

2022 年度 3 月 修了 修士論文

音の介入が中学生のスプリント走に
与える影響

**The effect of sound on sprint running in
junior high school students**

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5021A037-2

長谷 伸之助

Shinnosuke Hase

研究指導教員； 磯 繁雄 教授

< 目次 >

I. 緒言	1
1-1 児童および生徒におけるスプリント走動作の研究	1
1-2 指導介入の研究結果	3
1-3 音による運動効果の研究	5
1-3-1 引き込み現象の研究	5
1-3-2 感覚運動同期の研究	6
1-4 研究目的	7
II. 方法	8
2-1 被験者	8
2-2 実験方法	8
2-3 撮影方法	8
2-4 試技課題	11
2-5 測定項目	12
2-5-1 平均速度(m/s)	12
2-5-2 ピッチ(Hz)	13
2-5-3 ストライド(m)	13
2-5-4 接地時間(秒)	13
2-5-5 滞空時間(秒)	13
2-6 音とスプリント走の位相差	13
2-7 統計処理	15
III. 結果	17
3-1 各条件間における測定項目の比較	17
3-1-1 平均速度	18
3-1-2 ピッチ	19

3-1-3 ストライド	20
3-1-4 接地時間	21
3-1-5 滞空時間	22
3-2 音とスプリント走の位相差	23
3-2-1 被験者個人内の位相差の経時的変化	23
3-2-2 音とスプリント走の位相差の度数分布	25
3-2-3 上位群および下位群での同位相の割合	26
IV. 考察	27
4-1 音による走りのリズム操作	27
4-1-1 遅いリズム音による介入効果	27
4-1-2 速いリズム音による介入効果	28
4-2 音に対するスプリント走の引き込み現象	30
4-3 今後の展望・限界点	31
4-3-1 今後の展望	31
4-3-2 限界点	32
V. 結論	33
VI. 参考文献	35
VII. 謝辞	42

I. 緒言

1-1 児童および生徒におけるスプリント走動作の研究

スポーツ庁の報告⁴⁷⁾によると近年，※児童および生徒の体力低下が問題視されている．6歳から19歳の児童および生徒を対象に令和2年度に実施した体力調査では，高水準期(昭和50年から60年)と比較し，男女ともに50m走のタイムで低い値を示していた．さらに，新型コロナウイルスの影響から在宅時間の増加による運動時間の減少や肥満児童の増加が問題視されており，全国的に体力レベルの低下が進んでいる²⁹⁾⁴⁷⁾．

「走る」は，スポーツの基礎運動であるため，疾走能力を向上・改善させることは，児童および生徒の体力レベルの向上に重要な課題といえる．Schepens et al.⁴²⁾は，2歳から16歳の児童および生徒の疾走能力を調査した．その結果，最大疾走速度は，成長に伴い増加するもののピッチ(回転数)はほぼ一定であり，ストライド(歩幅)が疾走速度の増加に大きく貢献していると指摘している．また，日本国内の小学生³²⁾⁴⁰⁾⁵⁴⁾や中学生¹⁸⁾の疾走能力を調査した研究も同様に年齢の成長に伴い疾走速度の増加傾向がみられ，それらはストライドの増加に伴うと報告されている¹⁸⁾³²⁾⁴⁰⁾．一方，宮丸²⁸⁾は，13歳以降の男子は，筋力やパワーの成長によってピッチが増加することで疾走速度が増加すると指摘した．特に女子は13歳以降，筋力・パワーの停滞によりストライドおよびピッチの増加が停滞し，疾走速度の増加も停滞する(図1)．13歳以降の女子は，皮下脂肪圧の増量や第二次性徴が影響しているのではないかと考察している¹⁶⁾²⁸⁾．加藤ら¹⁹⁾も同様に，15歳から17歳の生徒の疾走速度の増大はピッチの増大によるものであると報告している．つまり，男子の場合13歳～15歳頃(中学生)を境に疾走速度の増加要因は，ストライドの増加

からピッチの増加へと移行する。一方、女子は、13歳以降筋力・パワーが停滞するため疾走能力を向上させるためには、ピッチもしくはストライドを増加させる専門的トレーニングの介入が必要である。しかし、疾走速度の構成要素であるピッチとストライドは負の相互作用がありトレードオフの関係性を示すことから両者の適切な組み合わせを選択しなければならない¹¹⁾²¹⁾。つまり、12歳から15歳の中学生への走運動の指導介入は生徒の年齢や性差を考慮し、ピッチもしくはストライドのどちらを優先的に伸ばしていくかを選択し、指導を実施する必要がある指導の難易度が高いといえる。さらに部活動などの実際の活動現場では、指導経験や指導学習条件、指導時間が伴わない教師が多く存在し、教師にとって大きな負担になっている⁴⁶⁾。したがって、指導経験がない教師も容易に指導現場で用いることができ、指導のばらつきがうまれにくい指導法が求められる。

※児童・・・6歳から12歳(小学生)を指す(学校教育法を参考)。

※生徒・・・12歳から18歳(中・高生)を指す(学校教育法を参考)。

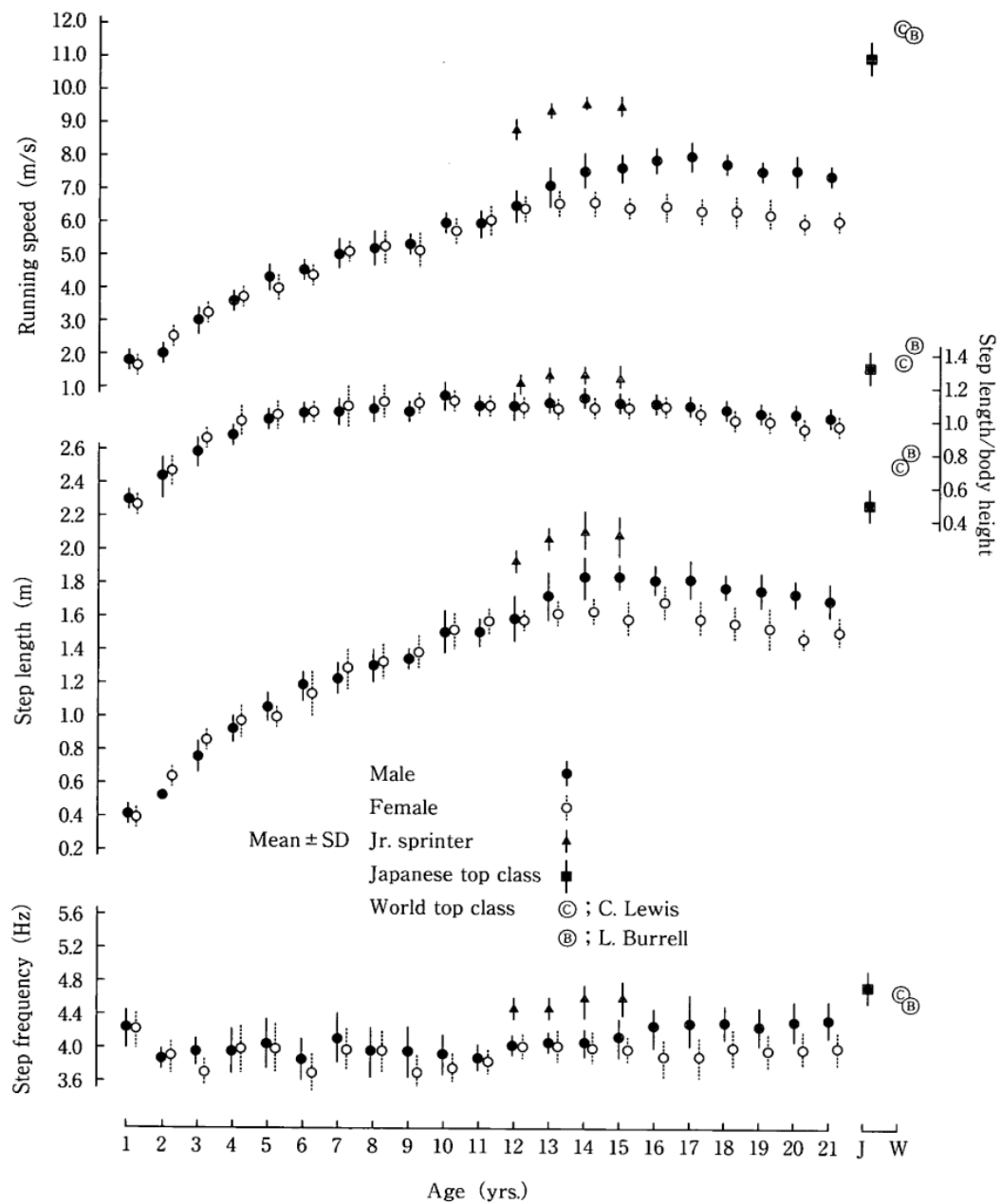


図 1. 年齢の成長に伴う速度・ストライド・ピッチの変化；宮丸²⁸⁾の一部データを改変

1-2 指導介入の研究成果

鈴木ら⁴⁹⁾は、小学 5・6 年生の児童を対象に専門的なジャンプドリルに加え、マークを踏みつけて走る課題や鈴の音に合わせて走る課題など

の補助具を用いた専門的指導プログラムの介入実験を実施した。その結果、プログラム実施後は、ピッチが向上した児童ほどタイムの向上がみられた。さらに同研究でプログラム実施前と実施後のピッチの変化量が大きい児童ほどタイムが向上しており、ストライドの変化量とタイムでは有意な相関関係はみられなかった。そのため、ピッチはストライドに比べて短期間で改善できると報告している⁴⁹⁾。吉田ら⁵⁶⁾は、小学校中学年の児童を対象にフラフープを地面に設置し、掛け声のリズムに合わせて走るリズム走課題の介入実験を実施した。その結果、介入実施前後で50m走のタイムが有意に短縮したことが示された。さらに、介入実施後のスプリント走動作では、支持脚接地時における遊脚の膝関節がより屈曲し、大腿が上がるようなスプリント走動作に変容していた。これは加藤ら¹⁷⁾が提唱した優れた小学生スプリンターのスプリント走動作の特徴と一致するものであった。つまり、児童を対象に専門的ドリルや器具を用いた指導介入は、疾走能力を向上させる効果があると考えられる。しかし、専門的なドリル、マークやフラフープなどの補助具を用いた指導介入は、段階的な指導法や個別対応等の手法が確立されていない。なぜなら、器具の購入や準備などの環境設定、実施上の声掛けなど指導法により出来栄が左右されるからである。

以上をふまえ、児童および生徒の疾走能力を向上させるための指導法として、1) 年齢や身体特性を考慮してピッチもしくはストライドを向上させること。2) 指導者の能力に依存せず、ばらつきが生まれにくい指導法であること。以上2点を網羅した指導法を導入し、疾走能力を高める必要がある。そこで、本研究では走りのリズムに焦点を置き、新たな指導法として「音」を使用した指導法に着目した。

1-3 音による運動効果の研究

1-3-1 引き込み現象の研究

音には引き込み現象というものが存在する．引き込み現象とは，一つのリズムの周期が意図せず他のリズムの周期に同期してしまう現象である．引き込み現象は，自然界で広く知られておりコミュニケーションや運動動作などでもみられる．また，自然科学系のみならず機械工学系や心理学系などの多領域で用いられる現象である．例えば，大勢の観衆の称賛の拍手のタイミングが意図せずに同期してしまう現象など³¹⁾，リズムミカルな聴覚信号と周期運動が同期しやすいと報告されている．Volman et al.⁵³⁾は，7歳から11歳の児童を対象に指のタッピング動作中にメトロノーム音を流した介入実験を実施した．その結果，タッピング動作がメトロノーム音と同期してしまう引き込み現象がみられた．さらに成長に伴い音とタッピング動作の同期の安定性が増加したと報告している．また，サイクリック(周期)運動での引き込み現象も報告されており，Elliot et al.⁶⁾は，音楽が流れている条件では流れていない条件に比べて20分のサイクリング運動での走行距離が有意に増加したと報告している(音楽がない条件: $8.93 \pm 1.76\text{km}$ ，音楽がある条件: $9.94 \pm 1.89\text{km}$)．他にも，走運動について報告した研究も存在する．Ahmaniemi et al.¹⁾は，音楽を聴いた状態で疾走すると音楽のリズムの周波数の増加にともない，疾走動作のピッチが増加することを明らかにした．また，Bood et al.³⁾は，音がない条件・メトロノーム音が流れている条件・音楽が流れている条件の3条件でトレッドミル上の同一速度で被験者が疲労困憊と感じるまでの走行時間を比較した．その結果，メトロノーム音および音楽の聴覚刺激を与えた条件では，音の無い条件に比べて走行時間が有意に増加した(音が

ない条件：約 10 分，メトロノームおよび音楽刺激がある条件：約 12 分）。しかし，メトロノーム音と音楽の条件間では有意差が認められなかったことから，音楽のみではなくメトロノームのようなシンプルな聴覚刺激においても，疾走能力に影響を与える可能性が指摘されている．したがって，サイクリック運動である走運動も同様に音を介入することで引き込み現象が生じ，走りのリズム(ピッチ)が変化すると考えられている．

1-3-2 感覚運動同期の研究

無意識下で音に同期してしまう引き込み現象に対して，意図的にリズムに同期する感覚運動同期という能力が存在する．感覚運動同期は，引き込み現象と対照的に外部の音やテンポに意図的に合わせて運動を同期させる能力であり，聴覚や視覚からの刺激に対して反応し，次の運動を予測するまでの一連の運動動作である³⁸⁾．感覚運動同期は，霊長類やその他の哺乳類ではほとんど見られない現象であり，ヒト特有の機能である²⁵⁾³⁸⁾．子どもの感覚運動同期研究も数多く報告されており Repp and Su³⁷⁾は，感覚運動同期の発達には年数を要するとしている．Provasi and Bobin³⁶⁾は，2 歳半から 4 歳の幼児を対象に外部の音に同期しながら手拍子をする課題の介入実験を実施した．その結果，2 歳半の幼児でも音に合わせて規則的なリズムで手拍子ができていた．さらに，4 歳の幼児は，2 歳半の幼児に比べて容易にリズムに同期していたと報告している．また，Kurgansky and Shupikova²²⁾は，7 歳から 8 歳の児童と成人を対象に視覚刺激による指のタッピング動作の感覚運動同期能力を比較した．その結果，視覚信号に反応し動作を同期させるまでの運動移行は，統計的に児童と成人男性で有意な差は認められなかった．ただし，児童は成人に比べて感覚運動同期にばらつきがあったと報告している．つまり，2 歳

ごろの幼児期から音と運動を同期させる感覚運動同期能力の発達が始まり、年数の経過や成長に伴い能力が向上すると考えられている。

1-4 研究目的

多くの先行研究¹⁾³⁾⁵⁾⁶⁾²²⁾³¹⁾³⁶⁾³⁹⁾⁴³⁾⁵³⁾で音による引き込み現象や感覚運動同期能力の検証がされているもののそれらは、指のタッピング運動²²⁾³⁹⁾⁵³⁾などの単純運動や低速度の走運動^(1); 30 分の長距離走, 3); 2.64m/s~4.86m/s)を検証したものであり、高速度のスプリント走運動を検証した研究は存在しない。そこで、音を利用することで高速度のスプリント走においても走りのリズム(ピッチ)が音に引き込まれ、動作が変容するのではないかと仮説を立てた。具体的には、速いリズム音を介入することでピッチ優位、遅いリズム音を介入することでストライド優位のスプリント走動作に変容するのではないかと着目した。

本研究は、スプリント走動作が変容する時期である中学生を対象に速いリズムおよび遅いリズムのメトロノーム音を用いてリズム操作を実施し、高速度のスプリント走運動における時空間変数の変化を検証する。さらにスプリント走運動と音の同期程度の評価として位相差を算出し、スプリント走運動と音の引き込み現象(無意識的)および感覚運動同期(意識的)を明らかにし、音を用いた指導法の効果を検証する。

II. 方法

2-1 被験者

本研究の被験者は，中学校の部活動で陸上競技部に所属している男女中学生 22 名とした．男女区分はそれぞれ 11 名であった．本研究実施に際して，早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を取得後，生徒および保護者，部活動の担当教員に許可を取得したうえで実験を実施した(承認番号：2022-115，部署：早稲田大学研究推進部)．平均年齢は， 13.18 ± 0.65 歳．平均身長は， 1.60 ± 0.06 m．平均体重は， 48.73 ± 4.46 kg であった．

2-2 実験方法

被験者には，安全管理を確保し，実験直前まで身体活動の準備運動を行わせた．その後，体育館にて運動靴を使用した状態でスタンディングスタートの姿勢から 45m を 3 本疾走した．スタート(以下「S」と略す)の定義は，スタンディングスタートの姿勢から後方の脚が離地した瞬間とした⁴⁹⁾．児童のスプリント走の先行研究をもとに，測定区間は，最大速度が出現する区間が含まれる S から 40m までの 5m 毎とした²⁾¹²⁾⁴²⁾⁴⁵⁾⁵⁷⁾．なお，ゴール(以下「G」と略す)手前の減速を防ぐため，疾走区間は 45m とした²⁾³²⁾(図 2)．

2-3 撮影方法

S 地点から 40m 地点までのスプリント走動作の撮影のため，走路の 20m 地点の側方にデジタルビデオカメラ(DMC-FZ300, Panasonic 社，フレームレート；240 frames/s)を設置し，三脚を用いてパンニング撮影を行っ

た．光・メトロノーム出力装置(iPad Air 第4世代, Apple 社)は15m 地点側方に設置し，画像に映りこむように設置し，撮影を実施した．メトロノーム音は，光・メトロノーム出力装置から体育館内に備え付けのスピーカに接続し，音を流した．なお，使用したアプリケーションは，音と光を同期して出力できるように設定した(The Metronome by Soundbrenner, Soundbrenner 社)(図3)．測定項目算出のため，走路には5m 毎にマーカークーンを置き，デジタルビデオカメラからマーカークーンと走路の幅の中心点が重なるように設置した(図2)．

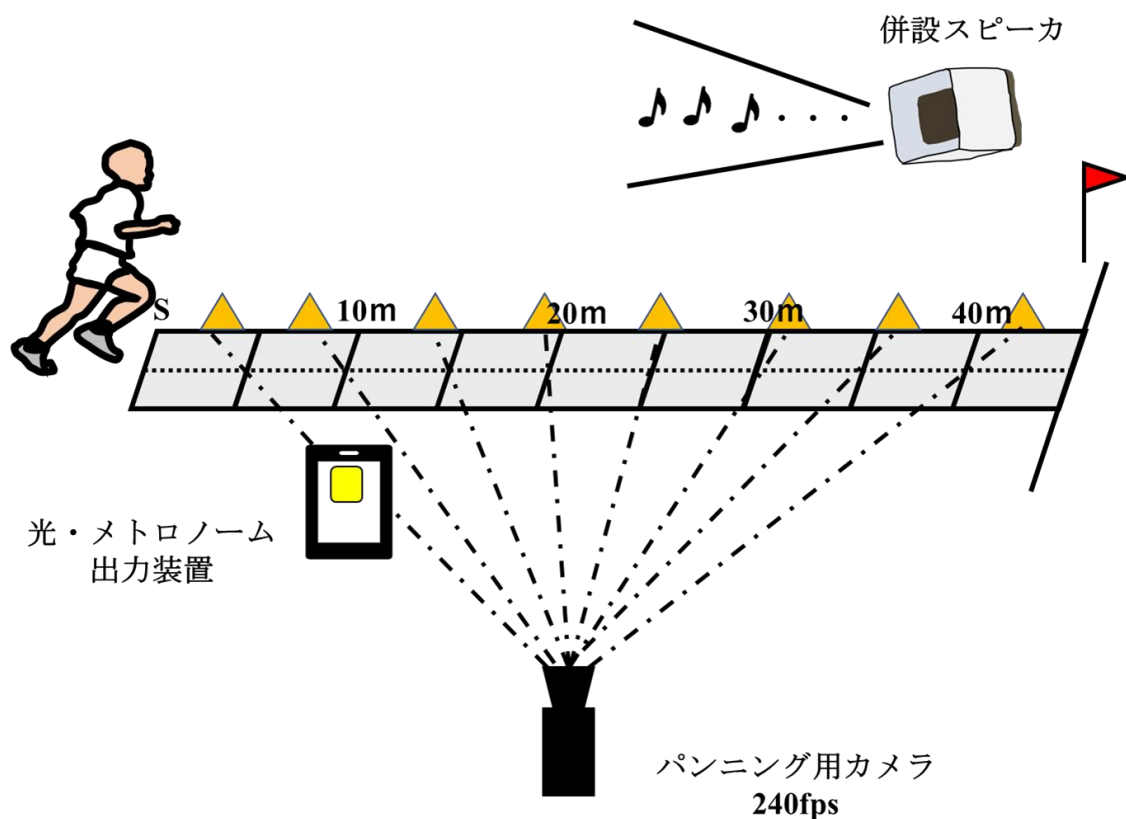


図 2. 実験方法および撮影方法

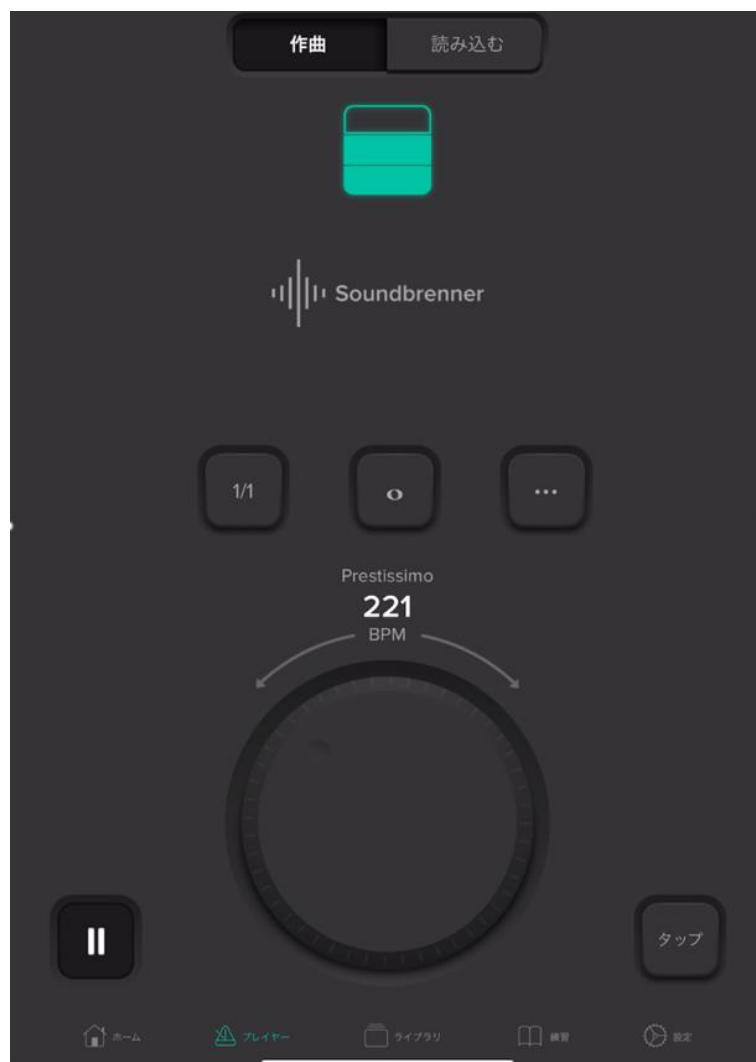


図 3. メトロノームアプリケーション(The Metronome by Soundbrenner, Soundbrenner 社)

2-4 試技課題

表 1. スプリント走試技詳細

試技順	試技名	音	教示
1	baseline	×	主観的努力度80%で走ってください。
2, 3	注遅いリズム音, 速いリズム音	○	音に合わせて走ってください。
注遅いリズム音および速いリズム音はランダムで実施			

本研究実施に際して事前に baseline(音なし)・遅いリズム音・速いリズム音の3条件での予備実験を実施した。予備実験での教示は、「音に合わせて全力で走ってください」とした。その結果、全測定項目(平均速度・ピッチ・ストライド・接地時間・滞空時間)における baseline・遅いリズム音・速いリズム音の3条件間で有意な差が認められなかった。したがって、全力疾走では音に合わせて疾走することが困難であることが考えられる(付録1)。伊藤ら¹³⁾¹⁴⁾や Kakehata et al.¹⁵⁾は、主観的努力度の変化によるスプリント走動作の変化は、80%以下で100%と有意な変化が起きるとしている。そのため、本研究の試技は、先行研究¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾³⁰⁾³³⁾⁴⁸⁾を参考に主観的努力度80%で実施した(表1)。1本目は、baselineとして、音の無い条件でスプリント走における主観的努力度80%で疾走した。Schubert et al.⁴⁴⁾は、多くの先行研究⁴⁾⁹⁾²⁴⁾でピッチおよびストライドがスプリント走動作に与えるバイオメカニクスの影響を検証するためには、ピッチの変化量を10%程度に設定する必要があるとしている。そこで、本研究では baseline に対して±10%の周波数のメトロノーム音を遅いリズム(90%)および速いリズム(110%)のメトロノーム音の周波数として採用した。そのため、2本目および3本目は、1本目で計測した baseline の

S~5m 区間のピッチを 100%と規格化し，規格化したピッチよりも速いリズム(baseline の 110%)および遅いリズム(baseline の 90%)のメトロノーム音を被験者毎に設定した．遅いリズムおよび速いリズムのメトロノーム音は，ランダム順でいずれかのメトロノーム音を流した．遅いリズムのメトロノーム音の平均周波数は， $3.40\pm0.24\text{Hz}$ ．速いリズムのメトロノーム音の平均周波数は， $4.16\pm0.29\text{Hz}$ であった．音を流した条件での試技は，被験者へ「音に合わせて走ってください」と教示した．本研究では，音とスプリント走動作のリズムを同期させる能力を調べるため，音に合わせるタイミング(接地と音を合わせる，腕振りと音を合わせるなど)の教示はしなかった．したがって，被験者自身のリズムで音に合わせて疾走した．

2-5 測定項目

撮影は，パンニング撮影法を用いて S~40m の 5m 区間毎の平均速度，ピッチ，ストライド，接地時間，滞空時間を算出した．

2-5-1 平均速度(m/s)

平均速度は，5m 区間毎の距離を該当区間の所要時間で除することで算出した．S~5m の所要時間は，スタンディングスタートの姿勢から後方の脚が離地した瞬間から 5m 地点のマーカーコーン上を胴体(胸部および腹部)が通過した瞬間までの所要時間とした．残りの 5m~40m までの 5m 区間毎の所要時間は，マーカーコーン上を胴体が通過した瞬間から次地点のマーカーコーン上を胴体が通過する瞬間までの所要時間とした．

2-5-2 ピッチ(Hz)

ピッチは，5m 区間毎で最初に接地した足が再び接地する回数(サイクル数)を該当区間の所要時間で除することで算出した³²⁾。

2-5-3 ストライド(m)

疾走速度はストライドとピッチの積であることから，ストライドは平均速度をピッチで除することで算出した。

2-5-4 接地時間(秒)

接地時間は，接地足のつま先が地面に接した瞬間からそのつま先が地面から離れる瞬間までの所要時間とした。

2-5-5 滞空時間(秒)

滞空時間は，両方の足が地面に接していない時間であり，接地足のつま先が地面から離れた瞬間からその次の接地足のつま先が地面に接する瞬間までの所要時間とした。また，接地時間および滞空時間は，1 サイクル(2 歩)分の平均値とした。

2-6 音とスプリント走の位相差

メトロノーム音とスプリント走動作における接地の瞬間の同期程度の評価として，位相差を算出した。算出式は，先行研究を参考に以下の式を用いた²³⁾⁵²⁾。

算出式

$$\text{位相差}(\text{°}) = \frac{T_{td(n)} - T_{mn(n)}}{T_{mn(n+1)} - T_{mn(n)}} \times 360$$

T_{td} ; S から接地した瞬間までの所要時間

T_{mn} ; S から音(光)が出力した瞬間までの所要時間

$T_{mn(n+1)} - T_{mn(n)}$; 音(光)が出力した瞬間から次の音(光)が出力した瞬間までの所要時間

上記の算出式から S~40m までのステップ毎の接地の瞬間とメトロノーム音が流れた瞬間の所要時間の差分を算出し、各ステップとメトロノーム音のリズムの同期数値を算出した。接地の瞬間とメトロノーム音が流れた瞬間は、スタート後最初の接地およびメトロノーム音を1回目として対応させた。同期数値の位相差は、先行研究⁵²⁾を参考に-180°から180°で正規化した。その後、0°~±90°の位相差を同位相、90°~180°あるいは-90°~-180°の位相差を逆位相と定義した。位相差が0°の場合は、音とスプリント走動作の接地が完全に同位相で一致していたことを示す。逆に位相差が±180°の場合は、音とスプリント走動作の接地が完全に逆位相であったことを示している(図4)。ステップ毎で算出された位相差の標準偏差(ばらつき)を算出し、標準偏差が小さいほど音のリズムと走りのリズムが同期したと評価した。逆に、標準偏差が大きいほど音に対して走りのリズムの協調が不安定であったと評価した。

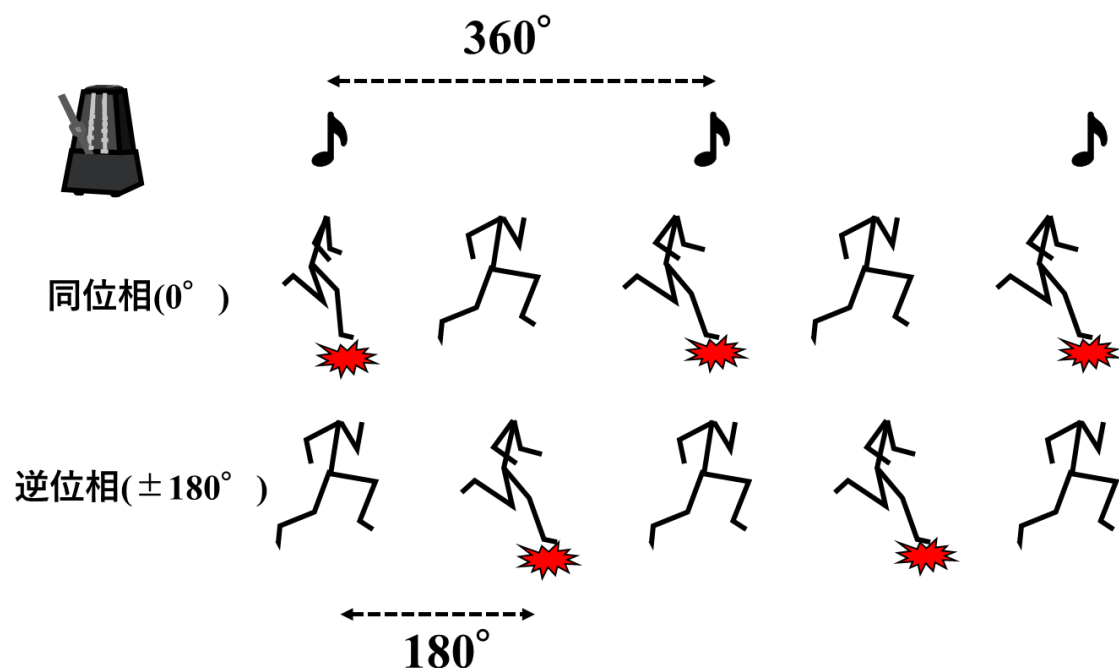


図 4. 位相差の算出方法

2-7 統計処理

測定項目は、平均速度、ピッチ、ストライド、接地時間、滞空時間とし、平均値±標準偏差で示した。baseline・遅いリズム音・速いリズム音の3条件およびS~40mまでの5m毎の8区間を要因とする、対応のある二元配置分散分析を行った(3条件×8区間)。その後の多重比較では、Bonferroni法を用いた。

メトロノーム音とスプリント走の感覚運動同期能力を調べるため、全被験者の中で、速いリズム音および遅いリズム音条件での位相差の標準偏差が小さい上位半数と標準偏差が大きい下位半数を分割した。その後、遅いリズム音および速いリズム音の両条件で上位半数もしくは下位半数に属していた被験者を2条件上位群(n=6)および2条件下位群(n=6)とし

た．測定項目は，位相差が同位相($0^{\circ}\pm90^{\circ}$)に収まった割合とし，平均値±標準偏差で示した．2条件上位群および2条件下位群の2群間(対応なし)および遅いリズム音・速いリズム音の2条件(対応あり)を要因とする二元配置分散分析を行った(2群間×2条件)．統計量の算出には統計解析ソフトウェア(SPSS statistics ver27, IBM 社)を使用した．有意水準は，すべて5%を採用した．

III. 結果

3-1 各条件間における測定項目の比較

表 2. 条件間および区間毎における測定項目の検定結果

		S~5m	5m~10m	10m~15m	15m~20m	20m~25m	25m~30m	30m~35m	35m~40m	分散分析(3条件)		分散分析(8区間)		交互作用	
										F値	P値	F値	P値	F値	P値
平均速度(m/s)	baseline	4.17 ± 0.37	5.97 ± 0.42	6.63 ± 0.54	7.03 ± 0.70	7.22 ± 0.83	7.32 ± 0.88	7.38 ± 0.94	7.17 ± 1.04	59.45	< 0.001	307.05	< 0.001	15.89	< 0.001
	遅いリズム音	3.77 ± 0.30	5.62 ± 0.44	6.10 ± 0.60	6.31 ± 0.75	6.35 ± 0.82	6.37 ± 0.88	6.37 ± 0.87	6.25 ± 0.91						
	速いリズム音	3.98 ± 0.24	5.98 ± 0.39	6.60 ± 0.55	7.00 ± 0.68	7.11 ± 0.72	7.17 ± 0.75	7.18 ± 0.74	7.10 ± 0.81						
ピッチ(Hz)	baseline	3.78 ± 0.27	4.07 ± 0.31	4.17 ± 0.35	4.19 ± 0.36	4.17 ± 0.37	4.13 ± 0.34	4.10 ± 0.35	3.86 ± 0.40	82.66	< 0.001	15.55	< 0.001	8.04	< 0.001
	遅いリズム音	3.53 ± 0.32	3.67 ± 0.35	3.57 ± 0.35	3.53 ± 0.40	3.50 ± 0.39	3.46 ± 0.38	3.44 ± 0.33	3.48 ± 0.35						
	速いリズム音	3.96 ± 0.27	4.21 ± 0.31	4.25 ± 0.30	4.20 ± 0.25	4.14 ± 0.30	4.10 ± 0.25	4.06 ± 0.27	4.05 ± 0.31						
ストライド(m)	baseline	1.11 ± 0.14	1.47 ± 0.11	1.59 ± 0.11	1.68 ± 0.13	1.73 ± 0.15	1.77 ± 0.15	1.80 ± 0.18	1.86 ± 0.22	16.24	< 0.001	350.51	< 0.001	5.27	< 0.001
	遅いリズム音	1.07 ± 0.08	1.54 ± 0.14	1.71 ± 0.16	1.79 ± 0.17	1.82 ± 0.20	1.84 ± 0.20	1.85 ± 0.20	1.80 ± 0.21						
	速いリズム音	1.01 ± 0.08	1.42 ± 0.10	1.55 ± 0.13	1.67 ± 0.13	1.72 ± 0.14	1.75 ± 0.14	1.77 ± 0.16	1.75 ± 0.17						
接地時間(秒)	baseline	0.184 ± 0.022	0.150 ± 0.021	0.140 ± 0.020	0.136 ± 0.020	0.135 ± 0.022	0.133 ± 0.023	0.137 ± 0.024	0.143 ± 0.027	40.45	< 0.001	141.96	< 0.001	8.18	< 0.001
	遅いリズム音	0.187 ± 0.023	0.160 ± 0.024	0.156 ± 0.025	0.155 ± 0.026	0.155 ± 0.026	0.157 ± 0.028	0.158 ± 0.026	0.161 ± 0.027						
	速いリズム音	0.174 ± 0.021	0.144 ± 0.019	0.139 ± 0.020	0.138 ± 0.019	0.139 ± 0.021	0.139 ± 0.019	0.139 ± 0.018	0.142 ± 0.021						
滞空時間(秒)	baseline	0.081 ± 0.020	0.097 ± 0.016	0.100 ± 0.015	0.104 ± 0.016	0.107 ± 0.016	0.111 ± 0.016	0.110 ± 0.016	0.120 ± 0.023	60.44	< 0.001	109.79	< 0.001	4.23	< 0.001
	遅いリズム音	0.092 ± 0.017	0.114 ± 0.021	0.127 ± 0.019	0.132 ± 0.021	0.134 ± 0.022	0.136 ± 0.024	0.135 ± 0.023	0.131 ± 0.024						
	速いリズム音	0.074 ± 0.017	0.093 ± 0.019	0.097 ± 0.017	0.101 ± 0.015	0.104 ± 0.017	0.106 ± 0.016	0.108 ± 0.017	0.107 ± 0.017						

3-1-1 平均速度

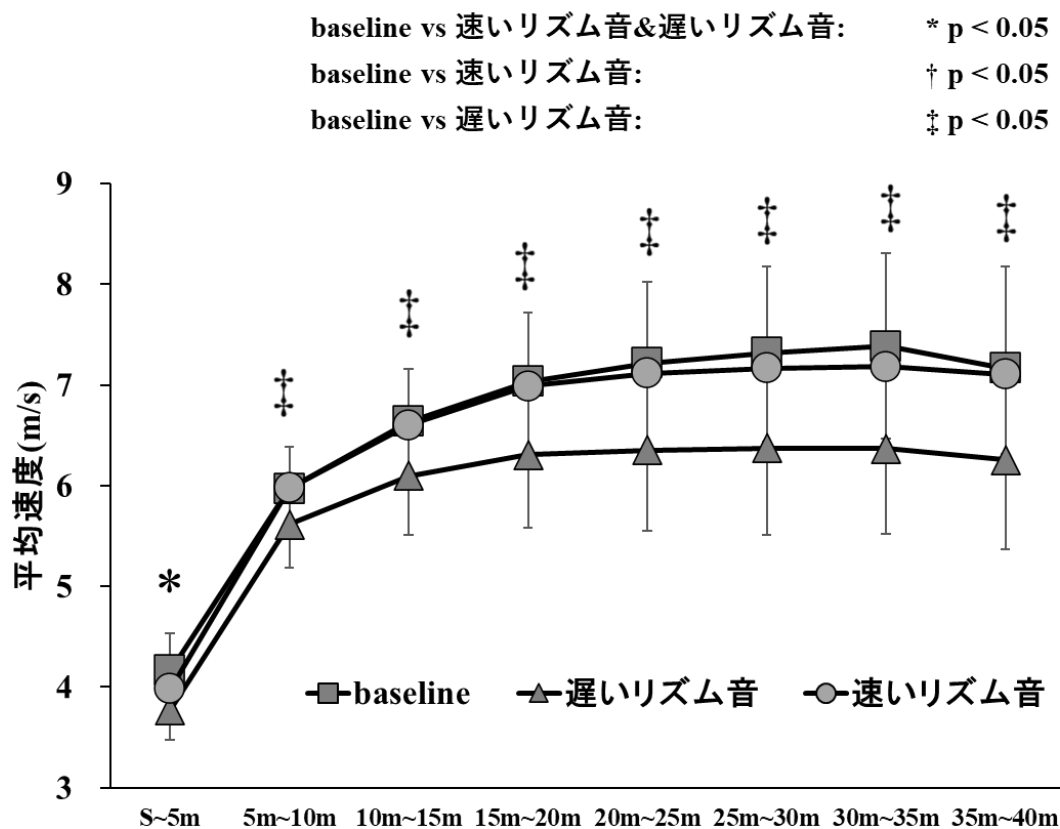


図 5. 各条件間の平均速度の経時的変化

S~40m の 5m 区間別の平均速度の値とそれぞれの検定結果を示している(表 2). その結果, 条件間(3 条件)および区間毎(8 区間)において有意な主効果が認められた. また, 有意な交互作用も認められた. 条件間での多重比較の結果, 遅いリズム音の平均速度は, S~40m までの全区間で baseline より有意に減少していた. また, 速いリズム音の平均速度は, S~5m 区間のみ baseline より有意に減少していた($p < 0.05$)(図 5).

3-1-2 ピッチ

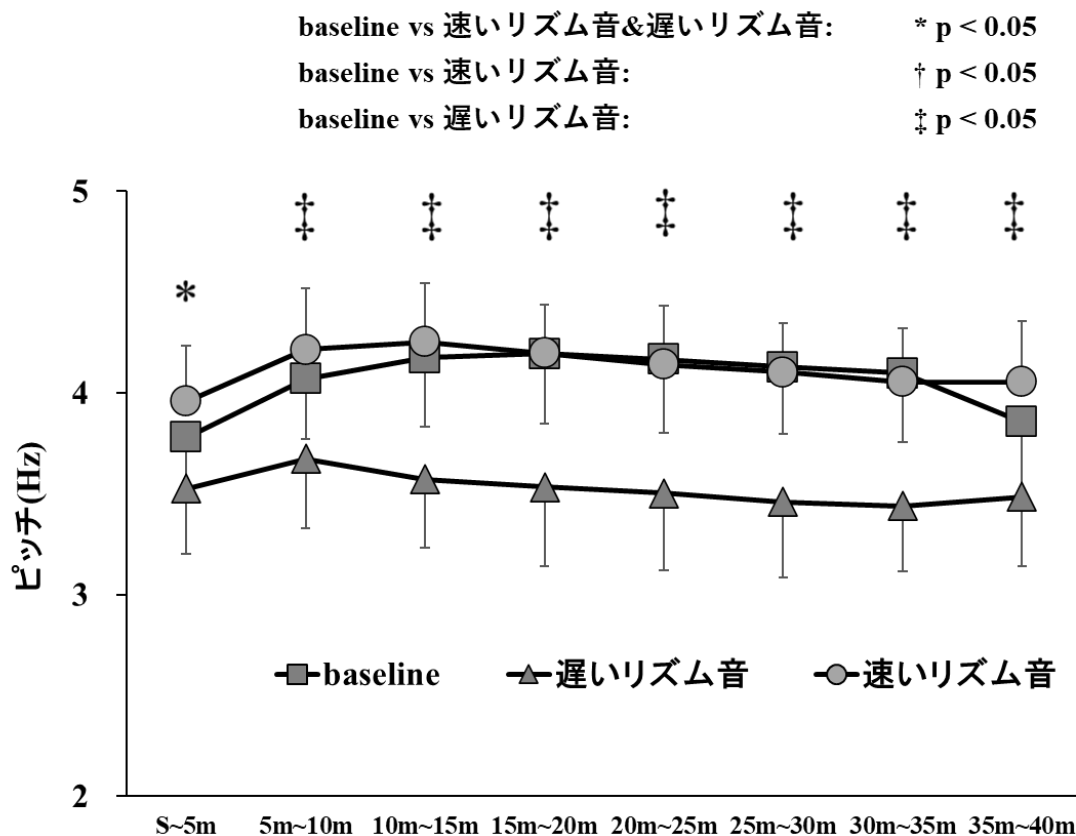


図 6. 各条件間のピッチの経時的変化

S~40m の 5m 区間別のピッチの値とそれぞれの検定結果を示している (表 2). その結果, 条件間(3 条件)および区間毎(8 区間)において有意な主効果が認められた. また, 有意な交互作用も認められた. 条件間での多重比較の結果, 遅いリズム音のピッチは, S~40m までの全 8 区間で baseline より有意に減少していた. 速いリズム音のピッチは, S~5m 区間で baseline より有意に増加していた ($p < 0.05$) (図 6).

3-1-3 ストライド

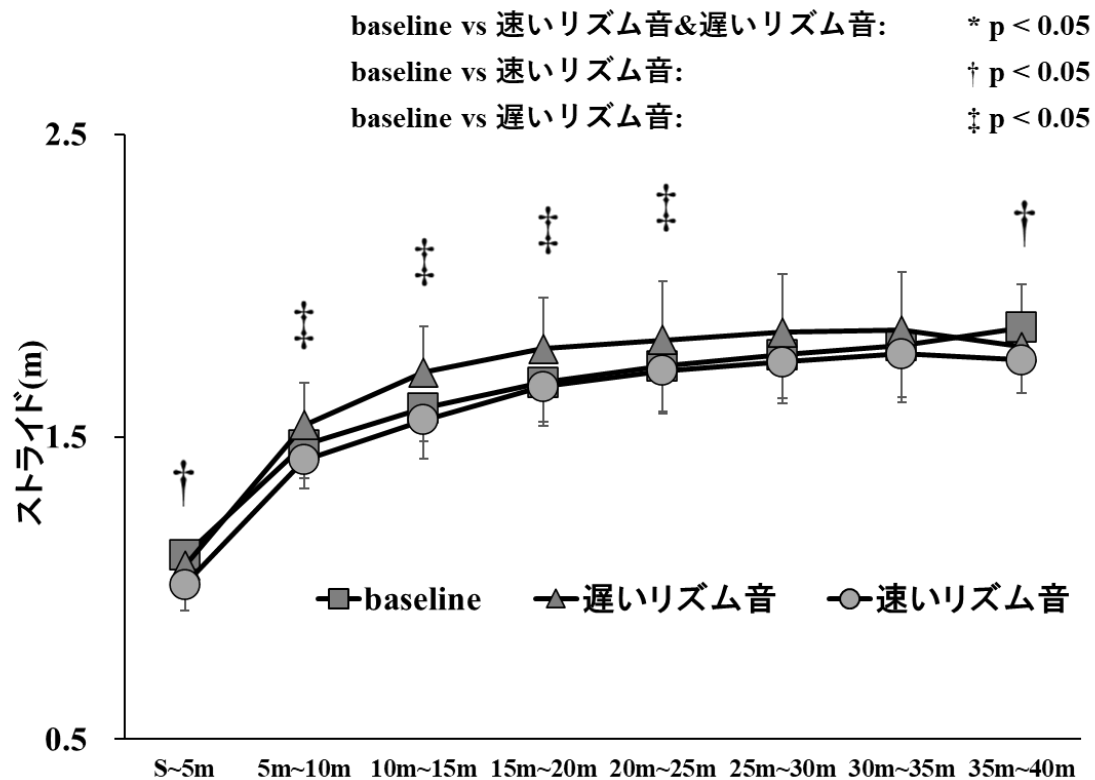


図 7. 各条件間のストライドの経時的変化

S~40m の 5m 区間別のストライドの値とそれぞれの検定結果を示している(表 2). その結果, 条件間(3 条件)および区間毎(8 区間)において有意な主効果が認められた. また, 有意な交互作用も認められた. 条件間での多重比較の結果, 遅いリズム音のストライドは, 5m~25m までの 4 区間で baseline より有意に増加していた. 速いリズム音のストライドは, S~5m 区間および 35m~40m 区間で baseline より有意に減少していた($p < 0.05$) (図 7).

3-1-4 接地時間

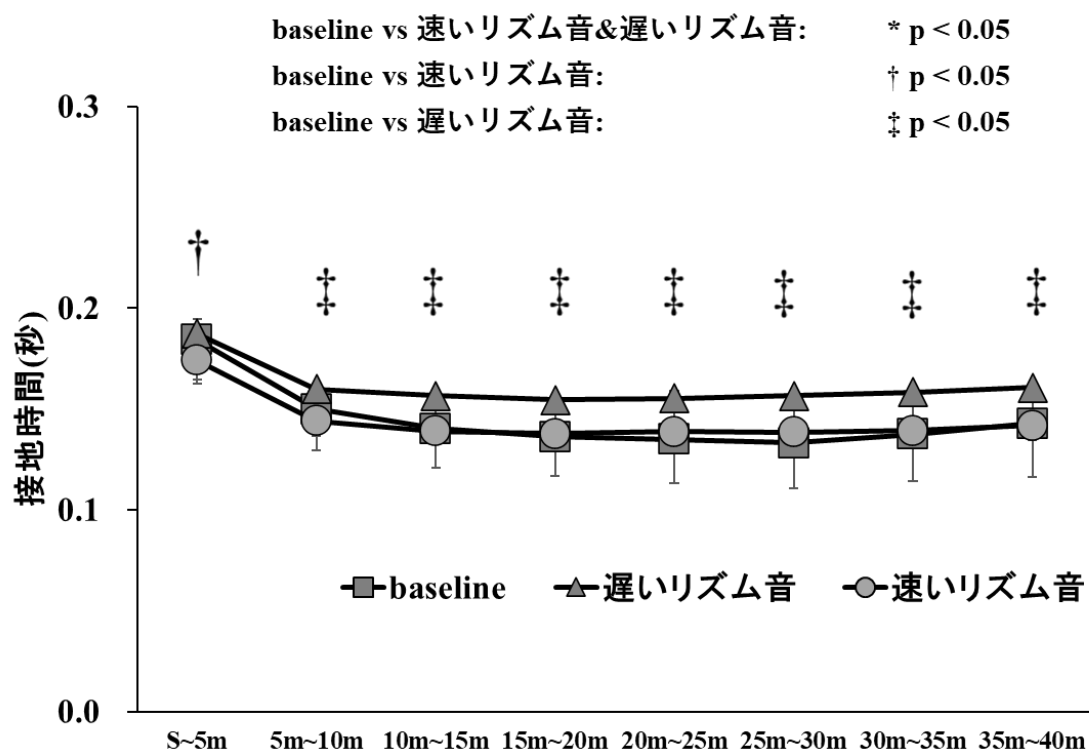


図 8. 各条件間の接地時間の経時的変化

S~40m の 5m 区間別の接地時間の値とそれぞれの検定結果を示している(表 2). その結果, 条件間(3 条件)および区間毎(8 区間)において有意な主効果が認められた. また, 有意な交互作用も認められた. 条件間での多重比較の結果, 遅いリズム音の接地時間は, 5m~40m までの 7 区間で baseline より有意に増加していた. 速いリズム音の接地時間は, S~5m 区間で baseline より有意に減少していた($p < 0.05$) (図 8).

3-1-5 滞空時間

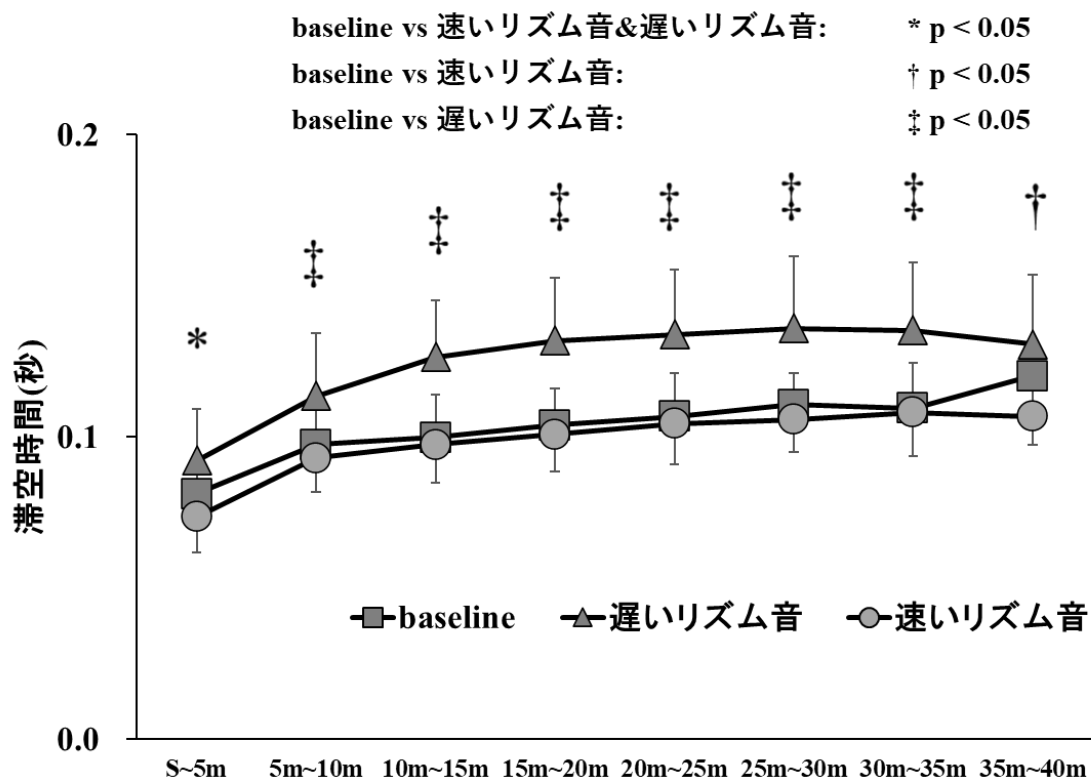


図 9. 各条件間の滞空時間の経時的変化

S~40m の 5m 区間別の滞空時間の値とそれぞれの検定結果を示している(表 2). その結果, 条件間(3 条件)および区間毎(8 区間)において有意な主効果が認められた. また, 有意な交互作用も認められた. 条件間での多重比較の結果, 遅いリズム音の滞空時間は, S~35m までの 7 区間で baseline より有意に増加していた. 速いリズム音の滞空時間は, S~5m および 35m~40m 区間で baseline より有意に減少していた($p < 0.05$) (図 9).

3-2 音とスプリント走の位相差

3-2-1 被験者個人内の位相差の経時的変化

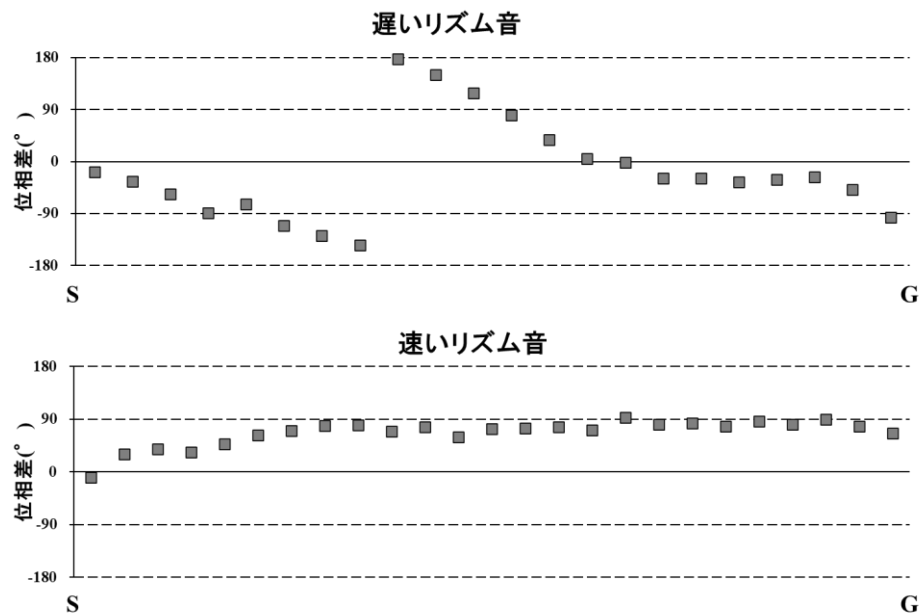


図 10. 位相差の経時的変化の例(被験者 A)

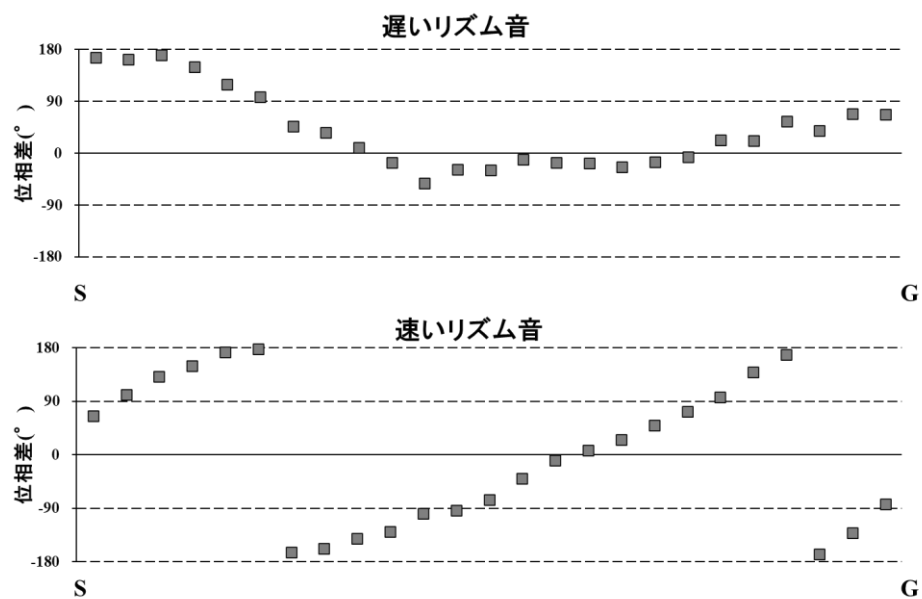


図 11. 位相差の経時的変化の例(被験者 B)

被験者 A の遅いリズム音での経時的変化は，S~5 歩目までが同位相，6 歩目~11 歩目までが逆位相，12 歩目~G までが同位相のタイミングで疾走していた．12 歩目までは位相差が漸減しているため，スプリント走動作のリズムとメトロノーム音のリズムが同期しておらず，スプリント走動作のリズムのほうが音のリズムより常に速いことがわかる．一方，速いリズム音での経時的変化は，S~G までの全歩数のうち 17 歩目以外のすべての歩数が同位相のタイミングで疾走していた(図 10)．

被験者 B の遅いリズム音での経時的変化は，S~6 歩目までが逆位相，7 歩目~G までが同位相のタイミングで疾走しており，さらに位相差は，11 歩目までは漸減しその後，緩やかに漸増する経時的変化であった．そのため，スタート序盤ではスプリント走動作のリズムのほうが音のリズムより速いことがわかる．しかし，中盤以降の局面では徐々にスプリント走動作のリズムと音のリズムが協調し，同位相のタイミングになっている．一方，速いリズム音での経時的変化は，S~1 歩目が同位相，2 歩目~12 歩目までが逆位相，13 歩目~19 歩目までが同位相，20 歩目~24 歩目までが逆位相，25 歩目~G が同位相のタイミングで疾走していた．さらに位相差は，漸増する経時的変化であった(図 11)．したがって，スプリント走動作のリズムとメトロノーム音のリズムが同期しておらず，スプリント走動作のリズムのほうが音のリズムより常に遅いことがわかる．

3-2-2 音とスプリント走の位相差の度数分布

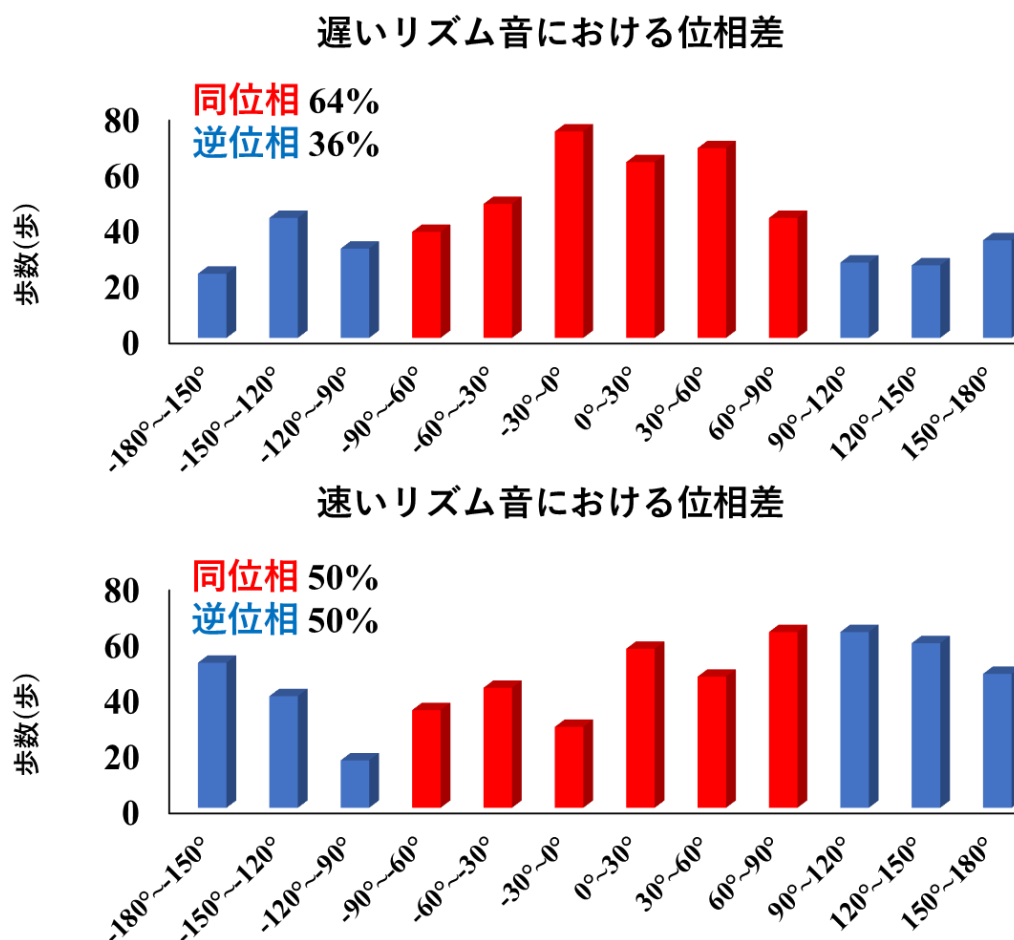


図 12. 遅いリズム音(上部)および速いリズム音(下部)における音とスプリント走の位相差の度数分布

図 12 は、全被験者(n=22)の全歩数における音とスプリント走のリズムの位相差の度数分布である。遅いリズム音での位相差の度数分布は、同位相が全体の 64%、逆位相が全体の 36%の割合であった(上部)。一方、速いリズム音での位相差の度数分布は、同位相および逆位相ともに 50%の割合であった(下部)。

3-2-3 上位群および下位群での同位相の割合

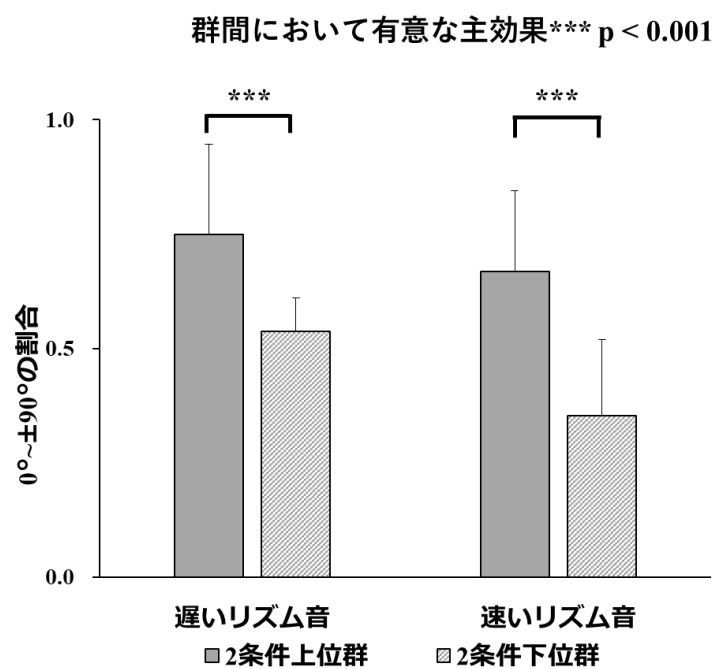


図 13. 2 条件上位群・下位群の遅いリズム音および速いリズム音条件での同位相 ($0^\circ \sim \pm 90^\circ$) の割合

図 13 は、S~G までの全ステップにおける遅いリズム音および速いリズム音の 2 条件での位相差が同位相 ($0^\circ \sim \pm 90^\circ$) に収まった割合を 2 条件上位群および 2 条件下位群で群間比較したものである。その結果、群間において有意な主効果が認められた ($F(1, 10)=375.90, p < 0.001$)。しかし、条件間では有意な主効果が認められなかった ($F(1, 10)=2.60, n. s.$)。また、有意な交互作用も認められなかった ($F(1, 10)=0.41, n. s.$)。

IV. 考察

4-1 音による走りのリズム操作

遅いリズム音のピッチは、S~40m までの全区間で **baseline** より有意に減少しており、速いリズム音のピッチは、S~5m 区間で有意に増加していた(図 6). これらの結果から、高速度のスプリント走においてもメトロノームを導入することで走りのリズムが変容することが明らかとなった. さらに主観的努力度 80%時の実際の疾走速度は、予備実験で行った全力疾走時の 30m~35m 区間の疾走速度と比較して、99.7%(主観的努力度 80%: $7.17 \pm 1.01 \text{ m/s}$, 全力疾走: $7.19 \pm 0.78 \text{ m/s}$)であり、実際の疾走速度は主観的努力度よりも高い値を示していた(付録 1). 先行研究¹⁾³⁾²⁰⁾⁵³⁾では、音の介入で運動のリズムを操作可能であることが指摘されている. しかし、本研究では、主観的努力度 80%という高速度のスプリント走においても音を用いることで、走りのリズムが操作できる可能性が示唆された. また、遅いリズム音では、リズムの変容に伴い、ストライドも有意に増加していた(図 7). したがって、速いリズム音が流れた条件ではピッチ優位、遅いリズム音が流れた条件ではストライド優位のスプリント走動作に変容していた.

本研究の結果は、音のリズム操作で走りのリズム(ピッチ)が音に引き込まれ、高速度のスプリント走においても動作を変容させるのではないかという仮説を立証する結果であった. よって、音を用いた指導法は、最大努力下のトレーニングとしての活用が期待できる.

4-1-1 遅いリズム音による介入効果

遅いリズム音でのピッチは、S~40m までの 8 区間で **baseline** より有意

に減少していた(図 6). さらに遅いリズム音でのストライドは, 5m~25m 区間で **baseline** より有意に増加していた(図 7). したがって, メトロノーム音の介入がスプリント走動作における動作変容の助力になっている可能性が示唆された. さらに遅いリズム音では, **baseline** と比較して S~35m 区間の滞空時間が有意に増加していた(図 8, 図 9). ピッチの減少は接地時間および滞空時間の増加が影響していることが明らかにされている⁴⁾³²⁾⁵¹⁾. したがって, ピッチの減少は, 接地時間および滞空時間の増加によるものであると考えられる. 一方, 平均速度は, **baseline** と比較して S~40m までの全区間で有意に減少していた(図 5). 先行研究で滞空時間に与える要因として地面反力を挙げており, 地面に対して鉛直方向により大きな力を加えることで鉛直力積を獲得し, ストライドが増加することが報告されている⁹⁾¹⁰⁾⁵⁰⁾. また, ストライドは支持脚接地時の移動距離と滞空時の移動距離で構成されており⁸⁾, ストライドの貢献は接地時よりも滞空時の移動距離が重要であるとされている¹¹⁾. 滞空時の移動距離の増加は, 離地時(地面が足を離れた瞬間)の身体重心の高さ, 水平および鉛直方向の離地時の速度と正の相関関係がある¹¹⁾. したがって, ストライドの増加は大きな鉛直力積を高め水平および鉛直方向の離地時の速度を増加させ, 滞空時の移動距離を高める必要がある. しかし, 本研究の被験者は成人と比較して筋力・パワーおよび身長が成熟していない中学生であったため, 大きなパワーを地面に与えることができないことや成人と比べて身体重心が低いことなどから疾走速度を低下させることでストライド優位のスプリント走動作に変容していたことが考えられる.

4-1-2 速いリズム音による介入効果

S~5m 区間で速いリズム音では, **baseline** と比べてピッチが有意に増加

し、ストライドが有意に減少していた(図 6, 図 7). ピッチとストライドは、負の相互作用があるためストライドを減少させ、ピッチを増加させていたことが考えられる. したがって、速いリズム音も遅いリズム音と同様に音の介入によってスプリント走動作のリズムを操作することができ、ピッチ優位の動作に変容したことが示された. S~5m 区間の速いリズム音での接地時間および滞空時間は **baseline** と比較して有意に減少していた(図 8, 図 9). したがって、ピッチの増加は、先行研究⁴⁾³²⁾⁵¹⁾の結果を支持するものであり、接地時間および滞空時間の減少によるものであると考えられる. 一方、S~5m 区間は疾走速度が有意に減少していた(図 5). スタート直後は、音に合わせて動き始めるという課題を遂行していたため疾走速度を低下させることで音に同期させていたことが要因として考えられる. しかし、その後の区間(5m~40m 区間)の平均速度は、**baseline** と比較して有意な減少は認められなかった(図 5). また、5m~20m 区間のピッチは、**baseline** と比較して統計的有意差は認められなかったものの **baseline** より高い値を示していた(表 2). したがって、速いリズム音では、疾走速度を低下させることなく動作を遂行できることが示された. つまり、速いリズム音を用いたトレーニングは、疾走速度を低下させ、音に合わせる遅いリズム音よりも実践に近いトレーニングとしての活用が期待される. 従来のピッチを向上させるトレーニングとしてはマーク走などが挙げられる⁴¹⁾⁴⁹⁾. しかし、これらはピッチの向上はできるもののストライドの制約(マーク間の距離)があるため、ストライドの向上が見込めない点や個々の疾走能力向上に対応することが困難である点が挙げられる. しかし、音を用いたトレーニングは、ストライドの制約がないため、ストライドの向上も同時に実現可能であり、選手の身体特性を考慮した個別性に優れた指導法としての活用が期待される. さらに

ストライドは年齢の成長に伴い増大するもののピッチは成長に伴う増大はみられないと考えられている¹⁸⁾²⁸⁾³²⁾⁴²⁾。したがって、児童および生徒の疾走能力の向上には成長に伴うストライドの増大に加え、速いリズム音の介入によりピッチを増加させる本トレーニングを導入することで疾走能力を向上させ、トレーニング効果を導ける可能性があることが示唆された。

以上のことから、速いリズム音の介入は、1)ピッチを増加させることができ、成長によるストライドの増大と併用することで疾走能力を高める可能性があること。2)筋力・パワーが未成熟で成長過程にある中学生でも遂行可能な動作変容であること。3)疾走速度の低下が少ないこと。以上3点を包括した効果的な指導法であり、汎用性の高いトレーニングとしての活用が期待される結果となった。

4-2 音に対するスプリント走の引き込み現象

2条件上位群は、2条件下位群と比べて条件差に関わらず同位相の割合が有意に高かった(図13)。つまり、音のリズムに合わせて疾走していた生徒ほど接地のタイミング(同位相)に音と同期していた。さらに、図12で示された全体のステップ毎の度数分布においても遅いリズム音では、同位相の割合が逆位相の割合よりも高かった。先行研究では、リズムを有した外部刺激に対して、指のタッピング動作³⁹⁾や手首を曲げる動作⁵⁾、膝の屈伸動作⁴³⁾などの単純運動での協調は、逆位相よりも同位相が安定し、さらに自然と同位相に引き込まれる現象が報告されている⁵⁾³⁹⁾⁴³⁾。したがって、高速度のスプリント走運動においても単純な運動課題と類似した音と動作の引き込み現象がみられた可能性が示唆された。これにより、音を用いたトレーニング介入は高速度のスプリン

ト走運動においても引き込み現象を生じさせ、生徒のスプリント走動作のリズム(ピッチ)を操作することが可能であることが明らかとなった。

4-3 今後の展望・限界点

4-3-1 今後の展望

本研究では、高速度のスプリント走運動においても音を介入することで引き込み現象が生じ動作の変容がみられた。さらに対象とした被験者は、スプリント走動作が変容する時期であり個別性に考慮した指導が必要な中学生であった。したがって、本研究で検証した音を用いたトレーニングは、生徒の年齢や性別、身体特性を考慮することのできる個別性に優れた指導法である。しかし、本研究で遅いリズム音を用いたピッチの操作では、ストライド優位に変容したものの疾走速度の減少がみられた。宮下ら²⁷⁾は、年齢の成長による筋力の発育発達は、およそ14歳から16歳(高校生)でピークを迎えるとしている。ストライドの増加は、鉛直方向へ強い力積を発揮することから⁵⁰⁾、筋力が成熟している高校生や成人を対象に遅いリズム音を介入することで疾走速度を低下させることなくストライド優位の動作に変容するのではないかと考えた。一方で速いリズム音は、有意にピッチが増加した動作変容であった。下肢長とストライドには、正の相関関係が存在することから⁴⁰⁾、身長が著しく発達する10歳から13歳²⁷⁾の児童(小学校高学年)を対象に速いリズム音を介入することで身長および下肢長の増大によるストライドの増大と速いリズム音の介入によるピッチの増加を併用させることで疾走能力を高めることができるのではないかと考えた。今後、横断的に児童およ

び生徒へ音のトレーニングの指導介入を実施する必要がある。

4-3-2 限界点

本研究の限界点として、本研究で介入したメトロノーム音が一定のリズムであったことが挙げられる。特に速いリズム音条件では、S~5m 区間以降 **baseline** と比較してピッチの増加はみられたものの統計的有意差は認められなかった。本研究では、S~5m 区間のピッチを **baseline** として一定のリズムの周波数のメトロノーム音を介入した。ピッチおよびストライドは、疾走速度の漸増にともない増加する経時的変化である⁷⁾²⁶⁾³⁴⁾⁴²⁾⁵⁵⁾。したがって、S~5m 区間以降の局面では、一定のメトロノーム音のリズムと本来のスプリント走動作のリズム(ピッチ)に乖離が生じていた可能性が示唆される。そのため、今後はスプリント走動作のリズムに近似させたメトロノーム音を用いて介入を実施する必要がある。また、感覚運動同期能力の発達は経験の積み重ねにも影響を受けるとされている³⁵⁾。そのため、遅いリズム音および速いリズム音のトレーニング効果にはトレーニング介入を縦断的に実施することによる変化を検証する必要がある。

V. 結論

本研究の目的は，中学生を対象にメトロノームを使用した聴覚刺激によるスプリント走の変容効果および音と走りの感覚運動同期を明らかにすることであった．明らかになった点は，以下の通りである．

1). メトロノーム音の介入により，高速度のスプリント走においても動作のリズムを操作することが可能であった．また，音による引き込み現象もみられた．

2). 遅いリズム音を用いた状況では，ストライド優位(ピッチ減少，ストライド増加)のスプリント走動作に変容した．

3). 速いリズム音を用いた状況では，ピッチ優位(ピッチ増加，ストライド減少)のスプリント走動作に変容した．さらに，疾走速度の減少もみられなかった(5m~40m 区間)．

以上を踏まえ，生徒を対象に音によるリズム操作はスプリント走運動においても引き込み現象を生じさせ，動作変容が起きることが明らかとなった．さらに，速いリズム音は疾走速度を落とさずリズムを変容させることが明らかとなった．したがって，成長の発育発達によるストライドの増大に加え，速いリズム音の介入によりピッチを増加させる本トレーニングがピッチとストライドの双方を向上させ，疾走能力が高まる可能性が期待される．

付録 1 予備実験における全力疾走を baseline とした各条件の測定項目

			baseline	遅いリズム音	速いリズム音	分散分析
中学生	30m~35m	平均速度(m/s)	7.19 ± 0.78	7.24 ± 0.77	7.23 ± 0.85	n.s.
		ピッチ(Hz)	4.16 ± 0.31	4.18 ± 0.36	4.17 ± 0.32	n.s.
		ストライド(m)	1.72 ± 0.08	1.73 ± 0.09	1.73 ± 0.09	n.s.
		接地時間(秒)	0.14 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.02	n.s.
		滞空時間(秒)	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.01	n.s.
		介入したメトロノーム音 (Hz)	-	3.85 ± 0.31	4.70 ± 0.38	--
			baselineとの有意差なし: n. s.			

VI. 参考文献

- 1) Ahmaniemi Teemu Tuomas. (2007) Influence of Tempo and Subjective Rating of Music in Step Frequency of Running ISMIR, pp. 183-184.
- 2) 有川秀之・太田涼・中西健二・駒崎弘匡・神園竜之介 (2004) 男児児童における疾走能力の分析. 埼玉大学紀要. 教育学部. 教育科学/埼玉大学教育学部 [編], 53 (1) : 79-88.
- 3) Bood Robert Jan・Nijssen Marijn・Van Der Kamp John・Roerdink Melvyn (2013) The power of auditory-motor synchronization in sports: enhancing running performance by coupling cadence with the right beats. PLoS One, 8 (8) : e70758.
- 4) Clarke TE・Cooper LB・Hamill CL・Clark DE (1985) The effect of varied stride rate upon shank deceleration in running. Journal of sports sciences, 3 (1) : 41-49.
- 5) de Castelnau P.・Albaret J. M.・Chaix Y.・Zanone P. G. (2008) A study of EEG coherence in DCD children during motor synchronization task. Hum Mov Sci, 27 (2) : 230-241.
- 6) Elliott Dave・Carr Sam・Orme Duncan (2005) The effect of motivational music on sub-maximal exercise. European Journal of Sport Science, 5 (2) : 97-106.
- 7) Graubner Rolf・Nixdorf Eberhard (2009) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. Positions, 1 : 10.
- 8) Hay James. (1993) The biomechanics of sports techniques. Prentice-Hall.
- 9) Heiderscheit Bryan C・Chumanov Elizabeth S・Michalski Max P・Wille

- Christa M・Ryan Michael B (2011) Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. *Medicine and science in sports and exercise*, 43 (2) : 296.
- 10) Hobara H・Sato T・Sakaguchi M・Sato T・Nakazawa K. (2012) Step frequency and lower extremity loading during running. *Int J Sports Med*, 33 (4) : 310-313.
- 11) Hunter Joseph P・Marshall Robert N・McNair Peter J (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and science in sports and exercise*, 36 (2) : 261-271.
- 12) 伊藤知之・金子憲一・袴田智子・柏木悠・船渡和男 (2012) レーザー速度測定器を用いた小学生男子児童の 50m 疾走能力の評価.
- 13) 伊藤浩志・村木征人 (2005) スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度, ピッチ・ストライド, 下肢動作に及ぼす影響. *コーチング学研究*, 18 (1) : 61-73.
- 14) 伊藤浩志・村木征人・金子元彦 (2001) スプリント走加速局面における主観的努力度の変化がパフォーマンスに及ぼす影響. *コーチング学研究*, 14 (1) : 65-76.
- 15) Kakehata Gaku・Kobayashi Kai・Matsuo Akifumi・Kanosue Kazuyuki・Iso Shigeo (2019) Relationship between subjective effort and kinematics/kinetics in the 50 m sprint.
- 16) 加藤謙一・宮丸凱史・阿江通良 (1994) 女子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達. *体育学研究*, 39 (1) : 13-27.
- 17) 加藤謙一・宮丸凱史・松元剛 (2001) 優れた小学生スプリンターにおける疾走動作の特徴. *体育学研究*, 46 (2) : 179-194.
- 18) 加藤謙一・宮丸凱史・松元剛・秋間広 (1999) ジュニアスプリンター

- の疾走能力の発達に関する縦断的研究．体育学研究，44（4）：360-371.
- 19) 加藤謙一・山中任広・宮丸凱史・阿江通良（1992）男子高校生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達．体育学研究，37（3）：291-304.
- 20) Kennel Christian・Streese Lukas・Pizzera Alexandra・Justen Christoph・Hohmann Tanja・Raab Markus（2015）Auditory reafferences: the influence of real-time feedback on movement control. *Frontiers in Psychology*, 6 : 69.
- 21) Kunz H・Kaufmann DA（1981）Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British journal of sports medicine*, 15（3）：177-181.
- 22) Kurgansky AV・Shupikova ES（2011）Visuomotor synchronization in adults and seven-to eight-year-old children. *Human Physiology*, 37（5）：526-536.
- 23) McIntosh G. C.・Brown S. H.・Rice R. R.・Thaut M. H.（1997）Rhythmic auditory-motor facilitation of gait patterns in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 62（1）：22-26.
- 24) Mercer John A・Devita PAUL・Derrick Tim R・Bates Barry T（2003）Individual effects of stride length and frequency on shock attenuation during running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35（2）：307-313.
- 25) Merker Björn（2001）18 Synchronous Chorus and Human Origins. *The origins of music* : 315.
- 26) Mero Antti・Komi Paavo V（1985）Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *Journal of applied biomechanics*,

1 (3) : 240-252.

- 27) 宮下充正・小林寛伊・武藤芳照 (1987) 子どものスポーツ医学. pp12, 南江堂.
- 28) 宮丸凱史 (2002) 疾走能力の発達 : 走り始めから成人まで(第 52 回大会キーノートレクチャー : 発育発達). 体育学研究, 47 (6) : 607-614.
- 29) 文部科学省 (2022) スポーツ基本計画.
https://www.mext.go.jp/sports/content/000021299_20220316_3.pdf,
(参照日: 2022 年 12 月 19 日)
- 30) 中山勝秀・有川秀之・石川泰成・荻原詩歩・森康彦 (2018) 小学生から高校生における短距離走指導の一考察 : 主観的強度の調整力を指標として<退職記念特集>. 埼玉大学紀要. 教育学部 = Journal of Saitama University. Faculty of Education, 67 (1) : 333-341.
- 31) Nédá Zoltán・Ravasz Erzsébet・Brechet Yves・Vicsek Tamás・Barabási A-L (2000) The sound of many hands clapping. Nature, 403 (6772) : 849-850.
- 32) 信岡沙希重・樋口貴俊・中田大貴・小川哲也・加藤孝基・中川剣人・土江寛裕・磯繁雄・彼末一之 (2015) 児童の疾走速度とピッチ・ストライド・接地時間・滞空時間の関係. 体育学研究, 60 (2) : 497-510.
- 33) 小倉幸雄・清水茂幸・尾縣貢・関岡康雄・永井純・宮下憲 (1997) 短距離走における主観的強度と客観的強度の対応性-中学生男子を対象として. スポーツ教育学研究, 17 (1) : 29-36.
- 34) 大沼勇人・小林海・松林武生・高橋恭平・山中亮・綿谷貴志・広川龍太郎 (2020) 2020 年度主要競技会における男子 100m のレース分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第 19 巻(2020) 陸上競技の医科学サ

- ポート研究 REPORT2020). 陸上競技研究紀要, 16 : 82-87.
- 35) Pecenka Nadine • Keller Peter E (2009) Auditory pitch imagery and its relationship to musical synchronization. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169 (1) : 282-286.
- 36) Provasi Joëlle • Bobin-Bègue Anne (2003) Spontaneous motor tempo and rhythmical synchronisation in 2½- and 4-year-old children. *International Journal of Behavioral Development - INT J BEHAV DEV*, 27 : 220-231.
- 37) Repp B. H. • Su Y. H. (2013) Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006-2012). *Psychon Bull Rev*, 20 (3) : 403-452.
- 38) Repp Bruno H (2005) Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic bulletin & review*, 12 (6) : 969-992.
- 39) Roerdink M • Peper CE • Beek PJ (2005) Effects of correct and transformed visual feedback on rhythmic visuo-motor tracking: Tracking performance and visual search behavior. *Human movement science*, 24 (3) : 379-402.
- 40) 斉藤昌久・伊藤章 (1995) 2歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化. *体育学研究*, 40 (2) : 104-111.
- 41) 齋藤壮馬・小田俊明・高橋佳三 (2021) 加速局面のピッチの増加を目的としたマーク走の効果 及び通常疾走との比較. *教育医学*, 67 (2) : 111-122.
- 42) Schepens B. • Willems P. A. • Cavagna G. A. (1998) The mechanics of running in children. *Journal of Physiology-London*, 509 (3) : 927-940.
- 43) Schmidt Richard C • Carello Claudia • Turvey Michael T (1990) Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of

- rhythmic movements between people. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16 (2) : 227.
- 44) Schubert A. G. ・ Kempf J. ・ Heiderscheit B. C. (2014) Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. Sports Health, 6 (3) : 210-217.
- 45) 篠原康男 ・ 前田正登 (2016) 疾走速度変化からみた小学生の 50 m 走における局面構成. 体育学研究, 61 (2) : 797-813.
- 46) スポーツ庁 (2020) 学校の働き方改革を踏まえた部活動改革. https://www.mext.go.jp/sports/content/20200902-spt_sseisaku01-000009706_3.pdf, (参照日: 2022 年 12 月 19 日)
- 47) スポーツ庁 (2021) 令和 2 年度体力・運動能力調査報告書. https://www.mext.go.jp/sports/content/20210927-spt_kensport01-000018161_6.pdf, (参照日: 2022 年 12 月 19 日)
- 48) 杉本祐太 ・ 前田正登 (2013) パフォーマンスレベルの違いが主観的努力度と疾走動作の関連性に及ぼす影響. コーチング学研究, 26 (2) : 145-154.
- 49) 鈴木康介 ・ 後藤悠太 ・ 欠畑岳 ・ 彼末一之 (2019) 小学 5・6 年生における走ることが苦手な児童に対する短距離走の指導効果の検討. 体育学研究, 64 (1) : 265-284.
- 50) 豊嶋陵司 ・ 田内健二 ・ 遠藤俊典 ・ 磯繁雄 ・ 桜井伸二 (2015) スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因. 体育学研究 : 14062.
- 51) 土江寛裕 ・ 櫛部静二 ・ 平塚潤 (2010) 最大スプリント走時の走速度, ピッチ・ストライド, 接地・滞空時間の相互関係と競技力向上への一考察. 城西大学研究年報自然科学編, 33 : 31-36.

- 52) Varlet M. • Richardson M. J. (2015) What would be Usain Bolt's 100-meter sprint world record without Tyson Gay? Unintentional interpersonal synchronization between the two sprinters. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 41 (1) : 36-41.
- 53) Volman M. J. • Geuze R. H. (2000) Temporal stability of rhythmic tapping "on" and "off the beat": a developmental study. *Psychol Res*, 63 (1) : 62-69.
- 54) 山田敦志・村木里志・古達浩史・濱中伸介 (2013) 小学生男子と成人男性との全力疾走時における動作の違い. *バイオメカニズム学会誌*, 37 (4) : 243-248.
- 55) Yanai Toshimasa • Hay James G (2004) Combinations of cycle rate and length for minimizing the muscle power requirement in human running. *Journal of applied biomechanics*, 20 (1) : 51-70.
- 56) 吉田陽平・岩田靖・結城匡啓 (2021) 小学校中学年におけるリズム走教材が走動作に及ぼす効果. *スポーツ教育学研究*, 41 (1) : 31-40.
- 57) Yoshimoto Takaya • Takai Yohei • Fujita Eiji • Fukunaga Yuko • Yamamoto Masayoshi • Kanehisa Hiroaki (2015) Influences of body composition, force-generating capacity and jump performance on 50-m sprint velocity in circumpubertal boys. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 64 (1) : 155-164.

VII. 謝辞

本学位論文の作成は早稲田大学スポーツ科学学術院の礪繁雄教授のご指導の下行われました。同学術院の矢内利政教授，藤田善也准教授には副査を快諾して頂きました。心より感謝申し上げます。また，被験者としては私が部活動指導に携わっている中大附属中学校の陸上競技部の生徒に参加して頂きました。皆様のご協力に感謝申し上げます。

矢内先生には，実験デザインや実験機材の扱い方，実験実施の心構えなど数多くの有益なご助言を賜りました。また，来年度から博士後期課程として矢内先生の下で多くのことを学ばせて頂きます。引き続きご指導ご鞭撻の程，宜しくお願い申し上げます。藤田先生には，副査として快く了承して頂き，データの解釈の仕方やプレゼンテーションでの注意点など有益な助言を頂きました。同学術院講師の中川剣人先生には，実験手法や統計手法など多くの面で本論文作成にあたりご助言を賜りました。東京大学大学院の欠畑岳先生には，実験機材の基本的な扱い方や論文作成などの研究面でのご助言はもちろんのこと陸上競技の面でも数多くのご助言を頂きました。心より感謝申し上げます。また，土屋研究室の宮内育大さん，礪研究室修士課程の佐藤拳太郎さん，佐野陽くん，荒沢洋平くん，礪研究室の学部生の皆さんには，実験の協力や実験実施に際するアドバイスを多く賜りました。本当にありがとうございました。

そして，研究はもちろんです。が陸上競技やコーチングなど数多くのことを指導教員である礪先生の下で学ばせて頂きました。スポーツ学部出身ではない自分に一から丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。礪先生から頂いた「人間力が大切だ」という助言は私の人生観の主軸になって

おります。今後も人間力を養いながら研究・競技・指導と精進していきたいと思います。今後ともお世話になることもあるかと思いますが、引き続きご指導ご鞭撻の程、宜しく御願い申し上げます。

最後に本論文に携わってくださった全ての皆様に深く心より感謝申し上げます。