

体力医科学に関する最近のトピック No. 6 :
シナジーに基づく立位バランス能力の評価とそれに及ぼす加齢と不活動の影響
神崎 素樹 (京都大学)

高齢者の QOL を損なう転倒の主因は、立位バランス能力の低下とされる。ヒトの二足立位姿勢は、足関節を支点とする倒立振り子モデルで表現でき、このモデルでは、立位バランスは身体重心の挙動に応じた足圧中心の調節と捉えられる。立位バランス能力は、足圧中心の動揺量を指標とする「重心動揺検査」によって評価される。この値は加齢¹⁾や不活動²⁾によって増加し、立位バランス能力の低下には、筋量の減少ではなく、感覚情報に基づくバランス制御の変化が関与していることが知られている。

立位バランスに関与する下肢筋群の多くは身体の前後方向に力学的方位を持つため、左右方向のバランス能力は前後方向よりも劣る。静止バランスを維持した状態から身体を前後左右に傾けると、足圧中心の軌跡は楕円を描く。楕円の長軸が身体の傾斜方向に沿っている場合、特定の主動筋（プライムムーバー）による制御が行われる。一方、傾斜方向から逸脱している場合、複数の筋が協調して制御（シナジー）していると考えられる。立位バランスは一見単純に見えるが、身体の傾斜方向に依存した冗長多自由度運動であり、その制御にはプライムムーバーとシナジーが関与する複雑な神経筋機構が働いている³⁾。

最近の宇宙飛行士を対象とした研究では、6 か月間の宇宙ステーション滞在後、地球に帰還した直後に立位バランス保持中の足圧中心を測定した。その結果、帰還直後の足圧中心動揺の振幅は顕著に増加したが、1 週間後には飛行前の値に回復していた。従来のバランス評価では、「帰還後 1 週間で立位バランス能力は回復する」と判断される。しかし、下腿・大腿・体幹部の表面筋電図を用いたシナジー解析では、帰還後に飛行前に存在していたシナジーが消失したり、新たなシナジーが出現したりする変化が観察された。このシナジーの変調は帰還後 3 か月経過しても完全には回復せず、宇宙飛行士が地球帰還後に抱く「違和感」とシナジーの適応プロセスの関連が示唆されている⁴⁾。これらの結果から、シナジーに基づく宇宙飛行士のリハビリテーション手法の再考が求められる。

動物実験では、シナジーに基づく歩行時の運動ニューロンの発火パターンを再現する刺激プロトコルが開発されている。この手法を用いた脊髄損傷モデルの齧歯類では、体重支持や持久力を含む運動機能の改善が確認されている⁵⁾。この知見をもとに、加齢や不活動に加え、怪我や疾患によるバランス能力の低下からの回復を目的とした、筋シナジーを基盤とする効果的な運動処方の開発が期待される。

【参考文献】

- 1) 神崎素樹ほか. 長期運動トレーニングによる高齢者の平衡機能減退の抑制. 体力科学 52(suppl): 157-166, 2003.
- 2) Kouzaki M et al. Effects of 20-day bed rest with and without strength training on postural sway during quiet standing. *Acta Physiol.* 189(3): 279-292, 2007.
- 3) Imagawa H et al. Synergistic co-activation in multi-directional postural control in humans. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 23(2): 430-437, 2013.
- 4) Hagio S et al. Muscle synergies of multidirectional postural control in astronauts on Earth after a long-term stay in space. *J. Neurophysiol.* 127(5): 1230-1239, 2022.
- 5) Wenger N et al. Spatiotemporal neuromodulation therapies engaging muscle synergies improve motor control after spinal cord injury. *Nat. Med.* 22(2): 138-145, 2016.