

体力医科学に関する最近のトピック No. 21 :

運動学習からみた予測的姿勢制御

森山 真衣 (京都大学)

本棚で目当ての本に手を伸ばすように、ヒトは、立位姿勢を維持しながら目標に向かって手足を動かす運動を頻繁に行っている。このような運動では、目標位置へ身体部位を正確に到達させることと、姿勢の安定性を維持することを同時に達成しなければならない。立位で手先や足先を素早く動かすと、その反作用によって身体重心が移動し、姿勢が不安定になる。そのため中枢神経系は、主運動が始まる前から下肢や体幹の筋活動を変化させ、あらかじめ姿勢を調節している。こうした運動開始前の姿勢の調整は、予測的姿勢制御 (anticipatory postural adjustments: APA) と呼ばれる¹⁾。APA の役割は、単に身体動揺を事前に補償することにとどまらない。例えば立位で遠くの物に手を伸ばす際には、手を動かす前から身体重心を到達方向へ移動させることで、到達動作を補助している²⁾。このように APA は姿勢の安定化だけでなく、効率的な運動の実現にも関与している。またその方向や大きさは運動方向や強度によって変化し、課題の要求に応じて柔軟に調整されることが報告されている^{3,4)}。

APA は、状況に応じて主運動による身体動揺を抑制したり、効率的な運動遂行を補助したりすることから、主運動と協調して働く姿勢制御機構と考えられる。しかしながら、その学習過程に着目すると、APA は必ずしも主運動と同じ時間経過で変化するわけではないことが明らかになっている。Ahmed らは、立位で腕の到達動作を行う際に予想外の力学的負荷を手先に加えることで、到達運動と姿勢制御の学習過程を検討した。すると、腕の運動が比較的速やかに学習されたのに対し、APA はより緩やかな速度で学習されることが示された⁵⁾。また近年、視覚的な運動誤差を利用した下肢運動の学習課題においても、APA が下肢の到達動作よりも遅れて変化することが報告されている⁶⁾。これらの結果は、APA が主運動の変化に伴って自動的に決まるのではなく、主運動とは少なくとも部分的に独立した学習過程によって調整される可能性を示している。

これまでの研究では、主として APA が姿勢の安定化や運動遂行にどのように寄与するのかに焦点が当てられてきた。一方で近年の研究は、APA を、運動を支える仕組みとしてだけでなく、学習によって変化する仕組みとして捉える新たな視点を提供している。例えばボールキック動作の習得過程では、蹴り足の動作自体は習得されていても、それを支える APA は適応途中である可能性が考えられる。このことは、技能習得後も姿勢制御の学習を促す練習が必要となる可能性を示唆している。今後、姿勢制御研究と運動学習研究の融合が進むことで、スポーツ技能獲得の理解のみならず、転倒予防や神経リハビリテーションにも新たな知見がもたらされることが期待される。

【参考文献】

- 1) Massion J. Movement, Posture and Equilibrium: Interaction and Coordination. *Prog Neurobiol.* 38: 35–56, 1992.
- 2) Leonard JA et al. Reaching to Multiple Targets When Standing: The Spatial Organization of Feedforward Postural Adjustments. *J Neurophysiol.* 101: 2120–33, 2009.
- 3) Lee WA et al. The organization of torque and EMG activity during bilateral handle pulls by standing humans. *Exp Brain Res.* 82: 304–314, 1990.
- 4) Pienciak-Siewert A et al. Role of Muscle Coactivation in Adaptation of Standing Posture during Arm Reaching. *J Neurophysiol.* 123: 529–47, 2020.
- 5) Ahmed AA et al. Transfer of Dynamic Learning across Postures. *J Neurophysiol.* 102: 2816–24, 2009.
- 6) Moriyama M et al. Anticipatory postural control in adaptation of goal-directed lower extremity movements. *Sci Rep.* 14:4142, 2024.