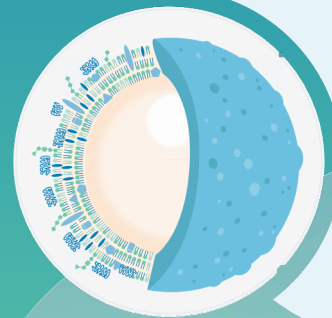


Lipidy

Wszystko, co warto o nich wiedzieć



Skróty

ALA	kwas alfa-linolenowy (Alpha-linoleic acid)	LCPUFA	długołańcuchowy wielonienasycony kwas tłuszczowy (Long-chain poly-unsaturated fatty acid)
ARA	kwas arachidonowy (Arachidonic acid)	MFG	kuleczka tłuszczowa mleka (Milk Fat Globule)
CFU	jednostka tworząca kolonię (Colony-forming unit)	MFGM	błona kuleczki tłuszczowej mleka (Milk Fat Globule Membrane)
DHA	kwas dokozaheksaenowy (Docosahexaenoic acid)	MUFA	jednonienasycony kwas tłuszczowy (Mono-unsaturated fatty acid)
EPA	kwas eikozapentaenowy (Eicosapentaenoic acid)	PA	kwas palmitynowy (Palmitic acid)
FA	kwas tłuszczowy (Fatty acid)	PUFA	wielonienasycony kwas tłuszczowy (Poly-unsaturated fatty acid)
IF	mleko modyfikowane dla niemowląt (Infant formula)	SFA	nasycony kwas tłuszczowy (Saturated fatty acid)
LA	kwas linolowy (Linoleic acid)	TG	trójgliceryd (Triglyceride)

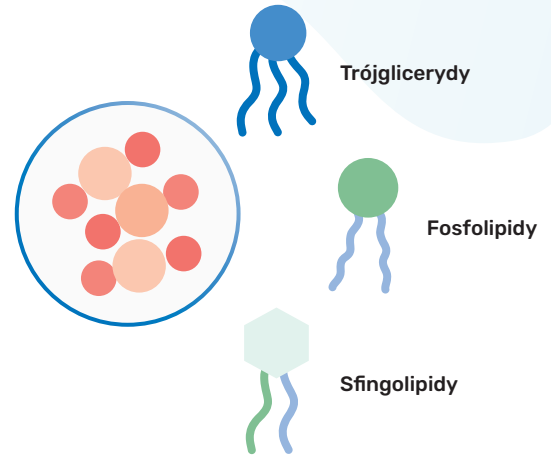
Lipidy

Czym są lipidy?

Lipidy to duża i zróżnicowana grupa cząsteczek organicznych, które są nierozpuszczalne w wodzie i rozpuszczalne w rozpuszczalnikach niepolarnych. Występują w każdym typie komórek zwierzęcych i roślinnych.

W organizmie występują różne rodzaje lipidów, są one zorganizowane w odmienne struktury molekularne, na przykład trójglicerydy, fosfolipidy i sfingolipidy:

- **Trójglicerydy** występują w dwóch formach: tłuszczów (stałych w temperaturze pokojowej) i olejów (płynnych w temperaturze pokojowej).
- **Tłuszcz (trójgliceryd)** magazynowany jest w tkance tłuszczowej i pod skórą. Jego główną rolą jest magazynowanie energii.
- **Fosfolipidy i sfingolipidy** występują głównie w błonach komórkowych.



Czy
wiesz,
że...

... nazwa „lipidy” pochodzi od greckiego słowa „lipos”, które oznacza „tłuszcz”

Jakie są funkcje lipidów?

Lipidy pełnią wiele funkcji, w tym:



dostarczają, transportują oraz przechowują **energię**, w większości jako trójglicerydy



są składnikami strukturalnymi **biologicznych błon komórkowych** (różne rodzaje lipidów i kwasów tłuszczowych w błonie komórkowej wpływają na jej funkcje)



są prekursorami **witamin i hormonów**



funkcjonują jako **cząsteczki sygnalizujące**

Dodatkowo, tłuszcz w organizmie potrzebny jest do:



ochrony mechanicznej



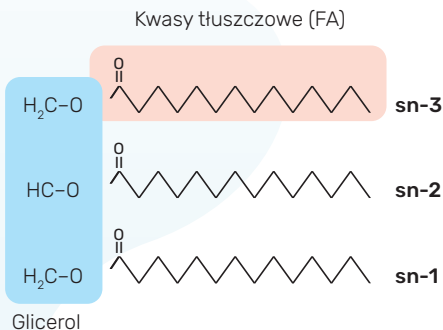
izolacji termicznej



izolacji elektrycznej nerwów i receptorów w zakończeniach nerwowych komórek

Jak wyglądają lipidy?

Skład chemiczny wszystkich lipidów zawiera C (węgiel), H (wodór) oraz O (tlen), które tworzą długie łańcuchy węglowodorowe.



Trójgliceryd (TG) to organiczny związek chemiczny, który zbudowany jest z:

- **glicerolu** (łańcuch główny)
- **trzech kwasów tłuszczowych** (łańcuchy boczne)

Pozycje, które zajmują te kwasy tłuszczowe, ponumerowane są w odniesieniu do ich pozycji jako **sn-1**, **sn-2** oraz **sn-3**.

Kwasy tłuszczowe klasyfikujemy ze względu na długość łańcucha i nasycenie

Długość



Krótkołańcuchowe
(<6 atomów węgla)



Średniołańcuchowe
(6–12 atomów węgla*)



Długołańcuchowe
(>12 atomów węgla*)

Nasycenie:

— nasycony
— nienasycony



Nasycony
(SFA)



Jednonienasycony
(MUFA)



Wielonienasycony
(PUFA), na przykład kwas omega-3 (n-3), kwas dokozaheksaenowy (DHA) oraz omega-6 (n-6) czy kwas arachidonowy (ARA)

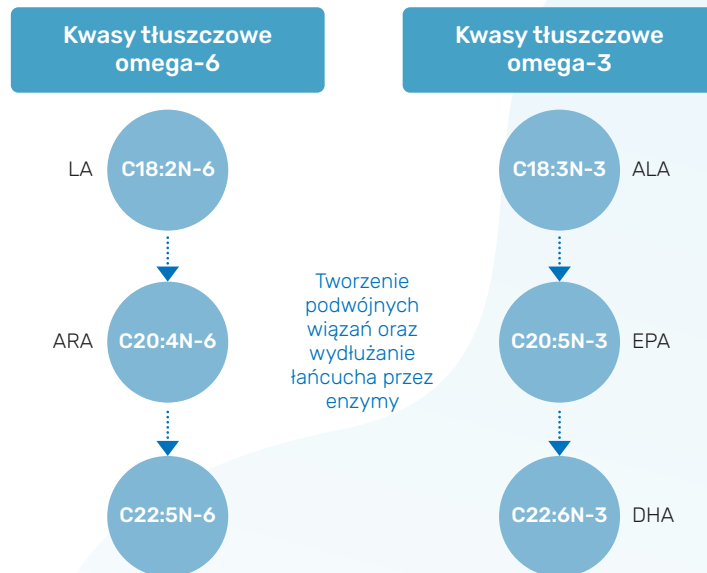
* Wg niektórych publikacji węgiel-14 (C14) jest również średniołańcuchowym kwasem tłuszczowym.

Niezbędne kwasy tłuszczowe i rozwój na wczesnym etapie życia

Istnieją dwa rodzaje **wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA)**, biologicznie niezbędnych dla człowieka: kwas linolowy (LA, rodzina omega-6) oraz kwas alfa-linolenowy (ALA, rodzina omega-3)¹. Z uwagi na to, że kwasy te nie są syntetyzowane w organizmie, muszą być dostarczone wraz z pożywieniem.

- Człowiek jest zdolny do syntezy kwasu arachidonowego (ARA) z kwasu linolowego (LA) i dokozaheksaenowego (DHA) oraz eikozapentaenowego (EPA) z kwasu ALA¹. Jednak u niemowląt zdolność ta jest ograniczona.
- Mleko mamy, bogate w ARA i DHA, odgrywa kluczową rolę w dostarczaniu tych lipidów niemowlęciu na początkowym etapie jego rozwoju².
- Dostarczanie kwasu **DHA niemowlętom jest uznawane za „warunkowo niezbędne”**. Wynika to z faktu, że zapotrzebowanie na DHA jest niezwykle wysokie – wiąże się z koniecznością wsparcia strukturalnego oraz funkcjonalnego nasycenia kluczowych narządów, na przykład mózgu, natomiast zdolność do endogennej syntezy DHA u niemowląt jest zbyt niska.
- W związku z tym DHA jest obowiązkowym składnikiem mleka modyfikowanego dla niemowląt.

Dzięki enzymom kwas linolowy (LA) oraz kwas alfa-linolenowy (ALA) mogą zostać przekształcone w długołańcuchowe kwasy wielonienasycone PUFA (długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe LCPUFA), w tym kwas ARA i DHA.



Blizsze spojrzenie na kwasy DHA, ARA, LA oraz ALA

Ilość i proporcje kwasów LA i ALA oraz LCPUFA n-6 i n-3 w diecie we wczesnym okresie życia mogą wpływać na poziom LCPUFA u niemowlęcia. Ma to **znaczenie dla rozwoju i funkcjonowania we wczesnym okresie życia w poniższych obszarach:**

Układ
odpornościowy



Wielonienasycone kwasy tłuszczowe (PUFA) są ważne dla wczesnego rozwoju **układu odpornościowego**, w tym dla modulowania odpowiedzi **przeciwpalnych**³.

Tkanka
tłuszczowa⁵

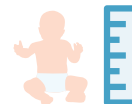


Mózg



Wielonienasycone kwasy tłuszczowe mają również wpływ na **wzrost i rozwój układu nerwowego**¹⁴.

Wzrost⁴



Mleko kobiece

Mleko kobiece zawiera pełen zestaw składników odżywczych, który w optymalny sposób wspiera wzrost i rozwój niemowlęcia we wczesnym okresie życia⁶.

Wyłącznie karmienie piersią przez **pierwsze 6 miesięcy**, a następnie w połączeniu z pokarmami uzupełniającymi **do 2. roku życia i dłużej**, jest powszechnie zalecaną metodą żywienia niemowląt przez Światową Organizację Zdrowia⁷.

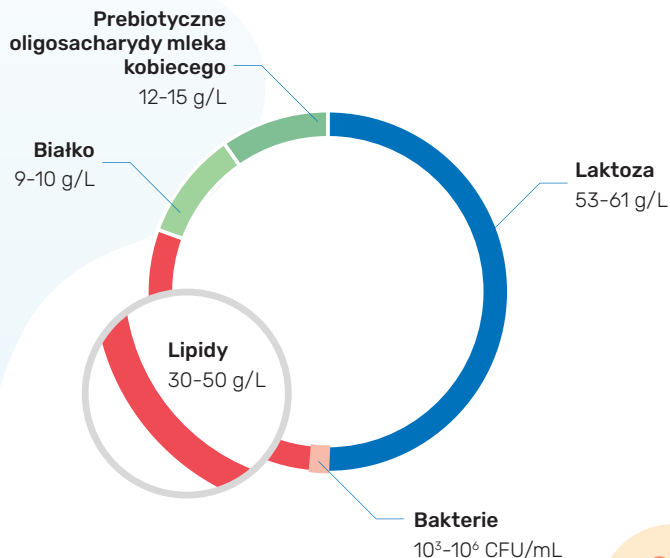
W przypadku, gdy karmienie piersią nie jest możliwe, należy stosować mleko modyfikowane dla niemowląt, które w bezpieczny sposób będzie zaspokajać **potrzeby żywieniowe niemowląt**, wspierając ich wzrost i rozwój⁶.



Mleko mamy jest bogate w lipidy

Lipidy są drugą co do wielkości grupą makroskładników w mleku matki⁸.

Pokrywają one 50% zapotrzebowania energetycznego niemowląt⁹.



Frakcja lipidowa jest niezbędnym składnikiem mleka matki ze względu na jej rolę w zapewnieniu optymalnego wzrostu i rozwoju niemowlęcia^{8,10}.



Czy wiesz, że...

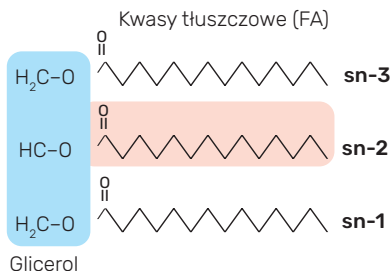
... mleko matki dostosowuje się w trakcie jednego karmienia:

mleko końcowe (ostatnia porcja podczas karmienia) może zawierać od 2 do 3 razy więcej lipidów niż mleko początkowe (pierwsza porcja podczas karmienia)¹¹.

Czym są lipidy w mleku kobiecym?



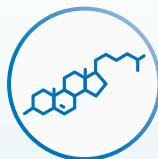
Trójglicerydy stanowią 98%-99% lipidów w mleku matki i są głównym źródłem energii dla niemowląt.⁸



Kwas palmitynowy (PA, C16:0) to najliczniejszy nasycony kwas tłuszczowy i stanowi 20-25% wszystkich kwasów tłuszczowych w mleku matki¹².

Prawie 75% kwasu palmitynowego w mleku kobiecym jest połączone z łańcuchem głównym glicerolu w pozycji sn-2¹².

Pozostałe składniki mleka kobiecego:



Cholesterol

Niezbędny do rozwoju neurologicznego oraz baza dla niektórych enzymów¹³



Fosfolipidy

Niezbędne dla mózgu i rozwoju poznawczego¹⁴



Sfingolipidy

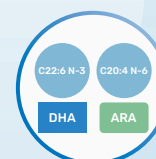
(głównie sfingomieliny)

Ważne dla optymalnego funkcjonowania centralnego układu nerwowego i rozwoju poznawczego^{15,16}



Glikolipidy (w tym gangliozydy)

Kluczowe w transdukcji sygnałów, rozwoju mózgu oraz dojrzewaniu, a także budowaniu funkcji odpornościowych oraz zapobieganiu infekcjom¹⁷⁻¹⁹



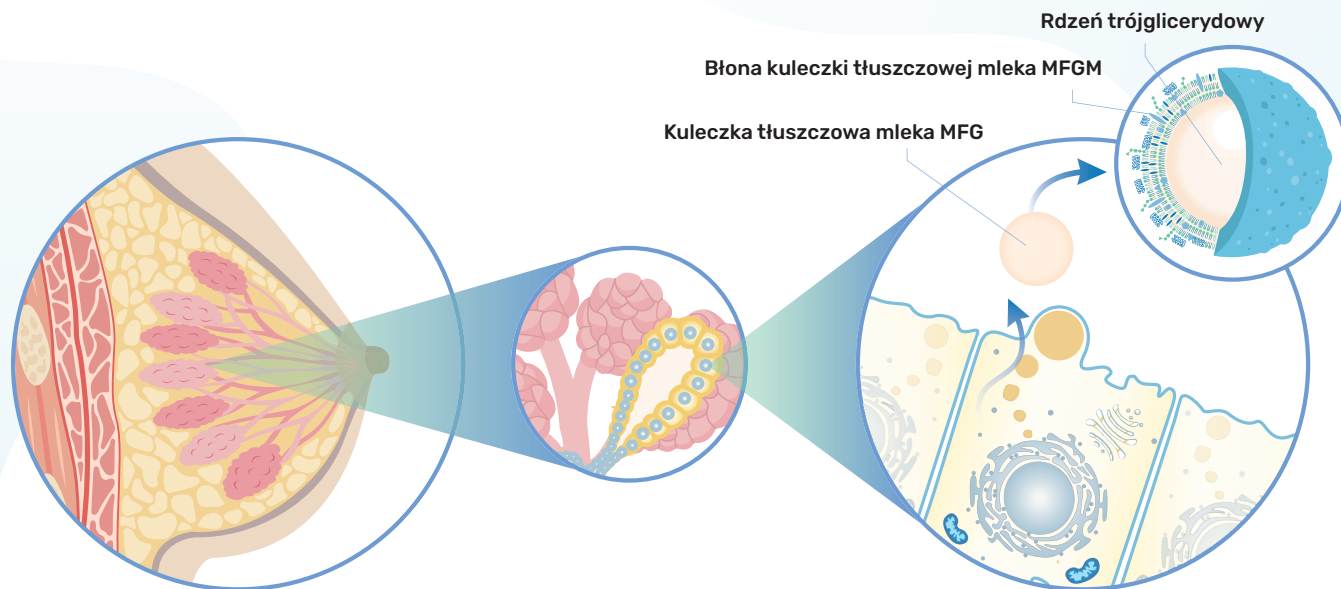
Ważne kwasy tłuszczowe: (LA, ALA, ARA oraz DHA)

Ważne dla rozwoju neuronalnego oraz cech sensorycznych^{1,20}

Różnice w trawieniu lipidów u niemowląt wynikające z procesów rozwojowych



Skąd pochodzą lipidy w mleku kobiecym?



Mechanizmy wydzielania w komórkach nabłonka gruczołu sutkowego podczas laktacji decydują o wielkości, składzie i strukturze kuleczek tłuszczowych mleka (MFG) w mleku kobiecym²⁷.

Charakterystyka lipidów mleka kobiecego zwiększa trawienie tłuszczów

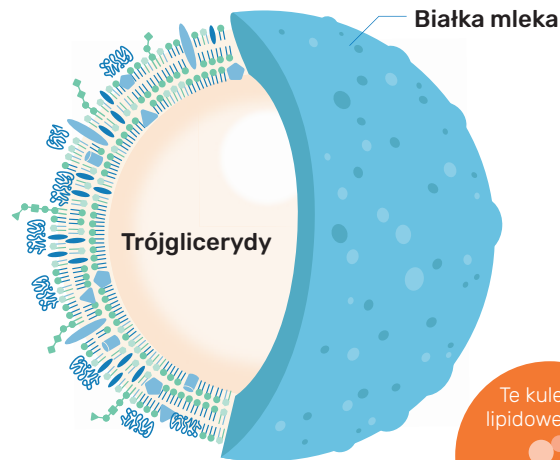
Trójglicerydy mleka kobiecego są magazynowane w rdzeniu dużych kuleczek tłuszczowych mleka (MFG), otoczonych unikalną trójwarstwową błoną znaną jako błona kuleczek tłuszczowych mleka (MFGM)^{9,28}.

Wewnętrzna monowarstwa MFGM jest bogata w fosfolipidy, natomiast zewnętrzna podwójna warstwa zawiera fosfolipidy, sfingolipidy, glikolipidy oraz cholesterol, wraz z wbudowanymi glikoproteinami błonowymi²⁸.

MFGM działa jako emulgator, chroniąc przed koalescencją i agregacją, zapewniając stabilne rozmieszczenie kuleczek tłuszczowych mleka w mleku mamy^{29,30}.

Skład i struktura kuleczek tłuszczowych mleka (MFG) **odgrywają rolę w trawieniu i metabolizmie lipidów mleka** oraz mają wpływ na zdrowie niemowląt³⁰.

-  Fosfolipidy
-  Sfingolipidy
-  Cholesterol
-  Białko mleka
-  Białka MFGM
-  Glikolipidy

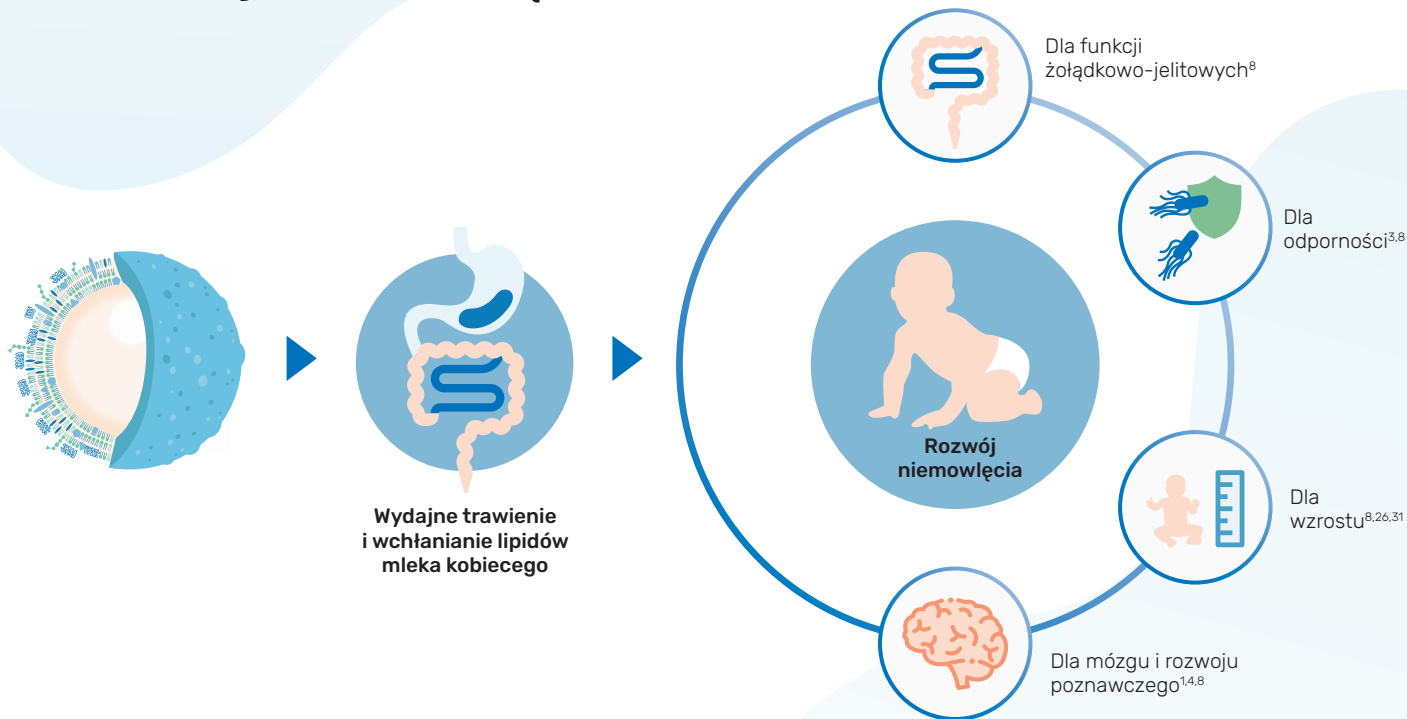


Te kuleczki lipidowe mają



ŚREDNICĘ MODALNĄ
~4 μm²⁰.

Wydajne wchłanianie lipidów jest kluczowe dla rozwoju niemowląt²¹



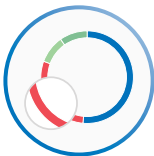
Podsumowanie



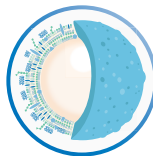
Mleko kobiece jest najlepszym sposobem żywienia niemowląt. Jego **skład jest bardzo złożony** i w naturalny sposób dostarcza wielu różnych składników odżywczych oraz ochronnych, które współdziałają ze sobą w unikalny sposób i są specjalnie dostosowane do potrzeb niemowlęcia.



Lipidy znajdujące się w mleku kobiecym dostarczają 50% energii niezbędnej do wspierania **wzrostu i rozwoju niemowląt**. Zapewniają również **ważne kwasy tłuszczowe** (LA, ALA, DHA i ARA) oraz **witaminy rozpuszczalne w tłuszczach** (witaminę A, D, E i K).



Lipidy są drugą co do wielkości grupą makroskładników w mleku kobiecym i **głównym źródłem energii** dla niemowląt.



Lipidy w mleku kobiecym występują w postaci kuleczek tłuszczowych mleka (MFG) o modalnej średnicy 4 μm , otoczonych trójwarstwową błoną.



Struktura, skład i rozmiar otoczonych kuleczek tłuszczowych mleka (MFG) są kluczowe dla **efektywnego dostarczania, wchłaniania i trawienia lipidów** przez niemowlę.

Literatura

1. Ojo-Okunola A, et al. *Metabolites*. 2020 Feb 20;10(2):77.
2. Floris LM et al. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2020;156:102023.
3. Miles EA, et al. *Nutrients*. 2021;13(1):247.
4. Einerhand AW, Mi W, Haandrikman A, Sheng XY, Calder PC. *Nutrients*. 2023 May 4;15(9):2187.
5. Carlson SE, Colombo J. *Advances in pediatrics*. 2016 Jun 3;63(1):453.
6. EFSA Panel. *EFSA Journal*. 2014;12:3760.
7. WHO/UNICEF. *Global nutrition targets 2025: breastfeeding policy brief*, accessed January 2022.
8. Koletzko, B. *Ann. Nutr. Metab*. 2016; 6(2):27–40.
9. Ramiro-Cortijo D, et al. *Nutrients*. 2020 Feb; 12(2): 534.
10. Demmelmair H, Koletzko B. *J Clin Endocrinol Metab*. 2018;32(1):57–68.
11. Ballard O, Morrow AL. *Pediatr Clin North Am*. 2013;60(1):49–74.
12. Havelicekova Z, et al. *Nutr J*. 2016;15:28.
13. The Breastfeeding Network, United Kingdom. *Raised cholesterol and breastfeeding*. Available at: <https://www.breastfeedingnetwork.org.uk/factsheet/cholesterol/>. Accessed February 2024.
14. Zheng L, et al. *Adv Nutr*. 2019 Nov 1;10(6):1163–1176.
15. Albi E, et al. *Front Biosci (Landmark Ed)*. 2022 Aug 17;27(8):247.
16. Schneider N, et al. *eNeuro*. 2019 Jul-Aug; 6(4): ENEURO.0421–18.2019.
17. Georgi G, et al. *Am J Clin Nutr*. 2013 Aug;98(2):578S–85S.
18. Malhotra R. *Biochem Anal Biochem*. 2012;1:108.
19. Yu RK, Itokazu Y. *Adv Neurobiol*. 2014;9:185–222.
20. Schipper L, et al. *Front Nutr*. 2023; 10: 1215199.
21. Lindquist S, Hernell O. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010 May;13(3):314–20.
22. Hamosh M, et al. *J Clin Invest*. 1981. 67(3): p. 838–46.
23. Poquet L, Wooster TJ. *Mol Nutr Food Res*. 2016 Aug;60(8):1876–95.
24. Abrahamse E, et al. *Food Dig*. 2012. 3(1–3): p. 63–77.
25. Ménard O, et al. *Food Chemistry*. 2018. 240: p. 338–345.
26. He X, et al. *Nutr Res*. 2020 Nov;83:15–29.
27. Hernell O, et al. *J Pediatr*. 2016;173:S60–5.
28. Gallier S, et al. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2015 Dec 1;136:329–39.
29. Manoni M, et al. *Foods*. 2020;9(9):1251.
30. Lopez C, et al. *Eur J Lipid SC*. 2018;(1):1800201.
31. Savarino G, Corsello A, Corsello G. *Ital J Pediatr*. 2021 May 8;47(1):109.