

ISSN 1340-7074

関西臨床スポーツ医・科学研究会誌

Journal of Kansai Clinical Sports Medicine and Science

2024 Vol. 33

関西臨床スポーツ医・科学研究会

関西臨床スポーツ医・科学研究会誌

2024 Vol.33

関西臨床スポーツ医・科学研究会

目次

1. プロスポーツ選手に対するマウスガードの作製とアンケート調査	鈴木 真幸 他	3
2. プロバレエ団による公演への医療支援活動の実際	西納 卓哉 他	7
3. 腰椎分離症患者におけるオーバーヘッド競技選手の身体的特徴 —他競技群との比較—	浅香 孝至 他	11
4. 下肢高強度インターバルトレーニングが上肢運動時および 下肢運動時の最大酸素摂取量に及ぼす影響	和多田智樹 他	17
5. 中年一般市民ランナーにおける足趾把持筋力, 足部形態, バランス能力の特徴と足部足関節傷害との関係	濱口 幹太 他	23
6. 裸足および非裸足競技間での modified Star Excursion Balance Test 時 における重心動揺性の違い	小林 実優 他	31

プロスポーツ選手に対するマウスガードの作製とアンケート調査

鈴木 真幸¹⁾, 豊田 博紀²⁾

1) やすらぎデンタルクリニック

2) 大阪大学大学院 歯学研究科口腔生理学講座

背景と目的

スポーツ選手の口腔顔面領域の外傷は軟組織裂創から顎骨骨折まで様々であるが、マウスガードを装着することにより歯の破折や脱臼の発生率を減少させ、口腔内軟組織の損傷の軽減が可能である^{1), 2)}。また、顎骨骨折の発生や脳震盪を予防することもできる³⁾。さらには、マウスガード装着により、運動パフォーマンスが向上する可能性が示唆されている⁴⁾。

このように、マウスガードの装着はスポーツ選手において、顎顔面および歯の外傷の予防のためだけでなく、運動パフォーマンス向上の可能性からも、推奨されるべきであるといえる。しかし、マウスガード装着に伴う不快感が生じることから、練習や試合中に常時装着しているとは限らないのが現状である⁵⁾。そこで本研究では、プロスポーツ選手に対しマウスガードを作製する機会を得たため、アンケート調査をおこなうことにより、マウスガードに対する意識調査をおこなった。

対象と方法

静岡県のチームに在籍するJリーグ選手57名を対象とした。本研究の対象者は全て男性であり、対象者は正常咬合を有し、顎関節に障害のないことを確認した。全選手57名の年齢は18～38歳(平均±標準偏差:25.7±3.9歳)、身長は162～190cm(平均±標準偏差:176.7±6.2cm)、および体重は54～90kg(平均±標準偏差:71.4±6.8kg)であった。本研究を実施するに際し、実験の主旨や目的などスタッフおよび選手に説明し、同意を得ておこなった。また、スタッフおよび選手には、マウスガード装着のメリットやデメリットに関し、エビデンスに基づいて説明をおこなった。メリットとしては、口腔顔面外傷予防や運動能力の向上、デメリットとしては、装着による不快感や呼吸・会話がしづらくなる可能性について説明した。マウスガードの使用法については、選手に一任した。

まず、対象選手の上顎歯列の印象採得をおこなった。既成トレーで単一印象法を用い、印象剤としてアルジネートを用いた。石膏は硬石膏を用いて十分に硬化後、歯列模

型を作製した。マウスガード作製にあたり、厚さ3mmのシート(マウスガードディスク3A, 3A MEDES社製, 韓国)を使用した。マウスガードは圧接法にて作製した。マウスガードディスク3Aシートを加熱軟化して石膏模型上に圧接後、成型し、その後トリミングをおこない、研磨した。装着時に疼痛を訴えた部分を削合・研磨し、咬合紙を用いて早期接触部位を印記して咬合調整をおこなった。また、咬合拳上量は、安静時に上下顎が接しないように安静空隙内(上下切歯部において1.5mm以内)とした。作製したマウスガードを選手に渡し、1～3か月後にアンケート調査をおこなった。アンケートの内容を表1に示す。

表1. マウスガードに対するアンケート

- いつ使用しましたか？
ア. 試合中 イ. 練習中 ウ. 試合および練習中
エ. 使用なし
- マウスガードに対する満足度は？
ア. 満足 イ. 不満 ウ. 多少不満
- 今後も使用したいと思いますか？いつ使用しますか？
ア. 使用しない イ. 試合中 ウ. 練習中
エ. 試合および練習中
- 以下の症状で感じたことはありますか？(複数回答可)
(1) 呼吸しにくい (2) 口が乾く (3) 違和感がある
(4) しゃべりにくい (5) 歯が痛い (6) 顎が痛い
(7) はずしにくい (8) こわれやすい (9) 臭いがする
(10) 変な味がする (11) その他
- その他(気付いた点等)

結 果

アンケート調査の結果を図1～3に示す。全選手57名に回答して頂いた(有効回答率100%)。いつ使用したかについては、48人(84%)が練習中、5人(9%)が試合

中、3人(5%)が試合および練習中に使用したと回答し、1人(2%)が使用していないと回答した(図1)。マウスガードの満足度としては、30人(53%)が満足、26人(46%)が多少不満、1人(2%)が不満であると回答した(図2)。今後の使用希望としては、32人(55%)が練習中、10人(18%)が試合および練習中、13人(23%)が試合中に使用したいと回答し、2人(3%)が使用しないと回答した(図3)。問題点としては、9人(16%)が口が乾く、8人(14%)が異物感を感じる、5人(9%)が顎の痛みがある、3人(5%)が歯の痛みがある、2人(2%)がしゃべりにくい、1人(2%)がやや息苦しいと回答した。

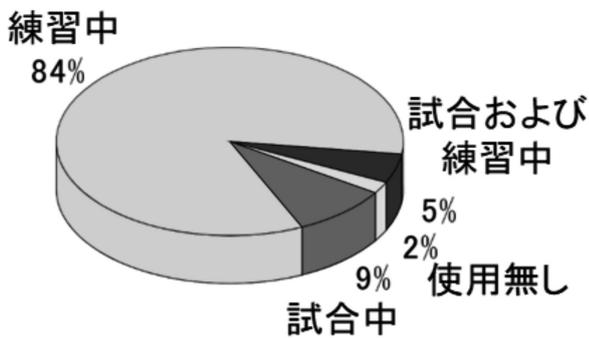


図1. マウスガードをいつ使用したか

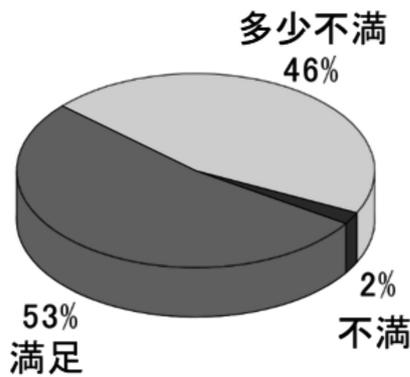


図2. マウスガードの使用感

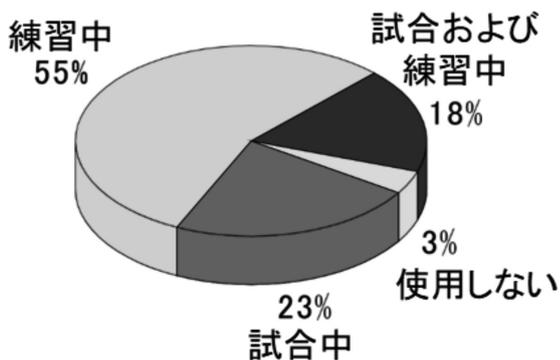


図3. 今後のマウスガードの使用希望

また、マウスガードの臭いが不快である、変色したという回答もそれぞれ1人(2%)ずつ認められた。一方、48人(84%)がマウスガードを装着すると力が入る、13人(23%)が左右のバランス感覚がよくなるといった肯定的な回答をしていた。

考 察

顎口腔顔面領域のスポーツ外傷には、歯の破折、脱臼、口腔内軟組織の損傷、顎骨骨折など様々である。その予防法としてマウスガードの装着が、アメリカンフットボール、ラグビー、ボクシング、レスリング、柔道など多くのフルコンタクトスポーツで重要視されており、義務化がされはじめている。The International Academy of Sports Dentistry (国際スポーツ歯科医学会)では、野球、サッカー、バスケットボールなどのリミテッドコンタクトスポーツにおいても、マウスガードの装着が推奨されている⁶⁾。本研究では、サッカー選手のみを研究対象としたため、口腔顔面外傷予防への意識が他のフルコンタクトスポーツ選手と比較して、低い可能性が想定された。実際、今回の調査では、48人(84%)が練習中に使用していたが、5人(9%)が試合中、3人(5%)が試合および練習中に使用したと回答しており、試合中に使用した選手の割合が低い傾向にあった。このことから、試合中においては、口腔顔面外傷予防よりも、マウスガード装着によるしゃべりにくさ(意思疎通の低下)や不快感を敬遠することを優先したのではないかと考えられる。

マウスガードの主な目的は、スポーツ外傷を防止することであるが、運動パフォーマンスが向上する効果があることも報告されている⁴⁾。例えば、マウスガード装着により、身体のバランスが取りやすい、噛みしめる効果があるとされている。本アンケート調査の結果から、マウスガード使用により、48人(84%)がマウスガードを装着すると力が入る、13人(23%)が左右のバランス感覚がよくなるといった、運動パフォーマンスに関する回答が認められた。マウスガード使用により、口が乾く、異物感を感じるといった問題点が挙げられていたが、ほとんどの選手が今後も使用を希望していたことから、マウスガード装着による運動パフォーマンスの向上を期待している選手が多いと推察される。

今回の調査では、個々の選手の印象採得から作製したカスタムメイドのマウスガードの使用について評価した。マウスガードの満足度としては、30人(53%)が満足しており、26人(46%)が多少不満と回答していたため、若干の問題はあるものの使用可能であると考えていた選手が多いといえる。また、今後の使用希望としては、10人(18%)が試合および練習中、32人(55%)が練習中、13人(23%)が試合中に使用したいと回答していたことから、多くの選手がその必要性を認識していることが明らかになった。しかし、2人(3%)が今後使用しないと回答した

ため、過去の不快な装着感が影響しているものと考えられる。マウスガードを装着することにより、口が乾く、しゃべりにくい、違和感があるといった問題が起こりやすいことから、形状を小さくするなどの検討が必要であると思われる。

結 語

今回のアンケート調査結果から、プロスポーツ選手においては、口腔顔面外傷予防のみならず、運動パフォーマンス向上への期待から、積極的なマウスガードの使用必要性を感じていることが明らかになった。

参考文献

- 1) Garon WM et al: Mouth protectors and oral trauma. J Am Dent Assoc. 112: 663-665, 1986.
- 2) McNutt T et al: Oral trauma in adolescent athletes: a study of mouth protectors. Pediatr Dent. 11 (3) : 209-13, 1989.
- 3) Takeda T et al: Are all mouthguards the same and safe to use? The influence of occlusal supporting mouthguards in decreasing bone distortion and fractures. Dent Traumatol. 20 (3) : 150-156, 2004.
- 4) Cao et al: Influence of wearing mouthguards on performance among athletes: A systematic review. J Sci Med Sport. 26 (9) : 493-503, 2023.
- 5) 小見山道 他: 各種スポーツ選手に対するカスタムメイドマウスガード使用に関するアンケート調査. スポーツ歯. 10:96-100, 2008.
- 6) Ranalli DN: Prevention of sports-related traumatic dental injuries. Dent Clin North Am. 44 (1) : 35-51, 2000.

プロバレエ団による公演への医療支援活動の実際

西納 卓哉¹⁾, 小川 宗宏²⁾, 川崎佐智子¹⁾, 辻本 憲広¹⁾, 田中 康仁¹⁾

1) 奈良県立医科大学 整形外科

2) 奈良県立医科大学 スポーツ医学講座

背景と目的

本邦においてアスリートに対する医療支援体制は確立されており、その対象は一般スポーツ愛好家からトップアスリートまで幅広くサポートされている。しかし、舞台芸術家に対する医療支援活動は十分になされてはおらず、諸外国のような基盤を持たないのが実情である¹⁾。今回、我々が日本舞台医学会との連携事業として先駆的に取り組んでいるプロバレエ団による公演への医療支援活動の実際について報告する。

方 法

2024年3月、枚方市総合文化芸術センターにおいて、新国立劇場バレエ団による「クラシックバレエ ハイライト」公演が開催された。公演プログラムは新国立劇場バレエ団を代表する演目より4つ披露された。日本舞台医学会との連携事業として、奈良県立医科大学整形外科が医療支援活動を担当した。スケジュールは4日間で、公演本番・本番前日には現地での医療支援希望があり、実際に現地での医療支援を行った(表1)。その他の日の緊急対応は、電話相談で備えた。支援対象はバレエダンサー約50名、スタッフ約30名の計約80名であった。また、医療支援当日は奈良医大整形外科医のほかに、日本臨床スポーツ医学会の現場見学・研修マッチングプログラムを利用した先生が参加され、舞台医学に興味がある医学生も参加した。

事前に新国立劇場バレエ団と打ち合わせを行い、舞台公演中やリハーサル時の外傷・障害の緊急対応にそなえて、後方支援病院として関西医科大学附属病院と大手前病院に依頼状を送付し、支援に関しての同意を得た。また、劇場の施設を元にEmergency Action Planを作成した(図1)。医療支援チームはラウンジの一角を救護スペースとし、事

表1. 日程表

日程	バレエ団活動	現地での医療支援	緊急時受入希望
3月7日	スタッフ移動		希望あり
3月8日	ダンサー移動 リハーサル	支援希望あり	希望あり
3月9日	リハーサル 公演本番 ダンサー移動	支援希望あり	希望あり
3月10日	スタッフ移動		希望あり

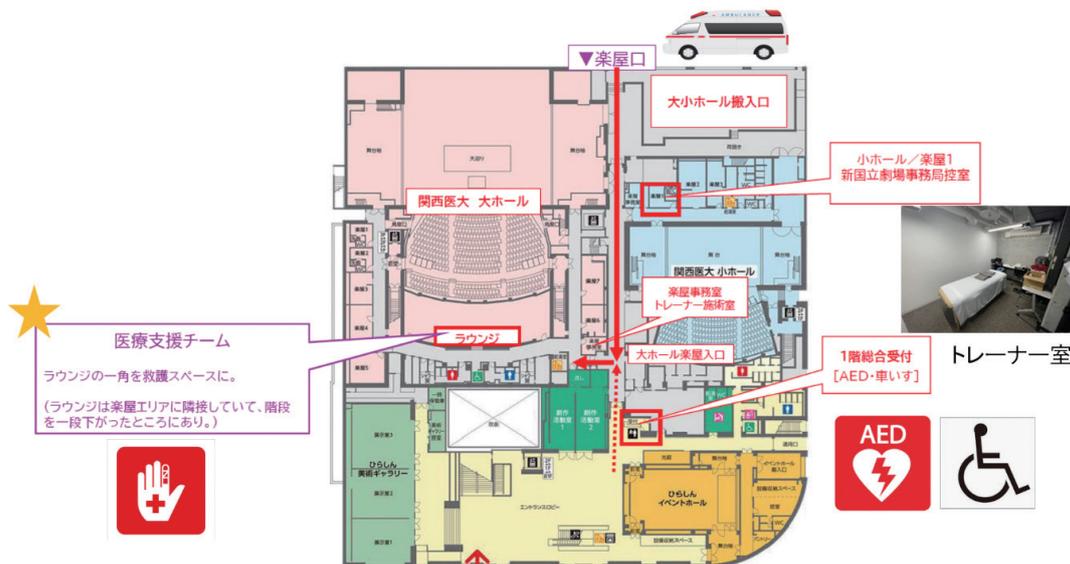


図1. Emergency Action Plan

前にAED, 車いすの場所や救急搬送時の導線や救急車の待機位置を確認した。また, スポーツ現場への医療支援での過去の経験を参考にし, ポータブルエコーや創傷応急処置セットや薬剤などの救急バッグの準備物品を用意した(図2)。



図2. 準備物品

医療支援当日は救護スペースで医師らは待機し, 自由に医療相談できる体制をとり, 必要に応じて適宜診察などを行った。

結 果

実際の医療相談はバレエダンサーより計3件あった。ダンス動作時のアキレス腱周囲の疼痛を認めるダンサーに対し, エコー下に腱周囲の炎症の程度を評価した上でアキレス腱周囲炎と診断した。そして, 保存加療として下腿三頭筋のストレッチなどセルフケア指導を行った。また, 尋常性ざ瘡や毛包炎のケアなどの皮膚科関連の審美系演技にまつわる問題点の相談などが計2件あり, 日頃のスキンケアや今後の対応について助言した。

また, 医療対応したのは計2件あった。本番前, 起立時のめまいと嘔気を認めたダンサーがいたが, 症状は一過性で改善傾向にあり, 血圧・脈拍などのVital signや明らかな神経学的異常所見はなく, 経過観察とし公演への出演は可能であった。また, 本番中に男性バレエダンサーがリフト(女性ダンサーを持ち上げる行為)をした際に強く下顎

部を打撲受傷したが, 脳震盪の症状もなく, 腫脹も軽度であったため, アイシング対応で経過観察とした。後方支援病院に救急搬送すべき緊急対応を要する事例はなく, 無事公演は終了となった(表2)。

表2. 医療支援活動内容

	性別	年代	内容
医療相談	女性	20代	顔の尋常性挫創のケアについて
	男性	20代	胸部の毛包炎のケアについて
	女性	20代	アキレス腱周囲炎のケアについて
対応症例	女性	20代	気分不良, めまい
	男性	20代	下顎部打撲

考 察

プロバレエ団による公演へ現地に医師が帯同し医療支援をするという取り組みは本邦では非常に少なく, 試行錯誤しながらも先駆的に我々が現在取り組んでいる活動である。舞台芸術家に対する医療支援活動はスポーツドクターにおけるスポーツ現場での医療支援と共通点があるとされ²⁾, それらの経験をもとにバレエダンサーなどの舞台芸術家に対する医療支援拡充を図っている。

トップアスリートと同様にプロバレエダンサーの練習量は多く, 高度な身体動作が要求される。実際に練習風景を目の当たりにすると, その身体能力の高さや練習内容には驚かされ, 長時間に及ぶ練習などが外傷やオーバーユースに伴う障害の原因となることも理解できる。過去の報告では, プロバレエ団における1年間の全体の負傷発生率は1000時間当たり44件, ダンサー1人あたりの年間平均負傷件数は6.8件であり, 障害に伴うタイムロスは平均7日であったとしている³⁾。ダンサーは障害に伴い, 時間的損失や経済的損失を被ることとなり, またバレエ団も同様に損失を被るため, 障害への介入や予防活動は重要となる^{3)~7)}。

今回のバレエ公演の帯同においては, ダンス演技時の後足部の疼痛を認めた女性ダンサーの医療相談があり, エコーを使用しアキレス腱周囲炎と診断した。我々は過去に本邦のプロバレエダンサー30名における障害調査を行い, 1週間以上レッスンを休む必要のあった過去の外傷・障害の既往歴は下肢が83.3%と最も多く, 次いで体幹16.7%, 上肢10%であったとし, なかでも足部は53.3%, 足関節は46.7%が障害の既往を有しており, 外傷・障害部位の男女差についてはいずれも有意差は認めなかったと報告した⁸⁾。他の報告では, Wankeらはプロバレエダンサー785人を調査し, 男女共に足関節の障害が最も多く, 男性では足関節, 足部と続き, 女性は足部, 膝関節と続いたと報告している⁹⁾。また, Katakuraらはプロバレエ団での足部・足関

節の障害に焦点を当てた疫学的研究にて、理学療法的介入が必要な障害やダンスへの復帰に24時間以上かかるタイムロスを伴う障害に関しては女性ダンサーの方が男性ダンサーよりも優位に高い割合で受傷し、女性ではポワント動作とジャンプ動作、男性ではジャンプ動作が主な原因のメカニズムであったと報告している⁴⁾。本症例においても女性ダンサーの足関節障害例であり、ダンサーの下肢障害への介入の重要性を改めて認識した。

また、尋常性ざ瘡や毛包炎などの皮膚疾患に対する診察を実際に行い、審美系演技を行うダンサーにとって皮膚疾患は重要な問題であることや、我々医療者側も皮膚疾患に対する予防や治療に関する知識を持つ必要があるということも認識した¹⁰⁾。

また我々はダンサーの障害予防に関する理解を深めることが必要と考え、新国立劇場バレエ団のダンサーに対する専門医によるセミナー開催などを行い、啓発活動にも力を入れている。過去の報告ではダンサーは障害受傷時に医療機関を受診する割合は低いとされており^{11),12)}、ダンサーが疾患に関する理解をさらに深め、必要時に医療介入することができればより障害を減らせるのではないかと考える。また医療介入するにあたり、バレエ団のトレーナー含め多職種との連携が重要であり、密接にコミュニケーションを図る必要がある。よって、地道に現場での支援活動や啓発活動を継続して行い、バレエ団と医療者間で良好な関係を築き、より良い医療支援体制の確立を目指すことが重要である。

結 語

我々が先駆的に取り組んできたプロバレエダンサーに対する公演時の医療支援活動について紹介した。今後の舞台医学の発展のためにも、医療支援体制の構築や多職種連携、現場での医療支援の実践が必要であり、今後も裾野を広げる活動を継続していきたいと考える。

参考文献

- 1) 武藤芳照ら：舞台医学入門，12 - 17，2018，新興医学出版社，東京。
- 2) 武藤芳照ら：わが国における「舞台医学」の現状と課題 Practice of Pain Management Vol. 6 No. 2 76 - 80, 2015
- 3) Allen N, Nevill A, Brooks J, Koutedakis Y, Wyon M. Ballet injuries : injury incidence and severity over 1 year. J Orthop Sports Phys Ther. 42 (9) : 781 - 790, 2012.
- 4) Katakura M, Kedgley AE, Shaw JW, et al. Epidemiological Characteristics of Foot and Ankle Injuries in 2 Professional Ballet Companies : A 3-Season Cohort Study of 588 Medical Attention Injuries and 255 Time-Loss Injuries. Orthop J Sports Med. 11 (2) : 23259671221134131, 2023.
- 5) Shaw JW, Mattiussi AM, Clark R, Kelly S. Epidemiology and management of ankle sprain injuries over seven seasons in an elite professional ballet company. J Sci Med Sport. 27(3) : 166 - 171, 2024.
- 6) Novosel B, Sekulic D, Peric M, Kondric M, Zaletel P. Injury Occurrence and Return to Dance in Professional Ballet : Prospective Analysis of Specific Correlates. Int J Environ Res Public Health. 16 (5) : 765, 2019.
- 7) Khan K, Brown J, Way S, et al. Overuse injuries in classical ballet. Sports Med. 19 (5) : 341 - 357, 1995.
- 8) 辻本憲広ら：プロバレエダンサーの外傷・障害アンケート調査 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌31 : 3-6, 2022.
- 9) Wanke EM, Arendt M, Mill H, Groneberg DA. Occupational accidents in professional dance with focus on gender differences. J Occup Med Toxicol. 8 (1) : 35, 2013.
- 10) Adams BB. Dermatologic disorders of the athlete. Sports Med Auckl NZ. 32 (5) : 309 - 321, 2002.
- 11) Air ME, Grierson MJ, Davenport KL, Krabak BJ. Dissecting the doctor-dancer relationship : health care decision making among American collegiate dancers. PM R. 6 (3) : 241 - 249, 2014.
- 12) 横尾直樹ら：クラシックバレエダンサーの腰痛・第2報：アンケート調査による男女の比較 - 日本腰痛会誌. 10 (1) : 100 - 106, 2004.

腰椎分離症患者におけるオーバーヘッド競技選手の身体的特徴 —他競技群との比較—

浅香 孝至¹⁾, 相原 望^{1), 2)}, 安本 慎也¹⁾, 西脇 一馬¹⁾, 杉本 拓也¹⁾, 中尾 哲也³⁾,
吉田 隆紀³⁾, 柳田 育久¹⁾, 大槻 伸吾⁴⁾

1) 医療法人貴島会 ダイナミックスポーツ医学研究所

2) 大阪体育大学大学院 スポーツ科学研究科

3) 関西医療大学 保健医療学部 理学療法学科

4) 大阪産業大学 スポーツ健康学部 スポーツ健康学科

1. 背景・目的

腰椎分離症は、過剰な腰椎伸展・回旋運動の反復によって発生する腰椎関節突起間部の疲労骨折であり、成長期スポーツ選手の腰部障害のうち42%を占める¹⁾。

腰椎分離症の発生因子としては、二分脊椎や椎間関節の前額面化といった構造的因子に加え²⁾、過剰な腰椎前弯姿勢や股関節屈曲筋群の柔軟性低下、体幹筋力低下などの身体機能的因子^{3), 4)}についての報告が散見される。さらに、腰椎分離症は実施競技により罹患率が異なり、野球やソフトボールなど非対称的な身体運動を行う競技で好発すると報告されている⁵⁾。腰椎分離症の発生要因となる過剰な腰椎伸展・回旋運動に関連する身体機能については、上肢挙上制限や股関節可動域制限による代償運動として腰椎伸展・回旋運動を引き起こすことが報告されており^{6), 7)}、腰椎分離症患者においても全身的な身体機能評価の必要性が考えられる。しかし、腰椎分離症患者に対し全身的な身体機能を競技別に調査した報告は少なく、一定の見解は得られていない。

そこで本研究では、腰椎分離症をオーバーヘッド競技群とその他競技群に分類し、全身的な身体機能を比較検討する事を目的とした。オーバーヘッド競技選手は、その他の競技選手と比較し肩甲帯・上肢機能が低値を示すと仮説を立てた。

2. 対象

2022年4月から2024年4月の間に、腰痛により当院を受診した18歳以下の患者のうち、X線、Magnetic Resonance Imaging(MRI)、Computed Tomography(CT)のいずれかで腰椎分離症と診断された114名を対象とした。除外基準は、再発患者、データに不備のあった患者とした。対象者には、ヘルシキ宣言に従い口頭で説明を行い、書面にて同意を得た。本研究は医療法人貴島会倫理委員会の承認を得て実施した(倫理番号 2024-002D)。

3. 方法

対象者の患者背景および罹患状況、身体機能を調査した。患者背景および罹患状況としては、年齢、性別、既往歴、身長、体重、競技種目、分離罹患高位、多椎骨分離の有無、分離罹患部位(両側、片側)、病期(超初期、初期、進行期、終末期)を評価した。身体機能評価としては、初回理学療法評価時に、肩関節屈曲可動域、肩峰床距離、胸椎回旋可動域、修正 Thomas test での股関節屈曲角度、下肢伸展挙上角度、踵殿間距離、股関節内旋可動域、股関節外旋可動域の8項目を両側測定した(図1)。これらは全て一人の理学療法士が測定した。身体機能項目は、それぞれ左右の平均値を算出した。

対象者を競技種目により、オーバーヘッド競技群(野球、ソフトボール、バレーボール、テニス、ハンドボール)とその他競技群(オーバーヘッド競技以外の競技)の二群に分類し、患者背景および罹患状況、身体機能を比較検討した。さらに、身体機能で有意差を認めた項目については、各群において利き手側と非利き手側で比較検討した。統計処理は、Shapiro Wilk 検定により各データの正規性を確認したのち、正規性を認めた比率尺度の項目はt検定、正規性を認めなかった比率尺度の項目はMann Whitney U検定を用いた。名義尺度の項目は χ^2 検定またはFisherの正確確率検定を用いた。各検定とも有意水準は5%未満とした。統計学的分析には統計解析ソフト SPSS Ver28.0を使用した。

4. 結果

腰椎分離症と診断された114名のうち、腰椎分離症再発患者5例、データに不備のあった11例を除外した結果、98例(男性75例、女性23例、平均年齢 14.9 ± 1.9)が本研究の対象となった。対象者のうちオーバーヘッド競技群57名(男性46例、女性11例、平均 14.9 ± 1.9 歳)、その他競技群41例(男性29例、女性12例、平均年齢 14.9 ± 2.1 歳)であった。競技種目については、オーバー

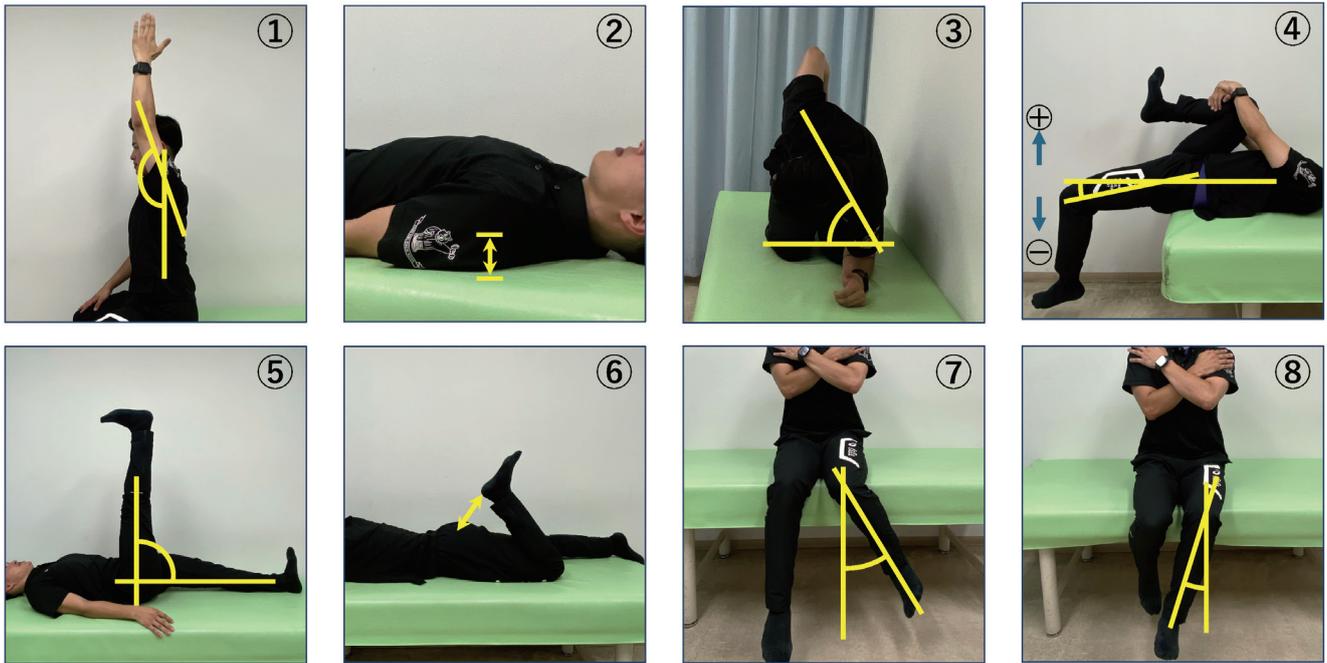


図1. 身体機能評価

- ①肩関節屈曲可動域 ②肩峰床距離 ③胸椎回旋可動域 ④Thomas test股関節屈曲角度
 ⑤下肢伸展挙上角度 ⑥踵殿間距離 ⑦股関節内旋可動域 ⑧股関節外旋可動域

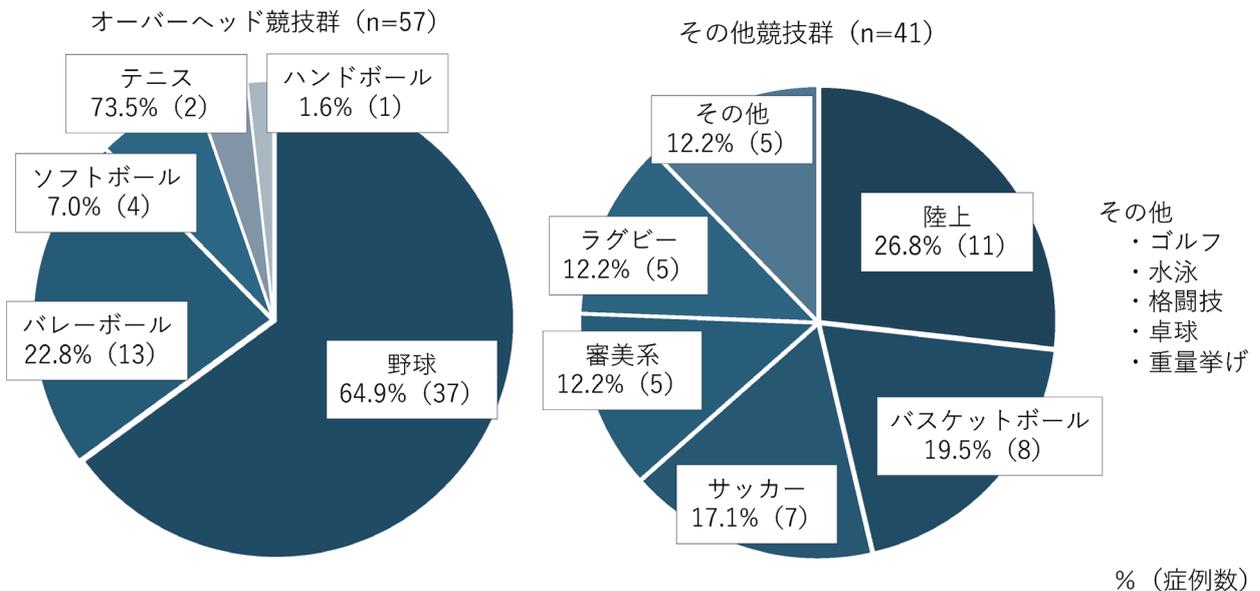


図2. 実施競技の内訳

ヘッド競技群は野球 37 例、バレーボール 13 例、ソフトボール 4 例、テニス 2 例、ハンドボール 1 例、その他競技群は、陸上競技 11 例、バスケットボール 8 例、サッカー 7 例、審美系競技 5 例、ラグビー 5 例、格闘技 1 例、ウエイトリフティング 1 例、卓球 1 例、ゴルフ 1 例、水泳 1 例であった (図 2)。分離罹患部位においてオーバーヘッド競技群は片側分離 31 例 31 分離、両側分離 19 例 38 分離、多椎骨分離 7 例 19 分離の計 88 分離、その他競

技群は片側分離 23 例 23 分離、両側分離 11 例 22 分離、多椎骨分離 7 例 25 分離の計 70 分離であり二群間に有意差は認められなかった。体格では、オーバーヘッド競技群はその他競技群に比べ有意に体重が高値であった ($P=0.025$)。また身体機能項目では、オーバーヘッド競技群はその他競技群に比べ肩関節屈曲可動域で有意に低値を示した ($P<.001$)。その他の項目で有意差は認められなかった (表 1, 2)。有意差を認めた肩関節屈曲可動域について、オー

表1. 患者背景および罹患状況

項目	オーバーヘッド競技群 (n=57)		その他競技群 (n=41)		P値
	平均値±標準偏差		平均値±標準偏差		
年齢 (歳)	14.9±1.9		14.9±2.1		.820
身長 (cm)	168.8±9.1		165.9±10.0		.130
体重 (kg)	61.7±10.9		57.6±13.5		.025*
性別 (男:女)	46:11		29:12		.251
罹患高位 (L5:L4:L3:L2)	58:21:5:4		48:19:1:2		.502
多椎骨分離の有無 (有:無)	7:50		7:34		.504
分離部位 (両側:片側)	24:33		18:23		.859
病期 (超初期:初期:進行期:終末期)	7:40:19:22		4:34:10:22		.557

*: P<.05

表2. 身体機能

項目	オーバーヘッド競技群 (n=57)		その他競技群 (n=41)		P値
	平均値±標準偏差		平均値±標準偏差		
肩関節屈曲可動域 (°)	172.5±7.1		177.1±4.9		<.01**
肩峰床距離 (cm)	4.1±1.0		4.1±1.1		.918
胸椎回旋可動域 (°)	39.9±12.6		41.6±13.7		.530
Thomas test股関節屈曲角度 (°)	7.4±5.3		6.4±5.8		.718
下肢伸展拳上角度 (°)	74.3±11.3		78.4±13.3		.106
踵殿間距離 (cm)	12.2±5.1		11.2±2.3		.206
股関節内旋可動域 (°)	34.1±9.8		31.5±8.3		.240
股関節外旋可動域 (°)	31.4±7.6		32.5±5.4		.416

**: P<.01

表3. 身体機能の利き手側と非利き手側の比較

項目	オーバーヘッド競技群 (n=57)			その他競技群 (n=41)		
	利き手側	非利き手側	P値	利き手側	非利き手側	P値
肩関節屈曲可動域 (°)	170.5±	8.5	.012*	174.4	7.0	.296

*: P<.05

バーヘッド競技群では利き手側が非利き手側に比べ有意に低値を示した ($P < .05$). その他競技群では有意差を認めなかった (表 3).

5. 考察

本研究は、腰椎分離症患者を実施競技によりオーバーヘッド競技群とその他競技群に分類し、患者背景および身体機能を比較検討した。オーバーヘッド競技群はその他競技群に比べ、有意に体重が高値であり、肩関節屈曲可動域が低値であった。さらにオーバーヘッド競技群では利き手側の肩関節屈曲が非利き手側に比べ有意に低値であった。

競技種目と体重の関係について、田中ら⁸⁾は種目別に体格を比較した結果、陸上選手や体操選手はその他の競技選手よりも体重が低値であることを報告している。本研究におけるその他競技群の内訳は、陸上競技選手 27%、審美系競技選手 12%であった。さらにはその他競技群の女性の割合は 29%とオーバーヘッド競技の 19%に比べて有意差はないものの高値であり、これらの影響により体重で有意差を認めたと考える。

身体機能評価では、肩関節屈曲可動域で有意差を認め、オーバーヘッド競技群で低値を示した。腰部障害と身体機能の関連を調査した過去の報告では、腰部障害には大腿筋群の柔軟性低下や体幹筋機能低下などの多要因が関連するとされている^{9), 10)}。その中でも、オーバーヘッド競技選手を対象とした調査では、腰部障害なし群に比べ腰部障害あり群は肩関節可動域制限が低値を示したと報告されており¹¹⁾、本研究の腰椎分離症患者においてもそれらを支持する結果であった。

上肢挙上動作と腰椎運動の関連について、甲斐ら¹²⁾は上肢挙上動作には腰椎伸展および胸椎伸展が必要であると報告している。また Matsuzawa ら¹³⁾は上肢最大挙上時の脊柱アライメントを X 線にて調査し、腰椎分離症患者は腰痛のない者に比べ、過剰な腰椎伸展が生じていると報告している。さらに本研究ではオーバーヘッド競技群にのみ肩関節屈曲可動域について利き手側と非利き手側で差を認め、利き手側が低値を示した。Theodoridis ら¹⁴⁾は上肢挙上中の脊柱の挙動を調査し、片側上肢挙上中には胸椎が同側に回旋することを報告している。これらのことから、本研究のオーバーヘッド競技群においても肩関節屈曲可動域制限による、上肢挙上時の過剰な腰椎伸展運動に加え、非対称な肩関節可動域により片側上肢挙上時における胸腰椎での代償的な回旋運動の増大が腰椎分離症の発生に関連している可能性が示唆された。

また本研究では、肩関節屈曲可動域以外の項目においては二群間で有意差は認めなかった。腰椎分離症患者の身体機能の特徴について、Kemmochi ら⁴⁾は腰椎分離症とそれ以外の腰痛患者の股関節周囲筋の柔軟性を調査し、腰椎分離症患者は骨盤周囲筋の柔軟性低下が 70%以上の患者に認めたと報告している。さらに Iwaki ら¹⁵⁾は腰椎分離症患

者の身体機能は実施競技によって異なるもの大腿直筋、ハムストリングス、股関節外旋筋群は全ての競技において 60%以上の患者に柔軟性低下を認めたと報告している。これらのことから、下肢柔軟性低下については、実施競技に関係なく腰椎分離症患者の身体機能の特徴として認めることが考えられ、本研究の二群間においては有意差を認めなかったと考える。

本研究の限界は、身体機能評価において左右の平均値を用いていることである。Friesen ら¹⁶⁾は、オーバーヘッド競技選手の身体機能に左右差があることを報告しているが、本研究では有意差を認めた肩関節屈曲可動域以外については考慮できていない。次に、後ろ向き観察研究のため、腰椎分離症の発生と身体機能の因果関係は明らかでないことが挙げられる。前向きコホート研究を行うことで身体機能と腰椎分離症の発生との因果関係を明らかにできる可能性がある。

6. 結語

本研究では、腰椎分離症患者をオーバーヘッド競技群とその他競技群に分類し、患者背景および罹患状況、身体機能を比較検討した。オーバーヘッド競技群は体重が高値であり、肩関節屈曲可動域が低値であった。さらに、オーバーヘッド競技群は肩関節屈曲可動域で利き手側と非利き手側に差を認めた。肩関節屈曲可動域と腰椎分離症発症の因果関係は本研究では不明であり今後調査検討を要するが、腰椎分離症患者の治療および再発予防の観点において、オーバーヘッド競技選手は体幹や下肢のみではなく、上肢帯の評価と介入が必要である可能性が示唆された。

利益相反

開示すべき利益相反は無し。

参考文献

- 1) Li J et al: Incidence of lumbar spondylolysis in athletes with low back pain : A systematic evaluation and single-arm meta-analysis, *Medicine*, 102 (38); e 34857, 2023.
- 2) Masharawi YM et al.: Lumbar facet orientation in spondylolysis: a skeletal study, *Spine*, 32(6); E 176 - 80, 2007
- 3) Yin J et al: Difference of Sagittal Lumbosacral Parameters between Patients with Lumbar Spodyllyolysis and Normal Adults, *Chin Med*, 129 (10); 1166 - 1170, 2016.
- 4) Kemmochi M et al.: Association between reduced trunk flexibility in children and lumbar stress fractures, *J Orthop*, 15 (1); 122 - 127, 2018.
- 5) Tawfik S et al: The incidence of Pars Interarticularis Defects in Athletes, *Global Spine J*, 10 (1); 98 - 101, 2020.
- 6) Fayad F et al: The trunk as a part of the kinematic chain for arm elevation in healthy subjects and in patients with frozen shoulder, *Brain Res*, Jan 29 (1191); 107 - 115, 2008.
- 7) Sadeghisani M et al: Lumbopelvic-Hip Rhythm in People with Lumbar Flexion-with-Rotation Syndrome during Hip Internal Rotation, *Med J Islam Repud Iran*, 24 (37); 58, 2023.

- 8) 田中信雄ら: スポーツマンの体格および体型に関する研究 — 競技種目別による運動選手の体格の差異について —, 体力科学, 26; 114 - 123, 1997.
- 9) Feldman DE et al.: Risk factors for the development of low back pain in adolescence, Am J Epidemiol, 154 (1); 30 - 36, 2001.
- 10) Potthoff T et al.: A systematic review on quantifiable physical risk factors for non-specific adolescent low back pain, J Pediatr Rehabil Med, 11 (2); 79 - 94, 2018.
- 11) Narita T et al.: Critical factors for the prevention of low back pain in elite junior, Br J Sports Med, 48(11); 919 - 923, 2014
- 12) 甲斐義浩ら: 上肢挙上角と脊柱彎曲との関係 — 健常成人における検討 —, 理学療法科学, 25 (1); 19 - 22, 2010.
- 13) Matsuzawa K et al.: Spine Alignment in Standing and Maximal Upper Limb Elevation in Baseball Players with Lumbar Spondylolysis and Those without Low Back Pain, Int J Environ Res Public Health, 20 (4); 3231, 2023.
- 14) Theodoridis D et al.: The effect of shoulder movements on thoracic spine 3D motion, Clin Biomech, 17; 418 - 421, 2002.
- 15) Iwaki K et al.: Physical features of pediatric patients with lumbar spondylolysis and effectiveness of rehabilitation, J Med Invest, 65 (3. 4); 177 - 183, 2018.
- 16) Friesen KB et al.: An Investigation of Bilateral Symmetry in Softball Pitchers According to Body Composition, Front Sports Act Living, 4; 868518, 2022.

下肢高強度インターバルトレーニングが上肢運動時および 下肢運動時の最大酸素摂取量に及ぼす影響

和多田智樹¹⁾, 伊藤 剛²⁾, 嶋田 愛²⁾, フィーリー真利奈²⁾, 坪田 尚悟¹⁾, 仲田 秀臣^{1), 2)},
澤井 亨¹⁾, 大槻 伸吾^{1), 2)}, 宮本 忠吉^{1), 2)}

1) 大阪産業大学 スポーツ健康学部

2) 大阪産業大学大学院 人間環境学研究科

1. 背景・目的

最大酸素摂取量 ($V_{O_{2max}}$) は、個人の有酸素運動能力を示す重要な指標であり、最大心拍出量と動静脈酸素格差の積として定義される¹⁾。その $V_{O_{2max}}$ は運動パフォーマンスと密接に関連しており、トレーニングを積んだアスリートでは高値を示す一方、心疾患患者では低値を示すことが広く知られている²⁾。また、 $V_{O_{2max}}$ を制限する主な生理学的要因として、肺拡散能、最大心拍出量、血液の酸素運搬能力、そして骨格筋の特性が挙げられる²⁾。

先行研究により、上肢運動時と下肢運動時の $V_{O_{2max}}$ に明確な差異が存在することが報告されている³⁾。上肢運動時の $V_{O_{2max}}$ は下肢運動時の約 70% に留まることが示されており、この差異は主に運動中の最大心拍出量の違いによると考えられている。ただし、上肢を重点的にトレーニングしているアスリートでは、上肢運動時の $V_{O_{2max}}$ が下肢運動時の値に近づくか、場合によっては上回ることが報告されている⁴⁾。

全身運動時の最大心拍出量の制限は、下肢運動に上肢運動を追加しても $V_{O_{2max}}$ が大幅に向上しないことから示唆されている^{3), 5)}。この現象は、動脈圧受容器反射による

末梢血管の収縮に起因していると考えられる。すなわち、交感神経活動が血圧を維持するために重要な役割を果たし、同時に運動中の筋肉への血流をも制限すると考えられている⁶⁾。下肢トレーニングが下肢運動時の $V_{O_{2max}}$ を向上させることは広く確認されており^{1), 2)}、近年では高強度インターバルトレーニング High-Intensity Interval Training (HIIT) の効果が注目されている。我々の先行研究 (表 1)⁷⁾ でも、週 1 回の HIIT が心肺機能を効果的に改善することが示されている。しかし、下肢トレーニングが上肢運動時の $V_{O_{2max}}$ に及ぼす影響については十分に検討されていない。

そこで本研究では、下肢運動を対象とした HIIT が、下肢運動時のみならず上肢運動時の $V_{O_{2max}}$ にも及ぼす影響を詳細に検討することを目的とした。

2. 方法

1) 対象

対象は、体育会スキー部に所属する 9 名 (年齢: 20.6 ± 3.4 歳, 男性 7 名, 女性 2 名) であった。なお、身体特性 (身長: 169.5 ± 7.5 cm, 体重: 63.9 ± 8.6 kg) については

表 1. 週 1 回の運動トレーニングにおけるプロトコルの違いが最大酸素摂取量および運動パフォーマンスに及ぼす影響：先行研究のまとめ

強度	セット数	期間	対象者	年齢	最大酸素摂取量	最大到達負荷量	最大運動継続時間	我々の先行研究
80%WRmax	3セット	週1回・12週間	大学生 男性：7名	20±2歳	13%UP	9%UP	92%UP	Nakahara H et al.: Low-frequency severe-intensity interval training improves cardiorespiratory functions, <i>Medicine & Science in Sports & Exercise</i> , 47, 789-798, 2015
90%WRmax	3セット	週1回・8週間	アスリート 男性：7名	20±1歳	12%UP	16%UP	72%UP	伊藤ら, 低強度・高強度インターバルトレーニング (HIIT) がアスリートの高強度運動時の呼吸循環機能に及ぼす影響, 61(1) 1-8, 2023
95%WRmax	3セット	週1回・8週間	大学生 男性：11名	20±2歳	13%UP	13%UP	95%UP	Ito G et al.: High-intensity interval training improves respiratory and cardiovascular adjustments before and after initiation of exercise, <i>Frontiers in Physiology</i> , 15, 1227316-1227316, 2024
80%WRmax	1セット	週1回・8週間	一般 男性：4名 女性：7名 (69歳男性1人・66歳女性1人を含む)	37±17歳	10%UP	13%UP	37%UP	嶋田ら, 週1回の高強度の持続的運動トレーニングが健康者の呼吸循環調節機能に及ぼす影響, <i>生体医工学</i> 61(1) 22-30, 2024

トレーニング前後で有意な変化は認めなかった。各対象には、すべての実験内容および測定手順を詳細に説明し、実験参加に伴う目的・潜在的なリスクに関する理解も得たうえで、実験参加の意志を確認し、同意を得た選手とした。当該研究は大阪産業大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」(No.2020-21) の了承の下で行われた。

2) 実験手順とプロトコル

対象には、トレーニング開始2週間前に、上肢・下肢エルゴメータ (75XL III, Combi wellness Co) (図1. A, B) を用いた最大運動負荷 (ランプ負荷) 試験で、上肢運動および下肢運動の VO_{2max} を測定した。その後1週間後から、下肢 HIIT を週1回、80%強度で5セット、疲労困憊に至るまでトレーニングを8回実施し、セット間の休息は3分間とした (図2)。トレーニング終了後には、開始前と同様の測定項目にて再測定を行った。なお、試験の実施前24時間は、激しい運動や塩分の多い食事を避けること、各試験の4時間前には、食事、アルコール、およびカフェインの摂取を控えるように指示した。

3) 最大運動負荷 (ランプ負荷) 試験

ランプ負荷試験は、3分間の安静後、3分間の20Wの一定負荷でウォーミングアップを実施し、30W/minのランプ負荷を用いて疲労困憊に至るまで運動を行わせ、その際の呼気ガスを分析装置を用いて呼吸循環機能を連続測定した。また、ペダル回転数は60~70 rpmに保ち、回転数が50rpm以上を維持できなくなるまで運動を継続させた⁸⁾。なお、 VO_{2max} の到達基準は、負荷量にもかかわらず酸素摂取量 (VO_2) がプラトーであり、呼吸交換比が1.10以上であることとした。

4) トレーニング内容 (下肢 HIIT)

下肢 HIIT は、自転車エルゴメータを用いて実施し、トレーニングの強度は、ランプ負荷で求めた最大到達負荷量 (WRmax) の80% (80%WRmax) とし、高強度の一定負荷を疲労困憊まで継続させた。疲労困憊の定義は、回転数50rpm以上を維持できなくなるまで運動を継続した。運動開始から疲労困憊に至るまでの時間をExhaustion Timeとした。トレーニング中は、60~70rpmの範囲を維持するよう指示した。

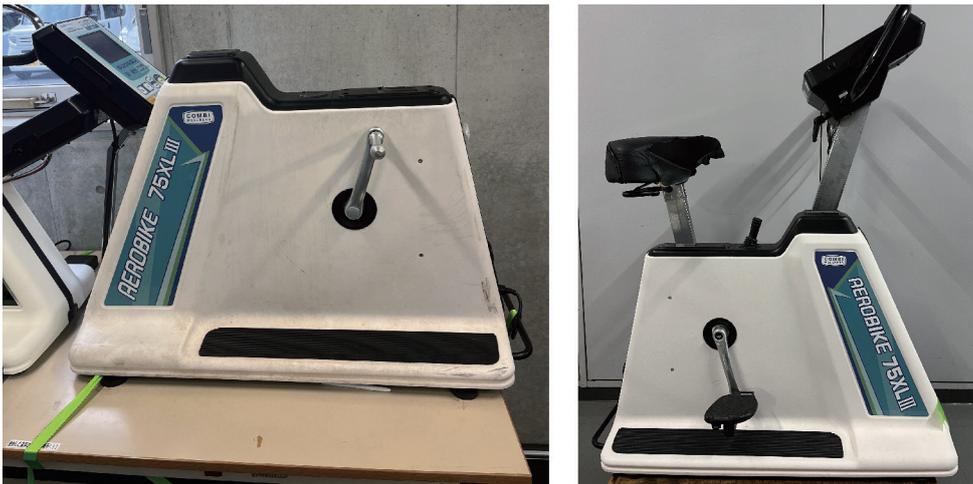


図1. A. 上肢エルゴメータ B. 下肢エルゴメータ

実験手順とプロトコル

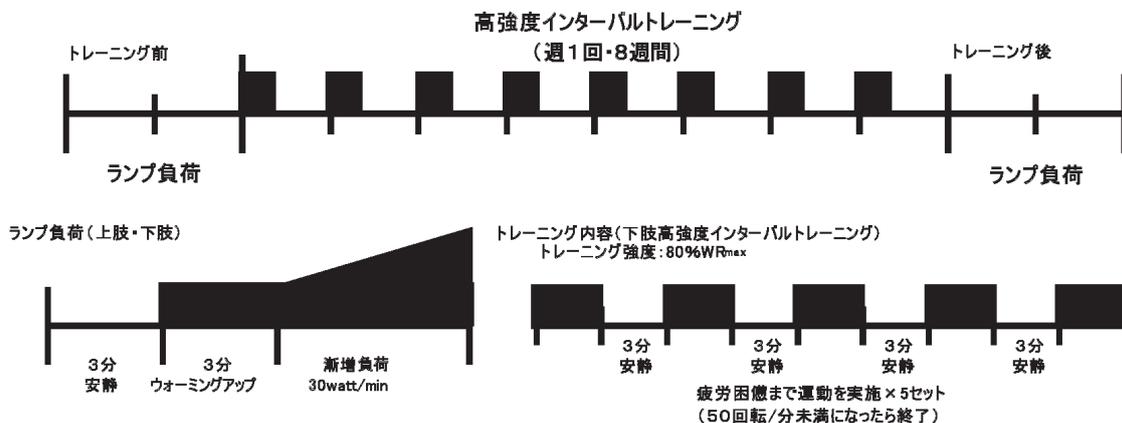


図2. 高強度インターバルトレーニング (HIIT) 実験プロトコルの概要

5) 実験装置

呼気ガス分析諸量の測定は、呼気ガス分析装置 (ARCO2000-MET) による breath by breath 法にて検出された呼吸流量、CO₂ および O₂ 濃度の時系列信号は、すべてアナログ・デジタル変換器を介して 200Hz のサンプリング周波数で連続的に記録した。200Hz のサンプリング周波数で連続的にパーソナルコンピュータに取り込み、我々が独自に開発した解析プログラムを用いてオフラインデータ処理を行った。

6) 統計処理

ランブ負荷での呼気ガス分析諸量の時系列データは、10 秒間の平均データとして算出し、最大値 (max 値) の評価は 10 秒の平均データを採用した。全ての測定値は、平均値 ± 標準偏差で表した。トレーニング前後で最大酸素摂取量は、対応のある t 検定を用いた。8 週間の HIIT 期間中における疲労困憊までの運動持続時間の変化は、疲労困憊までの運動持続時間の変化を評価するために、繰り返しのある一元配置分散分析 (repeated measures one-way ANOVA) を実施した。有意な主効果が認められた場合、Tukey の HSD 法を用いた事後検定を行った。すべての統計解析は IBM SPSS Statistics を用いて実施し、有意水準は $p < 0.05$ に設定した。

3. 結果

2 か月間にわたり計 8 回実施した下肢 HIIT の効果を分析した結果、複数の指標において顕著な改善が観察された。各トレーニングセッションにおける 1 セット目の最大運動持続時間に著しい向上がみられた。疲労困憊までの運動持続時間は、トレーニング期間を通じて有意な変化を示した ($F(7, 56) = 9.194, p < 0.001$)。初回測定時の平均値は 247 秒 (95% 信頼区間: 171-324 秒) であり、これを基準値 (100%) とした場合、2 週目には 112.9% の 279.33

秒 (203-355 秒)、3 週目には 124.1% の 307.11 秒 (231-383 秒) と段階的な向上を示した。4 週目には初期値の 177.1% となる 438 秒 (362-514 秒) まで有意な増加を示し ($p = 0.0395$)、6 週目には最高値である初期値の 239.8% の 593 秒 (517-669 秒) に達した。その後、わずかな低下傾向を示したものの、8 週目においても初期値の 203.1% となる 502 秒 (426-578 秒) と有意に高い水準を維持した ($p = 0.0016$)。繰り返しのある一元配置分散分析の結果、トレーニングによる有意な主効果が認められた ($F(7, 56) = 9.194, p < 0.001$)。また Tukey の多重比較検定の結果、4 週目以降の全ての測定値が初期値と比較して有意に高値を示した (全て $p < 0.05$)。なお、4 週目から 8 週目の測定値間には有意差は認められず、パフォーマンスの向上は 4 週目でプラトーに達したことが示唆された (図 3)。

WRmax においても、トレーニング前後で有意な増加が確認された。下肢の WRmax はトレーニング前の約 280 W から約 320 W へと約 14% 増加し ($p < 0.001$)、非トレーニング肢である上肢でも約 180 W から約 210 W へと 17% の有意な増加が見られた ($p < 0.001$) (図 4. A, B)。個別データ分析では、ほぼすべての対象が同一線 (Identity line) より上側にプロットされ、上肢および下肢ともに WRmax が向上したことが明確に示された (図 4. C)。VO_{2max} も同様に顕著な改善を示した。下肢運動時の VO_{2max} は約 2.5L/min から約 3.1L/min へと約 24% 増加し ($p < 0.001$)、上肢運動時においても約 1.8L/min から約 2.3L/min へと約 28% 増加した ($p < 0.001$) (図 5. A, B)。個別データ分析では、ほとんどの被験者のプロットが同一線より上側に位置し、下肢 HIIT が下肢のみならず上肢運動時の VO_{2max} も向上させたことが裏付けられた (図 5. C)。一方、下肢 / 上肢酸素摂取量比は、トレーニング前後で約 70% とほぼ変化がなく、統計的な有意差は認められなかった (図 6. A)。個別データでは、同一線を挟んで上下にはばらつきがあり、個人差が大きいことが示唆された (図 6. B)。

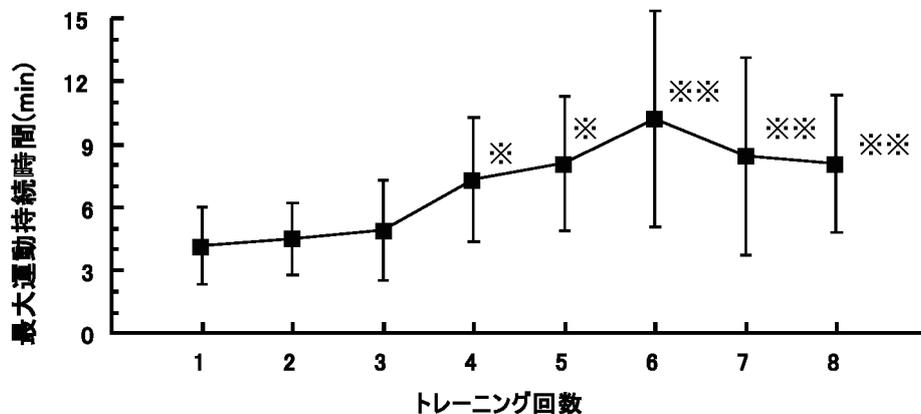


図3. 8週間の下肢高強度インターバルトレーニング期間中における疲労困憊までの運動持続時間の変化
データは平均値 ± 標準偏差値を示す。

※はトレーニング1回目の初期値との有意差を示す (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$)。

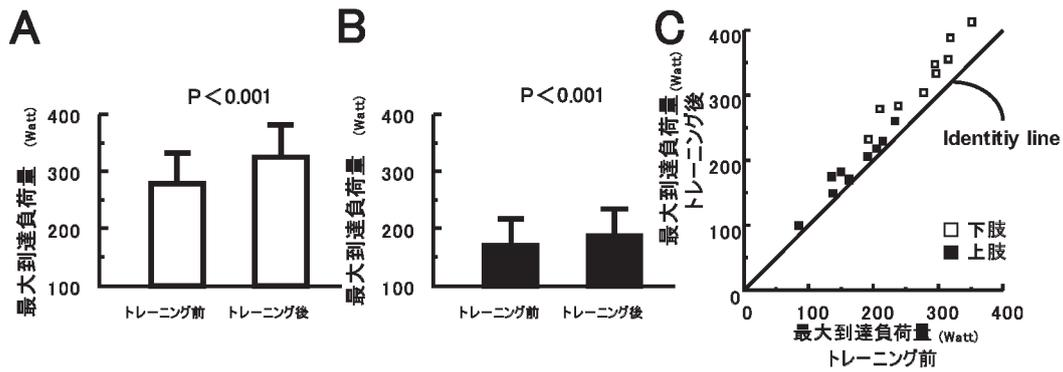


図4. 下肢高強度インターバルトレーニング前後における最大到達負荷量の変化
 A. 下肢のランブ負荷試験における最大到達負荷量の変化
 B. 上肢のランブ負荷試験における最大到達負荷量の変化
 C. 個別被験者のトレーニング前後における上肢と下肢の最大到達負荷量の比較

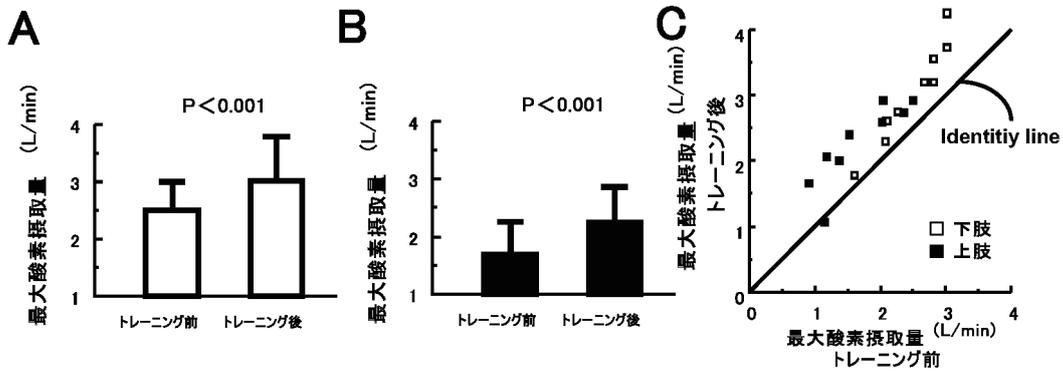


図5. 下肢高強度インターバルトレーニング前後における最大酸素摂取量の変化
 A. 下肢のランブ負荷試験における最大酸素摂取量の変化
 B. 上肢のランブ負荷試験における最大酸素摂取量の変化
 C. 個別被験者のトレーニング前後における上肢と下肢の最大酸素摂取量の比較

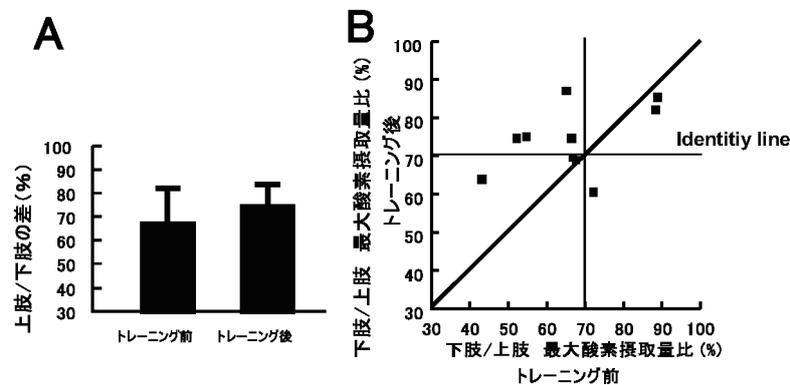


図6. トレーニング前後における下肢/上肢最大酸素摂取量比の変化
 A. トレーニング前後の下肢/上肢最大酸素摂取量比の平均値比較
 B. 各被験者におけるトレーニング前後の下肢/上肢最大酸素摂取量比の変化

4. 考 察

本研究は、8週間の下肢 HIIT が上下肢の V_{O_2max} および運動パフォーマンスに及ぼす影響を検討した。その結果、下肢 HIIT は下肢運動時だけでなく、非トレーニング肢である上肢運動時の V_{O_2max} も顕著に向上させることが明らかになった。特に、すべての指標において、下肢運動時と上肢運動時の両方で顕著な向上が観察されたことは注目に値する。一方、個人間での改善度のばらつきも大きく、HIIT の効果に個人差が存在することも明らかとなった。この知見は、HIIT が全身の心肺機能や代謝系に広範な影響を与えることを示唆している。

本研究における下肢 HIIT の下肢運動時 V_{O_2max} の約 24% の向上は、我々の先行研究 (表 1) で報告された 8 ~ 16% の改善効果を大きく上回るものであった。さらに、各トレーニングセッションにおける 1 セット目の最大運動持続時間においても約 2 倍の変化が生じ、個体によっては 3 倍もの変化が観察された。これは我々の先行研究の結果 33 ~ 92% と比較しても最も高い改善効果を示すものであった。HIIT の先行研究では 80% と 95% の強度の違いが V_{O_2max} に及ぼす効果には強度の差が認められなかったことを考慮すると、本研究の 5 セット方式が V_{O_2max} の向上において、他の条件よりも大きな効果をもたらした可能性が高い。この結果は、HIIT の強度と量が適切に設定されれば、さらなる生理学的適応が可能であることを示唆している。

本研究で得られた新規の知見として特筆すべきは、下肢トレーニングが上肢運動時の V_{O_2max} に顕著な影響を与えた点である。全対象において、上肢運動時の V_{O_2max} が約 37% 有意に増加し、下肢 / 上肢最大酸素摂取量比に有意な変化がみられなかったことは、上肢運動時と下肢運動時の改善が同程度であったことを示唆している。下肢 HIIT によって上肢運動時の V_{O_2max} が向上するメカニズムとしては、全身の心血管系の適応が考えられる。Fick の式によれば、 V_{O_2} は最大心拍出量と動静脈酸素格差の積で表される。Secher et al.³⁾ が提唱したように、本研究の下肢 V_{O_2max} 向上のメカニズムは、最大心拍出量の増大が主要因であり、これが下肢トレーニングによる上肢運動時の酸素供給能力向上にも寄与したと考えられる。さらに、Saltin et al.⁶⁾ が示唆するように、HIIT による交感神経活動の変化や動脈圧受容器反射の適応が、全身の血流調整と酸素供給能力の向上に寄与した可能性がある。これらの知見は、HIIT が局所的な筋適応だけでなく、全身的な心血管系の適応を引き起こすという仮説を支持するものである。Jackson et al.⁵⁾ の研究でも報告されているように、上下肢の運動が全身の酸素供給能力に及ぼす影響は相互的であり、本研究の結果はこの概念を強く支持するものである。

本研究の結果から得られた適応メカニズムを今後さらに探求するためには以下の詳細な検討が必要と考えられる。1 つ目は局所的な筋適応の評価である。Fick の式 ($V_{O_2} =$ 心

拍出量 \times 動静脈酸素格差) に基づけば、本研究で観察された V_{O_2max} の増大は、心拍出量の増加か、動静脈酸素格差の拡大、もしくはその両方によってもたらされたと考えられる。特に、局所的な筋適応を評価するためには、活動筋における最大酸素抽出能力の向上効果を検証する必要がある。これには、トレーニング前後での最大心拍出量の測定と、Fick の式を用いた動静脈酸素格差の算出、あるいは最大運動時における動脈および静脈酸素分圧の直接測定などが有効である。これらの手法を用いて上肢運動時における V_{O_2max} 増大の生理学的メカニズムをより詳細に検討していく必要がある。

本研究によって得られた上記知見は、下肢運動に特化した HIIT の効果が局所的な筋適応を超えて、全身的な生理学的変化を引き起こす可能性を示している。この成果は、アスリートや一般人のトレーニングプログラムに対する有用性を示唆するだけでなく、心疾患患者や高齢者のリハビリテーションプログラムにも下肢 HIIT を取り入れることの有用性も示唆するものである。しかしながら、本研究のトレーニング期間が 8 週間と比較的短期間であったことから、長期的な効果については更なる検証が必要である。今後の課題としては、これらの効果の長期的な持続性や、異なる年齢層や健康状態の個人における効果の検証が挙げられる。さらに、HIIT による全身的な適応のメカニズムの詳細な解明には、より侵襲的な手法を用いた研究と詳細な生理学的分析が必要である。

参考文献

- 1) Joyner MJ et al. : Central cardiovascular system limits to aerobic capacity, *Experimental Physiology*, 106 (12), 2299-2303. 2021
- 2) Bassett DR et al. : Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (1), 70-84. 2000
- 3) Secher NH et al. : Are the arms and legs in competition for cardiac output? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38 (10), 1797-1803. 2006
- 4) Secher NH et al. : Central and regional circulatory effects of adding arm exercise to leg exercise, *Acta Physiologica Scandinavica*, 100 (3), 288-297. 1977
- 5) Jackson RC et al. : The effect of arm exercise on lower extremity blood flow in man, *Acta Physiologica Scandinavica*, 138 (3), 311-316. 1990
- 6) Saltin B et al. : Skeletal muscle blood flow in humans and its regulation during exercise, *Acta Physiologica Scandinavica*, 162 (3), 421-436. 1998
- 7) Nakahara H et al. : Low-frequency severe-intensity interval training improves cardiorespiratory functions, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47, 789-798. 2015
- 8) Wasserman K, NH et al. : A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*. 1986 ; 60 (6): 2020-2027

中年一般市民ランナーにおける足趾把持筋力、足部形態、 バランス能力の特徴と足部足関節傷害との関係

濱口 幹太¹⁾, 露口 亮太^{1), 2)}, 小林 実優^{1), 2)}, 山方 諒平³⁾, 橋本 雅至⁴⁾, 仲田 秀臣^{1), 2)},
大槻 伸吾^{1), 2)}

1) 大阪産業大学 スポーツ健康学部

2) 大阪産業大学大学院 人間環境学研究科

3) 摂南大学 農学部

4) 奈良学園大学 保健医療学部

目 的

20歳以上のジョギング・ランニング実施率（年1回以上）は8.5%（推定人口：約877万人）と報告されており¹⁾、国民のリクリエーションスポーツとして広く普及している。しかし、一般市民ランナーにおけるランニング障害の発生率は、76.0%と高く、その発生傷害部位は、膝関節や足関節など下肢に集中している²⁾。以上のことから、ランナーにおいてはランニングパフォーマンスの向上と同時に、傷害予防も重要となる。

足部はランニングにおいて唯一地面と接する部位であり、身体全体の動作を制御する上で重要な役割を担っている³⁾。その足部の機能の一部である足趾把持筋力は、短母趾屈筋、長母趾屈筋などの作用により起こる複合運動であり⁴⁾、その筋力は50m走の疾走速度などスポーツパフォーマンスに影響を与えることが報告されている⁵⁾。一方、足部形態では、正常のアーチと比して、ハイアーチでは足関節や骨、ローアーチでは膝や軟部組織にそれぞれ傷害が発生しやすいことが示されている⁶⁾。さらには、バランス能力に関するレビューでは、動的および静的バランス能力の低下は足関節の傷害リスクを高めることが示されている⁷⁾。こうしたことから、ランナーの足趾把持筋力、足部形態、バランス能力の特徴を把握しておくことは、ランニングパフォーマンスの向上や傷害の予防に役立つ可能性がある。しかしながら、中年一般市民ランナーの足趾把持筋力、足部形態、バランス能力の特徴については、渉猟した範囲では明らかではない。

そこで本研究では、中年一般市民ランナーと若年陸上競技長距離選手との間で足趾把持筋力、足部形態、バランス能力を比較し中年一般市民ランナーの特徴を把握すること、および、足部足関節傷害の既往歴の有無と足趾把持筋力、足部形態、バランス能力の関わりを検討することを目的とした。

方 法

1. 対象

対象は、男性中年一般市民ランナー20名（平均年齢 52.8 ± 7.4 歳）、男子大学生長距離選手19名（平均年齢 19.7 ± 1.3 歳）、男子高校生長距離選手21名（平均年齢 16.5 ± 0.3 歳）であった。すべての対象は測定時に下肢に整形外科的疾患や疼痛がなく、足趾や足関節に関節可動域制限のない者であった。なお、一般市民ランナーとは、週間トレーニング回数が9回以下のランナーと定義した⁸⁾。

本研究は、大阪産業大学倫理審査委員会の承認（2021-人倫-11）を受けた後、ヘルシンキ宣言の趣旨に則り、対象者および保護者には、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承認を得た。

2. 測定項目および測定方法

すべての対象者に、足趾把持筋力、足部形態、閉眼片足立ちの測定およびアンケート調査を実施した。

1) 足趾把持筋力

足趾把持筋力の測定には、足趾筋力測定器Ⅱ（竹井機器工業社 T.K.K. 3364）を用いた。測定に際しては、測定器の把持バーを対象の第1中足趾節関節に合うように調節した（図1）。測定肢位を端座位、体幹垂直位、股関節および膝関節屈曲90度位にし、両上肢は体側に下垂して椅子を把持させた状態で実施した⁹⁾（図2）。なお、左右2回ずつ測定し、左右最大値の平均値を体重で補正した体重比足趾把持筋力を採用した。

2) 足部形態

足部形態の測定には、足アーチ高測定器（竹井機器工業社 T.K.K.5831）を用いて実施した。測定は、対象者の体重の10%荷重（座位：股・膝関節90°、足関節背屈0°）と50%荷重（立位：股・膝関節伸展0°、足関節背屈0°）の2つの荷重条件で計測を行い、測定は右足で実施した（図3）。各荷重条件で、足長（踵後縁から足趾末端）、



図1. 足趾筋力測定器Ⅱ（竹井機器工業社T.K.K. 3364）
第1中足趾節関節が把持バーに合うように調節した。



図2. 足趾把持筋力の測定姿勢

足頂足長（踵後縁から第一中足趾節関節）、足背高（足長の50%地点）を計測した⁶⁾。それぞれの荷重条件でArch Height Index（以下AHI）を以下の計算式で算出した。なお、AHIは数値が大きいほどアーチ高が高いことを表している。

$$AHI = \text{足背高} / \text{足頂足長}$$

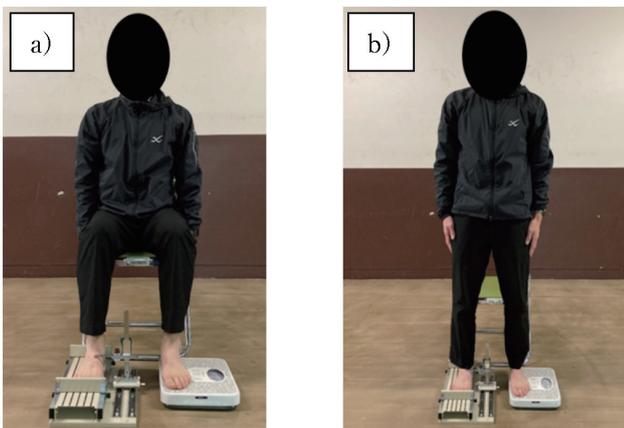


図3. 足部形態測定への荷重条件
a) 座位（10%荷重）、b) 立位（50%荷重）

3) 閉眼片足立ち

閉眼片足立ちの測定は、対象が立位姿勢から閉眼状態になり右足を測定脚とし、左足を挙上した時点で測定を開始した⁵⁾（図4）。測定中は両手を腰に当て、①両手が腰から離れる、②挙上した脚が軸脚に触れる、③挙上した脚が地面につく、④軸足が動く、のいずれか1つでも該当すれば測定を終了とした。最大計測時間は120秒とし、2回を実施し、良い記録を採用した。



図4. 閉眼片足立ちの測定姿勢

4) アンケート調査

アンケート調査は、月間走行距離、週の練習回数、1回の練習時間および足部足関節傷害の既往歴について、自記式質問紙にて回答を得た。

3. 統計処理

各データは、シャピロ-ウィルク検定を用いて正規性の有無を確認した後、記述統計として平均値および標準偏差で示した。3群間における各変数の比較は、一元配置分散分析およびテューキー法もしくはクラスカルウォリスの検定およびボンフェローニ法を用いた。また、足部足関節傷害の既往歴の有無における2群間の各変数の比較においては、マン・ホイットニーのU検定を用いた。なお、効果量はCohenの*d*を求めた。統計処理ソフトはIBM SPSS Statistics for Windows (Ver.29.0; IBM社製)を用い、統計学的有意水準は5%未満とした。

結 果

中年一般市民ランナー、大学生長距離選手および高校生長距離選手の特性を表1に示す。年齢、身長、体重、BMIは、中年一般市民ランナーが他の2群と比して、有意に高値を示し、競技歴においても中年一般市民ランナーが他の2群と比して、有意に長かった（表1）。

体重比足趾把持筋力は、中年一般市民ランナー 28.6 ±

表1. 対象の特性

項目	A：中年一般 市民ランナー (n = 20名)	B：大学生 長距離選手 (n = 19名)	C：高校生 長距離選手 (n = 21名)	p 値 (η^2)	多重比較 (d)
年齢 (yrs)	52.8 ± 7.4	19.7 ± 1.3	16.5 ± 0.3	< 0.01 [†] (0.94)	C < A (7.02) B < A (6.15) C < B (3.48)
身長 (cm)	172.2 ± 5.5	171.2 ± 5.2	168.3 ± 4.4	0.04 [†] (0.11)	C < A (0.79)
体重 (kg)	64.6 ± 8.1	56.6 ± 3.8	55.2 ± 4.4	< 0.01 [†] (0.35)	C < A (1.45) B < A (1.25)
BMI (kg/m ²)	21.7 ± 2.1	19.3 ± 1.0	19.5 ± 1.0	< 0.01 [†] (0.37)	C < A (1.35) B < A (1.45)
競技歴 (ヶ月)	178.4 ± 111.4	88.3 ± 27.2	58.3 ± 15.1	< 0.01 [†] (0.38)	C < A (1.53) B < A (1.10) C < B (1.38)

BMI：body mass index

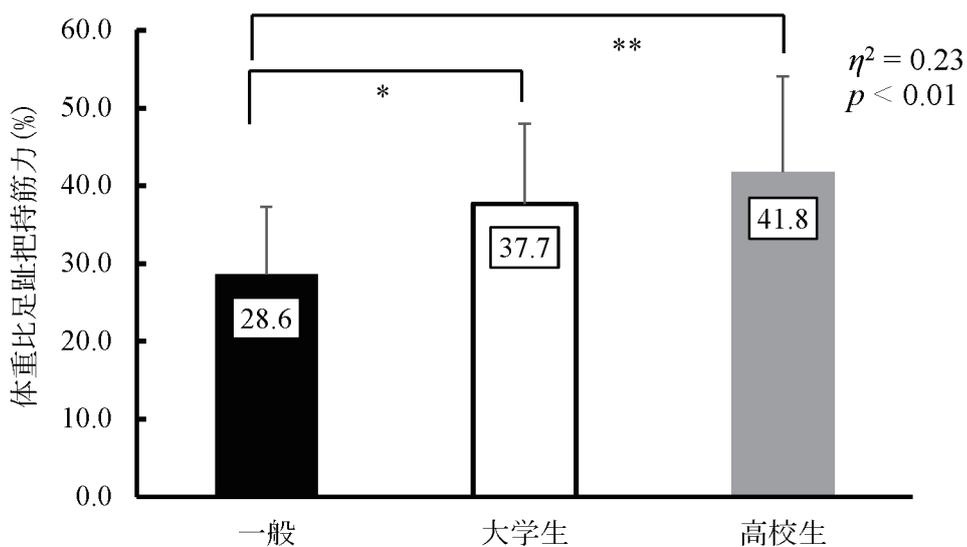
†：一元配置分散分析およびテューキー法，‡：クラスカルウォリスの検定およびボンフェローニ法

A：中年一般市民ランナー，B：大学生長距離選手，C：高校生長距離選手

8.7 kg, 大学生長距離選手 37.7 ± 10.3 kg, 高校生長距離選手 41.8 ± 12.3 kg であった。3 群間で比較したところ、各群間に有意差が示され ($\eta^2 = 0.23$, $p < 0.01$), 中年一般市民ランナーと大学生長距離選手 ($d = 0.96$, $p = 0.03$), 中年一般市民ランナーと高校生長距離選手 ($d =$

1.23, $p < 0.01$) にそれぞれ有意な差が認められた (図 5)。

10%AHI は、中年一般市民ランナー 0.346 ± 0.021, 大学生長距離選手 0.331 ± 0.024, 高校生長距離選手 0.333 ± 0.025 であり、50%AHI は、中年一般市民ランナー 0.324 ± 0.022, 大学生長距離選手 0.312 ± 0.024, 高校



一元配置分散分析およびテューキー法 *： $p < 0.05$, **： $p < 0.01$

一般：中年一般市民ランナー，大学生：大学生長距離選手，高校生：高校生長距離選手

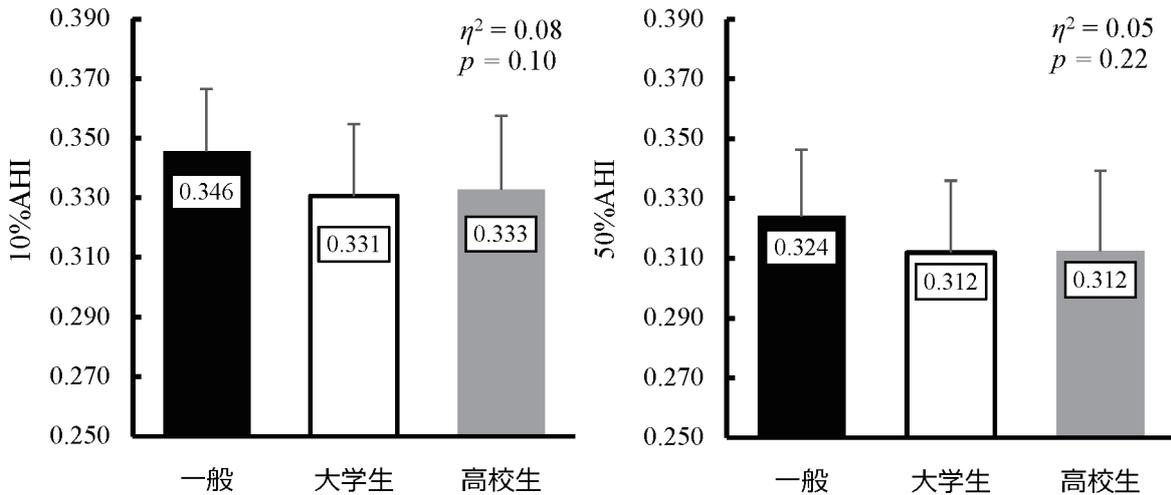
図5. 体重比足趾把持筋力の比較

生長距離選手 0.312 ± 0.027 であった。3 群間で比較したところ、10%AHI および 50%AHI ともに各群間で有意な差が認められなかった (10%AHI : $\eta^2 = 0.08$, $p = 0.10$; 50%AHI : $\eta^2 = 0.05$, $p = 0.22$; 図 6)。

閉眼片足立ちは、中年一般市民ランナー 14.9 ± 11.4 秒、大学生長距離選手 68.0 ± 49.4 秒、高校生長距離選手 70.0 ± 43.6 秒であった。3 群間で比較したところ、各群間に有意差が示され ($\eta^2 = 0.32$, $p < 0.01$)、中年一般市民ランナーと大学生長距離選手 ($d = 1.50$, $p < 0.01$)、中

年一般市民ランナーと高校生長距離選手 ($d = 1.71$, $p < 0.01$) にそれぞれ有意な差が認められた (図 7)。

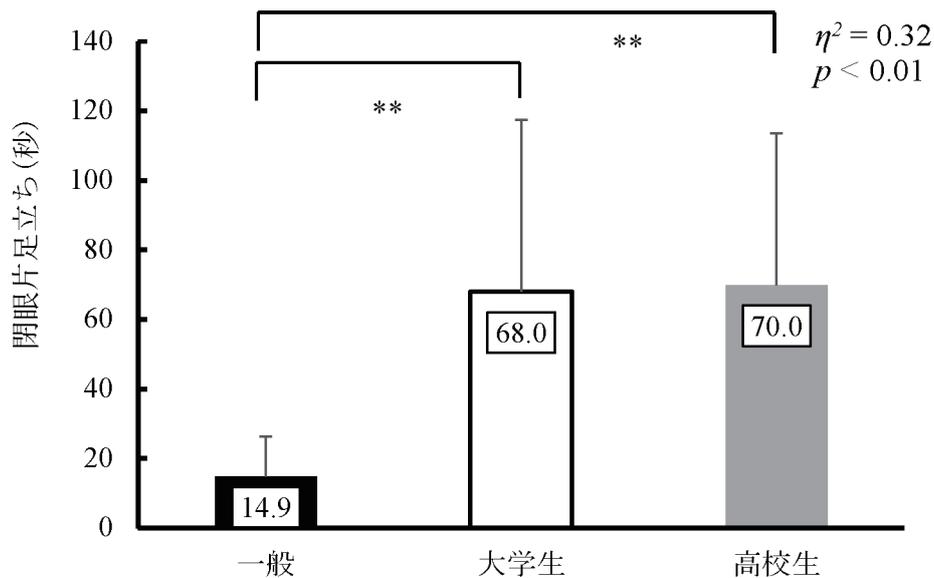
アンケート調査の結果を表 2 に示す。月間走行距離においては、各群間に有意差が示され ($\eta^2 = 0.69$, $p < 0.01$)、中年一般市民ランナーと大学生長距離選手 ($d = 1.82$, $p < 0.01$)、中年一般市民ランナーと高校生長距離選手 ($d = 1.08$, $p < 0.01$)、大学生長距離選手と高校生長距離選手 ($d = 1.46$, $p < 0.01$) にそれぞれ有意な差が認められた。また、週の練習回数においても、各群間に有意差



一元配置分散分析およびテューキー法

一般：中年一般市民ランナー、大学生：大学生長距離選手、高校生：高校生長距離選手

図6. 10%AHI および 50%AHI の比較



クラスカルウォリスの検定およびボンフェローニ法 ** : $p < 0.01$

一般：中年一般市民ランナー、大学生：大学生長距離選手、高校生：高校生長距離選手

図7. 閉眼片足立ちの比較

表2. 対象のアンケート調査の結果

項目	A：中年一般 市民ランナー (n = 20名)	B：大学生 長距離選手 (n = 19名)	C：高校生 長距離選手 (n = 21名)	p 値 (η^2)	多重比較 (d)
月間 走行距離 (km)	161.5 ± 69.7	438.7 ± 206.2	225.7 ± 48.3	< 0.01 [†] (0.69)	A < B (1.82) A < C (1.08) C < B (1.46)
練習回数 (回/週)	3.5 ± 1.5	6.1 ± 1.3	6.0	0.04 [†] (0.55)	A < B (1.85) A < C (2.39)
練習時間 (分/回)	73.5 ± 31.3	111.6 ± 29.1	173.3 ± 26.1	< 0.01 [†] (0.69)	A < B (1.26) A < C (3.47) C < B (2.24)

†：クラスカルウォリスの検定およびボンフェローニ法

A：中年一般市民ランナー，B：大学生長距離選手，C：高校生長距離選手

表3. 中年一般市民ランナーの足部足関節傷害の既往歴の有無による各測定項目の比較

測定項目	既往歴あり (n = 6名)	既往歴なし (n = 14名)	p 値 (d)
体重比			0.65
足趾把持筋力 (%)	28.0 ± 10.0	28.9 ± 8.5	(0.10)
10%AHI	0.338 ± 0.019	0.349 ± 0.022	0.30 (0.51)
50%AHI	0.315 ± 0.020	0.328 ± 0.019	0.32 (0.67)
閉眼片足立ち (秒)	15.5 ± 7.1	14.5 ± 13.1	0.36 (0.09)

平均値±標準偏差

マン・ホイットニーのU検定

が示され ($\eta^2 = 0.55$, $p = 0.04$)、中年一般市民ランナーと大学生長距離選手 ($d = 1.85$, $p < 0.01$)、中年一般市民ランナーと高校生長距離選手 ($d = 2.39$, $p < 0.01$) にそれぞれ有意な差が認められた。さらに、1回の練習時間では、各群間に有意差が示され ($\eta^2 = 0.69$, $p < 0.01$)、中年一般市民ランナーと大学生長距離選手 ($d = 1.26$, $p < 0.01$)、中年一般市民ランナーと高校生長距離選手 ($d = 3.47$, $p < 0.01$)、大学生長距離選手と高校生長距離選手 ($d = 2.24$, $p < 0.01$) にそれぞれ有意な差が認められた。

足部足関節傷害の既往歴ありは、中年一般市民ランナーは6名 (30.0%)、大学生長距離選手は7名 (36.8%)、高校生長距離選手は7名 (33.3%) であった。

中年一般市民ランナーの各測定項目を足部足関節傷害の既往歴の有無により比較検討したところ、すべての項目において既往歴の有無による差を認めなかった (表3)。

大学生長距離選手の既往歴の有無による比較では、体重比足趾把持筋力は、既往歴あり $36.9 \pm 10.5\%$ vs 既往歴なし $38.1 \pm 10.6\%$ で有意な差を認めなかった ($d = 0.11$, $p = 0.83$)。10%AHIでは、既往歴あり 0.325 ± 0.015 vs 既往歴なし 0.334 ± 0.028 、50%AHIでは、既往歴あり 0.307 ± 0.018 vs 既往歴なし 0.314 ± 0.027 でそれぞれ有意な差を認めなかった ($d = 0.37$, $p = 0.27$, $d = 0.29$, $p = 0.55$)。閉眼片足立ちでは、既往歴あり 64.6 ± 50.6 秒 vs 既往歴なし 70.0 ± 50.9 秒で有意な差を認めなかった

($d = 0.11$, $p = 0.82$).

高校生長距離選手の既往歴の有無による比較では、体重比足趾把持筋力は、既往歴あり $45.1 \pm 6.5\%$ vs 既往歴なし $40.1 \pm 14.3\%$ で有意な差を認めなかった ($d = 0.40$, $p = 0.33$). 10%AHI では、既往歴あり 0.329 ± 0.017 vs 既往歴なし 0.334 ± 0.028 , 50%AHI では、既往歴あり 0.308 ± 0.020 vs 既往歴なし 0.315 ± 0.030 でそれぞれ有意な差を認めなかった ($d = 0.20$, $p = 0.91$, $d = 0.26$, $p = 0.37$). 閉眼片足立ちでは、既往歴あり 80.3 ± 50.0 秒 vs 既往歴なし 64.8 ± 41.2 秒で有意な差を認めなかった ($d = 0.35$, $p = 0.38$).

考 察

中年一般市民ランナーにおける足趾把持筋力、足部形態、バランス能力の特徴について、学生長距離選手との比較検討を行った。一般市民ランナーの平均年齢が52.8歳であったことから、一般市民ランナーの年齢の影響が本研究の結果に大きく左右することを考慮する必要があるものの、高校・大学生長距離選手と比して、体重比足趾把持筋力および閉眼片足立ちは低値を示した。

足趾把持筋力は、足趾把持トレーニングを実施することで向上することが知られている。男子大学サッカー選手や女子大学生を対象とした先行研究において、足趾トレーニングを実施することで、足趾把持筋力が向上することが報告されている^{10), 11)}。本研究の対象である中年一般市民ランナーは、高校・大学長距離選手と比して、年齢による影響に加えて、月間走行距離や週の練習回数、一回の練習時間が低値を示していることから、トレーニング量や強度が低く、足趾把持筋力が低値である要因の一つとして考えられた。

閉眼片足立ちは、20～30歳代が最も優れ、40歳以降は加齢に伴い徐々に低下することが示されている¹²⁾。その理由は、平衡感覚や筋力の低下が主な原因であると考えられている。したがって、本研究において中年一般市民ランナーのバランス能力（閉眼片足立ち）が高校・大学長距離選手と比して劣っていた要因として、中年一般市民ランナーの平均年齢を踏まえると、まず加齢によるバランス機能の低下が考えられた。また、バランス能力は足趾把持筋力に関連することから¹¹⁾、中年一般市民ランナーが高校・大学長距離選手と比べ、足趾把持筋力が低かったことも要因の一つとして考えられた。

本研究で用いたAHIは、内側縦アーチの高さを評価する指標である⁶⁾。その内側縦アーチは、後脛骨筋や足部の内在筋群により支持されており、長時間の運動などで疲労が蓄積すると、足部アーチが低下すると考えられている¹³⁾。さらに、練習強度が高いほどアーチ高率が低下すると報告されている¹⁴⁾。一方で、年齢と足部アーチの関連を調査した研究では、年齢の増加と足部アーチの高さとの間に関係は認めなかったと示されている¹⁵⁾。本研究において、中年

一般市民ランナーと高校・大学長距離選手とを比して、足部形態に違いがみられなかった要因として、今回の対象者はAHIの標準範囲内 ($0.276 - 0.355$)⁵⁾ であり、正常なアーチが保たれていたことやAHIが年齢による影響を受けにくい測定項目であったことが影響したと考えられた。

足部足関節傷害の既往歴の有無によって、足趾把持筋力、足部形態、バランス能力を比較したが、差を認めなかった。先行研究では、足趾把持トレーニングは、足関節捻挫の発生率の低下に寄与することが示されている¹⁰⁾。また、ハイアーチやローアーチなどは正常なアーチと比べるとそれぞれ傷害が発生しやすいこと⁶⁾や、バランス能力と傷害との関係についても報告されている⁷⁾。それらのことから、今回対象とした中年一般市民ランナーは高校・大学長距離選手と比して足趾把持筋力やバランス能力が劣るため、足部のスポーツ傷害が生じるリスクが高くなるのではないかと懸念された。しかしながら、今回の調査では各測定項目と足部足関節傷害との間に特別な関連を認めなかったことは、今回の足部足関節傷害の調査が自記式アンケートによるもので詳細に調査できなかったことや、足部足関節傷害に限った調査であったこと、年齢や運動強度が異なるため傷害の種類や程度に関する情報が適切に得られなかったことが要因ではないかと考えられた。

本研究は、男性のみを対象としたこと、一般市民ランナーと長距離選手の年齢が大きく異なること、同年代の特別な運動・スポーツを実施しない健常者と比較ができなかったこと、解析を行った症例数が少ないこと、足部足関節傷害の発生率などを算出できなかったことが限界として挙げられる。今後は、女性も含めて、同年代の特別な運動・スポーツを実施しない健常者との比較を行うことで、一般市民ランナーの足趾把持筋力、足部形態、バランス能力の特徴をより詳細に明らかにできるものと考えられる。

ま と め

中年一般市民ランナーと若年陸上競技長距離選手の足趾把持筋力、足部形態、バランス能力を比較検討したところ、年齢による影響を考慮する必要があるものの、その特徴として前者の体重比足趾把持筋力は低く、バランス能力が低下していることが示された。一方、足部足関節傷害の既往歴の有無と、足趾把持筋力、足部形態、バランス能力に、明らかな関わりを認めなかった。

参考文献

- 1) 笹川スポーツ財団：ライフスポーツ・データ2022, 2022.
- 2) 高尾憲司ら：一般市民ランナーにおける妥当な週間トレーニング回数と月間走行距離について～ランニング傷害のアンケート調査より～, 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 23, 55-56, 2013.
- 3) 橋本雅至ら：足部からみた身体運動の制御, 理学療法科学, 16(3), 123-128, 2001.

- 4) 村田 伸ら：在宅障害高齢者に対する転倒対策-足把持トレーニング, 日本在宅ケア学会誌, 7(2), 67-74, 2004.
- 5) 辻 慎太郎ら：男子大学生における足趾把持筋力と動作遂行能力の関係：走力, 跳躍力, 敏捷性およびバランス能力に着目して, 人間健康研究科論集, 4, 1-20, 2021.
- 6) Dorsey S, et al. : Arch structure and injury patterns in runners, *Clinical Biomechanics*, 16, 341 - 347, 2001.
- 7) Hrysomallis C : Relationship Between Balance Ability, Training and Sports Injury Risk, *Sports Med* 37, 547-556, 2007.
- 8) 高尾憲司ら：一般市民ランナーを対象とした20mシャトルランおよびトレーニング変数を用いたマラソントime予測式の検討, *体力科学*, 67(2), 227-235, 2018.
- 9) Tsuyuguchi R, et al. : The effects of toe grip training on physical performance and cognitive function of nursing home residents, *Journal of Physiological Anthropology*, 38(1), 11, 2019.
- 10) 藤高紘平ら. 大学サッカー選手の足部・足関節傷害に対する足部アーチ保持筋力トレーニングの効果, *理学療法科学*, 27, 263-267, 2012.
- 11) 山田 洋ら：足趾把持トレーニングが足趾把持筋力および立位時重心動揺に与える影響, *東海大学紀要. 体育学部*, 48, 13-19, 2019.
- 12) 浦辺幸夫ら：世代別でのバランス能力の違い, *日本アスレチックトレーニング学会誌*, 5(2), 133-139, 2020.
- 13) 武田さおり：長時間立位による足部アライメントの変化に関する検討, *東北理学療法学*, 11, 36-41, 1999.
- 14) 岡戸敦男ら：ランニングによる足部アーチ高率の変化について, *東海スポーツ傷害研究会会誌*, 27, 65-67, 2009.
- 15) Rebecca A, et al. : The effect of gender, age, and lateral dominance on arch height and arch stiffness, *Foot & Ankle International*, 27(5), 367-372, 2006.

裸足および非裸足競技間での modified Star Excursion Balance Test 時における重心動揺性の違い

小林 実優^{1), 2)}, 濱口 幹太²⁾, 露口 亮太^{1), 2)}, 仲田 秀臣^{1), 2)}, 大槻 伸吾^{1), 2)}

1) 大阪産業大学 スポーツ健康学部

2) 大阪産業大学大学院 人間環境学研究科

はじめに

様々なスポーツ競技においてバランス能力は重要な要素の1つであり、複数の競技種目で競技レベルと密接に関連があることや、熟練したアスリートほど優れたバランス能力を持つことが報告されている¹⁾。バランス能力は主に静的バランス能力と動的バランス能力の2つに分類され、スポーツ競技では姿勢を安定させながら複雑な動きや課題を遂行することが求められるため、動的バランス能力がより重要とされる。スポーツ現場や臨床現場での動的バランス評価は、特定の8方向（前方・後方・内方・外方・前内方・前外方・後内方・後外方）への下肢最大リーチ距離を計測する Star Excursion Balance Test（以下、SEBT）が代表的である。また、SEBTを簡略化し、特定の3方向（前方・後内方・後外方）への下肢最大リーチ距離を計測する modified SEBT（以下、mSEBT）などが多く用いられており、両方法間には結果の差異がないとされている²⁾。

Bresselら³⁾は、女子選手を対象にバスケットボール、体操、サッカーの3競技間を比較し、SEBT 8方向のリーチ距離の総和において、サッカー選手が最も優れていたと報告している。栗原らはmSEBTにおいて非軸足のリーチ距離と軸足の各関節の可動域を検討した結果、後内方は軸足の股関節屈曲および体幹側屈角度と、後外方では股関節内旋角度との間に相関関係を認めたと報告している⁴⁾。また野津ら⁵⁾は、SEBTと体幹の動きを検討し、後内方で非軸足のリーチ距離と体幹側屈角度、後外方ではリーチ距離と体幹前屈角度との間に関連が認められたとしている。

しかしこれまでのSEBTおよびmSEBTを用いた研究で

は、非軸足のリーチ距離やそれに関連する軸足側の各関節可動域などとの検討が中心であり、軸足の重心動揺に着目した研究はほとんど見当たらない。

そこで本研究では、裸足および非裸足競技者を対象に、mSEBTを用いてバランス能力を比較するとともに、動作時における軸足の足圧中心（COP）動揺を重心の動きとして評価し、2群間での重心動揺性の特徴について検討することを目的とした。

対象および方法

関西学生連盟に所属している大学女子選手17名を対象とした。競技は体操選手5名、空手選手4名、バスケットボール選手4名、バレーボール選手4名とし、体操および空手を裸足競技群、バスケットボールおよびバレーボールを非裸足競技群とした。裸足競技群、非裸足競技群の身長・体重・BMIや競技歴などについては表1の通りであり、身長では裸足競技群が非裸足競技群に比べ低値であり、競技歴では裸足競技群が高値であった。

まず両群に対するバランス評価としてmSEBTを実施した。mSEBTは、前方・後内方・後外方の3方向の最大到達距離を測定し、得られた各方向の最大下肢リーチ距離を対象者の下肢長で正規化し、%下肢リーチ距離を算出した。

mSEBT試技中のCOP動揺の評価には重心動揺計（ANIMA社製GS-31）を用い、外周面積（cm²）、総軌跡長（cm）、矩形面積（cm²）を指標として測定した。また、併せて平均速度ベクトル（cm/s）についても計測した。平均速度ベクトルについては図1に示す通り、計8方向への

表1. 対象者の特性

	裸足群 (n=9)	非裸足群 (n=8)	p 値
年齢 (歳)	20.1 ± 1.1	19.5 ± 1.2	0.28
身長 (cm)	155 ± 5.1	163.1 ± 5.3	0.01
体重 (kg)	55.2 ± 4.7	57.9 ± 5.7	0.31
BMI (kg)	23 ± 1.4	21.7 ± 1.4	0.09
競技歴 (年)	13.8 ± 1.5	11.6 ± 0.7	<.001

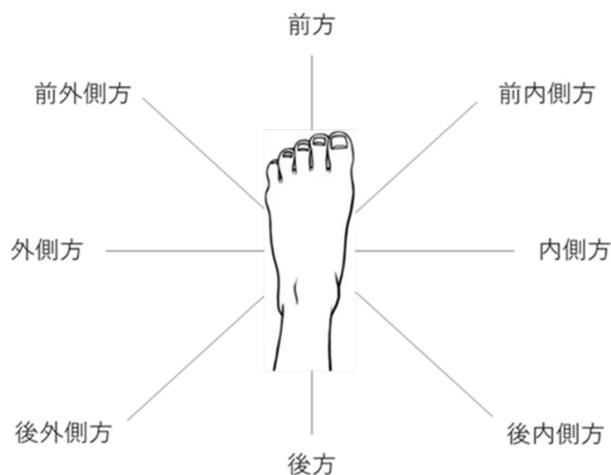


図1. 平均速度ベクトルの8方向

動揺性を評価した。測定の際には、重心動揺計のX座標に足長中心を、Y座標に第2中足骨を合わせ、足底面が座標中心となるように計測位置を統一し、かつ各試技は10秒間で実施するように指示した(図2, 3)。なお、測定はボールを蹴る際の立脚足側を軸足と定義し、軸足でのみ実施した。

検討は、まず各方向の%下肢リーチ距離および総和を裸足競技群と非裸足競技群の2群間で比較した。またCOP

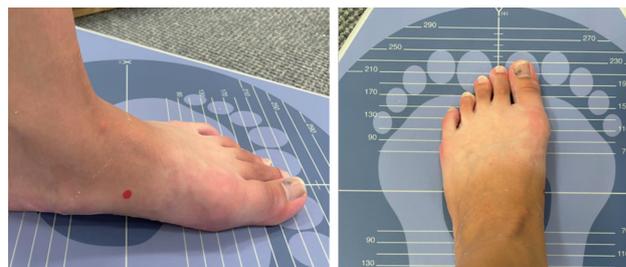


図2. 支持足の計測位置

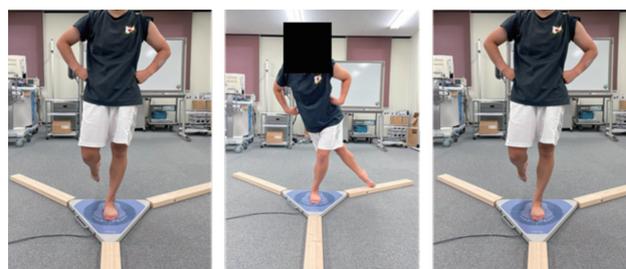


図3. 重心動揺計上でのmSEBT試技動作(後内方リーチの実施時)

動揺の指標についても外周面積、総軌跡長、矩形面積、平均速度ベクトルの8方向を同様に比較検討した。

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2. mSEBT%下肢リーチ距離の比較

	裸足群 (n=9)	非裸足群 (n=8)	p値
前方リーチ (%)	79.34 ± 8.37	76.71 ± 9.63	0.56
後内方リーチ (%)	101.28 ± 7.16	85.39 ± 14.39	0.01
後外方リーチ (%)	103.58 ± 5.41	97.74 ± 8.77	0.11
3方向リーチの総和 (%)	284.20 ± 13.91	259.83 ± 25.08	0.02

表3. mSEBT前方リーチ時でのCOP動揺の比較

	裸足群 (n=9)	非裸足群 (n=8)	p値
外周面積 (cm)	7.46 ± 3.68	8.99 ± 3.72	0.41
総軌跡長 (cm)	50.19 ± 7.67	50.02 ± 12.26	0.97
矩形面積 (cm)	24.2 ± 10.93	24.51 ± 8.64	0.95
前方	5.77 ± 1.94	5.28 ± 1.61	0.59
前内側方	4.05 ± 0.56	3.65 ± 0.83	0.26
内側方	3.07 ± 0.9	2.94 ± 0.53	0.74
後内側方	3.44 ± 0.99	3.8 ± 1.55	0.58
後方	5.13 ± 1.38	5.11 ± 1.1	0.97
後外側方	4.01 ± 1.18	4.36 ± 1.21	0.56
外側方	3.39 ± 0.71	3.07 ± 0.91	0.43
前外側方	3.93 ± 0.63	3.73 ± 1.18	0.65

表4. mSEBT後内方リーチ時でのCOP動揺の比較

	裸足群 (n=9)	非裸足群 (n=8)	p 値
外周面積 (cm)	4.8 ± 1.93	4.88 ± 1.74	0.93
総軌跡長 (cm)	59 ± 8.23	65.29 ± 12.46	0.23
矩形面積 (cm)	21.18 ± 6.89	20.88 ± 6.67	0.93
前方	5.09 ± 1.47	4.55 ± 1.33	0.44
前内側方	5.14 ± 0.85	5.12 ± 1.63	0.97
内側方	4.14 ± 0.75	5.92 ± 0.78	<.001
後内側方	4.14 ± 0.97	4.74 ± 1.34	0.3
後方	4.62 ± 1.09	5.34 ± 2.46	0.44
後外側方	4.91 ± 0.88	5.55 ± 1.53	0.31
外側方	4.43 ± 1.05	5.06 ± 0.94	0.22
前外側方	4.85 ± 1.78	4.65 ± 0.97	0.78

表5. mSEBT後外方リーチ時でのCOP動揺の比較

	裸足群 (n=9)	非裸足群 (n=8)	p 値
外周面積 (cm)	4.36 ± 1.61	5.53 ± 2.22	0.23
総軌跡長 (cm)	50.12 ± 8.19	62.63 ± 4.37	<.001
矩形面積 (cm)	19.1 ± 4.43	21.74 ± 5.18	0.28
前方	4.61 ± 1.39	4.74 ± 0.82	0.82
前内側方	3.88 ± 0.83	4.7 ± 1.09	0.1
内側方	3.94 ± 1.08	3.94 ± 0.74	1
後内側方	3.97 ± 0.8	5.23 ± 1.74	0.07
後方	4.4 ± 0.73	5.12 ± 0.5	0.03
後外側方	4.09 ± 0.96	4.51 ± 1.01	0.39
外側方	3.99 ± 1.08	5.17 ± 1	0.03
前外側方	4.25 ± 0.84	4.88 ± 1.01	0.18

結 果

mSEBT% 下肢リーチ距離の前方および後外方においては両群間に有意な差は認めなかった。しかし、後内方においては非裸足競技群 $85.36 \pm 14.36\%$ に対し、裸足競技群 $101.28 \pm 7.16\%$ と有意に高値を示した。また、3方向の総和においても裸足競技群 ($284.20 \pm 13.91\%$) は非裸足競技群 ($259.83 \pm 25.08\%$) に対して有意に優れた結果であった (表2)。

mSEBT 試技中のCOP動揺の指標については、前方リーチ時において裸足競技群と非裸足競技群の2群間で、表3に示す通りすべての項目で有意な差は認めなかった。しかし、後内方リーチ時では、平均速度ベクトルの内側方向で裸足競技群 $4.14 \pm 0.75\text{cm/s}$ 、非裸足競技群 $5.92 \pm 0.78\text{cm/s}$ と、裸足競技群が有意に低値であったが、他の項目については差を認めなかった (表4)。

後外方リーチ時においては、総軌跡長で裸足競技群 $50.12 \pm 8.19\text{cm}^2$ 、非裸足競技群 $62.63 \pm 4.37\text{cm}^2$ と有意に低値であった。また、平均速度ベクトルの後方向では裸足競技群 $4.40 \pm 0.73\text{cm/s}$ 、非裸足競技群 $5.12 \pm 0.50\text{cm/s}$ であり、裸足競技群で有意に低値を示した。さらに、外側方向においても裸足競技群 $3.99 \pm 1.08\text{cm/s}$ に対し、非裸足競技群 $5.17 \pm 1.00\text{cm/s}$ と裸足競技群で有意に低値を示したが、他の項目では差を認めなかった (表5)。

考 察

本研究では裸足および非裸足競技者を対象にmSEBTを用いてバランス評価を行い、その各動作時における軸足の動揺性について検討を行なった。

その結果、mSEBT% 下肢リーチ距離では後内方および3方向の総和において裸足競技群が非裸足競技群に比べ、

有意に優れた値であった。後外方では統計学的には差は認めなかったが、裸足競技群で約6%程度高い値であった。

スポーツ現場における動的バランス評価にはmSEBTを用いることが多く、%下肢リーチ距離に影響する因子として、軸足の足関節背屈可動域や股関節屈曲・内転・内旋、体幹側屈・前屈角度などが報告されている^{2), 4), 5)}。またBresselら³⁾は、女子バスケットボール選手11名、女子体操選手12名、女子サッカー選手11名を対象にBalance Error Scoring System (BESS) およびSEBT各8方向の総和を用いてバランス能力を比較した結果、BESSにおいては体操選手がバスケットボール選手に比べて有意にエラーが少なく、SEBTにおいてはサッカー選手、体操選手、バスケットボール選手の順でリーチ距離が長く、サッカー選手とバスケットボール選手の間には有意差がみられたと報告している。本検討においてもバスケットボール選手を含む裸足競技群ではバランス能力が相対的に低い結果であった。

軸足のCOP動揺性については後内方リーチ時において、裸足競技群の軸足内側方向への動揺が非裸足競技群に比べて有意に少なかった。また後外方リーチ時においても裸足競技群で総軌跡長および外側方向への動揺が非裸足競技群に比べ有意に少ない結果であった。静的バランスの評価である開眼および閉眼片足立ちを用いた重心動揺検査において、体操選手(裸足競技)で内・外側方向への重心動揺距離が低値であることが報告されており⁶⁾、本研究で用いた動的バランスの評価であるmSEBTにおいても同様の結果であった。足部および足関節の内・外側方向の動揺性制御には短・長腓骨筋や前脛骨筋、長母趾屈筋、母趾外転筋などが関与している。裸足競技、特に体操競技では高いバランス能力が必要とされており⁷⁾、それらの筋を各動作中に適切に動員させることで、足部および足関節の内・外側方向への動揺性を制御しながら動きを遂行していることが考えられた。また、裸足競技では瞬時のバランスの欠如がパフォーマンスに大きく影響するため、瞬間的に支持基底面に重心を保持させる能力が高いことも一因であると推察した。しかし、本研究においては筋活動についての計測はできておらず、今後詳細に検討していく必要がある。

本研究の限界

本研究は被験者が17名と少なく、また筋活動については検討できていない。今後被験者数を増やし、筋電図等を用いて詳細に検討していく必要がある。

結 語

裸足および非裸足競技間でのmSEBTでは裸足競技群において後内方および後外方リーチが有意に優れていた。また、軸足の動揺性については、裸足競技群で後内方リーチ時において内側方向への動揺が少なく、後外方リーチ時においては総軌跡長および外側方向への動揺が少ない結果であった。

裸足競技群では競技特性上支持基底面に重心を保持させる能力が高く、本結果につながったと考える。

参考文献

- 1) Hrysmallis, Con: Balance ability and athletic performance, *Sports medicine*, 41: 221 - 232, 2011.
- 2) Hortel J, Braham RA, Hale SA, et al: Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability, *J Orthop Sports Phys Ther*, 36: 131 - 137, 2006.
- 3) Bressel E, Yonker JC, Kras J, et al: Comparison of static and dynamic balance in female collegiate soccer, basketball, and gymnastics athletes, *J Athl Train*, 42: 42 - 6, 2007.
- 4) 栗原靖, 烏野大, 大杉紘徳 他: 大学女子ソフトボール選手のmodified Star Excursion Balance Testに影響する運動機能因子の検証, *理学療法科学*, 35: 607 - 613, 2020.
- 5) 野津将時郎, 竹村雅裕, 宮川俊平 他: Star Excursion Balance Testのリーチ距離と体幹傾斜角度および足関節柔軟性の関係, *体力科学*, 69: 279 - 284, 2020.
- 6) 村上佳司, 山本忠志, 市谷浩一郎 他: 女子大学生スポーツ選手の静的および動的平衡能と競技特性の関係について, *運動とスポーツの科学*, 17: 107 - 114, 2011.
- 7) 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.