

Wojciech Sasiadek, Jacek Michalski, Piotr Ulatowski

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

e-mails: wojciech.sasiadek@ue.wroc.pl, ORCID: 0000-0001-6927-6759;
jacek.michalski@ue.wroc.pl, ORCID: 0000-0001-5393-2109;
piotrek.ulatowski@wp.pl

CHARAKTERYSTYKA NIENASYCONYCH KWASÓW TŁUSZCZOWYCH ZAWARTYCH W RYBACH

CHARACTERISTICS OF UNSATURATED FATTY ACIDS FROM FISH

DOI: 10.15611/pn.2018.542.12

JEL Classification: D18, I12, Q02

Streszczenie: Tłuszcze są jednym z podstawowych składników żywności. Pełnią funkcję zapasową, izolują termicznie, wchodzą w skład błon lipidowych, są nośnikami wielu witamin (A, D, E, K) i substancji lipofilnych. Ilość i jakość dostarczanych tłuszczów w diecie oraz ich skład mają istotny wpływ na zdrowie człowieka. Szczególnie ważnymi składnikami tłuszczów są nienasycone kwasy tłuszczowe, m.in. grup n-3 i n-6 (tzw. omega-3 i -6). Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych obecnych w rybach oraz ich wpływu na organizm człowieka. Na wstępie ogólnie omówiono nazewnictwo, budowę, podział nienasyconych kwasów tłuszczowych oraz jętkzenie. Przedstawiono także źródła kwasów tłuszczowych, ich przemiany i funkcje w organizmie człowieka oraz ich wpływ na niektóre choroby. Tak jak historycznie tran wielorybi, tak obecnie i inne tłuszcze oraz ich frakcje są coraz powszechniej stosowane w medycynie.

Słowa kluczowe: ryby, nienasycone kwasy tłuszczowe, n-3, n-6, omega-3 i -6, kwas linolowy, kwas α -linolenowy.

Summary: Fats are one of the basic ingredients of food. They store and supply energy, thermally insulate, form lipid membranes, are carriers of many vitamins (A, D, E, K) and lipophilic substances. The quantity and quality of fats in the diet and their composition have a significant impact on human health. Particularly important components of fats are unsaturated fatty acids, including ω -3 and ω -6 groups. The purpose of this work was to characterize the polyunsaturated fatty acids present in fish and their effect on the human body. At the beginning, the nomenclature, structure, division of unsaturated fatty acids and rancidity are discussed. The sources of fatty acids, their transformations and functions in the human body as well as the influence on some diseases are also presented. Just like historically whale oil, so now other fats and their fractions are increasingly used in medicine.

Keywords: fish, unsaturated fatty acids, n-3, n-6, omega-3 and -6, linoleic acid, α -linolenic acid.

1. Wstęp

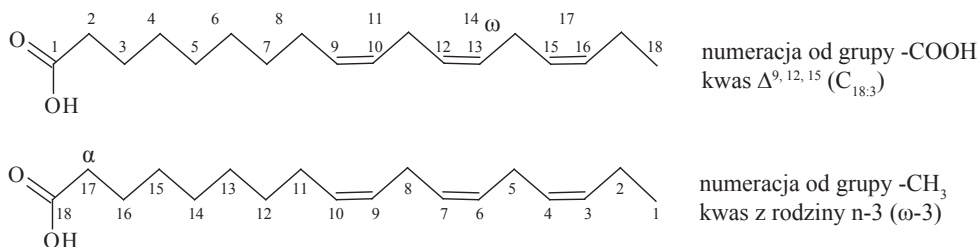
Tłuszcze, obok białek i węglowodanów, są podstawowymi składnikami żywności. Z chemicznego punktu widzenia tłuszcze to triacyloglicerole, które w swym składzie mogą zawierać zarówno nasycone, jak i nienasycone kwasy tłuszczowe.

W organizmie człowieka pełnią wiele istotnych funkcji, są m.in. wysokoenergetycznym źródłem energii i stanowią ważny materiał zapasowy, izolują termicznie, a także umożliwiają transport witamin A, D, E i K. Wykorzystywane są do biosyntezy enzymów i hormonów, które stanowią klucz do wielu ważnych przemian metabolicznych. Powszechnie uważa się, że dla organizmu ludzkiego najbardziej wartościowe są tłuszcze zawierające w przewadze kwasy nienasycone, choć w istocie ważny jest zarówno stosunek kwasów nasyconych do nienasyconych, jak i różnych grup kwasów nienasyconych względem siebie. Dobrym źródłem nienasyconych kwasów tłuszczowych dla człowieka są ryby, szczególnie morskie.

2. Nienasycone kwasy tłuszczowe

2.1. Nazewnictwo nienasyconych kwasów tłuszczowych

Naturalne kwasy tłuszczowe najczęściej zawierają parzystą liczbę atomów węgla. Brak podwójnych wiązań w łańcuchu węglowym jest charakterystyczny dla nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA – *Saturated Fatty Acids*), nienasycone kwasy zaś zawierają jedno (jednonienasycone, czyli monoenowe, MUFA – *Monounsaturated Fatty Acids*) lub więcej wiązań podwójnych (wielonienasycone, czyli polienowe, tzw. PUFA – *Polyunsaturated Fatty Acids*) pomiędzy atomami węgla $>C=C<$, oddzielonych od siebie grupą metylenową $-CH_2-$. Kwasy wielonienasycone, posiadające wiązania izolowane, występują w większości tłuszczów naturalnych. Najpopularniejsze z nich to kwasy, które posiadają dwa wiązania podwójne, jak np. kwas linolowy (LA) [Sikorski 2009; Ban-Oganowska i in. 2006].



Rys. 1. Stosowana numeracja i symbolika na przykładzie kwasu α -linolenowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Stryer 1999].

Nienasycone kwasy tłuszczowe są najczęściej głównymi składnikami glicerydów płynnych, czyli olejów. Ich właściwości biologiczne i fizykochemiczne zależą od rodzaju kwasu tłuszczowego, a tym samym od długości łańcucha, a także od liczby i umiejscowienia wiązań podwójnych [Sikorski 2009].

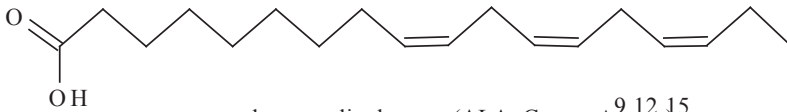
W oznaczeniach rodzin kwasów tłuszczowych np. n-3 i n-6 litera „n” oznacza miejsce występowania pierwszego wiązania podwójnego C=C, licząc od końcowego atomu węgla (od grupy metylowej -CH₃), a stojąca przy niej cyfra oznacza atom węgla, przy którym to wiązanie występuje (rys. 1 i 2). Terminologia ta wyznacza przynależność wielonienasyconych kwasów tłuszczowych do rodzin omega, np. trienowy kwas α -linolenowy zawiera 18 atomów węgla i pierwsze wiązanie nienasycone znajduje się przy trzecim atomie węgla, dlatego należy do rodziny kwasów n-3, czyli ω -3. Nomenklatura nienasyconych kwasów tłuszczowych uwzględnia także położenia wiązań podwójnego, licząc od grupy karboksylowej -COOH, które zapisywane jest symbolem Δ^m , gdzie „m” to pierwszy atom węgla, przy którym znajduje się wiązanie podwójne. Na przykład $\Delta^{9,12,15}$ określa wiązania podwójne znajdujące się między 9 a 10, a także 12 i 13 oraz 15 i 16 atomem węgla. Niekiedy także podaje się sumaryczną liczbę atomów węgla i wiązań podwójnych C=C występujących w cząsteczce kwasu tłuszczowego, np. C_{18:3}. Wiązanie podwójne występujące pomiędzy atomami węgla jest płaskie i „sztywne”, a więc nie ma możliwości rotacji, dlatego też może występować w dwu formach połączeń atomów: *cis* o kształcie „łódki” i *trans* – „krzeselka” (*cis* i *trans* obecnie ściślej: *Z* i *E*) [Gawęcki 2010; Żak, Szołtysek-Bołdys 2001].

2.2. Występowanie

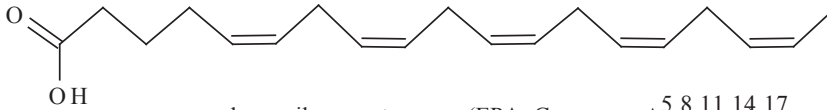
Do organizmu dostarczane są wraz z pożywieniem, głównie pochodzenia roślinnego, oraz produktami rybnymi. Pewna grupa nienasyconych kwasów tłuszczowych to tzw. egzogenne kwasy tłuszczowe (rys. 2), choć w niewielkiej ilości syntezowane w organizmie, to jednak w niewystarczającej, aby pokryć zapotrzebowanie [Stołyhwo-Szpajer i in. 2001]. Stanowią one niezbędny element diety człowieka, a także wielu gatunków zwierząt. Kwasy te, łącznie z produktami ich przemiany, powstającymi w organizmie, tworzą główne dwie grupy kwasów nienasyconych: n-3 (ω -3), pochodnych ALA (kwas α -linolenowy) oraz n-6 (ω -6) pochodnych LA (kwas linolowy) i wspólnie określane są mianem nienasyconych niezbędnych kwasów tłuszczowych (NNKT) lub wielonienasyconych niezbędnych kwasów tłuszczowych (WNKT) [Sikorski 2009].

Do rodziny kwasów n-3 należą: kwas α -linolenowy (ALA), eikozapentaenowy (EPA) i kwas dokozaheksaenowy (DHA), natomiast do rodziny n-6 zalicza się kwas linolowy (LA), kwas γ -linolenowy (GLA) oraz kwas arachidonowy (AA) (rys. 2) [Achremowicz, Szary-Sworst 2005; Sikorski 2009].

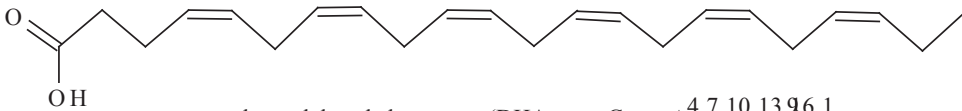
Kwasy z rodziny n-3 (ω -3)



kwasy α -linolenowy (ALA; C $18:3\Delta^{9,12,15}$)

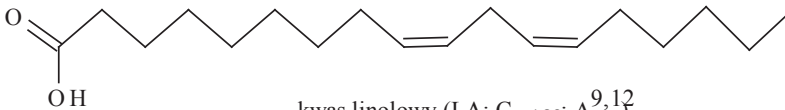


kwasy eikozapentaenowy (EPA; C $20:5\Delta^{5,8,11,14,17}$)

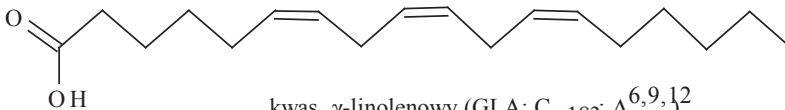


kwasy dokozaheksaenowy (DHA; C $22:6\Delta^{4,7,10,13,16,19}$)

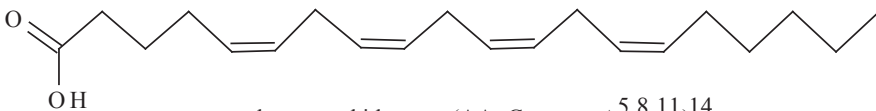
Kwasy z rodziny n-6 (ω -6)



kwasy linolowy (LA; C $18:2\Delta^{9,12}$)



kwasy γ -linolenowy (GLA; C $18:3\Delta^{6,9,12}$)



kwasy arachidonowy (AA; C $20:4\Delta^{5,8,11,14}$)

Rys. 2. Podstawowe nienasycone kwasy tłuszczowe z rodzin n-3 i n-6

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Stryer 1999].

W organizmach ssaków wytwarzane są jedynie kwasy nienasycone, w których wiązanie podwójne występuje w pozycji n-9. Natomiast NNKT z rodzin n-3 i n-6 muszą być dostarczane wraz z pożywieniem, dlatego niekiedy zaliczane są do grupy witamin i nazywane witaminą F. Jednak jest to błędne twierdzenie, ponieważ dzienne zapotrzebowanie dorosłej osoby na LA jest na tyle duże (wynosi ok. 10 g), że NNKT należy traktować jako podstawowe składniki odżywcze, a nie jako witaminy [Żak, Szołtysek-Bołdys 2001].

NNKT w dużych ilościach występują w triacyloglicerolach roślinnych i fosfolipidach zwierzęcych. Źródłem wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z grupy n-3 (5 i 6 wiązań podwójnych) są przede wszystkim oleje z ryb. Duże ich ilości występują m.in. w wątrobach ssaków morskich i w tranie z dorszy (*Gadus*). Zbyt małe ilości LA w diecie mogą być uzupełniane kwasem arachidonowym (AA), który jest jego pochodną. Jeśli jednak w organizmie dochodzi do niedoboru egzogennych kwasów tłuszczowych, są one zastępowane w fosfolipidach błonowych przez endogenne polienowe kwasy tłuszczowe z rodziny n-9 [Żak, Szołtysek-Bołdys 2001]. Dieta bogata w oleje z ryb prowadzi do zastąpienia AA (n-6), kwasami z rodziny n-3 występującymi w złożonych lipidach, tj. EPA i DHA [Żak, Szołtysek-Bołdys 2001].

Kwasy n-3 w dużych ilościach występują w algach morskich oraz fitoplanktonie. Dla człowieka źródłem kwasów z tej rodziny jest tłuszcz pochodzący z ryb, a także ssaków morskich, które żywią się planktonem lub innymi rybami. Dostarcza on przede wszystkim frakcje długołańcuchowe, tj. EPA i DHA. Zawartość obu tych kwasów w tłuszczu rybim jest dość zmienna i uzależniona od wielu czynników, m.in.: gatunku ryby i jej stanu fizjologicznego, pory roku, bytowania i łowiska [Kolanowski 2007; Marciniak-Łukasiak 2011]. Tak jak wspomniano, to ryby morskie oraz pstrąg tęczowy (w zależności od formy może prowadzić osiadły lub wędrowny tryb życia) charakteryzują się dużą zawartością kwasów EPA i DHA (tab. 1). W wypadku łososia jest to wartość bliska 2,9%, pstrąga 2,4%, a dla tuńczyka, sardynki, śledzia i makreli są to wartości od 1 do 1,8%. Średnia zawartość tłuszczu jest wyraźnie skorelowana z ilością EPA i DHA oraz wartością energetyczną.

Ryby występujące w zimnych morzach północnej półkuli zawierają więcej kwasu DHA niż EPA. Odwrotnie jest w wypadku ryb zasiedlających morza południowe. Niektóre gatunki ryb, które możemy spotkać w morzach śródziemnych, jak np. łosoś (*Salmo salar*), również zawierają duże ilości kwasów n-3. Powstały także specjalne hodowle ryb bogatych w kwasy n-3, które następnie są pokarmem dla łososi hodowlanych. Ryby hodowlane zawierają więcej kwasów n-6 i mniej kwasów n-3, w porównaniu z rybami żyjącymi dziko [Kolanowski 2007; Marciniak-Łukasiak 2011].

Dobrym źródłem kwasów tłuszczowych z rodziny n-3 jest tran, ciekły tłuszcz otrzymywany ze świeżej wątroby dorsza atlantyckiego (*Gadus morhua*) lub innych ryb z rodziny dorszowatych (*Gadidae*), a także z niektórych ssaków morskich. Tran zawiera różnego rodzaju kwasy tłuszczowe, zwłaszcza: EPA, DHA i dokosapentaenowy (DPA) oraz witaminy A i D. Powszechnie uważa się, że powinien być on regularnie stosowany przez ludzi w każdym wieku, a przede wszystkim przez dzieci [Karlłowicz-Bodalska, Bodalski 2007; Kołodziejczyk 2007].

Tabela 1. Średnia wartość energetyczna, zawartość tłuszczu i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych EPA i DHA w wybranych gatunkach ryb morskich i słodkowodnych

Gatunek ryby	Wartość energetyczna (kcal/100 g)	Zawartość tłuszczu (g/100 g)	Zawartość EPA i DHA (mg/100 g)
Ryby morskie			
Łosoś <i>Salmo salar</i>	201	13,6	2860
Makrela <i>Scomber scombrus</i>	181	11,9	1750
Śledź <i>Clupea harengus</i>	161	10,7	1290
Sardynki <i>Sardina pilchardus</i>	169	9,6	1000
Tuńczyk <i>Thunnini</i>	137	4,6	1000
Morszczuk <i>Merluccius merluccius</i>	89	2,2	490
Sola <i>Solea solea</i>	83	1,4	190
Dorsz <i>Gadus morhua</i>	78	0,7	180
Mintaj <i>Gadus chalcogrammus</i>	73	0,6	180
Ryby słodkowodne			
Pstrąg tęczy <i>Oncorhynchus mykiss</i>	160	9,6	2360
Karp <i>Cyprinus carpio</i>	110	4,2	160
Sandacz <i>Sander lucioperca</i>	84	0,7	150
Tilapia <i>Cichlidae</i>	89	2,0	71
Okoń <i>Perca fluviatilis</i>	82	1,3	25
Panga <i>Pangasianodon hypophthalmus</i>	80	1,3	25

Źródło: na podstawie [<https://cojesc.net/ryby>].

Kolejnym źródłem kwasów n-3 są glony (*Algae*) i różnego rodzaju owoce morza: ostrygi (*Ostreidae*), krewetki (*Caridea*), kraby (*Brachyura*), homary (*Nephropidae*) [Nowak 2009].

Oprócz zwierząt morskich, dobrym źródłem kwasów n-3 i n-6 są także oleje roślinne, np.: słonecznikowy 70% LA, wiesiołkowy 67% LA i 14% GLA, kukurydziany 57% LA, sojowy 50% LA, rzepakowy 20% LA i 9% ALA, ogórecznikowy 25%

GLA czy lniany (nieoczyszczony, tłoczony na zimno) 16% LA i 57% ALA [Nowak 2009; Obiedzińska, Waszkiewicz-Robak 2012]

Ze względu na zjawisko przełowienia mórz i oceanów, które spowodowane jest nadmierną i niekontrolowaną eksploatacją łowisk, poszukuje się zamienników pokarmowych będących w stanie zastąpić lub uzupełnić dietę człowieka. Bada się także alternatywne źródła kwasów n-3, tj. hodowane algi (*Algae*), których olej może zawierać nawet 40% DHA [Obiedzińska, Waszkiewicz-Robak 2012].

2.3. Znaczenie biologiczne

Kwasy tłuszczowe spożywane wraz z pokarmem mogą ulegać wielu przemianom enzymatycznym, które powoduje określona desaturaza (Δ^4 , Δ^5 i Δ^6), wprowadzając kolejne wiązania podwójne. Jednak w organizmie człowieka oraz innych ssaków nie występują desaturazy zdolne do utworzenia wiązań podwójnych w położeniu dalszym niż przy atomie węgla C-9. Natomiast łańcuchy kwasów tłuszczowych mogą zostać wydłużone pod wpływem enzymu – elongazy [Bartnikowska 2008; Stryer 1999].

W procesie wydłużania łańcuchów, tj. elongacji, kwasy przekształcane są w długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe posiadające zasadniczą aktywność biologiczną. Podczas przemian kwas n-3 α -linolenowy (ALA) oraz kwas n-6 linolowy (LA) konkurują między sobą o te same enzymy. To dlatego zwiększona ilość LA w diecie hamuje syntezę EPA i DHA, zwiększa zaś ilość AA, co może zaburzać równowagę fizjologiczną ustroju [Hackey 1994]. Z 3-4 g ALA powstaje tylko 1 g kwasu EPA i DHA. Jest to wynik wspomianej konkurencji o enzymy oraz pewnych strat energetycznych w procesie elongacji. LA nie może stanowić zamiennika kwasów EPA i DHA, ponieważ wywołuje on dużo słabsze efekty metaboliczne [Nettleton 1995].

Działanie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w organizmie jest ściśle związane z działalnością eikozanoidów. Ich prekursorami są kwasy z grupy n-3, np. EPA, a także kwasy z grupy n-6, którymi są kwas dihomo- γ -linolenowy (DGLA) oraz AA. Powstają one w wyniku przemian zachodzących w retikulum endoplazmatycznym. Eikozanoidy są hormonami tkankowymi o wysokiej aktywności biologicznej i szerokim spektrum działania. Odznaczają się szczególnym wpływem, m.in. na: regulację ciśnienia krwi i czynności układu sercowo-naczyniowego, procesy zapalne, stężenie triacylogliceroli w osoczu krwi i formowanie skrzepów wewnętrznych [Wcisło, Rogowski 2006; Bartnikowska 2008; Kris-Etherton i in. 2003a]. Badania przeprowadzane przez naukowców w USA [Jump i in. 2012] dowiodły, że kwasy tłuszczowe mogą regulować ciśnienie krwi. Nasycone kwasy tłuszczowe podwyższają je, natomiast nienasycone mają zdolność do jego obniżania. EPA i DHA powodują spadek ciśnienia tętniczego u osób mających problem z nadciśnieniem, natomiast u osób zdrowych nie doprowadzają do spadku ciśnienia.

Wśród eikozanoidów można wyróżnić fizjologiczne i farmakologiczne czynne związki cykliczne i niecykliczne. Z kwasu DGLA powstają monoenurowe prostaglan-

dyna (PG), prostacyklina (PGI) oraz tromboksany (TXA). Z AA pod wpływem cyklooksygenazy powstają dieny PG, PGI, TXA i jest on także prekursorem leukotrienów (LT) serii 4. Z EPA pod wpływem lipooksygenazy tworzą się trieny PG, PGI i TXA, a także leukotrieny serii 5 [Bartnikowska 2008; Marciniak-Lukasiak 2011; Achremowicz, Szary-Sworst 2005; Kozłowska-Wojciechowska 2003].

Przykładowo eikozanoidy trienowe powstające z kwasu EPA, takie jak prostacyklina trienowa (PGI₃) rozluźniają mięśnie gładkie naczyń krwionośnych i wieńcowych, prostaglandyna trienowa (PG₃) działa rozkurczowo i przeciwzkrzepowo, tromboksan trienowy (TXA₃) wykazuje słabe działanie proagregacyjne (zkrzepowe) i wazokonstrykcyjne (zwięźnianie mięśni gładkich naczyń krwionośnych). Natomiast z EPA powstaje leukotrien serii 5. Tworzy się on w leukocytach, a jego działanie polega na indukcji zapaleń i reakcji alergicznych [Kozłowska-Wojciechowska 2003].

Zastępowanie kwasu AA przez EPA doprowadza do wytwarzania eikozanoidów o dużo niższej aktywności biologicznej. Leukotrien serii 5, otrzymywany z kwasu EPA, wykazuje zaledwie 1-10% aktywności leukotrienu serii 4, zsyntezowanego z kwasu AA. Podobna sytuacja występuje w odniesieniu do tromboksanu trienowego (TXA₃) i tromboksanu dienowego (TXA₂) [Karłowicz-Bodalska, Bodalski 2007].

Zmniejszenie w organizmie leukotrienów serii 4 i białka - interleukina 1 przyczynia się do różnego typu zapaleń stawów, a zwłaszcza reumatoidalnych. Oprócz normalnego leczenia tego schorzenia kwasy rodziny n-3 znalazły zastosowanie jako środki pomocnicze [Kremer 2000].

Gdy wytwarzane są w nadmiarze, niosą za sobą bardzo niekorzystne dla zdrowia działanie. Mają duży wpływ na zwiększanie ciśnienia krwi, co jest efektem zwięźniania światła naczyń krwionośnych. Pogłębiają powstawanie skrzepów krwi, a także reakcji alergicznych i zapalnych. Mogą być także powodem tworzenia się komórek nowotworowych, głównie w okolicach piersi, jelita grubego oraz prostaty [Kozłowska-Wojciechowska 2003].

2.3.1. Funkcje eikozanoidów powstałych z EPA i AA

Kwas AA jest materiałem budulcowym dla fosfolipidów występujących w błonach komórkowych neuronów mózgu oraz fotoreceptorów siatkówki oka. Pozwala on na prawidłowy rozwój mózgu dziecka. U niemowląt i małych dzieci zapewnia on właściwy rozwój funkcji poznawczych i ostrości widzenia. Jest także czynnikiem pozwalającym utrzymywać odpowiednie tempo wzrostu dziecka [Kozłowska-Wojciechowska 2003]. Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) są bardzo ważnym elementem w diecie dzieci i młodzieży wspomagającym ich prawidłowy rozwój, zwłaszcza ośrodkowego układu nerwowego. Dzieci otrzymują je głównie z mlekiem matki. Udowodniono, iż dzieci odżywiane mlekiem bogatym w NNKT lepiej rozwijają się pod względem psychoruchowym, a także posiadają lepszą ostrość widzenia. Niedobór DHA może mieć szczególnie krytyczny wpływ na bu-

dowę błon komórkowych ośrodkowego układu nerwowego oraz siatkówki oka. Spożycie kwasów z rodziny n-3 jest zbyt niskie w populacji krajów zachodnich, zaś zdolność organizmu człowieka do konwersji ALA do kwasu EPA i DHA jest zbyt mała. Głównym czynnikiem konwersji jest Δ^6 desaturaza, której aktywność maleje wraz z wiekiem. Zatem starsi ludzie, którzy spożywają zbyt mało WNKT n-3, narażeni są na problemy zdrowotne. Mogą objawiać się one podatnością na artretyzm, cukrzycę, nowotwory, toczeń czy łuszczycę [Hornstra 1994; Simpoulos 2001].

Badania przeprowadzane przez Payeta [Payet i in. 2004] wykazały, że osoby starsze stosujące przez 9 miesięcy dietę wzbogaconą w DHA wykazały wzrost wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w surowicy krwi o 14,5% i w błonach komórkowych erytrocytów o 25,3%.

2.3.2. Rola kwasu dokozaheksaenowego n-3 w organizmie

Kwas dokozaheksaenowy (DHA) jest materiałem budulcowym dla błon komórkowych neuronów mózgu. Jednak jego występowanie nie ogranicza się tylko do kory mózgowej, ale występuje on w błonach komórkowych całego organizmu [Kozłowska-Wojciechowska 2003; Nowak 2009].

DHA u zwierząt stymuluje wzrost komórek nerwowych i ich rozgałęzienie [Nowak 2009; Pawełczyk 2009]. DHA jest ważny dla prawidłowego widzenia nocnego i barwnego. Za takie widzenie odpowiadają czopki i pręciki siatkówki oka, a DHA stanowi podstawowy czynnik budujący ich błony komórkowe. DHA bierze udział w powstawaniu związków o potencjale ochronnym i przeciwzapalnym, tj. neuroprotektyny D1, która powstaje w fotoreceptorach i w komórkach barwnych siatkówki oka [Nowak 2009].

DHA jest niezwykle ważny dla rozwoju układu nerwowego dzieci, m.in. dlatego zaleca się odpowiednią dietę dla kobiet ciężarnych i karmienie dziecka mlekiem matki. Działania takie zapobiegają przedwczesnym porodom i niskiej wadze noworodka. Zmniejsza się także ryzyko występowania u dzieci reakcji alergicznych oraz różnego rodzaju zapaleń skórnych. Wraz z wiekiem spada aktywność enzymu – Δ^4 desaturazy, a w związku z tym następuje spowolnienie syntezy DHA, co prowadzi do zaburzeń funkcji ośrodkowego układu nerwowego. Dlatego należy wzbogacać dietę w kwas DHA także w wieku podeszłym [Łoś-Rychalska, Czerwionka-Szaflarska 2010; Achremowicz, Szary-Sworst 2005; Kozłowska-Wojciechowska 2003; Karłowicz-Bodalska, Bodalski 2007; Pac-Kożuchowska 2009].

2.3.3. Rola kwasu γ -linolenowego w organizmie

Kwas γ -linolenowy (GLA) należy do grupy kwasów n-6. Powstaje w organizmie w wyniku wielu przekształceń LA [Stachowska i in. 2001]. GLA ulega dalszym przemianom do kwasu dihomo- γ -linolenowego (DGLA). Szybszy przebieg reakcji powstawania kwasu DGLA z GLA niż powstawanie GLA z LA powoduje zbyt dużą ilość kwasu DGLA w stosunku do GLA. Jest to zjawisko niekorzystne i wymaga uzupełnienia braków kwasu GLA wraz z pożywieniem. Dzięki temu można nieco

zahamować syntezę kwasu AA z DGLA poprzez redukcję aktywności Δ^5 desaturazy. Jest to istotne, ponieważ nadmiar AA może prowadzić do zbyt dużej ilości eikozanoidów dienowych, które w nadmiarze wykazują negatywny wpływ na zdrowie człowieka [Marciniak-Łukasiak 2011].

GLA powinien być stosowany leczniczo w przypadku, kiedy enzym, jakim jest Δ^6 desaturaza, przestaje konwertować kwas GLA do DGLA. Istnieje wiele czynników (m.in. choroby wirusowe i bakteryjne, nałogi, starzenie się organizmu), które mogą prowadzić do dezaktywacji tego enzymu [Achremowicz, Szary-Sworst 2005; Kozłowska-Wojciechowska 2003].

Niedostateczna ilość kwasów n-6 powoduje zapalenia skóry. Stosowanie kwasów n-6, a zwłaszcza LA oraz kwasu γ -linolenowego (GLA) zarówno doustnie, jak i w kremach, zapobiega atopowemu zapaleniu skóry i występowaniu świądu. Kwas GLA poprawia cechy biomechaniczne skóry, wilgotność i jej gładkość oraz ogranicza utratę wody [Materac i in. 2013; Mrozińska 2008].

2.3.4. Zalecane spożycie kwasów n-3 i n-6

Kwasy tłuszczowe występujące naturalnie mają zwykle konfigurację *cis*, natomiast izomery *trans* stanowią zaledwie 3-5% [Stachowska i in. 2001] i są obecne m.in. w tłuszczu mleka krowiego, mięsie wołowym oraz łoju [Gawęcki 2010; Sikorski 2009]. Zwiększone spożywanie kwasów tłuszczowych w formie *trans* ma niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka, m.in. zwiększa ryzyko zachorowania na raka piersi oraz choroby miażdżycowe związane ze wzrostem stężenia tzw. złego cholesterolu (lipoprotein niskiej gęstości LDL). Kwasy *trans*, wbudowane w błony komórkowe, powodują niekorzystne zmiany przepuszczalności i aktywności enzymów i receptorów [Cichosz, Czeczot 2012; Kozłowska-Wojciechowska 2003; Shui-Lin i in. 2005]. Kwasy te powstają także w niewielkiej ilości w procesach częściowego uwodorniania nienasyconych tłuszczów (utwardzanie), działania wysokiej temperatury, jak również w trakcie utleniania podczas przechowywania tłuszczów. W związku z tym w wielu krajach wprowadzono obowiązek podawania zawartości kwasów *trans* w żywności [Kozłowska-Wojciechowska 2003].

Wielonienasycone kwasy występujące w konfiguracji *cis* są bardziej podatne na utlenianie niż kwasy monoenowe (jednonienasycone), które nie utleniają się tak łatwo. Prędkość utleniania zależy od liczby wiązań podwójnych oraz od ich wzajemnego położenia (układy sprzężone lub izolowane) lub konfiguracji (formy *cis* i *trans*). Badania wykazały, że tłuszcze o większej liczbie izomerów *trans* są bardziej odporne na utlenianie [Kozłowska-Wojciechowska 2003].

Według Normy żywienia dla populacji Polski [Jarosz 2017] stosunek spożycia kwasów n-6 do n-3 powinien wynosić 5:1 do 3:1 (ok. 5:1 do 4:1 [Kolanowski i in. 2007; Simopoulos 2008]), spożywanie zaś tylko kwasów n-3 (EPA + DHA) powinno wynosić od 0,25 g/dobę według Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności [EFSA 2010] do 0,5 g/dobę, co oznacza zgrubnie równowartość spożycia dwóch porcji ryb w tygodniu, w sumie minimum 200-300 g [Kolanowski i in. 2007;

Łoś-Rychalska, Czerwionka-Szaflarska 2010; Barylski i in. 2009; Kowalski i in. 2008; Kozłowska-Wojciechowska 2003; Jensen i in. 2000; Jarosz 2017; Kris-Etherton i in. 2003a; Kris-Etherton i in. 2003b].

Przeprowadzane badania wykazały, że w Europie spożywa się od 0,1 do 0,5 g kwasów n-3/dobę, natomiast w USA tylko 0,1-0,2 g/dobę. W Japonii, gdzie ryby stanowią jedno z głównych źródeł pożywienia, spożycie kwasów n-3 wynosi nawet do 2 g/dobę. W badaniach przeprowadzonych wśród mieszkańców Warszawy stosunek spożywanych kwasów n-6 do n-3 wynosi 7:1, proporcje te w diecie przeciętne-go Europejczyka zaś wynoszą średnio 20:1 [Kolanowski i in. 2007; Łoś-Rychalska, Czerwionka-Szaflarska 2010; Barylski i in. 2009; Kowalski i in. 2008]. Wykazano także, że nadmierna zawartość kwasów tłuszczowych z grupy n-6 w stosunku do n-3 może prowadzić do otyłości [Simopoulos 2016].

Wytyczne żywieniowe dla mieszkańców Europy zalecają ograniczenie spożycia tłuszczów ogółem do poziomu poniżej 30%, natomiast nasyconych kwasów tłuszczowych poniżej 10% i izomerów *trans* nienasyconych kwasów tłuszczowych poniżej 2% spożywanej energii. W tym zestawieniu WNKT powinny stanowić: grupy n-6 od 2 do 8% energii, zaś grupy n-3 odpowiednio 2 g/dobę ALA i 200 mg/dobę EPA i DHA [Connor 1999; Achremowicz, Szary-Sworst 2005].

W 2004 r. zaproponowano tzw. Indeks Omega-3 (Wskaźnik Omega-3), który jest obecnie stosowany do pomiaru poziomu kwasów n-3 (ω -3) we krwi. Indeks ten oparty jest na pomiarze stosunku sumy zawartości EPA i DHA w błonach komórkowych erytrocytów do sumarycznej zawartości wszystkich kwasów tłuszczowych w tych błonach. Jako bardzo niski poziom tego wskaźnika przyjęto 4%, optimum przypada na 8-12%. Indeks ten stosowany jest jako wiarygodny wskaźnik ryzyka chorób serca [Harris, Von Schacky 2004].

Badania, które przeprowadzała Dybkowska, polegały na ocenie spożycia wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z rodziny n-3 i n-6 w przeciętnej racji pokarmowej [Dybkowska i in. 2004]. Wykazały one, że poziom spożycia kwasów z grupy n-6 stanowi 5,2% wartości energetycznej diety, a kwasów z grupy n-3 zaledwie 0,95% energii. Ilość ALA wynosiła 0,9%, oznacza to, że była bliska ilości zalecanego spożycia tego kwasu, która jest równa 1%. LA stanowił 5% energii i jest to znacznie więcej, niż się zaleca (3%). Spożycie kwasów długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z rodziny n-3, takich jak DHA i EPA, było bardzo niskie i wynosiło zaledwie 0,04%, zalecana ilość zaś wynosi ok. 0,3%. Wnioski, jakie można wyciągnąć z tego badania, są takie, że należy zwiększyć spożycie długołańcuchowych form wielonienasyconych kwasów z rodziny n-3 w polskiej diecie. Dlatego też zaleca się zwiększenie spożycia ryb oraz przetworów rybnych [Dybkowska i in. 2004].

Aby zachować właściwą równowagę fizjologiczną organizmu, należy zachować odpowiednie proporcje w dostarczaniu kwasów obu grup [Gertig 1995].

2.3.5. Wpływ WNKT na organizm człowieka

Polienowe kwasy tłuszczowe mają działanie wielokierunkowe. Wykazują pozytywny wpływ na skórę, działają przeciwzapalnie i przeciwwirusowo, a także przeciwnowotworowo. Ponadto korzystnie wpływają na jakość widzenia, są też skuteczne w leczeniu depresji. Kwasy n-3 pomagają leczyć arytmie serca, a jednocześnie, dzięki ich spożyciu dochodzącym do 5,5 g/dobę ryzyko nagłego zgonu sercowego spada nawet o 50% [Jump i in. 2012]

W miejscach, w których ryby stanowią główne źródło pokarmu, odnotowuje się znacznie zmniejszoną liczbę zachorowań na depresję. Przeprowadzono badania na osobach z depresją lekooporną, podając im duże ilości kwasów n-3, co w połączeniu z lekami antydepresyjnymi spowodowało znaczną poprawę stanu zdrowia pacjentów. Osoby cierpiące na to schorzenie powinny spożywać ok. 2 g/dobę kwasów z rodziny n-3 [Krawczyk, Robakowski 2012]. Natomiast u pacjentów cierpiących na chorobę niedokrwienną serca zaleca się spożywanie kwasów EPA i DHA na poziomie 1 g na dobę [Kris-Etherton i in. 2003b].

DHA przyczynia się do apoptozy komórek nowotworowych jelita grubego. Pozwala on także hamować rozrost komórek rakowych w okolicy gruczołu sutkowego. Oprócz DHA (n-3), pozytywny wpływ w leczeniu nowotworów ma także GLA (n-6). Prekursorem powstawania GLA jest LA [Sommer i in. 2002; Zabłocka, Biernat 2010].

Zwyrodnienie plamki żółtej to przewlekła choroba oczu, w wyniku której dochodzi do uszkodzenia siatkówki oka, a zwłaszcza jej głównej części, czyli plamki żółtej. Dotyka ona najczęściej osoby po 50. roku życia. Polienowe kwasy tłuszczowe z rodziny n-3 stanowią główny budulec neuronów siatkówki oka. Spożycie ryb bogatych w kwasy n-3 wśród pewnej grupy ludzi zmniejszało częstość występowania tej choroby. Ważne jest zwiększenie podaży kwasów n-3 i jednocześnie obniżenie spożycia kwasów z rodziny n-6 [Kowalski i in. 2008].

Demencja to choroba charakteryzująca się obniżeniem sprawności umysłowej, a coraz mniejsze spożywanie WNKT może do niej prowadzić. DHA wykazuje działanie spowalniające rozwój choroby Alzheimera poprzez obniżanie syntezy β -amyloidu [Jańczyk, Socha 2009].

2.4. Niekorzystne zmiany – jęlczenie

Tłuszcze, a zarazem wchodzące w ich skład kwasy tłuszczowe, mają tendencję do psucia się – jęlczenia, które jest wynikiem procesów utleniania i hydrolizy. Zachodzą one pod wpływem takich czynników, jak: światło, powietrze, woda i temperatura, oraz obecności np. enzymów i drobnoustrojów. Światło może powodować rozpad niektórych wiązań chemicznych i ułatwiać tworzenie wolnych rodników. Tłuszcze są zdolne do pochłaniania tlenu z powietrza, który łącząc się z kwasami tłuszczowymi, powoduje powstawanie nadtlenków, a następnie m.in. wolnych kwasów i aldehydów. Produkty te są odpowiedzialne za nieprzyjemny zapach i smak

tłuszczów, i mogą katalizować dalszy proces samoutleniania [Ziemiański, Budzyńska-Topolowska 1991; Sicińska i in. 2015] Wszystkie kwasy tłuszczowe ulegają charakterystycznym dla siebie reakcjom uwodnienia (hydratacji), redukcji i utlenienia [Achremowicz, Szary-Sworst 2005].

Kwasy tłuszczowe zawierają od 2 do 6 wiązań podwójnych w cząsteczce, oddzielonych od siebie grupą $-CH_2-$ i składają się razem na tzw. układ izolowany (nie-sprzężony). Jest to niezwykle istotne w reakcjach utleniania kwasów tłuszczowych, ponieważ szczególną reaktywność w stosunku do tlenu wykazuje grupa metylenowa sąsiadująca z atomem węgla związanym wiązaniem podwójnym [Śmiechowska, Przybyłowski 2004].

Ze względu na to, że tłuszcze zawarte w rybach są podatne na utlenianie (oksydację), nie należy poddawać ich dłuższej obróbce termicznej. Z tego powodu też ryby nie powinny być długo przechowywane. Z biegiem czasu, pod wpływem różnych czynników, tłuszcze tracą swoje cenne właściwości, a powstałe produkty ich degradacji negatywnie wpływają na parametry organoleptyczne i zdrowotne.

3. Podsumowanie

Zarówno ilość i jakość spożywanych tłuszczów, jak i zawartość poszczególnych kwasów tłuszczowych w żywności mogą mieć istotny wpływ na rozwój chorób cywilizacyjnych, jak nowotwory, choroba wieńcowa czy otyłość. Wielonienasycone kwasy tłuszczowe są niezwykle ważne dla organizmu człowieka, ponieważ nie ma on wystarczającej możliwości ich syntezy. Muszą być dostarczane wraz z pokarmem lub przez dodatkową suplementację.

Dobrym źródłem kwasów z rodziny n-3 są ryby, szczególnie morskie. Według zaleceń, spożycie kwasów eikozapentaenowego i dokozaheksaenowego dla dorosłego człowieka w Polsce powinno wynosić minimum 250 mg/dobę, co średnio przekłada się na spożycie 200-300 g ryb w tygodniu.

Regularne dostarczanie polienowych kwasów tłuszczowych do organizmu może zapobiec powstawaniu wielu chorób, a także pomagać w ich leczeniu. DHA i EPA wykazują pozytywny wpływ w leczeniu oraz profilaktyce chorób układu sercowo-naczyniowego oraz regulują ciśnienie krwi. Ponadto są pomocne w leczeniu chorób psychicznych i nowotworów. Nienasycone kwasy tłuszczowe wchodzi w skład neuronów siatkówki oka i są odpowiedzialne za prawidłowe widzenie. Kwasy z rodziny n-6 są pomocne w leczeniu chorób zapalnych skóry, poprawiają jej wygląd, gładkość i hamują utratę wody.

Oleje roślinne są cennym źródłem nienasyconych kwasów tłuszczowych, z tym że ryby zawierają głównie kwasy n-3, oleje roślinne zaś n-6. Według Normy żywienia dla populacji Polski zalecany stosunek kwasów n-6 do n-3 powinien wynosić ok. 5:1. Obecnie w Polsce jest on niekorzystny, ponieważ spożywa się nadmierne ilości tłuszczów roślinnych, zawierających znaczne ilości kwasów tłuszczowych z rodzi-

ny n-6 w stosunku do rybich bogatszych w kwasy n-3. Jest to niekorzystne zjawisko, które może prowadzić do otyłości.

Podczas badania krwi można określić tzw. Indeks Omega-3, który jest dobrym wyznacznikiem poziomu kwasów n-3 (ω -3). Jego wartość jest stosunkiem sumy kwasów EPA i DHA w błonach komórkowych erytrocytów do sumarycznej zawartości wszystkich kwasów tłuszczowych w tych błonach. Wartość poniżej 4% jest wskaźnikiem poważnego ryzyka chorób serca.

Oprócz cennych kwasów tłuszczowych, ryby dostarczają wartościowego białka, soli mineralnych i witamin, m.in. A, D i E. Na stosunkowo niewielkie spożycie ryb w Polsce mają wpływ zarówno tradycje żywieniowe, jak i wysoka ich cena. Ze względu na możliwość występowania w rybach zanieczyszczeń, tj. dioksyn i metylortęci, należy wybierać odpowiednie gatunki, poławiane z czystych akwenów lub hodowane w odpowiednich warunkach. Poza tym warto unikać gatunków ryb, którym grozi przełowienie, oraz długo żyjących, które przez długi czas kumulują zwiększone ilości zanieczyszczeń. Należy zwrócić uwagę także na jakość przetworów rybnych, metody ich konserwacji i przechowywania.

Literatura

- Achremowicz K., Szary-Sworst K., 2005, *Wielonienasycone kwasy tłuszczowe czynnikiem poprawy stanu zdrowia człowieka*, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 3(44), s. 23–30.
- Ban-Oganowska H., Ciurla, H., Lorenc J., Talik T., Talik Z., Wandas M., Węgliński Z., 2006, *Ćwiczenia laboratoryjne z biochemii i chemii żywności*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Bartnikowska E., 2008, *Fizjologiczne działanie polienowych kwasów tłuszczowych z rodziny n-3*, Tłuszcze Jadalne, s. 10–15.
- Barylski M., Banach M., Kowalski J., 2009, *Wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3 w profilaktyce choroby niedokrwiennej serca, czyli dlaczego Eskimosi rzadko mają zawał*, Kardioprofil, s. 295–308.
- Cichosz G., Czeczot H., 2012, *Kwasy tłuszczowe izomerii trans w diecie człowieka*, Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, XLV, 2, s. 181–190.
- Connor W.E., 1999, *Alfa-linolenic acid in health and disease*, American Journal of Clinical Nutrition, 69, s. 827–828.
- Dybowska E., Waszkiewicz-Robak B., Świdorski F., 2004, *Ocena wielkości spożycia wielonienasyconych kwasów tłuszczowych n-3 i n-6 w przeciętnej polskiej racji pokarmowej*, Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, Olsztyn, s. 409–414.
- EFSA, 2010, *Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol*, EFSA J., 8(3) 1461, s. 1–107.
- Gawęcki J., 2010, *Żywność człowieka. Podstawy nauki o żywieniu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Gertig H., Przysławski J., 1994, *Rola tłuszczów w żywieniu człowieka*, Żywność, Człowiek, Metabolizm, Warszawa, s. 375–382.

- Gertig H., Przysławski J., 1995, *Twuszcze pokarmowe a biosynteza eikozanoidów*, Żywność, Człowiek, Metabolizm, Warszawa, s. 272–279.
- Hackey D.L., 1994, *Benefits and risk of modifying maternal fat intake in pregnancy and lactation*, American Journal of Clinical Nutrition, Rockville, s. 454–455.
- Harris W.S., Von Schacky C., 2004, *The Omega-3 Index: A new risk factor for death from coronary heart disease?*, Preventive Medicine 39, 1, s. 212–220.
- Hornstra C., 1994, *Essential fatty acids pregnancy and pregnancy complications*, Nutrition Today, New York. <https://cojesc.net/ryby> (05.05.2018).
- <https://cojesc.net/ryby> (05.05.2018)
- Jańczyk W., Socha P., 2009, *Kliniczne efekty suplementacji wielonienasyconymi kwasami tłuszczowymi ω-3*, Standardy Medyczne/Pediatrics 6, s. 10–17.
- Jarosz M. (red.), 2017, *Normy żywienia dla populacji Polski*, Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa.
- Jensen R., McGuire M.A., McGuire M.K., 2000, *Trans fatty acids in human milk*, European Journal of Lipid, Science and Technology, Weinheim, s. 640–646.
- Jump D.B., Depner C.H.M., Tripathy S., 2012, *Omega-3 fatty acid supplementation and cardiovascular disease*, Journal of Lipid Research, s. 2525–2545.
- Karłowicz-Bodalska K., Bodalski T., 2007, *Nienasycone kwasy tłuszczowe, ich właściwości biologiczne i znaczenie w lecznictwie*, Postępy Fitoterapii, s. 46–56.
- Kolanowski W., 2007, *Długolańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3 – znaczenie zdrowotne w obniżaniu ryzyka chorób cywilizacyjnych*, Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, Warszawa, s. 229–237.
- Kolanowski W., Uchman Z., Świdorski F., 2004, *Oszacowanie poziomu długolańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w diecie dorosłych mieszkańców Warszawy*, Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, Warszawa, s. 137–144.
- Kołodziejczyk M., 2007, *Spożycie ryb i przetworów rybnych w Polsce – analiza korzyści i zagrożeń*, Roczniki PZH, 58(1), s. 287–293.
- Kowalski M., Borucka A., Szaflik J., 2008, *Kwasy omega-3 w profilaktyce zwyrodnienia plamki związane z wiekiem*, Forum Medycyny Rodzinnej, s. 309–313.
- Kozłowska-Wojciechowska M., 2003, *Twuszcze pokarmowe w profilaktyce miażdżycy*, Medycyna Podyplomowa, s. 88–100.
- Krawczyk K., Robakowski J., 2012, *Potencjalizacja leków przeciwdepresyjnych kwasami tłuszczowymi ω-3 w depresji lekoopornej*, Psychiatria Polska, Kraków, s. 585–590.
- Kremer J.M., 2000, *N-3 Fatty acid supplements in rheumatoid arthritis*, American Journal of Clinical Nutrition, Rockville, s. 349–351.
- Kris-Etherton P.M., William S.H., Lawrence J.A., 2003a, *Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease*, Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology, 23, s. e20–e31.
- Kris-Etherton P.M., Harris W.S., Lawrence J.A., 2003b, *Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease. New recommendations from the American Heart Association*, Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology, 23, s. 151–152.
- Łoś-Rychalska E., Czerwionka-Szaflarska M., 2010, *Długolańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe szeregu omega-3 w diecie kobiet ciężarnych, karmiących, niemowląt i małych dzieci*, Gastroenterologia Polska, Wrocław, s. 304–312.
- Marciniak-Lukasiak K., 2011, *Rola i znaczenie kwasów tłuszczowych omega-3*, Żywność, Nauka, Technologia, Jakość, Kraków, s. 24–35.
- Materac E., Marczyński Z., Bodek K.H., 2013, *Rola kwasów tłuszczowych omega-3 i omega-6 w organizmie człowieka*, Bromatologia i Chemia Toksykologiczna, XLVI (2), s. 225–233.
- Mrozińska M., 2008, *Rola kwasu gamma-linolenowego w utrzymaniu prawidłowej struktury i funkcji skóry*, Czasopismo Aptekarskie, Warszawa, s. 50–52.
- Nettleton J.A., 1995, *ω-3 fatty acids and health*, Chapman&Hall, New York.

- Nowak Z.J., 2009, *Wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3 w siatkówce i praktyce medycznej – blaski i cienie*, Magazyn Lekarza Okulisty, s. 208–220.
- Obiedzińska A., Waszkiewicz-Robak B., 2012, *Oleje tłoczone na zimno jako żywność funkcjonalna*, Żywność, Nauka, Technologia, Jakość, Kraków, s. 27–44.
- Pac-Kożuchowska E., 2009, *Rola kwasów tłuszczowych omega-3 w żywieniu dzieci*, Czynniki Ryzyka, s. 35–40.
- Pawelczyk T., 2009, *Rola WNKT w ośrodkowym układzie nerwowym*, VI Ogólnopolska Konferencja Leczymy duszę i ciało nt. „Rola wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w etiopatogenezie i leczeniu zaburzeń psychicznych”, 18 września 2009, Łódź.
- Payet M., Esmail M.H., Polichetti E., Le Brun G., Adjemout L., Donnarel G., Portugal H., Pieroni G., 2004, *Docosahexaenoic acid-enriched egg consumption induces accretion of arachidonic acid in erythrocytes of elderly patients*, British Journal of Nutrition, Southampton, s. 789–796.
- Shui-Lin N., Drake C.M., Burton J.L., 2005, *Trans Fatty Acid Derived Phospholipids Show Increased Membrane Cholesterol and Reduced Receptor Activation as Compared to Their Cis Analogs*, Biochemistry, 44(11), s. 4458–4465.
- Sicińska P., Pytel E., Kurowska J., Koter-Michalak M., 2015, *Suplementacja kwasami omega w różnych chorobach*, Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 69, s. 838–852.
- Sikorski Z.E. (red.), 2009, *Chemia żywności*, WNT, Warszawa.
- Simopoulos A.P., 2016, *An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity*, Nutrients 8, 3, 128, s. 1–17.
- Sommer E., Sommer S., Skopińska-Rożewska E., 2002, *Nienasycone kwasy tłuszczowe a nowotworzenie*, Współczesna Onkologia, Poznań, s. 60–63.
- Stachowska E., Chlubek D., Ciechanowski K., 2001, *Izomery trans n kwasów tłuszczowych, działania metaboliczne i efekty kliniczne*, Polski Merkuriusz Lekarski, s. 173–176.
- Stołyhwo-Szpajer M., Piękosz K., Bellwon J., 2001, *Wielonienasycone kwasy tłuszczowe i ich wpływ na czynniki ryzyka miażdżycy ze szczególnym uwzględnieniem ciśnienia tętniczego*, Nadciśnienie Tętnicze, s. 211–219.
- Stryer L., 1999, *Biochemia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Śmiechowska M., Przybyłowski P., 2004, *Chemia żywności z elementami biochemii*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia.
- Wcisło T., Rogowski W., 2006, *Rola wielonienasyconych kwasów tłuszczowych omega-3 w organizmie człowieka*, Cardiovascular Forum, 11, 3, s. 39–43.
- Zabłocka K., Biernat J., 2010, *Wpływ wybranych składników pożywienia na ryzyko rozwoju raka płuc – nienasycone kwasy tłuszczowe, izotiocyjaniany, selen*, Współczesna Onkologia, Poznań, s. 54–58.
- Ziemiański Ś., Budzyńska-Topolowska J., 1991, *Thuszcze pożywienia i lipidy ustrojowe*, PWN, Warszawa.
- Żak I., Szoltysek-Boldys I., 2001, *Chemia medyczna*, Śląska Akademia Medyczna, Katowice, s. 177–190.