

スポーツと立位姿勢の維持

永井正則

健康科学大学 健康科学部 リハビリテーション学科

Control of upright posture in athletes

NAGAI Masanori

抄 録

立位姿勢の維持には、視覚と平衡感覚、体性感覚が関与している。これら3つの感覚への重み付けが調節されることで、さまざまな状況での姿勢維持が可能となる。今回、スポーツ競技者の立位姿勢の維持機構の特徴を抽出する目的で実験を行った。テコンドーとフェンシング競技者を対象に、立位時に行った視覚遮断が姿勢動揺に及ぼす影響を解析した。テコンドーでは、競技歴が長いほど閉眼による視覚遮断時の姿勢動揺が小さくなることがわかった。大学のフェンシング部員と運動習慣のない一般学生を比較すると、一般学生では閉眼によって姿勢動揺が増大するのに対し、フェンシング部員では閉眼時の姿勢動揺は開眼時と差がなかった。スポーツ競技者では、視覚遮断による姿勢の不安定化を、平衡感覚と体制感覚への重み付けを増すことで相殺していると考えられる。

キーワード：立位姿勢の維持、姿勢動揺、視覚遮断、スポーツ競技

はじめに

立位姿勢の安定化に関わる感覚入力は、視覚と体性感覚、平衡感覚の3つである。これらのモダリティーの異なる感覚は重心動揺を小さくすることで姿勢の安定化に寄与している。重心動揺は様々な周波数により構成されているが、それぞれの感覚が安定化作用を及ぼす動揺周波数に違いがある(図1)¹⁾。視覚はすべての動揺周波数帯に安定化作用をもたらすが、特に0.1Hz以下の周波数帯の動揺に対して強い安定化作用を示す。体性感覚は0.1Hz以上の周波数帯の動揺を安定化作用をもつが、特に1Hz以上の周波数帯の動揺を安定化する作用が強い。平衡感覚では耳石器官からの入力が0.1Hz以下の周波数帯に対して強い安定化作用を示す。これらの感覚入力が協調的に統合されて、直立姿勢が維持されている。パーキンソ

ン病の患者では、感覚入力の切り替えに対応した姿勢制御ができないことから、姿勢維持に関わるこれら3つの感覚への依存度(感覚の重み付け、**reweighing**)は大脳基底核で適応的に切り替えられていると考えられている²⁾。

以前、われわれは妊娠後期の女性と非妊娠女性の立位時の重心動揺の分析から、妊婦では身体の前方向の動揺が増加していることを報告した³⁾。さらに、同一女性で妊娠後期と出産後の姿勢維持機能を比較した結果、妊娠中の女性は妊娠の進行に伴う身体の重量配分の変化に対し、体性感覚への依存度を増すことで適応していることを見出した^{3), 4)}。

このことを踏まえ、視覚や体性感覚、平衡感覚を動員して行うスポーツ競技が立位姿勢の維持機構に、どのような影響を及ぼすかに興味をもった。

そこで、テコンドーとフェンシングの競技者を対象に姿勢維持機能の特性を検索する実験を行った。その結果を本稿において紹介する。

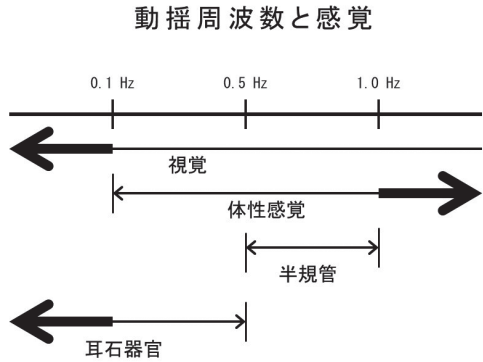


図1 立位時の重心動揺周波数と感覚

視覚、体性感覚、平衡感覚（耳石器官、半規管）が安定化する周波数帯を示す。太い矢印は安定化効果が大きい周波数帯を示す。文献1)に基づいて作成

テコンドーの場合

テコンドーを継続的に行った場合、立位姿勢にどのような変化が現れるかをテコンドーを定期的に行っている団体の協力を得て調べた。テコンドーの経験3年以上と3年未満の競技者で、開眼条件と閉眼条件で1分間の重心動揺パラメーターを比較した。その結果、競技歴3年以上では開眼時、閉眼時ともに3年未満の競技者と比べ重心動

揺面積が小さいことがわかった（図2）。両群ともに閉眼によって重心動揺面積は増加するが、閉眼による増加幅は3年未満の競技者でより大きかった。高速フーリエ変換により求めた重心動揺の周波数帯パワーを比較すると（図3）、前後軸の重心動揺において0.1–0.5Hzの周波数帯のパワーが開眼時、閉眼時ともに3年未満の競技者で大きかった。閉眼によるこの周波数帯パワーの増加幅も同様に、3年未満の競技者で大きかった。

回帰分析によって重心動揺面積と競技歴との相関を調べると、開眼時および閉眼時の重心動揺面積が経験年数と負の相関を示すことがわかった（図4）。同様に、前後軸重心動揺の0.1–0.5Hz周波数帯のパワーも経験年数と負の相関を示した（図5）。この周波数帯の動揺は、視覚と体性感覚、耳石器官からの平衡感覚で安定化される（図1）。したがって、3年以上テコンドーを続けている競技者では、体性感覚と耳石器官からの平衡感覚が視覚遮断による影響を相殺していることがわかる。

以上のことより、テコンドーでは競技歴が長くなると重心動揺が小さくなり、立位姿勢が安定することがわかった。さらに、閉眼により視覚情報が断たれた場合でも、重心動揺が大きく増大することはなく立位姿勢が安定して保たれていることが示された。

柔道家と水泳競技者、空手家と水泳競技者とを

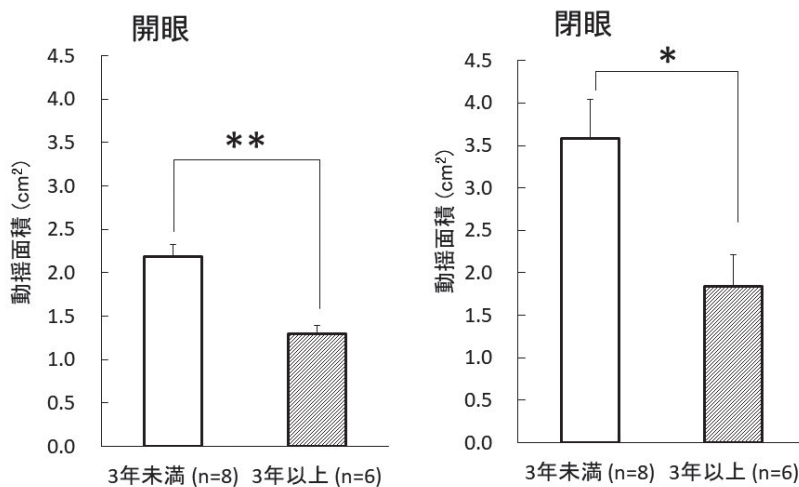


図2 テコンドー競技者の重心動揺面積

競技歴3年以上と3年未満の競技者の開眼時（左）と閉眼時（右）の重心動揺面積を示す。

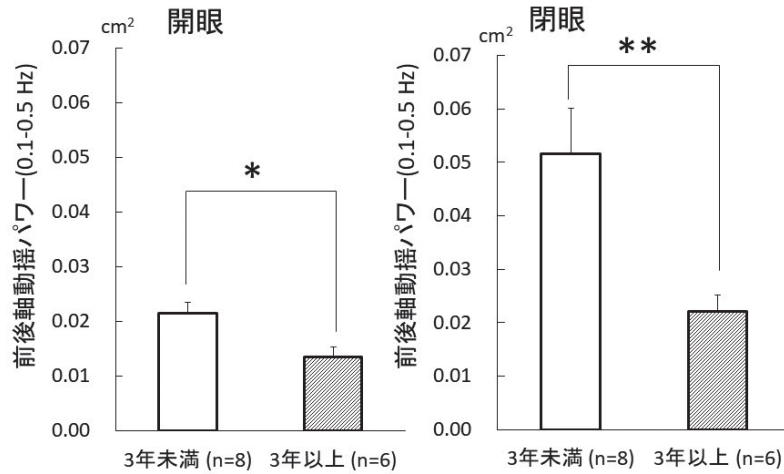


図3 テコンドー競技者の前後軸重心動揺の周波数帯パワー

競技歴3年以上と3年未満の競技者の開眼時(左)と閉眼時(右)の前後軸重心動揺の周波数帯パワーを示す。周波数帯は0.1-0.5 Hz。

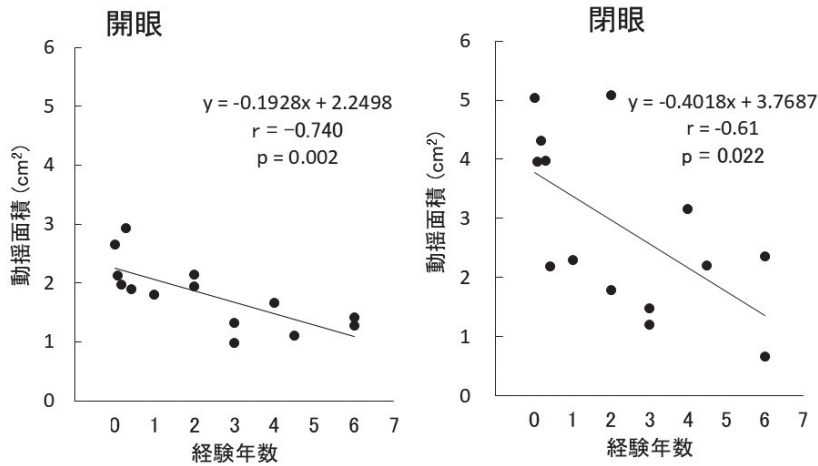


図4 テコンドー競技者の経験年数と重心動揺面積との相関

開眼時(左)と閉眼時(右)の回帰分析の結果を示す。

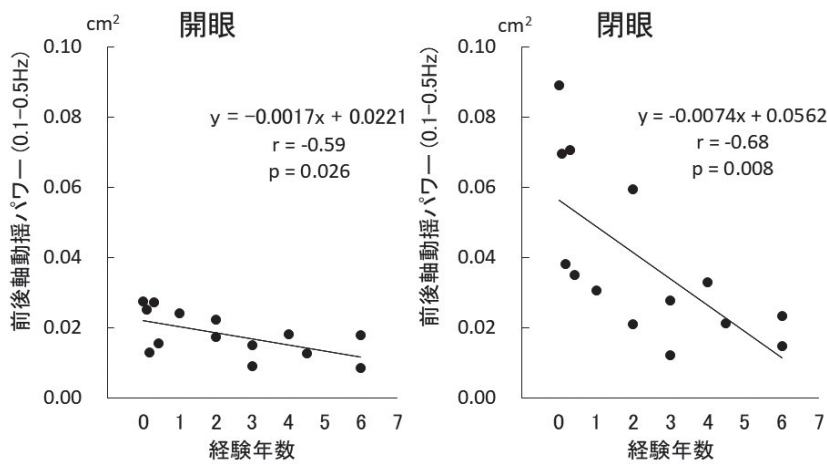


図5 テコンドー競技者の経験年数と前後軸重心動揺の周波数帯パワー

開眼時(左)と閉眼時(右)の回帰分析の結果を示す。

比較した研究でも、柔道家や空手家は視覚を遮断された場合の姿勢動揺が水泳競技者より小さいことが報告されている^{5), 6)}。閉眼時の姿勢動揺の不安定化の程度が小さいことは、柔道や空手、テコンドーに共通する競技上の特徴であるかもしれない。カヌーやカヤックの競技者と一般学生の重心動揺を比較した研究では、柔らかい発泡体(foam)の上に立って視覚遮断を受けた場合に、カヌーやカヤックの競技者の姿勢動揺が対象群より小さくなることが報告されている⁷⁾。この結果も、カヌーやカヤックは水上で操作することから、競技上の特徴を反映しているものと考えられる。

われわれの実験では、テコンドーの競技歴が長くなるほど視覚遮断時の重心動揺が小さくなるという結果が得られた(図2, 3)。しかし、もともと視覚遮断の影響が小さいという特性を持つ競技者の方が、テコンドーを長く続けることができているという可能性も否定することはできない。

フェンシングの場合

大学のフェンシング部の学生を実験群(fencer)とし運動習慣のない大学生を対照群(non-fencer)として、両者の立位保持中の姿勢動揺を比較した。実験条件は開眼で視標を見て立つ場合(eyes open)と閉眼で立つ場合(eyes closed)、一定周期で大きさが変化する視標を見て立つ場合(moving)の3種類とした。大きさが変化する視標を見て立つ場合には、視標が近づいたり遠ざ

かったりするように感じるバクシオン感覚が発生し、通常は身体の前後方向の重心動揺が増大する^{8), 9)}。

この実験でも、テコンドー競技者と同様にフェンシング競技者は対照群と比べ視覚遮断の影響を受けることが少ないことがわかった。動揺周波数0.02-0.3 Hzの周波数帯による動揺面積は閉眼により対照群で大きく減少した(図6)。一方、フェンシング競技者では開眼時と閉眼時との間に有意な差は見られなかった。動揺周波数0.3-0.5 Hzの周波数帯による動揺面積は閉眼によって対照群で大きく増加した(図7)。しかし、フェンシング競技者では開眼時と閉眼時の間に有意差は見られなかった。大きさが変化する視標を見て立つ条件(moving)では、フェンシング競技者と対照群との間に有意差は認められなかった(図7)。3条件を通して見ると、フェンシング競技者では視覚情報の変化の影響を受けにくいことがわかる。分析した周波数帯の姿勢動揺は、視覚と体性感覚、耳石器官からの平衡感覚で安定化される(図1)。したがって、フェンシング競技者では、体性感覚と耳石器官からの平衡感覚への依存度を増すことで視覚遮断または視覚情報の変化を補い、差を補い、立位姿勢が維持されていることがわかる。

フェンシングの場合でも、テコンドーの場合と同様に視覚と体性感覚、耳石器官からの平衡感覚の3つが姿勢安定化効果を示す動揺周波数帯では、視覚遮断または視覚情報の変化が、他のふた

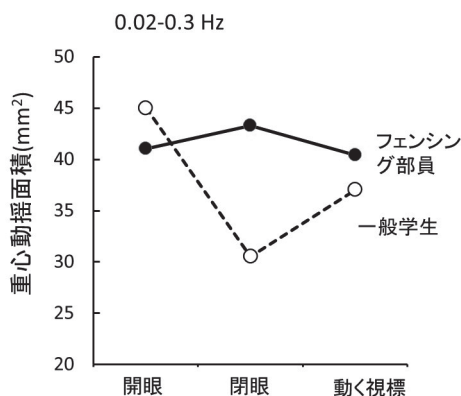


図6 フェンシング競技者と非競技者の重心動揺面積の比較 (0.02-0.3 Hz)

開眼条件、閉眼条件、視標の大きさが周期的に変化する条件での比較

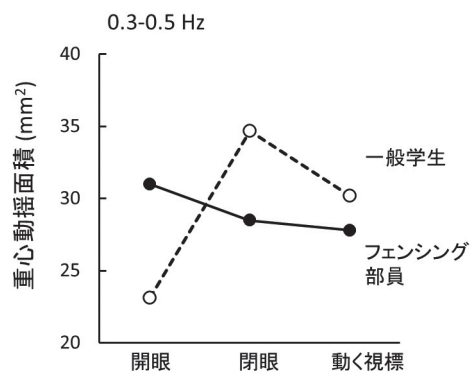


図7 フェンシング競技者と非競技者の重心動揺面積の比較 (0.3-0.5 Hz)

開眼条件、閉眼条件、視標の大きさが周期的に変化する条件での比較

つの感覚によって保障されることで立位姿勢が保たれると結論される。これが、これらの運動を持続することの効果と思われる。

一方で、視覚遮断や視覚情報の変化による影響を受けにくい特性を持つ者がフェンシング競技を続けることができている、という可能性も否定できない。

結語

スポーツ競技者の立位姿勢の維持機構の特徴を抽出する目的で実験を行った。習慣的に運動をしていない対照群と比べ、テコンドーやフェンシングの競技者では視覚遮断や視覚情報の変化による重心動揺の増加幅が小さかった。視覚情報と体性感覚、耳石器官からの平衡感覚が姿勢安定化作用を発揮する周波数帯のパワーが対照群より小さい(図2, 3)。テコンドーやフェンシングの競技者では、視覚遮断や視覚情報の変化に対するこの周波数帯パワーの変化が小さかったことから(図6, 7)、視覚情報の変化を他のふたつの感覚への依存度が増すことで姿勢の安定化が達成されていることがわかった。これが運動を継続的に行うことの効果と思われる。感覚情報に基づいて行われる姿勢維持機能が運動によって効率化されることが、バレーボールにおいても報告されている。2006年に東京で行われたバレーボールのワールドカップで銀メダルを獲得したポーランドのバレーボールチームの選手では、運動習慣のない対照群と比べ開眼時においても重心動揺が少ないことが報告されている¹¹⁾。ハイレベルの運動選手では、立位姿勢を安定化させる感覚情報がより精密に活用されていることがわかる。

一方で、ある競技種目において特徴的に獲得される姿勢維持機能があることは、空手家と水泳競技者との比較や柔道家と水泳競技者との比較で報告されている^{5), 6)}。しかし、今回の実験ではテコンドー特有の、またはフェンシング特有の姿勢維持の様態は見出すことができなかった。共に床の上で行う競技であったためかと考えられる。水泳競技者やカヌーやカヤックのように、重力の作用方向が垂直の場合とは異なり、そのため体性感

覚への負荷が異なる競技との比較が必要と考える。このように異なる運動競技における姿勢維持機構の分析を行い、研究成果を蓄積することで立位姿勢の維持のための感覚の重み付けのメカニズムが明らかにされることを期待する。

文献

- 1) Redfern MS, Yardley L, Bronstein AM. Visual influences on balance. *J Anxiety Disord.* 2001; 15: 81-94. doi:10.1016/s0887-6/85(00)0043-8
- 2) Brown LA, Cooper SA, Dickin DC, Whishaw Q, et al. Parkinsonian deficits in sensory integration for postural control: temporal response to changes in visual input. *Parkinsonisms Rel Disord.* 2006;12: 376-338. doi:10.1016/j.parkreldis.2006.03.004
- 3) Nagai M, Ishida M, Saitoh J, Hirata Y, et al. Characteristics of the control of standing posture during pregnancy. *Neurosci Lett.* 2009; 462: 130-134. doi:10.1016/j.neulet.2009.06.091
- 4) Nagai M, Ishida M, Saitoh J, Hirata Y, et al. Abdominal circumference correlates with postural sway of the antero-posterior axis in pregnant women. *Mathews J Gynecol Obstet.* 2016; 1:004
- 5) 永井正則. 妊娠中の立位姿勢の維持と体性感覚. *健康科学大学紀要.* 2025; 21:21-27.
- 6) Itamar N, Schwartz D, Melzer I. Postural control: differences between youth judokas and swimmers. *J Sports Med Phys Fitness.* 2013; 53: 483-489.
- 7) Hadad A, Ganz N, Intrator N, Maimon N, et al. Postural control in karate practitioners: Dose practice make perfect? *Gait Posture.* 2020; 77: 218-224. doi:10.1016/j.gaitpost.2020.01.030
- 8) Stambolieva K, Diafas V, Bachev V, Christova L, et al. Postural stability of canoeing and kayaking young male athletes during quiet stance. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112: 1807-1815. doi:10.1007/s00421-011-2151-5. Epub2011Sep11
- 9) 石田光男、和田万紀、永井正則. 視覚刺激時の重心動揺に及ぼす不安の影響. *自律神経.* 2008; 45: 130-134.
- 10) Ishida M, Saitoh J, Wada M, Nagai M. Effects of anticipatory anxiety and visual input on postural sway in an aversive situation. *Neurosci Lett.* 2020; 474: 1-4. doi:10.1016/j.neulet.2010.02.052
- 11) Borzucka D, Kręcisz K, Rektor Z, Kuczyński M. Differences in static postural control between top level male volleyball players and non-athletes. *Sci Rep.* 2020; 10: 19334. doi.org/10.1038/s41598-020-76390-x