

原著

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

井上なぎさ*¹、飯塚太郎*²、朴柱奉*²、土肥美智子*¹

*¹ 独立行政法人国立スポーツ科学センター、*² 公益財団法人日本バドミントン協会

【目的】

ビタミンDが不足すると、骨の健康に悪影響を及ぼし、骨折のリスクが高まる。ビタミンDは、食事からの摂取に加え、皮膚への紫外線照射によって産生されることから、屋内競技のスポーツ選手では、体内のビタミンDが不足することが懸念される。実際に、バドミントン日本代表では、ビタミンD栄養状態の評価指標である25(OH)Dに関して、目標値である30 ng/mL以上を満たした選手がみられなかった。そこで、バドミントン日本代表選手のビタミンD栄養状態を改善する目的で、約1年間の栄養介入を行った。

【方法】

対象は、バドミントン日本代表選手39名（男子選手19名、女子選手20名）とした。調査項目は、血液検査、食事調査、身体組成計測とした。栄養介入において、ビタミンDの摂取量を増やす方策として、その主な供給源となる魚類の摂取量を強化することを中心とした行動計画を個別に提案した。

【結果】

栄養介入前後において、25(OH)Dは有意に増加していた ($p < 0.001$)。また、食事調査では、ビタミンDと魚類の摂取量が有意に増加していることが示された（いずれも $p < 0.05$ ）。

【結論】

約1年間の栄養介入により、日常的にビタミンDの供給源となる魚類の摂取量を増やし、ビタミンDの摂取量を増加させることで、25(OH)Dが改善することが示された。

キーワード：ビタミンD栄養状態 バドミントン日本代表選手 栄養介入

I 緒言

ビタミンDは、体内でのカルシウム吸収を中心とする骨代謝に関与していることから、ビタミンDが不足すると骨の健康に悪影響を及ぼし¹⁾、骨折のリスクが高まることが懸念される。そのため、骨の健康を維持・向上させ、骨折を予防するためには、骨の主成分であるカルシウムやたんぱく質を十分に摂ることはもちろんのこと、骨代謝に関わるビタミンDの栄養状態を良好に保つことが重要なポイントになると考えられる。

ビタミンDは、食事からの摂取だけでなく、皮膚への紫外線照射によって産生される特徴がある。そのため、日光を浴びることの少ない屋内競技のスポーツ選手では、屋外競技のスポーツ選手と比べて体内のビタミンDが不足することが懸念され^{1), 2)}、食事・栄養面からのビタミンD摂取量強化に関する取り組みが一層求められる。ビタミンD栄養状態の評価指標には血清

25ヒドロキシビタミンD (25(OH)D) が用いられ、25(OH)Dが30.4 ng/mL未満の場合、疲労骨折の素因となる可能性が報告されている³⁾。また、疲労骨折の発症率を減少させる栄養面からの方策として、Lappeらは、カルシウムに加えてビタミンDの摂取量を強化することが有効であることを示唆している⁴⁾。その中で、我々がバドミントン日本代表選手におけるビタミンD栄養状態を調査したところ、25(OH)Dが30 ng/mL以上の選手は認められなかった⁵⁾。一方で、疲労骨折の既往歴のある選手の割合は27.5%にものほり、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%⁶⁾を大きく上回っていた。バドミントン選手の傷害の発生率は、競技レベルに伴って上昇することが示されており^{7), 8)}、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選手においては、骨折の予防についてより十分な取り組みを行っていくことが重要になると考えられる。

連絡先：〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1

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

バドミントン日本代表チームのスケジュールでは、年間を通じて強化合宿と国内外の試合遠征が繰り返され、選手の食環境は一定ではない。その中で、公認スポーツ栄養士が常にチームに帯同するわけではないことから、選手は自らにとって適切な食事摂取量に関する知識を獲得するとともに、食環境に応じて実践できるようにすることが求められる⁹⁾。しかし、これまで、骨折の予防に向けて、ビタミンD栄養状態を高めるための栄養介入は行われてきていなかった。

そこで、本研究では、日常的な食事摂取量の改善を促し、バドミントン日本代表選手のビタミンD栄養状態を改善する目的で、約1年間の栄養介入を行った。ビタミンD栄養状態を高めるには、ビタミンDを多く含む魚類を日常的に摂取することが効果的であると言われているが^{1), 10), 11)}、栄養介入は、選手の競技力を支える身体組成などへの影響も踏まえて進める必要があった。本研究では、その成果について検証を行った。

II 方法

1. 対象選手と期間

本研究におけるビタミンD栄養状態の分類は、25(OH)Dを用いた日本骨代謝学会と日本内分泌学会の判定基準¹²⁾を基本とし、スポーツ選手に関する国際オリンピック委員会(International Olympic Committee: IOC)の評価基準¹³⁾も参考にして、「充足(30 ng/mL以上)」、「不足(20 ng/mL以上30 ng/mL未満)」、「欠乏(20 ng/mL未満)」とした。本研究では、2017年にバドミントン日本代表に選出され、ビタミンD栄養状態の分類において「不足」および「欠乏」に該当した51名の選手のうち、翌2018年にも継続して日本代表に選出された男子選手19名(年齢 21.5±4.0歳)、女子選手20名(年齢 22.9±2.8歳)の計39名を対象とした。期間は、2017年2-3月から2018年2月の約1年間とした。調査は、味の素ナショナルトレーニングセンター(National Training Center: NTC)で行われた日本代表強化合宿の際に実施した。

本研究は、国立スポーツ科学センター(Japan Institute of Sports Sciences: JISS)の倫理審査委員会の承認を受け、対象選手には研究内容について十分に説明を行い、書面による研究参加への同意を得て実施した(承認番号059)。

2. 調査項目

1) 食事調査

食品や栄養素等の習慣的な摂取量の把握のために、2017年2-3月と2018年2月の2回、食事調査を行った。調査には、食物摂取頻度調査法(エクセル栄養君食物摂取頻度調査新FFQg ver.5)を用い、選手ごとに面接をして聞き取りを行い、補食やサプリメントの利

用状況も調査対象とした。評価項目は、栄養素等摂取量(エネルギー、たんぱく質、脂質、炭水化物、カルシウム、ビタミンD)、および食品群別摂取量(肉類、魚介類、卵類、豆類、乳類)とした。

2) 血液検査

静脈採血は、午前練習を行う前の8:30-9:30の間に実施した。ビタミンD栄養状態を評価する目的で、25(OH)D(CLEIA法)を測定項目とした。また、ビタミンDの主な供給源となる魚類の摂取状況を評価するために、魚由来のn-3系脂肪酸であるエイコサペンタエン酸(Eicosapentaenoic Acid: EPA)¹⁴⁾を測定した(LC-MS/MS法)。併せて、n-6系脂肪酸であるアラキドン酸(Arachidonic Acid: AA)を測定し(LC-MS/MS法)、多価不飽和脂肪酸におけるn-3系脂肪酸とn-6系脂肪酸の摂取比率を反映するEPA/AA比を魚類摂取状況に関する評価項目の一つとして用いた¹³⁾。

骨代謝マーカーは、疲労骨折の予防・早期発見に有用であることが示されている^{15), 16)}。本研究では、骨代謝について評価する目的で、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)を測定項目とした(EIA法)。

すべての測定は、(株)LSIメディエンスに依頼した。

3) 身体組成計測

選手ごとの栄養素等摂取量の目標設定に加え、栄養介入による身体組成の変化を評価する目的で、2017年2-3月と2018年2月の2回、午前練習を行う前に同条件で身体組成を測定した。測定には、空気置換法による体脂肪測定装置(BOD POD: COSMED SRL社)を用い、体重、除脂肪量、体脂肪率を記録した。体脂肪率の換算式として、18歳以上の選手にはBrozekの式、18歳未満の選手にはLohmanの式を用いた。

3. 栄養介入の内容

1) 栄養素等摂取量の目標設定

食事摂取状況の栄養評価を行う目的で、栄養素等摂取量の目標量を個別に設定した。エネルギー摂取量の目標量は、本調査結果によるエネルギー摂取量、および基礎代謝量に身体活動レベル(Physical Activity Level: PAL)を乗じて推定されるエネルギー消費量¹⁷⁾を用いて設定した。日本人の食事摂取基準で示されているPALは、低い(1.50)、ふつう(1.75)、高い(2.00)の3段階に分類されている¹⁷⁾。本研究でのPALは、選手の「身体づくりの目標」と定期的な身体計測の結果をもとに、練習・試合遠征・オフ日を含めた年間の平均的な身体活動時間と強度を踏まえながら、1.75から2.00の範囲内で選手ごとに設定した。たんぱく質と炭

水化物の目標量は、アメリカスポーツ医学会のガイドライン¹⁸⁾を参考に、日本人の食事摂取基準¹⁷⁾に示されたエネルギー産生栄養素バランスの目標量の範囲内になるよう、各選手それぞれに設定した。カルシウムの目標量は、日本人の食事摂取基準に示されている性・年齢区分別の推奨量とした¹⁹⁾。日本人の食事摂取基準におけるビタミンDの目安量の設定は、健康人の摂取量の中央値が基本となっており、骨折のリスクは考慮されていない²⁰⁾。そこで本研究におけるビタミンDの目標量は、日本人を対象としたビタミンD栄養状態に関する研究²¹⁾と骨粗鬆症の治療におけるビタミンD推奨摂取量²²⁾を参考に設定した。

栄養素等摂取量の目標量において、男子選手はエネルギー 3,326±245 kcal、たんぱく質150.3±9.3 g (2.3±0.2 g/kg体重)、脂質93.0±8.3 g、炭水化物471.8±36.0 g (7.1±0.9 g)、カルシウム792±34 mg、ビタミンD 10.0±0.0 gとなった。女子選手はエネルギー 2,563±233 kcal、たんぱく質121.1±11.1 g (2.1±0.2 g/kg体重)、脂質70.9±6.4 g、炭水化物360.2±33.8 g (6.1±0.5 g)、カルシウム650±0 mg、ビタミンD 10.0±0.0 gとなった。食事調査の結果とこれらの目標値を基準に、選手ごとに栄養補給計画を立案した。

2) 栄養補給計画

対象選手における2017年の1日あたりの栄養素等摂取量において、男子選手はエネルギー 3,022±537 kcal、たんぱく質96.5±25.4 g (1.4±0.4 g/kg/体重)、脂質83.6±18.9 g、炭水化物431.2±99.1 g (6.5±1.6 g/kg/体重)、カルシウム554±173 mg、ビタミンD 6.8±2.9 μgであった。女性選手はエネルギー 2,170±405 kcal、たんぱく質77.1±11.2 g (1.3±0.2 g/kg/体重)、脂質68.3±14.5 g、炭水化物299.0±81.0 g (5.1±1.3 g/kg/体重)、カルシウム492±131 mg、ビタミンD 4.8±1.6 μgであった (表1)。

1日あたりの目標量に対する充足率は、男子選手ではエネルギー 90.8±14.1 %、たんぱく質64.2±16.0 %、脂質90.1±19.9 %、炭水化物91.1±18.1 %、カルシウム70.2±22.1 %、ビタミンD 67.9±29.3 %となった。また、女子選手ではエネルギー 84.4±11.8 %、たんぱく質63.9±9.2 %、脂質96.5±19.9 %、炭水化物82.4±17.2 %、カルシウム75.7±20.1 %、ビタミンD 47.8±18.6 %となった (表1)。

3) 行動計画

ビタミンDの摂取量を増やす方策として、その主な供給源である魚類^{1),10),11)}の摂取量を強化することとした。そのうえで、強化合宿の際は、主食、主菜、副菜、果物 (100 %果汁飲料含む)、乳製品、常備菜の種類が豊富に提供されているアスリートヴィレッジあるいはJISS内のレストランで、1日2品以上の魚料理

をとること、試合遠征では、魚類のレトルト惣菜や缶詰を日本から持参することを行動計画に盛り込んだ。一方で、魚類の摂取量を増やすことは、魚油の摂取量の増加にもつながることから、脂質からのエネルギー摂取量が増加することが懸念された。そのため、脂質摂取量を抑制する目的で、主食や主菜の種類や調理法、菓子類の種類を個別に調整した。エネルギー源となる栄養素は、たんぱく質と炭水化物を中心とした。炭水化物を多く含む食品として穀類、麺類、果物類などが挙げられるが、脂質摂取量の抑制とたんぱく質摂取量の増加を考慮して、米飯の摂取量を増やすこととした。カルシウムを多く含む食品には牛乳や乳製品が挙げられる¹⁾が、本研究では脂質摂取量を抑えることも踏まえて、低脂肪牛乳を1日2回以上とることを基本とし、試合遠征では牛乳・乳製品を1日1回以上取ることを目標とした。

4) 行動計画の実施状況の確認と栄養教育

行動計画の実施状況は、国内外の試合遠征が通年で続く選手への負担を考慮し、毎日選手へ確認することはせず、毎月1回程度 (7-10日程度) 行われる試合遠征前の強化合宿において確認を行った。強化合宿期間中、レストランでの選手の食事に立ち合い、行動計画が達成できているかどうか、食事摂取量を確認して目視での栄養評価を行い、改善が必要な場合にはその場で栄養教育を行った。この「栄養評価→栄養教育」の過程を強化合宿ごとに個別に毎食行った。また、試合遠征期間中における行動計画の実施状況は、強化合宿時に選手に個別で確認し、改善が必要な場合には、行動計画を選手と一緒に再調整した。

4. 統計処理

各測定値は平均±標準偏差で表した。各項目における栄養介入前後と性別の比較には反復測定分散分析を用い、有意な交互作用が認められた項目には、Bonferroni法による多重比較を行った。なお、統計的有意水準は5 %未満とし、統計解析にはIBM SPSS Statistics (ver.24.0 IBM SPSS Japan) を用いた。

III 結果

1. 食事摂取量

1日あたりの食事摂取量における栄養介入前後および性別の比較結果を表1に示した。栄養素等摂取量では、ビタミンDおよびカルシウムにおいて栄養介入に主効果がみられ (それぞれ $p = 0.007$, $p < 0.001$)、有意に増加していたことが示された。また、エネルギーおよび炭水化物において、栄養介入と性別に有意な交互作用が認められた (それぞれ $p = 0.026$, $p = 0.038$)。多重比較の結果、女子選手において、栄養介入前後で

表 1 1日あたりの食事摂取量における栄養介入前後と性別の比較

	2017年				2018年		P値*
	男子 (n = 19)	女子 (n = 20)	男子 (n = 19)	女子 (n = 20)	栄養介入 性別	栄養介入 × 性別	
栄養素等摂取量							
エネルギー	3022 ± 537 ^a (kcal)	2170 ± 405 ^{ad}	3024 ± 625 ^b	2647 ± 458 ^{bd}	0.024	<0.001	0.026
	90.8 ± 14.1 (%) **	84.4 ± 11.8 ^d	90.7 ± 16.3 ^b	103.7 ± 17.6 ^{bd}	0.006	0.361	0.006
たんぱく質	96.5 ± 25.4 (g)	77.1 ± 11.2	105.1 ± 23.0	98.6 ± 21.0	0.003	0.004	0.361
	1.4 ± 0.4 (g/kg体重)	1.3 ± 0.2	1.6 ± 0.4	1.6 ± 0.4	0.001	0.575	0.180
	64.2 ± 16.0 (%) **	63.9 ± 9.2	70.0 ± 14.9	76.7 ± 14.6	0.001	0.371	0.192
脂質	83.6 ± 18.9 (g)	68.3 ± 14.5	80.2 ± 19.4	74.1 ± 14.6	0.739	0.013	0.200
	90.1 ± 19.9 (%) **	96.5 ± 19.9	86.3 ± 20.0	104.7 ± 19.7	0.604	0.015	0.158
炭水化物	431.2 ± 99.1 ^a (g)	299.0 ± 81.0 ^{ad}	440.4 ± 104.4	384.0 ± 73.6 ^d	0.011	<0.001	0.038
	6.5 ± 1.6 ^a (g/kg体重)	5.1 ± 1.3 ^{ad}	6.5 ± 1.8	6.6 ± 1.5 ^d	0.006	0.110	0.012
	91.1 ± 18.1 (%) **	82.4 ± 17.2 ^d	92.9 ± 18.8 ^b	107.0 ± 20.5 ^{bd}	0.003	0.540	0.009
カルシウム	554 ± 173 (mg)	492 ± 131	665 ± 203	641 ± 183	<0.001	0.346	0.567
	70.2 ± 22.1 (%) **	75.7 ± 20.1	83.8 ± 24.8	98.7 ± 28.2	<0.001	0.107	0.318
ビタミンD	6.8 ± 2.9 (μg)	4.8 ± 1.6	8.9 ± 4.9	7.3 ± 4.8	0.007	0.058	0.784
	67.9 ± 29.3 (%) **	47.8 ± 16.5	88.7 ± 49.0	72.9 ± 47.8	0.007	0.058	0.788
食品群別摂取量							
肉類	188.0 ± 102.6 (g)	138.0 ± 43.6	169.8 ± 68.6	139.5 ± 45.5	0.577	0.018	0.514
魚介類	59.1 ± 37.0 (g)	40.8 ± 23.3	82.2 ± 56.5	51.8 ± 32.9	0.024	0.023	0.411
卵類	42.7 ± 13.1 ^c (g)	45.9 ± 18.6 ^d	57.1 ± 22.6 ^{bc}	27.7 ± 20.7 ^{bd}	0.610	0.011	<0.001
豆類	48.6 ± 32.4 (g)	54.8 ± 32.0	52.1 ± 31.0	57.8 ± 68.0	0.735	0.566	0.979
乳類	165.6 ± 120.4 (g)	139.6 ± 108.6	248.4 ± 131.5	249.4 ± 116.0	<0.001	0.697	0.523

平均 ± 標準偏差

* 反復測定分散分析の後、有意な交互作用が見られた項目には、Bonferroni法による多重比較を行った (同符号間に有意差あり) ; a-d)

** 1日あたりの目標量に対する充足率

エネルギーおよび炭水化物が有意に増加していたことが示された ($p < 0.05$)。たんぱく質は、栄養介入 ($p = 0.003$) および性別 ($p = 0.004$) に主効果がみられ、栄養介入前後で有意に増加していたことが示された。脂質に関しては、性別にのみ主効果がみられ ($p = 0.013$)、栄養介入による変化は示されなかった。食品群別摂取量では、魚介類において栄養介入 ($p = 0.024$) および性別 ($p = 0.023$) に主効果がみられ、栄養介入前後で有意に増加していたことが示された。また、乳類においても栄養介入での主効果がみられ ($p < 0.001$)、栄養介入前後での有意な増加が示された。

2. 血液検査

血液検査項目における栄養介入前後および性別の比較結果を表2に示した。25 (OH) Dにおいて、栄養介入 ($p < 0.001$) および性別 ($p = 0.009$) に主効果がみられ、栄養介入前後で25 (OH) Dが有意に増加していたことが示された。

脂肪酸では、AAにおいて、栄養介入と性別に有意な交互作用が認められた ($p = 0.027$)。多重比較の結果、男子選手において、栄養介入前後で有意な減少があったことが示された ($p < 0.05$)。一方で、EPAにおいて、栄養介入 ($p = 0.005$) および性別 ($p = 0.031$) に主効果がみられ、栄養介入前後で有意に増加していたことが示された。同様に、EPA/AA比においても、栄養介入 ($p < 0.001$) および性別 ($p = 0.007$) に主効果がみられ、栄養介入前後で有意に増加していたことが示された。

骨代謝マーカーであるNTXにおいて、栄養介入前後と性別に有意な交互作用が認められた ($p = 0.030$)。多重比較の結果、男子選手では介入前後で有意な減少が示されたが ($p < 0.05$)、女子選手では変化が認められなかった。

3. 身体組成

身体組成計測項目における栄養介入前後および性別の比較結果を表3に示した。体重、除脂肪量、体脂肪率のすべての項目において、栄養介入と性別に有意な交互作用が認められた (それぞれ $p < 0.001$, $p = 0.040$, $p = 0.041$)。多重比較の結果、体重において、男子選手では介入前後で有意な増加がみられた一方で ($p < 0.05$)、女子選手では有意に減少していたことが示された ($p < 0.05$)。除脂肪量は、男子選手では有意に増加し ($p < 0.05$)、女子選手では変化がみられなかった。体脂肪率に関しては、男性選手では変化が認められなかったが、女性選手においては有意な減少が示された ($p < 0.05$)。

IV 考察

本研究では、バドミントン日本代表チームを対象として、ビタミンD栄養状態の改善を目的とした約1年間の栄養介入を行った。その結果、ビタミンD栄養状態を反映する25 (OH) Dは、男子選手 16.9 ± 4.0 ng/mLから 20.8 ± 3.2 ng/mL、女子選手 13.6 ± 3.6 ng/mLから 17.8 ± 5.0 ng/mLへと有意に増加し、男女選手とも改善が認められた。その要因として、食事調査の結果から、栄養介入による働きかけによって魚類の摂取量が増加し、ビタミンDの摂取量が増加したことがあると考えられる。さらに、対象選手らが、日常的に魚類の摂取量を高める行動計画を実践していたことは、脂肪酸において、栄養介入後にEPAおよびEPA/AA比が有意に増加していたことから推察される。

Nakamuraらは、日本人の25 (OH) Dの平均は 20.0 ng/mL、ビタミンD摂取量の平均は 10.7 μ g/日であったことを報告している²¹⁾。一方で、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^{12), 23)}、スポーツ選手に関しても、IOCは25 (OH) Dの充足レベルを $30-32$ ng/mL以上¹³⁾と提言している。本栄養介入により、ビタミンD摂取量は、男子選手 6.8 ± 2.9 μ gから 8.9 ± 4.9 μ g、女子選手 4.8 ± 1.6 μ gから 7.3 ± 4.8 μ gへと有意に増加したものの、1日あたりの目標量に対する充足率は、介入後も男子選手で 88.7 ± 49.0 %、女子選手で 72.9 ± 47.8 %に留まり、25 (OH) Dが 30 ng/mL以上に達した選手はいなかった。骨の健康を考慮した場合、少なくとも 600 IU/日 (15 μ g/日) 以上のビタミンDを摂取することが勧められている²⁴⁾ことを踏まえると、バドミントン日本代表選手の25 (OH) Dを更に高めるためには、ビタミンDの摂取目標量を一層増やす必要があるのかもしれない。しかし、国内外の試合遠征が通年で繰り返されるバドミントン日本代表選手においては、遠征先での食環境の問題のほか、試合スケジュールの進行状況によって試合が夜遅くに及ぶ場合など、食事を十分にとることが出来ないことも多い²⁵⁾。そういった場合には、食事だけではなく、サプリメントの利用も含めた栄養介入の方策を段階的に検討する必要があるだろう。

栄養介入前後において、男子選手では骨吸収マーカーであるNTXが有意に減少し、栄養介入が骨量減少の抑制に作用した可能性が示唆された。骨はカルシウムの貯蔵庫としての役割を担い、血中カルシウム濃度が低下した場合には、骨に蓄えられているカルシウムを溶かし出す骨吸収によって、血中カルシウム濃度の恒常性が厳格に維持される^{1), 26)}。そのため、NTXが減少した要因として、カルシウム摂取量の増加によって骨吸収が制御され、骨量の減少が抑制されたことが考えられる。また、ビタミンDに関して、骨吸収

表2 血液検査項目における栄養介入前後と性別の比較

	2017年		2018年		P値*
	男子 (n = 19)	女子 (n = 20)	男子 (n = 19)	女子 (n = 20)	
ビタミンD 栄養状態					
25 (OH) D (ng/mL)	16.9 ± 4.0	13.6 ± 3.6	20.8 ± 3.2	17.8 ± 5.0	<0.001 0.009 0.820
脂肪酸					
AA (μg/mL)	252.8 ± 66.0 ^c	232.2 ± 57.5	209.9 ± 43.8 ^c	219.0 ± 56.3	<0.001 0.734 0.027
EPA (μg/mL)	35.4 ± 15.2	26.1 ± 16.9	54.5 ± 31.8	36.4 ± 29.5	0.005 0.031 0.373
EPA/AA 比	0.14 ± 0.05	0.11 ± 0.06	0.26 ± 0.14	0.16 ± 0.09	<0.001 0.007 0.105
骨代謝					
NTX (nmolBCE/L)	23.1 ± 5.7 ^{ac}	15.8 ± 4.9 ^a	20.9 ± 4.4 ^{bc}	16.0 ± 4.4 ^b	0.087 <0.001 0.030

平均±標準偏差

* 反復測定分散分析の後、有意な交互作用が見られた項目には、Bonferroni法による多重比較を行った（同符号間に有意差あり）；a-d

表3 身体組成項目における栄養介入前後と性別の比較

	2017年		2018年		P値*
	男子 (n = 19)	女子 (n = 20)	男子 (n = 19)	女子 (n = 20)	
体重 (kg)	67.1 ± 5.8 ^{ac}	59.1 ± 4.5 ^{ad}	68.0 ± 5.4 ^{bc}	58.4 ± 4.5 ^{bd}	<0.001
除脂肪量 (kg)	58.9 ± 4.8 ^{ac}	49.7 ± 4.0 ^a	59.5 ± 4.6 ^{bc}	49.5 ± 4.3 ^b	0.287 <0.001 0.040
体脂肪率 (%)	12.2 ± 4.0 ^a	15.9 ± 3.4 ^{ad}	12.6 ± 3.6 ^b	15.3 ± 3.4 ^{bd}	0.611 0.007 0.041

平均±標準偏差

* 反復測定分散分析の後、有意な交互作用が見られた項目には、Bonferroni法による多重比較を行った（同符号間に有意差あり）；a-d

を促す破骨細胞を骨に近づけないよう血管に引き戻す作用によって、骨吸収を抑制するはたらきを持つことが報告されており²⁷⁾、ビタミンD摂取量の増加がNTXの減少につながった可能性も考えられる。しかし、女子選手に関しては、カルシウムとビタミンDの摂取量が有意に増加したにも関わらず、NTXの値に有意な変化が認められなかった。NTXの基準値は性別で異なり、男性では17.7 nmolBCE/L、女性では閉経前後でさらに分類され、閉経前女性で16.5 nmolBCE/L、閉経後女性で24.5 nmolBCE/Lより数値が高い場合には、それぞれ異常高値とされる²⁸⁾。その中で、介入前のNTXの値において、女子選手は 15.8 ± 4.9 nmolBCE/Lと基準値をクリアしていた一方で、男子選手は 23.1 ± 5.7 nmolBCE/Lと基準値を上回っていたことから、骨代謝回転が亢進している状態であったことが推察された。そのため、栄養介入によって男女選手を通じてカルシウムおよびビタミンDの摂取量が有意に増加していたにも関わらず、NTXの変化が性別で異なった要因として、それぞれの基準値に対する栄養介入前のNTXのレベルの違いが影響した可能性が考えられる。

本研究の限界点の一つとして、栄養介入の効果を検証するための非介入群を設定できなかったことがある。その理由は、2017年バドミントン日本代表選手51名のビタミンD栄養状態を調査したところ、25(OH)Dにおいて30 ng/mLの基準値を満たした選手がいなかったためであり⁵⁾、選手を介入群と非介入群に分けることなく、全選手を対象として栄養介入を行った。次に、本研究では、バドミントン日本代表チームの強化合宿スケジュールを考慮し、年間を通じて25(OH)Dが最も低いとされる2-3月に調査を行ったことが挙げられる。ビタミンDは皮膚への紫外線照射によって産生される特徴があることから、25(OH)Dの値は季節変動の影響を受けやすく、夏季に高く冬季で低いことが報告されている²⁹⁾。そのため、バドミントン競技は屋内競技であるものの、夏季など日照時間の長い時期に測定をしていれば、25(OH)Dはより高値を示していた可能性がある。また、栄養介入前後における食事摂取量の評価方法として、食物摂取頻度法を用いたことも限界点として挙げられる。個人の習慣的なビタミンD摂取量を推定するために必要な食事記録調査の日数は、誤差範囲20%で138日、誤差範囲10%で550日を要するが³⁰⁾、国内外の試合遠征が通年で続く選手らに、毎日の食事記録調査を長期間実施することは難しく、本研究では食物摂取頻度法を用いた。そのため、栄養介入による25(OH)Dの増加に関して、ビタミンD摂取量や魚類摂取量の増加との量的な関係性を単純に検証することが出来ないことは留意するべきであろう。さらに、本研究では、骨形成に関与するビタミンDやカルシウムの摂取量を強化する一方で、

骨量の評価指標として骨代謝マーカーを用いたが、骨代謝マーカーに関して、スポーツ選手を対象とした基準値はこれまで定められてきていない。そのため、今後、栄養介入に伴う骨量の増減に関して十分な評価・検証を行う上では、DEXA法などによって骨密度をより直接的に測定していく必要があると考えられる。

V 結論

バドミントン日本代表選手のビタミンD不足を改善することを目標に、約1年間の栄養介入を行い、その成果を検証した。魚類の摂取量を強化することを主とした栄養介入により、ビタミンD栄養状態を反映する25(OH)Dは有意に増加した。しかし、25(OH)Dが目標値である30 ng/mL以上まで達した選手はいなかった。今後、ビタミンD栄養状態をポイントにおいた栄養介入を継続するとともに、25(OH)Dの更なる改善に向けて、方策の検討が必要であることが示唆された。

謝辞

本研究の実施に際し、千野謙太郎氏をはじめ、JISSの皆様より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ます。謝辞にかえさせていただきます。

利益相反

本研究内容に関して利益相反は存在しない。

文 献

- 1) Deborah, K., Enette, L.M.: Bone, calcium, vitamin D and exercise, CLINICAL SPORTS NUTRITION. 5th ed., Louise B., Vicki D., pp.234-265 (2015), McGraw-Hill, North ryde
- 2) Maruyama-Nagao, A., Sakuraba, K., Suzuki, Y.: Seasonal variations in vitamin D status in indoor and outdoor female athletes, *Biomed. Rep.* 5, 113-117 (2016)
- 3) Ruohola, J.P., Laaksi, I., Ylikomi, T., et al.: Association between serum 25(OH)D concentrations and bone stress fractures in Finnish young men, *J. Bone. Miner. Res.*, 21, 1483-1488 (2006)
- 4) Lappe, J., Cullen, D., Haynatzki, G., et al.: Calcium and vitamin d supplementation decreases incidence of stress fractures in female navy recruits, *J. Bone. Miner. Res.*, 23, 741-749 (2008)
- 5) Matsumoto, N., Iizuka, T., Chino, K., et al.: Vitamin D status of the players of the Japanese national badminton team, *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.*, 28,

- S1-1 (2018)
- 6) 能見修也, 石橋恭之, 津田英一, 他: 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, 43-49 (2011)
 - 7) Jørgensen, U., Winge, S.: Epidemiology of badminton injuries, *Int. J. Sports. Med.*, 8, 379-382 (1987)
 - 8) 三宅英司, 八並光信, 倉林 準, 他: バドミン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, 223-231 (2017)
 - 9) 松本なぎさ, 飯塚太郎, 千野謙太郎, 他: リオデジャネイロ 2016 オリンピックに向けたバドミントン日本代表チームに対する栄養サポート, *日本スポーツ栄養研究誌*, 11, 93-100 (2018)
 - 10) Chen, T.C., Chimeh, F., Lu, Z., et al.: Factors that influence the cutaneous synthesis and dietary sources of vitamin D, *Arch. Biochem. Biophys.*, 460, 213-217 (2007)
 - 11) Nakamura, K., Nashimoto, M., Okuda, Y., et al.: Fish as a major source of vitamin D in the Japanese diet, *Nutrition*, 18, 415-416 (2002)
 - 12) Okazaki, R., Ozono, K., Fukumoto, S., et al.: 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], *Endocr J.*, 64, 1-6 (2017)
 - 13) Enette Larson-Meyer : Calcium and Vitamin D, *Sports Nutrition*, Maughan R.J., pp.242-262 (2014), John Wiley&sons, West Sussex
 - 14) 菱田 明: 脂質, 日本人の食事摂取基準(2015版), 佐々木敏, pp.110-142 (2014), 第一出版, 東京
 - 15) 桜庭景植, 澤木啓祐, 石川拓次, 他: 下肢の疲労骨折—MRI および骨代謝マーカーを中心に—, *日本臨床スポーツ医学会誌*, 12, 385-392 (2004)
 - 16) 藤田真平, 桜庭景植, 窪田敦之, 他: 大学男子長距離選手における疲労骨折の予防・早期発見に対する骨代謝マーカーの有効性, *日本臨床スポーツ医学会誌*, 26, 382-389 (2018)
 - 17) 菱田 明: エネルギー, 日本人の食事摂取基準(2015版), 佐々木敏, pp.45-87 (2014), 第一出版, 東京
 - 18) Thomas, D.T., Erdman, K.A., Burke, L.M.: American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 48, 543-568 (2016)
 - 19) 菱田 明: カルシウム, 日本人の食事摂取基準(2015版), 佐々木敏, pp.256-261 (2014), 第一出版, 東京
 - 20) 田中 清, 青 未空, 栗原晶子: ビタミン不足の社会的意義およびビタミン不足を考慮した今後の食事摂取基準, *臨床栄養*, 130, 204-207 (2017)
 - 21) Nakamura, K., Kitamura, K., Takachi, R., et al.: Impact of demographic, environmental, and lifestyle factors on vitamin D sufficiency in 9084 Japanese adults, *Bone*, 74, 10-17 (2015)
 - 22) 日本骨粗鬆症学会, 日本骨代謝学会, 骨粗鬆症財団: 骨粗鬆症に一般的な治療(薬物以外), 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2015年版, 折茂肇, pp.78-78 (2015), ライフサイエンス出版, 東京
 - 23) 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), 681-91 (2011)
 - 24) De, Souza, M.J., Williams, N.I., Nattiv, A., et al.: Misunderstanding the female athlete triad: refuting the IOC consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S), *Br. J. Sports. Med.*, 48, 1461-1465 (2014)
 - 25) 松本なぎさ, 飯塚太郎, 朴 柱奉: バドミントン日本代表選手における海外遠征中の食事管理に関する栄養サポート, *日本スポーツ栄養研究誌*, 10, 70-76 (2017)
 - 26) 麻美直美: スポーツ選手の骨の健康と栄養摂取, 体育・スポーツ指導者と学生のためのスポーツ栄養学, 田口素子, 樋口 満, pp.89-102, 市村出版, 東京
 - 27) Kikuta, J., Kawamura, S., Okiji, F., et al.: Sphingosine-1-phosphate-mediated osteoclast precursor monocyte migration is a critical point of control in antbone-resorptive action of active vitamin D, *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.*, 110, 7009-7013 (2013)
 - 28) 日本骨粗鬆症学会, 日本骨代謝学会, 骨粗鬆症財団: 付表(骨代謝マーカーの基準値、カットオフ値、異常高値), 折茂肇, 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会, pp.154-158 (2015), ライフサイエンス出版, 東京
 - 29) Cannell, J.J., Hollis, B.W., Sorenson, M.B., et al.: Athletic performance and vitamin D, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 41, 1102-1110 (2009)
 - 30) 日本栄養改善学会: 食事調査法の概要, 食事調査マニュアル, 伊達ちぐさ, 徳留裕子, 吉池信男, pp.3-13 (2016), 南山堂, 東京

(受付日: 2018年9月27日)
(採択日: 2018年12月10日)

Original Article

Effect of nutritional intervention on vitamin D inadequacy in Japanese Badminton national team players

Nagisa INOUE ^{*1}, Taro IIZUKA ^{*2}, Joo Bong PARK ^{*2}, Michiko DOHI ^{*1}

^{*1}Japan Institute of Sports Sciences

^{*2}Nippon Badminton Association

ABSTRACT

【Aim】

Vitamin D deficiency negatively influences bone health and may lead to bone loss and/or fracture. Vitamin D status is influenced by sun exposure in addition to vitamin D intake. Consequently, indoor sports athletes are susceptible to vitamin D deficiency. The serum 25 (OH) D level is used to assess the vitamin D status. The risk of fracture increases if the 25 (OH) D level is less than 30 ng/mL. It is therefore of concern that every player on the Japanese badminton national team had a 25 (OH) D level below 30 ng/mL. We performed a nutritional intervention for 39 players (19 men, 20 women) to improve their vitamin D status over a period of approximately 1 year.

【Methods】

We analyzed blood samples and assessed nutritional intake and body composition. For the nutritional intervention, we established a target nutritional intake for each player and suggested individualized strategies to optimize vitamin D intake from fatty fish.

【Results】

As a result of our intervention, the 25 (OH) D level increased ($P < 0.001$). Similarly, vitamin D and fish intake increased significantly in both the men and the women ($P < 0.05$).

【Conclusion】

It is likely that the increase in fish intake, a rich source of vitamin D, led to the observed improvement in the vitamin D status.

Keywords: Vitamin D status, Japanese badminton national team players, nutritional intervention