

自動生成された楽曲による効果的なインターバル速歩の誘導

Guiding Effective Interval Walking with Automatically Generated Music

大谷 紀子[†], 竹屋 桃花[‡]

Noriko Otani, Momoka Takeya

[†] 東京都市大学, [‡] 日本電気株式会社

Tokyo City University, NEC Corporation

otani@tcu.ac.jp

概要

最大体力の40%以下での「ゆっくり歩き」と70%以上での「速歩き」を交互に繰り返すインターバル速歩は、普通歩行より筋力増強や最高酸素摂取量増加に有効であることが示されており、体力向上をはじめとするさまざまな効果が見込まれる。しかし、高い効果を得るためには歩行速度と時間の管理、および継続が必要となる。本研究では、インターバル速歩における運動効率と楽しさの向上を目的とし、効果的なインターバル速歩を誘導する楽曲の生成手法を提案する。

キーワード：インターバル速歩, 自動作曲

1. はじめに

能勢 [1] により安価で容易に中高年が体力向上を達成できる個別運動処方システムが開発された。本システムの特徴のひとつであるインターバル速歩は、最大体力の40%以下での「ゆっくり歩き」と70%以上での「速歩き」を交互に繰り返すウォーキング方法であり、3分間のゆっくり歩きと3分間の速歩きを1セットとして、1回5セットを週に4日の頻度で5か月続けることが推奨されている。1日1万歩を目標とした普通歩行と比べて、筋力増強や最高酸素摂取量増加に有効であることが示されており、体力向上に加え、骨密度の増加、生活習慣病リスクの低減、鬱の改善などの効果が期待されている。しかし、高い効果を得るためには、歩行速度と時間の管理、および継続が必要となる。

また、運動効率向上には音楽も効果的であることが知られている。音楽は、雰囲気を作ったり不快音を遮断したりするだけでなく、運動時の動作と心拍、呼吸のリズムを同期させたり [2]、無駄な力を抜いてエネルギー代謝や運動効率を高めたりもする。好みの音楽を聴くと報酬系と快楽系の神経が刺激を受けてドーパミンが放出されるため、快感や多幸感が得られ、運動時の負担が軽減される [3]。インターバル速歩をはじめとする運動の際に聴くための音源が広く提供されて

いるが、音楽を聴いて抱く印象や湧き起こる感情は個人ごとに異なるため、一般向けの音源が各個人にとって有効とは限らない。同じ曲を聴き続けると飽きて効果が薄れる可能性もある。

本研究では、インターバル速歩における運動効率と楽しさの向上を目的とし、効果的なインターバル速歩を誘導する楽曲の生成手法を提案する。評価実験では、実験協力者の好みの既存曲との対比により、提案手法により生成された楽曲の有用性を示す。

2. 個人の感性に即した楽曲の生成手法

インターバル速歩の効果を向上させるためには、適切に歩くことに加え、継続することも重要である。好みの楽曲を聴くことで快感や多幸感が得られ、運動時の負担が軽減されることから [3]、自身の感性に即した楽曲を聴きながら歩くことで歩行を楽しく感じ、継続性が高まると考えられる。以上より、本研究での提案手法は、個人の感性に即した楽曲を生成する先行研究の手法 [4][5] をベースとする。

先行研究の手法では、生成目的に応じて指定された既存曲をもとに新しい楽曲を生成する。既存曲、および生成される楽曲は、ともにメロディ、和音進行、ベースパートから構成される4/4拍子の楽曲である。メロディを構成する音の最小音価は1/4拍、和音進行を構成する和音の最小音価は1拍とする。楽曲生成手順を図1に示す。最初に、入力された既存曲を学習データとして感性モデルを獲得する。感性モデルはメロディと和音進行に関する頻出パターンの集合であり、入力曲に共通する特徴を表す。次に、感性モデルに合致し、基本的な音楽理論に従う和音進行とメロディテンプレートを進化計算アルゴリズムにより生成する。メロディテンプレートは、メロディを構成する各音の発音タイミングと音価、および先行音に対する音高の変化を表す。和音進行と先行音に対する音高変化の情報に基づいてメロディの音高を決定するとともに、和

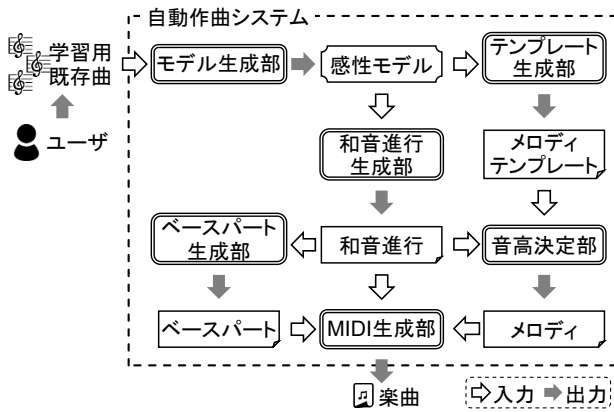


図1 楽曲生成手順



図2 ジングル

音進行に含まれる各和音の最低音を1/2拍で鳴らしてベースパートとする。最後に、和音進行、メロディ、およびベースパートを合わせて楽曲を完成させる。

3. インターバル速歩用楽曲の生成手法

3.1 楽曲の構成

提案手法では、先行研究における手法と同様に、メロディ、和音進行、ベースパートで構成される4/4拍子の楽曲を生成する。楽曲に合わせて歩くとインターバル速歩が行えるよう、曲の長さは約30分間とし、ゆっくり歩き用の3分の曲と速歩き用の3分の曲を交互に5つずつ並べる。ゆっくり歩きと速歩きの切替え部には、20mシャトルランの音源を参考に制作したジングルを挿入する。図2にジングルの譜面を示す。

3.2 テンポと小節数

心拍と運動の同期現象を鑑み、曲のテンポはカルポーン法により算出された目標心拍数と同じ値に設定する。安静時心拍数が h_r である a 歳の人が運動強度 $x\%$ で運動するときの目標心拍数 $H_t(h_r, a, x)$ は、式(1)により算出される。

$$H_t(h_r, a, x) = \{(220 - a) - h_r\} \times \frac{x}{100} + h_r \quad (1)$$

全身持久性のエネルギーは酸素摂取量によって規定されることから、ある運動を続けたときの単位時間

あたりの酸素摂取量が、最大酸素摂取量 VO_{2max} の何%にあたるかで運動強度を決めることができる[6]。 VO_{2max} は個人が単位時間あたりに摂取できる最大の酸素量であり、徐々に負荷をかけたときの呼気を分析して酸素摂取量を測定し、それ以上酸素摂取量が増えないレベリングオフが観察されたときの酸素摂取量を VO_{2max} とする。しかし、レベリングオフが観察されない場合もあるため、運動終了時までの最高酸素摂取量 VO_{2peak} を VO_{2max} として扱うことが多い。一方、能勢は VO_{2peak} を最大体力として扱っている。したがって、インターバル速歩における40%と70%の最大体力は、40%と70%の運動強度ととらえることができるため、安静時心拍数が h_r である a 歳の人のゆっくり歩き用の曲のテンポを $H_t(h_r, a, 40)$ BPM、速歩き用の曲のテンポを $H_t(h_r, a, 70)$ BPMとする。生成する楽曲は4/4拍子であることから、ゆっくり歩き用の曲は $H_t(h_r, a, 40) \times \frac{3}{4}$ 小節、速歩き用の曲は $H_t(h_r, a, 70) \times \frac{3}{4}$ 小節となる。

3.3 発音タイミングと音量

表拍に合わせて歩くと歩きやすい[7]ことから、メロディとベースパートでは足を出すタイミングで音が鳴るようにする。メロディテンプレートは、1/4拍分のメロディのリズムと音高変化を表す整数が曲全体の拍数 $\times 4$ 個並んでいる整数列である。各値は $-1, 0, 1, 2, 3$ のいずれかであり、それぞれ該当する箇所において音を鳴らさないこと、先行音を延長して音を鳴らすこと、先行音より高い音を鳴らし始めること、先行音と同じ音を鳴らし始めること、先行音より低い音を鳴らし始めることを意味する。すなわち整数が $1\sim 3$ の箇所では音が鳴り始める。メロディテンプレートを生成する際には、すべての拍の先頭、すなわち $4n+1$ 番目(n は0以上の整数)の整数が $1\sim 3$ のいずれかになるようにする。また、和音進行に含まれる各和音の最低音を1拍で鳴らしてベースパートとする。さらに、和音とメロディに比べてベースパートの音量を大きく設定し、低音を際立たせて聴き取りやすくする。

3.4 音数

音数が多くなると、足を出すタイミング以外に多くの音が鳴り、リズムに合わせたウォーキングが困難になる。一方で、足を出すタイミングだけに音が鳴るようにすると、リズムが学習用既存曲から獲得された感性モデルに合致しない可能性が高くなり、結果として好みの楽曲が生成されなくなる。以上を鑑み、各モチーフで次の2条件が満たされるようにする。モチー

フとは楽曲の最小構成単位であり、一般的に2小節として扱われる。

- 音数が12~20におさまる。
- 1/4 拍の音が4つ以上連続しない。

2小節には1/4 拍の音が最大で32個入ることから、音数の12~20は中央値 $16 \pm 12.5\%$ ということになる。メロディテンプレートを進化計算アルゴリズムで生成する際、上記の条件を満たしていない候補の評価値が小さくなるようにする。

4. 評価実験

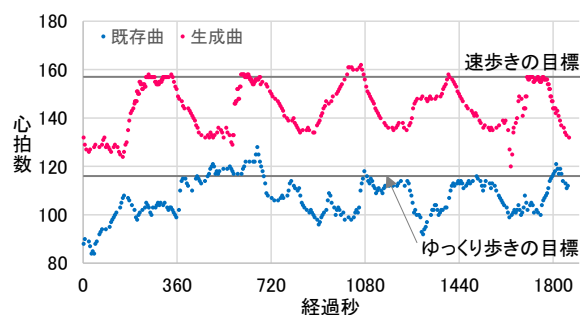
4.1 方法

12名の実験協力者を対象に実験を実施した。まず、協力者の年齢、安静時心拍数、好みの学習用既存曲を調査し、協力者ごとにインターバル速歩用楽曲を生成する。次に、協力者に対し、スマートフォンで好みの既存曲を聴きながら2回、生成曲を聴きながら2回、Fitbit Charge 5を手首に装着してインターバル速歩を行うよう指示する。Fitbit Charge 5は、心拍数や血中酸素の分布状況、睡眠ステージ、ストレス状況などを記録できる健康管理トラッカーである。既存曲を聴く際には、タイマーアプリによるベルでゆっくり歩きと速歩きの切り替えタイミングを知らせる。4回の歩行の終了後、アンケート形式で生成曲の好みの度合いと、生成曲を用いたインターバル速歩の容易さに関して、5を最高評価とする1~5の5段階評価で回答させるとともに、継続可否、既存曲と比較して楽しいか、歩きやすいか、疲れるかについて回答させる。加えて、各回答について理由を記述させる。

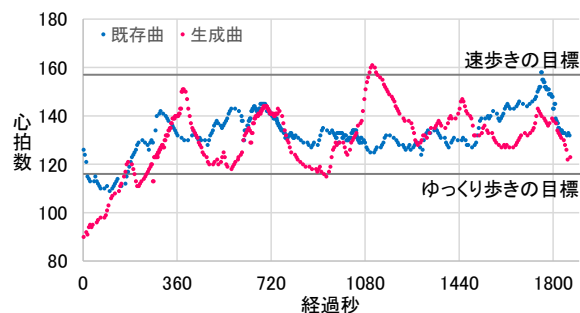
4.2 結果

各協力者の年齢、目標心拍数、アンケート結果を表1に示す。生成曲の好み度合いに関して最高評価値を付けた協力者はおらず、評価は割れたが、生成曲を用いたインターバル速歩の容易さに関しては多くの協力者が高評価を付けた。また、生成曲を聴くほうが既存曲を聴くより歩きやすいが、楽しさに欠け、疲れるという傾向がみられた。

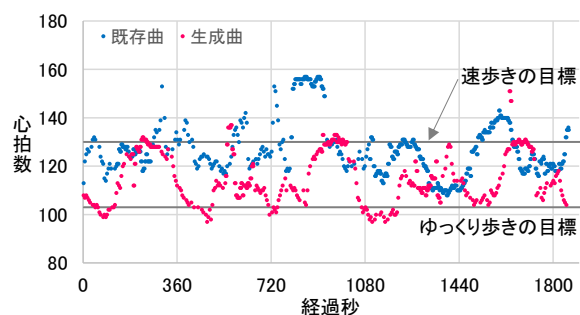
協力者C、D、Lが既存曲と生成曲を聴きながら歩いたときの心拍数の変化を図3に示す。いずれの協力者においても、生成曲を聴いて歩いたときに心拍数が大きく5回、上下に変動しており、既存曲を聴いたときと比較して、最大心拍数と最小心拍数がそれぞれ速歩きとゆっくり歩きの目標心拍数に近づいている。以上より、生成曲により効果的なインターバル速歩が誘導できているといえる。



(a) 協力者 C



(b) 協力者 D



(c) 協力者 L

図3 心拍数の変化

生成曲を用いたインターバル速歩が容易である理由としては、テンポが一定である点、足を動かすタイミングがわかりやすい点、テンポの切替えがわかりやすく、ゆっくり歩きか速歩きかを考えなくても良い点が挙げられた。歩きやすさについても同様の理由が挙げられたほか、「ウォーキング用BGMとして変に主張が強くない、それでいてリズムがしっかりしていた」、という意見も得られた。

疲労度については、10代と20代の協力者全員が生成曲を聴いたほうが疲れると回答した。理由として、9名中8名の協力者から速歩きのテンポが速すぎる点が挙げられた。逆に、50代の協力者からは、ゆっくり歩きのテンポが遅すぎるとの指摘があった。図3(a)、(c)において、20代の協力者Cの心拍数は生成曲を聴くほうが既存曲を聴くより全体的に高いが、60代の協力者Lの心拍数は生成曲を聴くほうが低いことか

表1 協力者の年齢、目標心拍数、アンケート結果

ID	年齢	目標心拍数		生成曲の 好み度合い	生成曲を用いたインターバル速歩に対する感想				
		ゆっくり歩き	速歩き		容易さ	継続	既存曲を聴くより		
							楽しい	歩きやすい	疲れる
A	10代	120	160	4	5	可		○	○
B	20代	115	156	2	4	不可			○
C		116	157	4	5	可		○	○
D		116	157	2	2	不可		○	○
E		117	157	2	4	可		○	○
F		118	158	2	5	不可		○	○
G		120	159	4	4	不可		○	○
H		122	160	4	5	不可		○	○
I		123	160	4	5	可		○	○
J		50代	107	138	4	5	可	○	○
K	108		136	3	4	可		○	○
L	60代	103	130	1	5	可	○	○	

らも、目標心拍数が若年層にとっては高く、高齢層にとっては低い傾向にあることがわかる。協力者Cと目標心拍数が同じ協力者Dは、協力者Cほど既存曲を聴いたときの心拍数は低くないが、生成曲を用いたインターバル速歩の容易さに対して「速歩きのテンポが限界寸前でリズムに乗れなかった」、継続できない理由として「テンポが速すぎる」と述べており、生成曲のテンポ、すなわち目標心拍数の高さが低評価につながったと考えられる。

生成曲を用いたインターバル速歩は継続不可と回答した他の協力者は、疲労度のほかに、「歩くことが目的になって楽しく続けられない」、「既存曲のようにモチベーションが上がる楽曲でないと継続できない」と述べた。一方、継続可と回答した協力者は、「曲のリズムが一定であり、ウォーキングに適している」、「既存曲と比べ歩く速度に対する意識が強まるので、運動効率も良く運動効果がでそう」、「BPMの切替えタイミングもとてもスムーズに移行できますし、歩くタイミングもベースが先導してくれるので歩きやすい」などと述べた。また、両協力者から、生成曲が1種類だと飽きるので日替わりにすべきなどの提案があった。

5. おわりに

本研究では、インターバル速歩における運動効率と楽しさの向上を目的とし、効果的なインターバル速歩を誘導する楽曲の生成手法を提案した。評価実験におけるアンケート結果、および心拍数の変化の状況から、提案手法により生成された楽曲はインターバル速

歩の誘導という観点において一定の効果があるといえる。インターバル速歩が中高年向けの個別運動処方システムの一部であることを考えると、評価実験で高齢層におおむね好評だった点は評価に値するが、より幅広い年齢層に対応するためには、曲のテンポを個人に合わせて設定できるようにするなどの工夫が必要である。また、継続性の向上に向けて、曲を個人の好みにより近づけ、楽しさを増大させることが重要である。

文献

- [1] 能勢博, (2012) “メリハリをつけて歩くインターバル速歩—その方法と効果のエビデンス—” 日本顎口腔機能学会雑誌, Vol. 19, No. 1, pp. 1-9.
- [2] 竹内真太, 西田裕介, 美津島隆, (2011) “心拍-呼吸-運動リズム間の同期現象の誘発は歩行中の体循環系と肺循環系へ影響を及ぼす” 第46回日本理学療法学会大会抄録集, Vol. 38, Suppl. No. 2, PF2-018.
- [3] L. Ferreri, E. Mas-Herrero, R.J. Zatorre, et al., (2019) “Dopamine Modulates the Reward Experiences Elicited by Music” Proc. the National Academy of Sciences, Vol. 116, No. 9, pp. 3793-3798.
- [4] N. Otani, S. Shirakawa, et al., (2016) “Design of Populations in Symbiotic Evolution to Generate Chord Progression in Consideration of the Entire Music Structure” Principles and Practice of Multi Agent Systems, pp. 143-154.
- [5] 大谷紀子, (2018) “個人の感性に即した自動作曲とその応用” 先端芸術音楽創作学会会報, Vol. 10, No. 2, pp. 15-17.
- [6] 菅野俊郎, (1985) “体育科の運動強度 (VO₂max · HR · RPE) からみた教材分析について” 岩手大学教育学部附属教育工学センター教育工学研究, Vol. 8, pp. 67-85.
- [7] 石田篤史, (2010) “BGMのリズムがウォーキングに与える影響の観測” 中央大学大学院研究年報理工学研究科編, Vol.40.