



Danone Nutricia  
Campus

# Lipidy

Wszystko, co warto o nich wiedzieć



# Skróty

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

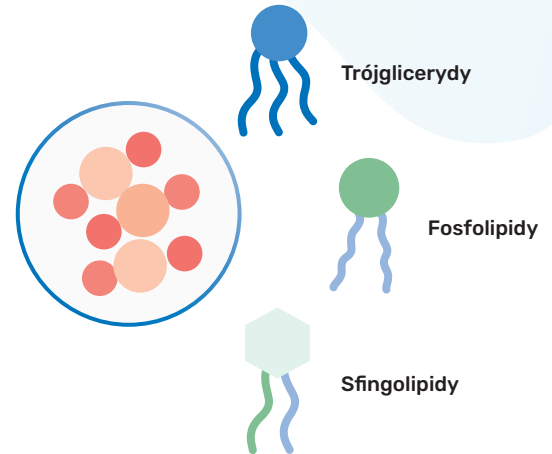
# Lipidy

## 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**



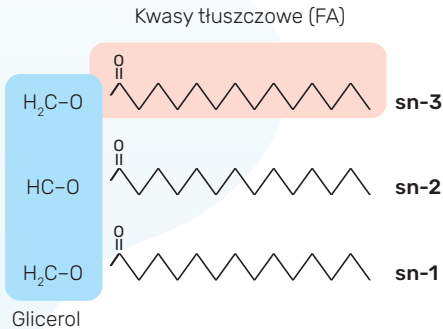
**izolacji termicznej**



**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 nasylenie

### Długość



**Krótkołańcuchowe**  
(<6 atomów węgla)



**Średniołańcuchowe**  
(6-12 atomów węgla\*)



**Długołańcuchowe**  
(>12 atomów węgla\*)

### Nasylenie:

- 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)

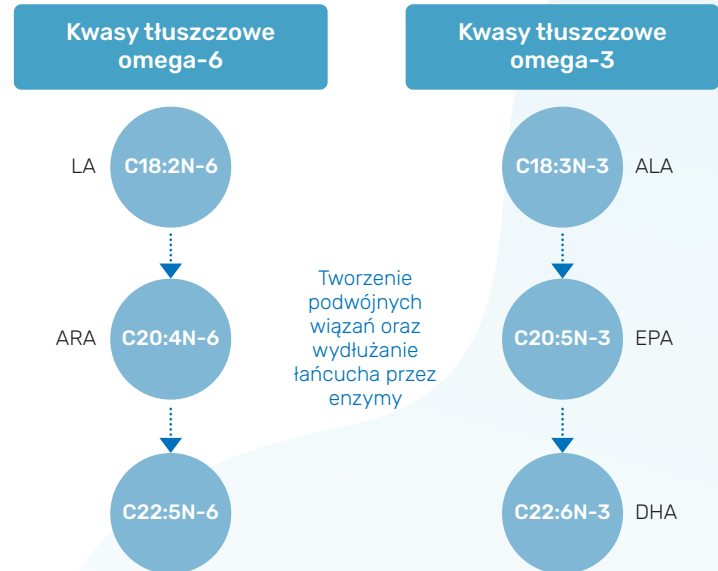
\* Wg niektórych publikacji węgiel-14 (C14) jest również średniołańcuchowym kwasem tłuszczowym.

# 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)<sup>1</sup>. 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 ALA<sup>1</sup>. 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 rozwoju<sup>2</sup>.
- 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 **przeciwzapalnych**<sup>3</sup>.

**Tkanka  
tłuszczowa**<sup>5</sup>

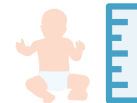


**Mózg**



Wielonienasycone kwasy tłuszczowe mają również wpływ na **wzrost i rozwój układu nerwowego**<sup>14</sup>.

**Wzrost**<sup>4</sup>



# Mleko kobiece

**Mleko kobiece** zawiera pełen zestaw składników odżywczych, który w optymalny sposób wspiera wzrost i rozwój niemowlęcia we wczesnym okresie życia<sup>6</sup>.

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 Zdrowia<sup>7</sup>.

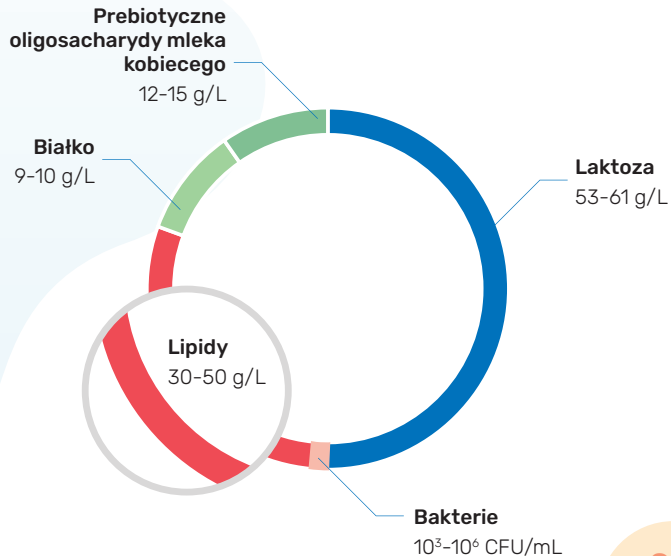
W przypadku, gdy karmienie piersią nie jest możliwe, należy stosować mleko modyfikowane dla niemowląt, które w bezpieczny sposób będzie zaspokajać **potrzeby żywieniowe niemowląt**, wspierając ich wzrost i rozwój<sup>6</sup>.



# Mleko mamy jest bogate w lipidy

Lipidy są drugą co do wielkości grupą makroskładników w mleku matki<sup>8</sup>.

Pokrywają one 50% zapotrzebowania energetycznego niemowląt<sup>9</sup>.



Frakcja lipidowa jest niezbędnym składnikiem mleka matki ze względu na jej rolę w zapewnieniu optymalnego wzrostu i rozwoju niemowlęcia<sup>8,10</sup>.



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

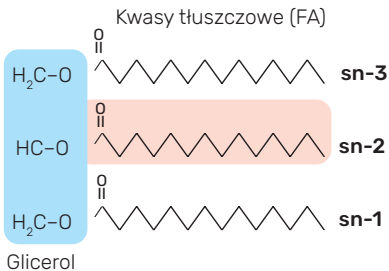
**Czy wiesz, że...**

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

# Czym są lipidy w mleku kobiecym?



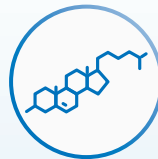
**Trójglicerydy stanowią 98%-99% lipidów w mleku matki i są głównym źródłem energii dla niemowląt.<sup>8</sup>**



**Kwas palmitynowy (PA, C16:0) to najlichnieszy nasycony kwas tłuszczowy i stanowi 20-25% wszystkich kwasów tłuszczowych w mleku matki<sup>12</sup>.**

Prawie 75% kwasu palmitynowego w mleku kobiecym jest połączone z łańcuchem głównym glicerolu w pozycji sn-2<sup>12</sup>.

## Pozostałe składniki mleka kobiecego:



### Cholesterol

Niezbędny do rozwoju neurologicznego oraz baza dla niektórych enzymów<sup>13</sup>



### Fosfolipidy

Niezbędne dla mózgu i rozwoju poznawczego<sup>14</sup>



### Sfingolipidy

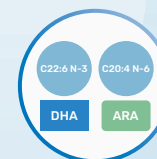
(głównie sfingomieliny)

Ważne dla optymalnego funkcjonowania centralnego układu nerwowego i rozwoju poznawczego<sup>15,16</sup>



### Glikolipidy (w tym gangliozydy)

Kluczowe w transdukcji sygnałów, rozwoju mózgu oraz dojrzewaniu, a także budowaniu funkcji odpornościowych oraz zapobieganiu infekcjom<sup>17-19</sup>



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

Ważne dla rozwoju neuronalnego oraz cech sensorycznych<sup>15,20</sup>

# Różnice w trawieniu lipidów u niemowląt wynikające z procesów rozwojowych

## Trawienie lipidów w niemowlęctwie

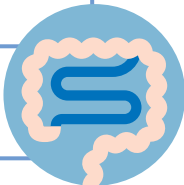
Niemowlęta charakteryzują się:

Zmniejszoną zdolnością do trawienia lipidów<sup>21-23</sup>



Wyższymi poziomami pH żołądka<sup>24</sup>

Zmniejszonym poziomem kwasów żółciowych<sup>21,22,25</sup>

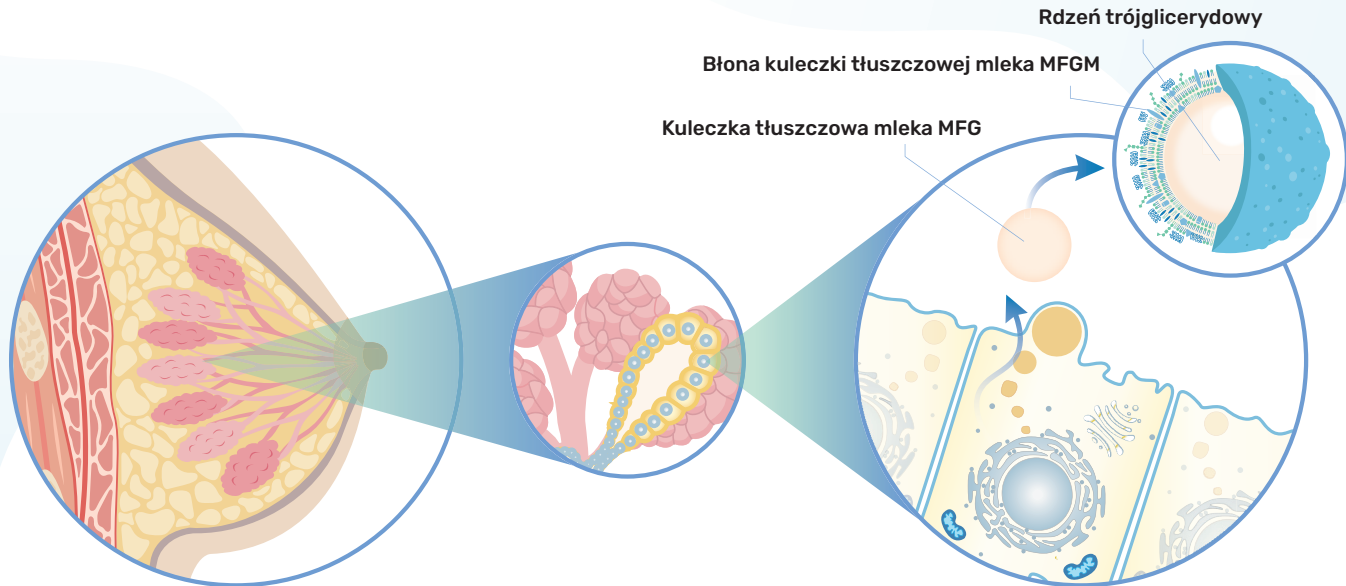


Rozwijającą się mikrobiotą jelitową<sup>26</sup>

Niedojrzałą barierą jelit<sup>23</sup>



# 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 kobiecym<sup>27</sup>.

# Charakterystyka lipidów mleka kobiecego zwiększa trawienie tłuszczów

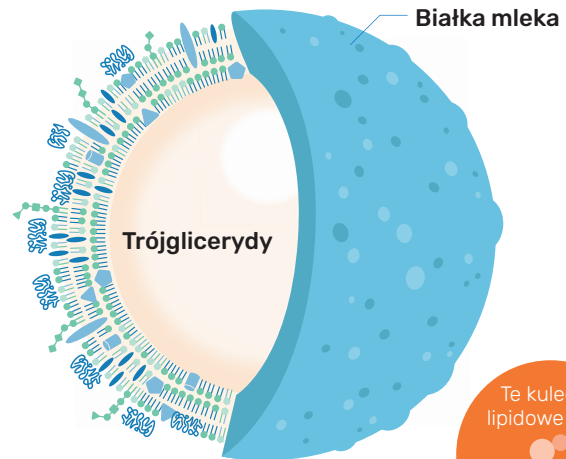
Trójglicerydy mleka kobiecego są magazynowane w rdzeniu dużych kuleczek tłuszczowych mleka (MFG), otoczonych unikalną trójwarstwową błoną znaną jako błona kuleczek tłuszczowych mleka (MFGM)<sup>9,28</sup>.

**Wewnętrzna monowarstwa MFGM jest bogata w fosfolipidy**, natomiast zewnętrzna podwójna warstwa zawiera fosfolipidy, sfingolipidy, glikolipidy oraz cholesterol, wraz z wbudowanymi glikoproteinami błonowymi<sup>28</sup>.

**MFGM działa jako emulgator**, chroniąc przed koalescencją i agregacją, zapewniając stabilne rozmieszczenie kuleczek tłuszczowych mleka w mleku mamy<sup>29,30</sup>.

Skład i struktura kuleczek tłuszczowych mleka (MFG) **odgrywają rolę w trawieniu i metabolizmie lipidów mleka** oraz mają wpływ na zdrowie niemowląt<sup>30</sup>.

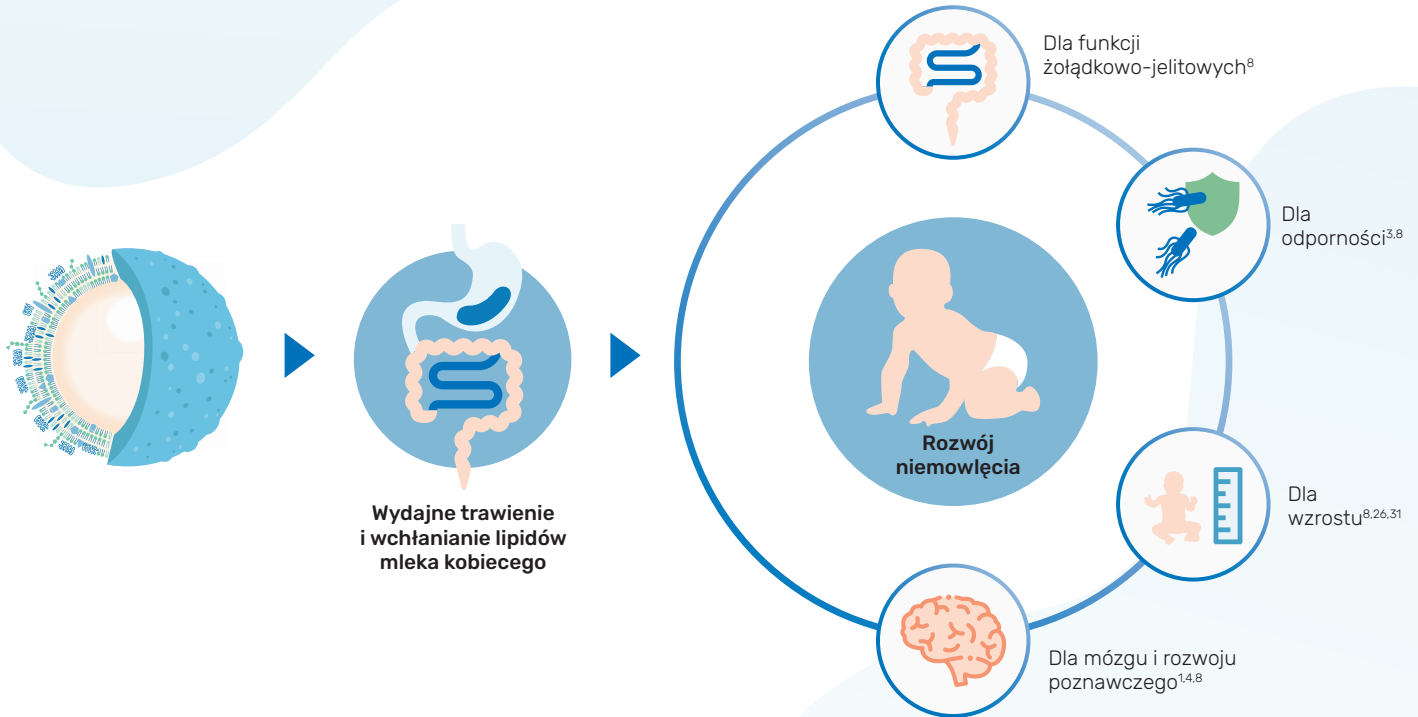
-  Fosfolipidy
-  Sfingolipidy
-  Cholesterol
-  Białko mleka
-  Białka MFGM
-  Glikolipidy



Te kuleczki lipidowe mają

ŚREDNICĘ MODALNĄ  
~4  $\mu\text{m}^2$ .

# Wydajne wchłanianie lipidów jest kluczowe dla rozwoju niemowląt<sup>21</sup>



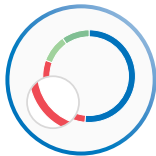
# Podsumowanie



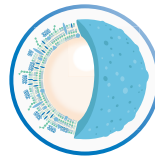
**Mleko kobiece jest najlepszym sposobem żywienia niemowląt.** Jego **skład jest bardzo złożony** i w naturalny sposób dostarcza wielu różnych składników odżywczych oraz ochronnych, które współdziałają ze sobą w unikalny sposób i są specjalnie dostosowane do potrzeb niemowlęcia.



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  $\mu\text{m}$ , otoczonych trójwarstwową błoną.



Struktura, skład i rozmiar otoczonych kuleczek tłuszczowych mleka (MFG) są kluczowe dla **efektywnego dostarczenia, 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.