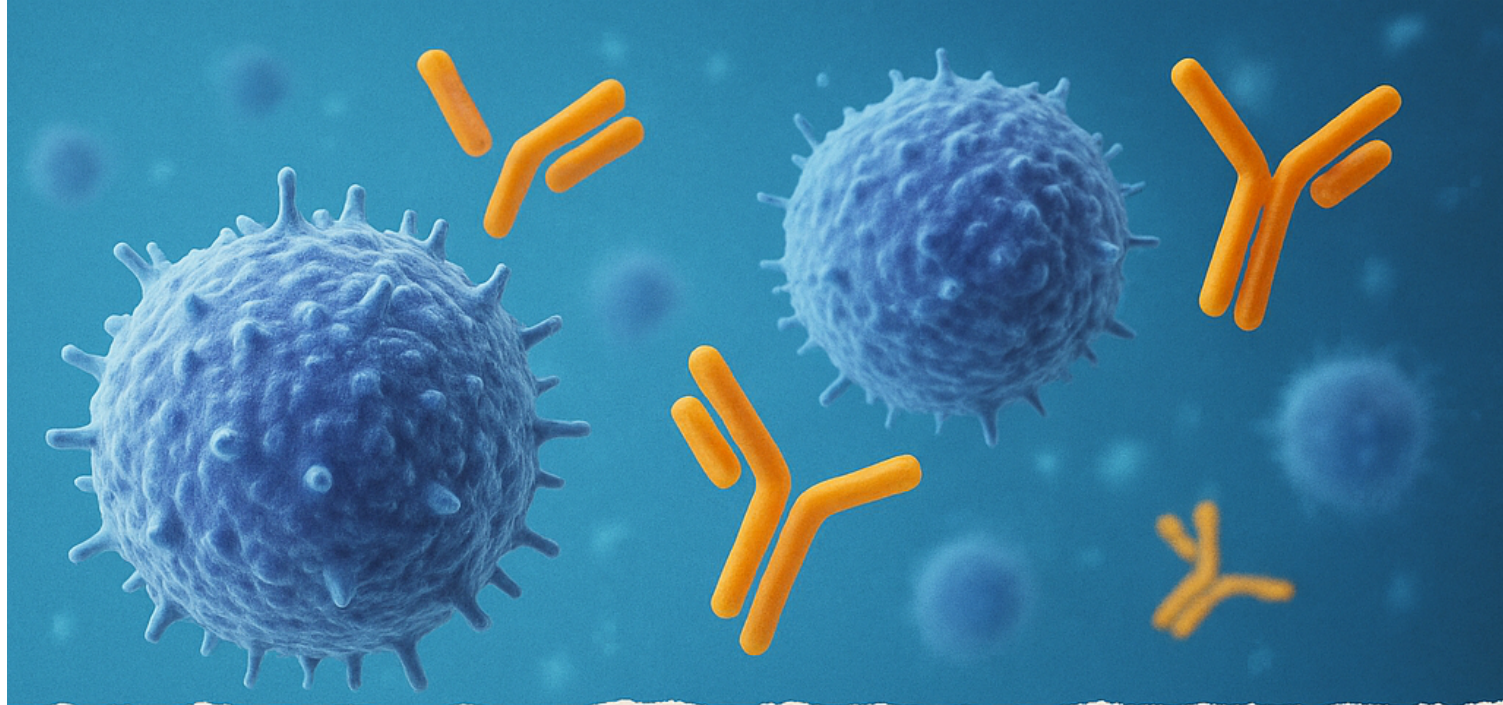




# Kształtowanie odpowiedzi immunologicznej poprzez Niezbędne Nienasycone Kwasy Tłuszczowe (NNKT)

dr n.med. Sławomir Puczkowski



# 1. Niezbędne Nienasycone Kwasy Tłuszczowe jako fundament fizjologii immunologicznej

## 1.1. Definicja, klasyfikacja i fundamentalne znaczenie NNKT

Nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) stanowią heterogeniczną grupę lipidów, których cechą strukturalną jest obecność co najmniej jednego podwójnego wiązania pomiędzy atomami węgla w łańcuchu węglowodorowym.<sup>1</sup> Ta fundamentalna różnica w budowie odróżnia je od nasyconych kwasów tłuszczowych, które zawierają wyłącznie wiązania pojedyncze.<sup>1</sup> W zależności od liczby wiązań podwójnych, NNKT dzieli się na kwasy jednonienasycone (MUFA) z jednym podwójnym wiązaniem oraz wielonienasycone (PUFA) z dwoma lub więcej wiązaniami.<sup>2</sup> Lokalizacja pierwszego wiązania podwójnego, licząc od końca metylowego łańcucha, determinuje przynależność do jednej z głównych rodzin kwasów tłuszczowych: omega-3, omega-6, omega-7 lub omega-9.<sup>2</sup>

Kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego są wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodzin omega-3 i omega-6, które ze względu na brak zdolności do ich syntezy przez organizm, określane są mianem „niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych” (NNKT).<sup>1</sup> Muszą one być regularnie dostarczane z pożywieniem. Pełnią one wielorakie funkcje, będąc nie tylko źródłem energii, ale przede wszystkim kluczowymi składnikami strukturalnymi i regulatorowymi.<sup>4</sup> Związki te stanowią integralny komponent fosfolipidów budujących błony komórkowe każdej komórki, w tym również tych odpowiedzialnych za odpowiedź immunologiczną.<sup>4</sup> Wysokie stężenie kwasu dokozaheksaenowego (DHA) jest szczególnie widoczne w siatkówce oka, tkance nerwowej i plemnikach, gdzie w komórkach nerwowych może stanowić nawet 60% wszystkich kwasów tłuszczowych w fosfolipidach błon.<sup>4</sup> Wbudowywanie NNKT w błony komórkowe zwiększa ich płynność, co przekłada się na efektywniejsze przenikanie składników odżywczych oraz sprawniejszą komunikację międzykomórkową i przekaznictwo sygnałów.<sup>4</sup>

### Tabela 1: Klasyfikacja i Główne Źródła Niezbędnych Nienasyconych Kwasów Tłuszczowych (NNKT)

| Rodzina Kwasów Tłuszczowych | Główne Kwasy Tłuszczowe                                   | Główne Źródła Pokarmowe                                                                 |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Omega-3 (n-3)               | Kwas alfa-linolenowy (ALA)<br>Kwas eikozapentaenowy (EPA) | Siemię lniane, nasiona chia, nasiona konopi, orzechy włoskie, olej lniany, tłusto rybie |
| Omega-6 (n-6)               | Kwas linolowy (LA)<br>Kwas arachidonowy (AA)              | Olej słonecznikowy, olej kukurydziany, olej sojowy, mięso, jaja                         |
| Jednonienasycone (MUFA)     | Kwas oleinowy (OA)                                        | Olej rzepakowy, oliwa z oliwek <sup>2</sup>                                             |

## 1.2. Ewolucyjne podstawy i ewolucja diety "homo sapiens".

Zrozumienie współczesnego znaczenia NNKT wymaga spojrzenia na ewolucyjną historię diety człowieka. Teoria ewolucji autorstwa Crawforda sugeruje, że dostęp do odpowiednich składników odżywczych, a w szczególności kwasów omega-3 i omega-6, był jedną z głównych sił napędowych, które ukształtowały mózg ludzki.<sup>9</sup> Dieta przodków z okresu Paleolitu, sprzed około 40 000 lat, charakteryzowała się zrównoważoną podażą tych kwasów, często w korzystnym stosunku omega-6 do omega-3, wynoszącym około 1:1, a maksymalnie 3:1 do 4:1.<sup>9</sup> Ten genetyczny profil i metabolizm, wykształcony w wyniku milionów lat ewolucji, pozostał niemal identyczny do dnia dzisiejszego.<sup>10</sup>

Współczesne nawyki żywieniowe w krajach rozwiniętych stanowią jednak poważne "niedopasowanie ewolucyjne". Zdominowane przez przetworzoną żywność i oleje roślinne bogate w kwasy omega-6, a jednocześnie ubogie w kwasy omega-3 pochodzące z ryb czy roślin, doprowadziły do drastycznego zaburzenia historycznej równowagi. Obecny stosunek omega-6 do omega-3 może wynosić od 10:1 do 20:1, co jest znacznym odchyleniem od optymalnej relacji.<sup>9</sup> Taka chroniczna nierównowaga jest traktowana jako systemowa przyczyna, która zmusza układ immunologiczny do działania w nieoptymalnych warunkach. Prowadzi to do subklinicznej dysregulacji biochemicznej i jest

jednym z głównych czynników zwiększających skłonność do stanów zapalnych i wielu chorób cywilizacyjnych, w tym zaburzeń o podłożu autoimmunologicznym.<sup>11</sup>

## **2. Mechanizmy Modulacji Odpowiedzi Immunologicznej przez NNKT: Podstawy Molekularne i Komórkowe**

### **2.1. Dynamiczna rola NNKT w kaskadzie eikozanoidowej**

#### **Od Zapalenia do Rozwiązania**

Jednym z kluczowych mechanizmów, za pomocą którego NNKT modulują odpowiedź immunologiczną, jest ich rola jako prekursorów eikozanoidów — lokalnych mediatorów procesów zapalnych.<sup>4</sup> Głównym mechanizmem regulacyjnym jest konkurencja enzymatyczna. Kwasy omega-3 (kwas eikozapentaenowy, EPA) i omega-6 (kwas arachidonowy, AA) współzawodniczą o te same enzymy, takie jak cyklooksygenazy (COX) i lipooksygenazy (LOX), w szlaku syntezy eikozanoidów.<sup>9</sup>

W warunkach przewagi kwasu arachidonowego, organizm syntetyzuje silnie prozapalne mediatory, w tym prostaglandyny z serii 2 i leukotrieny z serii 4, które eskalują i podtrzymują odpowiedź zapalną.<sup>9</sup> Wzrost podaży kwasów omega-3 (EPA i DHA) zmniejsza dostępność AA dla tych enzymów, prowadząc do hamowania kaskady przemian prozapalnych.<sup>9</sup> Z kolei z EPA i DHA powstają mniej aktywne, a nawet przeciwzapalne eikozanoidy. Najnowsze badania wskazują, że ich rola jest znacznie bardziej złożona i aktywna, niż tylko hamowanie. Kwasy omega-3 dostarczają substratów dla wyspecjalizowanych mediatorów pro-rozwiązania (ang.

*Specialized Pro-resolving Mediators*, SPMs), takich jak resolwiny i protektyny.<sup>13</sup> Związki te nie tylko hamują zapalenie, ale aktywnie "rozpuszczają" je i przywracają homeostazę tkankową.<sup>13</sup> Zatem niedobór kwasów omega-3 skutkuje dwojakim problemem: nie tylko przewagą sygnałów prozapalnych, ale także upośledzeniem naturalnej zdolności organizmu do aktywnego wygaszania stanu zapalnego, co prowadzi do jego przewlekłości.<sup>13</sup>

**Tabela 2: Kaskada eikozanoidowa: porównanie działania metabolitów z Omega-6 i Omega-3**

| Prekursor                            | Enzymy                                        | Główne Metabolity                                                          | Aktywność Biologiczna                                              |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Kwas arachidonowy (AA), omega-6      | Cyklooksygenaza (COX)<br>Lipooksygenaza (LOX) | Prostaglandyny z serii 2<br>Leukotrieny z serii 4<br>Tromboksany z serii 2 | Silnie prozapalna, prozakrzepowa, nasilająca odpowiedź alergiczną  |
| Kwas eikozapentaenowy (EPA), omega-3 | Cyklooksygenaza (COX)<br>Lipooksygenaza (LOX) | Prostaglandyny z serii 3<br>Leukotrieny z serii 5<br>Resolwiny, Protektyny | Przeciwzapalna, pro-rozwiązania, pro-wygaszenia, przeciwzakrzepowa |

## 2.2. Interakcja z komórkami i szlakami sygnałowymi

Kwasy tłuszczowe NNKT wpływają na układ odpornościowy również poprzez bardziej złożone mechanizmy, wykraczające poza samą syntezę eikozanoidów. Po wbudowaniu w błonę komórkową komórek odpornościowych, zmieniają ich fizyczne właściwości, a zwiększona płynność błon usprawnia kluczowe procesy, takie jak transport sygnałów i interakcje międzykomórkowe, co jest fundamentalne dla prawidłowej odpowiedzi immunologicznej.<sup>5</sup>

NNKT wykazują również zdolność do bezpośredniej modulacji ekspresji genów. Dzieje się to poprzez hamowanie kluczowych czynników transkrypcyjnych, takich jak NFκB (ang. *nuclear factor kappa B*).<sup>4</sup> Białko NFκB reguluje ekspresję licznych genów zaangażowanych w proces zapalny, w tym tych kodujących prozapalne cytokiny (takie jak IL-1 i TNF-α) oraz enzymy.<sup>4</sup> Zmniejszenie aktywności NFκB przez kwasy omega-3

skutkuje ograniczeniem nadmiernej produkcji tych mediatorów zapalnych, co jest jednym z podstawowych mechanizmów ich działania przeciwzapalnego.<sup>5</sup>

Na poziomie komórkowym, kwasy omega-3 wpływają na aktywność poszczególnych populacji komórek odpornościowych. Wykazano, że promują one polaryzację makrofagów w kierunku fenotypu M2, który jest związany z produkcją substancji rozpuszczających zapalenie.<sup>13</sup> Ponadto, badania na modelach zwierzęcych sugerują, że NNKT wzmagają niespecyficzną odpowiedź komórkową, zwiększając aktywność fagocytarną makrofagów oraz zdolność neutrofilów do zwalczania patogenów w procesach tlenowych.<sup>9</sup> Ich wpływ na limfocyty T, a w szczególności limfocyty T regulatorowe (Treg), które odpowiadają za tłumienie nadmiernej odpowiedzi immunologicznej i utrzymanie tolerancji, jest również przedmiotem intensywnych badań.<sup>16</sup>

### **3. Niedobór NNKT a tendencje do autoagresji- od chronicznego stanu zapalnego do choroby**

#### **3.1. Fizjologiczne konsekwencje niedoboru NNKT**

Niedostateczna podaż NNKT w diecie prowadzi do szeregu negatywnych konsekwencji zdrowotnych. Deficyt ten manifestuje się na wielu poziomach fizjologii, co jest w dużej mierze wynikiem opisanej wcześniej dysregulacji procesów zapalnych i upośledzenia funkcji komórkowych.<sup>11</sup> Do najczęstszych objawów klinicznych niedoboru należą:

- **Problemy neurologiczne i poznawcze:** Związane są z kluczową rolą DHA w budowie mózgu i neuronów. Niedobór może prowadzić do pogorszenia koncentracji, pamięci, a także zwiększać ryzyko zaburzeń nastroju i depresji.<sup>11</sup>
- **Zaburzenia układu sercowo-naczyniowego:** Kwasy omega-3, szczególnie EPA i DHA, biorą udział w redukcji stanów zapalnych oraz regulacji poziomu lipidów. Ich niedobór zwiększa ryzyko chorób serca, podwyższa poziom trójglicerydów i ciśnienia tętniczego.<sup>11</sup>
- **Problemy skórne i osłabienie odporności:** Niedostatek NNKT objawia się suchością i podrażnieniem skóry, łamliwością włosów i paznokci. Co istotne, upośledza funkcjonowanie układu immunologicznego, czyniąc organizm bardziej podatnym na infekcje i stany zapalne.<sup>11</sup>

### **3.2. Mechanizm powstawania autoagresji**

Niedobór NNKT nie prowadzi do prostego osłabienia odporności, lecz do jej patologicznej dysregulacji. Przewaga prozapalnych kwasów omega-6, wynikająca z ich wysokiego stosunku do omega-3, prowadzi do chronicznego, subklinicznego stanu zapalnego.<sup>11</sup> Ten stan sprzyja powstawaniu nieprawidłowej "kalibracji" odpowiedzi immunologicznej. Zamiast efektywnie zwalczać zewnętrzne patogeny, układ odpornościowy staje się nadmiernie reaktywny i traci zdolność do rozróżniania własnych komórek od obcych antygenów, co jest podstawą zjawiska autoagresji.<sup>15</sup>

Taki stan rzeczy wynika z upośledzenia mechanizmów immunologicznej tolerancji. Układ odpornościowy, począwszy od życia płodowego, musi "uczyć się" tolerancji własnych tkanek, a także tolerancji na komensalne bakterie jelitowe.<sup>16</sup> Kwasy omega-3 ograniczają nadmierną reakcję immunologiczną<sup>15</sup> i są kluczowe dla aktywnego wygaszania stanów zapalnych, co pomaga w utrzymaniu delikatnej homeostazy. Zaburzenie tej równowagi, spowodowane niedoborem NNKT, sprawia, że mechanizmy tolerancji zawodzą. Układ immunologiczny myli własne komórki z zagrożeniem, co prowadzi do ataków autoimmunologicznych.<sup>15</sup> Związek między pierwotnymi niedoborami odporności a autoimmunizacją<sup>19</sup> potwierdza, że dysfunkcja mechanizmów regulacyjnych leży u podłoża chorób z autoagresji.

### **3.3. Rola NNKT w patogenezie i terapii wybranych chorób autoimmunologicznych**

Liczne badania kliniczne potwierdzają, że suplementacja NNKT może stanowić cenne wsparcie w terapii chorób autoimmunologicznych, działając jako środek przeciwzapalny. Badania wykazały korzystny wpływ kwasów omega-3 na zmniejszenie stanu zapalnego w reumatoidalnym zapaleniu stawów (RZS), gdzie suplementacja może łagodzić ból, obrzęk i zwiększać ruchomość stawów.<sup>21</sup> W przypadku nieswoistego zapalenia jelit (NZJ), stwardnienia rozsianego (SM) czy choroby Hashimoto, kwasy omega-3 również mogą być pomocne w łagodzeniu objawów poprzez ograniczanie nadmiernej reakcji immunologicznej i przewlekłego stanu zapalnego.<sup>15</sup>

Znaczenie EPA i DHA w łagodzeniu bólu i stanu zapalnego w chorobach autoimmunologicznych jest tak wysokie, że w niektórych przypadkach skuteczność jest porównywalna, a nawet wyższa niż w przypadku standardowych leków przeciwzapalnych,

przy jednoczesnym braku poważnych skutków ubocznych.<sup>25</sup> Badania wskazują, że w terapii RZS skuteczne dawki NNKT mogą przekraczać 2,2 g/dobę, co znacznie przewyższa minimalne zalecenia dzienne.<sup>21</sup>

## **4. Rola NNKT w kształtowaniu odporności w krytycznych okresach życia**

### **4.1. Programowanie Immunologiczne, od życia płodowego do wczesnego dzieciństwa**

Kształtowanie prawidłowej, zrównoważonej odpowiedzi immunologicznej jest procesem długotrwałym, który rozpoczyna się już w życiu płodowym.<sup>16</sup> W tym krytycznym okresie, dieta matki, a w szczególności odpowiednia podaż kwasu dokozaheksaenowego (DHA) i eikozapentaenowego (EPA), ma fundamentalne znaczenie. DHA jest kluczowym składnikiem budulcowym mózgu i układu nerwowego, a jego największy przyrost obserwuje się w życiu płodowym i w pierwszych dwóch latach życia.<sup>6</sup> Jednakże, jego rola wykracza poza rozwój neurologiczny. Badania wskazują, że odpowiednie spożycie kwasów omega-3 przez ciężarną kobietę znacznie zmniejsza ryzyko wystąpienia u dziecka chorób alergicznych, takich jak astma, katar sienny czy neurodermit.<sup>27</sup>

Jest to potwierdzenie, że NNKT odgrywają rolę w "programowaniu" układu immunologicznego płodu i niemowlęcia, kierując go w stronę tolerancji, a nie nadmiernej reaktywności. Po urodzeniu, proces ten kontynuuje się poprzez karmienie piersią. Mleko matki zawiera nie tylko NNKT, ale także komórki odpornościowe (makrofagi, neutrofile, limfocyty) oraz immunoglobuliny, które aktywnie chronią i trenują niedojrzały układ immunologiczny dziecka.<sup>28</sup> Zatem deficyt NNKT na tym wczesnym etapie rozwoju może mieć trwałe i dalekosiężne konsekwencje, zwiększając podatność na infekcje oraz ryzyko chorób z autoagresji w późniejszym życiu.

### **4.2. Rola mikrobiomu jelitowego, oś Jelito-Odporność**

Jelita stanowią kluczowe centrum układu odpornościowego, mieszcząc aż 40% komórek immunologicznych organizmu.<sup>29</sup> Prawidłowe funkcjonowanie tego "organu" jest ściśle

powiązane ze składem i różnorodnością mikrobiomu jelitowego, czyli zestawem "dobrych bakterii" zamieszkujących przewód pokarmowy.<sup>29</sup>

Istnieje dwukierunkowa interakcja między kwasami omega-3 a mikrobiomem.<sup>5</sup> Z jednej strony, NNKT mogą regulować rodzaje i ilość bakterii jelitowych, z drugiej, skład flory jelitowej wpływa na metabolizm omega-3.<sup>5</sup> Odpowiednia podaż NNKT wspiera zdrowie i szczelność jelit, co jest kluczowe dla zrównoważonej reakcji odpornościowej.<sup>5</sup> Dobre bakterie jelitowe, w procesie fermentacji błonnika, produkują krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (SCFA), takie jak kwas masłowy, propionowy i octowy, które są kluczowymi mediatorami komunikacji między układem pokarmowym, odpornościowym i nerwowym.<sup>30</sup> Kwasy omega-3, poprzez wpływ na różnorodność mikrobioty, pośrednio wspierają tę oś komunikacyjną i pomagają w utrzymaniu równowagi immunologicznej, co ma wpływ nie tylko na odporność, ale również na funkcjonowanie psychiczne.<sup>30</sup>

## **5. Praktyczne zalecenia, dieta i suplementacja**

### **5.1. Zalecenia Żywieniowe i Stosunek NNKT**

Podstawowym sposobem na zapewnienie odpowiedniej podaży NNKT jest zróżnicowana i zbilansowana dieta.<sup>7</sup> Głównym źródłem kwasów omega-3 są tłuste ryby morskie (łosoś, makreła, sardynki, śledzie) oraz oleje roślinne, takie jak olej lniany i rzepakowy.<sup>7</sup> Źródłami kwasów omega-6 są natomiast oleje roślinne (słonecznikowy, kukurydziany, sojowy), a także mięso i jaja.<sup>7</sup>

Przez lata zalecano utrzymanie optymalnego stosunku omega-6 do omega-3 w diecie w zakresie od 2:1 do 4:1, co odzwierciedlało historyczne, korzystne proporcje.<sup>3</sup> Jednakże, część badań sugeruje, że kluczowa może być nie tyle sama proporcja, co zapewnienie wystarczającej, bezwzględnej ilości każdego z tych kwasów, w szczególności zalecane spożycie EPA i DHA na poziomie 250 mg dziennie.<sup>31</sup> Nadmiar kwasów omega-6, powszechny we współczesnej diecie, może zaburzać tę równowagę, sprzyjając stanom zapalnym.<sup>11</sup>

### **5.2. Suplementacja NNKT: Wskazania i dowody kliniczne**

Ze względu na niską efektywność konwersji kwasu alfa-linolenowego (ALA) w organizmie do biologicznie aktywnych kwasów EPA i DHA (szacowaną na 5-10% dla EPA i poniżej 1% dla DHA), suplementacja jest często konieczna, zwłaszcza u osób o niskim spożyciu ryb.<sup>4</sup>

Badanie kliniczne VITAL, obejmujące ponad 21 000 uczestników, dostarczyło istotnych dowodów na ochronne działanie kwasów omega-3. Suplementacja 1 g morskich kwasów omega-3 dziennie zmniejszyła ryzyko zachorowania na choroby autoimmunologiczne, takie jak RZS i nieswoiste zapalenia jelit, o 19%.<sup>24</sup> Co więcej, działanie ochronne utrzymywało się przez co najmniej dwa lata po zaprzestaniu suplementacji.<sup>24</sup> W kontekście terapeutycznym, szczególnie w przypadku chorób zapalnych, stosuje się znacznie wyższe dawki. W terapii RZS skuteczne dawki NNKT przekraczały 2,2 g na dobę.<sup>21</sup>

Szczególne wskazania do suplementacji występują w okresie ciąży i laktacji.

Zapotrzebowanie na DHA znacząco wzrasta, zwłaszcza po 20. tygodniu ciąży, a specjaliści zalecają przyjmowanie co najmniej 200 mg DHA na dobę.<sup>6</sup> U kobiet, u których spożycie ryb jest niskie, dawka może być podwyższona do 600 mg, a w przypadku ryzyka porodu przedwczesnego nawet do 1000 mg na dobę.<sup>6</sup>

### **5.3. Potencjalne ryzyka i zagrożenia**

Przyjmowanie NNKT w nadmiernych dawkach może nieść ze sobą pewne ryzyko, choć dane z badań klinicznych rozwiewają wiele obaw. Doniesienia o samoistnych krwawieniach spowodowanych przez suplementację kwasami omega-3 zostały obalone.<sup>14</sup> Obserwacje populacji Eskimosów, którzy spożywają bardzo wysokie dawki NNKT (3-10 g dziennie), wykazały, że efekt ten polega na naturalnym i odwracalnym spowolnieniu krzepnięcia krwi, co w ich przypadku było związane z 16-krotnie mniejszą częstością występowania zakrzepicy, a nie ze zwiększonym ryzykiem krwawień.<sup>14</sup> Dopiero bardzo wysokie dawki, powyżej 3-4 g na dobę, mogą w niewielkim stopniu wydłużać czas krwawienia.<sup>14</sup> Istotnym zagrożeniem, szczególnie w przypadku spożywania dużych ilości tłustych ryb, jest ryzyko zanieczyszczenia metalami ciężkimi, takimi jak rtęć, oraz dioksynami.<sup>11</sup> Z tego względu, w przypadku wysokiego spożycia, wysokiej jakości, oczyszczone suplementy mogą być bezpieczniejszą alternatywą.

## **6. Podsumowanie i Perspektywy Badawcze**

### **6.1. Synteza Wniosków**

Nienasycone kwasy tłuszczowe, a w szczególności NNKT z rodziny omega-3, są niezaprzeczalnie kluczowymi regulatorami układu immunologicznego, działającymi na wielu poziomach fizjologii. Ich wpływ obejmuje nie tylko rolę strukturalną w błonach komórkowych, ale także głęboką modulację szlaków sygnałowych, takich jak kaskada

eikozanoidowa, oraz bezpośrednią regulację ekspresji genów. Główny mechanizm ich działania polega na aktywnym wygaszaniu procesów zapalnych, co jest kluczowe dla utrzymania homeostazy.

Niedobór NNKT, potęgowany przez zaburzony stosunek omega-6 do omega-3, powszechny we współczesnej diecie, prowadzi do dysregulacji odpowiedzi immunologicznej i chronicznego stanu zapalnego, który leży u podstaw chorób z autoagresji. Prawidłowa podaż NNKT jest fundamentalna w krytycznych okresach życia, od etapu prenatalnego, kiedy to ma miejsce "programowanie" układu odpornościowego, po wczesne dzieciństwo, kiedy układ ten dojrzewa. Właściwe odżywianie i ewentualna suplementacja w tych okresach są istotnym czynnikiem prewencyjnym.

## **6.2. Kierunki Przyszłych Badań**

Choć obecne dowody kliniczne wyraźnie wskazują na korzystne działanie NNKT w profilaktyce i terapii chorób autoimmunologicznych, nadal istnieje potrzeba dalszych, precyzyjnych badań. W przyszłości kluczowe będzie określenie optymalnych dawek terapeutycznych dla poszczególnych jednostek chorobowych. Ponadto, postępy w dziedzinie nutrigenetyki pozwolą na bardziej spersonalizowane podejście do zaleceń żywieniowych i suplementacyjnych. Badania nad genetycznymi predyspozycjami do metabolizmu kwasów tłuszczowych mogą umożliwić dostosowanie protokołów suplementacji do indywidualnych zdolności metabolicznych każdego pacjenta.<sup>4</sup>

## **Cytowane prace**

1. Nienasycone kwasy tłuszczowe: znaczenie, rodzaje i korzyści - Winiary.pl, <https://www.winiary.pl/porady/nienasycone-kwasy-tluszczowe/>
2. Nienasycone kwasy tłuszczowe – rodzaje, występowanie - Artykuły - Laboratoria.net, <https://laboratoria.net/artukul/27866.html&pn=1>
3. Kwasy tłuszczowe Omega 3 i 6 – wszystko co musisz wiedzieć | Medicare.pl, <https://www.medicare.pl/artykuly/kwasy-tluszczowe-omega-3-i-6-wszystko-co-musisz-wiedziec.html>
4. NNKT – co to takiego i dlaczego są niezbędne dla zdrowia? - Natural Pharmaceuticals, <https://natural.pl/blog/niezbedne-nienasycone-kwasy-tluszczowe-nnkt-jakie-funkcje-pelnia-wplyw-na-zdrowie-funkcje-i-zrodla/>
5. Wszechstronne działanie kwasów tłuszczowych omega-3 w funkcjonowaniu układu immunologicznego - Xenico Pharma®, <https://xenico.pl/wszechstronne-dzialanie-kwasow-tluszczowych-omega-3-w-funkcjonowaniu-ukladu-immunologicznego/>

6. Dlaczego kwasy EPA i DHA są ważne dla kobiet w ciąży, mam karmiących i niemowląt?, <https://www.aptekagalen.pl/artykuly/dlaczego-kwasy-epa-i-dha-sa-wazne-dla-kobiet-w-ciazy-mam-karmiacych-i-niemowlat.html>
7. Kwasy omega 3 i omega 6 – znaczenie dla organizmu i źródła - Blog Dietly, <https://dietly.pl/blog/kwasy-omega-3-omega-6>
8. Kwasy Omega 3-6-9 - działanie i dawkowanie - Blog - Sklep SFD, [https://sklep.sfd.pl/blog-1/Kwasy\\_Omega\\_3-6-9\\_-\\_dzialanie\\_i\\_dawkowanie-blog2760.html](https://sklep.sfd.pl/blog-1/Kwasy_Omega_3-6-9_-_dzialanie_i_dawkowanie-blog2760.html)
9. WPŁYW SPOSOBU ODŻYWIANIA NA UKŁAD ... - Uniwersytet Kaliski, <https://uniwersytetkaliski.edu.pl/wp-content/uploads/2021/07/wplyw-roslinna-odpor.pdf>
10. KLUCZOWA ROLA KWAŚÓW TŁUSZCZOWYCH OMEGA-3 I OMEGA-6 W BIOLOGII CZŁOWIEKA; PREDYKCYJNA TEORIA EWOLUCJI CRAWFORDA, [https://pbkom.eu/sites/default/files/artykulydo2012/KLUCZOWA%20ROLA%20KWAŚÓW%20TŁUSZCZOWYCH%20OMEGA-3%20I%20OMEGA-6%20W%20BIOLOGII%20CZŁOWIEKA%3B%20%20%20%20PREDYKCYJNA%20TEORIA%20EWOLUCJI%20CRAWFORDA.pdf](https://pbkom.eu/sites/default/files/artykulydo2012/KLUCZOWA%20ROLA%20KWA%20S%20W%20T%20C%20%81USZCZOWYCH%20OMEGA-3%20I%20OMEGA-6%20W%20BIOLOGII%20CZ%20%81OWIEKA%3B%20%20%20%20PREDYKCYJNA%20TEORIA%20EWOLUCJI%20CRAWFORDA.pdf)
11. Nadmiar kwasów omega-3. czy może być szkodliwy? - Mojaapteka.pl, <https://mojaapteka.pl/poradnik/245-nadmiar-kwasow-omega-3-czy-moze-byc-szkodliwy>
12. Kwasy omega 6 - działanie, nadmiar i występowanie - iZielnik.pl, <https://www.izielnik.pl/blog/kwasy-omega-6-dzialanie-nadmiar-i-wystepowanie>
13. Wpływ kwasów tłuszczowych omega-3 na układ odpornościowy - NORSAN, <https://norsan-omega.pl/blog/wplyw-kwasow-tluszczowych-omega-3-na-uklad-odpornosciowy/>
14. Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (nnkt) EPA + DHA omega-3 chronią organizm człowieka - BioMarine, [http://www.biomarine.pl/pdf/wiadomosci\\_medyczne\\_nr1.pdf](http://www.biomarine.pl/pdf/wiadomosci_medyczne_nr1.pdf)
15. Omega-3 – wpływ na organizm, zapotrzebowanie, dobre źródła - polmed, <https://polmed.pl/zdrowie/omega-3-wplyw-na-organizm-zapotrzebowanie-zrodla/>
16. Immunologia dla wakcynologów – cz. II. Odpowiedź immunologiczna na szczepionki, <https://www.mp.pl/szczepienia/artykuly/przegladowe/161933,immunologia-dla-wakcynologow-cz-ii-odpowiedz-immunologiczna-na-szczepionki>
17. Charakterystyka oraz znaczenie prognostyczne regulatorowych limfocytów T w nowotworach układu chłonnego - Via Medica Journals, [https://journals.viamedica.pl/hematology\\_in\\_clinical\\_practice/article/download/39424/27407](https://journals.viamedica.pl/hematology_in_clinical_practice/article/download/39424/27407)
18. Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) – właściwości, rodzaje i źródła egzogennych kwasów tłuszczowych - DOZ.pl, [https://www.doz.pl/czytelnia/a15960-Niezbędne\\_nienasycone\\_kwasy\\_tluszczowe\\_NNKT\\_wlasciwosci\\_rodzaje\\_i\\_zrodla\\_egzogennych\\_kwasow\\_tluszczowych](https://www.doz.pl/czytelnia/a15960-Niezbędne_nienasycone_kwasy_tluszczowe_NNKT_wlasciwosci_rodzaje_i_zrodla_egzogennych_kwasow_tluszczowych)
19. Choroby autoimmunologiczne – rodzaje, przyczyny oraz leczenie - Testosterone Wiedza, <https://testosterone.pl/wiedza/choroby-autoimmunologiczne-rodzaje-przyczyny-oraz-leczenie/>

20. Pierwotne niedobory odporności — wstęp do chorób autoimmunizacyjnych, [https://journals.viamedica.pl/rheumatology\\_forum/article/view/43333/34983](https://journals.viamedica.pl/rheumatology_forum/article/view/43333/34983)
21. Kwasy omega-3 mogą ochronić przed rozwojem reumatoidalnego zapalenia stawów, <http://www.chpl.com.pl/kwasy-omega-3-reumatoidalne-zapalenie-stawow,2145,artykul.html>
22. Kwasy Omega 3 na stawy - bioalgi, <https://bioalgi.pl/kwasy-omega-3-na-stawy/>
23. Nnkt EPA i DHA omega-3 zmniejszają ryzyko zachorowania na stwardnienie rozsiane. - marinex.com.pl, <https://marinex.com.pl/nnkt-epa-i-dha-omega-3-zmniejszaja-ryzyko-zachorowania-na-stwardnienie-rozsiane/>
24. Witamina D i omega-3 kontra choroby z autoagresji - Lekarz POZ - Termedia, <https://www.termedia.pl/poz/Witamina-D-i-omega-3-kontra-choroby-z-autoagresji,54774.html>
25. Kwasy omega-3 w walce z stanami zapalnymi - Blog o zdrowiu - Naturopatia-Sanatum, [https://sanatum.pl/blog/71\\_kwasy-omega-3-w-walce-z-stanami-zapalnymi.html](https://sanatum.pl/blog/71_kwasy-omega-3-w-walce-z-stanami-zapalnymi.html)
26. Omega 3 - bioalgi, <https://bioalgi.pl/omega-3/>
27. Kwasy omega-3 w ciąży - NORSAN, <https://norsan-omega.pl/wiedza/kwasy-omega-3-w-ciazy/>
28. Rola wybranych czynników żywieniowych w kształtowaniu odporności dzieci, <http://phie.pl/pdf/phe-2017/phe-2017-2-110.pdf>
29. Mikrobiom jelitowy: Jak bakterie jelitowe wpływają na zdrowie i odporność? - Salve Medica, <https://salvemedica.pl/blog/poradniki-pacjenta/mikrobiom-jelitowy-jak-bakterie-jelitowe-wplywaja-na-zdrowie-i-odpornosc>
30. Mikrobiom a odporność. Jak wspierać mikrobiotę jelit w sezonie grypowym? Sprawdź, jak zadbać o swoje jelita dla zdrowia! - Super-Pharm – apteka internetowa, <https://apteka.superpharm.pl/poradnik/mikrobiom-a-odpornosc>
31. Kwasy tłuszczowe - stosunek omega 3 do omega 6 - SKLEP Odżywki Suplementy Strefa Mocy Warszawa, <https://strefamocy.pl/pl/blog/suplementacja/omega-3-6>
32. Kwasy omega-3 i omega-6 w diecie kobiet w ciąży. Czy kobiety w ciąży mogą jeść ryby?, <https://www.alab.pl/centrum-wiedzy/kwasy-omega-3-i-omega-6-w-diecie-kobiet-w-ciazy-czy-kobiety-w-ciazy-moga-jesc-ryby/>
33. Kwasy OMEGA-3 mogą zmniejszyć ryzyko przedwczesnego porodu - 1000 dni, <https://1000dni.pl/ciaza/kwasy-omega-3-moga-zmniejszyc-ryzyko-przedwczesnego-porodu>