

BIOLOGIA WOKÓŁ IMPLANTÓW



Karolina Rybarska

Kwasy tłuszczowe omega-3 a osteointegracja implantów – potencjalne mechanizmy biologiczne i ograniczenia dostępnych danych

Omega-3 Fatty Acids and Implant Osseointegration: Potential Biological Mechanisms and Limitations of the Available Evidence

Streszczenie

Osteointegracja implantów stomatologicznych zależy od prawidłowego gojenia kości, aktywności komórek kostnych oraz kontrolowanej odpowiedzi zapalnej. Coraz większe zainteresowanie budzi wpływ czynników żywieniowych na procesy regeneracyjne, w tym rola długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych omega-3. Wykazują one działanie przeciwzapalne i immunomodulujące oraz mogą oddziaływać na osteoblasty i osteoklasty. Celem pracy jest omówienie potencjalnych mechanizmów wpływu kwasów omega-3 na procesy istotne dla osteointegracji implantów oraz krytyczna ocena ograniczeń dostępnych danych.

Abstract:

Dental implant osseointegration depends on proper bone healing, bone cell activity, and a controlled inflammatory response. The influence of nutritional factors on regenerative processes, including the role of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids, has attracted increasing interest. These fatty acids have anti-inflammatory and immunomodulatory properties and may affect osteoblast and osteoclast activity. This paper discusses the potential mechanisms through which omega-3 fatty acids may influence biological processes relevant to implant osseointegration and critically assesses the limitations of the available evidence.

Słowa kluczowe:

implanty stomatologiczne, osteointegracja, kwasy tłuszczowe omega-3, metabolizm tkanki kostnej, stan zapalny

Key words:

dental implants, osseointegration, omega-3 fatty acids, bone remodeling, inflammation

Afiliacja:

mgr Karolina Rybarska
dietetyk kliniczny
www.calkiemzdrowo.pl
mail: kontakt@calkiemzdrowo.pl

Data wpłynięcia: 14 lipca 2026

WSTĘP

Coraz większą uwagę zwraca się na rolę czynników ogólnoustrojowych wpływających na gojenie po implantacji oraz długoterminową stabilność implantów stomatologicznych. Obok chorób ogólnych, palenia tytoniu czy niedoborów żywieniowych coraz częściej analizowany jest wpływ diety i wybranych składników odżywczych na procesy regeneracyjne. Szczególne zainteresowanie budzą długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe omega-3, którym przypisuje się właściwości przeciwzapalne, immunomodulujące oraz potencjalny wpływ na metabolizm tkanki kostnej. [1–4]

Do kwasów omega-3 należą kwas α -linolenowy (ALA), kwas eikozapentaenowy (EPA) oraz kwas dokozaheksaenowy (DHA). ALA występuje głównie w produktach roślinnych, natomiast EPA i DHA pochodzą przede wszystkim z tłustych ryb morskich, owoców morza i alg. Należy podkreślić, że ALA, EPA i DHA nie są biologicznie równoważne – konwersja ALA do EPA i DHA jest ograniczona, dlatego wyników badań dotyczących poszczególnych kwasów tłuszczowych nie można bezpośrednio uogólniać na wszystkie źródła omega-3. [1–3]

Osteointegracja, rozumiana jako bezpośrednie strukturalne i funkcjonalne połączenie żywej tkanki kostnej z powierzchnią implantu, stanowi podstawowy warunek powodzenia leczenia implantologicznego. Proces ten obejmuje kontrolowaną odpowiedź zapalną, angiogenezę, osteogenezę oraz przebudowę kości. Choć wyniki badań eksperymentalnych sugerują, że EPA i DHA mogą korzystnie wpływać na procesy istotne dla osteointegracji, bezpośrednie dowody kliniczne pozostają bardzo ograniczone. Celem pracy jest omówienie potencjalnych mechanizmów działania kwasów omega-3 oraz krytyczna ocena aktualnego stanu dowodów naukowych. [8]

ROLA STANU ZAPALNEGO W OSTEointegracji IMPLANTÓW

Odpowiedź zapalna jest nieodłącznym elementem gojenia po implantacji i inicjuje procesy naprawcze prowadzące do wytworzenia nowej kości. W warunkach fizjologicznych ma charakter przejściowy; jej przedłużenie może zaburzać regenerację i sprzyjać utracie tkanki kostnej wokół implantu [9]. Istotną rolę odgrywają cytokiny prozapalne, m.in. interleukina 1 β (IL-1 β), czynnik martwicy nowotworów α (TNF- α) oraz interleukina 6 (IL-6), które mogą nasilać osteoklastogenezę i przesunąć równowagę przebudowy kości w kie-

runku resorpcji [10, 11].

EPA i DHA wykazują właściwości przeciwzapalne i immunomodulujące. Mogą ograniczać aktywację czynnika transkrypcyjnego NF- κ B oraz wytwarzanie cytokin prozapalnych, takich jak TNF- α , IL-1 β i IL-6 [1, 2]. Nie oznacza to jednak prostego zahamowania każdej odpowiedzi zapalnej. Wczesna, kontrolowana faza zapalenia jest konieczna do oczyszczenia miejsca zabiegu i uruchomienia procesów naprawczych; istotne jest jej terminowe wygaszenie oraz przejście do fazy proliferacyjnej i regeneracyjnej.

EPA i DHA są prekursorami wyspecjalizowanych mediatorów proresolucyjnych, w tym rezolwin odpowiednio z serii E i D. Mediatory te wspierają aktywne wygaszanie zapalenia: ograniczają napływ neutrofiliów, sprzyjają usuwaniu pozostałości komórkowych przez makrofagi i zmianie ich fenotypu w kierunku naprawczym, a także modulują sygnalizację NF- κ B i ekspresję mediatorów prozapalnych. W tkance kostnej rezolwiny mogą ponadto ograniczać osteoklastogenezę i resorpcję kości, wspierając przejście od fazy zapalnej do odbudowy i przebudowy tkanki [5]. Mechanizm ten jest szczególnie interesujący w kontekście osteointegracji, ponieważ przedłużone zapalenie zaburza równowagę między kościotworzeniem a resorpcją. Nadal jest to jednak przesłanka mechanistyczna, a nie potwierdzenie, że suplementacja EPA i DHA poprawia wyniki leczenia implantologicznego.

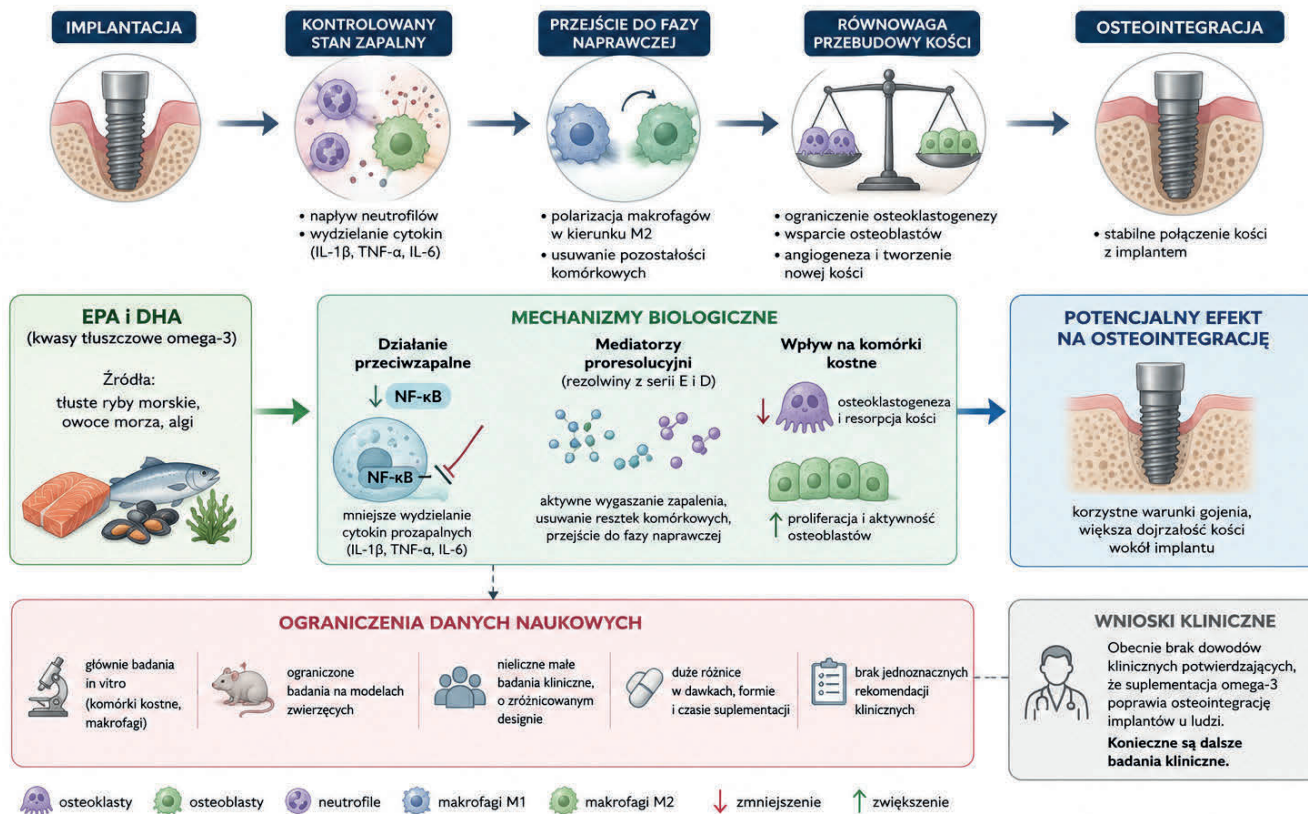
WPŁYW KWASÓW OMEGA-3 NA METABOLIZM TKANKI KOSTNEJ

Kwasy omega-3 mogą wpływać na komórki uczestniczące w przebudowie tkanki kostnej. W badaniach eksperymentalnych EPA i DHA wiązano ze zwiększeniem aktywności osteoblastów i mineralizacji macierzy kostnej, a także z hamowaniem różnicowania i aktywności osteoklastów [2, 5, 7]. Jednym z rozważanych mechanizmów jest modulacja układu RANK/RANKL/OPG, który reguluje osteoklastogenezę. RANKL pobudza powstawanie i aktywację osteoklastów, natomiast osteoprotegereyna (OPG) wiąże RANKL i ogranicza jego oddziaływanie z receptorem RANK. Wyniki badań eksperymentalnych sugerują, że EPA i DHA mogą zmniejszać ekspresję RANKL lub zwiększać ekspresję OPG, sprzyjając ograniczeniu resorpcji kości [2, 12].

DHA w modelach komórkowych silniej niż EPA hamował różnicowanie osteoklastów [7]. W badaniach eksperymentalnych obserwowano także jego wpływ na szla-

KWASY TŁUSZCZOWE OMEGA-3 A OSTEOINTEGRACJA IMPLANTÓW

potencjalne mechanizmy biologiczne i ograniczenia dowodów klinicznych



Ryc. 1 Potencjalne mechanizmy wpływu kwasów tłuszczowych omega-3 na procesy biologiczne związane z osteointegracją implantów. Opracowanie własne na podstawie aktualnego piśmiennictwa. Ilustracja koncepcyjna wygenerowana z wykorzystaniem narzędzia AI. Ma charakter schematyczny i przedstawia potencjalne mechanizmy biologiczne opisane w badaniach eksperymentalnych; nie stanowi potwierdzenia klinicznej skuteczności suplementacji kwasami omega-3 w poprawie osteointegracji implantów.

ki NF- κ B i NFATc1 związane z osteoklastogenezą [7, 12]. Są to jednak wyniki mechanistyczne, których nie można utożsamiać z kliniczną skutecznością suplementacji w okresie okołointplantacyjnym.

Kwasy omega-3 a procesy istotne dla osteointegracji

Dane komórkowe. W badaniach in vitro EPA i DHA wiązano ze zmianami aktywności osteoblastów, mineralizacji macierzy oraz ekspresji czynników regulujących przebudowę kości [2, 5]. Najbardziej spójne wyniki dotyczą hamowania różnicowania i aktywności osteoklastów. W linii komórkowej RAW 264.7 DHA działał silniej niż EPA, ograniczając osteoklastogenezę i funkcję resorpcyjną [7]. Opisywano również wpływ DHA na szlaki NF- κ B i NFATc1 oraz na odpowiedź indukowaną przez TNF- α [7, 12]. Modele komórkowe pozwalają wyjaśniać mechanizmy, ale nie odtwarzają złożonych warunków gojenia kości wokół implantu ani metabolizmu suplementu w organizmie.

Dane zwierzęce. Dane przedkliniczne sugerują, że modulacja zapalenia i aktywności osteoklastów może ograniczać utratę kości. W szczurzym modelu peri-im-

plantitis zastosowanie nanostrukturalnych nośników lipidowych zawierających DHA wiązało się z osłabieniem miejscowej odpowiedzi zapalnej i resorpcji kości [6]. Była to jednak miejscowa interwencja lecznicza w już istniejącym zapaleniu tkanek okołowszczepowych, a nie ocena doustnej suplementacji w okresie pierwotnego gojenia implantu. Wyników tego modelu nie można więc bezpośrednio przełożyć na profilaktyczne stosowanie omega-3 u pacjentów.

Periodontitis i peri-implantitis. Badania dotyczące periodontitis wskazują, że omega-3 mogą wspomagać kontrolę zapalenia i ograniczać utratę tkanek przyzębia jako uzupełnienie leczenia przyczynowego [13, 14]. Dane te wzmacniają biologiczne uzasadnienie dla badań nad tkankami okołowszczepowymi, ale pozostają dowodami pośrednimi. Periodontitis i peri-implantitis dotyczą zapalnej destrukcji tkanek, natomiast pierwotna osteointegracja obejmuje powstawanie i dojrzewanie nowej kości na granicy z powierzchnią implantu. Wspólne elementy odpowiedzi immunologicznej nie czynią tych procesów klinicznie równoważnymi.

Dane kliniczne dotyczące implantów. Bezpośrednie dane kliniczne dotyczące wpływu suplementacji omega-3 na osteointegrację są skrajnie ograniczone. W badaniu Mikhail i wsp. pacjenci z natychmiastowo obciążanymi implantami w obu grupach otrzymywali omega-3, witaminę C i wapń, a porównywaną interwencją była dodatkowa laseroterapia [15]. Brak grupy nieotrzymującej suplementacji uniemożliwia wyodrębnienie efektu omega-3. Nie ma zatem podstaw, by na tej podstawie wnioskować o poprawie stabilności implantów, kontaktu kość-implant, poziomu kości brzeżnej lub przeżywalności implantów.

DYSKUSJA

Zestawienie dostępnych danych ujawnia wyraźną asymetrię między dobrze opisanymi mechanizmami biologicznymi a brakiem dowodów klinicznych swoistych dla implantologii. Najbardziej przekonujące przesłanki dotyczą aktywnego wygaszania zapalenia, modulacji układu RANK/RANKL/OPG oraz hamowania osteoklastogenezy [1, 2, 5, 7, 12]. Nie wiadomo jednak, czy siła tych efektów po doustnym podaniu EPA i DHA jest wystarczająca, aby zmienić klinicznie mierzalny przebieg osteointegracji. Dodatkową trudność stanowią różnice między ALA, EPA i DHA, niejednorodne dawki i drogi podania oraz odmienne punkty końcowe stosowane w badaniach eksperymentalnych

ZNACZENIE KLINICZNE I OGRANICZENIA

Pomimo biologicznych przesłanek obecnie brakuje wystarczających dowodów klinicznych uzasadniających rutynowe zalecanie suplementacji omega-3 w celu poprawy osteointegracji implantów stomatologicznych. Nie ustalono optymalnych dawek EPA i DHA, czasu

rozpoczęcia suplementacji ani długości jej stosowania w okresie okołointplantacyjnym.

Wyników badań komórkowych i zwierzęcych nie można bezpośrednio przenosić na praktykę kliniczną. Modele eksperymentalne różnią się sposobem podawania i dawkami kwasów omega-3, metabolizmem organizmu oraz ocenianymi punktami końcowymi. Potrzebne są kontrolowane badania kliniczne uwzględniające parametry istotne dla implantologii, takie jak stabilność implantów, zmiany poziomu kości brzeżnej i długoterminowa przeżywalność implantów.

Ewentualną suplementację należy rozpatrywać indywidualnie, z uwzględnieniem sposobu żywienia pacjenta, chorób współistniejących i przyjmowanych leków, w szczególności przeciwkrzepliwych i przeciwplatektykowych. Obecny stan wiedzy nie uzasadnia wprowadzania suplementacji omega-3 jako standardowego elementu postępowania okołointplantacyjnego.

WNIOSKI

Kwasy tłuszczowe omega-3 wykazują działanie przeciwzapalne i mogą wpływać na aktywność osteoblastów, osteoklastów oraz szlaki regulujące metabolizm tkanki kostnej. Mechanizmy te stanowią biologiczne przesłanki ich potencjalnego wpływu na osteointegrację implantów, lecz dostępne dane mają głównie charakter pośredni i pochodzą z badań eksperymentalnych lub dotyczą innych stanów klinicznych. Brakuje kontrolowanych badań klinicznych potwierdzających, że suplementacja EPA i DHA poprawia stabilność implantów, ogranicza utratę kości brzeżnej lub zwiększa przeżywalność implantów. Nie ma zatem podstaw do formułowania zaleceń suplementacyjnych w tym wskazaniu.

Piśmiennictwo

- [1] Bodur M, Yilmaz B, Ağgündüz D, Ozogul Y. Immunomodulatory effects of omega-3 fatty acids: mechanistic insights and health implications. *Mol Nutr Food Res*. 2025;69(10):e202400752. doi: 10.1002/mnfr.202400752.
- [2] Chen H, Xiong R, Cheng J, Ye J, Qiu Y, Huang S, et al. Effects and mechanisms of polyunsaturated fatty acids on age-related musculoskeletal diseases: sarcopenia, osteoporosis, and osteoarthritis—a narrative review. *Nutrients*. 2024;16(18):3130. doi: 10.3390/nu16183130.
- [3] Weinberg RL, Brook RD, Rubenfire M, Eagle KA. Cardiovascular impact of nutritional supplementation with omega-3 fatty acids: JACC Focus Seminar. *J Am Coll Cardiol*. 2021;77(5):593–608. doi: 10.1016/j.jacc.2020.11.060.
- [4] Rogero MM, Calder PC. Obesity, inflammation, Toll-like receptor 4 and fatty acids. *Nutrients*. 2018;10(4):432. doi: 10.3390/nu10040432.
- [5] Jiang X, Xue Y, Mustafa M, Xing Z. An updated review of the effects of eicosapentaenoic acid- and docosahexaenoic acid-derived resolvins on bone preservation. *Prostaglandins Other Lipid Mediat*. 2022;160:106630. doi: 10.1016/j.prostaglandins.2022.106630.
- [6] Li Z, Yin Z, Li B, He J, Liu Y, Zhang N, et al. Docosahexaenoic acid-loaded nanostructured lipid carriers for the treatment of peri-implantitis in rats. *Int J Mol Sci*. 2023;24(3):1872. doi: 10.3390/ijms24031872.
- [7] Rahman MM, Bhattacharya A, Fernandes G. Docosahexaenoic acid is a more potent inhibitor of osteoclast differentiation in RAW 264.7 cells than eicosapentaenoic acid. *J Cell Physiol*. 2008;214(1):201–209. doi: 10.1002/jcp.21188.
- [8] Emam SM, Moussa N. Signaling pathways of dental implant osseointegration: a narrative review on two of the most relevant pathways, NF- κ B and Wnt. *BDJ Open*. 2024;10(1):29. doi: 10.1038/s41405-024-00211-w.

- [9] Albrektsson T, Tengvall P, Amengual L, Coli P, Kotsakis GA, Cochran D. Osteoimmune regulation underlies oral implant osseointegration and its perturbation. *Front Immunol*. 2023;13:1056914. doi: 10.3389/fimmu.2022.1056914.
- [10] Xu J, Yu L, Liu F, Wan L, Deng Z. The effect of cytokines on osteoblasts and osteoclasts in bone remodeling in osteoporosis: a review. *Front Immunol*. 2023;14:1222129. doi: 10.3389/fimmu.2023.1222129.
- [11] Baker M, Fernandes D, Figueredo CMS. Pro-inflammatory cytokines expressed during the initial phases of osseointegration: a systematic review. *J Clin Med*. 2024;13(23):7247. doi: 10.3390/jcm13237247.
- [12] Ma J, Kitaura H, Ogawa S, Ohori F, Noguchi T, Marahleh A, et al. Docosahexaenoic acid inhibits TNF- α -induced osteoclast formation and orthodontic tooth movement through GPR120. *Front Immunol*. 2023;13:929690. doi: 10.3389/fimmu.2022.929690.
- [13] van Ravensteyn MM, Timmerman MF, Brouwer EAG, Slot DE. The effect of omega-3 fatty acids on active periodontal therapy: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2022;49(10):1024–1037. doi: 10.1111/jcpe.13680.
- [14] Tomićić D, Lešić N, Škrlec I, Steigmann L, Tseneva K, Čalušić Šarac M, et al. Effects of vitamin D, melatonin, and omega-3 fatty acids on periodontal health: a narrative review. *Dent J (Basel)*. 2025;13(4):178. doi: 10.3390/dj13040178.
- [15] Mikhail FF, El-Din M, Ibrahim T, Zekry K, Nemat A, Nasry S. Effect of laser therapy on the osseointegration of immediately loaded dental implants in patients under vitamin C, omega-3 and calcium therapy. *Open Access Maced J Med Sci*. 2018;6(8):1468–1474. doi: 10.3889/oamjms.2018.291.