

器械体操部所属高校生の立位姿勢維持時の重心動揺特性

藤田 公和 佐藤 桃子

Center of Foot Pressure Sway during Standing Position
of High School Students belonging Gymnastics Club

Kimikazu FUJITA and Momoko SATOH

1. 目的

ヒトの姿勢制御に関わる感覚入力は、主に視覚、前庭感覚および体性感覚である⁽¹⁾。これらの感覚受容器で感知された身体や外部環境の状況が中枢神経系で処理され、必要な多くの骨格筋が活動することで姿勢が保持・調整されている。このような姿勢制御の神経機構は非常に複雑なシステムであり、その詳細な経路や姿勢制御能力の要因については現在でもまだ十分には解明されていない⁽²⁾。

これまでの重心動揺の研究では、幼児期からのバランス能力の発達には性差が見られることが指摘されている^{(3), (4)}。一方、北林ら(2002⁽⁵⁾、2003⁽⁶⁾)は平衡神経系に障害のない健康な成人男女の体格や体組成と重心動揺を測定している。その結果、足圧中心動揺量は女子よりも男子の方が大きいもののその差は比較的小さいこと、生理機能としての性差よりもむしろ身長、脚長などの体格が大きく関与していると考えている。

藤田ら(2018)⁽⁷⁾は、20cm前後の身長差のある若年男女で比較したとき、身長差のある女子同士では、バランス調整能力の差はごくわずかであったこと、身長差がほとんどない男女大学生(どちらも170cm程度)で比較すると、男女間にバランス調整能力の有意な性差が存在することを報告している。そしてその性差の要因として幼児期から少年期では特に前庭感覚の発達の差、青年期から高齢期は特に視覚系の調整機能に男女間の性差が出現することが推測されると述べている。さらにHowellら(2017)⁽⁸⁾は、身長差はあるものの、男女の競技選手にはバランス能力に性差が見られると述べている。しかしながら、バランス能力の性差については現在でも確定的な結論は得られていない。

また、バランス能力のトレーニング効果についてはすでにいくつかの報告がある。Sforzaら(2003)⁽⁹⁾はtilting platformを用いて、4週間にわたって直立姿勢維持のバランストレーニングを行った結果、トレーニング効果が見られたと述べている。またサッカー(Paillardら、2006)⁽¹⁰⁾やバドミントン(Masuら、2014)⁽¹¹⁾の競技力の高い選手と低い選手を比較すると、競技力の高い選手のほうがバランス能力に優れているというような報告もみられる。しかしこれらの研究はほとんどが長期間にわたって特定のスポーツを専門的にトレーニングしている成人男女に

関して調査した結果であり、比較的経験年数が浅い高校生についてのデータはほとんど見られない。

そこで本研究では、高校生を被験者として①重心動揺における男女間の性差、②器械体操競技実施者におけるバランス能力の特性とトレーニング効果について検討した。

2. 方法

過去の研究方法として、重心動揺の測定では開眼・閉眼、片足立ち・両足立ち状態での検討が行われているが、本研究では測定時の安全性と過去のデータ⁽⁵⁻⁸⁾との比較の観点から、開眼での両足立ちと左右の片足立ちの測定を実施した。被験者群の身体特性と器械体操の競技歴は表1に示した。被験者40名全員に対して、平衡神経系の障害の既往症を持たないこと、めまい、耳鳴り、難聴や視力に異常のないことを測定前に口頭で確認した。被験者のバランス能力を測定するため、アニマ社製の Gravicorder GS-11 を用いて、両足立ちと左右の片足立ちでそれぞれ30秒間の静止立位姿勢時の重心動揺を計測した。本研究ではバランス能力の指標として総軌跡長と外周面積を用いた。総軌跡長は床反力作用点の総移動距離を示し、外周面積は床反力作用点の移動した外周の線で囲まれる面積を表すが、どちらも重心動揺の程度を表す代表的な指標として多くの研究で使用されている。

各被験者は Gravicorder GS-11 の後方に置いた椅子に座り、5分間の安静後機器の中心部に両足で立ち、2m 先の目の高さに調整した黒い指標を注視して直立姿勢を維持した。両足は少し開き、両手は真下に伸ばし体側につけた。片足立ちは左右の足の第2指と踵の最先端部および足長の中心点の左右に印を付け、この交点が機器の中心部に位置するように調整した。左右の片足立ちでは浮かせた足の甲を支持脚のふくらはぎに軽くつけ、両手はまっすぐ体側に垂らした。両足立ちの測定後1分間椅子に座って休息をとり、次に右足立ちの測定、1分間の休息、左足の測定の順で実施した。被験者に対して測定前に本研究の目的や方法、得られたデータの扱いなどについて文章および口頭で十分な説明を行った後、協力の意思を示した被験者全員に研究協力承諾書を提出してもらった。得られた数値は、全て4群の平均値±標準偏差で示した。測定した4群の得られた数値について、群間の差の検定は一元配置分散分析と Tukey 法で検定を行い、5%未満を有意差ありとした。

3. 結果

表1に示すように、男子器械体操選手10名（以下、体操男子群）の平均身長は 165.8 ± 4.2 cm、平均体重は 56.8 ± 6.5 kgであった。選手の身長が17歳男子の平均値（170.6cm）（学校保健統計平成29年度）⁽¹²⁾よりやや低いため、対象の男子高校生（以下一般男子群）10名も同じ程度の身長（ 167.7 ± 4.4 cm）となるよう被験者を選択した。女子器械体操選手10名（以下、体操女子群）の平均身長は 158.3 ± 5.3 cmであり、17歳女子の平均身長（157.8cm）（学校保健統計平成

29年度)⁽¹²⁾とほぼ同程度であった。対象の女子高校生（以下、一般女子群）10名の平均身長は156.4±6.3cmであった。器械体操の経験年数は、男子全員が高校入学後に器械体操部に入部した生徒であり、器械体操の競技歴は9ヶ月から1年10ヶ月、平均経験年数は1年6ヶ月であった。女子選手は幼児期から器械体操を経験している生徒と高校入学後に入部した生徒などがおり、経験年数はかなりの個人差がみられた（表1）。

表1. 被験者の身体特性と器械体操の競技歴

	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	器械体操競技の経験年数
体操選手	男子(10)名	17.3±0.4	165.8±4.2	56.8±6.5	9ヶ月～1年10ヶ月、 平均1年6ヶ月
	女子(10)名	17.5±0.5	158.3±5.3	48.9±2.9	10ヶ月～12年10ヶ月、 平均3年9ヶ月
一般	男子(10)名	18.1±0.7	167.7±4.4	55.6±4.9	0年
	女子(10)名	17.9±0.4	156.4±6.3	50.6±7.9	0年

バランス能力を示す指標の1つである両足立ち姿勢維持時の4群の平均総軌跡長は、体操男子群が25.17±4.42cm、体操女子群は26.75±8.23cm、一般男子群が26.17±6.28cm、一般女子群が25.20±8.45cmであり、4群間に有意差は認められなかった（図1）。同様に外周面積についても4群間で有意差は求められなかった（図2）。両足立ち姿勢維持時の前後方向の動揺平均中心変位は、体操男子群が-0.49±1.21cm、体操女子群は-1.37±1.53cm、一般男子群が-1.16±1.39cm、一般女子群が-2.21±0.94cmであった（図3）。すなわち全ての群で、両足立ち姿勢維持時には足の接地点中心部よりも後方に倒れた状態で姿勢を維持していることが示された。

右足での片足立ち姿勢維持時の総軌跡長は、体操男子群が98.61±16.93cm、体操女子群は78.39±16.39cm、一般男子群が98.11±29.15cm、一般女子群が87.40±23.99cmであり、体操男子群および一般男子群と女子体操群との間に5%水準の有意差が認められた（図4）。左片足立ち姿勢維持時の総軌跡長は、体操男子群が95.60±11.02cm、体操女子群は78.52±17.00cm、

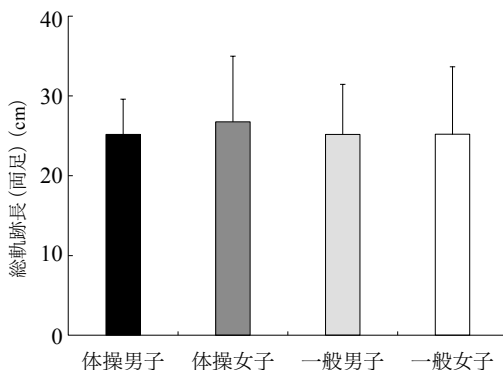


図1. 両足立ち姿勢維持時の重心動揺の総軌跡長

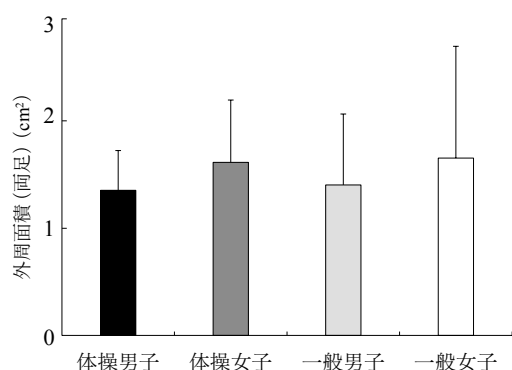


図2. 両足立ち姿勢維持時の重心動揺の外周面積

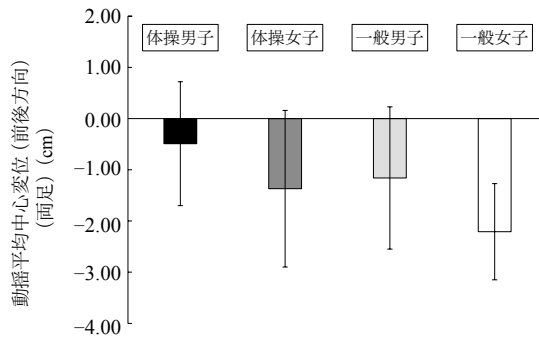


図3. 両足立ち姿勢維持時の重心位置の動揺平均中心変位 (前後方向)

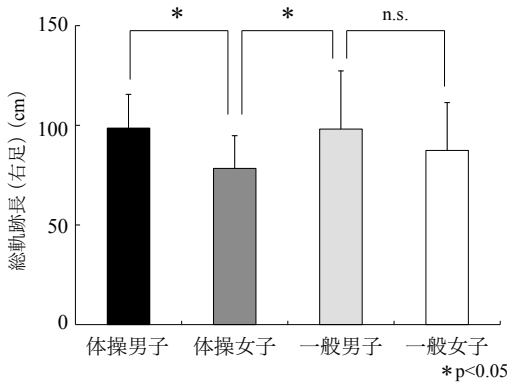


図4. 右片足立ち姿勢維持時の重心動揺の総軌跡長

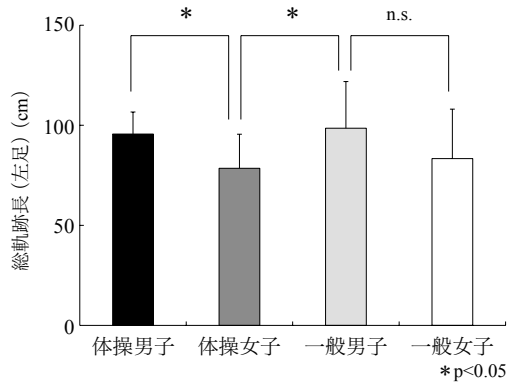


図5. 左片足立ち姿勢維持時の重心動揺の総軌跡長

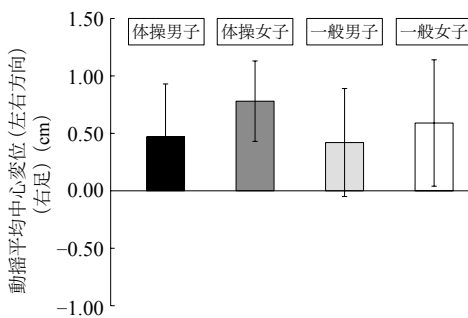


図6. 右片足立ち姿勢維持時の左右方向の動揺平均中心変位

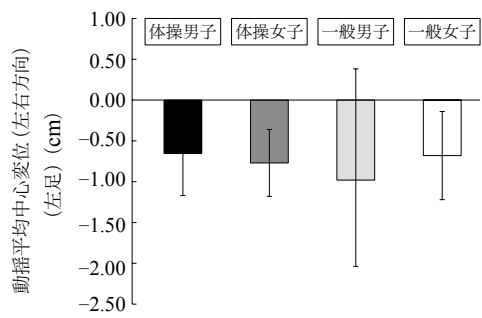


図7. 左片足立ち姿勢維持時の左右方向の動揺平均中心変位

一般男子群が $98.51 \pm 23.33\text{cm}$ 、一般女子群が $83.35 \pm 24.71\text{cm}$ であり、右足と同様、体操男子群および一般男子群と体操女子群間に5%水準の有意差が認められた(図5)。外周面積の数値に関しても、左右の片足立ち姿勢維持時の体操群および一般男子群と体操女子群間に有意差(5%)が見られた(データ省略)。

右足立ち姿勢維持時の左右方向の動揺平均中心変位は体操男子が 0.47 ± 0.46 cm、体操女子が 0.78 ± 0.35 cm、一般男子が 0.42 ± 0.47 cm、一般女子は 0.59 ± 0.55 cmであった(図6)。被験者全員が足の接地点の中心部位から右側に傾いた姿勢で右足立ちの姿勢を維持・調整していることが分かった。

左足立ち姿勢維持時の左右の動揺平均中心変位は体操男子が -0.65 ± 0.52 cm、体操女子が -0.77 ± 0.41 cm、一般男子が -0.98 ± 1.21 cm、一般女子は -0.68 ± 0.54 cmであった(図7)。被験者全員が足の接地点の中心部位から左側に傾いた姿勢で左足立ちの姿勢を維持していることが分かった。女子体操群について、体操競技の経験年数と左右の片足立ち姿勢維持時の総軌跡長との間には有意な相関は認められなかった(データ省略)。

4. 考察

(1) 高校生における重心動揺の性差

過去の研究報告では、小学生から中学生までの子どもは、男子よりも女子の方がバランス能力に優れていることが指摘されている。平野ら(2010)⁽¹³⁾は小学1年～中学3年までの児童・生徒476名の身体特性と重心動揺を測定した。その結果すべての学年で総軌跡長と外周面積は女子が男子よりも小さいこと、小学1年～6年までは男女の身長差が認められなかったことを報告している。そのため、少なくとも男女の明確な身長差が出現しない児童期においては、身長とは無関係の生理的な因子により重心動揺に性差が認められると考えられる。Hirabayashiら(1995)⁽¹⁴⁾は、3～4歳から14～15歳の子どもと成人、合計138名について6種類の異なった条件下で重心動揺を測定して、3種類の姿勢制御機構(体性感覚器系、視覚器系、前庭器系)の作用機序について加齢に伴う変化を調べている。そしてその結果7～8歳の女子は男子と比較して、前庭系機能の働きが優れていると述べている。Steindiら(2006)⁽¹⁵⁾は10歳から16歳までの子ども140名と平均年齢30歳の男女20名のバランス能力を測定している。そして視覚系および前庭器系の求心性バランス調整システムは15～16歳で成人と同程度のレベルまで発達すること、このシステムには明らかな性差が見られると述べている。

藤田ら(2018)⁽⁷⁾は身長差がほとんどない男女大学生(どちらも170cm程度)で比較すると、男女間にバランス調整能力の有意な性差が存在することを報告している。そしてその性差の要因として幼児期から少年期では特に前庭機能の発達の差、青年期から高齢期は特に視覚系の調整機能に男女間の性差が出現することが推測されると述べている。

Pereiraら(2017)⁽¹⁶⁾は平均年齢68歳の高齢男女257名の重心動揺を測定した結果、重心の平均外周面積はBMI数値に関わりなく男女間で有意差が見られたと報告している。そして立位姿勢を維持するときに、3種類の姿勢制御機構の融合が高齢男性では高齢女性と比較して劣ることを指摘している。また、高齢女性では視覚と体性感覚系からの情報入力を同時に遮断するとバランス能力が悪化すること(Wolfson, 1994)⁽¹⁷⁾、女子は視覚情報を遮断すると、立位姿勢維持時の足首の筋活動が活発になり、尻の筋(hip-muscle)活動が男子と比べて小さくなる

など、男子とは異なる姿勢調節が行われるようになる (Olchowik ら、2015)⁽¹⁸⁾ ことなどから、特に成人女性では視覚情報による立位姿勢の維持調節機能が男子よりも高いことが推察できる。したがってこれまでの研究結果から、バランス能力の性差は存在し、その原因はバランス調整に関与する3種類の姿勢制御機構の働きの違いにあると予測できる。本研究では両足立ち姿勢維持時の総軌跡長に男女の性差は見られなかった。また左右の片足立ち姿勢維持時の一般男子群と一般女子群間に有意差は認められなかった。この原因については不明であるが、被験者数が各群10名であり、他の研究と比較して少なかったことに起因するかもしれない。また、幼児期や学童期に女子が男子より優れている前庭器系を中心としたバランス調節機能から、成人の視覚系優位の調節機能への移行の時期に該当する可能性も考えられる。この点については今後、詳細な検討が必要である。

両足立ち姿勢維持時の前後の動揺平均中心変位は、4群中最も前方に位置していたのは体操男子群で、次に一般男子であり、最も後方であったのが一般女子であった(図3)。藤原ら(1981)⁽¹⁹⁾は大学生男女(各10名)の重心動揺を測定し、足圧中心位置は女子と比較して男子が有意に前方にあることを証明している。幼児のデータではあるが、新宅ら(2003)⁽²⁰⁾、藤田ら(2007)⁽²¹⁾は、加齢に伴って重心位置が後方から前方に移動することを報告している。したがって、今回の研究では筋力の測定は行っていないが、体操男子の下肢筋力、特に腓腹筋、ヒラメ筋、前脛骨筋など下腿の筋力がこの重心位置に関係した可能性が考えられる。

(2) 高校の器械体操選手と一般生徒とのバランス能力の比較

バランス能力のトレーニング効果に関して、木村ら(2013)⁽²²⁾、2016⁽²³⁾は男子学生に週1回2分間、6週間の綱渡りの練習を課し、重心動揺計を用いてバランス因子に及ぼす影響を調べている。その結果、開眼両足立ちの総軌跡長には練習前後で変化が認められなかったが、開眼右足立ち時の総軌跡長と単位面積軌跡長、開眼左足立ち時の単位面積軌跡長が有意に減少したことを報告している。スポーツ選手のバランス能力に関しては既に多くの研究報告が出されている。Paillardら(2006)⁽¹⁰⁾はプロとアマチュアのサッカー選手の開眼および閉眼状態でのバランス能力を比較して、プロ選手のほうが重心動揺の程度が少ないこと、プロ選手は視覚情報入力をもとにした姿勢調節システムはアマチュア選手より依存度が低いことを報告している。Masuら(2014)⁽¹¹⁾は全日本バドミントン競技会のベスト3の選手と大学のレクリエーションレベルでのバドミントン選手8名のバランス能力を比較している。その結果、閉眼片足立ち状態ではトップ選手のほうが有意にバランス能力が高いことを報告している。

本研究では左右の片足立ち姿勢維持時の総軌跡長に関して、体操男子群および一般男子群と体操女子群との間に有意差が認められた。姿勢バランス機能を大別すると、支持基底面内におけるバランス保持である静的バランスと、支持基底面が移動した状態のバランス保持機構としての動的バランスに分けられる(Woollacottら、1997)⁽²⁴⁾。本研究では、器械体操選手と一般高校生と比較して両足立ち姿勢では総軌跡長に有意差は見られなかったが、左右の片足立ちでは総軌跡長に有意差が認められた。そのため器械体操競技の運動特性として、両足立ちという

静的バランスよりも、より動的バランスに近い片足立ち姿勢維持時の平衡機能の発達が促進されると推測できる。

以上の実験結果から、身長差はあるものの、体操男子群および一般男子と体操女子群とを比較すると、両足立ち姿勢では総軌跡長に有意差は認められなかったが、左右の片足立ち姿勢では有意な男女差が見られた。一般男子と一般女子の総軌跡長を比較すると、女子のほうが短くなる傾向は見られたが有意差は認められなかった。器械体操のバランス能力に関わるトレーニング効果は、経験年数の長さという要因もあって、男子よりも女子のほうが顕著に表れたと考えられる。

文献

- (1) 板谷 厚：感覚と姿勢制御のフィードバックシステム, バイオメカニズム学会誌, 39(4): 197-203. 2015
- (2) 大築立志：バランスを司る神経支配, 体育の科学, 53: 236-240. 2003
- (3) Nolan, L. et al.: Balance control: sex and age differences in 9-to 16-year-olds. *Dev Med Child Neurol.* 47: 449-454. 2005
- (4) Lee, A. J. Y. et al.: The influence of gender and somatotype on single-leg upright standing postural stability in children. *J. Appl. Biomech.* 23: 173-179. 2007
- (5) 北林 保ほか：静的立位姿勢における足圧中心動揺変数の性差と体格の関係, *Equilibrium Res.* 61(1): 16-27. 2002
- (6) 北林 保ほか：静止立位姿勢における足圧中心動揺変数相互の関係の検討 —領域別及び性差の観点から—, *Equilibrium Res.* 62(1): 34-42. 2003
- (7) 藤田公和ほか：立位姿勢時の重心動揺に及ぼす身長差および性差の影響について, *体育の科学*, 68(10): 765-770. 2018
- (8) Howell, D. R. et al.: Assessment of the postural stability of female and male athletes. *Clin. J. Sport Med.* 27(5): 444-449. 2017
- (9) Sforza, C. et al.: Influence of training on maintenance of equilibrium on a tilting platform. *Percept. Mot. Skills.* 96(1): 127-136. 2003.
- (10) Paillard, T. et al.: Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 16(5): 345-348. 2006
- (11) Masu, Y. et al.: Characteristics of sway in the center of gravity of badminton players. *J. Phys. Ther. Sci.* 26: 1671-1674. 2014
- (12) 文部科学省「平成29年度 学校保健統計」(2018.3.26) www.mext.go.jp/component/b.../1399281_01_1.pdf (最終閲覧日2018年12月13日)
- (13) 平野幸伸ほか：成長期における立位重心動揺特性, *浜松大学保健医療学部紀要*, 1(13): 51-57. 2010
- (14) Hirabayashi, S. et al.: Developmental perspective of sensory organization on postural control. *Brain and Dev.* 17: 111-113. 1995
- (15) Steindi, R. et al.: Effect of age and sex on maturation of sensory systems and balance control. *Dev. Med. Child Neurol.* 48: 477-482. 2006
- (16) Pereila, C. et al.: Effect of body mass index and fat mass on balance force platform measurements during a one-legged stance in older adults. *Aging Clin Exp. Res.* DOI 10. 1007/s40520-017-0796-6 2017

- (17) Wolfson, L. et al.: Gender differences in the balance of healthy elderly as demonstrated by dynamic posturography. *J. Gerontol.* 49(4): 160-167. 1994
- (18) Olchowik, G. et al.: The human balance system and gender. *Acta of Bioengineering and Biomechanics.* 17(1): 69-74. 2015
- (19) 藤原勝夫ほか：足圧中心位置と立位姿勢の安定性との関係について. *体育学研究*, 26(2): 137-147. 1981
- (20) 新宅幸憲ほか：4歳児の運動発達と重心動揺および足底面の関連性 — 5年間の推移から—, *子どもと発達*, 1: 353-356. 2003
- (21) 藤田公和ほか：幼児の立位姿勢時の重心動揺における加齢と性差の影響. *体育の科学*, 57: 708-712. 2007
- (22) 木村公喜ほか：週に1回6週間の綱渡り練習がバランス因子に及ぼす影響, *理学療法科学*, 28(4): 543-546. 2013
- (23) 木村公喜ほか：一過性の綱渡り練習がバランス因子に及ぼす影響. *理学療法科学*, 31(6): 883-886. 2016
- (24) Woollacott, M. H. et al.: Balance control during walking in the older adult; Research and its implications. *Phys. Ther.* 77(6): 646-660. 1997

(受理日 2018年12月28日)