

Received: 12.05.2017
Accepted: 31.08.2017
Published: 20.04.2018

Szałwia hiszpańska (chia) jako bogate źródło kwasów wielonienasyconych n-3 o działaniu przeciwmiażdżycowym i kardioprotekcyjnym

Salvia hispanica (chia) as a promising source of n-3 polyunsaturated fatty acids with antiatherogenic and cardioprotective properties

Joanna Karbowska¹, Zdzisław Kochan²

¹Katedra i Zakład Biochemii, Gdański Uniwersytet Medyczny

²Zakład Biochemii Żywności, Katedra Żywności Klinicznej, Gdański Uniwersytet Medyczny

Streszczenie

Chia (*Salvia hispanica* L.) to jednoroczna roślina z rodziny jasnotowatych (*Lamiaceae*), pochodząca z terenów Mezoameryki – głównie z obszaru obejmującego dzisiejszy Meksyk i Gwatemalę, gdzie jest uprawiana od kilku tysięcy lat. Nasiona chia należą do najbogatszych roślinnych źródeł kwasu α -linolenowego (ALA, 18:3), którego udział we frakcji kwasów tłuszczowych wynosi około 60%, co stanowi niemal 18% składu tych nasion. ALA, wielonienasycony kwas tłuszczowy (PUFA) szeregu n-3, jest prekursorem w szlaku biosyntezy kwasu eikozapentaenowego (EPA, 20:5) i dokozaheksaenowego (DHA, 22:6) – kwasów o działaniu przeciwmiażdżycowym i kardioprotekcyjnym. Wprowadzenie do diety nasion chia podwyższa poziom ALA i powstającego z niego EPA we krwi, zwiększa również endogenną syntezę DHA. Do korzystnych efektów suplementacji nasionami chia należy także obserwowane u osób z hiperlipidemią zmniejszenie stężenia cholesterolu całkowitego i cholesterolu frakcji VLDL z jednoczesnym zwiększeniem stężenia cholesterolu frakcji HDL w krążeniu, obniżenie skurczowego ciśnienia krwi (SBP) u pacjentów z nadciśnieniem tętniczym, zmniejszenie glikemii po posiłku oraz obniżenie stężenia wskaźnika stanu zapalnego – białka C-reaktywnego (CRP) we krwi. Ze względu na opisane wyżej działanie można uznać nasiona chia za ważny składnik diety zalecanej w profilaktyce chorób układu sercowo-naczyniowego.

Słowa kluczowe:

Salvia hispanica • PUFA • ALA • CVD

Summary

Chia (*Salvia hispanica* L.) is an annual plant that belongs to the *Lamiaceae* family. It is native to Mesoamerica, today's Mexico and Guatemala, where it has been cultivated since ancient times. Chia seed contains up to 18% α -linolenic acid (ALA, 18:3), which constitutes about 60% of total fatty acids, making *S. hispanica* one of the richest plant sources of this essential fatty acid. ALA, an n-3 polyunsaturated fatty acid (PUFA), serves as the precursor of eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5) and docosahexaenoic acid (DHA, 22:6), long-chain n-3 PUFAs that exert the antiatherogenic and cardioprotective effects. In humans, consumption of chia seeds leads to

	an increase in plasma ALA and EPA levels, and stimulates endogenous DHA synthesis. Among the beneficial effects of chia seed supplementation is also a reduction in total cholesterol and VLDL cholesterol with a concomitant increase in HDL cholesterol in hyperlipidemic subjects, a significant reduction in the systolic blood pressure (SBP) in hypertensive individuals, an attenuation of postprandial hyperglycemia, and a decrease in plasma levels of C-reactive protein (CRP) – the marker of inflammation. In view of these findings, chia seeds can be considered an important component of a cardioprotective diet.
Keywords:	<i>Salvia hispanica</i> • PUFA • ALA • CVD
GICID:	01.3001.0011.7987
DOI:	10.5604/01.3001.0011.7987
Word count:	6158
Tables:	–
Figures:	3
References:	51

Adres autora: dr hab. Zdzisław Kochan, Zakład Biochemii Żywnienia, Gdański Uniwersytet Medyczny, ul. Dębinki 7, 80-211 Gdańsk; e-mail: kochanz@gumed.edu.pl

Wykaz skrótów: **ACC** – karboksylaza acetylo-CoA (acetyl-CoA carboxylase); **ACOX** – oksydaza acylo-CoA (acyl-CoA oxidase); **ALA** – kwas α-linolenowy (α-linolenic acid); **α-TTP** – białko transportujące α-tokoferol (α-tocopherol transfer protein); **BMI** – wskaźnik masy ciała (body mass index); **CHD** – choroba niedokrwienna serca (coronary heart disease); **CPT-1** – palmitoilotransferaza karnitynowa 1 (carnitine palmitoyltransferase 1); **CRP** – białko C-reaktywne (C-reactive protein); **CVD** – choroby układu sercowo-naczyniowego (cardiovascular diseases); **D6D** – desaturaza Δ6 (Δ6 desaturase); **DBP** – rozkurczowe ciśnienie krwi (diastolic blood pressure); **DHA** – kwas dokozaheksaenowy (docosahexaenoic acid); **DPA** – kwas dokozapentaenowy (docosapentaenoic acid); **eNOS** – endotelialna syntaza tlenku azotu (endothelial nitric oxide synthase); **EPA** – kwas eikozapentaenowy (eicosapentaenoic acid); **ETA** – kwas eikozatetraenowy (eicosatetraenoic acid); **FASN** – syntaza kwasów tłuszczowych (fatty acid synthase); **G6PDH** – dehydrogenaza glukozy-6-fosforanowa (glucose-6-phosphate dehydrogenase); **IDF** – błonnik nierozpuszczalny w wodzie (insoluble dietary fibre); **LA** – kwas linolowy (linoleic acid); **MBP** – średnie ciśnienie tętnicze (mean blood pressure); **MUFA** – jednonienasycone kwasy tłuszczowe (monounsaturated fatty acids); **NEFA** – wolne kwasy tłuszczowe (nonesterified fatty acids); **NNKT** – niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (essential fatty acids); **PGE₃** – prostaglandyna E₃ (prostaglandin E₃); **PGG₃** – prostaglandyna G₃ (prostaglandin G₃); **PGH₃** – prostaglandyna H₃ (prostaglandin H₃); **PPARα** – receptor aktywowany przez proliferatory peroksyosomów α (peroxisome proliferator activated receptor α); **PUFA** – wielonienasycone kwasy tłuszczowe (polyunsaturated fatty acids); **SBP** – skurczowe ciśnienie krwi (systolic blood pressure); **SCD** – nagła śmierć sercowa (sudden cardiac death); **SDA** – kwas stearydonowy (stearidonic acid); **SDF** – błonnik rozpuszczalny w wodzie (soluble dietary fibre); **SFA** – nasycone kwasy tłuszczowe (saturated fatty acids); **SREBP-1** – białko wiążące element odpowiedzi na sterole 1 (sterol regulatory element-binding protein 1); **TAG** – triacyloglicerole (triacylglycerols); **TDF** – całkowita zawartość włókna pokarmowego (total dietary fibre); **THA** – kwas tetrakozahexaenowy (tetracosahexaenoic acid); **TPA** – kwas tetrakozapentaenowy (tetracosapentaenoic acid).

WSTĘP

Szałwia hiszpańska, opisana przez Karola Linneusza jako gatunek *Salvia hispanica*, to roślina z rodziny jasnotowatych (*Lamiaceae*), powszechnie znana pod nazwą *chia* [7]. Roślinę tę uprawiano na obszarze Mezoameryki, głównie na terenach dzisiejszego Meksyku i Gwatemali, już około 3400 lat p.n.e., a jej określenie mianem *chia* pojawia się w hiszpańskiej wersji językowej XVI-wiecznego Codice Fiorentino (Kodeksu Florenckiego) – jako tłumaczenie słowa *chian*, występującego w spisanej w nahuatl, języku

Azteków, pełnej wersji tego Kodeksu [3,19]. Chia była jedną z podstawowych roślin uprawnych w państwie Azteków – szerokie zastosowanie znalazły zwłaszcza jej nasiona oraz otrzymywana z nich mąka i olej, które stanowiły nie tylko ważny składnik codziennej diety, ale były również wykorzystywane w celach leczniczych, dodawane do farb i kosmetyków, a także używane podczas uroczystości i obrzędów religijnych [3,7,19]. Znaczenie rytualne chia stało się prawdopodobnie głównym powodem, dla którego po kolonizacji tych terenów przez Hiszpanów, zakończonej upadkiem państwa azteckiego

w pierwszej połowie XVI w., dość szybko doszło do ograniczenia jej uprawy [3]. Chia została wyparta przez inne, nieznane wcześniej Aztekom rośliny uprawne, takie jak pszenica, jęczmień i ryż, na które było duże zapotrzebowanie wśród kolonizatorów, i na niemal pięćset lat popadła w zapomnienie [3]. Przetrwała jedynie w trudno dostępnych, izolowanych regionach Nowej Hiszpanii (później Wicekrólestwa Nowej Hiszpanii) – jak nazywano wówczas to terytorium – dzięki zamieszkującym je niewielkim społecznościom ludów Nahuja, kultuwującym niektóre z dawnych zwyczajów swoich przodków [3]. W ostatniej dekadzie XX w. szałwia hiszpańska zaczęła budzić coraz większe zainteresowanie ze względu na wysoką wartość odżywczą jej nasion. Obecnie jest już uprawiana na skalę przemysłową nie tylko na obszarze, z którego pochodzi – w Meksyku i Gwatemali, ale również w krajach Ameryki Południowej – Argentynie, Boliwii, Kolumbii i Peru, a nawet w Australii [3,19]. Nasiona chia stały się zatem ponownie popularnym produktem żywnościowym w Meksyku, a także w Ameryce Południowej i południowych stanach USA; w Europie są nadal mało znane, mimo że Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) w 2009 r. pozytywnie zaopiniował te nasiona jako tzw. „nową żywność” (novel food), potwierdzając tym samym, że jest to żywność bezpieczna dla zdrowia [32].

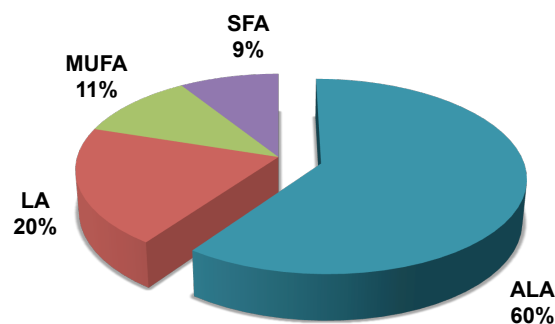
ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW ODŻYWCZYCH W NASIONACH

S. hispanica

W nasionach szaławii hiszpańskiej znajduje się 30-34% lipidów, 16-26% białka i 37-42% węglowodanów, wśród których przeważa błonnik pokarmowy [5,30,38,44]. Zawartość poszczególnych składników w nasionach *S. hispanica* różni się w zależności od regionu uprawy, jednak nietypowy skład frakcji lipidowej czyni z tych nasion, niezależnie od miejsca ich pochodzenia, niezwykle wartościowy element diety [5].

Lipidy w nasionach chia

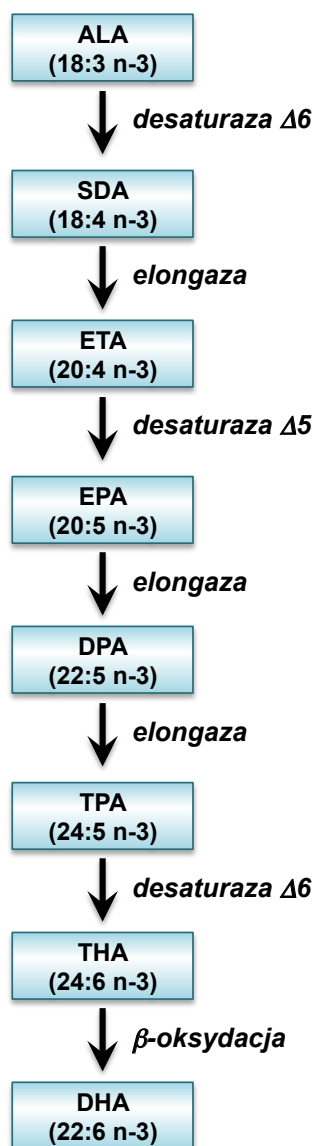
Lipidy stanowią około 30% składu nasion szaławii hiszpańskiej, cenionych głównie z powodu dużej zawartości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) szeregu n-3 [2,5,30,32]. Należący do tego szeregu kwas α -linolenowy (ALA, 18:3 n-3) jest dominującym składnikiem frakcji kwasów tłuszczowych nasion chia – jego udział wynosi około 60% (ryc. 1) [2,5,10,32,51]. Zawartość ALA w nasionach *S. hispanica* zmienia się w zależności od warunków środowiskowych, w jakich roślina jest uprawiana – wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza i związaną z tym zmianą klimatu (obniżeniem temperatury) zwiększa się udział ALA we frakcji kwasów tłuszczowych, osiągając nawet 68% [5]. Nasiona szaławii hiszpańskiej charakteryzują się zatem największą zawartością ALA spośród produktów roślinnych znanych jako bogate źródła tego kwasu, takich jak lnicznik siewny (*Camelina sativa* L.) – 36% ALA, pachnotka zwyczajna (*Perilla frutescens* L.) – 53% ALA czy len zwyczajny (*Linum usitatissimum* L.) – 57% ALA [5,26,44].



Ryc. 1. Skład frakcji kwasów tłuszczowych nasion chia; ALA – kwas α -linolenowy, LA – kwas linolowy, MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe, SFA – nasycone kwasy tłuszczowe

Drugie miejsce wśród kwasów tłuszczowych zajmuje kwas linolowy (LA, 18:2 n-6), którego zawartość zbliża się do 20% [5,10,32]. Kwasy jednonienasycone (MUFA) – reprezentowane niemal wyłącznie przez kwas oleinowy (18:1), należący do szeregu n-9 – stanowią 7-11% ogółu kwasów tłuszczowych nasion chia [5,10,32]. Podobna jest zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA), która waha się w granicach 7-9% [5,32]; wśród SFA najczęściej jest kwasu palmitynowego (16:0), występuje tu również – w dużo mniejszej ilości – kwas stearynowy (18:0) [32].

Obecność w nasionach chia znacznych ilości PUFA, przede wszystkim ALA i LA, nazywanych niezbędnymi nienasyconymi kwasami tłuszczowymi (NNKT), zasługuje na szczególną uwagę – kwasy te są niezwykle ważnymi składnikami diety, ponieważ ich synteza nie zachodzi w organizmie człowieka i w związku z tym powinny być dostarczane w odpowiedniej ilości z pożywieniem [15]. Oba kwasy wykazują właściwości prozdrowotne – ALA ma pozytywny wpływ na wzrost komórek, układ nerwowy, poprawia kondycję skóry oraz obniża ciśnienie krwi i stężenie cholesterolu w krążeniu [49], natomiast LA najsilniej spośród kwasów tłuszczowych pochodzących z diety reguluje metabolizm cholesterolu LDL, obniżając syntezę endogenego cholesterolu i zwiększając pobieranie LDL przez komórki [49]. Ponadto ALA jest prekursorem dwóch innych, istotnych dla funkcjonowania organizmu ludzkiego kwasów: eikozapentaenowego (EPA, 20:5 n-3) i dokozaheksaenowego (DHA, 22:6 n-3). EPA i DHA wykazują m.in. działanie przeciwartymiczne, poprawiają funkcjonowanie śródbłonna naczyń, obniżają ciśnienie krwi, a także zmniejszają stężenie triacylogliceroli w krążeniu [35,49]. ALA i LA ulegają w organizmie człowieka elongacji i desaturacji w odrębnych, lecz wykorzystujących te same enzymy, szlakach metabolicznych [35]. Wspomniane przemiany PUFA, w tym biosynteza EPA i DHA z ALA, są kontrolowane przez aktywność desaturazy $\Delta 6$ ($\Delta 6D$), która jest enzymem ograniczającym szybkość przepływu metabolitów w tych procesach (ryc. 2) [35]. Desaturaza $\Delta 6$ jest jednocześnie regulowana przez PUFA – uznawane często za represory ekspresji kodującego ją genu, a także za inhi-



Ryc. 2. Synteza wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) szeregu n-3 – kwasu eikozapentaenowego (EPA) i kwasu dokozaheksaenowego (DHA) – z kwasu α-linolenowego (ALA)

bitory jej aktywności enzymatycznej [9]. Nowsze badania wskazują jednak, że wpływ PUFA na D6D jest znacznie bardziej zróżnicowany: działanie hamujące występuje głównie w połączeniu z beztłuszczową dietą bogatą w glukozę, która *per se* stymuluje ekspresję genu i aktywność D6D [39]. W warunkach prawidłowo zbilansowanej diety zarówno ALA, jak i LA indukują ekspresję genu kodującego ten enzym; LA zwiększa też aktywność D6D w stosunku do PUFA szeregu n-3 i n-6 [39]. W odróżnieniu od LA, ALA działa selektywnie i zwiększa aktywność tego enzymu jedynie w stosunku do PUFA szeregu n-3, co prowadzi do wzmożonej biosyntezy EPA [39]. Włączenie do diety nasion chia, ze względu na wyjątkowo dużą zawar-

tość ALA w tych nasionach, może zatem sprzyjać przekierowaniu aktywności D6D na szlak przemian PUFA n-3, podwyższając w ten sposób stężenie kwasów tłuszczowych o działaniu przeciwnadciśnieniowym i kardioprotekcyjnym.

Współczesna dieta zachodnia jest uważana za niekorzystną dla zdrowia, m.in. ze względu na niewłaściwe proporcje spożywanych kwasów szeregu n-6 do tych szeregu n-3 – stosunek ilości kwasów n-6 : n-3 w tej diecie wynosi około 10:1, podczas gdy właściwa proporcja nie powinna przekraczać 6:1 [6,49]. Wynika to z powszechnej obecności w diecie zachodniej olejów roślinnych, takich jak olej sojowy, słonecznikowy czy kukurydziany – obfitujących w kwasy tłuszczowe szeregu n-6; typowym przykładem jest olej słonecznikowy, który mimo dużej zawartości PUFA (66%), zupełnie pozbawiony jest ALA [6,44]. Ponieważ kwasy n-6 i n-3 konkurują o te same enzymy, przewaga kwasów n-6 w diecie ogranicza przemiany kwasów n-3 w kierunku syntezy niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu kwasów EPA i DHA, a tym samym dochodzi do zwiększonej syntezy kwasu arachidonowego z jego prekursorów – kwasów szeregu n-6 [35]. Nasilenie przemian PUFA n-6 w tym szlaku metabolicznym jest niepożądane, podwyższone stężenie kwasu arachidonowego w organizmie człowieka wiąże się bowiem z wieloma niekorzystnymi zmianami zdrowotnymi [35]. W tłuszczu z nasion szafalii hiszpańskiej kwasów n-3 jest znacznie więcej niż n-6, dzięki temu stosunek kwasów szeregu n-6 do n-3 wynosi około 0,3:1 [10,51].

We frakcji lipidowej nasion szafalii hiszpańskiej znajdują się również fitosterole, które stanowią – w zależności od metody ekstrakcji – 0,4-1% lipidów [2,10,51]. Zawartość fitosteroli w oleju uzyskanym z nasion chia jest zatem porównywalna lub wyższa niż w oleju rzepakowym, słonecznikowym czy w oliwie z oliwek, gdzie wartości te wynoszą odpowiednio 0,8, 0,4 i 0,2% [2,10,33]. Wśród fitosteroli występujących w nasionach *S. hispanica* dominuje β-sitosterol – jego udział wynosi około 70%, pozostałe to głównie stigmasterol i kampesterol [2,10,51]. Duża zawartość fitosteroli może zwiększać działanie prozdrowotne nasion chia; sterole roślinne dostarczane z pożywieniem obniżają bowiem wchłanianie cholesterolu w przewodzie pokarmowym, a także – przez hamowanie powstawania VLDL w wątrobie – zmniejszają stężenie cholesterolu LDL w krążeniu [17,23].

Innym składnikiem lipidowym nasion chia są tokoferole [10,25,51]. Tokoferole to związki pochodzenia roślinnego o właściwościach antyoksydacyjnych, występujące w postaci kilku izomerów (α, β, γ i δ), nazywanych ogólnie witaminą E [43]. Wszystkie wymienione izomery tokoferolu wykazują podobną aktywność przeciwutleniającą *in vitro*, jednak – z powodu wybiórczego wiązania α-tokoferolu przez białko transportujące α-tokoferol (α-TTP) – w organizmie człowieka najwyższe stężenie osiąga izomer α i w związku z tym jest uważany za najbardziej aktywną biologicznie postać witaminy E [43]. W oleju z nasion szafalii hiszpańskiej spośród tej grupy

związków przeważa γ -tokoferol, wykrywane są również β - i δ -tokoferol, natomiast izomer α występuje w najmniejszym stężeniu [10,25,51]. Izomery tokoferolu obecne we frakcji lipidowej nasion chia pełnią przede wszystkim funkcję naturalnych antyoksydantów, które zapobiegają utlenieniu znajdujących się tu w dużych ilościach PUFA.

Zawartość białka i skład aminokwasowy nasion szaławii hiszpańskiej

Nasiona chia zawierają około 20% białka, zatem więcej niż ziarna popularnych roślin zbożowych, takich jak kukurydza, ryż, pszenica, jęczmień czy owies [32,38,44]. Zawartość białka w nasionach szaławii hiszpańskiej waha się w granicach 16-26% i zależy od temperatury, wilgotności oraz położenia miejsca uprawy – rośliny uprawiane na dużych wysokościach nad poziomem morza, a tym samym w niższych temperaturach, zawierają mniej białka; najwięcej białka mają natomiast nasiona *S. hispanica* pochodzące z roślin uprawianych na małej wysokości, w ciepłym i wilgotnym klimacie [5,30,38].

Wśród białek znajdujących się w nasionach chia można wyróżnić cztery frakcje: albuminy, globuliny, prolaminy i gluteliny [30,38]. Dominującą frakcją są globuliny, które stanowią 52-55% wszystkich białek zawartych w tych nasionach [38,40]. Pozostałe frakcje białkowe występują w znacznie mniejszych ilościach: albuminy – 17-18%, gluteliny – 14,5-15% i prolaminy – 10-13% [38,40]. Białka nasion szaławii hiszpańskiej mają dużą wartość odżywczą, ponieważ zawierają wszystkie aminokwasy egzogenne – cysteinę, fenyloalaninę, histydynę, izoleucynę, leucynę, lizynę, metioninę, treoninę, tryptofan, tyrozynę i walinę – ilościowo obejmują one niemal 50% wszystkich aminokwasów [30,38]. Nasiona chia nie mogą jednak być uznane za pełnowartościowe źródło białka – aminokwasem ograniczającym jest lizyna, której ilość waha się w granicach 3,0-3,7 g/100 g białka, osiąga zatem 67-82% zawartości tego aminokwasu w białku wzorcowym, przyjętym za standard w żywieniu osób dorosłych [13,30,38].

Charakterystyka błonnika pokarmowego nasion chia

Błonnik pokarmowy jest dominującym składnikiem frakcji węglowodanowej nasion *S. hispanica* – całkowita zawartość włókna pokarmowego (TDF) w tych nasionach wynosi 34-42 g/100 g, podczas gdy zawartość węglowodanów przyswajalnych mieści się w granicach 3-8 g/100 g [30,36,38,44]. Nasiona szaławii hiszpańskiej są zatem lepszym źródłem błonnika niż ziarna zbóż, siemię lniane czy suszone owoce [44]. Przeważająca część TDF to błonnik nierozpuszczalny w wodzie (IDF): nasiona chia – w zależności od ich pochodzenia – zawierają go 25-35 g/100 g [36,38]. Pozostałą część TDF – 6-8 g/100 g nasion – tworzy błonnik rozpuszczalny w wodzie (SDF) [36,38].

Włókno pokarmowe nasion chia charakteryzuje się dużą zdolnością wiązania wody [46], dzięki czemu ich dodanie do posiłku może wywoływać wrażenie sytości, a także

wspomagać prawidłowe funkcjonowanie jelit oraz przyczyniać się do obniżenia glikemii poposiłkowej [47]. Ponadto jego właściwość bardzo efektywnego absorbowania związków organicznych, takich jak cholesterol i kwasy żółciowe, powoduje, że błonnik pokarmowy obecny w nasionach szaławii hiszpańskiej zmniejsza wchłanianie tych metabolitów oraz ułatwia ich wydalanie, co prowadzi do obniżenia stężenia cholesterolu we krwi i poprawy profilu lipidowego [42,46]. Frakcja błonnikowa nasion chia wykazuje również dużą aktywność antyoksydacyjną [36,46], porównywalną z tego rodzaju aktywnością kawy czy herbaty [46]. Wynika to z obecności we włóknie pokarmowym nasion *S. hispanica* wielu związków fenolowych o właściwościach przeciwutleniających, m.in. kwasu kawowego, kwasu chlorogenowego, kwercetyny i kemferolu [36,46]. Antyoksydanty związane z błonnikiem nasion chia mogą zapobiegać utlenianiu LDL, stymulować wypływ cholesterolu z makrofagów oraz zwiększać aktywność endotelialnej syntazy tlenu azotu (eNOS) [22,50], zmniejszając w ten sposób ryzyko rozwoju chorób układu krążenia; chronią również przed utlenieniem wielonienasycone kwasy tłuszczowe znajdujące się w tych nasionach [36].

Witaminy i składniki mineralne w nasionach chia

Nasiona szaławii hiszpańskiej są, podobnie jak ziarna zbóż, dobrym źródłem niektórych witamin z grupy B – zawierają więcej tiaminy i niacyny niż pszenica, ryż czy kukurydza; charakteryzują się również porównywalną z tymi zbożami zawartością ryboflawiny [44]. Ilość tiaminy zawarta w 100 g nasion chia (0,2-0,7 mg) pokrywa niemal 50% zapotrzebowania dziennego na tę witaminę, w przypadku niacyny (6-9 mg) jest to około 40%, a ryboflawiny (0,04-0,2 mg) – 10% [15,32,44].

Nasiona chia mogą dostarczyć także wielu ważnych dla zdrowia składników mineralnych. Spośród makroelementów występujących w tych nasionach dominuje fosfor, którego ilość mieści się w granicach 750-860 mg/100 g [32,44]. Nasiona szaławii hiszpańskiej zawierają również stosunkowo dużo wapnia – w 100 g nasion znajduje się 560-770 mg tego pierwiastka, czyli ponad 5 razy więcej niż w 100 g mleka krowiego oraz 10-20 razy więcej niż w ziarnach zbóż, takich jak pszenica, ryż czy owies [32,44]. Zawartość innego pierwiastka z grupy makroelementów – magnezu w 100 g nasion wynosi 325-390 mg, co pokrywa prawie 100% dziennego zapotrzebowania na ten pierwiastek [15,32,44]. Wśród mikroelementów przeważa żelazo, którego ilość zbliża się do 10 mg/100 g; zawartość żelaza w nasionach chia jest zatem dwukrotnie większa niż w pszenicy i trzykrotnie większa niż w szpinaku [32,44].

SUPLEMENTACJA DIETY NASIONAMI CHIA LUB UZYSKANYM Z NICH OLEJEM PODNOSI STĘŻENIE n-3 PUFA W KRĄŻENIU

Dane pochodzące z wielu badań świadczą o tym, że wzrost spożycia PUFA szeregu n-3 – ALA, EPA i DHA – zmniejsza częstość występowania incydentów ser-

cowo-naczyniowych, takich jak zgon z przyczyn sercowo-naczyniowych, zawał serca, udar mózgu czy hospitalizacja z przyczyn sercowo-naczyniowych [49]. Wzbogacenie diety całymi nasionami chia podnosi poziom ALA w krążeniu zarówno u zwierząt laboratoryjnych, jak i u ludzi [4,8,28,34]. W badaniach przeprowadzonych na szczurach 30 dni karmienia dietą zawierającą 16% nasion chia spowodowało 37-krotne zwiększenie stężenia ALA we krwi, przy jednoczesnym obniżeniu poziomu kwasu arachidonowego [4]. Podobne wyniki otrzymano dodając do paszy zmielone nasiona chia lub uzyskany z nich olej [4]. U badanych zwierząt zaobserwowano ponadto znaczny wzrost stężenia EPA (11-15 razy) i DHA (4-6 razy) we krwi, niezależnie od tego, w jakiej postaci – całe, zmielone czy olej – nasiona chia były dodawane do diety [4]. Suplementacja nasionami *S. hispanica* znacznie podnosi stężenia ALA, EPA i DHA we krwi także w szczurzym modelu dyslipidemii i oporności na insulinę spowodowanej karmieniem dietą bogatą w sacharozę, wywołującą obniżenie poziomu n-3 PUFA w krążeniu [8].

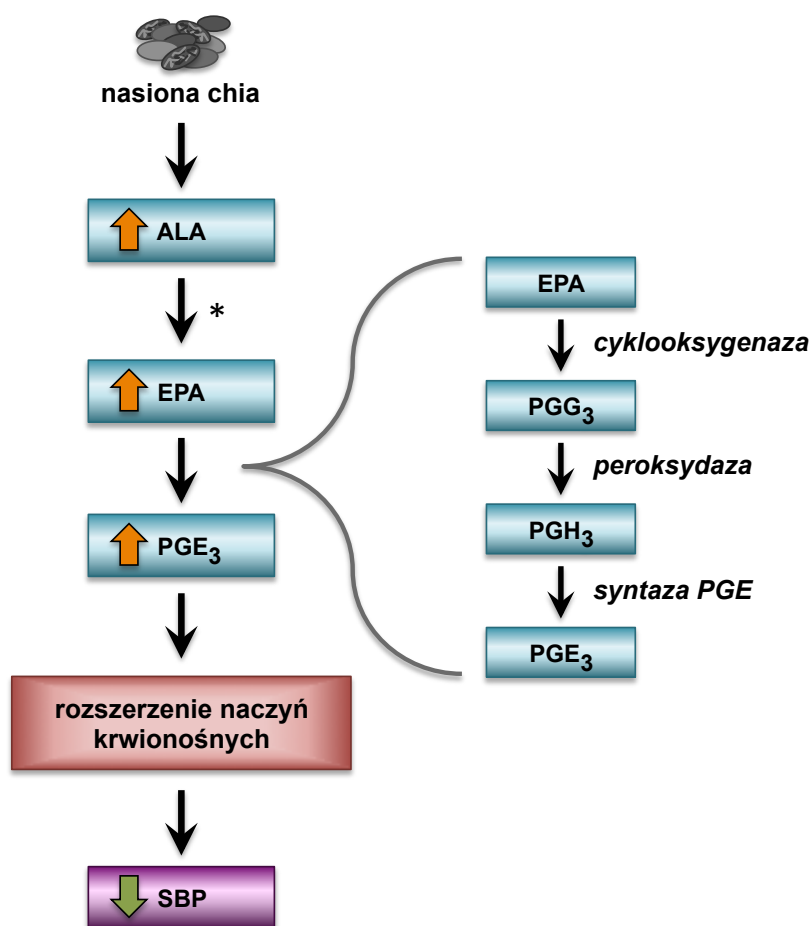
Z dotychczasowych badań z udziałem ludzi wynika, że dodawanie do posiłków całych nasion chia wystarczy, by podwyższyć poziom ALA w krążeniu [28]; natomiast zmielenie nasion przed spożyciem znacznie zwiększa przyswajalność zawartych w nich lipidów i w rezultacie podwyższeniu ulega nie tylko stężenie ALA, ale również powstającego z niego EPA [21,29]. U kobiet po menopauzie – zarówno tych o prawidłowej masie ciała, jak i tych z nadwagą lub otyłością ($BMI \geq 25 \text{ kg/m}^2$) – suplementacja diety zmielonymi nasionami chia (25 g dziennie przez 7-10 tygodni) spowodowała zwiększenie stężenia ALA i EPA we krwi, odpowiednio o 58-138% i 30-39% [21,29]. Takich zmian nie zaobserwowano w grupie otrzymującej placebo ani w grupie stosującej całe nasiona chia w diecie [29]. Obiecujące wyniki uzyskano także u pacjentów z cukrzycą typu 2, u których po 12 tygodniach spożywania nasion chia (w postaci zmielonej lub jako dodatku do pieczywa), dostarczających średnio 7,5 g n-3 PUFA dziennie, dwukrotnie wzrosło stężenie ALA i EPA we krwi [48]. Wykazano ponadto, że wprowadzenie do diety oleju z nasion szalwii hiszpańskiej wywołuje zmiany w składzie fosfolipidów błon erytrocytów – również polegające na kilkakrotnym zwiększeniu ilości ALA i EPA [45].

Jednym z korzystnych efektów podwyższonego stężenia ALA w krążeniu jest wzmożona endogenna synteza DHA, obserwowana u kobiet, które spożywały olej z nasion chia podczas ostatniego trymestru ciąży i pierwszych sześciu miesięcy karmienia piersią [45]. Skutkiem nasilonej syntezy DHA, pojawiającej się po wprowadzeniu do diety oleju z nasion szalwii hiszpańskiej, była zwiększona zawartość tego kwasu w mleku, utrzymująca się przez trzy pierwsze miesiące karmienia [45]. Pobudzenie endogennej syntezy tego długołańcuchowego, wielonienasyconego kwasu tłuszczowego szeregu n-3 jest niezwykle istotne, ponieważ u człowieka, z powodu niskiej aktywności D6D, biosynteza DHA z jego prekursorów –

ALA i EPA – jest procesem bardzo mało wydajnym [35]. Aktywność D6D jest wyższa jedynie u kobiet w okresie reprodukcyjnym, by zapewnić właściwy poziom DHA, niezbędny do prawidłowego rozwoju układu nerwowego dziecka [20].

WPŁYW SUPLEMENTACJI DIETY NASIONAMI CHIA NA PROFIL LIPIDOWY

Wyniki doświadczeń na zwierzętach wskazują, że wzbogacenie diety nasionami szalwii hiszpańskiej może korzystnie wpływać na profil lipidowy [4,8,11,12,24,37]. Poprawa profilu lipidowego jest widoczna już po krótkotrwałej interwencji żywieniowej – w krążeniu szczurów karmionych przez 28 dni paszą zawierającą 52% nasion chia zaobserwowano wzrost stężenia cholesterolu frakcji HDL, a także niższe niż w grupie kontrolnej stężenie TAG oraz cholesterolu frakcji VLDL i LDL [12]. Dodanie tych nasion do diety bogatej w sacharozę, zwiększającej stężenie TAG, NEFA i cholesterolu we krwi, zapobiegło rozwojowi dyslipidemii u szczurów, przywracając wartości kontrolne wymienionych frakcji lipidowych [8,11,37]. Obniżenie stężenia TAG we krwi było wynikiem zmniejszonego uwalniania VLDL przez wątrobę oraz wzmożonego pobierania TAG z krążenia przez narządy i tkanki obwodowe szczurów spożywających dietę z nasionami chia [8]. Molekularny mechanizm tych zmian obejmuje – obserwowane w wątrobie szczurów karmionych paszą z dodatkiem nasion szalwii hiszpańskiej – zahamowanie procesu dojrzewania czynnika transkrypcyjnego SREBP-1, pod kontrolą którego pozostaje ekspresja genów kodujących enzymy lipogenne, a także wzrost ilości receptora aktywowanego przez proliferatory peroksysomów α (PPAR α), regulującego ekspresję genów kodujących enzymy szlaków utleniania kwasów tłuszczowych [37]. Nasiona chia dostarczają ALA, z którego następnie powstają takie metabolity, jak EPA i DHA – te z kolei, przez wpływ na SREBP-1 i PPAR α , mogą wywoływać zmiany aktywności enzymów związanych z metabolizmem lipidów w wątrobie: zapobiegać wzrostowi aktywności głównych enzymów lipogennych, takich jak syntaza kwasów tłuszczowych (FASN), karboksylaza acetylo-CoA (ACC) czy dehydrogenaza glukozy-6-fosforanowa (G6PDH), a jednocześnie stymulować aktywność enzymów kontrolujących utlenianie kwasów tłuszczowych – oksydazy acylo-CoA (ACOX), odpowiedzialnej za rozpoczęcie β -oksydacji długołańcuchowych kwasów tłuszczowych w peroksysomach, i palmitoilotransferazy karnitynowej 1 (CPT-1), ograniczającej napływ kwasów tłuszczowych do mitochondrium [37]. Nasilone utlenianie kwasów tłuszczowych jest prawdopodobnie główną przyczyną zmniejszenia stężenia NEFA w krążeniu szczurów karmionych dietą o dużej zawartości tłuszczu i fruktozy, do której dodano nasiona chia lub uzyskany z nich olej [24]. Sprzyja temu utrzymanie prawidłowego poziomu ekspresji genu kodującego PGC-1 α w mięśniach szkieletowych tych szczurów [24]. Zaobserwowano, że spożywanie diety o dużej zawartości tłuszczu i fruktozy obniża ilość białka PGC-1 α w mięśniach szkieletowych, podczas gdy dodanie nasion chia do tej diety przy-



Ryc. 3. Proponowany mechanizm hipotensyjnego działania nasion szalwii hiszpańskiej. Nasiona chia są bogatym źródłem kwasu α -linolenowego (ALA), z którego może powstać kwas eikozapentaenowy (EPA) – prekursor prostaglandyny E_3 (PGE_3). Podwyższone stężenie PGE_3 w krążeniu prowadzi do rozszerzenia naczyń krwionośnych i obniżenia skurczowego ciśnienia tętniczego (SBP). Cyklooksygenaza i peroksydaza to dwie aktywności syntazy prostaglandyny G/H; PGG_3 – prostaglandyna G_3 , PGH_3 – prostaglandyna H_3 .
* Szlak przemian ALA do EPA przedstawiono na ryc. 2

wraca podstawowy poziom PGC-1 α [24]. Białko PGC-1 α bierze udział w regulacji biogenezy mitochondriów i – jako ważny koaktywator receptora PPAR α – uczestniczy w indukcji ekspresji genów kodujących mitochondrialne enzymy, które występują w szlakach metabolicznych prowadzących do wytwarzania energii w komórce [27]. Suplementacja nasionami *S. hispanica* spowodowała również obniżenie stężenia cholesterolu we krwi badanych zwierząt [8]; jest to prawdopodobnie związane z działaniem dostarczanego przez te nasiona ALA [49], a także z hipocholesterolemicznym działaniem błonnika pokarmowego zawartego w nasionach chia.

U ludzi wpływ spożywania nasion chia na profil lipidowy jest widoczny wyłącznie w przypadku występowania hiperlipidemii; nie jest natomiast obserwowany, gdy wartości stężenia poszczególnych frakcji lipidowych we krwi są prawidłowe. Zastosowanie nasion *S. hispanica* podczas długotrwałej interwencji żywieniowej (50 g całych nasion dostarczających 8,8 g ALA dziennie przez 12 tygodni) nie zmieniło profilu lipidowego u zdrowych osób z nadwagą lub otyłością [28]. Podobnie wprowadzenie nasion chia – dostarczających przez 12 tygodni około 7,5 g n-3 PUFA dziennie – do diety pacjentów z cukrzycą typu 2, lecz o prawidłowych wartościach profilu lipidowego, nie miało

wpływu na stężenie cholesterolu całkowitego, cholesterolu frakcji LDL i HDL, ani na poziom triacylgliceroli we krwi [48]. Zaobserwowano jednak dwukrotnie wyższe stężenie wielonienasyconych kwasów ALA i EPA w krążeniu [48], co wskazuje na zwiększony udział n-3 PUFA w składzie poszczególnych frakcji lipidowych. Podawanie zmieszanych nasion chia, nawet w mniejszych ilościach (25 g dziennie przez 10 tygodni), również podwyższa poziom ALA i EPA we krwi, nie zmienia jednak stężenia frakcji lipidowych u zdrowych – mimo nadwagi lub otyłości – kobiet po menopauzie [29]. Nowsze badania – przeprowadzone z udziałem osób, u których wraz z nadwagą lub otyłością występuje hiperlipidemia – wskazują, że suplementacja diety mąką z nasion szalwii hiszpańskiej (35 g dziennie przez 12 tygodni) wywołuje korzystne zmiany w profilu lipidowym, takie jak obniżenie stężenia cholesterolu całkowitego i cholesterolu frakcji VLDL, przy jednoczesnym zwiększeniu stężenia cholesterolu frakcji HDL we krwi [42].

DZIAŁANIE HIPOTENSYJNE NASION SZALWII HISZPAŃSKIEJ

Suplementacja diety nasionami chia wywołuje efekt hipotensyjny, dotyczący głównie skurczowego ciśnienia tętniczego (SBP). Z badań na zwierzętach wynika, że dodanie nasion chia do diety bogatej w sacharozę, która

u karmionych nią szczurów działa hipertensyjnie, przywraca prawidłowe wartości SBP [11].

U pacjentów z cukrzycą typu 2, którzy przez 12 tygodni spożywali zmielone nasiona chia lub pieczywo z ich dodatkiem, zaobserwowano obniżenie SBP o 9,5% (z początkowego 129 mm Hg do 123 mm Hg); nieznacznie obniżone było również rozkurczowe ciśnienie krwi (DBP) [48]. W nowszych badaniach, którymi objęto pacjentów z łagodnym nadciśnieniem tętniczym (pierwszy stopień nadciśnienia), otyłością brzuszną i hiperlipidemią, dodanie do diety mąki z nasion chia (35 g dziennie) po 12 tygodniach doprowadziło do znacznego obniżenia SBP (ze 146 do 136 mm Hg) i DBP (z 94 do 86 mm Hg), przy czym wpływ suplementacji był widoczny już po 4 tygodniach badań [41]. Obniżenie SBP i DBP wystąpiło zarówno u pacjentów, którzy przyjmowali leki przeciwnadciśnieniowe, jak i tych, którzy nie byli poddani takiemu leczeniu [41,48]; jednak u pacjentów objętych terapią efekt suplementacji nasionami chia był większy i istotny statystycznie – średnie ciśnienie tętnicze (MBP) uległo obniżeniu o 10% – niż u nieleczonych farmakologicznie uczestników badania, u których MBP zostało obniżone o 5,4%, lecz zmiana ta nie była istotna statystycznie z powodu niewielkiego wpływu spożycia nasion chia na DBP [41]. Działanie hipotensyjne nasion szalwii hiszpańskiej wynika prawdopodobnie z tego, że jako bogate źródło ALA dostarczają one substratu do biosyntezy EPA, którego podwyższone stężenie we krwi prowadzi z kolei do wzmożonej syntezy prostaglandyn o działaniu rozszerzającym naczynia krwionośne, takich jak PGE₃ [35]; proponowany mechanizm takiego działania przedstawiono na ryc. 3.

Efekt hipotensyjny związany ze spożywaniem nasion chia jest widoczny zwłaszcza u pacjentów z podwyższonym ciśnieniem tętniczym, którym podawano te nasiona w postaci zmielonej, co zwiększa dostępność błonnika pokarmowego i przyswajalność n-3 PUFA zawartych w nasionach *S. hispanica* [41,48]. Obniżenia SBP nie zaobserwowano natomiast u zdrowych osób z nadwagą lub otyłością, u których wartości ciśnienia tętniczego mieściły się w granicach normy, suplementujących dietę całymi nasionami chia (50 g dziennie przez 12 tygodni) [28]; dodawanie do posiłków zmielonych nasion, ale w mniejszych ilościach (25 g dziennie przez 10 tygodni), skutkowało u badanych osób jedynie tendencją do obniżenia SBP (z początkowego 140 ± 5,2 do 136 ± 4,7 mm Hg) [29].

SUPLEMENTACJA DIETY NASIONAMI CHIA A INNE CZYNNIKI RYZYKA CHOROÓB UKŁADU KRĄŻENIA

Hiperglikemia poposiłkowa związana z opornością na insulinę należy do ważnych czynników ryzyka, zwiększających prawdopodobieństwo wystąpienia zaburzeń układu sercowo-naczyniowego [14]. Długo utrzymujące się zbyt wysokie stężenie glukozy we krwi może być jedną z przyczyn rozwoju nadciśnienia tętniczego. W badaniach wieloosrodkowych, w których brało udział ponad 1300 pacjentów z nieprawidłową tolerancją glukozy, wykazano, że istnieje związek między hiperglikie-

mią poposiłkową a podwyższonym ciśnieniem tętniczym i zwiększoną częstością zdarzeń sercowo-naczyniowych, przy czym jest on niezależny od stężenia glukozy na czczo i widoczny przed pojawieniem się innych objawów cukrzycy typu 2 [14,18].

Suplementacja diety nasionami chia u zwierząt doświadczalnych wywołuje wzrost wrażliwości na insulinę i poprawia tolerancję glukozy; nawet wtedy, gdy nie jest to związane ze zmianami masy ciała i masy tkanki tłuszczowej [8,11,24,34,37]. U szczurów karmionych paszą o dużej zawartości tłuszczu i fruktozy wzbogacenie diety w nasiona chia lub olej z nich otrzymany nie zmniejszyło tempa przyrostu masy ciała i gromadzenia brzusznej tkanki tłuszczowej, jednak znacznie poprawiło tolerancję glukozy i wrażliwość na insulinę, przywracając wartości tych parametrów do obserwowanych w grupie kontrolnej [24]. Wyniki innych badań z zastosowaniem tego typu diety – bogatotłuszczowej i zawierającej dużo fruktozy – wskazują, że dzięki jej suplementowaniu nasionami chia u szczurów obniża się wskaźnik trzewnej tkanki tłuszczowej, a jednocześnie zwiększa się wrażliwość tkanek na insulinę [34]. Podobny był wynik doświadczeń przeprowadzonych na szczurzym modelu dyslipidemii z towarzyszącą insulinoopornością – dodanie nasion *S. hispanica* do diety bogatej w sacharozę nie zahamowało wprawdzie nadmiernego przyrostu masy ciała, lecz spowolniło przyrost trzewnej tkanki tłuszczowej oraz zapobiegło rozwojowi hiperglikemii i oporności na insulinę, związanych ze spożywaniem tej diety [8,11,37].

Zastosowanie nasion chia w badaniach opartych na interwencji żywieniowej u ludzi prowadzi do obniżenia poziomu glikemii poposiłkowej, nie ma natomiast wpływu na stężenie glukozy we krwi na czczo; nie zmienia też BMI [28,29,42,47]. U osób otyłych (BMI ≥ 30 kg/m²) lub z nadwagą (BMI 25-29,9 kg/m²), lecz o prawidłowym stężeniu glukozy we krwi, suplementacja diety przez 10-12 tygodni całymi lub zmielonymi nasionami chia (25-50 g dziennie) nie wywołała istotnych zmian BMI ani poziomu glikemii na czczo [28,29]. Zbliżone wyniki uzyskano u osób z nadwagą lub otyłością oraz hiperlipidemią, wzbogacając posiłki mąką z nasion chia (35 g dziennie) – po 12 tygodniach takiej interwencji żywieniowej stężenie glukozy na czczo – zarówno w grupie o prawidłowej, jak i podwyższonej glikemii – pozostało bez zmian; nie stwierdzono także różnic w BMI [42]. Zmielone nasiona chia lub pieczywo z ich dodatkiem, podawane przez 12 tygodni pacjentom z cukrzycą typu 2 i nadwagą (BMI 28 ± 4 kg/m²), nie spowodowały zmian glikemii na czczo, nie zmienił się też wskaźnik BMI [48]. Nasiona chia zastosowane jako dodatek do pieczywa przyczyniają się natomiast do zmniejszenia stężenia glukozy w krążeniu po posiłku – w badaniach przeprowadzonych z udziałem zdrowych osób o prawidłowej masie ciała (BMI 22,2 ± 1,3 kg/m²) po spożyciu chleba zawierającego te nasiona zaobserwowano obniżenie glikemii poposiłkowej, przy czym wpływ na poziom glikemii był tym większy, im większa była zawartość nasion chia w pieczywie [47].

Współczesna dieta zachodnia obfituje w tłuszcze o dużej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych oraz w łatwo przyswajalne węglowodany – szczególnie fruktozę; od pewnego czasu obserwuje się, że nadmierna podaż wymienionych składników pokarmowych jest związana z podwyższonymi stężeniami wskaźników stanu zapalnego [16]. Jak wykazano doświadczalnie, proces zapalny wywołany spożywaniem diety zawierającej duże ilości tłuszczów i fruktozy może doprowadzić do niekorzystnych zmian strukturalnych w mięśniu sercowym, takich jak przerost i włóknienie lewej komory, co upośledza jej kurczliwość [34]. Wielonienasyconym kwasom tłuszczowym szeregu n-3 przypisuje się działanie przeciwzapalne [16,49]. Z badań opartych na interwencji żywieniowej u ludzi oraz z doświadczeń na zwierzętach wynika, że wprowadzenie do diety nasion chia, bogatych w ALA – kwas należący do szeregu n-3, obniża stężenie markera stanu zapalnego – białka C-reaktywnego (CRP) we krwi [34,48]. W badaniach przeprowadzonych na szczurach karmionych dietą bogatą w tłuszcze i fruktozę zaobserwowano ponadto, że suplementacja tej diety nasionami chia odwraca związane ze stanem zapalnym zmiany w obrębie mięśnia sercowego – zmniejszyła się masa lewej komory i względna grubość jej ścian, zmalało także śródmięższowe odkładanie kolagenu i sztywność rozkurczowa lewej komory, a tym samym poprawiły się wskaźniki jej funkcji – frakcja skracania i czas deceleracji fali wczesnego napływu mitralnego [34]. Korzystny wpływ dostarczanych z pożywieniem nasion chia zauważono również u szczurów karmionych dietą o dużej zawartości sacharozy, u których doszło do nadmiernego nagromadzenia lipidów, głównie triacylogliceroli, w mięśniu sercowym – dodanie nasion chia do tej diety doprowadziło do znacznego obniżenia ilości lipidów w sercu i przywrócenia ich poziomu do bliskiego normie [11].

Potwierdzeniem kardioprotekcyjnego działania ALA są wyniki badań epidemiologicznych, które wskazują, że zwiększone spożycie tego kwasu tłuszczowego może istotnie zmniejszać zagrożenie chorobami układu sercowo-naczyniowego (CVD) [1,31]. Analiza danych pochodzących od 76763 pielęgniarek, obejmująca lata

1984-2002 – jako część przeprowadzonego w USA, wieloosrodkowego, prospektywnego badania „Nurses’ Health Study” – wykazała, że ALA spożywany w ilości 1,16-1,39 g dziennie obniża ryzyko wystąpienia naglej śmierci sercowej (SCD) o 38-40%, niezależnie od spożycia innych kwasów tłuszczowych szeregu n-3, EPA i DHA [1]. Podobne wnioski można wyciągnąć z metaanalizy sześciu prospektywnych badań kohortowych, uwzględniających dane dotyczące ponad 150 tysięcy osób, w której wykazano, że zwiększenie spożycia ALA o 1 g dziennie wiąże się z niższym o 10% zagrożeniem śmiercią z powodu choroby niedokrwiennej serca (CHD) [31].

UWAGI KOŃCOWE

Zaburzenia układu sercowo-naczyniowego należą obecnie do najbardziej rozpowszechnionych przewlekłych chorób niezakaźnych, są też najczęstszą przyczyną zgonów w krajach wysokorozwiniętych. Z wielu badań wynika, że zawarte w diecie PUFA szeregu n-3, takie jak ALA, EPA i DHA, wykazują działanie przeciwmiażdżycowe i kardioprotekcyjne – kwasy te powodują zmniejszenie stężenia triacylogliceroli w krążeniu, korzystnie wpływają na funkcjonowanie śródbłonna naczyń, przyczyniają się do obniżenia ciśnienia krwi, przypisuje im się także działanie przeciwartmicyczne. Biorąc pod uwagę dobroczynny wpływ PUFA szeregu n-3 na układ sercowo-naczyniowy, nasiona *S. hispanica*, jako najbogatsze z dotychczas poznanych roślinnych źródeł ALA – prekursora w szlaku biosyntezy EPA i DHA, można uznać za wartościowe uzupełnienie diety, tym bardziej że zastosowanie tych nasion w interwencji żywieniowej poprawia profil lipidowy u osób z hiperlipidemią, wywołuje efekt hipotensyjny u pacjentów z podwyższonym ciśnieniem tętniczym, a także obniża poziom glikemii poposiłkowej i stężenie markera stanu zapalnego – białka CRP we krwi.

PODZIĘKOWANIE

Autorzy dziękują pani Aleksandrze Hołowacz za przygotowanie wstępnego przeglądu piśmiennictwa.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Albert C.M., Oh K., Whang W., Manson J.E., Chae C.U., Stampfer M.J., Willett W.C., Hu F.B.: Dietary α -linolenic acid intake and risk of sudden cardiac death and coronary heart disease. *Circulation*, 2005; 112: 3232-3238
- [2] Álvarez-Chávez L.M., Valdivia-López M.A., Aburto-Juárez M.L., Tecante A.: Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Int. J. Food Prop.*, 2008; 11: 687-697
- [3] Ayerza R.Jr., Coates W.: Chia. Rediscovering a forgotten crop of the Aztecs. The University of Arizona Press, Tucson, USA, 2005
- [4] Ayerza R.Jr., Coates W.: Effect of dietary α -linolenic fatty acid derived from chia when fed as ground seed, whole seed and oil on lipid content and fatty acid composition of rat plasma. *Ann. Nutr. Metab.*, 2007; 51: 27-34
- [5] Ayerza R., Coates W.: Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Ind. Crops Prod.*, 2011; 34: 1366-1371
- [6] Blasbalg T.L., Hibbeln J.R., Ramsden C.E., Majchrzak S.F., Rawlings R.R.: Changes in consumption of omega-3 and omega-6 fatty acids in the United States during the 20th century. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2011; 93: 950-962
- [7] Cahill J.P.: Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae). *Econ. Bot.*, 2003; 57: 604-618
- [8] Chicco A.G., D'Alessandro M.E., Hein G.J., Oliva M.E., Lombardo Y.B.: Dietary chia seed (*Salvia hispanica* L.) rich in α -linolenic acid improves adiposity and normalises hypertriacylglycerolaemia and insulin resistance in dyslipaemic rats. *Br. J. Nutr.*, 2009; 101: 41-50

- [9] Cho H.P., Nakamura M.T., Clarke S.D.: Cloning, expression, and nutritional regulation of the mammalian Δ -6 desaturase. *J. Biol. Chem.*, 1999; 274: 471-477
- [10] Ciftci O.N., Przybylski R., Rudzińska M.: Lipid components of flax, perilla, and chia seeds. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2012; 114: 794-800
- [11] Creus A., Ferreira M.R., Oliva M.E., Lombardo Y.B.: Mechanisms involved in the improvement of lipotoxicity and impaired lipid metabolism by dietary α -linolenic acid rich *Salvia hispanica* L. (Salba) seed in the heart of dyslipemic insulin-resistant rats. *J. Clin. Med.*, 2016; 5: 18
- [12] da Silva B.P., Dias D.M., de Castro Moreira M.E., Toledo R.C., da Matta S.L., Lucia C.M., Martino H.S., Pinheiro-Sant'Ana H.M.: Chia seed shows good protein quality, hypoglycemic effect and improves the lipid profile and liver and intestinal morphology of Wistar rats. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2016; 71: 225-230
- [13] FAO/WHO/UNU expert consultation: Protein and amino acids requirements in human nutrition. WHO Tech. Rep. Ser., 2008; No. 935
- [14] Garber A.J.: Postprandial dysmetabolism and the heart. *Heart Fail. Clin.*, 2012; 8: 563-573
- [15] Gawęcki J.: Żywnienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu. PWN, Warszawa, 2010
- [16] Giugliano D., Ceriello A., Esposito K.: The effects of diet on inflammation. Emphasis on the metabolic syndrome. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2006; 48: 677-685
- [17] Gylling H., Plat J., Turley S., Ginsberg H.N., Ellegård L., Jessup W., Jones P.J., Lütjohann D., Maerz W., Masana L., Silbernagel G., Staels B., Borén J., Catapano A.L., De Backer G. i wsp.: Plant sterols and plant stanols in the management of dyslipidaemia and prevention of cardiovascular disease. *Atherosclerosis*, 2014; 232: 346-360
- [18] Hanefeld M., Pistrosch F., Koehler C., Chiasson J.L.: Conversion of IGT to type 2 diabetes mellitus is associated with incident cases of hypertension: a post-hoc analysis of the STOP-NIDDM trial. *J. Hypertens.*, 2012; 30: 1440-1443
- [19] Jamboonsri W., Phillips T.D., Geneve R.L., Cahill J.P., Hildebrand D.F.: Extending the range of an ancient crop, *Salvia hispanica* L. – a new ω 3 source. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2012; 59: 171-178
- [20] Janssen C.I., Kiliaan A.J.: Long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) from genesis to senescence. The influence of LCPUFA on neural development, aging, and neurodegeneration. *Prog. Lipid Res.*, 2014; 53: 1-17
- [21] Jin F., Nieman D.C., Sha W., Xie G., Qiu Y., Jia W.: Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2012; 67: 105-110
- [22] Loke W.M., Proudfoot J.M., Hodgson J.M., McKinley A.J., Hime N., Magat M., Stocker R., Croft K.D.: Specific dietary polyphenols attenuate atherosclerosis in apolipoprotein E-knockout mice by alleviating inflammation and endothelial dysfunction. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 2010; 30: 749-757
- [23] Malina D.M., Fonseca F.A., Barbosa S.A., Kasmas S.H., Machado V.A., França C.N., Borges N.C., Moreno R.A., Izar M.C.: Additive effects of plant sterols supplementation in addition to different lipid-lowering regimens. *J. Clin. Lipidol.*, 2015; 9: 542-552
- [24] Marineli Rda S., Moura C.S., Moraes É.A., Lenquist S.A., Lollo P.C., Morato P.N., Amaya-Farfan J., Maróstica M.R. Jr.: Chia (*Salvia hispanica* L.) enhances HSP, PGC-1 α expressions and improves glucose tolerance in diet-induced obese rats. *Nutrition*, 2015; 31: 740-748
- [25] Martínez M.L., Curti M.I., Rocca P., Llabot J.M., Pencic M.C., Bodoira R.M., Ribotta P.D.: Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. *Powder Technol.*, 2015; 270: 271-277
- [26] Matthäus B.: The new database *Seed Oil Fatty Acids* (SOFA). *Lipid Technol.*, 2012; 24: 230-234
- [27] Nakamura M.T., Yudell B.E., Loor J.J.: Regulation of energy metabolism by long-chain fatty acids. *Prog. Lipid Res.*, 2014; 53: 124-144
- [28] Nieman D.C., Cayea E.J., Austin M.D., Henson D.A., McAnulty S.R., Jin F.: Chia seed does not promote weight loss or alter disease risk factors in overweight adults. *Nutr. Res.*, 2009; 29: 414-418
- [29] Nieman D.C., Gillitt N., Jin F., Henson D.A., Kennerly K., Shanely R.A., Ore B., Su M., Schwartz S.: Chia seed supplementation and disease risk factors in overweight women. A metabolomics investigation. *J. Altern. Complement. Med.*, 2012; 18: 700-708
- [30] Olivos-Lugo B.L., Valdivia-López M.Á., Tecante A.: Thermal and physicochemical properties and nutritional value of the protein fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Food Sci. Technol. Int.*, 2010; 16: 89-96
- [31] Pan A., Chen M., Chowdhury R., Wu J.H., Sun Q., Campos H., Mozaffarian D., Hu F.B.: α -Linolenic acid and risk of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2012; 96: 1262-1273
- [32] Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies: Opinion on the safety of 'Chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole Chia seed' as a food ingredient. EFSA J., 2009; 7: 996
- [33] Phillips K.M., Ruggio D.M., Toivo J.I., Swank M.A., Simpkins A.H.: Free and esterified sterol composition of edible oils and fats. *J. Food Compos. Anal.*, 2002; 15: 123-142
- [34] Poudyal H., Panchal S.K., Waanders J., Ward L., Brown L.: Lipid redistribution by α -linolenic acid-rich chia seed inhibits stearoyl-CoA desaturase-1 and induces cardiac and hepatic protection in diet-induced obese rats. *J. Nutr. Biochem.*, 2012; 23: 153-162
- [35] Ratnayake W.M., Galli C.: Fat and fatty acid terminology, methods of analysis and fat digestion and metabolism. A background review paper. *Ann. Nutr. Metab.*, 2009; 55: 8-43
- [36] Reyes-Caudillo E., Tecante A., Valdivia-López M.A.: Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chem.*, 2008; 107: 656-663
- [37] Rossi A.S., Oliva M.E., Ferreira M.R., Chicco A., Lombardo Y.B.: Dietary chia seed induced changes in hepatic transcription factors and their target lipogenic and oxidative enzyme activities in dyslipidaemic insulin-resistant rats. *Br. J. Nutr.*, 2013; 109: 1617-1627
- [38] Sandoval-Oliveros M.R., Paredes-López O.: Isolation and characterization of proteins from chia seeds (*Salvia hispanica* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 2013; 61: 193-201
- [39] Skrzypski J., Bellenger S., Bellenger J., Sinclair A., Poisson J.P., Tessier C., Rialland M., Narce M.: Revisiting delta-6 desaturase regulation by C18 unsaturated fatty acids, depending on the nutritional status. *Biochimie*, 2009; 91: 1443-1449
- [40] Timilsena Y.P., Adhikari R., Barrow C.J., Adhikari B.: Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food Chem.*, 2016; 212: 648-656
- [41] Toscano L.T., da Silva C.S., Toscano L.T., de Almeida A.E., da Cruz Santos A., Silva A.S.: Chia flour supplementation reduces blood pressure in hypertensive subjects. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2014; 69: 392-398
- [42] Toscano L.T., Toscano L.T., Tavares R.L., da Silva C.S., Silva A.S.: Chia induces clinically discrete weight loss and improves lipid profile only in altered previous values. *Nutr. Hosp.*, 2014; 31: 1176-1182
- [43] Traber M.G., Atkinson J.: Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radic. Biol. Med.*, 2007; 43: 4-15
- [44] United States Department of Agriculture: USDA Branded Food Products Database. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/> (04.05.2017)
- [45] Valenzuela R., Bascuñán K., Chamorro R., Barrera C., Sandoval J., Puigredon C., Parraguez G., Orellana P., Gonzalez V., Valenzuela A.: Modification of docosahexaenoic acid composition of milk from

nursing women who received alpha linolenic acid from chia oil during gestation and nursing. *Nutrients*, 2015; 7: 6405-6424

[46] Vázquez-Ovando A., Rosado-Rubio G., Chel-Guerrero L., Betancur-Ancona D.: Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Food Sci. Technol.*, 2009; 42: 168-173

[47] Vuksan V., Jenkins A.L., Dias A.G., Lee A.S., Jovanovski E., Rogovik A.L., Hanna A.: Reduction in postprandial glucose excursion and prolongation of satiety: possible explanation of the long-term effects of whole grain Salba (*Salvia hispanica* L.). *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2010; 64: 436-438

[48] Vuksan V., Whitham D., Sievenpiper J.L., Jenkins A.L., Rogovik A.L., Bazinet R.P., Vidgen E., Hanna A.: Supplementation of conventional therapy with the novel grain Salba (*Salvia hispanica* L.) improves major and emerging cardiovascular risk factors in type 2 diabetes. Results of a randomized controlled trial. *Diabetes Care*, 2007; 30: 2804-2810

[49] Wijendran V., Hayes K.C.: Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. *Annu. Rev. Nutr.*, 2004; 24: 597-615

[50] Wu C., Luan H., Zhang X., Wang S., Zhang X., Sun X., Guo P.: Chlorogenic acid protects against atherosclerosis in ApoE^{-/-} mice and promotes cholesterol efflux from RAW264.7 macrophages. *PLoS One*, 2014; 9: e95452

[51] Zancui A.B., de Moraes D.R., da Silva C.M., Santos J.M., Chiavelli L.U., Bittencourt P.R., Eberlin M.N., Visentainer J.V., Cardozo-Filho L., Matsushita M.: Subcritical extraction of *Salvia hispanica* L. oil with N-propane. Composition, purity and oxidation stability as compared to the oils obtained by conventional solvent extraction methods. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2015; 26: 282-289

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów interesów.