

Koenzym Q10. Budowa, źródła pozyskiwania oraz zastosowanie

Coenzyme Q10. Structure, role, sources and application in cosmetology

STRESZCZENIE

Podziały komórkowe, synteza aminokwasów, glikozaminoglikanów i enzymów oraz dojrzewanie włókien kolagenowych i elastynowych to podstawowe procesy, które zachodzą w zdrowej skórze. Występowanie tych reakcji jest możliwe z udziałem energii komórkowej adenosynotryfosforanu (ATP), która powstaje wewnątrz mitochondriów. W obrębie jednej komórki eukariotycznej znajduje się od kilku do kilku tysięcy mitochondriów. Proces powstawania energii w mitochondriach nosi nazwę oddychania komórkowego lub inaczej cyklu kwasu cytrynowego, cyklu Krebsa. Koenzym Q10 jest kluczowym nośnikiem elektronów łańcucha oddechowego. Jednocześnie odpowiada za neutralizację wolnych rodników powstających w cyklu Krebsa, co zmniejsza stres oksydacyjny i spowalnia procesy starzenia tkanek.

W artykule zaprezentowano zebrane informacje na temat koenzymu Q10, jego budowy, roli, źródeł pozyskiwania oraz zastosowania w kosmetologii.

Uzupełnienie niedoboru koenzymu Q10 w skórze jest możliwe poprzez stosowanie odpowiednich preparatów kosmetycznych, zabiegów kosmetycznych oraz suplementy diety.

Słowa kluczowe: koenzym Q10, niedobór CoQ₁₀, ubiquinol, skóra, suplementy diety

ABSTRACT

Cell division, the synthesis of amino acids, glycosaminoglycans and enzymes as well as the maturation of collagen and elastin fibers are the basic processes that take place in healthy skin. These reactions are possible due to participation of cellular energy of ATP (adenosine triphosphate), which is produced inside the mitochondria. Within one eukaryotic cell there are from several to several thousand mitochondria. The process of producing energy in the mitochondria is called cellular respiration, known also as the citric acid cycle or the Krebs cycle. Coenzyme Q10 is a key carrier of electrons in the respiratory chain. At the same time, it is responsible for the neutralization of free radicals formed in the Krebs cycle, leading to reduction oxidative stress and minimalization the aging processes of tissues.

The article presents the collected information on coenzyme Q10, its structure, role, sources and application in cosmetology.

Supplementation in case of coenzyme Q10 deficiency in the skin is possible through the use of appropriate cosmetic preparations, cosmetology treatments and dietary supplements.

Keywords: coenzyme Q10, CoQ₁₀ deficiency, ubiquinol, skin, dietary supplements

WPROWADZENIE

Koenzym Q10 (CoQ₁₀) został odkryty przez badacza Fredericka Crane'a oraz jego współpracowników w 1957 r. [1]. Nazwa koenzym Q10 wywodzi się od jego budowy chemicznej, w której znajduje się pierścień benzochinonu z łańcuchem

bocznym złożonym z 10 jednostek izoprenowych, które stabilizują cząsteczkę (rys. 1).

Chociaż podobny w budowie do niektórych witamin (np. witaminy K), CoQ₁₀ nie jest witaminą. Aby substancja zosta-

ła zaklasyfikowana do witamin, jej źródłem muszą być produkty spożywcze.

Ta rozpuszczalna w tłuszczach, podobna do witaminy cząsteczka, naturalnie występuje w każdej komórce – we wnętrzu błony komórkowej oraz w mitochondriach (rys. 2, 3).

Produkcja koenzymu Q10 następuje w cytozolu, gdzie ogon izoprenowy jest wytwarzany z konwersji mewalonianu, kluczowego produktu pośredniego zaangażowanego w syntezę cholesterolu i dolicholu oraz adduktów prenylacji białek.

KOENZYM Q10

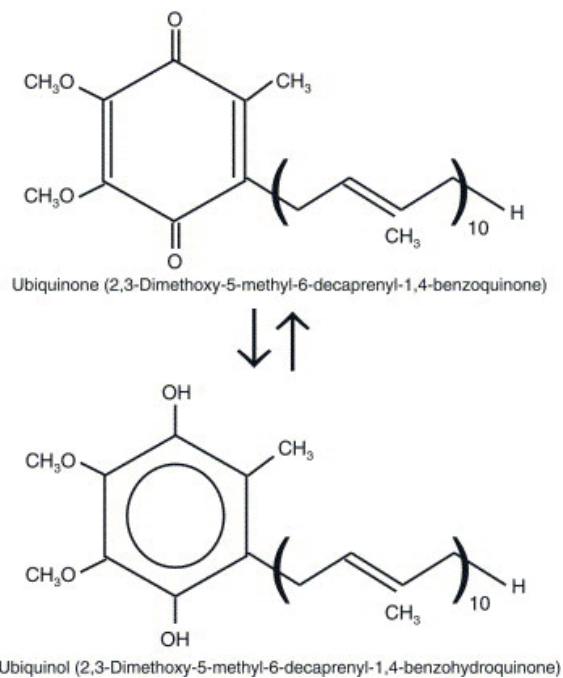
CoQ₁₀ jest centralnym składnikiem w mitochondrialnym łańcuchu transportu elektronów ETC (*electron transport chain*) zlokalizowanym w wewnętrznej błonie mitochondrialnej, gdzie transportuje elektrony z kompleksów I i II do kompleksu III, tym samym utrzymuje dostawy energii ATP niezbędnej do translokacji protonów do przestrzeni międzybłonowej [5]. CoQ₁₀ jest również składnikiem strukturalnym w kompleksach I i III. Kompleksy ETC są składane w superkompleksy oddechowe, co podnosi ich funkcjonowanie i ogranicza wyciek wolnych elektronów prowadzących do powstania wolnych rodników [6]. Koenzym Q10 odgrywa zatem fundamentalną rolę w bioenergetyce komórkowej.

Poza swoją rolą w generowaniu ATP, CoQ₁₀ działa jako antyoksydant. Neutralizuje wolne rodniki powstające w cyklu cytrynowym, inicjuje syntezę naturalnych antyoksydantów oraz jako przeciwutleniacz lipofilowy regeneruje inne antyoksydanty. Ponadto koenzym Q10 uczestniczy w sygnalizacji komórkowej, stabilizacji błon komórkowych oraz ekspresji genów. Organy o dużym zapotrzebowaniu energetycznym (serce, mózg czy wątroba) posiadają największą ilość CoQ₁₀.

NIEDOBORY KOENZYMU Q10

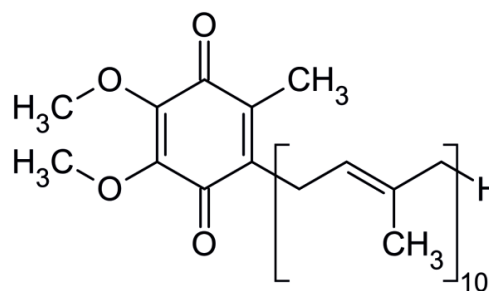
Wraz z wiekiem spada poziom koenzymu Q10 w organizmie. Zaburzenia związane z jego niedoborem wiążą się głównie ze spadkiem produkcji energii adenosynotryfosforanu (ATP), modyfikacjami w składzie lipidów błon komórkowych i ich funkcji oraz z nadmierną produkcją wolnych rodników. Brak równowagi pomiędzy CoQ₁₀ i funkcjonalną ETC prowadzi do dysfunkcji mitochondriów, wzrostu wolnych rodników i uszkodzeń oksydacyjnych. Konsekwencją tych zmian mogą być choroby mitochondrialne, choroby układu krążenia, układu nerwowego oraz przyspieszony proces starzenia.

Endogenna biosynteza Q10 ma tendencję do zmniejszania się wraz z wiekiem. Największa zawartość koenzymu Q10 przypada na dwudziesty rok życia człowieka, po czym stopniowo następuje jego spadek. Biosynteza endogenna ma tendencję do zmniejszania się wraz z wiekiem. W wieku osiemdziesięciu lat zawartość koenzymu Q10 może być niższa niż w chwili urodzenia [7]. Wskazuje to na rolę koenzymu Q10 w utrzymaniu zdrowia i optymalnego funkcjonowania wszystkich narządów, również skóry.



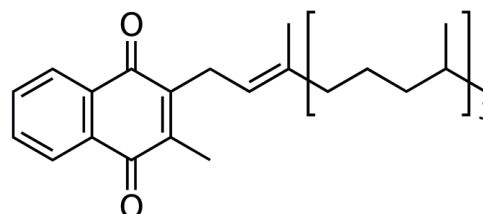
Rys. 1 Ubichinon i Ubichinol

Źródło: [2]



Rys. 2 Koenzym Q10

Źródło: [3]



Rys. 3 Witamina K

Źródło: [4]

KOENZYM Q10 A SKÓRA

CoQ₁₀ to cenny składnik dla komórek skóry, pomaga utrzymać jej prawidłowe funkcje oraz jest niezbędny do jej regeneracji. Jako składnik zaangażowany w proces wytwarzania energii ATP, uczestniczy zarówno w procesach podziałów komórkowych, jak i w syntezie białek podporowych, enzymów oraz pełni funkcje antyoksydacyjne.

To ostatnie działanie jest szczególnie istotne. Skóra jako narząd mający kontakt ze środowiskiem zewnętrznym oraz wewnętrznym, nieustannie narażona jest na działanie wolnych rodników. Egzogennym źródłem wolnych rodników jest promieniowanie ultrafioletowe UV, endogennym – stany zapalne oraz niewydolność mitochondrialna, która pojawia się z wiekiem.

Wolne rodniki uszkadzają nie tylko błony lipidowe i łańcuch DNA (kwas deoksyrybonukleinowy), ale również obecne w skórze właściwej włókna kolagenowe i elastynowe. W konsekwencji dochodzi do zaburzenia funkcji komórkowych. Aby naprawić powstałe uszkodzenia, komórki skóry nieustannie są zaangażowane w regenerację i naprawę tkanek, procesy wymagające dużej ilości energii ATP i uregulowanego metabolizmu komórkowego. Jednak wraz z wiekiem produkcja energii oraz aktywność mitochondriów spada [8, 9]. W konsekwencji dochodzi do upośledzenia funkcji komórek i tkanek oraz do widocznych zmian strukturalnych. Powoduje to dobrze znane oznaki starzenia się skóry – suchość, pogłębienie zmarszczek, utratę jędrności oraz zaburzenia pigmentacji – dochodzi do rozwoju przebarwień, rzadziej odbarwień [10].

KOENZYM Q10 A DIETA

Organizm człowieka potrafi wytwarzać CoQ₁₀ samodzielnie, jednak do jego produkcji potrzebuje aminokwasów – fenyloalaniny, tyrozyny oraz metioniny, które uczestniczą w szlaku kwasu mewalonowego. Ponadto niezbędne są witaminy z grupy B, włącznie z witaminą B12, jak również niektóre składniki mineralne oraz pierwiastki śladowe. Źródłem wymienionych substratów do produkcji koenzymu Q10 jest dieta. Aminokwasy znajdują się w każdym żywym organizmie, jednak ich największa zawartość występuje w produktach odzwierzęcych oraz w roślinach strączkowych. Podobnie jest z witaminami z grupy B, jednym z najlepszych źródeł witamin z grupy B są jajka. Im bardziej zróżnicowana dieta, tym dostarcza więcej produktów odżywczych, składników mineralnych i pierwiastków śladowych. Zdrowy sposób odżywiania oraz optymalne funkcjonowanie układu pokarmowego przyczyniają się do utrzymania syntezy koenzymu Q10 w organizmie.

Niektóre produkty spożywcze zawierają również koenzym Q10 w gotowej postaci. Głównymi źródłami CoQ₁₀ w diecie są: surowe mięso, wątróbka, sardynki, tuńczyk, brokuły, kiełki pszenicy oraz oleje. Warto jednak zaznaczyć, że koenzym Q10 nie jest odporny na wysoką temperaturę, co oznacza, że termiczna obróbka wymienionych produktów spożywczych, pozbawia ich tego składnika.

KOENZYM Q10 W SUPLEMENTACH DIETY

Koenzym Q10 jest jednym z najczęściej stosowanych składników w suplementach diety i odżywkach dla sportowców. Jest zalecany zarówno przez lekarzy, jak i specjalistów in-

nych dziedzin, w tym kosmetologów. Oficjalnie Q10 nie został zatwierdzony przez Agencję Żywności i Leków (FDA, *Food and Drug Administration*) do leczenia jakichkolwiek schorzeń. Mimo to, wielu naukowców podejmuje próbę samodzielnego badania CoQ₁₀ jako substancji mającej korzystny wpływ na organizm.

Badania przeprowadzone przez Zhao i wsp. wykazały, że suplementacja Q10 w dawce 30 mg/dobę przez 6 miesięcy zmniejsza poziom wysoczonego białka C-reaktywnego (hs-CRP, *high sensitive C-reactive protein*), tzw. białka ostrej fazy, w surowicy u pacjentów z chorobami sercowo-naczyniowymi [11].

Wiele naukowych opracowań wskazuje również, że suplementacja koenzymem CoQ₁₀ jest niezbędna u pacjentów leczonych statynami. Statyny blokują wytwarzanie związku pośredniego w szlaku biochemicznym mewalonianu, kluczowego enzymu w biosyntezie cholesterolu i CoQ₁₀.

Odwrotne zalecenie ma miejsce w przypadku pacjentów z ryzykiem zakrzepów, którzy leczeni są warfaryną. Warfaryna jest najczęściej stosowanym doustnym antykoagulantem od czasu jej zatwierdzenia w 1954 roku. W jednym z kontrolowanych badań, koenzym Q10 dawkowany przez cztery tygodnie po 100 mg dziennie, nie zmieniał czasu krzepnięcia krwi mierzonego za pomocą międzynarodowego współczynnika znormalizowanego INR (*International Normalized Ratio*), ani wymaganej dawki warfaryny.

Natomiast inny raport opisywał zmniejszone działanie warfaryny u pacjentów przyjmujących koenzym Q10 (30 mg dziennie przez dwa tygodnie), z redukcją INR z 2,5 do 1,4 [12, 13]. Badanie na szczurach wykazało, że koenzym Q10 zmniejszał działanie przeciwzakrzepowe warfaryny i zwiększał klirens obu enancjomerów warfaryny [14].

Suplementacja CoQ₁₀ poprawia funkcję mitochondriów i zapewnia ochronę antyoksydacyjną narządów i tkanek dotkniętych różnymi stanami patofizjologicznymi. Zdolność CoQ₁₀ do ochrony przed uwalnianiem wolnych rodników, które pełnią rolę markerów prozapalnych, hamuje rozwój stanów zapalnych i spowalnia procesy starzenia.

Suplementy z koenzymem Q10 najczęściej występują w kapsułkach w dawkach 30, 60, 100, 200, 300, 400 i 600 mg. Chociaż nie ma ustalonej minimalnej ani maksymalnej skutecznej dawki, to średnia dawka niezbędna do osiągnięcia efektu terapeutycznego (stężenie Q10 we krwi > 2,5 mcg/ml) wynosi 200 mg (przyjmowana dwa razy na dobę z posiłkiem) [15, 16]. Wyższe dawki – od 100 do 400 mg stosuje się u pacjentów z chorobami kardiologicznymi, natomiast w chorobach neurodegeneracyjnych (choroba Huntingtona, choroba Parkinsona i stwardnienie zanikowe boczne) dawki od 600 do 3000 mg. Oprócz dawki, na jakość suplementu diety wpływa forma Q10, zastosowanie nośników lipidowych oraz konserwantów i innych dodatków.

Ponieważ CoQ₁₀ jest lipofilny, jego wchłanianie jest podobne do wchłaniania lipidów w przewodzie pokarmowym

i zwiększa się po spożyciu z tłustym posiłkiem. Wchłanianie następuje w jelicie cienkim. Po wchłonięciu, CoQ₁₀ jest redukowany do ubichinolu i transportowany do wątroby, gdzie jest włączany do cząsteczek lipoprotein o bardzo niskiej gęstości (VLDL)/LDL i uwalniany do krążenia. Po podaniu doustnym, maksymalne stężenie CoQ₁₀ w osoczu występuje po 6, do 8 godzin, a okres półtrwania w fazie eliminacji wynosi ponad 30 godzin [17].

KOENZYM Q10 W KOSMETOLOGII

Koenzym Q10 jest popularnym składnikiem kosmetyków. Najczęściej występuje jako składnik przeciwstarzeniowy w kosmetykach przeznaczonych do pielęgnacji skóry dojrzałej. Zawarty w kosmetykach koenzym Q10 nie przedostaje się do żywych warstw naskórka i skóry właściwej, stąd jego działanie różni się względem opisanego wyżej działania związanego z syntezą energii komórkowej ATP. Obecny w kosmetykach pielęgnujących CoQ₁₀ wykazuje działanie antyoksydacyjne, bez wpływu na mitochondria. Koenzym Q10 jest jednak substancją, która sprawdzi się w pielęgnacji każdego rodzaju skóry. Z uwagi na działanie antyoksydacyjne i neutralizację wolnych rodników, Q10 spowalnia procesy starzenia (skóra dojrzała), ogranicza rozwój stanów zapalnych (trądzik pospolity, dojrzały, różowaty), zmniejsza aktywność melanocytów (przebarwienia).

Koenzym Q10 w postaci kosmetyków aplikowanych na skórę nie wpływa na mitochondria i syntezę energii ATP. Takie działanie, oprócz diety i suplementacji, mogą wykazywać zabiegi kosmetyczne, m.in. mezoterapia igłowa z podaniem ampułek zawierających koenzym Q10, która jest jedyną formą zabiegów pozwalających na uzupełnienie koenzymu Q10 w głębokich warstwach skóry właściwej. W skórze właściwej, Q10 jest wykorzystywany między innymi do produkcji włókien kolagenowych, elastynowych oraz glikozaminoglikanów. W konsekwencji, przy założeniu, że zabiegi były częścią holistycznej terapii kosmetycznej, dochodzi do spłycenia zmarszczek, poprawy jędrności oraz dzięki uzupełnieniu kwasu hialuronowego – poprawy nawilżenia skóry.

PODSUMOWANIE

Koenzym Q10 to witaminopodobna cząsteczka, która występuje w każdej komórce człowieka. Organy o dużym zapotrzebowaniu energetycznym (serce, mózg czy wątroba) posiadają największą jego ilość.

Działanie CoQ₁₀ jest wielotorowe: bierze on udział w oddychaniu komórkowym (prowadzącym do powstania ener-

gii ATP), jest przeciwutleniaczem, uczestniczy w sygnalizacji komórkowej, stabilizacji błon komórkowych oraz ekspresji genów.

Działanie koenzymu Q10 w skórze związane jest z neutralizacją wolnych rodników. Hamując rozwój stresu oksydacyjnego, spowalnia procesy starzenia oraz zmniejsza procesy zapalne i ogranicza produkcję melaniny, co sprawia, że znajduje on zastosowanie w pielęgnacji każdego rodzaju skóry.

Uzupełnienie CoQ₁₀ w skórze jest możliwe poprzez zewnętrzne stosowanie kosmetyków do pielęgnacji domowej, zabiegi kosmetyczne oraz suplementację.

LITERATURA / REFERENCES

1. Crane FL, Hatefi Y, Lester RL, Widmer C. Isolation of a quinone from beef heart mitochondria. *Biochim Biophys Acta*. 1957;25(1):220-221.
2. Bhagavan HN, Chopra RK. Potential role of ubiquinone (coenzyme Q10) in pediatric cardiomyopathy. *Clinical Nutrition*. 2005;24(3):331-338. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.12.005>
3. Coenzyme Q10. https://en.wikipedia.org/wiki/Coenzyme_Q10. Accessed 01.07.2021.
4. Structural Biochemistry/Chemistry of important organic molecules in Biochemistry/Vitamin K. https://en.wikibooks.org/wiki/Structural_Biochemistry/Chemistry_of_important_organic_molecules_in_Biochemistry/Vitamin_K. Accessed 01.07.2021.
5. López-Lluch G, Rios M, Lane MA, et al. Mouse liver plasma membrane redox system activity is altered by aging and modulated by calorie restriction. *Age*. 2005;27(2):153-160. <https://doi.org/10.1007/s11357-005-2726-3>
6. Genova ML, Lenaz G. Functional role of mitochondrial respiratory supercomplexes. *Biochim Biophys Acta*. 2014;1837(4):427-443. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2013.11.002>
7. Lass A, Kwong L, Sohal RS. Mitochondrial coenzyme Q content and aging. *Biofactors*. 1999;9:199-205.
8. Conley KE, Marcinek DJ, Villarin J. Mitochondrial dysfunction and age. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2007;10:688-692.
9. Trifunovic A, Larsson NG. Mitochondrial dysfunction as a cause of ageing. *J Intern Med*. 2008;263:167-178.
10. Escoffier C, de Rigal J, Rochefort A, et al. Age-related mechanical properties of human skin: an in vivo study. *J Invest Dermatol*. 1989;93:353-357.
11. Zhao Q, Kebbati AH, Zhang Y, et al. Effect of coenzyme Q10 on the incidence of atrial fibrillation in patients with heart failure. *J Investig Med*. 2015;63:735-739.
12. Black JA. Reduced effect of warfarin caused by ubidecarenone. *The Lancet*. 1993;344(8933):1372-1373.
13. Landbo C, Almdal TP. Drug interaction between warfarin and coenzyme Q10. *Ugeskrift for Laeger*. 1998;160(22):3226-3227.
14. Zhou S, Chan E. Effect of ubidecarenone on warfarin anticoagulation and pharmacokinetics of warfarin enantiomers in rats. *Drug Metabolism and Drug Interactions*. 2001;18(2):99-122.
15. Langsjoen PH, Langsjoen AM. Comparison study of plasma Coenzyme Q10 levels in healthy subjects supplemented with ubiquinol versus ubiquinone. *Clin Pharmacol Drug Dev*. 2014;3(1):13-17.
16. Langsjoen PH, Langsjoen AM. Supplemental ubiquinol in patients with advanced congestive heart failure. *Biofactors*. 2008;32(1-4):119-128.
17. Reizner AE. Coenzyme Q10. *Methodist DeBakey Cardiovasc J*. 2019;15(3):185-191. <https://doi.org/10.14797/mdcj-15-3-185>

otrzymano / received: 12.07.2021 | poprawiono / corrected: 24.07.2021 | zaakceptowano / accepted: 03.08.2021