

特定給食施設における若年アスリートの栄養サポートを 目指したDHA入りレシピの開発

Nutritional support recipes including DHA for junior athletes in
specified facilities for food service

岩崎由香里¹⁾・桐野 顕子¹⁾・河村 敦¹⁾・渡邊 和子¹⁾・
Yukari IWASAKI¹⁾・Akiko KIRINO¹⁾・Atsushi KAWAMURA¹⁾・Kazuko WATANABE¹⁾・

額田眞喜子¹⁾・仲 克己¹⁾・藤原夏樹²⁾・藤井 淳²⁾・
Makiko NUKADA¹⁾・Katsumi NAKA¹⁾・Natsuki FIJIWARA²⁾・Jun FUJII²⁾・

花川 容子²⁾・対馬忠広²⁾・三澤嘉久²⁾・万倉三正¹⁾
Yoko HANAKAWA²⁾・Tadahiro TSUSHIMA²⁾・Yoshihisa MISAWA²⁾・Mitsumasa MANKURA¹⁾

Abstract

We intend to promote the medical and scientific supports for junior athletes. It is known that the bone density of female athletes is low, especially in middle school and high school students playing as onshore long distance runners. Those of low bone density are presumed to bring higher risks of fatigue fracture and osteoporosis. The cause of low bone density is indicated by the symptom of menstrual abnormality based on "low energy availability" due to increased momentum, and many of high school athletes characterized as "amenorrhea girls" have lower estradiol status. It is reported that DHA taken with diet meal causes both elevated bone mineral density and increased estradiol concentration.

Therefore, it is thought to be significant to develop recipes including DHA which is possible to be employed in a specific lunch facility installed in a school or the dormitory, and allow for young athletes to take the required amount of DHA. It is essential points for the recipes to control the prompt oxidations of DHA in a process of the cooking, and it is necessary to restrain the expression of fishy odor becoming strong with the progress of lipid oxidation.

In this study, we developed recipes including DHA which could be cooked in large quantities and analyzed total lipids from resulted dishes and evaluated the oxidation level. And we estimated sensuously the changes of fishy odor for cooking process.

The analyses of peroxide values and fatty acid compositions in total lipids from resulted dishes suggested that the lipid oxidation did not generate and DHA was not decomposed through heating process of cooking. In addition, thin layer chromatography (TLC) analyses showed that the oxidative polymerization of lipids did not occur. The fishy odor was hardly sensed, and the addition of DHA seemed not to affect the taste. These results indicate that the invented recipes are available in a specific lunch facility installed in a school or the dormitory.

Key words : *DHA, school lunch, junior athlete nutrition support*

1) くらしき作陽大学食文化学部現代食文化学科

Department of Contemporary Food Culture, Faculty of Food Culture, Kurashiki Sakuyo University

2) 備前化成株式会社油脂事業本部油脂事業本部 油脂開発部

Oleo Fine Chemical Div. Research and Development Dept., Bizen Chemical Co., LTD.,

緒言

競技力向上を目指すアスリートではジュニア期からの医・科学サポートが重要であり、文部科学省は戦略的な支援を強化している。骨密度や筋量は栄養素摂取と関連があることが知られている。また、スポーツを実施する者にとってケガを予防し体力を増強するための栄養摂取は重要な課題である。

また、陸上長距離ランナー、特に中学・高校生等の若年女性アスリートの骨密度が低いことが報告されており^{1,2)}、骨密度の低いランナーは疲労骨折や骨粗鬆症発症のリスクが高くなると推測される³⁾。低骨密度の原因として運動量の増加による「low energy availability（利用可能エネルギー不足）」に起因する月経異常の可能性が示されている⁴⁾。「low energy availability」、「無月経」及び「低骨密度」を女性アスリートの三主徴と呼び、女性の将来の健康に影響を及ぼす因子と考えられている⁵⁾。女子高校生アスリートの「無月経」者の多くが低エストラジオール状態であることも示されている⁶⁾。

掛かる背景下、骨量増加に重要な時期の若年アスリートの骨密度に魚介類摂取量が影響する可能性を示唆する報告がある⁷⁾。さらに、DHA（docosahexaenoic acid）を食事の中で摂取することでエストラジオールを増加させるとの報告もあることから、DHA摂取が「無月経」「低骨密度」に良い影響を及ぼす可能性がある⁸⁾。日本人の食事摂取基準（2015年度版）では、EPA（eicosapentaenoic acid）およびDHA等の ω 3脂肪酸の目安量は0.9～2.4g/日とされている⁹⁾。

そこで、学校や寄宿舎等の特定給食施設で利用可能なDHAを利用したレシピを開発し、若年アスリートに必要な量を定期的に摂取することができるようにしていきたいと考えるが、DHAには加工工程や保存期間中の魚臭発現や酸化進行の問題があるといわれている¹⁰⁾。

本研究では、若年アスリート等の栄養サポートを目指して、大量調理可能なDHA入り学校給食レシピを開発し、その料理の脂質分析及び官能検査を実施し、特定給食施設（学校・寄宿舎等）での汎用性を検討した。

材料および方法

1. 材料

DHA精製油は、総脂肪酸組成中に70area%以上のDHAを含有するトリグリセリド型である備前化成株式会社製DHA70TG抗酸化タイプ（DHA70TGと略記、抗酸化剤として、ビタミンE及びアスコルビン酸パルミテートを含む）を用いた（分析値を表1に示す）。脂質の抽出・分析に用いた試薬は、全て特級のものをを用いた。

表1 DHA 70TG（備前化成株式会社製）の分析値

項目	単位	結果
外観	-	澄明な油
臭い	-	特有の臭み
酸価(AV)	mgKOH/g	0.04
過氧化物価(PV)	meq/kg	n.d.*
C22:6(DHA)	area%	74.8

*n.d., not detected

2. DHA入りレシピ開発

学校・寄宿舎等の特定給食施設で利用できるDHA70TG入りレシピ3品を開発した。作成した料理は、加熱前と加熱後に食材を採取し、分析に用いるまで-30℃で保存した。比較対象には、DHA精製油の代わりに植物油脂を添加した料理を用いた（詳細は【参考資料】参照）。

3. 脂質の抽出および分析方法

調理後-30℃で冷凍保存した食材を40~50g精秤し、クロロホルム-メタノール系で脂質を抽出した。全脂質中の脂肪酸組成はガスクロマトグラフィーにより分析した。検出器はFID、使用カラムはDB-WAX（φ0.25mm×30m, アジレントテクノロジー）、メチル化は2013年度版基準油脂分析試験法（日本油化学学会編）に準拠し三フッ化ホウ素-メタノール法により行った。

脂質の過酸化値（PV）及び酸価（AV）は2013年度版基準油脂分析試験法（日本油化学学会編）に準拠して測定した。

4. 官能評価

20歳代から60歳代で構成されるパネル21名（男性7名、女性14名）によっておいしさ、味の濃淡、彩り、食感、レシピ採用、魚臭感、魚臭の不快感について官能評価を実施した。官能評価データは重複測定分散分析法により検定した。

結果

1. DHAの加熱による安定性の確認

DHAの酸化を防ぎ、魚臭をマスキングするため、乳化作用を有する全卵を活用した。

まず、全卵とDHA70TGの乳化物の安定性を確認するため、全卵とDHA70TGの乳化物の卵焼きを作成し、加熱によるDHAの安定性を検討した。全卵200gにDHA70TG 5gを添加し、全卵（No.1）、加熱前（No.2）、加熱後（No.3）の卵焼きにおける重量変化、脂質抽出量、収率、PV、AV、脂肪酸組成を分析した（表2）。

表2 全卵中DHAの熱安定性の評価

		全卵	全卵+DHA70TG	
			加熱前	加熱後
番号		No.1	No.2	No.3
脂質含量(%)		9.0	15.4	17.5
PV (meq/kg)		5.6	3.7	3.1
AV (mgKOH/g)		4.3	3.8	4.3
脂肪酸組成 (GCarea%)				
飽和脂肪酸		34.8	27.0	27.4
不飽和脂肪酸		63.0	70.0	69.6
ω3 脂肪酸		1.3	18.2	17.9
C18:3n-3	ALA	0.4	0.4	0.4
C20:5n-3	EPA	n.d.*	1.0	1.0
C22:5n-3	DPA n-3	n.d.*	0.7	0.7
C22:6n-3	DHA	0.9	16.0	15.7
Total		97.8	97.1	97.0

*n.d., not detected

加熱前の卵焼き（No.2）におけるDHA含有量は16.0%、加熱後（No.3）は15.7%であることから、加熱によるDHAの分解は生じていないと判断した。また、加熱後のPVは3.1、AVは4.3であり、加熱前と比較して変化がなかった。

また、加熱後の卵焼きは魚臭などのDHAに特有な臭いなどは発現しておらず、テクスチャー的にも違和感はなかった。

次いで、卵焼きに含まれる脂質クラスの確認をTLCにて定行的に行った（図1-I）。No.1, 2, 3い

ずれもトリグリセリドおよびステロール類を示すスポットが出現した。一方、原点にもスポットが残存した。そこで原点に残ったものがリン脂質か極性重合脂質によるものか否かを確認するため、クロロホルム：メタノール：水=65：25：4（v/v/v）にて再度展開し検討を行った。その結果、原点にスポットは残存せず、ホスファチジルコリン（PC）やホスファチジルエタノールアミン（PE）等のリン脂質を示すスポットのみが出現し、テーリングの痕跡は認められなかった（図1-II）。

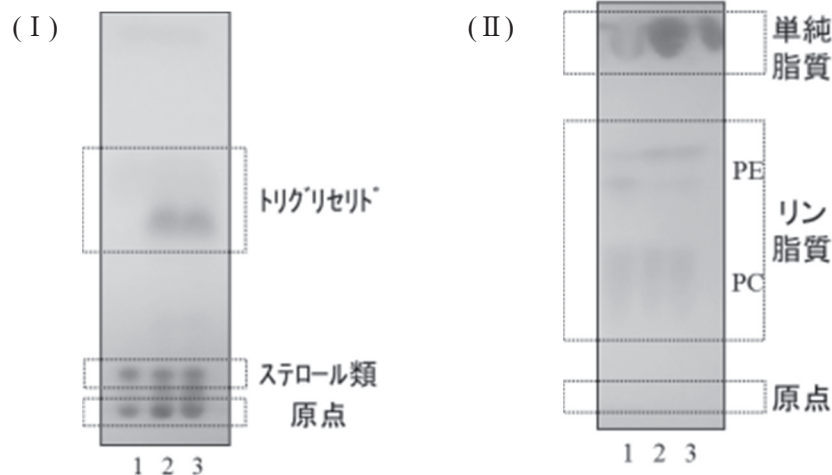


図1 DHA添加卵焼き由来脂質のTLCパターン

Plate, Silica gel plate; 50% H_2SO_4 /EtOHを噴霧後、加熱にて焦化。

展開溶媒；(I)、ヘキサン：エーテル：酢酸=80：20：1（v/v/v）；(II)、クロロホルム：メタノール：水=65:25:4（v/v/v）

試料；1、全卵（No.1）；2、全卵+DHA70TG（No.2）；3、加熱後の全卵+DHA70TG（No.3）

2. DHA入りレシピの開発

卵を活用したレシピを2品（大豆入りスパニッシュオムレツ、エビ入りキッシュ）開発した。学校給食摂取基準においては、学校給食栄養報告書から豆類の摂取量が少ないことが指摘されていることから、大豆の使用を増やすことが課題となっている¹⁰⁾。また、大量調理施設において卵に付着するサルモネラ菌による食中毒の発生が見られたため、複雑な調理工程を要する卵の使用を最低限度にする傾向にある。そこで、衛生的な作業工程のもと卵の摂取量を増やすことも課題となっている¹¹⁾。これらのことから、レシピに卵と大豆を取り入れることにした。

さらに、卵同様に魚臭をマスキングし得るカレー粉を使用したレシピを1品（豆入りカレー）作成し、官能評価に供した。カレーは学校給食レシピにおいて児童生徒が好むレシピの上位に位置している。料理は大量調理が可能であり、学校や寄宿舎等の特定給食施設での利用者が好むものとした（図1-参照）。

各料理のレシピ、調理方法は参考資料に記載してある。

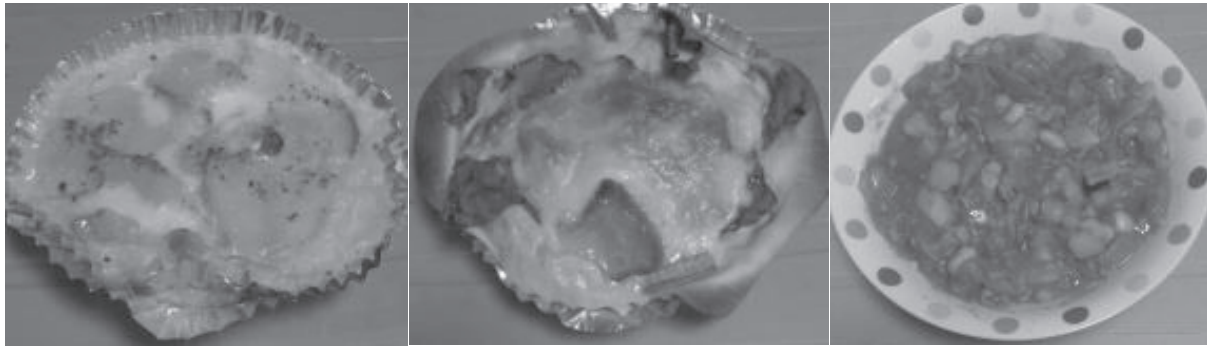


図2-1 大豆入りスパニッシュ
オムレツ

図2-2 エビ入りキッシュ

図2-3 豆入りカレー

図2 DHA入り料理（詳細は【参考資料】参照）

3. 各料理に含まれるDHAの調理前後における熱安定性評価

開発した3種類の料理に含まれる脂質の酸化について検討を行った。調理前後の各料理に含まれる脂質含量（収率）、PV、AVを表3に示す。この結果から、3種類の料理において脂質の酸化は発生していないことが示唆された。さらに、脂肪酸組成分析結果から、すべての料理で加熱によるDHAの分解も起こっていないことが示唆された。

表3 DHA70TG添加料理の加熱前後における脂質組成変化

料理名	DHA 70TG添加 大豆入り スパニッシュオムレツ		DHA 70TG添加 エビ入りキッシュ		DHA 70TG添加 豆入りカレー	
	加熱前	加熱後	加熱前	加熱後	加熱前	加熱後
脂質含量(%)	7.2	8.0	7.6	8.3	4.2	4.6
PV (meq/kg)	1.3	0.9	4.9	2.9	n.d.*	n.d.*
AV (mgKOH/g)	7.7	5.9	5.4	5.2	2.8	2.6
脂肪酸組成 (GCarea%)						
飽和脂肪酸	30.7	30.4	39.4	39.7	32.4	33.1
不飽和脂肪酸	66.4	66.6	53.1	53.7	64.5	63.9
ω3 脂肪酸	6.6	6.7	5.6	5.7	8.1	8.3
C18:3n-3 ALA	1.2	1.3	0.6	0.6	2.2	2.1
C20:5n-3 EPA	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.4
C22:5n-3 DPA n-3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
C22:6n-3 DHA	4.6	4.6	4.2	4.2	5.2	5.5
Total	97.1	97.0	92.5	93.4	96.9	97.0

*n.d., not detected

また、開発した料理に含まれるDHAが過酸化物質に変性したり酸化重合しているか否かを調べるため、脂質クラスの確認をTLCにて行った。図2-Iに示すように、いずれの料理からもトリグリセリドおよびステロール類のスポットが出現した。一方、原点にもスポットが残存したため、原点に残ったものがリン脂質か極性重合脂質によるものかを検討した結果、テーリング等は認められず、原点のスポットはリン脂質であり極性重合脂質ではない可能性が示された（図2-II）。

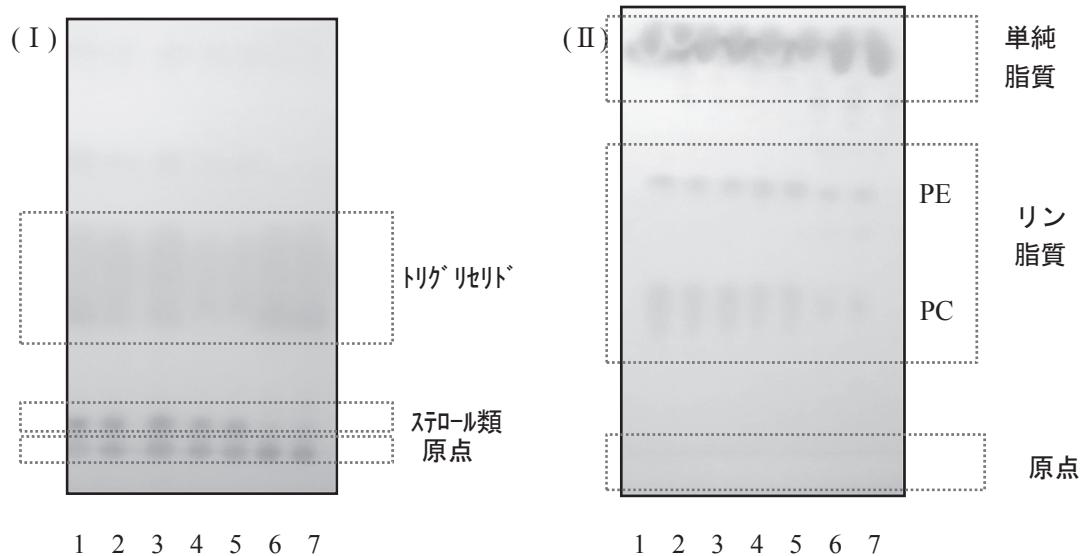


図3 DHA添加料理由来脂質のTLCパターン

Plate, Silica gel plate ; 50% H_2SO_4 /EtOHを噴霧後、加熱にて焦化。

展開溶媒；(I)、ヘキサン：エーテル：酢酸=80：20：1 (v/v/v)；(II)、クロロホルム：メタノール：水=65：25：4 (v/v/v)

試料；1、全卵+DHA70TG；2、だいた入りスパニッシュオムレツ（加熱前）；3、だいた入りスパニッシュオムレツ（加熱後）；4、エビ入りキッシュ（加熱前）；5、エビ入りキッシュ（加熱後）；6、豆入りカレー（加熱前）；7、豆入りカレー（加熱後）

4. 官能評価

開発した全ての料理においてDHAの有無による、おいしさ、味の濃淡、彩り、食感、レシピ採用には有意差がないことが示された。魚臭についてはDHAの有無による有意差が認められた ($F(2,80) = 5.84, P < 0.05$)。一元配置分散分析による下位検定において有意差が認められ ($F(5,125) = 2.97, p < 0.05$)、DHA有大豆入りスパニッシュオムレツとDHA無カレーとの間に5%の有意水準で魚臭の違いが認められた (図4)。

魚臭の快・不快について魚臭を感じるといった回答は、DHA無の料理に3件（平均値：2.67）、DHA有の料理に21件（平均値：2.71）であり、DHA有の料理について一元配置分散分析により検定した結果、料理による有意差は認められなかった。また、値的には「どちらでもない」に近い「やや不快」であった。

料理の種類による有意差が、おいしさ ($F(2,80) = 7.25, P < 0.01$) と味の濃淡 ($F(2,80) = 28.09, P < 0.01$) に認められた。おいしさの下位検定において有意差が認められ ($F(5,120) = 3.07, P < 0.05$)、DHA有エビ入りキッシュとDHA無カレーとの間に5%の有意水準でおいしさの違いが認められた。

味の濃淡の下位検定において有意差が認められ ($F(5,120) = 8.66, P < 0.01$)、DHA有エビ入りキッシュと大豆入りスパニッシュオムレツ・カレーの4レシピとの間に1%の有意水準で味の濃淡の違いが認められた。DHA無エビ入りキッシュでは大豆入りスパニッシュオムレツ2レシピとの間に1%の有意水準で、DHA有カレーとの間に5%の有意水準で味の濃淡の違いが認められた。

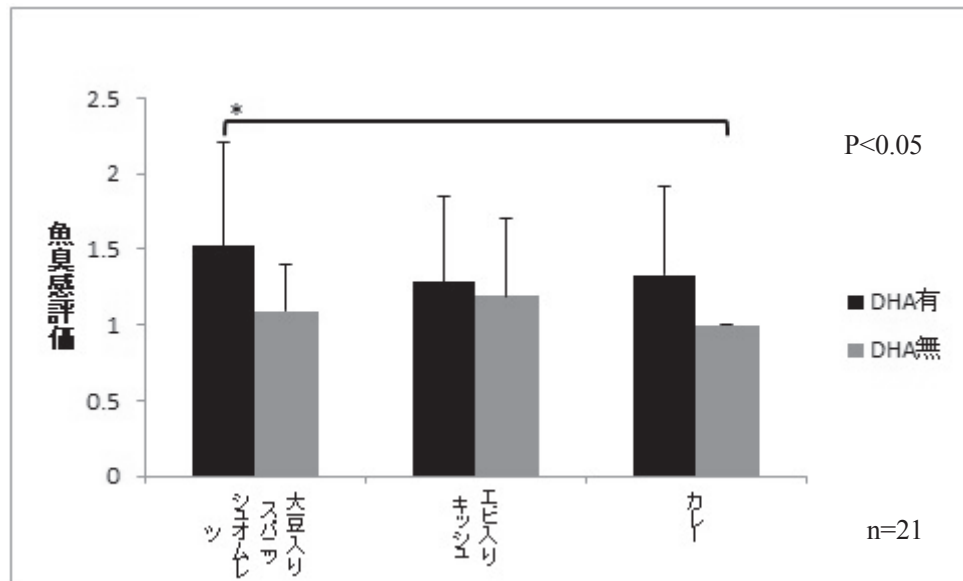


図4 DHA添加料理の魚臭感評価結果

被験者21名から得られたデータの平均値を示す。エラーバーは標準偏差で、有意差検定は重複測定一分散分析法により実施。

考察

本研究では、卵やカレー粉を利用した大量調理が可能なDHA添加レシピを考案した。骨量との関連が見られるDHAを添加した料理は骨密度の改善は期待ができるが酸化の問題があった。そこで、作成した料理の脂質クラスをTLCにて定性的に確認した結果、脂質の酸化重合は起こっていない可能性が示された。

次に魚臭の問題であるが、官能評価からは、DHA添加料理は無添加の料理と比較すれば魚臭はあるが、数値的には殆ど感じない程度であることが示された。また、DHAを添加することで食味には影響しないことが示唆された。これは、卵やカレーのマスキング効果が大きかったのではないかと推測される。DHA添加レシピを考案する際には、マスキング効果のある食材を組み合わせることが有効であることが推測されたため、マスキング効果が期待できる食材の種類を増やしていくことがレシピの幅を広げることに繋がると考える。

これらのことから、考案した料理は特定給食施設におけるレシピとして利用可能であると考えられた。また、学校給食において不足しがちな卵や大豆を取り入れることで、DHA添加レシピが学校や寄宿舍等の特定給食施設で取り入れやすいものになっていくと考える。

さらに、DHA添加レシピが特定給食施設で取り入れられることで、継続的なDHA摂取が可能となり若年女性アスリート等の「無月経」「低骨密度」に良い影響を及ぼすことが期待できる。

結論

今後、学校や寄宿舍等の特定給食施設でレシピの利用拡大を行い、若年アスリート等の骨密度の改善を目指すためには、DHAの酸化分解進行や調理過程における魚臭の発現を抑えるためのレシピ開発、調理工程の改善の他、コストアップを最小限に留めるためのDHA生産工程の見直しなどが求められる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、官能検査に快く御協力いただいた本学食文化学部教員及び学生諸子に感謝致します。

引用文献

- 1) Barrack MT, Rauh MJ, Nichols JF: Prevalence of and traits associated with low BMD among female adolescent runners, Med Sci Sports Exerc, 40, 2015–21 (2008).
- 2) Bilanin JE, Blanchard MS, Russek-Cohen E: Lower vertebral bone density in male long distance runners, Med Sci Sports Exerc, 21, 66–70 (1989).
- 3) Tenforde AS, Fredericson M, Sayres LC, Cutti P, Sai-nani, KL: Identifying Sex-specific risk factors for low bone mineral density in adolescent runners, Am J Sports Med, 43, 1494–504 (2015).
- 4) Brittany Dowling: Effects of the Menstrual Cycle on the Acquisition of Peak Bone Mass, The Active Female, Springer, New York, NY, 2013, 81–90p.
- 5) Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, *et al.*: American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad, Med Sci Sports Exerc, 39, 1867–1882 (2007).
- 6) 難波聡：スポーツ性月経異常，臨床婦人科産科，70，527–532 (2016)。
- 7) 池戸葵，石橋彩，松宮さおり，他：高校生女子長距離選手および短距離選手の骨密度に関わる因子の検討，日本栄養・食糧学会誌，70，9–15 (2017)。
- 8) Hidehiko HIBINO, Ikuo MORITA: N-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Bone Metabolism, 日本油化学会誌，49，1391–1446 (2000)。
- 9) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準（2015年版）。
- 10) 文部科学省：学校給食摂取基準の策定について（2011年）。
- 11) 独立行政法人日本スポーツ振興センター：食中毒事例集（2010年）。

【参考資料】 開発したDHA70TG添加料理のレシピ

だいず入りスパニッシュオムレツ 図 2-1 参照

【材料】1人分

DHA70TG	0.7	g*(DHAとして 0.49g 含む)
鶏卵	50	g
じゃがいも	20	g
黒大豆（ゆで）	5	g
むき枝豆	5	g
ベーコン	5	g
マジックソルト	0.5	g
ゆで汁	10	g
アルミカップ	1	枚

【作り方】

- ①卵は割卵して溶いてから DHA を加えて混ぜ、冷蔵庫に入れておく。
- ②じゃがいもは皮をむき 0.5 mm スライス、ベーコンは 0.5 mm 角に切る。
- ③黒大豆、じゃがいもをゆでる。（大豆のゆで汁を残しておく）
- ④①にマジックソルト、ゆで汁を加えてしっかり混ぜる。
- ⑤アルミカップに④、③、ゆで枝豆、ベーコンを加える。
- ⑥190 度で 15 分間蒸し焼きにする。

えび入りキッシュ 図 2-2 参照

【材料】1 人分

DHA70TG	0.7	g	(DHA として 0.49g 含む)
鶏卵	50	g	
牛乳	10	g	
小松菜	10	g	
えび	10	g	
ぎょうざの皮	2	枚	
塩	0.5	g	
こしょう	少々		
コンソメ	0.5	g	
ナツメグ	0.1	g	
ミックスチーズ	5	g	
アルミカップ	1	枚	

【作り方】

- ①卵は割卵して溶いてから DHA を加えて混ぜ、冷蔵庫に入れておく。
- ②小松菜は、1 cm に切る。
- ③小松菜、えびを別に茹でる。
- ④①に牛乳、塩、こしょう、コンソメ、ナツメグを加えて、混ぜる。
- ⑤アルミカップに④、小松、えびを加え、ミックスチーズを上にかける。
- ⑥190 度で 15 分間蒸し焼きにする。

豆入りカレー 図 2-3 参照

【材料】1 人分

豚肉	30	g	
油	1	g	
DHA70TG	0.7	g	(DHA として 0.49g 含む)
にんにく	0.5	g	
たまねぎ	30	g	
じゃがいも	30	g	
にんじん	20	g	
ゆで大豆	20	g	
カレーフレーク	15	g	
水	130	g	

【作り方】

- ①にんにくはみじん切り、たまねぎはくし切りにする。
- ②じゃがいも、にんじんは 0.5 mm 角に切る。
- ③にんにく、豚肉を油でいため、たまねぎ、にんじんを加えてさらにいためる。
- ④③に水を加え、しばらく煮る。
- ⑤④にゆで大豆、カレーフレーク、DHA を加えてさらに(約 4 分)煮込む。

