

女子アスリートにおける足趾機能および バランス能力について

～裸足競技と非裸足競技間での比較～

小林実優^{†, ††}・濱口幹太^{†, ††}・露口亮太^{†, ††}
仲田秀臣^{†, ††}・正見こずえ[†]・大槻伸吾^{†, ††}

Toe Function and Balance Ability in Female Athletes

～ A Comparison Between Barefoot and Non-Barefoot Athletes ～

KOBAYASHI Miyu^{†, ††}, HAMAGUCHI Kanta^{†, ††}, TSUYUGUCHI Ryota^{†, ††}
NAKATA Hideomi^{†, ††}, MASAMI Kozue[†], OTSUKI Shingo^{†, ††}

要 旨

本研究では、裸足および非裸足競技者を対象に足趾機能とバランス能力について比較検討し、それぞれの違いや特徴について明らかにすることを目的とした。対象は、関西学生連盟に所属している大学女子選手45名とした。裸足群（体操選手15名、空手選手7名、剣道選手4名）と非裸足群（バレーボール選手8名、バスケットボール選手11名）の2群に分類し、足趾把持筋力、足趾柔軟性、足趾巧緻性、閉眼片足立ち、mSEBTの測定を行った。その結果、足趾把持筋力および足趾柔軟性では2群間で有意な差は認めなかったが、足趾巧緻性においては、裸足群が有意に優れた結果であった。閉眼片足立ちおよびmSEBT後内方、後外方および3方向の総和についても、裸足群が有意に優れていた。裸足競技では日々の裸足活動により足趾を動かす機会が多く、また足底メカノレセプターに持続的な刺激が加わる。この刺激により、体性感覚情報の処理が効率的に行われ、姿勢制御の安定性を高めることで、足趾機能やバランス能力が優れていたのではないかと推測された。

Abstract

This study aimed to compare toe function and balance ability between barefoot and non-barefoot female athletes, highlighting any significant differences. Forty-five female

† 大阪産業大学 スポーツ健康学部スポーツ健康学科

†† 大阪産業大学大学院 人間環境学研究科

草稿提出日 10月27日

最終原稿提出日 10月31日

university athletes from the Kansai Student Federation were divided into two groups: the barefoot group (fifteen gymnasts, seven karate players, and four kendo players) and the non-barefoot group (eight volleyball players and eleven basketball players). Measurements included toe grip strength, toe flexibility, toe dexterity, closed-eye single-leg stance, and the modified Star Excursion Balance Test (mSEBT). While there were no significant differences in toe grasp strength and flexibility between the groups, the barefoot group showed significantly higher toe dexterity. Additionally, the barefoot group outperformed the non-barefoot group in the closed-eye single-leg stance, as well as in the posterior medial, posterior lateral, and overall scores on the mSEBT. In barefoot sports, there are many opportunities to move the toes through daily barefoot activities, and continuous stimulation is applied to the plantar mechanoreceptors. It was speculated that this stimulation resulted in more efficient processing of somatosensory information and improved stability of postural control, resulting in superior toe function and balance ability.

キーワード：女子アスリート，足趾機能，バランス能力，裸足競技，非裸足競技

Keywords : Female athlete, toe function, balance ability, barefoot sports, non-barefoot sports

1. はじめに

足趾および足底部は、身体の中で唯一地面と接する部位であり、足底感覚受容器（足底メカノレセプター）からの求心性入力は、姿勢制御において重要な役割を果たしている。Kavounoudiasら¹⁾は、足底メカノレセプターからの体性感覚情報が姿勢制御に不可欠であることを示しており、さらにKennedy and Inglis²⁾は、足底に存在するメカノレセプターの密度と分布について詳細に報告しており、特に前足部と踵部に多く存在することを明らかにしている。このように、足底の感覚刺激は姿勢制御と深く関わっており、これらについて数多くの研究でその関連性が示されている。大杉ら³⁾は、足底の感覚刺激介入によって足底メカノレセプターが活性化され、動的バランス能力の向上が見られたと報告している。さらに、足趾および足底のトレーニングを行うことで足趾把持筋力が強化され、静的立位姿勢の重心動揺に改善が認められたという報告や、足底を刺激する青竹踏み運動を実施した結果、静的立位姿勢の重心動揺が改善されたとの報告も存在する^{4, 5)}。

裸足運動の効果に関するシステマティックレビューでは、裸足での活動が固有受容感覚を向上させ、バランス能力を改善することが報告されている⁶⁾。また、定期的な裸足活動はバランス能力やジャンプ能力といった運動能力の発達に有益であるとも指摘されており、裸足活動の有効性が示唆されている⁷⁾。これらの研究報告は、足底への感覚刺激やそ

の活性化, さらに足趾機能の向上が, 裸足での活動を通じてバランス能力の向上と密接に関連していることを示している。

これらのバランス能力は主に, 動きのない状態で支持基底面内に重心を保持させる能力である「静的バランス能力」と, 動作を伴う不安定な状態の中で, 変化する支持基底面に合わせて重心を調整し, 維持する能力である「動的バランス能力」の2種類に大別される⁸⁾。バランス能力の評価方法として, 静的バランスでは開眼および閉眼片足立ち, 動的バランスとしてはStar Excursion Balance Test (以下, SEBT) や, SEBTを簡略化したModified SEBT (以下, mSEBT), Functional Reach Test (以下, FRT) などが代表的である。

また, アスリートにとってバランス能力は, 安定したパフォーマンスの発揮や競技中の転倒および傷害リスク低下において, 重要な役割を担っており, 競技パフォーマンスを向上させるために必要な要素の1つとして位置付けられている⁹⁾。

以上のことより, 安全で安定したパフォーマンスを実現するため, アスリートは優れたバランス能力を有していると考えられる。特に, 競技特性上裸足で行う体操競技や武道競技は, 地面との直接的な接触が多いため, 靴を履いて行う競技選手に比べ, 足趾機能およびバランス能力がより優れているのではないかと仮説を立てた。

そこで本研究では裸足競技および非裸足競技における足趾機能とバランス能力について比較検討し, それぞれの違いを明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 対象

関西学生連盟に所属している大学女子選手45名(体操選手15名, 空手選手7名, 剣道選手4名, バレーボール選手8名, バasketボール選手11名)を対象とした。群分けとしては, 体操選手, 空手選手, 剣道選手を裸足群(26名), バレーボール選手およびBasketボール選手を非裸足群(19名)として2群に分類した。裸足群の練習時間は1回あたり 160 ± 57 分であり, 非裸足群は 150 ± 30 分であった。練習頻度については, 裸足群が週 5.7 ± 0.5 回, 非裸足群は週6回であった。対象者の特性については, 表1に示す通りであり, 身長および体重は裸足群が非裸足群に比べ低値であり, 競技歴では裸足群が高値であった(表1)。また, 対象者の選定基準として, 競技を10年以上継続している者, 週5日以上定期的な練習を行っている者, 過去6ヵ月以内に下肢の重篤な外傷既往がない者を対象とした。

なお、本研究は、大阪産業大学倫理審査委員会の承認（2023-人倫-14）を受けた後、ヘルシンキ宣言の趣旨に則り、対象者には、本研究の目的、方法および倫理的配慮等に関する説明を十分に行い、書面にて本研究参加への同意を得た。

（2）測定項目および測定方法

測定項目は、足趾機能を評価するものとして足趾把持筋力、足趾柔軟性、足趾巧緻性を用い、バランス能力を評価するものとして閉眼片足立ち、mSEBTを測定した。また、測定はボールを蹴る際の立脚側を軸足として、1側のみ実施した。

足趾把持筋力の測定は、足指筋力測定器（竹井機器工業、T.K.K.3361）を用いて実施した。被験者は端座位で、股関節および膝関節を90度に保ち、把持バーを各被験者の第1中足指節関節の位置に合うように調節した¹⁰⁾。測定は左右2回ずつ行い、良い方の値を足趾把持筋力の値として採用し、絶対値および体重比として算出した（図1）。

足趾柔軟性は、村田ら¹¹⁾を参考に、方眼紙上に足底を置き、踵後面を後壁にしっかりと固定させた状態で、足長を測定した。その後、足趾および前足部を最大屈曲した距離を測定し、足長からその距離を除いた値を足趾柔軟性とした。

足趾巧緻性は、鷺塚ら¹²⁾を参考に、グーは全趾が屈曲すれば可、チョキは母趾が伸展し、かつ第2趾が屈曲すれば可、パーは全趾開大すれば可とし、左右の足趾を調査した。可の場合に各1点を与え、合計点数で評価した（図2）。

閉眼片足立ちは、左右2回ずつ測定を行い、上限を120秒とした。なお各足の1回目以上限の120秒に達した場合は、2回目の試技を実施しないものとした。

mSEBTの測定は、中心点から前方0°、後内方120°、後外方120°の3方向にテープを貼り、測定を行った。被験者を中心点に立たせ、左右の手を腰部に保持させたまま片脚立位の状態で最大限リーチし、中心点からの距離を計測した。測定は各方向2回ずつ実施し、最大値をmSEBTの下肢リーチ距離とし、対象者の下肢長を100%として正規化した%下肢リーチ距離を求めた。なお、今回は上前腸骨棘と足関節内果間の長さを仰臥位にて計測し、その値を下肢長とした（図3）。

統計学的分析には対応のないt検定を用い、統計学的有意水準は5%未満とした。なお、測定値はすべて平均値±標準偏差として表記した。

表 1. 対象者の特徴

	裸足群 (<i>n</i> = 26)	非裸足群 (<i>n</i> = 19)
年齢 (歳)	19.7 ± 1.3	19.8 ± 0.8
身長 (cm)	154.0 ± 4.8	163.1 ± 6.1
体重 (kg)	52.0 ± 5.2	57.1 ± 6.5
BMI (kg)	21.9 ± 1.6	21.4 ± 1.4
競技歴 (年)	12.9 ± 3.3	11.0 ± 2.5

平均 ± 標準偏差



図 1. 足趾把持筋力測定



図 2. 足趾把持筋力測定

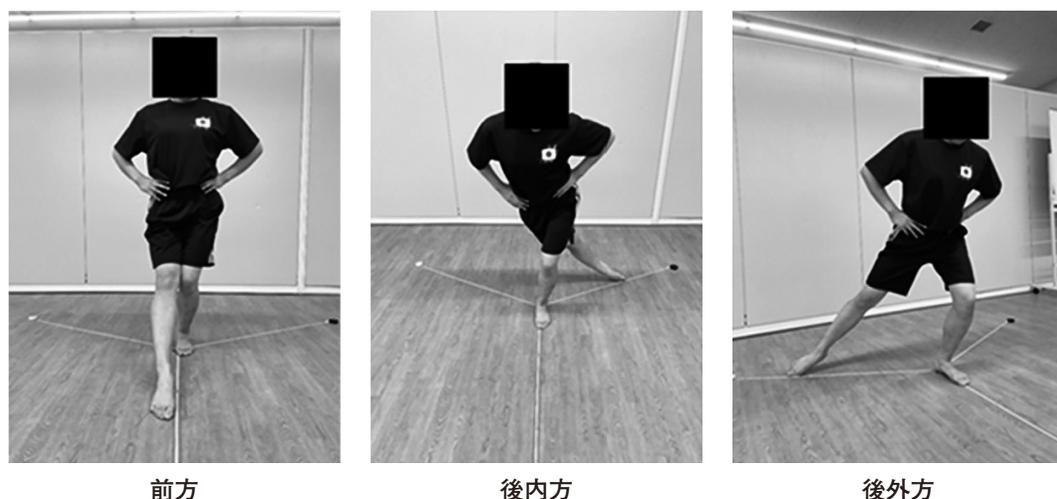


図3. modified Star Excursion Balance Test (mSEBT)

3. 結果

足趾把持筋力の絶対値および体重比において、2群間で有意な差は認めず、足趾柔軟性においても差は認めなかった。しかし、足趾巧緻性については、裸足群 2.9 ± 0.3 点、非裸足群 2.6 ± 0.5 点であり、裸足群が非裸足群に比べ、有意に優れた結果であった(表2)。

閉眼片足立ちでは、裸足群が 88.6 ± 42.0 秒に対し、非裸足群では 58.8 ± 42.1 秒であり、裸足群が有意に優れていた。mSEBT%下肢リーチ距離の前方については、2群間で有意な差は認めなかった。しかし、後内方においては、裸足群 $102.9 \pm 15.9\%$ 、非裸足群 $85.0 \pm 12.7\%$ と裸足群が非裸足群に比べ有意に高値を示した。また、後外方でも裸足群 $112.2 \pm 14.0\%$ に対し、非裸足群 $101.0 \pm 12.1\%$ と裸足群が有意に高値を示し、さらに3方向の総和においても、裸足群($297.2 \pm 30.2\%$)は非裸足競技群($268.8 \pm 26.6\%$)に比べ有意に優れた結果であった(表3)。

4. 考察

本研究の目的は裸足競技および非裸足競技間で足趾機能およびバランス能力の違いについて検討することであり、その結果、足趾機能である足趾巧緻性においては裸足群が有意に優れていた。足趾巧緻性について辻ら¹³⁾は、足底および足趾のエクササイズを行うことで、足趾を正確にコントロールする能力が高まり、足趾の巧緻性が向上したことを報告している。また、足部感覚トレーニングを実施することで、足底の感覚機能が向上すること

表2. 足趾機能の比較

	裸足群 (<i>n</i> = 26)	非裸足群 (<i>n</i> = 19)	<i>p</i> 値
足趾把持筋力 (kg)	19.2 ± 4.7	21.7 ± 4.7	0.09
足趾把持体重比 (%)	37.0 ± 9.1	38.2 ± 8.4	0.66
足趾柔軟性 (cm)	3.1 ± 1.0	2.7 ± 0.7	0.12
足趾巧緻性 (点)	2.9 ± 0.3	2.6 ± 0.5	0.02

平均 ± 標準偏差

表3. バランス能力の比較

	裸足群 (<i>n</i> = 26)	非裸足群 (<i>n</i> = 19)	<i>p</i> 値
閉眼片足立ち (秒)	88.6 ± 42.0	58.8 ± 42.1	0.02
mSEBT前方 (%)	82.2 ± 7.1	82.8 ± 6.8	0.76
mSEBT後内方 (%)	102.9 ± 15.9	85.0 ± 12.7	<.001
mSEBT後外方 (%)	112.2 ± 14.0	101.0 ± 12.1	0.01
3方向の総和 (%)	297.2 ± 30.2	268.8 ± 26.6	<.001

平均 ± 標準偏差

も報告されている¹⁴⁾。裸足競技では足趾を強化する特別なトレーニングや足部感覚を向上させるトレーニングを実施しなくても、日々の裸足活動により足趾を動かす機会が多く、地面との直接的な接触が増えることで足底感覚が活性化され、足趾の巧緻性を向上させていると考えた。

また、静的および動的バランスを反映する閉眼片足立ちおよびmSEBT%下肢リーチ距離においても、裸足群で有意に優れた結果であった。女子体操競技は4器械種目(跳馬、段違い平行棒、平均台、ゆか)で構成されており、本質的運動特性として金子¹⁵⁾は、「非日常的驚異性」と「姿勢的簡潔性」を挙げている。したがって体操選手は、非日常的で複雑な動きを多く伴うため、上肢と下肢をうまく使いバランスをとりながら姿勢を制御し続ける能力が必要とされる¹⁶⁾。空手競技では、バランスコントロールがパフォーマンスを決定する重要な要因であり、特定の高強度の空手トレーニング時間を増加することで、静的な身体バランスが向上するとの報告や、熟練した空手選手は、高い動的バランス制御能力を持つことなどが述べられており^{17, 18)}、それらを通じて獲得した足底感覚刺激への感受性の向上は静的および動的バランス能力を向上させるとの報告もある^{19, 3)}。

以上のことより、体操競技や空手競技といった裸足競技では、裸足での活動が前足部および踵部に豊富に存在する足底メカノレセプターへ持続的な刺激を与え、体性感覚情報の処理が効率的に行われている可能性がある。そのため、足底メカノレセプターの感受性が向上し、姿勢制御の安定性が高まることで、閉眼片足立ちやmSEBT%下肢リーチ距離といったバランステストにおいて、非裸足競技に比べバランス能力が優れていた可能性が考えられた。また本研究の結果は、下肢の傷害予防プログラムにおける裸足トレーニングの導入やリハビリテーション過程における足部感覚刺激の活用といった臨床応用の可能性を示唆している。

5. 本研究の限界と今後の課題

本研究は、裸足競技と非裸足競技の2群に分けて検討を行ったが、競技種目間における被験者数の不均衡があったため、各競技間の統計的検討は不十分であった。

また、バランス保持時の重心動揺や筋活動については未測定のため、詳細な分析を行うことができていない。加えて、足部感覚機能の定量的評価についても十分ではなかった。

さらに、今回は大学女子アスリートのみを対象としており、年齢層が限定的であった。

これらの限界を踏まえ、今後は異なる競技種目間での詳細な比較を行うため、被験者数を増やすとともに人数を均衡にし、バランス保持時の重心動揺や筋活動、足部感覚機能についても追加計測を行い、より詳細に検討していく必要がある。さらに、高齢者や一般人を対象とした応用研究を通じて、転倒予防やQOL向上に寄与する実践的な知見をさらに充実させることで持続可能な社会の実現に貢献できると考えている。

6. まとめ

本研究では、これまでの研究で十分に検討されていなかった裸足競技および非裸足競技における足趾機能とバランス能力の違いや特徴について検討を行った。その結果、足趾巧緻性、閉眼片足立ち、mSEBT後内方、後外方および3方向の総和において、裸足群が非裸足群に比べ、有意に優れた結果であった。体操競技や空手競技などの裸足競技では、日々の裸足活動により足趾を動かす機会が多く、足部感覚の向上が期待される。また、足底メカノレセプターへの持続的な刺激が加わることで、体性感覚情報の処理が効率的に行われ、感受性が向上し、姿勢制御の安定性を高めている可能性が考えられる。以上のことより、足趾巧緻性およびバランス能力において裸足競技者が有意に優れていたのではないかと推

女子アスリートにおける足趾機能およびバランス能力について～裸足競技と非裸足競技間での比較～(小林・濱口・露口・仲田・正見・大槻)

測された。今後は被験者数を増やすとともに競技ごとで人数を均衡にし、各競技間で比較を行い、バランス保持時の重心動揺や筋活動、足部感覚機能についても追加計測を行い、より詳細に検討していく。

参考文献

- 1) Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. "Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation", *J Physiol*, 532, 869-78, 2001
- 2) Kennedy PM, Inglis JT. "Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole", *J Physiol*, 538, 995-1002, 2002
- 3) 大杉紘徳, 本塚貴裕, 佐久間崇, 他「足底への感覚刺激が足底感覚および足趾把持力に及ぼす影響」『ヘルスプロモーション理学療法研究』3 (3), 129-33, 2013
- 4) 木藤伸宏, 井原秀俊, 三輪 恵, 他「高齢の転倒予防としての足指トレーニング効果」『理学療法学』28 (7), 313-19, 2001
- 5) 亀井省二, 亀井明美, 岩谷充治, 他「足底の感覚刺激が重心動揺に与える影響について」『藍野学院紀要』20, 37-40, 2007
- 6) Franklin S, Grey MJ, Heneghan N, Bowen L, Li FX. "Barefoot vs common footwear: A systematic review of the kinematic, kinetic and muscle activity differences during walking", *Gait Posture*, 42, 230-9, 2015
- 7) Zech A, Venter R, de Villiers JE, Sehner S, Wegscheider K, Hollander K. "Motor Skills of Children and Adolescents Are Influenced by Growing up Barefoot or Shod", *Front Pediatr*, 6, 115, 2018
- 8) Brown CN, Mynark R. "Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability", *J Athl Train*, 42, 367-73, 2007
- 9) Hrysmallis C. "Balance ability and athletic performance", *Sports Med*, 41, 221-32, 2011
- 10) 相馬正之, 村田 伸, 太田尾浩, 他「足離把持力および足趾圧迫力と身体機能との関係について―足関節固定ベルト使用の有無による検討―」『ヘルスプロモーション理学療法研究』8, 13-8, 2018
- 11) 村田 伸, 熊谷秋三, 津田 彰「足部柔軟性の再現性と妥当性に関する研究―健常成人と障害高齢者における検討」『健康科学』27, 49-55, 2005
- 12) 鷺塚寛子, 金森昌彦, 長谷奈緒美, 他「足趾力・下肢力とバランス感覚との関連性について」『Toyama Medical Journal』26, 25-32, 2016
- 13) 辻慎太郎, 安部恵子, 白井達矢, 他「足底および足趾エクササイズが高齢者の移動能力に及

- ぼす即時的効果の検証」『教育医学』69 (2), 145-56, 2023
- 14) 菅沼惇一, 千鳥司浩, 池田由美 「足部感覚トレーニングが健常若年者の足底の体性感覚機能に与える影響」『Rigakuryoho Kagaku』37 (4), 4, 2022
 - 15) 金子明友: 『体操競技のコーチング』大修館書店, 東京, 10-5, 1974
 - 16) Moeskops S, Oliver JL, Read PJ, et al. “The Physiological Demands of Youth Artistic Gymnastics: Applications to Strength and Conditioning”, *Strength and Conditioning Journal*, 41, 1-13, 2019
 - 17) Vando S, Filingeri D, Maurino L, et al. “Postural adaptations in preadolescent karate athletes due to a one week karate training cAMP”, *J Hum Kinet*, 38, 45-52, 2013
 - 18) Zago M, Mapelli A, Shirai YF, et al, “Dynamic balance in elite karateka”, *J Electromyogr Kinesiol*, 25, 894-900, 2015
 - 19) Preszner-Domjan A, Nagy E, Szíver E, et al. “When does mechanical plantar stimulation promote sensory re-weighing: standing on a firm or compliant surface?”, *Eur J Appl Physiol*, 112, 2979-87, 2012