総 説

母乳および調製粉乳と乳児の脂質栄養

米久保 明得

明治乳業株式会社栄養科学研究所

(〒189-8530 東京都東村山市栄町 1-21-3)

Breast Milk and Infant Formula and Infant Lipid Nutrition

Akie YONEKUBO

Nutrition Science Institute Meiji Milk Products, Co. Ltd.

(1-21-3, Sakae, Higashimurayama-shi, Tokyo 189-8530)

Abstract : Breast milk is the best source of nutrition for infant growth and development. Breast feeding an infant is not always possible because have insufficient in quantity of breast milk or social conditions. In such a case, infant formula sufficient for growth and development must be used. Large amounts of polyunsaturated fatty acids (PUFA), i.e., linoleic acid, arachidonic acid, alfa-linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid (DHA) are present in breast milk. Infant formula well-balanced in essential fatty acids was produced subsequent to demonstrating the need for alfa-linolenic acid.

DHA-fortified infant formula was recently been developed to provide DHA equivalent to that in Japanese human milk, because DHA is essential to development of the neonatal brain and retina. Visual acuity and/or visual evoked potential assessed the significance of PUFA for term infants. The results were compared with the learning ability of rats.

Key words : human milk, visual acuity, learning ability, term infants

1 はじめに

出生後から1歳までの乳児期は成人と異なり、種々の器官が発達をする大変重要な時期である。特に脳など神経に係わる器官の発達に重要な時期に当たる。同時にまた生体内における必要栄養成分を合成する能力が弱い時期でもある。したがって、乳児に対しての栄養補給を考えたとき、出産前の母体からの胎盤経由による胎児への栄養成分等の補給と出産後の乳児に対する母乳からの栄養成分の補給が実際に重要な点である。栄養成分の中でも母乳に含まれていて、乳児の脳や目の網膜の発達に重要な役割を果たす^{1)~5)}といわれているn-3系高度不飽和脂肪酸の一つであるドコサヘキサエン酸 (Docosahexaenoic acid : DHA) に注目して、DHAの乳幼児期における生理的役割につき述べたい。また、母親の母乳分泌量が不足気味であったり、社会的環境や医学的な面から母乳が与えられないような場合には、母乳に代わりうる唯一の食品として乳児用調製粉乳が存在する。したがって、母乳および母乳の代替となる調製粉乳の組成とその生理

的役割、および調製粉乳の果たすべき役割につき、最近の報告を中心にとりまとめた。

DHAの生体内合成能力は正常に出産した成熟児でさえも弱いといわれ、生後の正常な発達にとってDHAの食事からの摂取は欠かせないことが常識的になってきた。現在、妊娠40週齢未満で出産した早産児のような場合には、大きなリスクを抱えて出産してきたことになる。DHA等の生体に必要な栄養成分は、妊娠後半の3カ月の間 (Third trimester) に母親から供給され、胎児に吸収される。この重要な時期に入る前に出産してしまった場合、DHAの生体内蓄積量が少ない状態で生まれてくるので、食事からDHA等の不飽和脂肪酸を摂取しなければ乳児の正常な神経発達がますます期待できない。これまで、早産児におけるDHA等の不飽和脂肪酸の必要性に関する報告が多く発表されてきた。早産児におけるDHAの必要性は確かなものになったといえる。しかし、成熟児におけるDHAの必要性はあるか否かがこれからの話題となっており、成熟児における高度不飽和脂肪酸の必要性に関する研究報告が次第に多くなってきた状況

にある。成熟児の報告例をもとに、DHAの必要性を考えてみた。

2 母乳の脂肪酸組成

乳児栄養を考える際に重要なことは、乳児にとっての最適栄養源である母乳の組成である。母乳の組成は一般に母親の食事によって影響され、特に脂肪酸組成、および脂溶性ビタミンや水溶性ビタミンの含量が食事のこれらの栄養成分レベルによって影響される。一方、出生した乳児の最適な食事は母乳であることはいうまでもないことであるが、ときには母乳の出が悪くて不足をきたしたり、母親の健康状態などによって母乳を与えられないことが生じる。そのとき母乳に代わり得る唯一の安全に与えられる食品は乳児用調製粉乳(調粉)である。この調粉の品質設計を行うに当たって母乳のよい点を調粉に生かすことは大切であり、同時に乳児栄養を考慮する中で母乳の組成、特に脂肪酸組成を知ることはいち大重要である。この意味で、世界各国それぞれの国の母乳中の脂肪酸組成が測定され、報告されている。そこで、日本人の母乳の脂肪酸組成分析結果を世界各国の母乳中の脂肪酸組成と比較して Table 1 に示した。母乳中には多種類の不飽和脂肪酸が含まれており、n-6 系不飽和脂肪酸であるリノール酸やその代謝産物であるアラキドン酸、n-3 系不飽和脂肪酸である α -リノレン酸およびその代謝産物である DHA などが存在する。最近のデータでは、日本人母乳中のリノール酸含量が高くなり、米国のデータに近い値であった。これは、日本人の食生活が

欧米化したことにより脂肪の摂取量が増加し、それに伴ってリノール酸の摂取量も増大し、乳汁中にその分多くリノール酸が分泌された結果と考えられた。一方、 α -リノレン酸のレベルは他の国の母乳に比べて高目であった。DHA レベルは日本人母乳の場合、0.63~1.0% であり、他の国のデータに比べて約 2~3 倍高い値が得られている。前述の通り、日本人母乳中に比較的多くの DHA が含まれているのは、日本人が DHA を含む魚を常食する民族のため、摂取した DHA が母乳中に分泌されたものと考えられる。また、魚を特に多く摂取しているわけでもない欧米諸国の母乳中にも多少 DHA が認められることを勘案すると、母乳の合目性から見てこのレベルは、DHA の最低必要量を示しているとも考えられる。

母乳といっても国により、また時代によって食生活が変化すると母乳組成も変化しうる。欧米の母乳に比べて、日本人母乳中には α -リノレン酸や DHA のような n-3 系不飽和脂肪酸が比較的多く含まれていることはすでに分かっている。日本人は、前述の通り、欧米人に比べて α -リノレン酸を比較的多く含む大豆製品や DHA の供給源となる魚を多く摂取するからであると考えられる。DHA は、乳児の脳や網膜に多く含まれている。乳児期、特に新生児期には不飽和化酵素活性が弱いことから、生体内での α -リノレン酸からの代謝産物である DHA の合成量が少なく、DHA の体内蓄積量が少なくなりがちになる。特に早産児など未熟な場合にはなおさらである。母乳中に DHA が含まれるのは、新生児期の脳や網膜等

Table 1 Comparison of Polyunsaturated Fatty Acids (PUFA) in the Human Milk⁶⁾.

Reporters	Yonekubo et al	Idota et al	Gibson et al	Bitman et al	Koletzko et al
Lactation Periods	21d-2M	31-60d	40-45d	37-40weeks	3-4M
Countries	Japan	Japan	Australia	USA	Germany
Survey year	1980	1989	1981	1983	1988
Number	735	562	61	6	15
n-6PUFA					
Linoleic acid	14.68	13.96	10.75	15.58	10.76
γ -Linolenic acid		0.11	0.35		0.16
Eicosadienoic acid	0.30	0.33	0.24	0.18	0.34
Dihomo- γ -Linolenic acid	0.23	0.32	0.31	0.53	0.06
Arachidonic acid	0.28	0.40	0.40	0.60	0.36
Docosatetraenoic acid		0.08	0.10	0.07	0.08
Total	15.49	15.20	12.15	16.39	12.26
n-3PUFA					
α -Linolenic acid	1.59	1.53	0.59	1.03	0.81
EPA	0.12	0.24	0.16	0.00	0.04
Docosapentaenoic acid	0.15	0.30	0.21	0.11	0.17
DHA	0.63	1.00	0.32	0.23	0.22
Total	2.49	3.26	1.28	1.37	1.38
n-6/n-3	6.22	4.26	9.49	11.96	9.23

Fig. 1 Metabolism of Fatty Acids¹⁵⁾.

Abbreviations :

LA : Linoleic acid, ALA : α-Linolenic acid, GLA : γ-Linolenic acid, SA : Stearidonic acid (18:4 n-3), DGLA : Dihomo-γ-linolenic acid, ETA : Eicosatetraenoic acid, AA : Arachidonic acid, EPA : Eicosapentaenoic acid, DTA : Docosatetraenoic acid, DPA n-3 : Docosapentaenoic acid n-3, DPA n-6 : Docosapentaenoic acid n-6, DHA : Docosahexaenoic acid.

組織の発育、発達に必要な DHA を母乳から摂取できるように配慮された母乳のもつ目的役割であると考えられる。こうして、乳児の生理学的、栄養学的な観点から、母乳栄養児に近づくように、DHA を強化した調粉が開発されている。母乳中には DHA だけでなく、n-6 系であるアラキドン酸も比較的多く含まれている。DHA の供給源として使用される精製魚油中には EPA が含まれている。EPA を多く含む魚油を早産児に与えると、乳児の発育が遅延することが Carlson ら²⁾によって報告されて以来、EPA は乳児にとって必要ないと考えられるようになった。こうして、現在調粉に使用される魚油としてイワシのように DHA よりも EPA の方が多いものではなく、DHA の方が多く EPA の少ない魚、例えばマグロなどが適している。同時に DHA を強化した調粉で哺育された早産児の赤血球膜リン脂質中の DHA は母乳栄養児と同等となったが、アラキドン酸は母乳栄養児よりも下回った⁷⁾。したがって、調粉中の高度不飽和脂肪酸として、DHA は乳児にとって必須性は高いが、同時にアラキドン酸に対する配慮が発育面を考えたとき必要であることがいわれている。こうして、最近では DHA およびアラキドン酸とのバランスを整え、さらに乳児にとって多量必要なコレステロールにも配慮した機能的に母乳化された製品が市販されている。

早産児を出産した母乳中の脂肪酸組成については、特に n-6、n-3 系の高度不飽和脂肪酸が出産後の日数が短いものほど成熟児母乳よりも早産児母乳に多く含まれていることが報告されている⁸⁾。早産児の場合は、早産児

にとって不足傾向にある栄養成分が通常よりも若干多めに含まれていることが分かる。

脂質摂取に関して、第五次改定日本人の栄養所要量では、脂肪エネルギー比率に加えて脂肪酸の望ましい摂取比率はおおむね飽和脂肪酸：一価不飽和脂肪酸：高度不飽和脂肪酸＝1：1.5：1 とされており、また、妊娠期、授乳期には胎児および乳児の適正な発育のため DHA を適量摂取することが望ましいと記述されている。α-リノレン酸から生合成される場合に比べて、食事から直接 DHA を摂取する方が胎児や乳児へ迅速に蓄積され、胎児や乳児の機能発達の上で重要な役割を果たしうるのである。動物実験の一つでは、胎仔期から母親の胎盤を経由して DHA を体内に取り込み、出生後は母親の乳汁を介して DHA を摂取して成長、発育した方が、そうでない場合に比べて、脳や肝臓中の DHA 含量は高く維持され、離乳後のラットにおいて学習能力が高まるなど、脳の活性化に役立つことが明らかとなっている⁹⁾。これから発表されようとしている第六次改定日本人の栄養所要量がどのように決定されるか注意しておくべきであろう。

3 胎児および乳児の脳の発達

ヒトの脳の発達は、生命を受けてからすぐ（胎児のうち）に発達が始まる。妊娠 40 週のうち、出生前 3 ヶ月ぐらいの間に胎児への栄養分の補給が急激に始まる。この時期に DHA 等の栄養分のうちかなりの量が胎児に胎盤を介して与えられることは、胎児の脳の正常な発達の上で重要なことである。脳の急速な発達は、脳重量の増加を含めて出生後約 2 年ぐらい続く。

これまでに、n-3 系不飽和脂肪酸欠乏食を与えて継代飼育した幼若動物（サル）において、血漿 DHA レベルの著しい低下や視力低下が起きること、ラットに対する n-3 系不飽和脂肪酸欠乏食の投与によって網膜反射能の低下、明度弁別型学習能力における総反応数の増加と正答率の低下が起きると報告されている¹⁰⁾。n-6 系不飽和脂肪酸の代表であるリノール酸を多量に摂取したとき、Δ6 不飽和化酵素がリノール酸と α-リノレン酸と両方に競合して働くため α-リノレン酸からの代謝が抑制される。逆に、α-リノレン酸を相対的に多く摂取したとき、不飽和化酵素に対する親和性が n-3 系の方が n-6 系よりも強いことから、リノール酸の代謝が抑制される。また、DHA は乳児の脳や網膜中に多く含まれ、これらの発達の上で重要な役割を果たしている。さらに、体組織の脂肪酸組成は、食事脂質の影響を大きく受けることは分かっている。したがって、生体内で不飽和脂肪酸の代謝が正常に行われ、乳児の脳や網膜が順調に発達するためにはリノール酸、α-リノレン酸、DHA などの不飽和脂肪酸を食事からバランスよく摂取する必要がある。通常、

食事から摂取された α -リノレン酸から生体内でDHAが合成される。新生児や未熟児にあってはDHAを食事から摂取しないと、血漿リン脂質中のDHAレベルが母乳栄養児のレベルを維持できないことが報告されている²⁾。さらに、食事から摂取したDHAは、食事中的 α -リノレン酸から体内合成されたDHAに比べて約20倍の速さで組織中の脂質に取り込まれるといわれている³⁾。

4 成熟児における高度不飽和脂肪酸の意義

最近、早産児だけでなく、成熟児に対しての高度不飽和脂肪酸投与の効果に関する研究が報告されるようになってきた。

Agostoni ら¹⁰⁾は、(n-6+n-3)系高度不飽和脂肪酸、特にアラキドン酸とDHA、およびコレステロールを加えた調製乳で哺育した4ヵ月齢の成熟児乳児では、発育状態、血液脂質パターン、血漿および赤血球の高度不飽和脂肪酸状態が母乳栄養児の状態に近くなることを報告している。

Kohn ら¹¹⁾は、高度不飽和脂肪酸を含む調製乳で哺育した1ヵ月齢の成熟児について調べた結果、体重発育は良好であること、不飽和化酵素活性が抑制されているので高度不飽和脂肪酸を食事から摂取する意義のあることを示している。

Makrides ら¹²⁾は、VEP (Visual evoked potential) 能による評価から、DHAは、長期的な観点での評価は別途必要であるものの、成熟児の神経系の最適な発達にとって必須栄養素であるとしている。発育面では母乳栄養児を含めて試験群の間で差は認められていない。さらにMakrides ら¹³⁾は、成熟児にとってDHAが必須であるか否かをDHAを強化した調製乳で哺育された成熟児の視力機能により評価し、DHAを母乳レベルまで調粉に強化すべきことを示した。また、Makrides ら¹⁴⁾は、魚油と月見草油を強化した調製乳にて哺育した成熟児乳児の赤血球におけるアラキドン酸は、母乳栄養児群やプラセボ群に比べて低いか、それ以下である一方、DHAレベルは母乳栄養児と同等以上であったとしている。このとき、月見草油の補給は、魚油との併用において赤血球中のアラキドン酸レベルを維持することはできなかったと報告している。これらの報告に見られるように、早産児ばかりではなく、成熟児においても高度不飽和脂肪酸が必要であることを明らかにした報告が多数報告されてきた。

Gibson と Makrides¹⁵⁾は、新生児栄養における高度不飽和脂肪酸の役割に関して総説を書いており、その中で、神経発達における高度不飽和脂肪酸の潜在的意義を明確にしている。さらにリノール酸からアラキドン酸へ、また、 α -リノレン酸からDHAへの変換合成能力が乳児に

あるか否かに関する検討がなされており、成熟児¹⁶⁾および早産児^{17), 18)}は高度不飽和脂肪酸を合成できるとしている。ただし、合成能力の強さは早産児の方が弱い可能性は前述の通り、大いにあり得ることである。この総説中でこれまで報告された成熟児の神経発達と高度不飽和脂肪酸との関係の臨床試験をとりまとめて表にしているのをそれをTable 2に示した。

Birch ら¹⁹⁾も最近、成熟児をDHAおよびアラキドン酸を含むミルクで哺育したときのVEPの評価から、脳および目の最適な発達のためにDHAおよびアラキドン酸が必要であることを報告している。さらに、高度不飽和脂肪酸を摂取させた未熟児および成熟児の神経発達にとって高度不飽和脂肪酸は有意義な役割を果たすことを示している。

Jorgensen²⁰⁾らは、生後4ヵ月齢の間の母乳栄養成熟児および人工栄養成熟児における視覚能力と赤血球膜DHA状態の研究を行い、DHAを含まないミルクの場合に比べて、母乳栄養児の視覚能力の発達が早いことを認めた。

体内合成されたDHAは膜リン脂質に取り込まれる。体内ではDHAとして蓄積されるが、必要に応じてさらに長い超長鎖脂肪酸に変換されたり、逆にEPAに戻り、エイコサノイドを産生する。1990年にBazan ら²¹⁾が体内のDHAの輸送形態をまとめている。食事中的 α -リノレンあるいはDHAを摂取すると、肝臓の中に取り込まれる。肝臓に入った α -リノレン酸は、DHAに変換されるか、あるいはDHAの場合は、そのままDHAとして蓄積される。肝臓中のDHAは、脳へ血流によって移送される。血液脳関門でセレクトされ、DHAは脳関門を通過して脳に入る。脳に入ったDHAは、その中で蓄積されるか、網膜ではリサイクルされて利用される。この一部は血液に移行し、脳へ再び入り、もしくは肝臓に戻った後再び血流によって脳に移行するという循環を繰り返す。

一方、吸収されたアラキドン酸もDHAと競合する形をとりながら膜リン脂質に取り込まれ、プロスタグランジン等の酸化生成物を産生し、生体機能をコントロールする。

筆者ら²²⁾は、乳児の学習能力状態を確認すべく、飼料として、リノール酸を75%含み、 α -リノレン酸をほとんど含まないサフラワー油を配合した群、一方、リノール酸を52%、 α -リノレン酸を6.5%含む大豆油を配合した2種類の飼料を調製した。n-6系だけを含む場合と、n-6系とn-3系を比較的バランスよく含む場合の二つの飼料を雌ラットに与え、ある時期に妊娠・出産させて、食餌性脂質の違いが胎仔や新生ラットの体内の生理的状态にどのような影響を及ぼすかを調べた。その結果、母親の乳を絞ってその組成を分析すると、一般組成はあま

Table 2 Neurodevelopmental Outcomes of Term Infants in Randomized Clinical Trials of Long Chain Fatty Acid Supplementation¹⁵⁾.

Reference	Diet	Test	Age	Results
Makrides, et al., 1995 (n=55)	HM SF, LA:ALA 17:1.5 + FO, EPO	T-VEP acuity	16 wks 30 wks	HM & FO, EPO > SF HM & FO, EPO > SF
Agostoni, et al., 1995 (n=86)	HM SF, LA:ALA 11:0.7 + egg PL, EPO	DQ	4 mths	HM & egg PL, EPO > SF
Carlson, et al., 1995 (n=58)	HM $\leq$ 3mths SF, LA:ALA 22:2 + egg PL	acuity cards	2 mths 4,6,9,12 mths	HM & + egg PL > SF no difference with diet
Auestad, et al., 1995 (n=120-200)	HM $\leq$ 3mths SF, LA:ALA 22:2 + egg PL + TO	S-VEP acuity acuity cards Bayley's Test McArthur CDI	2,4,6,9,12 mths 2,4,6,9,12 mths 12 mths 14 mths	no difference with diet no difference with diet no difference with diet -ve correlation: RBC DHA & CDI
Jorgensen, et al., 1998 (n=51)	HM SF, LA:ALA 12.7:1.2 + FO + FO, BO	S-VEP acuity	4 mths	HM > SF
Birch, et al., 1996 (n=112)	SF, LA:ALA not reported + DHA + DHA, AA	ERG S-VEP acuity acuity cards	6 wks 17 wks 6,17 wks 6,17 wks	+ DHA & + DHA, AA > SF no difference with diet + DHA & + DHA, AA > SF no difference with diet
Clausen, et al., 1996 (n=97)	HM SF, LA:ALA not reported + DHA, AA	acuity cards	3 mths	no difference with diet
Gibson, et al., 1997 (n=91)	HM SF, LA:ALA + egg PL + TO	T-VEP acuity	4 mths 8 mths	no difference with diet HM > all formula

Abbreviations: HM, human milk; SF, standard formula; LA, linoleic acid; ALA, α -linolenic acid; PL, phospholipid; EPO, evening primrose oil; FO, fish oil; TO, tuna oil; BO, borage oil; T-VEP, transient visual evoked potential; S-VEP, sweep visual evoked potential; DQ, developmental quotient; CDI, communicative developmental inventory; wks, weeks; mths, months; RBC, red blood cell; DHA, docosahexaenoic acid; AA, arachidonic acid. When the abbreviations DHA and AA are used, no information regarding the source of these fatty acids was provided.

り変わらないが、脂肪酸組成の中で、特に DHA のレベルは、サフラワー油の場合 0.04% と低くなった。しかし大豆油の場合 0.18% と比較的高い数値が得られた。したがって、母親のラットの乳は、食餌の脂質内容がそのまま反映されることが分かった。リノール酸も同様の傾向が見られた。また、肝臓および脳中のリン脂質、特に PE と PC に含まれているアラキドン酸と DHA を見ると、アラキドン酸はさほど変化しなかったが、出生直後の新生仔の DHA は、肝臓中では大豆油群が 15% と非常に高く、サフラワー油群では 2% 弱であった。また、PC に比べて PE の方がより多くの DHA を含んでいた。一方、サフラワー油群では、ドコサペンタエン酸 (DPA_{n-6}) が主体を占めていた。こうして、リノール酸と α -リノレン酸を含む大豆油およびリノール酸を含むサフラワー油の間で臓器の脂肪酸に大きな違いが生じることが分かった。この食餌脂質の違いが生体の機能の上で、ど

のような影響を及ぼすかを調べるために、胎仔期から一定の飼料で育てた生後 6 週齢のラットをプールの中で泳がす水迷路型遊泳試験を試みた。その結果、大豆油群の方がサフラワー油群に比べて到達時間が短く、学習能力が良い傾向にあった。統計学的検討を行い、食餌脂質の違いに有意差が認められた。第 1 日目から第 2 日目まで、遊泳回数および日数が増加するにつれ、到達時間は低下してきたが、それをまとめた平均値としては、サフラワー油群で到達時間が長く、大豆油群の方が短い結果が得られた。

この試験では、大豆油群の方が学習能力が高い傾向を示した。山本ら⁹⁾も、サフラワー油とシソ油を用いて、明度弁別型学習能力試験を実施し、DHA の元になる α -リノレン酸を含むシソ油群の方が学習能力の優れていることを示している。

以上をまとめると、大豆油摂取時では、大量の DHA

が母親ラットの乳汁中および新生ラットや仔ラットの臓器中に蓄積され、サフラワー油摂取時では、大量のアラキドン酸が母親ラットの乳汁中および新生ラットおよび仔ラットの臓器中に蓄積された。その効果として、幼児期に遊泳試験法にて評価した学習能力は、大豆油摂取時の方がサフラワー油摂取時に比べて優れていた。大豆油を摂取した新生ラットおよび仔ラットの組織リン脂質中のアラキドン酸レベルに変化はないものの、多量のDHAが離乳期以降ではなく、胎仔期からラットの脳に蓄積されていたことが脳の発達の上で貢献して、仔ラットの脳の機能改善に寄与して、この学習能力の向上に関係したと考えられる。

続いて、同様の方法を用いて魚油を配合したときの栄養生理的意義を検討した。母親から分泌されている乳中では、食餌の影響を受けて魚油群が非常に多くのDHAを分泌していることが分かった。17, 19, 21日の在胎日数と出生後2週齢と7週齢におけるデータを取り、比較検討した。魚油群では、肝臓中のアラキドン酸が低下していた。胎仔期に特に大きな影響が出て、有意差を認めた。肝臓中のDHAは、胎仔期において絶えず魚油非添加群よりも高いレベルにあった。また、対照群でも α -リノレン酸から合成されたDHAのあることが分かった。さらに、特に胎仔期から出生直後は、合成能力が弱いといわれている通り、DHAレベルが著しく低下した。この時期は、母親から栄養を摂取しなければならず、新生仔にとって非常に大きな環境の変化が起きる時である。生まれた直後も、食餌からDHAを摂取する必要があると考えられた。

脳中のDHAは、肝臓と同様、胎仔において魚油群の方が高い傾向にあったが、出生後7週齢では魚油非添加群とほとんど同レベルになった。肝臓で α -リノレン酸から合成されたDHAが脳に運ばれた分も寄与した結果と考えられた。7週齢では、脳中のDHAが飽和状態になっているのかもしれない。アラキドン酸については、リン脂質中で、特にPI中に非常に多く含まれていた。これは食餌による違いが認められない。アラキドン酸の生体における役割を考えた時、イノシトールリン脂質は非常に重要な成分であると考えられる。

以上の魚油配合の研究から、母親ラットの乳汁脂肪酸組成は食餌性脂質によって大きく影響を受け、魚油摂取時の乳汁中のDHAレベルは魚油非摂取時に比べて有意に高くなることが分かっている。また、魚油摂取時における胎仔および仔ラットの臓器中のDHAレベルは魚油非摂取時に比べて有意に高い状態であり、遊泳試験法による学習能力では、魚油摂取時の方が魚油非摂取時に比べて有意に優れていた。脳の発達が完了する離乳期からではなく、脳の発達が始まる胎仔期からDHAを含む魚油を摂取したことが、脳中のEPAではなく、DHAレ

ベルを大きく高め、仔ラットの学習能力向上に寄与したと考えられる。

別の実験として、鈴木らは、迷路板を用いた記憶学習能力試験が行っている²⁹⁾。イワシ油とパーム油を含有する飼料を離乳直後から12カ月間投与し、24時間絶水した後、迷路の出口に水を置き、入り口からマウスを入れ、出口を捜す能力を測定した。その結果、イワシ油を投与した群の方がパーム油群よりも早く出口に到達することが分かった。

これらのラットにおけるデータは、臨床的に得られているデータを潜在的に裏付けする内容である。今後とも長期に渡る研究が必要と考えられる。

(受付: 1999年4月27日, 受理: 1999年6月24日)

文 献

- 1) A. Kanazawa, T. Miyazawa, H. Hirono, M. Hayashi, K. Fujimoto, *Lipids*, **26**, 53 (1991).
- 2) S.E. Carlson, P.G. Rhodes, U.S. Rao, D.E. Goldger, *Pediatr. Res.*, **21**, 507 (1987).
- 3) FAO/WHO Joint Report : Dietary fats and oils in human nutrition. *FAO Technical Papers Series* No.3, FAO, Rome, (1987).
- 4) M. Neuringer, W.E. Conner, C.V. Petten, L. Barstad, *J. Clin. Invest.*, **73**, 272 (1978).
- 5) W.S. Harris, W.E. Conner, S. Lindsey, *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**, 780 (1984).
- 6) 米久保明得, 食品と開発, **31**, 17 (1996).
- 7) 大元習子, 日本小児科学会雑誌, **94**, 224 (1990).
- 8) 岡本ふさ子, 小児栄養消化器病学会雑誌, **6**, 123 (1992).
- 9) N. Yamamoto, M. Saitoh, A. Moriuchi, M. Nomura, H. Okuyama, *J. Lipid Res.*, **28**, 144 (1987).
- 10) C. Agostoni, E. Riva, R. Bellu, S. Trojan, D. Luotti, M. Giovannini, *J. Amer. College Nutr.*, **13**, 658 (1994).
- 11) G. Kohn, G. Sawatzki, J.P. van Biervliet, *Eur. J. Clin. Nutr.*, **48**, Suppl., S1 (1994).
- 12) M. Makrides, M.A. Neumann, K. Simmer, J. Pater, R.A. Gibson, *Lancet*, **345**, 1463 (1995).
- 13) M. Makrides, M.A. Neumann, R.A. Gibson, *Lipids*, **31**, 115 (1996).
- 14) M. Makrides, M.A. Neumann, K. Smmer, R.A. Gibson, *Lipids*, **30**, 941 (1995).
- 15) R.A. Gibson, M. Makrides, *Acta Paediatr.*, **87**, 1017 (1998).
- 16) T.U. Sauerwald, D.L. Hachey, C.L. Jensen, H.M. Chen, R.E. Anderson, W.C. Heird, *Pediatr. Res.*, **41**, 183 (1997).
- 17) V.P. Carnielli, D.J.L. Wattimena, I.H.T. Luijendijk, A. Boerlage, H.J. Degenhart, P.J.J. Sauer,

- Pediatr. Res.*, 18, 61 (1995).
- 18) H. Demmelmair, U.v. Schenck, E. Behrendt, T. Sauerwald, B. Koletzko, *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, 21, 31 (1995).
- 19) E.E. Birch, D.R. Hoffman, R. Uauy, D.G. Birch, C. Prestidge, *Pediatr. Res.*, 44, 20 (1998).
- 20) M.H. Jorgensen, O. Hernell, P. Lund, G. Holmer, K.F. Michaelsen, *Lipids*, 31, 99 (1996).
- 21) N.G. Bazan, *Nutrition and the Brain*, vol.8, edited by R.J. Wurtman, J.J. Wurtman, Raven Press, New York, p.11 (1990).
- 22) A. Yonekubo, S. Honda, M. Okano, K. Takahashi, Y. Yamamoto, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 58, 799 (1994).
- 23) H. Suzuki, S.J. Park, M. Tamura, S. Ando, *Mechanism of Ageing and Development*, 101, 119 (1998).
-

[総説]

魚油の健康機能

鈴木 平光

林水産省食品総合研究所

(〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-2)

魚油には、ドコサヘキサエン酸 (DHA) やエイコサペンタエン酸 (EPA) といった n-3 系多価不飽和脂肪酸が豊富に含まれている。これらの脂肪酸は、心血管系疾患、がん、炎症の予防に有効であるため、生物学的に重要な脂質として広く認められている。さらに、魚油、特に DHA、の摂取は、脳の発達、記憶学習能、視覚機能に影響するということが多くの研究で明らかにされている。最近では、痴呆症や精神障害に及ぼす DHA 油の予防及び治療効果が報告されている。この総説では、魚油の健康機能についてまとめると同時に、高齢者の知能や視力に及ぼす DHA 油の効果についてのデータも紹介する。

(連絡者：鈴木平光) Vol.48, No.10, 1017 (1999)

[総説]

母乳および調製粉乳と乳児の脂質栄養

米久保 明得

明治乳業株式会社栄養科学研究所

(〒189-8530 東京都東村山市栄町1-21-3)

母乳および調製粉乳と乳児の脂質栄養

母乳は乳児の発育と発達にとって最善の栄養法である。しかし、母乳が十分分泌されない場合や社会的および医学的に母乳を与えられない場合などには、母乳栄養が必ずしも可能ではない。このような場合には母乳に変わりうる唯一の食品が調製粉乳である。母乳中にはリノール酸、アラキドン酸、 α -リノレン酸、DHA などの高度不飽和脂肪酸が十分含まれている。DHA などの脂肪酸バランスが日本人母乳並に整った調製粉乳が現在開発されている。成熟児における高度不飽和脂肪酸の意義が視覚能力などの評価により、ラットで得られた DHA の効果を支持する内容が得られつつある。

(連絡者：米久保明得) Vol.48, No.10, 1025 (1999)

[総説]

老化脳と脂質栄養

安藤 進

東京都老人総合研究所生体膜部門

(〒173-0015 東京都板橋区栄町35-2)

老化に伴うニューロン機能の低下は、シナプス伝達障害に由来すると考えられる。脳としての機能低下は記憶障害で明らかにされ、その根底にあるメカニズムとしてシナプス伝達障害が証明されている。シナプス機能低下は、脂質との関わりではシナプス膜の加齢による脂質組成と物理化学的性質の変化によって説明される。コレステロール/リン脂質 (C/P) 比と細胞膜内の脂質非対称性分布が、膜の受容体機能とそれにつづくシグナル伝達機構の制御に重要な役割を果たしていると考えられる。

脂質栄養学の視点から、食物脂質のシナプス機能と、ひいては神経機能への効果を議論し、特に摂取脂質の量と質に焦点があてられる。脂質の質については、飽和酸、多価不飽和酸、とりわけ n-6 と n-3 系列の生理的效果が考察される。それら効果の分子機構も提示されている。最後に、アルツハイマー病やパーキンソン病などの病理に対して複合脂質を用いる薬理学的アプローチについても触れる。

(連絡者：安藤 進) Vol.48, No.10, 1033 (1999)