/h の比較では、計測期間の効果のみ有意であり、速度や交互作用は有意ではなかった。6.0 km/h と 9.0 km/h では、いずれも有意な差は認められなかった。

5. 考察

本研究では、サドル型デバイスとトレッドミルを用いた運動における心拍数の比較を通じて、両者の運動負荷の差異とその背景を検討した。結果から、速度や運動時間により異なる傾向が明らかになった。

まず、平均心拍数の比較において、低速（3.0 km/h）および中速（6.0 km/h）ではサドル型デバイスの方がトレッドミルよりも高い心拍数を示す傾向が観察された。これは、サドル型デバイスによる運動が、比較的軽度の運動負荷でありながらも、姿勢維持や振動動作により、より多くの筋活動を促す可能性が示唆される。実際、参加者からはトレッドミルと比較し、足の筋肉の疲労がより感じられたといった意見が多かった。一方、高速（9.0 km/h）では、逆にトレッドミル

の方が心拍数が高くなる傾向が見られた。これは、高速走行時には、トレッドミルの方が効率的に全身運動を促し、より高い心拍負荷をもたらすためと考えられる。

次に、Wilcoxon の符号順位検定の結果から、低速 (3.0 km/h) および中速 (6.0 km/h) ではサドル型とトレッドミルの心拍数差に有意差が認められ、多くの条件で有意差が生じていることが分かった。特に、低速 (3.0 km/h) と中速 (6.0 km/h) での二要因分散分析では、速度と運動期間の交互作用が有意であったことから、これらの因子が心拍負荷に影響を与えていることが示された。これにより、サドル型デバイスの運動負荷は、歩行ペースや運動時間の組み合わせ次第でトレッドミルと異なる傾向を示すことが明らかとなった。

また、高速 (9.0 km/h) においての最後の 1 分間の比較では有意差が得られなかったことから、高速での心拍収束範囲では両者の負荷差異が乏しいか、またはしきい値に達しないことが示唆される。この点は、サドル型デバイスの特性や動作範囲の制限、あるいは運動の強度と負荷の関係に起因する可能性がある。

これらの結果は、サドル型デバイスが高齢者や怪我のリスクを低減した安全な運動器具として、一定の運動負荷を提供できることを示唆している。しかしながら、本研究では対象者が健康な若年成人男性に限定されており、実際の高齢者や身体の不自由な者の負荷反応は異なる可能性も考慮すべきである。

今後は、被験者の性別や年齢層を考慮したさらなる検討や、フィットネスバイクといった新たな対象との比較が求められる。また、心拍数以外の生理指標や筋活動のデータも取り入れることで、より詳細な運動負荷の評価と、安全性・効果性の向上を目指す必要がある。

6. おわりに

本研究では、独自開発のサドル型デバイスとトレッドミルを用いた運動における心拍数の比較を通して、両者の運動負

荷の特性とその違いを明らかにした。低・中速度域では、サドル型デバイスのほうがトレッドミルよりも高い心拍数を示した。統計解析では、低・中速度の比較において有意差が確認された。特に二要因分散分析では、速度と時間の相互作用が心拍数差に影響を及ぼすことが示唆された。本研究の知見は、運動効果を最大化しつつ、安全性を確保した器具やプログラムの開発に発展をもたらすことが期待できる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP25K14586 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 厚生労働省, 健康寿命の令和 4 年値について, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001363069.pdf> (2025 年 7 月 11 日閲覧) ,
- [2] 町田: 筋活で延ばす健康寿命, 生活協同組合研究, **578** , pp.24-31, 2024.
- [3] 高瀬, 坂口: 全力疾走可能なサドル型走行インタフェースの提案, 第 23 回日本 VR 学会大会, 32C-5, 2018.
- [4] 高瀬, 坂口: 体重免荷に着目したサドル型 VR 運動デバイスの提案, 第 20 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2D2-13, pp.1712-1715, 2019.
- [5] 坂口, 田山: サドル型バーチャル走行デバイスの運動効果に関する研究, 第 25 回日本 VR 学会大会論文集, 1C3-2, 2020.
- [6] 坂口, 田山: サドル型走行デバイスを用いたバーチャルランニングにおける VR 映像の効果, 第 26 回日本 VR 学会大会, 2C1-8, 2021.
- [7] 田山, 坂口, 長尾, 木下, 角: サドルデバイスを用いた VR ランニングシステムにおけるモチベーションの向上, 第 23 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2A2-F05, pp.1808-1811, 2022.