

ヒトの動きが"ばらつく"ことの本質

～脳が指令する筋活動のタイミングの乱れが動きの精度を左右する～

The crux of human movement variability
 - Mistimed motor signals from the brain affect the precision of movements -



NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部

高木 敦士

Atsushi Takagi

●プロフィール

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚運動研究グループ 特別研究員。2011年インペリアル・カレッジ・ロンドン物理学部卒業。2016年同大学博士取得(理学)。2017年より東京工業大学 特任助教を経て、2020年にNTTに入社。脳の情報処理や運動制御メカニズムの解明研究に従事。

理想の投手は「投げたいと思う位置」に「何回でも」投げられますが、それを可能としているのは体を操る脳の情報処理です。本講演では、「脳が筋を動かすタイミングの乱れ」が運動をばらつかせる原因であることを示した研究についてご紹介します。この研究で開発した運動中のタイミング乱れの観測を通じた運動能力測定法により、利き手は非利き手に比べて繰り返し運動のばらつきが少なく、若年層では成長とともに運動ばらつきが減少し、高齢者では、運動ばらつきが増加することが明らかになりました。また、この研究から生まれた利き手・利き足を手軽に評価するアプリをご紹介します。

ボールを投げたり、階段を上る等、人は日常生活中に様々な動作を行います。これらの動作では、目標どおりに、毎回同じように動けることが必要です。目標通りに動くための運動学習の仕組みは従来研究で明らかにされてきましたが、毎回同じように動ける仕組み、すなわち、ばらつきが少ない動きを生み出す仕組みは未解明でした。

従来の考え

従来の研究においては、筋活動の大きさと筋力の分散が関係していることから、「動きのばらつき」の起源は「筋力の揺らぎ」にある、という考えが主流でした。この考えによれば、筋活動が最大になる瞬間に筋力が最もばらつくことになります。見たものに素早く手を伸ばす動作では、加速と減速をするために増減する筋力により腕が動くため、主動筋と拮抗筋が最大活動する瞬間に手先力(図1a、りんごに与える力)は大きくばらつくことになります。すなわち従来のモデルに従うと、手を伸ばす動作中の手先力は加減速する二箇所ではばらつきが大きくなることが予想されます(図1bの左)。それを確かめるため、装置を握った手先をターゲットへ到達する肘曲げ動作を50回繰り返す実験をおこないました。しかし、従来モデルの予想に反し、計測した手先力の時間パターンには、ばらつきが高まる箇所が三つあることが明らかになりました(図1c)。したがって、このばらつきは従来のモデルでは十分説明できず、新たな説明が必要になります。

動きのばらつきの要因は「脳内タイミングの乱れ」にある

筋活動は大きさ以外に、活動するタイミングも重要であることは従来から知られていましたが、筋活動のタイミングが動きのばらつきにどのような影響を及ぼすかは明らかにされていませんでした。本研究では、主動筋と拮抗筋の活動のタイミングが乱れたときに、四肢を動かす力のばらつきがどのように起こるかをモデルシミュレーションにより確認しました。興味深いことに、このモデルは、手を伸ばす動作中に手先力のばらつきが三箇所が高まることを予測しました(図1bの右)。そこでさらに、運動中の主動筋と拮抗筋の活動を計測し、肘の終点位置のばらつきと筋活動タイミングの乱れの相関を調べました。主動筋と拮抗筋のタイミングは試行毎に大きく異なり、終点位置のばらつきと正の相関がありました。筋活動の大きさも動きごとに変化していましたが、位置のばらつきとの相関はありませんでした。よって、タイミングの乱れが「動きのばらつきを左右する」本質であることが本研究で明らかになりました。

手足の器用さは筋活動タイミングの乱れに左右される

大半の人は手や足の器用さに左右差があり、器用な利き手で字を書いたり、利き足でボールを蹴ります。手や足の器用さの左右差が、筋活動タイミングの乱れに関連しているかを、次のような方法で検証しました。タイミングの乱れを「動きのばらつき」から手軽に評価できるアプリを開発し(図2a)、同時

に日常生活で良く使う利き手・利き足アンケート調査を行いました。その結果、ばらつきの左右差とアンケート調査に強い相関がありました。すなわち、左利きの方は左手や左足のばらつきが少なく、右利きの方は右手や右足のばらつきが少ないというわけです(図2b)。

動きのばらつきは年齢や経験で変わる

次に動きのばらつきが年齢と共に変化するかを調べました。4～90歳の参加者の運動のばらつきをスマホアプリで計測したところ、幼児から若年層の参加者では、ばらつき度合いが年齢とともに徐々に低減しました(図2c)。20～60歳の方々のばらつき度合いには明確な変化が見られませんでした。そして60歳を超えると、ばらつき度合いが増え、器用さが低下する傾向が見られました。また面白いことに、右手を使うように矯正された方は、右手だけでなく、不思議と右足もばらつきが少なく、器用さが高いという結果が得られました。

本研究により、脳内タイミングの乱れが手足の動きのばらつきを左右することが判明しました。しかし、タイミングの乱れを決定する脳の情報処理の詳細はまだわかっていません。今後は、その情報処理を明らかにするとともに、スポーツ種別に則したトレーニングや運動リハビリにおいて左右のバランスや学習効果を容易に「見える化」するための検討も進めたいと考えています。

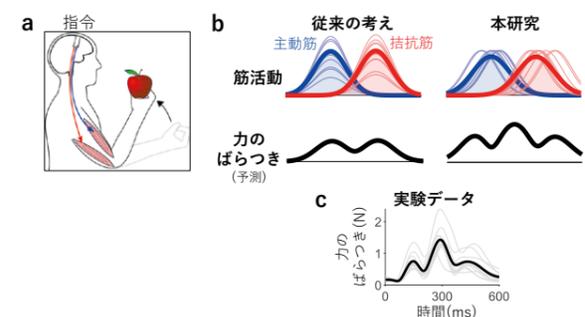


図1:動きのばらつきの要因は「脳内タイミングの乱れ」にある。

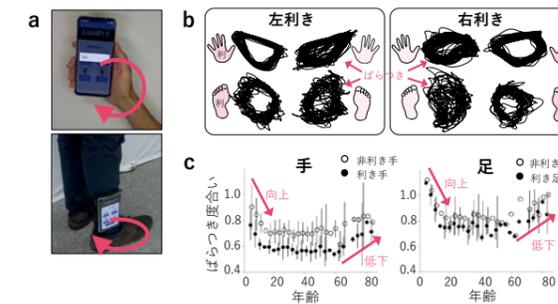


図2:手や足の左右差は筋活動タイミングの乱れに左右される。

●参考文献

[1] A. Takagi, S. Ito, H. Gomi, "Non-dominant hand has larger timing errors in muscle activity," in Neuroscience 2022, pp. 216.20, 2022.
 [2] A. Takagi, S. Ito, H. Gomi, "Command timing variability, rather than signal-dependent noise, determines motor coordination," in Motor Learning and Motor Control (MLMC), 2022.