意識的には認識できない小さなリズムの変化が 予測に基づく反応運動に及ぼす影響

Influence of Subliminal Rhythm Shift on Reactive Periodic Movement

高橋 優基^{1,2)} 藤原 聡³⁾ 伊藤 正憲³⁾
嘉戸 直樹³⁾ 鈴木 俊明²⁾

YUKI TAKAHASHI, RPT^{1,2)}, SATOSHI FUJIWARA, RPT, MS³⁾, MASANORI ITO, RPT, MS³⁾
NAOKI KADO, RPT, PhD³⁾, TOSHIAKI SUZUKI, RPT, DMSc²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Myodani Hospital: 2350-2 Myodani-cho azanashihara, Tarumi-ku, Kobe-city, Hyogo 655-0852, Japan. TEL+81 78-793-7788 E-mail: y_takahashi0428@yahoo.co.jp

²⁾ Graduate School of Kansai University of Health Sciences

³⁾ Department of Physical Therapy, Kobe College of Rehabilitation and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 28(2): 249-252, 2013. Submitted Oct. 5, 2012. Accepted Nov. 20, 2012.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate the influence of inter-onset interval (IOI) shift below the threshold of conscious recognition on the control of reactive movement. [Subjects and Method] Fourteen healthy subjects performed the reaction time tasks, raising their right ankles in response to auditory stimuli under three conditions: 1) periodic auditory stimuli with IOI of 1500 ms, and only the last stimulus interval shifted to 2) 1425 ms and 3) 1200 ms, in successive stimulus sequences with an IOI of 1500ms. Electromyographic reaction times (EMG-RT) of the last stimulus were compared among the three conditions. [Result] EMG-RT of condition 3 was significantly delayed compared to conditions 1 and 2. There was no significant difference between conditions 1 and 2. [Conclusion] Periodic rhythmic stimulation is predicted to have some time width, and reactive movement can be performed without delay in conditions of an IOI shift below the threshold of conscious recognition.

Key words: rhythm, prediction, electromyographic reaction time

要旨:〔目的〕刺激のリズムが変化したと意識的には気づけない小さなリズムの変化であっても反応動作が遅れるのかを明らかにする。〔対象〕健常者14名とした。〔方法〕聴覚刺激を合図に右足関節を背屈する反応時間課題を実施した。刺激間隔が1500 msの周期的な聴覚刺激を呈示する条件1、条件1のうち最後の刺激間隔のみを1425 ms（5%短縮）とする条件2、同様に1200 ms（20%短縮）とする条件3を設定した。最後の刺激に対する筋電図反応時間を3条件間で比較した。〔結果〕条件3の筋電図反応時間が条件1および条件2と比較して有意に遅延した。〔結語〕周期的なリズムはある程度の時間の幅をもって予測されており、意識的には気づけない小さなリズムの変化であれば反応動作は遅れない。

キーワード: リズム, 予測, 筋電図反応時間

¹⁾ 名谷病院 リハビリテーション科: 兵庫県神戸市垂水区名谷町字梨原2350-2 (〒655-0852) TEL 078-793-7788

²⁾ 関西医療大学大学院 保健医療学研究科

³⁾ 神戸リハビリテーション福祉専門学校 理学療法学科

I. はじめに

人は日常的にリズムを感じることもある。音楽のリズムに合わせてダンスをする、横断歩道の色調の変化に歩調が揃ってしまうなどリズムが運動制御に影響を与えうることも経験する。リズムは再現的で周期的な事象として時間の流れを細分化し、順序立てる作用をもつ。このリズムの特性は人に予測を生じさせる¹⁾。予測には意図的に予測する場合と、自分では予測するつもりはないがいつの間にか予測してしまう場合の2つがある。後者の予測を引き起こす要因のひとつに刺激の呈示の周期性がある²⁾。

視覚刺激を用いた反応時間課題において、刺激が一定時間間隔で呈示されることを予め教示しなくても、一定時間間隔で周期的に刺激を呈示すると反応時間は短縮すると報告されている^{3,4)}。聴覚刺激を用いた藤原ら⁵⁾の反応時間課題の報告では、1000 ms間隔の周期的な聴覚刺激を15回呈示し、一側の足関節を背屈して応答させる課題において刺激回数の増加にともなう筋電図反応時間 (Electromyographic Reaction Time, 以下EMG-RT) の変化を検討している。EMG-RTの結果は1回目と比べ2回目以降、2回目と比べ3回目以降が有意に短縮し、3回目以降は有意差を認めなかった。この結果より、3回目以降の刺激に対する応答は聴覚刺激に一定のリズムがあることを認識し、予測に基づいて効率的に運動が実行できるとしている。また藤原ら⁶⁾は、1000 ms間隔の周期的な聴覚刺激を呈示している途中で異なる間隔の聴覚刺激を挿入すると、EMG-RTは周期的な聴覚刺激に応答する時と比べて有意に遅延すると報告している。この結果はフェイントのような予測を裏切る刺激は人の反応動作を遅らせることを明らかにし、予測の負の効果を示した。一方でこの結果は、一定リズムの周期的な刺激を呈示することが予測の成立と円滑な反応運動にとって有効であることも示した。

理学療法では、歩行などのリズムカルな動作を練習するときに手拍子のリズムを呈示することがある。手拍子の呈示は特別な機器を必要とせず簡便に利用できる。しかし、セラピストが機器による刺激の呈示と同じように寸分の狂いのない間隔で手拍子のリズムを打つことは不可能であろう。Madison⁷⁾は、規則的に指のタッピングをおこなうように心がけても一連のタッピング間隔には変動が生じ、200 ms～2000 msのタッピング間隔の場合、タッピング間隔の標準偏差が3～6%であったと報告している。この報告はセラピストが一定リズムの手拍子の呈示を心がけても、少なからず変動が生じることを裏付けている。またThaut¹⁾は、周期的な一定リズムの刺激に関して、その刺激の間隔を5%変化させてもリズムが変わったことを意識的に認識することができないとしている。反応に遅れのないリズムカルな動作を誘導するには一定

リズムの周期的な刺激を呈示することが有効であるとしている藤原ら⁶⁾の示唆は、明らかにリズムが変わったことを認識できる間隔の聴覚刺激を挿入したものから導かれており、手拍子のリズムには変動が生じることや意識的には認識できないリズムの変化があることを加味していなかった。

本研究は、周期的な刺激系列の中に意識的にはリズムの変化が認識できない間隔を挿入した刺激系列を取り入れ、EMG-RTを比較することでリズムの変化と反応動作の関連について明らかにすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は利き足が右の健常者14名(男性10名、女性4名、平均年齢 25.4 ± 5.2 歳)とした。対象者の聴覚に異常がなく、右足関節の背屈の自動運動に障害がないことを確認した。対象者には本研究の目的と方法を書面と口頭で説明し、同意書に署名を得た。本研究は関西医療大学倫理審査委員会の承認(承認番号:12-04)を得て実施した。

2. 方法

筋電図の測定はテレメトリー筋電計MQ-8(キッセイコムテック株式会社)を使用した。周波数帯域は10～1000 Hzとした。電極はディスプレイ電極(アドバンス製、レクトロードNP)を使用した。記録筋は右前脛骨筋とし、皮膚の前処置の後に記録電極を電極間距離2 cmで右脛骨外側顆から四横指遠位⁸⁾の右前脛骨筋の筋腹上に貼付した。アース電極は右腓骨頭上に貼付した。聴覚刺激と筋電図は波形データ収録プログラムVitalRecorder2(キッセイコムテック株式会社)で記録し、記録されたデータは動画・筋電図解析プログラムBIMUTAS-Video(キッセイコムテック株式会社)に取り込んで解析した。聴覚刺激はSoundTrigger2Plus(キッセイコムテック株式会社)で設定し、ヘッドホンを用いて両耳に入力した。聴覚刺激の刺激条件は刺激周波数を900 Hzとし、刺激強度は対象者が明瞭に聴き取れる適切な大きさに設定した。

対象者は両足底を床に接地できる高さの椅子に腰かけて課題を実施した。課題中は視覚の影響を考慮し閉眼した。聴覚刺激を合図にできるだけ素早く右足関節を背屈する課題をつぎの3つの条件でおこなった。1500 msの刺激間隔を本課題の基本間隔とし、1500 ms間隔の周期的な聴覚刺激を呈示するものを条件1とした。条件1のうち最後の刺激間隔のみを1425 ms(基本間隔の5%短縮)とするものを条件2、同様に1200 ms(基本間隔の20%短縮)とするものを条件3とした。1試行の刺激回数は6～10回の連続刺激とした。試行ごとにこの刺激回数はランダムに設定し、対象者が試行を繰り返しても何回目

の刺激で異なる刺激間隔が挿入されるかを予測できないようにした。対象者1人につき各条件を15試行ずつ、合計45試行をランダムに実施した。それぞれの試行間は約1分間とし、つぎの試行の開始はベルの音で予告した。

記録した右前脛骨筋の筋電図波形は解析画面上で振幅感度を1mV/Divに設定し、波形が基線から陰性または陽性方向に振れた時点を肉眼で確認した。EMG-RTは筋活動の開始時点とそれぞれの筋電図波形に対応する聴覚刺激の入力時点との時間差として算出した。解析の対象とした試行は各条件ともに1試行目を除く合計14試行とした。統計手法は一元配置分散分析とTukey-Kramer法による多重比較を用い、最後に入力した聴覚刺激に対するEMG-RTを3つの条件間で比較した。統計ソフトはStatcel3を使用し、有意水準は5%未満に設定した。

III. 結 果

各条件における最後の聴覚刺激に対するEMG-RTは条件1が 138.0 ± 29.7 ms、条件2が 144.3 ± 29.4 ms、条件3が 184.7 ± 24.6 msであった。統計処理の結果、条件1と比較して条件3のEMG-RTが有意に遅延し ($p < 0.01$)、条件2と比較して条件3のEMG-RTが有意に遅延していた ($p < 0.01$)。条件1と条件2のEMG-RTに有意差は認めなかった。

IV. 考 察

一定間隔の周期的な刺激系列において、その基本間隔の5%以内の小さな間隔の変化は意識的にはリズムの変化として認識できないとされている。本課題の条件2は最後の刺激間隔のみ基本間隔を5%短縮した1425 msに変化させた。この最後に呈示した刺激間隔は、基本間隔の1500 msを呈示する条件1と比較すると実際の時間間隔の差は75 msである。藤原ら⁹⁾の先行研究と同様に、条件2も予測に基づいて効率的に運動が遂行されている途中で異なる間隔の刺激を挿入した。しかし先行研究の結果とは異なり、条件2のEMG-RTは周期的な聴覚刺激を呈示した条件1と比べて有意には遅延しなかった。予測的なタイミング制御を検討する同期タッピング課題において、Miyakeら¹⁾は各タッピングの開始が同期すべき刺激の入力より数10 ms先行する現象が生じると報告している。この予測的なタッピングによる負の非同期の出現は1800 ms程度までの刺激間隔の同期タッピング課題に特徴的であり、さらにタッピングが刺激より数10 ms先行していることを被験者は気付かなかったとしている。本課題の条件2では最初に1500 ms間隔の聴覚刺激が少なくとも4回、多ければ8回呈示されたのちに1425 msの間隔の刺激が呈示される。最初に刺激が周期的に生じ

ることで、繰り返される刺激の入力時刻の予測が成立していたであろう。しかしこの予測は1500 msの間隔をわずかな狂いもなく予測していたのではないと考えられる。周期的なリズムの予測に関して、基本間隔の数10 ms手前には予測の範疇に収まるある程度の時間の幅が存在すると考えた。そして条件2の最後の聴覚刺激における75 msの時間の短縮が、この予測が可能な時間の幅の範囲内に含まれていたと考えた。本課題で検討しているEMG-RTは刺激の入力から筋活動が開始されるまでの潜時であり、中枢の処理過程を反映するとされている¹⁰⁾。このことから、基本間隔の5%以内の刺激間隔の変化に関しては周期的なリズムの予測機構が機能し、中枢での運動の準備状態が維持されたと考えた。そのため、最後の聴覚刺激が基本間隔である1500 msより75 ms早く入力されたが、運動の準備状態が維持されていたため周期的な聴覚刺激に対して反応するときと同じように反応できたのであろう。

一方、本課題の条件3は最後の刺激間隔のみ基本間隔を20%短縮した1200 msに変化させ、条件1との実際の時間間隔の差は300 msであった。藤原ら⁹⁾の先行研究と同様に、異なる間隔の刺激を挿入するとEMG-RTは周期的な聴覚刺激を呈示した場合より遅延した。周期的なリズムの予測機構にはある程度の時間の幅が存在するであろうと前述した。しかし、この300 msの差は予測機構がもつ時間の幅を超えるものであったと考えた。Thaut¹⁾は基本間隔の20%の変化はリズムが変わったことを意識的に認識できるレベルであると述べている。リズムの変化が意識的に認識できるという点は、運動を意図的に切り換える場合などにそのタイミングを呈示する刺激としては有効であると考えられる。しかし、基本間隔の予測に基づいて周期的な運動が効率的に行われている場合には、このリズムの変化はフェイントを引き起こす刺激になるであろう。河辺ら⁴⁾は予測を生じさせるような視覚刺激を与えながら途中でその予測を裏切る指令、いわゆるフェイント刺激を与えると、フェイント刺激を与えなかった場合より反応時間は遅延すると報告している。またこの反応時間の遅延は、予測によって予め出された反応指令が脳内でキャンセルされ、正しい反応指令が出されるために生じると述べている。また本研究と同様に、聴覚刺激を用いて前脛骨筋より筋電図を記録した藤原ら⁹⁾の検討では、1000 ms間隔の周期的な聴覚刺激を呈示している途中でリズムが変わったことが認識できる間隔の聴覚刺激を挿入すると、EMG-RTは周期的な聴覚刺激に応答する時と比べて約50 ms遅延していた。本課題の条件3においても、条件2と同様に最初に刺激が周期的に生じるため繰り返される刺激の予測が成立していたであろう。この予測に基づいた反応をしている途中で挿入された1200 msの刺激間隔は、予測を裏切るフェイント刺激になったと考えられる。本課題の条件3と条

件1のEMG-RTの平均値の差は46.7 msであり、新たな反応に切り替えるために要する時間として河辺ら⁴⁾や藤原ら⁶⁾が報告している約50 msともほぼ一致する。このことから刺激間隔の変化が基本間隔の20%にまで至ると、それまでに成立した周期的なリズムの予測が裏切られ、運動の準備状態が破綻するため新たな運動指令を出す必要があると考えた。リズムカルな動作の誘導においては、この反応時間の遅れは運動の周期性を乱す要因になるであろう。

これまでの反応時間研究では、周期的な一定間隔の刺激を呈示している途中で異なる間隔の刺激を挿入すると反応時間は遅延するとされていた。しかし、本研究では基本間隔を5%短縮するリズムの変化では反応時間は遅延しないという新たな知見を得た。本研究は基本間隔を短縮するリズムの変化について検討したが、今後は基本間隔を延長するリズムの変化についても検討する必要があると考える。また、セラピストがある一定のリズムで手拍子を打つように心がけたときに生じる手拍子の間隔の変動を調査し、その間隔の変動を聴覚刺激の刺激間隔に反映させてEMG-RTを比較することで、セラピストが呈示する手拍子のリズムと反応動作との関連についても検討していきたい。

引用文献

- 1) Thaut MH: Rhythm, music, and the brain: scientific foundations and clinical applications. Routledge, New York, 2008, pp4-45.
- 2) 矢部京之助, 大築立志, 笠井達哉: 入門運動神経生理学—ヒトの運動の巧みさを探る—. 市村出版, 東京, 2003, pp306-312.
- 3) 河辺章子, 大築立志: 移動指標の方向変化に対する反応時間. 体育学研究, 1980, 24: 301-311.
- 4) 河辺章子, 大築立志: フェイント刺激による誤反応の修正—対側前腕屈筋への運動指令の切り替え時間について—. 体育学研究, 1982, 27: 217-227.
- 5) 藤原 聡, 伊藤正憲, 嘉戸直樹・他: 周期的な聴覚刺激における刺激回数の増加と刺激頻度の相違が筋電図反応時間の変化に及ぼす影響—側足関節背屈運動における検討—. 関西理学, 2009, 9: 77-81.
- 6) 藤原 聡, 伊藤正憲, 嘉戸直樹・他: 周期性の認識に基づく効率的な運動中に定期的に呈示される異なる刺激間隔が筋電図反応時間に及ぼす影響—刺激回数の増加と刺激間隔の相違による検討—. 関西理学, 2010, 10: 71-76.
- 7) Madison G: Variability in isochronous tapping: Higher order dependencies as a function of intertap interval. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 2001, 27(2): 411-422.
- 8) 藤原 哲司, 鈴木俊明, 大工谷新一・他: The electromyography research for physical therapy and acupuncture—理学療法・鍼灸治療における筋電図研究のすべて—. アイベック, 東京, 2007, pp121-127.
- 9) Miyake Y, Onishi Y, Pöppel E: Two types of anticipation in synchronization tapping. Acta Neurobiol Exp, 2004, 64: 415-426.
- 10) 中村隆一: 筋電図反応時間による運動発現の検討. 臨床脳波, 1998, 30: 566-571.

1) Thaut MH: Rhythm, music, and the brain: scientific foundations and clinical applications. Routledge, New York,