

大脳皮質のミラーシステムに着目した全身運動の学習メカニズムの解析

彼末一之¹，坂本将基¹

(¹スポーツ科学学術院)

【目的】

運動イメージとは、実際の動きを伴わずにある動作を想起するものである。運動イメージはイメージトレーニングなどのトレーニングとして用いられているように、スポーツにおいて重要な要素である。イメージトレーニングは身体運動を実践せずに技能を脳内で繰り返しイメージすることで、補助的にトレーニング効果を高めるためのトレーニングである。その有効性は様々な先行研究から確認されているが、技能の習熟度とイメージトレーニングの効果の関係には見解の一致が得られておらず、スポーツ現場では選手やコーチの経験に依存して実施されている部分が多い。しかし、経験の程度にかかわらず全ての競技者が様にイメージトレーニングを行うことは有効であろうか。本研究はこの点を明らかにするために、経験の程度によってイメージの難易度が異なると考えられる体操競技の宙返り動作と体操未経験者でもイメージが容易なジャンプ動作を課題とし、体操の経験者と未経験者にイメージさせた際の運動皮質の活動を経頭蓋磁気刺激法 (TMS) を用いて検証した。

【方法】

被験者は健康な男性20名 (19～24歳) であり、うち宙返り経験者群10名、宙返り未経験者群10名で行った。被験者はリラックスして椅子に座り、立位姿勢 (control)、宙返り動作 (salto) (図1)、ジャンプ動作 (jump) の3つの映像を観察し、saltoとjumpは映像と同様のタイミングでイメージした。

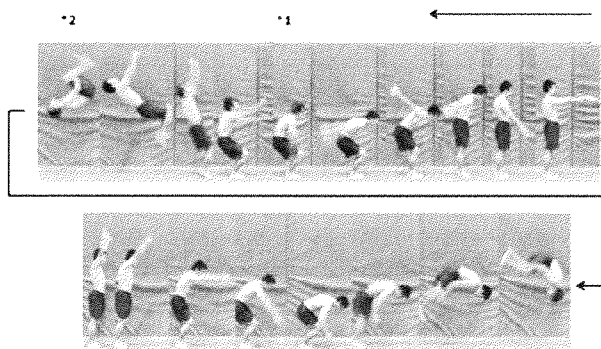


図1：被験者に提示した宙返りの映像

各課題中に一次運動野にTMSを行い、大腿直筋から運動誘発電位 (MEP) を記録した。また、salto課題に関しては salto (jump) と salto (tack) の2タイミングでそれぞれ刺激した。記録したMEPはcontrol観察時のMEP振幅を100%として標準化した。MEP振幅および背景筋電図量の変動については繰り返しのある二元配置の分散分析を用い、有意差が得られたものに対してはT検定を行った。また、controlで得られたMEPと各課題で得られたMEPの比較はDunnett法による多重比較を行なった。有意水準は5%未満とした。

【結果】

経験の有無と課題の2要因で二元配置の分散分析を行い、経験の有無に有意な差が認められ、経験者のMEPが未経験者と比較して増大した (図2)。各課題で得られたMEPの被験者群間比較では、jumpで有意な差が認められず、salto (jump) と salto (tack) 両刺激タイミングで経験者が未経験者と比較し有意に増大した。被験者群内のcontrolと各課題の比較では、経験者群でcontrolと比較し全課題有意に増大した。未経験者群ではjump、salto (jump) で有意な差が見られず、salto (tack) で有意に増大した。

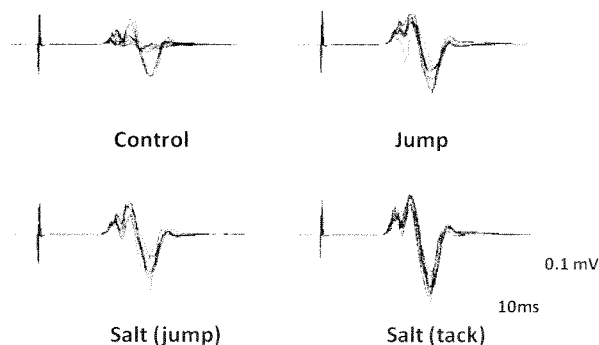


図2：一人の被験者での MEP (それぞれ 10 回の重ね書き)

【考察】

本実験では経験者でなければイメージが難しい宙返り動作と、宙返り未経験者でもイメージが容易なジャンプ動作を被験者にイメージさせた。課題別に見るとjumpでは両群間に有意な差が認められず、salto (jump)、salto (tack) では経験者に有意な増大が見られた。またcontrolと各課

題を各被験者群内で比較したところ、salto (jump) で経験者は有意に増大し、未経験者は有意な差が見られなかった。Fadigaらにより、ある動作をイメージすると安静時と比較してMEPが増大することが報告されているが、この報告は絶対的なものではなくイメージする課題によって変化すると考えられる。さらに、イメージ中の運動皮質の興奮性は動作経験の有無に依存し、経験のある動作でより活性が高まることを示唆する結果となった。

動作観察中にMEP振幅が増大する機序の1つにミラーニューロンシステムの活性が考えられる。ミラーニューロンシステムの興奮は、一次運動野の興奮性を増大させると考えられる。一次運動野の興奮性の増大はMEP振幅の増大を引き起こす。本実験では、長期的な体操経験を有している被験者は体操未経験者に比べて、ジャンプ動作や宙返り動作をイメージしているときのMEP振幅が顕著に増大した。ミラーニューロンシステムの活性という視点から考えると、ある動作を経験している者はその動作をイメージしているときに十分にミラーニューロンシステムの活性が高まり、経験したことのない者は活性が高まらなかった可能性が考えられる。以上から、今回のMEP振幅の差異はミラーニューロンシステムの活動によるものであった可能性がある。

本研究で明らかになった一次運動野の興奮性の変化がどのようなメカニズムで引き起こされるかについては本研究の結果だけからは結論できない。今後はこの問題を明らかにするために本研究と同じような実験パラダイムでfMRIを用いて脳活動を解析してゆく計画である。

【研究成果・業績】

1. H. Hobara, K. Kanosue, and S. Suzuki (2007) Changes in muscle activity with increase in leg stiffness during hopping. *Neurosci. Lett.*, 418, 55-59.
2. H. Hobara, K. Kimura, K. Omuro, K. Gomi, T. Muraoka, S. Iso, and K. Kanosue (2008) Determinants of difference in leg stiffness between endurance- and power-trained athletes. *J. Biomechanics*, 41, 506-14.
3. T. Yoda, L.L. Crawshaw, K. Saito, M. Nakamura, K. Nagashima, K. Kanosue (2008) Effects of alcohol on autonomic responses and thermal sensation during cold exposure in humans. *Alcohol*, 42, 207-12.
4. T. Muraoka, K. Omuro, T. Wakahara, T. Muramatsu, H. Kanehisa, T. Fukunaga, and K. Kanosue (2008) Effects of muscle cooling on the stiffness of the human gastrocnemius muscle in vivo. *Cells Tissues Organs* 187, 152-160.
5. M. Nakamura, T. Yoda, S. Yasuhara, Y. Saito, M. Kasuga, K. Nagashima, L.L. Crawshaw, and K. Kanosue (2008) The regional differences in temperature sensation and thermal comfort/discomfort in humans. *J. Appl. Physiol.*, 105, 1897-906.
6. H. Hobara, K. Kimura, K. Omuro, K. Gomi, T. Muraoka, M. Sakamoto, K. Kanosue (2008) Differences in lower extremity stiffness between endurance trained athletes and untrained subjects. *Journal of Science and Medicine in Sport*, in press.
7. H. Hobara, K. Inoue, K. Gomi, M. Sakamoto, T. Muraoka, S. Iso, K. Kanosue (2009) Continuous change in spring-mass characteristics during a 400-m sprint. *Journal of Science and Medicine in Sport*, in press.
8. Hobara H, Muraoka T, Omuro K, Gomi K, Sakamoto M, Inoue K, Kanosue K (2009) Knee stiffness is a major determinant of leg stiffness during maximal hopping. *Journal of Biomechanics*, 42:1768-71.
9. M. Sakamoto, T. Muraoka, N. Mizuguchi, and K. Kanosue (2009) Combining observation and imagery of an action enhances human corticospinal excitability. *Neuroscience Research*, 65 23-27.
10. N. Mizuguchi, M. Sakamoto, T. Muraoka, and K. Kanosue (2009) Influence of touching an object on corticospinal excitability during motor imagery. *Exp. Brain Res.* 196 (4):529-35.
11. M. Sakamoto, T. Muraoka, N. Mizuguchi, and K. Kanosue (2009) Execution-dependent modulation of corticospinal excitability during action observation. *Exp. Brain Res.* 199 (1):17-25.
12. H. Hobara, K. Inoue, T. Muraoka, K. Omuro, M. Sakamoto, and K. Kanosue (2009) Leg stiffness adjustment for a range of hopping frequencies in human. *Journal of Biomechanics*, in press.
13. K. Kanosue, L. L. Crawshaw, K. Nagashima, and T. Yoda (2009) Concepts to utilize in describing thermoregulation and neurophysiological evidence for how the system works. *European Journal of Applied Physiology*, in press.