

特集 ハイパフォーマンススポーツを対象とした医・科学支援
——ハイパフォーマンス・サポート事業の活動を例に

バドミントン日本代表選手における骨密度の実態
Bone mineral density in Japanese badminton national team players

井上なぎさ¹⁾, 飯塚太郎²⁾, 大西貴弘¹⁾, 土肥美智子¹⁾
Nagisa Inoue¹⁾, Taro Iizuka²⁾, Takahiro Onishi¹⁾, Michiko Dohi¹⁾

キーワード：骨密度, ビタミンD栄養状態, バドミントン日本代表選手

I. 緒言

骨の健康に対して食事・栄養がもたらす潜在的なリスクについて、アスリートの関心は必ずしも高くない。しかし、適切な栄養摂取がなされない状態が長期にわたる場合、骨量減少や骨粗鬆症の発生リスクが懸念される。また、それが短期間の場合であっても疲労骨折の発生要因となり²³⁾、患部の激痛、回復までのトレーニング時間の喪失により競技パフォーマンスが低下していくことになる¹⁶⁾。

バドミントン日本代表では、疲労骨折の既往歴がある選手の割合が27.5%⁹⁾にものぼり、アスリートの一般的な割合である0.7～21%^{1),4)}を上回っている。バドミントン選手のスポーツ傷害の発生率は、競技レベルに伴って上昇することが示されており^{17),21)}、世界ランキングの上位選手が数多く含まれるバドミントン日本代表においては、骨の健康について十分な取り組みを行っていくことが一層重要になっている。

アスリートの骨の健康において、食事・栄養面では、利用可能エネルギー不足やカルシウム、炭水化物、たんぱく質の摂取不足のほか、ビタミン

Dの摂取不足が問題とされ²³⁾、体内でのカルシウム吸収を中心とした骨代謝に関与しているビタミンDは、最適な骨の健康を維持するうえで不可欠なものとされている⁸⁾。ビタミンD栄養状態が良好、あるいは低値から充足レベルまで改善したアスリートは、ビタミンD栄養状態が不十分なアスリートと比較して、疲労骨折の発生率が有意に低いことが報告されている¹⁶⁾。その中で、バドミントン日本代表選手を対象として、ビタミンD栄養状態について検証したところ、ビタミンDが充足レベルに達している選手がいなかったことが明らかとなった⁹⁾。こうした背景から、我々は、ハイパフォーマンス・サポート事業の栄養サポートの一環として、バドミントン日本代表選手を対象に、骨の健康に関する食事・栄養面からの取り組みとして、ビタミンD不足の改善に向けた栄養介入を実施してきた¹⁰⁾。約1年間にわたる栄養介入の結果、ビタミンD栄養状態が改善したばかりでなく、骨吸収マーカーであるI型コラーゲン架橋N-テロペプチド(crosslinked N-telopeptide of Type I Collagen; NTX)が有意に減少したことから、栄養介入が骨量減少の抑制に作用した可能

¹⁾国立スポーツ科学センター, ²⁾日本バドミントン協会

¹⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ²⁾ Nippon Badminton Association

E-mail : nagisa.inoue@jpnssport.go.jp

性が考えられた¹⁰⁾。しかし、骨の評価について、骨密度を指標とした直接的な検証は実施してきていなかった。

そこで本稿では、ビタミンD栄養状態に加えて、バドミントン日本代表選手の骨密度についても検証を行い、それらのデータに基づいて抽出された骨の健康の維持・向上への課題について報告する。

Ⅱ. 方法

1. 対象選手と調査期間

2019年バドミントン日本代表に選出された男子選手28名(年齢 23.1 ± 3.5 歳)、女子選手26名(年齢 23.3 ± 3.1 歳)の計54名を対象とした。調査は、2019年2-3月に実施されたバドミントン日本代表強化合宿で行った。

本栄養サポートを実施するにあたり、選手(および、選手が未成年の場合には保護者)に対し、目的、測定方法について十分に説明を行い、書面にて研究協力への同意が得られた選手のみを対象とした。

2. 調査項目

1) ビタミンD栄養状態

ビタミンD栄養状態の評価指標には血清ヒドロキシビタミンD (25(OH)D) が用いられる¹³⁾。そこで、ビタミンD栄養状態を評価する目的で、血清25(OH)D濃度(以下「25(OH)D」という。)を測定した(CLEIA法)。検査は、(株)LSIメディエンスに依頼した。

2) 骨の評価

骨密度は、二重エネルギーX線吸収測定法(Dual energy X-ray absorptiometry; DXA法)を用いて測定した(HOLOGIC社製 Horizon A)。骨密度に関する診断基準のカットオフ値は、性別、年齢、測定部位、測定機種によって異なる¹⁴⁾。そのため、骨の健康の評価には、該当集団の特性を反映した相対的な指標が必要であり、骨密度をZスコア(同年齢の平均骨密度値を0として、標準偏差を1とした既定の値)に変換した値が用いられる¹²⁾。

アメリカスポーツ医学会(The American College

of Sports Medicine; ACSM)においても、女性アスリートの骨の評価には骨密度のZスコアを用いることが推奨されており、Zスコアが-1未満である場合を低骨量としている⁶⁾。一方、男性アスリートにおける骨の評価について、明確な定義はない³⁾。本調査では、骨の評価を全身骨密度とZスコアの2項目とし、低骨量の定義を、ACSMの提言を参考に、男女ともZスコアが-1未満とした。

3) 身体特性

対象選手の身体特性として、身長、体重、除脂肪量の3項目を測定した。身長は、身長計((株)エー・アンド・デイ、AD-6228A)を用い測定した。体重と除脂肪量は、DXA法(HOLOGIC社製 Horizon A)で得られた身体組成評価の値を用いた。

3. 統計処理

男女における各項目の平均値の差の検定には対応のないt検定を用いた。なお、統計的有意水準は5%未満とし(両側検定)、統計解析にはIBM SPSS Statistics(ver.24.0 IBM SPSS Japan)を用いた。

Ⅲ. 結果

1. ビタミンD栄養状態

体内のビタミンD栄養状態を示す25(OH)Dの平均は、男子選手 22.7 ± 5.9 ng/mL、女子選手 18.7 ± 4.4 ng/mLであり、男子選手が女子選手より有意に高かった($p = 0.007$) (表1)。

2. 骨の評価

骨密度の平均は、男子選手 1.26 ± 0.07 g/cm²、女子選手 1.22 ± 0.06 g/cm²であり、男子選手の方が有意に高値を示した($p = 0.020$) (表2)。Zスコアの平均は、男子選手 1.48 ± 1.07 、女子選手 2.57 ± 1.19 であり、男子選手の方が有意に低値を示した($p < 0.001$) (表2)。Zスコアが-1未満の選手は、男女とも認められなかった。

3. 身体特性

対象選手の身体特性を表3に示した。身長は、男子選手 171.1 ± 5.3 cm、女子選手 164.2 ± 5.5 cmであった。体重は、男子選手 68.0 ± 5.7 kg、女子選手 58.2 ± 4.9 kg、除脂肪量は、男子選手 59.7 ± 4.3 kg、女子選手 49.2 ± 3.3 kgであった。身長、体重、除脂肪量の全ての項目において、男子選手の方が女子選手より有意に高値を示した ($p < 0.001$)。

Ⅳ. 考察

本栄養サポートは、バドミントン日本代表選手のビタミンD栄養状態と骨密度について調査し、

栄養面から改善すべき課題を抽出することを目的とした。骨の健康を維持するためには、25(OH)Dを30 ng/mL以上に保つことが推奨されており^{20),24)}、スポーツ選手に関しても、国際オリンピック委員会は25(OH)Dの充足レベルを30-32 ng/mL以上と提言している¹⁵⁾。一方、本調査による25(OH)Dの平均は、男子選手 22.7 ± 5.9 ng/mL、女子選手 18.7 ± 4.4 ng/mLと充足レベルに達しておらず、骨密度の維持・向上に有効とされる状態ではなかった。我々は、バドミントン日本代表選手に対してビタミンDの供給源となる魚類の摂取量を増やす栄養介入を行った結果、介入

表 1. ビタミンD 栄養状態

		男子	女子	p 値
25(OH)D	(ng/mL)	22.7 ± 5.9	18.7 ± 4.4	0.007
均値±標準偏差				

表 2. 骨の評価

		男子	女子	p 値
骨密度	(g/cm ³)	1.26 ± 0.068	1.217 ± 0.061	0.020
Zスコア		1.48 ± 1.07	2.569 ± 1.191	< 0.001
平均値±標準偏差				

表 3. 対象選手の身体特性

		男子	女子	p 値
身長	(cm)	171.1 ± 5.3	164.2 ± 5.5	< 0.001
体重	(kg)	68.5 ± 5.7	58.5 ± 4.9	< 0.001
除脂肪量	(kg)	58.4 ± 4.4	46.9 ± 2.9	< 0.001
平均値±標準偏差				

前後で、男子選手の 25(OH)D が 16.9 ± 4.0 ng/mL から 20.8 ± 3.2 ng/mL へ、女子選手では 13.6 ± 3.6 ng/mL から 17.8 ± 5.0 ng/mL へと改善したことを報告した¹⁰⁾。しかし、本調査時点においても、25(OH)D は未だ充足レベルに達していないことがわかった。ビタミン D 摂取目標量において、アスリートの骨の健康を考慮すると、少なくとも 600 IU/日 (15 μ g/日) 以上のビタミン D を摂取することが奨められている⁷⁾。さらに、疲労骨折を予防するためのビタミン D の摂取目標量を 2,000 ~ 4,000 IU (50 ~ 100 μ g) とする報告もあり⁵⁾、食事では補いきれない量が推奨されることもある。そのため、バドミントン日本代表選手における 25(OH)D の平均を 30 ng/mL 以上まで引き上げるためには、日々の食事からのビタミン D 摂取量を一層増やすとともに、食事から補いきれない場合には、ビタミン D が強化された食品やサプリメントの活用、さらには医師と連携したビタミン D 医薬品の利用などを含めた栄養戦略を検討する必要があると考える。ただし、それにあたっては、国内外の移動が通年で繰り返されるバドミントン日本代表選手の特性を踏まえ、食事摂取量に関する課題を食環境別に検証しておくことも必要となるだろう。

本調査における 25(OH)D の平均は、女子選手の方が男子選手よりも有意に低かった。バドミントン日本代表選手のビタミン D 摂取量に関しては、女子選手において、男子選手と比較して一日あたりの目標量に対する充足率が低い傾向にあったことが示されている¹⁰⁾。また、25(OH)D のレベルには、紫外線照射による皮膚からのビタミン D 生成も影響する中で¹⁵⁾、バドミントン日本代表における女子選手の日光暴露時間は 20.8 ± 8.2 分であり、男子選手の 29.0 ± 15.0 分より有意に短かったことが報告されている⁹⁾。本調査において、25(OH)D の値に男女差が認められたことには、これらの要因が影響している可能性が考えられ、さらなる検証が求められる。

骨密度に関して、男子選手 1.26 ± 0.07 g/cm²、女子選手 1.22 ± 0.06 g/cm² であり、男子選手の

方が有意に高値を示した。骨密度は、体重などによる力学的負荷が繰り返し加わることによって、骨代謝回転を高め、骨形成優位の骨代謝動態を作り出し、増加へと導かれる^{2),22)}。本調査における対象選手の身体特性では、身長、体重、除脂肪量の全ての項目において、男子選手の方が女子選手より有意に高値を示した ($p < 0.001$)。そのことから、男子選手では女子選手と比較して骨への力学的負荷が日常的に高くなっていたことが推察され、骨密度の値における男女差の要因となった可能性が考えられる。

本調査における骨密度の Z スコアは、男子選手 1.48 ± 1.07 、女子選手 2.57 ± 1.19 であり、バドミントン日本代表選手の骨密度は男女とも、同年齢と比較して高いことが示された。体重負荷の大きいアスリートの骨密度は、運動習慣がない人と比較すると 5-15% 高い¹⁸⁾。バドミントン日本代表選手においても、ジュニア期からの日常的なトレーニングによる身体活動を通じ、体重負荷が骨に加わり骨密度の強化に影響したことが推察される。一方で、バドミントン日本代表選手における疲労骨折の既往歴は 27.5%⁹⁾ にものぼり、一般のバドミントン愛好家を対象とした調査報告である 3.9%¹⁹⁾ を大きく上回っている。そのため、疲労骨折を予防し、世界トップレベルで活躍するための運動量や運動強度に耐えうる身体づくりを行っていくうえでは、骨密度をさらに高めていく必要があるのかもしれない。

骨密度は 1-4 歳、12-17 歳の 2 つの時期に上昇し、思春期にスパークがみられ、20 歳前後に最大に到達するため¹⁴⁾、ジュニア期に最大骨量を高めることは 20 歳以降の骨密度に大きく関係する。本調査における骨密度の Z スコアの平均は、男子選手が女子選手と比較して有意に低値を示した ($p = 0.001$)。バドミントン日本代表選手は、男女ともジュニア期から競技に伴う身体活動が十分であることを考えると、骨密度を高めるうえで、男子ではジュニア期における食事・栄養面に課題があった可能性が考えられる。実際に、ジュニア世代のバドミントン日本代表選手を対象とした研究

において、男子選手が必ずしも望ましい身体組成を獲得できていないことが報告されており、その要因として日常的な食事・栄養面に課題があることが懸念されている¹¹⁾。さらに、バドミントン日本代表選手に対するこれまでの栄養サポートから、骨吸収マーカーである NTX において、男子選手の方が女子選手よりも骨代謝回転が亢進しており、骨量が女子選手よりも男子選手の方が減少しやすい可能性が示されている¹⁰⁾。疲労骨折を含む骨の問題は、女性アスリートの三主徴と関連し、女性アスリートの問題として取り上げられることが多い⁷⁾。しかし、骨の健康に関しては、男性アスリートにおいても食事・栄養面から取り組むべき課題であると考えられ、ジュニア期からの栄養介入が果たす役割は大きいであろう。

本調査の限界点として、骨の評価に用いた骨密度の Z スコアにおいて、アスリートの骨の健康を考慮した基準値が定められていないことが挙げられる。本調査では、Z スコアが -1 未満の選手は認められず、骨量が減少している選手はいなかったと推察される。しかし、バドミントン日本代表選手の骨密度の値が、アスリートとして骨の健康を維持・向上させていくうえで十分かどうかは検討することができなかった。また、バドミントン日本代表選手のビタミン D 不足に対する栄養介入が 2017 年から継続して行われてきた一方で、DXA を用いた骨の評価は今回が初めてとなった。そのため、栄養介入によるビタミン D 摂取量の改善が選手の骨密度にもたらした効果についても検証を行えなかった。バドミントン日本代表選手を対象として、骨の健康の維持・向上を目的としたサポートを進めていくうえでは、今後、更なるデータの蓄積が必要であると考えらる。

謝辞

本栄養サポートに際し、ご理解・ご協力を頂きました日本バドミントン協会関係者の皆様、バドミントン日本代表選手の皆様に心より感謝と御礼を申し上げます。また、本栄養サポート実施にあたり、東京大学大学院総合文化研究科（元 国立

スポーツ科学センター栄養グループ）の石橋彩氏から多大なるご協力を賜りました。ここに感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

文献

- 1) Abbott A, Bird ML, Wild E, Brown SM, Stewart G, Mulcahey MK. Part I: Epidemiology and risk factors for stress fractures in female athletes. *Phys Sportsmed*, 48(1): 17-24, 2020.
- 2) Andreoli A, Monteleone M, Van Loan M, Promenzio L, Tarantino U, De Lorenzo A. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4): 507-511, 2001.
- 3) Barrack MT, Fredericson M, Tenforde AS, Nattiv A. Evidence of a cumulative effect for risk factors predicting low bone mass among male adolescent athletes. *Br J Sports Med*, 51(3): 200-205, 2017.
- 4) Bennell KL, Brukner PD. Epidemiology and site specificity of stress fractures. *Clin Sports Med*, 16(2): 179-96, 1997.
- 5) Burgi AA, Gorham ED, Garland CF, Mohr SB, Garland FC, Zeng K, Thompson K, Lappe JM. High serum 25-hydroxyvitamin D is associated with a low incidence of stress fractures. *J Bone Miner Res*, 26(10): 2371-2377, 2011.
- 6) De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, Gibbs JC, Olmsted M, Goolsby M, Matheson G, Expert Panel. 2014 Female Athlete Triad Coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *Br J Sports Med*, 8(4): 289, 2014.
- 7) De Souza MJ, Williams NI, Nattiv A, Joy E, Misra M, Loucks AB, Matheson G, Olmsted MP, Barrack M, Mallinson RJ, Gibbs JC, Goolsby M,

- Nichols JF, Drinkwater B, Sanborn C, Agostini R, Otis CL, Johnson MD, Hoch AZ, Alleyne JM, Wadsworth LT, Koehler K, VanHeest J, Harvey P, Kelly AK, Fredericson M, Brooks GA, O'Donnell E, Callahan LR, Putukian M, Costello L, Hecht S, Rauh MJ, McComb J. Misunderstanding the female athlete triad: Refuting the IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med*, 48(20): 1461-1465, 2014.
- 8) Farrokhyar F, Tabasinejad R, Dao D, Peterson D, Ayeni OR, Hadioonzadeh R, Bhandari M. Prevalence of vitamin D inadequacy in athletes: A systematic-review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(3): 365-378, 2015.
- 9) 井上なぎさ, 飯塚太郎, 朴柱奉, 土肥美智子. バドミントン日本代表選手におけるビタミンD栄養状態. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 27(2): 319-323, 2019.
- 10) 井上なぎさ, 飯塚太郎, 朴柱奉, 土肥美智子. バドミントン日本代表選手におけるビタミンD不足に対する栄養介入の有効性. *日本スポーツ栄養研究誌*, 12: 68-76, 2019.
- 11) 石橋彩, 井上なぎさ, 飯塚太郎, 長谷川博幸, 安藤良介, 尾崎宏樹. バドミントンU19男子日本代表選手の身体組成および代表合宿時のエネルギーバランスに関する実態調査. *トレーニング科学*, 32(4): 233-241, 2020.
- 12) John JC, Miriam FD. T-Scores and Z-Scores. *Clinic Rev Bone Miner Metab*, 8: 113-121, 2010.
- 13) Kerr D, Larson-Meyer E. Bone, calcium, vitamin D and exercise. In: Burke L, Deakin V (Eds.) *Clinical Sports Nutrition*, 5th Edition, McGraw Hill Education, pp.234-265, 2015.
- 14) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員. 骨粗鬆症の予防と治療のガイドライン 2015年版. http://www.josteo.com/ja/guideline/doc/15_1.pdf (2021年6月1日)
- 15) Larson-Meyer E. Calcium and vitamin D. In: Maughan RJ (Ed.) *Sports Nutrition*. John Wiley&sons, pp.242-262, 2014.
- 16) Millward D, Root AD, Dubois J, Cohen RP, Valdivia L, Helming B, Kokoskie J, Waterbrook AL, Paul S. Association of serum vitamin D levels and stress fractures in collegiate athletes. *Orthop J Sports Med*, 8(12), 2020.
- 17) 三宅英司, 八並光信, 倉林準, 照屋浩司. バドミントンの傷害に関する疫学的調査. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 25(2): 223-231, 2017.
- 18) Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, Sanborn CF, Sundgot-Borgen J, Warren MP, American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10): 1867-1882, 2007.
- 19) 能見修也, 石橋恭之, 津田英一, 山本祐司, 塚田晴彦, 藤哲. スポーツにおける疲労骨折の実態. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 19(1): 43-49, 2011.
- 20) Okazaki R, Ozono K, Fukumoto S, Inoue D, Yamauchi M, Minagawa M, Michigami T, Takeuchi Y, Matsumoto T, Sugimoto T. Assessment criteria for vitamin D deficiency / insufficiency in Japan: Proposal by an expert panel supported by the Research Program of Intractable Diseases, Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, the Japanese Society for Bone and Mineral Research and the Japan Endocrine Society [Opinion]. *J Bone Miner Metab*, 35(1): 1-5, 2017.
- 21) Pardiwala DN, Subbiah K, Rao N, Modi R. Badminton injuries in elite athletes: A review of epidemiology and biomechanics. *Indian J Orthop*, 54(3):237-245, 2020.
- 22) 齊田義和, 小橋芳浩, 藤本俊博, 高比良知也, 時任毅, 増田祥男, 中川悟, 篠原久男. 青・壮年の腰椎における骨密度についての検討. *整形外科と災害外科*, 50(2): 290-293, 2001.
- 23) Sale C, Elliott-Sale KJ. Nutrition and athlete bone health. *Sports Med*, 9(Suppl 2): 139-151,

2019.

- 24) Vieth R. Why the minimum desirable serum 25-hydroxyvitamin D level should be 75 nmol/L (30 ng/ml). Best Pract Res Clin Endocrinol Metab, 25(4): 681-691, 2011.