

Białka

AGNIESZKA WOŹNIAK, EWA MATCZUK, WOJCIECH KŁYS, LUCYNA PACHOCKA

Definicje

Białka – są to duże wielocząsteczkowe związki (polimery aminokwasów) występujące we wszystkich organizmach. Często wiążą się z małymi cząsteczkami (np. ligandy, koenzymy), z innymi białkami lub innymi makrocząsteczkami (DNA, RNA itp.). Składają się z łańcuchów aminokwasów połączonych ze sobą wiązaniami peptydowymi.

Aminokwasy – cząsteczki składające się z centralnego atomu węgla połączanego z czterema innymi grupami: grupą aminową ($-\text{NH}_2$), grupą karboksylową (przynajmniej jedna $-\text{COOH}$), atomem wodoru i łańcuchem bocznym. Łańcuchy boczne aminokwasów łączą się ze sobą, tworząc połączenia między aminokwasami w łańcuchu i innymi łańcuchami peptydowymi.

Peptydy, oligopeptydy, polipeptydy – peptydy i oligopeptydy są to krótkie łańcuchy aminokwasowe (zwykle od 2 do 50) połączone wiązaniami peptydowymi. Dwa aminokwasy połączone wiązaniem to dipeptyd, od czterech do pięćdziesięciu peptydów to oligopeptydy. Dłuższy łańcuch połączonych aminokwasów (51 lub więcej) jest polipeptydem. Większe polipeptydy lub więcej niż jeden polipeptyd występujące razem są określane mianem białka. Białka wytwarzane wewnątrz komórek składają się z jednego lub więcej polipeptydów.

Wiązanie peptydowe – rodzaj wiązania chemicznego, w którym grupa aminowa jednego aminokwasu wiąże się z grupą karboksylową innego aminokwasu, w wyniku czego powstają dipeptydy, oligopeptydy i polipeptydy.

Budowa

Białko jest podstawowym makroskładnikiem diety człowieka. Pod względem chemicznym białka składają się z węgla, tlenu, azotu, wodoru, siarki i fosforu.

Rozróżniamy białka proste, składające się głównie z aminokwasów, oraz białka złożone, w skład których, oprócz aminokwasów, wchodzi inne składniki. Polipeptydy tworzą plisowane arkusze β lub helisy α , które fałdują się, a między aminokwasami tworzą się wiązania krzyżowe stabilizujące fałdy. Większość białek jest tworzona przez połączenie

polipeptydów. Połączenia krzyżowe nadają peptydom charakterystyczne funkcje i kształt. Przykładem takich grup są: nukleotydy tworzące nukleoproteiny; jony metali: Mg, Fe, Mn, Mo – tworzące metaloproteiny. W wyniku połączenia żelaza i porfiryny powstaje hemoproteina, natomiast fosfoproteiny to grupa białek zbudowanych z części białkowej i kwasu fosforowego związanego estrowo najczęściej z grupą hydroksylową (–OH) aminokwasu: seryny, tyrozyny czy treoniny. Glikoproteiny to białka połączone z oligosacharydami, najczęściej z galaktozą lub mannozą, występują m.in. w osoczu krwi (immunoglobulina). Lipoproteiny są białkowo-tłuszczowymi cząsteczkami odpowiedzialnymi za transport lipidów w organizmie ludzkim. Biochemiczna aktywność białek i ich właściwości zależą od ich indywidualnej struktury, kształtu, wielkości i interakcji z innymi molekułami (1, 2).

Gen to odcinek kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA), który służy jako wzór do syntezy określonego białka, zawierając informacje o jego budowie. Kolejność kodonów (sekwencja trzech nukleotydów) w genie wyznacza kolejność aminokwasów w białku. Część DNA kodująca białko nazywana jest genem kodującym białko (lub kodującym DNA) i jest najmniejszą jednostką odziedziczonej informacji. Wszystkie komórki ciała (z wyjątkiem dojrzałych czerwonych krwinek) zawierają pełny zestaw genów danej osoby, jednak poszczególne komórki wykorzystują tylko niektóre ze swoich genów. Ekspresja genów to proces, w którym komórki wykorzystują geny do produkcji białek. Genom ludzki koduje sekwencje wszystkich 20 aminokwasów w 19 000–20 000 białek występujących w organizmie człowieka, określając wszystkie aspekty struktury i funkcji organizmu. Odsetek genów kodujących białka w odniesieniu do ludzkiego genomu wynosi około 1 %.

Funkcje fizjologiczne

Białko jest uznane za kluczowy składnik diety. Wynika to z faktu wielowątkowo uwarunkowanego metabolizmu białka, którego specyficzną cechą jest obrót białka. Obrót jest wyrazem stale przebiegających dwóch procesów: syntezy i rozpadu. Ponadto białka podlegają stałym, intensywnym interakcjom związanym zarówno z metabolizmem energii, jak i z innymi składnikami odżywczymi. Ze względu na to, że zapotrzebowanie na energię jest nadrzędną potrzebą organizmu, metabolizm białka jest ściśle z nią powiązany. Przy niedostatecznej podaży energii z tłuszczów i węglowodanów dochodzi do wykorzystania białka jako źródła energii, co upośledza gospodarkę białkową.

Białka są podstawowymi strukturalnymi i funkcjonalnymi składnikami każdej komórki ciała człowieka, są niezbędne do rozwoju i procesów wzrastania młodych organizmów, są też regulatorami ekspresji genów, czynią możliwym selektywny transport z i do komórek, umożliwiają odpowiednie reakcje chemiczne i kierują szlakami metabolicznymi. Po uwolnieniu w przewodzie pokarmowym, peptydy pochodzące z białek pokarmowych mogą oddziaływać na procesy trawienne (wydzielanie i transport) lub modulować wchłanianie składników odżywczych (3). Potencjalne zaangażowanie peptydów pochodzących z żywności w regulację procesów trawiennych może być częściowo i pośrednio wyjaśnione poprzez wydzielanie hormonu jelitowego – cholecystokininy, o którym wiadomo, że stymuluje wydzielanie żółci i enzymów trawiennych

trzustki oraz hamuje wydzielanie enzymów w żołądku. Ponadto hormon ten zwiększa motorykę jelit, hamuje opróżnianie żołądka i jest uważany za silny anoreksygeny hormon jelitowy. Białka strukturalne w wyniku rozpadu również wnoszą swoje aminokwasy do tej samej puli. Istnieją pewne wyjątki od tej ogólnej zasady: histydyna w wyniku rozpadu białka mięśniowego jest metylowana i wydalana jako 3-metylohistydyna.

Białka jako biokatalizatory wchodzą w skład wielu układów enzymatycznych, uczestnicząc w regulacji wielu procesów metabolicznych. Białkami są również przeciwciała, które biorą udział w procesach odporności komórkowej i humoralnej organizmu (4). Tworzą immunoglobuliny lub γ -globuliny chroniące organizm przed bakteriami i wirusami. Pełnią też funkcje transportujące tlen z płuc do innych tkanek (hemoglobina), uczestnicząc w regulacji ciśnienia osmotycznego poprzez kontrolę równowagi wodnej w komórkach (albuminy) oraz w przenoszeniu miedzi (ceruloplazmina), żelaza (transferyna) czy wiążące i transportujące retinol (retinol-binding protein – RBP). Białka są elementami kurczliwymi oraz rozkurczowymi mięśni prążkowanych (miozyna, aktyna), biorą udział w naprawie tkanek. Uczestniczą w wiązaniu i pomagają w usuwaniu obcych białek, wirusów i bakterii, stabilizują strukturę kwasów nukleinowych (DNA i RNA) (5).

Białka uczestniczą w procesach widzenia (opsyna), przenosząc bodźce świetlne do zakończeń układu nerwowego.

Buforowe własności i zdolności białek decydują o regulacji równowagi kwasowo-zasadowej, zapewniają optymalne pH krwi.

Zadaniem białek jest także uzupełnianie stałych strat azotu białkowego wynikających z funkcjonowania organizmu: wydalania z moczem (85–90 %), kałem (5–10 %), w trakcie pocenia, złuszczenia naskórka, nabłonka przewodu pokarmowego, w nasieniu, w płynie menstruacyjnym, w wydychanym powietrzu czy związanych ze wzrostem włosów i paznokci. Straty azotu zwiększają się w sytuacjach patologicznych, takich jak na przykład podczas oparzeń skóry, krwotoków czy przetok (1, 2).

Białka są substratami w syntezie wielu hormonów i biologicznie czynnych związków, takich jak: adrenaliny i noradrenaliny, hormonów tarczycy (tyroksyny i trijodotyroniny), serotoniny, histaminy.

Procesy degeneracyjne zachodzą m.in. w wyniku okresów postów, są stymulowane przez uwalnianie adrenaliny i kortyzolu oraz przez wyższy stosunek glukagonu do insuliny we krwi. Niedobór insuliny, występujący wśród osób chorych na cukrzycę insulinozależną, redukuje syntezę białek, natomiast przyspiesza, jak się sądzi, transport niektórych aminokwasów do komórek, co może być bodźcem dla syntezy białek. Podwyższa też dostępność glukozy, przyczyniając się do zmniejszenia zapotrzebowania na aminokwasy jako źródła energii (6, 7, 8).

Estrogeny występujące pod postacią trzech biologicznie czynnych związków (estron, estradiol i estriol) zwiększają m.in. syntezę białek w wątrobie. Ponadto wywołują w pewnym zakresie odkładanie białka.

Glikokortykoidy obniżają ilość białek w większości tkanek, podwyższając jednocześnie stężenie aminokwasów i białek w wątrobie oraz osoczu. Sądzi się, że glikokortykoidy, podwyższając tempo rozkładu białek pozawątrobowych, zwiększają tą drogą ilość aminokwasów dostępnych w płynach ustrojowych. To z kolei pozwala wątrobie syntetyzować spotęgowane ilości wątrobowych białek komórkowych i białek osocza (9).

Tyroksyna (T₄), jeden z głównych hormonów produkowanych przez tarczycę, podwyższa tempo metabolizmu wszystkich komórek, mogąc wywoływać w efekcie zaburzenia w metabolizmie białka. Niedobory żywieniowe tłuszczów lub węglowodanów wywołują szybki rozpad białek i wykorzystanie ich na potrzeby energetyczne. W sytuacji, gdy w organizmie znajduje się wystarczająca ilość węglowodanów oraz tłuszczów i jednocześnie ma miejsce nadmiar aminokwasów, także w płynach pozakomórkowych, tyroksyna może zwiększać tempo syntezy białka. W okresie wzrastania niedobór tyroksyny wywołuje spowolnienie wzrostu wskutek spowolnienia syntezy białka. W rzeczywistości tyroksyna podwyższa tempo zarówno procesów anabolicznych, jak i katabolicznych w odniesieniu do metabolizmu białka.

Białka biorą udział w syntezie ważnych, biologicznie aktywnych związków, takich jak zasady purynowe i pirymidynowe (składniki kwasów nukleinowych i nukleotydów), choliny (składnika fosfolipidów), aminocukrów (składników mukopolisacharydów), porfiryn (hemu), glutationu i kreatyny oraz wielu innych składników uczestniczących w procesach fizjologicznych (1, 6).

Wartość biologiczna białka

Pojęcie zapotrzebowania na białko obejmuje zarówno zapotrzebowanie na azot całkowity, jak i na niezbędne aminokwasy, dlatego zawartość i wykorzystanie przez organizm niezbędnych aminokwasów można uznać za cenne kryteria oceny jakości białka w diecie (10). W ocenie wartości biologicznej białka stosuje się więc podejście oparte na ocenie aminokwasów, polegające na porównaniu zawartości niezbędnych aminokwasów w białku diety z wzorcem odniesienia – białkiem wzorcowym, co do którego zakłada się, że spełnia zapotrzebowanie na niezbędne aminokwasy przy podaży białka odpowiadającej średniemu zapotrzebowaniu na białko. Wzór odniesienia dla niezbędnych aminokwasów wyprowadzono z pomiarów zapotrzebowania na niezbędne aminokwasy (10). Najbliższe białku wzorcowemu są białka jaj oraz mleka kobiecego.

Do często używanych metod chemicznej oceny wartości odżywczej białek należy wskaźnik chemiczny (CS, Chemical Score), nazywany również wskaźnikiem aminokwasu ograniczającego. Definiuje się go poprzez porównanie stosunku niezbędnych aminokwasów badanego białka z białkiem wzorcowym. Aminokwasem ograniczającym wartość odżywczą danego białka jest ten aminokwas, dla którego wskaźnik CS

ma najmniejszą wartość. Uzyskany wynik dla aminokwasu ograniczającego przyjmuje się jako wartość CS dla ocenianego białka.

$$CS = \frac{\text{zawartość aminokwasu (mg) w 1 g białka}}{\text{zawartość tego samego aminokwasu (mg) w 1 g białka wzorcowego}} \times 100$$

CS dla białka wzorcowego wynosi 100. Wartość tego wskaźnika poniżej 100 oznacza, że białko ma co najmniej jeden aminokwas egzogeny obecny w niewystarczającej ilości. CS wyższy lub równy 100 oznacza, że wszystkie niezbędne aminokwasy spełniają minimalne potrzeby organizmu, takie białko jest wysokiej jakości (białko pełnowartościowe) (11). W tabeli 1. przedstawiono zawartość aminokwasów egzogennych białka wzorcowego dla osób powyżej 1. roku życia w porównaniu ze składem aminokwasowym białka wybranych produktów roślinnych i zwierzęcych.

Tabela 1. Porównanie ilości aminokwasów egzogennych (w mg) zawartych w 1 g białka wzorcowego według ekspertów WHO/FAO/UNU (10) i pochodzącego z wybranych produktów zwierzęcych lub roślinnych

Aminokwasy	Białko wzorcowe dla osób dorosłych	Jaja	Fasola biała	Chleb baltonowski	Pomidory
Histydyna	15	23	31	21	21
Izoleucyna	30	59	46	45	26
Leucyna	59	85	84	66	38
Lizyna	45	63	79	26	40
Metionina+cysteina	22	56	21	47	16
Fenylalanina+tyrozyna	38	70	69	58	37
Treonina	23	47	44	32	32
Tryptofan	6	15	11	99	18
Walina	39	69	51	53	30

Oprócz metod chemicznych stosowanych w ocenie wartości odżywczej białka istnieją też metody biologiczne, które zakładają wykorzystanie do badań żywego ustroju. Przykładem takich metod jest wskaźnik wartości biologicznej BV (Biological Value), informujący o ilości azotu, jaka została zatrzymana w organizmie, aby równoważyć bilans azotowy i zaspokoić potrzeby związane z procesami anabolicznymi. BV jest określany na podstawie składu aminokwasowego białka. Najbardziej wartościowe są białka, które dostarczają odpowiednich ilości wszystkich niezbędnych aminokwasów. Innymi przykładami metod biologicznych są: wydajność wzrostowa białka – (PER, Protein Efficiency Ratio), retencja białka netto – (NPR, Net Protein Retention), względna wartość białka – (RPV, Relative Protein Value), wykorzystanie białka netto (NPU, Net Protein Utilisation), wskaźnik bilansu azotowego (K).

Sama wysoka jakość białka jest niewystarczającym parametrem oceny białka, istotna jest też jego strawność.

Strawność jest ilością spożywanego białka, które może być skutecznie dostępne dla organizmu po procesie trawienia i wchłaniania.

Strawność białka możemy mierzyć dwoma metodami: w jelicie krętym lub w kale. Pierwsza metoda jest dokładniejsza, natomiast trudniejsza do zastosowania u ludzi. Metoda druga jest częściej stosowana. Do lat 70. uważano, że azot α -aminowy w diecie jest wchłaniany wyłącznie z jelita cienkiego w postaci wolnych aminokwasów, po hydrolizie białek i peptydów w świetle przewodu pokarmowego. Obecnie wiadomo, że znaczna ilość aminokwasów przenika przez rąbki szczoteczkowe enterocytów w postaci di- i tripeptydów, wzdłuż całego jelita cienkiego, ale których występowanie zmniejsza się od dwunastnicy do jelita krętego.

Na przełomie lat 80. i 90. XX wieku eksperci FAO/WHO jako preferowaną metodę oceny wartości odżywczej białka przyjęli wskaźnik, który łączy cechy wskaźnika CS ze strawnością białka – PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score). Bierze on pod uwagę zarówno niezbędny skład aminokwasów, jak i strawność białka w kale. Przyjmuje on wartości od 0 (białko o złej jakości i/lub niestrawne) do 1,0 (białko o wysokiej jakości i strawne, zapewnia 100 % wszystkich aminokwasów wymaganych w diecie). W przypadku, gdy białko uzyska wartość powyżej 1,0, zaokrągla się ją do 1,0 (10, 12).

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{zawartość aminokwasu (mg) w 1 g badanego białka}}{\text{zawartość aminokwasu (mg) w 1 g białka wzorcowego}} \times \text{strawność}$$

W 2013 roku eksperci FAO opublikowali raport, w którym przedstawili nowy wskaźnik do oceny wartości odżywczej białka – DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score), uwzględniający różną strawność przez organizm ludzki poszczególnych aminokwasów (13). Metoda ta uwzględnia strawność w jelicie krętym każdego aminokwasu i jest uważana za bardziej wiarygodną niż całkowita strawność białka w kale stosowana w PDCAAS (12, 13, 15, 16). Ilość niezbędnych aminokwasów w żywności porównywana jest ze schematem punktacji opartym na zapotrzebowaniu na niezbędne aminokwasy. Produkt spożywczy o wartości DIAAS większej niż 100 uznaje się za bardzo dobre źródło białka. Dobrym źródłem białka jest produkt, którego wartość DIAAS mieści się w przedziale od 75 do 99, natomiast produkt o wartości DIAAS mniejszej niż 75 nie jest dobrym źródłem białka.

$$\text{DIAAS \%} = 100 \times \frac{\text{ilość strawionego niezbędnego aminokwasu (mg) w 1 g spożytego białka}}{\text{ilość tego samego niezbędnego aminokwasu (mg) w 1 g białka wzorcowego}}$$

Obecnie proponowane są nowe metody oceny jakości białka np. zintegrowany wskaźnik aminokwasów egzogennych, EAA-9 (Essential Amino Acid 9) poprzez indywidualną ocenę aminokwasów, jako aktywnych metabolicznie składników odżywczych. Według

autorów zaletą proponowanej metody jest możliwość zapewnienia zaleceń żywieniowych aminokwasów egzogennych dostosowanych do wieku i potrzeb aminokwasowych (17).

Generalnie, struktura aminokwasów pochodzących z białka zwierzęcego jest zbliżona do struktury aminokwasów w komórkach ciała człowieka, z tego względu przyswajalność białek zwierzęcych jest dobra. W przypadku produktów pochodzenia roślinnego zawartość aminokwasów i wzajemne proporcje między nimi uznano za różniące się od występujących w produktach pochodzenia zwierzęcego, co stało się między innymi podstawą do podziału białek na pełnowartościowe i niepełnowartościowe. Pełnowartościowe to znaczy te, które zawierają wszystkie niezbędne aminokwasy w proporcjach, które pozwalają na ich maksymalne wykorzystanie w syntezie białek ustrojowych oraz dla potrzeb wzrostowych młodych organizmów, a także w celu zapewnienia równowagi azotowej w organizmie. Do białek pełnowartościowych należą głównie produkty zwierzęce. Białka niepełnowartościowe są to takie białka, które mają mniejszy efekt anaboliczny ze względu na ich niższą strawność, niższą zawartość niezbędnych aminokwasów (zwłaszcza leucyny) i niedobór innych niezbędnych aminokwasów, takich jak aminokwasy siarkowe lub lizyna, przez co nie są wykorzystane w całości do syntezy białek ustrojowych, do potrzeb wzrostowych i do utrzymania równowagi azotowej.

Do białek niepełnowartościowych zaliczana jest większość białek pochodzenia roślinnego ze względu na mniejszą zawartość niezbędnych, egzogennych aminokwasów: lizyny, tryptofanu, metioniny i waliny. Ich ilość decyduje o jakości białka, zgodnie z pojęciem aminokwasu ograniczającego, czyli takiego, którego jest najmniej w porównaniu do jego zawartości w białku „wzorcowym”.

W przeciwieństwie do białka zwierzęcego, białko roślinne zawiera większą ilość niektórych aminokwasów, które potencjalnie korzystnie wpływają na zdrowie, w szczególności: argininy, cysteiny, glutaminy i glicyny (18, 19).

Źródła białka w żywności

Znaczenie białka jako składnika odżywczego polega na dostarczaniu organizmowi azotu białkowego i określonych rodzajów aminokwasów. Źródłem aminokwasów dla organizmu są zarówno białka pochodzące z diety, z rozpadu białek wewnątrz organizmu, jak i endogennych przemian.

W organizmie człowieka występuje 20 aminokwasów, z czego 9 są to aminokwasy niezbędne, tzw. egzogenne, których organizm ludzki nie potrafi syntetyzować, w związku z czym musi je stale dostarczać z pożywieniem. Należą do nich: walina, izoleucyna, leucyna, lizyna, treonina, fenyloalanina, metionina, histydyna, tryptofan. Wymóg obecności w pożywieniu człowieka aminokwasów egzogennych ma podstawowe znaczenie dla tworzenia prawidłowych struktur białek organizmu oraz dla rozwoju i stanu zdrowia człowieka.

Bogate w białko są produkty pochodzenia zwierzęcego, takie jak: jaja, mleko i produkty mleczne, mięso, ryby (20).

Tabela 2. Zawartość białka w wybranych produktach spożywczych

Białko	
Produkty	g/100 g
Zwierzęce:	
Jaja kurze całe	12,5
Mleko 1,5 %	3,4
Mleko 3,2 %	3,3
Jogurt naturalny	4,3
Skyr naturalny	12,0
Serek wiejski	12,3
Twaróg półtłusty	18,7
Ser edamski	26,1
Mięso wieprzowe gotowane	28,4
Karkówka wieprzowa	18,8
Polędwica wołowa	20,0
Pierś z kurczaka	21,5
Pierś z indyka	19,2
Dorsz	16,5
Łosoś	19,9
Pstrąg	18,6
Roślinne:	
Fasola biała, nasiona suche	21,4
Fasola biała konserwowa	8,2
Fasola czerwona konserwowa	8,0
Ciecierzycza z zalewy	6,3
Groch, nasiona suche	23,8
Groszek zielony gotowany	6,0
Soja, ziarno suche	34,3
Napój sojowy	3,0
Tofu	12,0
Mąka pszenna typ 500	10,1
Chleb zwykły pszenno-żytni	6,1
Bułki grahamki	9,0
Makaron	3,8
Płatki owsiane	11,9
Mąka gryczana	13,1
Kasza jęczmienna	6,9
Ryż biały gotowany	2,3
Kukurydza	3,6
Orzechy laskowe	14,4
Orzechy włoskie	16,0
Orzechy arachidowe	25,7
Orzechy nerkowca	18,2
Masło orzechowe	22,0
Len, nasiona	24,5
Sezam, nasiona	23,2

Źródło: (20).

Spośród produktów roślinnych dużą zawartością białka charakteryzują się suche nasiona roślin strączkowych, w tym soi, soczewicy, fasoli, grochu, produkty zbożowe, takie jak m.in. jęczmień, owies, kukurydza, makaron, ryż, kasza bulgur, a także orzechy włoskie, nerkowce, orzeszki ziemne czy sezam (20, 21). Natomiast warzywa są znacznie uboższe w ten składnik (20). Zawartość białka w przykładowych produktach spożywczych zamieszczono w tabeli 2.

Procesy technologiczne, jakim poddawane są produkty, zanim zostaną przeznaczone do spożycia, mogą wpływać na zawartość poszczególnych aminokwasów i wzajemne proporcje między nimi. Przykładem mogą być procesy zachodzące podczas wypieku chleba, ciast czy obróbki mięsa, takie jak reakcja Maillarda lub nieenzymatyczne brązowienie produktów. Reakcje te redukują między innymi ilość lizyny.

Źródła niezbędnych aminokwasów w żywności

Walina, leucyna i izoleucyna są to aminokwasy rozgałęzione, mające grupę metylową w swoim łańcuchu węglowym. Związki te mają zastosowanie w produkcji metabolitów, które są albo prekursorami lipidów, albo mogą zostać utlenione w cyklu Krebsa (22, 23). Zawartość tych aminokwasów w wybranych produktach spożywczych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zawartość aminokwasów rozgałęzionych w wybranych produktach spożywczych

Walina		Leucyna		Izoleucyna	
Produkty	g/100 g	Produkty	g/100 g	Produkty	g/100 g
Roślinne					
Mąka sojowa pełnotłusta	2,3	Soja, nasiona suche	2,7	Mąka sojowa pełnotłusta	2,2
Algi morskie suszone, spirulina	3,5	Algi morskie suszone, spirulina	5,0	Algi morskie suszone, spirulina	3,2
Zwierzęce					
Ser parmezan	2,6	Ser parmezan	3,7	Ser parmezan	2,0
Ser ementaler pełnotłusty	1,8	Schab pieczony	2,8	Schab pieczony	1,7
Dorsz atlantycki suszony, solony	3,2	Dorsz atlantycki suszony, solony	5,1	Dorsz atlantycki suszony, solony	2,9

Źródło: (23).

Najczęstszymi aminokwasami ograniczającymi wśród aminokwasów niezbędnych są: metionina, tryptofan, lizyna (22).

Lizyna i treonina to dwa niezbędne aminokwasy, których grupa aminowa nie ma udziału w całkowitej puli grup aminowych organizmu. Lizyna jest katabolizowana do acetoacetylo-CoA, który następnie wchodzi do cyklu Krebsa jako acetylo-CoA. Treonina jest prekursorem glukoneogenezy, jest rozkładana do acetylo-CoA po deaminacji (22). Zawartość tych aminokwasów w wybranych produktach spożywczych podano w tabeli 4.

Tabela 4. Zawartość lizyny i treoniny w wybranych produktach spożywczych

Lizyna		Treonina	
Produkty	g/100 g	Produkty	g/100 g
Roślinne			
Mąka sojowa pełnotłusta	3,1	Soja, nasiona suche	1,4
Algi morskie suszone, spirulina	3,0	Algi morskie suszone, spirulina	3,0
Zwierzęce			
Ser parmezan	3,5	Schab pieczony	1,9
Stek wieprzowy smażony	2,8	Pstrąg tęczowy pieczony	1,3
Tuńczyk w oleju	2,6	Kabanosy	1,6

Źródło: (23).

Metionina jest ważnym donorem grup siarkowych. Najlepszym źródłem tego aminokwasu są białka pochodzenia zwierzęcego. Grupy siarkowe są niezbędne do tworzenia mostków dwusiarczkowych, podstawowej struktury białek. Metionina jest ważna dla syntezy karnityny, syntezy glutationu i tauryny (22). Zawartość metioniny w wybranych produktach spożywczych przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Zawartość metioniny w wybranych produktach spożywczych

Metionina	
Produkty	g/100 g
Roślinne	
Orzechy brazylijskie	1,2
Nasiona konopi łuskane	0,9
Zwierzęce	
Ser parmezan	1,0
Schab pieczony	0,9
Łosoś pieczony	0,8

Źródło: (23).

Feniloalanina jest prekursorem tyrozyny, która może być wykorzystywana do produkcji tyroksyny w tarczycy lub do syntezy adrenaliny, noradrenaliny lub dopaminy. Do przekształcenia feniloalaniny w tyrozinę dochodzi przy udziale enzymu wątrobowego, hydroksylazy feniloalaniny. Feniloalanina praktycznie nie występuje w białku kolagenu (22).

Tryptofan jest aminokwasem, którego katabolizm nie wykazuje podobieństwa do szlaków katabolicznych innych aminokwasów. Może on częściowo zostać przekształcony w niacynę. Metabolizm tryptofanu jest zależny od odpowiedniego spożycia witaminy B₆. Jest prekursorem serotoniny, neuroprzekaźnika, pełniącego różnorodne funkcje w regulacji napięcia mięśni gładkich (22).

Histydyna jest aminokwasem szczególnie ważnym dla biosyntezy białek mięśniowych. Ma również znaczenie w szlaku metabolitów jednowęglowych. Jej katabolizm prowadzi do powstania glutaminianu. Dekarboksylacja histydyny prowadzi do powstania histaminy (22). Zawartość feniloalaniny, tryptofanu i histydyny w wybranych produktach spożywczych podano w tabeli 6.

Tabela 6. Zawartość feniloalaniny, tryptofanu i histydyny w wybranych produktach spożywczych

Feniloalanina		Tryptofan		Histydyna	
Produkty	g/100 g	Produkty	g/100 g	Produkty	g/100 g
Roślinne					
Groch, nasiona suche	1,2	Groch, nasiona suche	0,3	Groch, nasiona suche	0,7
Mąka pszenna	0,5	Mąka pszenna	0,1	Mąka pszenna	0,2
Zwierzęce					
Ser parmezan	2,0	Ser parmezan	0,5	Ser parmezan	1,5
Kiełbasa myśliwska sucha	1,2	Kiełbasa myśliwska sucha	0,4	Kiełbasa myśliwska sucha	1,0
Schab pieczony	1,4	Schab pieczony	0,5	Łosoś wędzony	4,2

Źródło: (23).

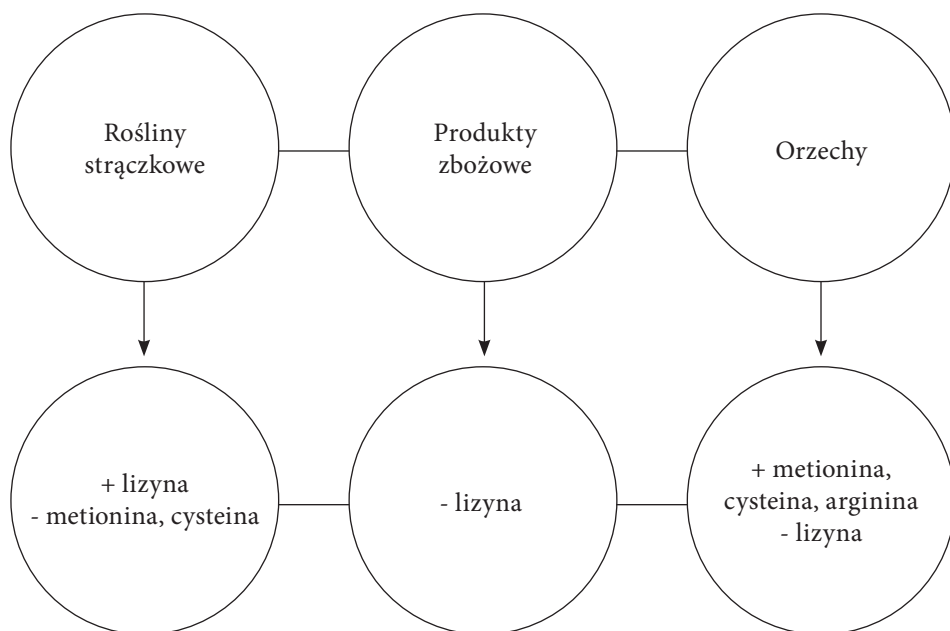
Komplementarność białek w organizmie

Jedną z głównych zasad zdrowego żywienia jest zachowanie różnorodności spożywanych produktów zarówno pochodzenia zwierzęcego, jak i roślinnego. Dzięki temu, w posiłkach zazwyczaj dostarczana jest mieszanina aminokwasów pochodzących z różnych produktów białkowych. W wyniku przebiegu procesów trawienia i wchłaniania organizm może wykorzystać zjawisko uzupełniania aminokwasów, a w konsekwencji

białek i zwiększać w ten sposób wartość odżywczą spożywanego białka, posiłku lub całodzienniej diety. Aminokwas, którego w jednym białku jest niedobór, może występować w większych ilościach w innym białku, spożywanym w podobnym czasie. Efekt uzupełniania aminokwasów powoduje, że ilość białka, która może zostać wykorzystana przez organizm, spożywanego łącznie z różnych produktów spożywczych, jest większa niż w wypadku, gdy produkty te spożywane byłyby oddzielnie. Białka, których skład aminokwasowy może się wzajemnie uzupełniać, to białka komplementarne. Uwzględniając w posiłku różnorodne źródła białka zarówno pochodzenia roślinnego, jak i pochodzenia zwierzęcego, można zwiększać wartość odżywczą diet dzięki uzupełnianiu składu aminokwasów. Białkami komplementarnymi są np. niedoborowe w lizynę białka produktów zbożowych oraz białka produktów mlecznych, które zawierają ten aminokwas w stosunkowo dużej ilości. Mieszanina aminokwasów z różnych rodzajów białek umożliwia pokrycie zapotrzebowania organizmu człowieka na niezbędne aminokwasy. Mechanizm ten wykorzystywany jest w planowaniu diet, co zapewnia prawidłowy metabolizm.

Często uważa się, że białka roślinne mają mniejszą jakość odżywczą ze względu na ich nieoptymalną zawartość aminokwasów (zwłaszcza lizyny), gdy ich jakość jest oceniana pojedynczo przy użyciu metod opartych na koncepcji aminokwasów ograniczających bez uwzględnienia możliwości komplementarności między różnymi źródłami białka. Szeroka różnorodność ich źródeł zarówno konwencjonalnych, jak i nowych białek, pojawiających się na rynku spożywczym, daje jednak potencjalne możliwości ich komplementarności (25, 26). Na ryc. 1. przedstawiono przykład uzupełniania aminokwasów w produktach pochodzenia roślinnego.

Ryc. 1. Efekt uzupełniania aminokwasów w białkach pochodzenia roślinnego



Spożycie białka

Dane pochodzące z reprezentatywnych badań populacyjnych przeprowadzonych w różnych krajach europejskich, w tym Polski, wskazały na duże zróżnicowanie w ilości spożywanego białka w Europie, która, biorąc pod uwagę różne grupy wiekowe, wahała się od 66,9 do 114,3 g/dobę u mężczyzn i od 58,5 do 101,6 g/dobę u kobiet (27). Natomiast udział energii z białka w diecie zarówno u mężczyzn, jak i kobiet, wynosił średnio od około 12 do 20 % całkowitego spożycia energii (27, 28). Dane na temat średniego spożycia białka w przeliczeniu na kg masy ciała są nieliczne i u osób dorosłych wskazały na spożycie wynoszące od 0,8 do 1,25 g/kg masy ciała na dobę. Różnice w wynikach obserwowane między różnymi krajami europejskimi mogą jednak wynikać nie tylko z faktycznych różnic w spożyciu białka, ale też z różnic metodycznych przeprowadzanych badań oraz czasu, w jakich były one prowadzone. Badania te wskazały też na różnice w spożyciu białka związane z wiekiem. U osób w wieku 19–34 lat i 35–64 lata spożycie białka było nieco większe niż u osób w wieku 65 i więcej. W grupach wiekowych 19–34 lata i 35–64 lata wynosiło ono, odpowiednio: 86,2–114,3 g/dobę u mężczyzn i 61,2–101,5 g/dobę u kobiet oraz 84,7–105 g/dobę u mężczyzn i 60,9–101,6 g/dobę u kobiet, a w grupie wiekowej 65 lat i więcej: 66,9–96,7 g/dobę u mężczyzn oraz 58,5–89,5 g/dobę u kobiet, natomiast udział energii z białka w całodiennej diecie był na zbliżonym poziomie (27).

Porównanie spożycia białka u dzieci w różnych krajach europejskich, w tym Polski, również wskazało na duże różnice między poszczególnymi krajami. U dzieci w wieku 1–3 lat średnie spożycie białka wynosiło 35–62,5 g/dobę u chłopców i 34–57,7 g/dobę u dziewczynek, w grupie 4–6 lat: 51–63 g/dobę u chłopców i 46–58 g/dobę u dziewczynek, w grupie 7–9 lat: 55,3–73 g/dobę u chłopców i 51,9–65 g/dobę u dziewczynek. Chłopcy w wieku 10–14 lat spożywali białko średnio w ilości 64,2–99,3 g/dobę a dziewczęta 55,6–81,8 g/dobę, natomiast w wieku 15–18 lat, odpowiednio: 86–116,1 g/dobę i 61–80 g/dobę. Udział energii z białka w całodiennej diecie był również w znacznym stopniu zróżnicowany między poszczególnymi krajami europejskimi. U dzieci w wieku 1–3 lata wynosił on 13–17 % u obu płci, 11–16 % u dziewczynek i 12–16 % u chłopców w wieku 4–6 lat, 12–18 % u dziewczynek i 11–19 % u chłopców w wieku 7–9 lat oraz 12–17 % u dziewczynek i 11–18 % u chłopców w wieku 10–14 lat i 12–18 % u młodzieży w wieku 15–18 lat obu płci. Różnice w spożyciu białka u dzieci i młodzieży z różnych krajów mogą jednak wynikać z różnych przedziałów wiekowych przyjętych w poszczególnych badaniach, nie zawsze dokładnie odpowiadającym przyjętym do porównań (27).

Według badań epidemiologicznych przeprowadzonych w latach 2017–2020 r. przez Warszawski Uniwersytet Medyczny (WUM) w ramach Narodowego Programu Zdrowia (NPZ) średnie spożycie białka przez Polaków w wieku 19–64 lata wynosiło 83,2 g/dobę (96,5 g/dobę u mężczyzn i 70 g/dobę u kobiet) i dostarczało średnio 15,2 % energii z diety (15 % u mężczyzn, 15,3 % u kobiet). Białko zwierzęce dominowało w diecie Polaków – stanowiło 64,3 % spożywanego białka (70 % u mężczyzn i 64,4 % u kobiet). Spożywane było średnio w ilości 52,3 g/dobę (60,6 g/dobę mężczyźni, 44,1 g/dobę kobiety), natomiast roślinne w ilości 29,7 g/dobę (29,7 g/dobę mężczyźni, 24,9 g/dobę kobiety) (29). Podobne wyniki uzyskano w badaniu WOBASZ II przeprowadzonym na reprezentatywnej próbie populacji osób w wieku 20 lat i więcej w latach 2013–2014

w Polsce. W badaniu tym odnotowano średnie spożycie białka u mężczyzn na poziomie 86 g/dobę, a u kobiet 61,4 g/dobę. Natomiast udział energii z białka w diecie wynosił średnio 15,1 % u mężczyzn i 15,4 % u kobiet (30).

Wyniki badania epidemiologicznego przeprowadzonego przez WUM w ramach NPZ u osób w wieku 65 lat i więcej wskazały na średnie spożycie białka u osób badanych na poziomie 82,4 g/dobę u mężczyzn i 67,7 g/dobę u kobiet. U osób w wieku powyżej 75 lat spożycie białka było nieco niższe niż u osób w wieku 65–75 lat (u mężczyzn, odpowiednio: 77 g/dobę i 84,5 g/dobę, u kobiet: 64,2 g/dobę i 69,6 g/dobę). Zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn udział energii z białka w całodziennej diecie wynosił średnio 15,2 %. Jednak u połowy mężczyzn i kobiet stwierdzono, że jest on niższy niż 15 %. Zarówno mężczyźni, jak i kobiety w obu grupach wiekowych spożywali więcej białka zwierzęcego niż roślinnego w proporcji około 1,8 : 1 (31).

Według danych GUS zarówno w roku 2021, jak i 2022 przeciętne dzienne spożycie białka w polskich gospodarstwach domowych wynosiło 68 g/osobę, w tym zwierzęcego 46 g/osobę, a roślinnego 22 g/osobę (32).

W badaniu Górskiej-Warzewicz i wsp. (2018) trzema głównymi źródłami białka w diecie Polaków okazały się: mięso i produkty mięsne (39,0 %), produkty zbożowe (23,9 %) oraz mleko i produkty mleczne (18,1 %). Głównymi kategoriami żywności przyczyniającymi się do spożycia leucyny były: mięso i produkty mięsne (39,9 %), produkty zbożowe (22,1 %) oraz mleko i produkty mleczne (20,0 %). Mięso i produkty mięsne dostarczały 41,3 % izoleucyny w przeciętnej polskiej diecie. Pozostałymi źródłami izoleucyny były produkty zbożowe (21,3 %) oraz mleko i produkty mleczne (19,1 %). Głównymi źródłami waliny były: mięso i produkty mięsne, produkty zbożowe oraz mleko i produkty mleczne, dostarczając 80,3 % całkowitej podaży waliny. Mięso i produkty mięsne dostarczały prawie połowę całkowitego spożycia tego aminokwasu w polskiej diecie. Ta sama grupa spożywcza była źródłem około 46,5 % histydyny oraz prawie 45 % treoniny w przeciętnej polskiej diecie. Tryptofan był dostarczany głównie z mięsa i produktów mięsnych (41,4 %), produktów zbożowych (19,2 %) oraz mleka i produktów mlecznych (18,9 %). Produkty mięsne były źródłem około 35 % fenyloalaniny w przeciętnej polskiej diecie. Źródłem tego aminokwasu były również produkty zbożowe oraz mleko i produkty mleczne. Mięso i produkty mięsne dostarczyły 44,2 % metioniny w przeciętnej polskiej diecie. Kolejnymi dwoma głównymi źródłami tego aminokwasu były produkty zbożowe oraz mleko i produkty mleczne – dostarczały prawie 39 % metioniny (33).

Zapotrzebowanie organizmu na białko

Najbardziej znanymi metodami szacowania zapotrzebowania na białko są: bilans azotowy oraz metoda wskaźnika utleniania aminokwasów IAAO (Indicator Amino Acid Oxidation).

Bilans azotowy to różnica pomiędzy spożyciem azotu a jego ilością wydalaną z moczem, kałem, przez skórę i innymi drogami. U zdrowych dorosłych, którzy są w równowadze energetycznej, zapotrzebowanie na białko definiuje się jako ilość białka w diecie

wystarczającą do osiągnięcia zerowego bilansu azotowego. Za zapotrzebowanie na białko z pożywienia uważa się ilość białka potrzebną do uzupełnienia strat azotu po uwzględnieniu efektywności wykorzystania białka z diety oraz jego jakości (27).

W metodzie IAAO przyjmuje się założenie, że w przypadku istnienia niedoboru minimum jednego aminokwasu egzogenne służącego do procesu syntezy białka, wszystkie inne aminokwasy egzogenne, w tym aminokwas „wskaźnikowy”, zostaną utlenione w celu uzyskania energii. Aminokwas „wskaźnikowy” jest znakowany wersją atomu ^{13}C (zwykle fenyloalanina). W wyniku niewystarczającej podaży białka, izotopowo znakowany aminokwas zostanie utleniony w celu pozyskania energii, co w efekcie spowoduje, że w wydychanym powietrzu pojawi się w postaci CO_2 . Wzrost spożycia białka powoduje coraz mniejsze stężenie ^{13}C w wydychanym powietrzu, z tego względu, że organizm przestaje pozyskiwać energię z białka wskaźnikowego, a zaczyna wykorzystywać je do budowy własnych białek potrzebnych mięśniom i innym tkankom. Punkt, w którym wydychany ^{13}C przestaje się zmniejszać, wskazuje, kiedy organizm otrzymuje wystarczającą ilość niezbędnych aminokwasów do budowy własnych białek (34).

Ustalenie zapotrzebowania na białko jest skomplikowane ze względu na to, że białka podlegają stałym, intensywnym przemianom metabolicznym i interakcjom zarówno z metabolizmem energii, jak i z wieloma innymi składnikami odżywczymi (35).

Oceniając zapotrzebowanie na białko ogółem, należy również wziąć pod uwagę żywieniową klasyfikację aminokwasów, co wiąże się z koniecznością dostarczania organizmowi w spożywanych białkach odpowiedniej i zgodnej z zapotrzebowaniem ilości aminokwasów egzogennych, których organizm człowieka nie potrafi syntetyzować (10, 36). Udział ośmiu egzogennych aminokwasów (u dzieci dodatkowo aminokwasu histydyny) w budowie białek ciała jest niezbędny. Oprócz spełnienia warunku pełnowartościowości odżywczej białek, istnieje wiele innych czynników wpływających na złożony metabolizm białek i aminokwasów i w konsekwencji na wielkość zapotrzebowania człowieka na białko. Do głównych czynników wpływających na wielkość zapotrzebowania organizmu na białko należą (2, 37, 38):

1. **Stan gospodarki energetycznej organizmu.** Zaspokojenie zapotrzebowania na energię jest dla organizmu potrzebą nadrzędną i dostarczanie organizmowi energii decyduje o sposobie wykorzystania białka.
2. **Stan fizjologiczny i wiek.** W organizmach osób młodych, u kobiet w ciąży i podczas laktacji synteza białka przebiega intensywniej, gdyż oprócz odnowy białek tkankowych, muszą być zaspokojone potrzeby związane z budową nowych komórek i z różnicowaniem tkanek. U kobiet w okresie ciąży i laktacji występuje zwiększone zapotrzebowanie na budowę tkanek płodu, błon płodowych i przyrost beztłuszczowej masy ciała matki, a także na zapewnienie odpowiedniej ilości białka w mleku matki. Osobom starszym zaleca się spożywanie odpowiedniej ilości wysokiej jakości białka w celu zachowania beztłuszczowej masy mięśniowej i zwiększenia wydajności mięśni (zapobiegania utracie mięśni z wiekiem).
3. **Stan zdrowia.** Po przebytych chorobach ma miejsce zwiększona synteza białka, co zapewnia pokrycie ubytków beztłuszczowej masy ciała w czasie trwania choro-

by. Ograniczenie spożycia białka jest zalecane u pacjentów z umiarkowaną i ciężką niewydolnością nerek.

4. **Masa ciała.** Dane o wielkości zapotrzebowania na białko i aminokwasy egzogenne prowadzone są do oceny zapotrzebowania na azot białkowy w stanie równowagi azotowej, co wyliczane jest w mg/kg masy ciała na dobę. W ten sam sposób wyliczane są dodatkowe ilości azotu niezbędne do zaspokojenia potrzeb wzrostowych i związanych z dojrzewaniem młodych organizmów.
5. **Aktywność fizyczna.** U osób o dużej aktywności fizycznej wzrasta zapotrzebowanie na białko w związku z koniecznością pokrycia potrzeb związanych z przyrostem beztłuszczowej masy ciała oraz z naprawą uszkodzeń mięśni spowodowanych wysiłkiem fizycznym.
6. **Wartość odżywcza białka.** Określenie jakości, w tym wartości odżywczej białka jest konieczne ze względu na zróżnicowane zdolności spożywanych białek do dostarczenia organizmowi azotu oraz aminokwasów egzogennych w ilościach odpowiadających zapotrzebowaniu.

Ponadto przy ustalaniu normy zapotrzebowania na białko należy brać pod uwagę, że powinna ona:

- odpowiadać potrzebom metabolicznym organizmu (dostosować ilość spożywanych białek do aktualnych potrzeb na azot ogółem i aminokwasy egzogenne),
- uzupełniać straty azotu,
- uwzględniać stan gospodarki energetycznej organizmu,
- uwzględniać jakość spożywanych białek, biorąc pod uwagę ich strawność oraz skład aminokwasowy.

Konsekwencje niedoboru lub nadmiaru białka w organizmie

Niedoborowi białka często towarzyszy niedobór energii i innych składników odżywczych. Niedożywienie białkowo-energetyczne jest jednak rzadkością w krajach rozwiniętych (28, 39). Znacznie częściej występuje w krajach rozwijających się ze względu na mniejszą ilość spożywanej żywności, a także spożycie głównie białka niepełnowartościowego, ubogiego zwłaszcza w lizynę (40).

Niedobór białka powoduje zmniejszenie masy mięśniowej i osłabienie mięśni oraz zmiany we włosach i skórze (28). Osoby o mniejszej masie mięśniowej są mniej odporne na stany stresowe, trudniej wracają do zdrowia po urazach, gorzej rokują w przypadku takich chorób, jak posocznica czy nowotwory (40). Skrajną formą niedożywienia białkowo-energetycznego jest marasmus. Charakteryzuje się on ciężkim wyniszczeniem organizmu, zredukowaną masą ciała (o około 60 % w stosunku do masy prawidłowej w danym wieku), w tym redukcją tkanki tłuszczowej podskórnej oraz masy mięśniowej (nawet o 30 %), wzrostem całkowitej ilości wody w organizmie, pomarszczoną, suchą skórą (41, 42). U dzieci dotkniętych tą chorobą obserwuje się duże zaburzenia rozwoju fizycznego i umysłowego, osłabienie, apatię (41, 43). Marasmus najczęściej dotyka dzieci w wieku poniżej pięciu lat, szczególnie niemowlęta w krajach rozwijających się (44, 45). Może jednak występować również w krajach rozwiniętych, zwłaszcza u osób starszych czy pacjentów onkologicznych (46, 47). Chorobą kojarzoną z głębokim niedożywieniem

białkowym jest kwashiorkor, występujący głównie u dzieci w krajach rozwijających się. Do najczęstszych objawów tej choroby należą: obrzęk ciała prowadzący do charakterystycznego wyglądu „okrągłej twarzy” i wzdęcia brzucha, przebarwienia skóry, wypadanie oraz zaburzenia pigmentacji włosów, zmiany patologiczne w wątrobie (stłuszczenie, zwłóknienie, martwica), zahamowanie wzrostu i rozwoju u dzieci (48, 49). Masa ciała w stosunku do wzrostu może być prawidłowa, ponieważ powodujące obrzęk ciała wywołane hipoalbuminią gromadzenie się płynów rekompensuje utratę tkanki tłuszczowej i mięśniowej (48). Jednakże przyczyny występowania tej choroby nie zostały w pełni poznane. Istnieją hipotezy, że może ona rozwijać się w wyniku niedoboru antyoksydantów w diecie prowadzącego do stresu oksydacyjnego lub spożywania aflatoksyn mających działanie hepatotoksyczne (50).

W krajach rozwiniętych niedobory białka w diecie obserwowane są u osób starszych, co przyczynia się do utraty masy i siły mięśni szkieletowych (sarkopenia). Osoby te narażone są na utratę wydolności fizycznej, co prowadzi do utraty samodzielności, upadków, a niekiedy nawet śmierci (51). Szczególne ryzyko niedoborów białka występuje u osób starszych stosujących dietę wegańską ze względu na niższą biodostępność i funkcjonalność białek w diecie roślinnej, niższą zawartość niezbędnych aminokwasów w białkach występujących w żywności pochodzenia roślinnego (52). Istnieją badania wskazujące na wpływ ilości spożywanego białka przez osoby starsze na występowanie słabości, sprawność fizyczną, masę i siłę mięśni szkieletowych. Przegląd badań przeprowadzonych w latach 2006–2018 obejmujący łącznie 50284 starszych osób dorosłych z trzech różnych kontynentów wykazał, że wysokie spożycie białka było ujemnie związane ze stanem słabości u osób starszych (53). W innym badaniu zaobserwowano, że spożycie białka na poziomie większym lub równym 1,2 g/kg masy ciała na dobę oraz większym lub równym 1,0 g/kg masy ciała na dobę wiąże się z lepszą sprawnością fizyczną kończyn dolnych, w porównaniu ze spożyciem białka mniejszym niż 0,80 g/kg masy ciała na dobę u osób starszych (51). Wykazano również związek między spożyciem białka a masą i siłą mięśni szkieletowych u młodszych osób. Spośród osób dorosłych w średnim wieku 15,6 % mężczyzn i 13,4 % kobiet miało niską beztłuszczową masę ciała, a 3,5 % mężczyzn i 2,3 % kobiet wykazywało osłabienie. Wyższe spożycie białka skorelowane było z większą masą ciała i siłą mięśni szkieletowych (54). Spożycie białka na poziomie bliskim wartościom norm może być niedostateczne w warunkach stresu, przy ograniczeniu wartości energetycznej diety, jak również przy dużej aktywności fizycznej. W takich warunkach proponuje się większe spożycie białka, aby odpowiednio złagodzić utratę lub zwiększyć przyrost beztłuszczowej masy ciała. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że spożycie białka większe niż RDA ustalone dla osób dorosłych przez amerykański Instytut Medycyny (IOM) (0,8 g/kg masy ciała na dobę) korzystnie wpływa na zmiany beztłuszczowej masy ciała w porównaniu ze spożyciem równym wartości RDA (55).

Bardzo duże ilości białka w diecie również mogą być niekorzystne dla zdrowia. Spożycie białka przekraczające ilość potrzebną do syntezy białek ciała i związków azotowych wiąże się ze wzmożonym katabolizmem białka i wykorzystaniem go jako źródła energii lub ze zmagazynowaniem go w postaci tkanki tłuszczowej. Spożywanie dużych ilości białka może powodować hiperkalcurię, która sprzyja występowaniu osteoporozy,

a także zwiększać ryzyko powstawania kamieni nerkowych zbudowanych ze szczawianu wapnia (39).

Wiele badań sugeruje wpływ dużych ilości spożywanego białka na występowanie nadmiernej masy ciała u dzieci. Na podstawie metaanalizy, której celem było zbadanie dowodów na związek między spożyciem białka w diecie u dzieci a wzrostem i ryzykiem nadwagi lub otyłości do 18. roku życia w krajach nordyckich, uznano za prawdopodobne dowody na pozytywny związek między całkowitym spożyciem białka a wartością wskaźnika BMI. Ponadto stwierdzono, że istniały prawdopodobne dowody na związek między wyższym spożyciem białka zwierzęcego a zwiększonym BMI, a także ograniczone, sugestywne dowody na wpływ całkowitego spożycia białka na wyższe ryzyko nadwagi i/lub otyłości, podczas gdy nie można było wyciągnąć wniosków na temat związku między spożyciem białka zwierzęcego i roślinnego a ryzykiem nadwagi i/lub otyłości. Stwierdzono, że dieta wysokobiałkowa w okresie niemowlęcym może być uznana jako czynnik ryzyka nadwagi i otyłości u dzieci (56). Związek między BMI a wcześniejszym i aktualnym spożyciem białka odnotowano również u 4-letnich dzieci obserwowanych od 6 do 18 miesiąca życia (57). W badaniu prospektywnym kohortowym przeprowadzonym w latach 2008–2013 (n=345) i obejmującym wtórną analizę danych programu Melbourne InFANT (Infant Feeding, Activity and Nutrition Trial) oceniono istnienie związku między całkowitym spożyciem białka, białkiem z różnych źródeł (tj. zwierząt niemlecznych, nabiału i roślin) przez dzieci w wieku 9 miesięcy a wartościami wskaźnika BMI tych dzieci w okresie trwającym do 5 roku życia. Wysokie spożycie białka całkowitego, białka zwierzęcego niemlecznego, ale nie białka mlecznego lub roślinnego, w okresie niemowlęcym wiązało się z wyższym wskaźnikiem BMI we wczesnym dzieciństwie (58).

Wyniki badań dotyczące wpływu wysokiego spożycia białka na zwiększenie ryzyka przewlekłych chorób niezakaźnych, takich jak choroby sercowo-naczyniowe, cukrzyca typu 2, nowotwory czy zespół metaboliczny są niejednoznaczne. Często sugerują, że wpływ ten uzależniony jest od rodzaju spożywanego białka (roślinne, zwierzęce) lub nawet konkretnych jego źródeł (białka mleka, jaja). Przegląd systematyczny i metaanaliza badań kohortowych przeprowadzona przez Qi i Shen (2020) wykazały, że ilość białka całkowitego w diecie nie była powiązana z ryzykiem zgonu, ryzykiem rozwoju chorób układu krążenia i raka. Natomiast wyższe spożycie białka roślinnego wiązało się ze zmniejszonym ryzykiem zgonów, w tym zgonów związanych z chorobami układu krążenia. Ponadto zaobserwowano, że wyższe spożycie białka zwierzęcego wiązało się ze zwiększonym ryzykiem zgonu z powodu chorób sercowo-naczyniowych (59). Przegląd systematyczny przeprowadzony przez Naghshi i wsp. (2020) również wskazał na brak związku między spożyciem białka z różnych źródeł a ryzykiem choroby niedokrwiennej serca, ale analiza podgrup spożywanej żywności wykazała mniejsze ryzyko zgonu z powodu chorób sercowo-naczyniowych wraz ze wzrostem spożycia białka roślinnego (60). Chen i wsp. (2020) przedstawili dowody na podstawie prospektywnych badań kohortowych, które sugerują, że całkowite spożycie białka było powiązane ze zwiększonym ryzykiem zgonu, wynikającym głównie ze zwiększonego ryzyka zgonu z powodu chorób sercowo-naczyniowych w wyniku spożycia białka zwierzęcego (61). Lamberg-Allart i wsp. (2022) w swym przeglądzie systematycznym znaleźli

ograniczone, sugestywne dowody na to, że zastąpienie białka zwierzęcego białkiem roślinnym może zmniejszyć ryzyko zgonu z powodu chorób sercowo-naczyniowych (62). Natomiast Mousavi i wsp. 2020 w badaniu prospektywnym nie wykazali związku pomiędzy spożyciem białka z różnych źródeł a ryzykiem chorób układu krążenia (63).

W innym badaniu, którego celem była ocena związku między spożyciem makroskładników a występowaniem czynników ryzyka zespołu metabolicznego u mężczyzn, zaobserwowano, że przy całkowitym spożyciu energii z pożywienia utrzymanym na stałym poziomie, dieta bogata w białko, węglowodany i wielonienasycone kwasy tłuszczowe (PUFA – Polyunsaturated Fatty Acids) obniżała poziom triglicerydów we krwi i ciśnienie krwi, podczas gdy duże spożycie tłuszczu całkowitego i nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA – Saturated Fatty Acids) dawało odwrotny skutek (64).

Przegląd systematyczny i metaanaliza badań obserwacyjnych wykazały, że wysokie spożycie białka całkowitego i zwierzęcego wiąże się ze zwiększonym ryzykiem cukrzycy typu 2 (65). W badaniu China Health and Nutrition Survey prowadzonym u osób dorosłych w latach 2004, 2006, 2009 i 2011 stwierdzono ponad 2-krotnie większe ryzyko zachorowania na tę chorobę u osób o najwyższym spożyciu białka w porównaniu z osobami o najniższym jego spożyciu. Zaobserwowano również, że ryzyko zachorowania na cukrzycę typu 2 było większe u osób spożywających większe ilości jaj (66). Istnieją ograniczone dowody na to, że zastąpienie białka zwierzęcego roślinnym może zmniejszać ryzyko zachorowania na cukrzycę typu 2 (62).

W piśmiennictwie znajdują się również doniesienia sugerujące związek między spożyciem dużych ilości określonych źródeł białka a zdrowiem. Wykazano, że spożycie białka mlecznego może zwiększać ryzyko raka prostaty u mężczyzn, którzy spożywali ponad 30 gramów tego rodzaju białka na dobę. Nie stwierdzono takiej zależności między występowaniem raka prostaty a spożyciem w różnych ilościach białka ogółem, roślinnego czy zwierzęcego (67). Natomiast w badaniu przeprowadzonym u 5171 dorosłych w wieku 40–69 lat w ramach Korean Genome and Epidemiology Study (KoGES) stwierdzono, że wyższe spożycie białka mlecznego obniżało ryzyko wystąpienia niealkoholowego stłuszczenia wątroby u mężczyzn i kobiet w wieku 50 lat (68). Wykazano również istnienie związku między określonymi źródłami białka w diecie a ryzykiem wystąpienia przewlekłej choroby nerek. Duże spożycie czerwonego i przetworzonego mięsa zwiększało to ryzyko, podczas gdy spożycie orzechów, niskotłuszczowych produktów mlecznych i roślin strączkowych chroniło przed rozwojem tej choroby (69).

Istnieją doniesienia dotyczące niekorzystnego wpływu dużego spożycia białka na masę i budowę kości. W badaniu przeprowadzonym u 148 piłkarzy płci męskiej w wieku od 12 do 18 lat zaobserwowano, że wysokie spożycie białka ujemnie wpływało na masę i budowę kości (70).

Zaobserwowano również, że diety bardzo wysokobiałkowe (> 3,4 g/kg masy ciała na dobę) mogą obniżać poziom testosteronu u mężczyzn, natomiast w przypadku diet o zawartości białka w granicach 1,25–3,4 g/kg masy ciała na dobę nie zaobserwowano takiej zależności (71).

Eksperci EFSA w raporcie dotyczącym wartości referencyjnych dla białka przeanalizowali skutki zdrowotne, które mogą być związane z ilością spożywanego białka i uznali, że dostępne dane dotyczące wpływu dodatkowego spożycia białka w diecie przekraczającego wartości PRI (dla osób dorosłych wynoszące 0,83 g/kg masy ciała na dobę) na masę i funkcję mięśni, kontrolę masy ciała i ryzyko otyłości u dzieci i dorosłych, a także wrażliwość na insulinę i homeostazę glukozy nie dostarczają dowodów, które można uwzględnić jako kryterium określania wartości referencyjnych dla białka. Podobnie dostępne dowody nie pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że dodatkowe spożycie białka może wpływać na gęstość mineralną kości i może być stosowane jako kryterium ustalania norm na ten składnik. Zdaniem ekspertów EFSA dostępne dane są niejednoznaczne i niewystarczające do ustalenia górnego tolerowanego poziomu spożycia (UL) dla białka. Obserwowano przypadki ostrego działania niepożądanego w wyniku spożycia białka w ilości dostarczającej 45 % i więcej energii w diecie, natomiast w innych przypadkach bardzo wysokie spożycie białka do 35 % energii w diecie nie wiązało się z działaniami niepożądanymi. U dorosłych spożycie białka dwukrotnie większe od wartości referencyjnego spożycia dla populacji (PRI) uważa się za bezpieczne. Nie zaobserwowano także niekorzystnych skutków ubocznych, ale też korzyści przy spożyciu białka 3–4-krotnie większym niż 0,83 g/kg masy ciała na dobę. U niemowląt bardzo duże spożycie białka stanowiące około 20 % energii z diety może poważnie zaburzyć równowagę wodną, szczególnie przy niskiej podaży płynów i/lub zwiększać pozanerkową utratę wody. W związku z tym, według ekspertów EFSA, należy unikać tak wysokiego spożycia białka w pierwszym roku życia (27, 72).

Zasady opracowania norm na białko

Główną metodą opracowania norm na białko, stosowaną przez wielu ekspertów międzynarodowych i w poszczególnych krajach, jest określenie zapotrzebowania na podstawie bilansu azotowego. Eksperci WHO/FAO/UNU zapotrzebowanie na białko osób dorosłych określili na podstawie wyników metaanalizy badań bilansu azotowego przeprowadzonej przez Randa i in. (2003) (73). Obejmowała ona badania osób o różnej płci, wieku, mieszkających w różnym klimacie, o różnych źródłach spożywanego białka. Za najlepsze oszacowanie średniego zapotrzebowania zdrowych dorosłych uznali wartość 105 mg N/kg masy ciała na dobę, co odpowiada 0,66 g wysokiej jakości białka/kg masy ciała na dobę. Natomiast jako bezpieczny poziom spożycia przyjęto 97,5 centyl rozkładu zapotrzebowania w populacji, co odpowiadało 133 mg N/kg masy ciała na dobę, czyli 0,83 g wysokiej jakości białka/kg na dobę, przy współczynniku zmienności (CV) wynoszącym około 12 % (10). Eksperci EFSA w opracowaniu norm na białko dla osób dorosłych zastosowali podejście ekspertów WHO/FAO/UNU. Wartość 0,66 g/kg masy ciała na dobę przyjęli jako średnie zapotrzebowanie (AR), a wartość 0,83 g/kg masy ciała na dobę jako referencyjne spożycie dla populacji (PRI) obliczone dla białek o wartości PDCAAS równej 1,0. Zdaniem ekspertów EFSA przyjętą przez nich wartość PRI można zastosować do typowych w Europie diet mieszanych. Metaanaliza badań bilansu azotowego Randa i in. (2003) została wykorzystana również przez ekspertów IOM do opracowania norm na białko dla populacji amerykańskiej i kanadyjskiej. Na podstawie jej wyników przyjęli oni wartość EAR dla białka równą 0,66 g/kg masy ciała na dobę, a dla RDA zaokrągloną wartość 0,8 g/kg masy ciała na dobę (74).

Podejście takie zostało wykorzystane do ustalania wartości referencyjnych na białko także przez innych ekspertów, jak np. Niemiec, Austrii i Szwajcarii (75), Francji (ANSES) (76), czy ekspertów krajów nordyckich (28). Wartości norm na białko wyrażone w g/kg masy ciała na dobę ustalone przez tych ekspertów są więc takie same lub bardzo zbliżone do siebie.

Na zapotrzebowanie na białko u niemowląt i dzieci składa się zapotrzebowanie związane z utrzymaniem równowagi azotowej oraz zapotrzebowanie związane ze wzrastaniem. Można je zdefiniować jako minimalne spożycie białka, które zapewni dodatnią równowagę azotu, umożliwiającą wzrastanie u prawidłowo rosnących dzieci o odpowiednim składzie ciała, będących w równowadze energetycznej i mających umiarkowaną aktywność fizyczną (10). Ekspersi WHO/FAO/UNU (2007) zapotrzebowanie na białko u dzieci w wieku od 6 miesięcy i młodzieży do dorosłości określili metodą czynnikową jako sumę zapotrzebowania na utrzymanie równowagi azotowej oraz zapotrzebowania związanego ze wzrastaniem skorygowana o efektywność wykorzystania białka. Jako średnie zapotrzebowanie związane z utrzymaniem równowagi azotowej przyjęto wartość 0,66 g białka na kilogram masy ciała na dobę. Analiza regresji badań bilansu azotu u dzieci w wieku od 6 miesięcy do 12 lat wykazała, że zapotrzebowanie związane z utrzymaniem równowagi azotowej wynosi 110 mg N/kg masy ciała na dobę w tej grupie wiekowej. Jednak ze względu na to, że wartość ta jest bliska wartości zapotrzebowania związanego z utrzymaniem równowagi azotowej u osób dorosłych wynoszącej 105 mg N/kg masy ciała na dobę oraz, że nie można z całą pewnością stwierdzić, czy zapotrzebowanie niemowląt i dzieci związane z utrzymaniem równowagi azotowej różni się od zapotrzebowania dorosłych, jako wartość zapotrzebowania przyjęto 105 mg N/kg masy ciała na dobę. Średnie dobowe zapotrzebowanie na białko w diecie do celów wzrastania zostało oszacowane na podstawie średniego dobowego tempa odkładania się białka, obliczonego na podstawie badań odkładania się potasu w całym organizmie oraz efektywności wykorzystania białka z diety do wzrastania wynoszącej 58 %. Bezpieczny poziom spożycia został oszacowany poprzez dodanie do średniego zapotrzebowania 1,96 SD (odchylenia standardowego) (10). Ekspersi EFSA zastosowali również przyjętą przez ekspertów WHO/FAO/UNU metodę czynnikową do określenia norm na białko dla dzieci i młodzieży. Obliczyli zapotrzebowanie na białko wyrażone w g/kg masy ciała na dobę na poziomie AR i PRI dla dzieci w wieku 6 miesięcy, 1 roku, 1,5 roku, 2 lat i następnie dla każdego kolejnego roku życia aż do 17 lat włącznie. Dodatkowo wartości normy PRI zostały wyrażone w g/dobę z wykorzystaniem do obliczeń referencyjnej masy ciała (27, 72). Podobne podejście do określenia norm na białko zastosowali również eksperci IOM (2005), Niemiec, Austrii i Szwajcarii (75), czy eksperci krajów nordyckich (28), jednak ustalone wartości norm odnoszą się do szerszych przedziałów wiekowych dzieci i młodzieży.

Ekspersi WHO/FAO/UNU zapotrzebowanie na białko dla kobiet w ciąży określili metodą czynnikową, biorąc pod uwagę zapotrzebowanie na nowo odkładające się białko w organizmie płodu i w tkankach matki oraz zapotrzebowanie związane ze zwiększoną masą ciała. Ze względu na niedostatek danych dotyczących kobiet w ciąży oraz małe prawdopodobieństwo zmniejszenia efektywności wykorzystania białka w czasie ciąży w porównaniu z kobietami niebędącymi w ciąży, eksperci przyjęli, że efektywność

wykorzystania białka wynosi 47 %. Jako bezpieczny poziom spożycia dla kobiet w I, II i III trymestrze ciąży eksperci WHO/FAO/UNU przyjęli wartości bezpiecznego poziomu przyjęte dla kobiet niebędących w ciąży powiększone odpowiednio: o 1 g, 10 g, i 31 g na dobę. W przypadku kobiet karmiących eksperci WHO/FAO/UNU wykorzystali metodę czynnikową do określenia zapotrzebowania na białko uwzględniając ocenę objętości produkowanego mleka oraz zawartość w nim azotu białkowego i niebiałkowego, a także obliczenie ilości białka w diecie potrzebnej do produkcji białka mleka. Ponieważ nie jest znana efektywność wykorzystania białka do produkcji białka mleka, założono taką samą efektywność jak u kobiety niekarmiącej (47 %). Obliczyli, że kobieta karmiąca przez 6 miesięcy po porodzie potrzebuje dodatkowo 19 g białka na dobę, a po 6 miesiącach – 13 g na dobę w porównaniu z kobietami niekarmiącymi i niebędącymi w ciąży (10). Eksperci EFSA, opracowując normy na białko dla kobiet w ciąży i karmiących, również oparli się na podejściu ekspertów WHO/FAO/UNU. Dla kobiet w ciąży zaproponowali PRI wyrażone jako dodatek do PRI dla kobiet niebędących w ciąży wynoszący odpowiednio: 1, 9 i 28 g na dobę w pierwszym, drugim i trzecim trymestrze ciąży. W przypadku kobiet karmiących EFSA ustaliła PRI jako dodatek 19 g białka na dobę w ciągu pierwszych sześciu miesięcy karmienia po porodzie (wyłącznie karmienie piersią) i 13 g białka na dobę po sześciu miesiącach (częściowe karmienie piersią) do wartości PRI dla kobiet niekarmiących i niebędących w ciąży (10). Takie same podejście w opracowaniu norm na białko dla kobiet w ciąży i karmiących zastosowali eksperci krajów nordyckich (28). Eksperci Niemiec, Austrii i Szwajcarii (75) ustalili zalecane spożycia dla kobiet w ciąży w drugim i trzecim trymestrze ciąży na poziomie 0,9 i 1,0 g/kg masy ciała na dobę, a dla kobiet karmiących na poziomie 1,2 g/kg masy ciała na dobę. Eksperci IOM ustalili natomiast wartość EAR wynoszącą 0,88 g/kg masy ciała na dobę i RDA 1,1 g/kg masy ciała na dobę dla całego okresu ciąży oraz wartość EAR wynoszącą 1,05 g/kg masy ciała na dobę i RDA 1,3 g/kg masy ciała na dobę dla kobiet karmiących (74).

Zarówno eksperci WHO/FAO/UNU, jak i EFSA oraz IOM uznali, że w przypadku osób starszych zapotrzebowanie na białko jest takie samo jak w młodszych grupach wiekowych osób dorosłych (10, 27, 72, 74). Jednak, według niektórych ekspertów, ze względu na pogorszenie procesów trawienia, zmiany metabolizmu oraz ryzyko pogorszenia funkcjonowania fizycznego w przypadku osób starszych może być optymalne spożycie białka powyżej 0,83 g/kg masy ciała na dobę (28, 72, 75, 77). Eksperci krajów nordyckich w swoim raporcie, poza wartościami norm dla osób dorosłych (AR – 0,66 g/kg masy ciała na dobę i RI – 0,83 g/kg masy ciała na dobę), podają zalecany zakres spożycia białka dla osób starszych wynoszący 1,2–1,5 g/kg masy ciała, czyli około 15–20 % energii w diecie (28, 77). Wyższe normy na białko dla osób starszych zaproponowali również eksperci Niemiec, Austrii i Szwajcarii (75). Ustalili wartości referencyjne na poziomie 0,8 g/kg masy ciała na dobę dla osób dorosłych poniżej 65 lat i 1 g/kg masy ciała dla osób dorosłych w wieku 65 i więcej lat (75). Również eksperci ANSES dla osób dorosłych powyżej 65 lat jako normę na białko przyjęli wartość 1 g/kg masy ciała na dobę, natomiast dla osób dorosłych z młodszych grup wiekowych – 0,83 g/kg masy ciała na dobę (76, 78).

Większe zapotrzebowanie na białko mają osoby uprawiające sport ze względu na większą masę mięśni, jej przyrost podczas treningu, regenerację po urazach, a także zwiększone

wydalanie azotu przez nerki podczas intensywnego wysiłku. Uważa się jednak, że osoby uprawiające sport rekreacyjnie lub stosujące lekki trening nie wymagają więcej białka, a ewentualne zwiększone potrzeby mogą być pokryte poprzez spożycie białka na poziomie RDA. Natomiast dla sportowców trenujących intensywnie dyscypliny wytrzymałościowe lub siłowe eksperci IOM zaproponowali normę wynoszącą od 1,2 do 1,6–1,7 g/kg masy ciała na dobę (74–81).

Poza normami na białko opartymi na bilansie azotowym wyrażonymi w g/kg masy ciała na dobę lub w g na dobę niektórzy eksperci podają zalecany zakres spożycia białka wyrażony jako procentowy udział energii z białka w całodiennej diecie. Optymalna ilość energii pochodzącej z białka powinna mieścić się w zakresie zalecanym dla danego wieku. Eksperci IOM (2005) dla osób dorosłych ustalili akceptowalny zakres spożycia (AMDR) dla białka w granicach 10–35 % energii całodiennej diety (74). Eksperci krajów nordyckich oraz eksperci francuscy z ANSES zalecili osobom dorosłym spożycie białka w węższym zakresie, wynoszącym 10–20 % energii z diety (76). Obie grupy ekspertów uznały, że u osób w starszych grupach wiekowych udział energii z białka w całodiennej diecie powinien być większy niż w przypadku osób w młodszym wieku i ustaliły dla tych osób wyższą dolną granicę proponowanego zakresu. Eksperci krajów nordyckich zaproponowali, aby u osób starszych udział energii z białka mieścił się w granicach 15–20 %, natomiast według ekspertów ANSES w przypadku kobiet po 50. roku życia oraz mężczyzn po 60 roku życia z małą aktywnością fizyczną powinien on wynosić 12–20 % energii z diety (28, 78). Natomiast niższy udział energii z diety eksperci IOM, krajów nordyckich, ANSES zalecają w przypadku dzieci. Im młodsze grupy wiekowe, tym udział energii z białka w całodiennej racji pokarmowej powinien być mniejszy. IOM jako zalecany zakres proponuje 10–30 % energii z białka dla dzieci w wieku 4–18 lat i 5–20 % dla dzieci w wieku 1–3 lata (74). Eksperci krajów nordyckich zalecają, aby udział energii z białka dla dzieci w wieku poniżej 2 lat nie przekraczał 10–15 % energii z diety (28). Natomiast eksperci ANSES podają szczegółowe zalecenia w tym zakresie dla dzieci w sześciu grupach wiekowych (82). Ponadto francuscy eksperci zaproponowali, aby dla kobiet w trzecim trymestrze ciąży i karmiących zalecany zakres wynosił 12–20 % (83).

Normy na białko dla populacji Polski

Normy na białko dla populacji Polski podano w tabelach: 7–11. Zostały one określone na poziomie EAR oraz RDA i wyrażone w gramach na kilogram należnej masy ciała na dobę oraz w gramach na dobę. U osób dorosłych wartości norm na białko zostały przyjęte na podstawie wyników metaanalizy badań bilansu azotowego przeprowadzonej przez Rand i in. (2003) (73). Jako EAR przyjęto medianę zapotrzebowania wynoszącą 105 mg N/kg masy ciała na dobę, co odpowiada wartości 0,66 g białka/kg masy ciała na dobę ($N \times 6,25$). Natomiast wartość RDA odpowiada 97,5. centylowi rozkładu zapotrzebowania populacji zdrowych osób dorosłych wynoszącym 133 mg N/kg masy ciała na dobę, czyli 0,83 g białka/kg masy ciała na dobę przy współczynniku zmienności (CV) wynoszącym około 12 %. Przyjęto wartość PDCAAS dla białka równą 1,0. RDA wynoszące 0,83 g/kg masy ciała na dobę odnosi się nie tylko do białka wysokiej jakości, ale również do białka w dietach mieszanych. Wartości te dotyczą zdrowych osób dorosłych

o prawidłowej masie ciała bez względu na wiek. W polskich normach na białko przyjęto stanowisko WHO/FAO/UNU i EFSA, zgodnie z którym zapotrzebowanie na białko u osób starszych uznaje się za takie samo jak u dorosłych z innych grup wiekowych. Brak jest bowiem wystarczających dowodów naukowych potwierdzających występowanie różnicy w zapotrzebowaniu na białko u tych osób (10, 27, 72). Normy na białko wyrażone w g/dobę obliczono, wykorzystując dane antropometryczne z krajowego badania sposobu żywienia i stanu odżywienia populacji polskiej przeprowadzonego w latach 2019–2020 przez NIZP PZH-PIB (masa ciała odpowiada wartości BMI równej 22 dla wzrostu odpowiadającego wartościom mediany, 10 i 90 centyla u badanych osób dorosłych).

U niemowląt, dzieci i młodzieży normy na białko uwzględniają nie tylko zapotrzebowanie związane z utrzymaniem równowagi azotowej, ale również zapotrzebowanie związane ze wzrastaniem organizmu (bilans azotowy musi być dodatni). Normy na białko dla dzieci i młodzieży w wieku od 6 miesięcy do 18 lat zostały określone metodą czynnikową, opisaną w raporcie WHO/FAO/UNU (2007) i przyjętą również przez ekspertów EFSA (10, 27, 72). Zapotrzebowanie dla osób w tym wieku zostało obliczone jako suma zapotrzebowania związanego z utrzymaniem równowagi azotowej i zapotrzebowania związanego ze wzrastaniem skorygowana o efektywność wykorzystania białka w diecie. Jako średnie zapotrzebowanie związane z utrzymaniem równowagi azotowej przyjęto wartość 0,66 g białka/kg masy ciała na dobę. Średnie dobowe zapotrzebowanie na białko w diecie związane ze wzrastaniem oszacowano na podstawie średniego dobowego tempa odkładania się białka, obliczonego na podstawie badań odkładania się potasu w całym organizmie i skorygowanego o efektywność wykorzystania białka w diecie wynoszącą 58 %. Średnie zapotrzebowanie na białko skorygowano zgodnie z oczekiwaną zmiennością zapotrzebowania związanego z utrzymaniem równowagi azotowej i zapotrzebowania związanego ze wzrastaniem. Dodając do średniego zapotrzebowania 1,96 SD, otrzymano wartości RDA (27, 72). Normy EAR i RDA wyrażone w g/dobę uzyskano poprzez pomnożenie wartości norm wyrażonych w g/kg masy ciała na dobę przez referencyjną masę ciała dla dzieci o określonym wieku i płci. W przypadku dzieci w wieku od 1 do 3 lat wzięto wartości masy ciała odpowiadające wartościom 50 centyla (mediany) masy ciała określonym w standardach wzrastania WHO (84). Dla dzieci i młodzieży w wieku 3–18 lat za referencyjne przyjęto wartości dla masy ciała odpowiadające 50 centylowi (medianie) na siatkach centylowych opracowanych w ramach projektów OLA (2010–2012) i OLAF (2007–2010) obejmujących reprezentatywną dla kraju próbę dzieci i młodzieży (85, 86).

Normy dla kobiet w ciąży, wzorem ekspertów EFSA (27, 72), zostały określone metodą czynnikową (10, 27, 72), uwzględniającą nowo odkładające się białko w organizmie płodu i tkankach matki oraz zapotrzebowanie na utrzymanie równowagi azotowej związanej ze zwiększoną masą ciała, przy założeniu, że efektywność wykorzystania białka wynosi 47 %. Wyrażone są jako dodatkowe ilości białka, które w poszczególnych trymestrach ciąży należy dodać do wartości norm dla kobiet niebędących w ciąży.

W przypadku ustalania norm na białko dla kobiet karmiących uwzględniono dodatkowe zapotrzebowanie związane z produkcją mleka. W tym celu zastosowano metodę

czynnikową uwzględniającą ocenę objętości produkowanego mleka oraz zawartości w nim azotu białkowego i niebiałkowego, a także obliczenia ilości białka w diecie potrzebnej do produkcji białka mleka. Dodatkowe zapotrzebowanie na białko w diecie w okresie laktacji odpowiada ilości białka w diecie równej ilości białka produkowanego w mleku podzielonej przez efektywność wykorzystania białka (10, 27, 72). Podane w raporcie WHO/FAO/UNU (2007) dane dotyczące średniej ilości produkowanego mleka przez dobrze odżywione kobiety karmiące wyłącznie piersią przez pierwsze sześć miesięcy po porodzie i częściowo karmiące piersią w drugim półroczu po porodzie, wraz ze średnimi stężeniami białka i azotu niebiałkowego w mleku kobiecym wykorzystano do obliczenia średniej produkcji białka w mleku. Efektywność wykorzystania białka do produkcji białka mleka jest nieznana, więc przyjęto, że jest taka sama jak w przypadku odkładania się białka u kobiet niekarmiących piersią (47 %). Przyjęto CV na poziomie 12 %. Normę RDA oszacowano poprzez dodanie 1,96 SD.

W poprzednim wydaniu Norm żywienia dla populacji Polski z 2020 r. podano zalecany udział energii z białka w diecie wynoszący 5–15 % dla dzieci w wieku do 2 lat, 10–20 % dla starszych dzieci, młodzieży i dorosłych w wieku do 64 lat oraz 15–20 % dla osób w wieku 65 lat i więcej (38, 39). Zalecenia te zostały opracowane dla celów praktycznych, mając na względzie zapewnienie utrzymania dobrego stanu zdrowia i profilaktykę chorób przewlekłych. Wraz z zaleceniami dotyczącymi innych makroskładników (tłuszcz, węglowodany) pomagają zapewnić właściwe proporcje między ilością energii pochodzącą z tych źródeł. Nie opierają się na bilansie azotowym, natomiast uwzględniają m.in. dane dotyczące spożycia białka.

Tabela 7. Normy na białko dla niemowląt, ustalone na poziomie średniego zapotrzebowania (EAR) i zalecanego spożycia (RDA)

Wiek (miesią- ce)*	Chłopcy					Dziewczynki				
	Masa ciała	EAR		RDA		Masa ciała	EAR		RDA	
		g/kg m.c./ dobę	g/ dobę	g/kg m.c./ dobę	g/dobę		g/kg m.c./ dobę	g/dobę	g/kg m.c./ dobę	g/dobę
6	7,9	1,12	9	1,31	10	7,3	1,12	8	1,31	10
7	8,3	1,12	9	1,31	11	7,6	1,12	9	1,31	10
8	8,6	1,12	10	1,31	11	7,9	1,12	9	1,31	10
9	8,9	1,12	10	1,31	12	8,2	1,12	9	1,31	11
10	9,2	1,12	10	1,31	12	8,5	1,12	10	1,31	11
11	9,4	1,12	11	1,31	12	8,7	1,12	10	1,31	11

* Ukończone miesiące życia.

Tabela 8. Normy na białko dla chłopców w wieku 1–18 lat, ustalone na poziomie średniego zapotrzebowania (EAR) i zalecanego spożycia (RDA)

Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	Masa ciała (kg)	EAR		RDA	
			g/kg m.c./dobę	g/dobę	g/kg m.c./dobę	g/dobę
1	75,7	9,6	0,95	9	1,14	11
2	87,8	12,2	0,79	10	0,97	12
3	96,1	14,3	0,73	10	0,9	13
4	103,3	16,3	0,69	11	0,86	14
5	111,8	19,1	0,69	13	0,85	16
6	118,4	21,6	0,72	16	0,89	19
7	124,6	24,4	0,74	18	0,91	22
8	130,5	27,6	0,75	21	0,92	25
9	136,3	30,8	0,75	23	0,92	28
10	141,5	34,2	0,75	26	0,91	31
11	146,7	38,1	0,75	29	0,91	35
12	152,9	42,7	0,74	32	0,9	38
13	160,2	48,1	0,73	35	0,9	43
14	167,2	53,8	0,72	39	0,89	48
15	172,5	59	0,72	42	0,88	52
16	175,7	63,3	0,71	45	0,87	55
17	177,6	66,9	0,7	47	0,86	58
18	178,7	69,9	0,66	46	0,83	58

Tabela 9. Normy na białko dla dziewcząt w wieku 1–18 lat, ustalone na poziomie średniego zapotrzebowania (EAR) i zalecanego spożycia (RDA)

Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	Masa ciała (kg)	EAR		RDA	
			g/kg m.c./dobę	g/dobę	g/kg m.c./dobę	g/dobę
1	74	8,9	0,95	8	1,14	10
2	86,4	11,5	0,79	9	0,97	11
3	95,1	13,9	0,73	10	0,9	13
4	102,7	16,1	0,69	11	0,86	14
5	110,5	18,7	0,69	13	0,85	16
6	117	21	0,72	15	0,89	19
7	123	23,5	0,74	17	0,91	21
8	129,4	26,6	0,75	20	0,92	24
9	135,2	29,9	0,75	22	0,92	28
10	140,8	33,6	0,75	25	0,91	31
11	147,1	37,9	0,73	28	0,9	34
12	153,8	42,8	0,72	31	0,89	38
13	159,1	47,7	0,71	34	0,88	42
14	162,2	51,3	0,7	36	0,87	45
15	163,7	53,6	0,69	37	0,85	46
16	164,4	55	0,68	37	0,84	46
17	164,7	55,7	0,67	37	0,83	46
18	165,1	56,2	0,66	37	0,83	47

Tabela 10. Normy na białko dla mężczyzn, ustalone na poziomie średniego zapotrzebowania (EAR) i zalecanego spożycia (RDA)

Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	Masa ciała (kg)	EAR		RDA	
			g/kg m.c./dobę	g/dobę	g/kg m.c./dobę	g/dobę
19–29	173	65,8	0,66	43	0,83	55
	179	70,5	0,66	47	0,83	59
	186,5	76,5	0,66	50	0,83	63
30–59	170	63,6	0,66	42	0,83	53
	178	69,7	0,66	46	0,83	58
	185	75,3	0,66	50	0,83	62
60–74	168	62,1	0,66	41	0,83	52
	176	68,1	0,66	45	0,83	57
	183	73,7	0,66	49	0,83	61
≥ 75	167	61,4	0,66	41	0,83	51
	174,5	67	0,66	44	0,83	56
	180	71,3	0,66	47	0,83	59

Tabela 11. Normy na białko dla kobiet, ustalone na poziomie średniego zapotrzebowania (EAR) i zalecanego spożycia (RDA)

Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	Masa ciała (kg)	EAR		RDA	
			g/kg m.c./dobę	g/dobę	g/kg m.c./dobę	g/dobę
19–29	160	56,3	0,66	37	0,83	47
	166,9	61,2	0,66	40	0,83	51
	174	66,6	0,66	44	0,83	55
30–59	160	56,3	0,66	37	0,83	47
	165	59,9	0,66	40	0,83	50
	172	65,1	0,66	43	0,83	54
60–74	158,9	55,5	0,66	37	0,83	46
	165	59,9	0,66	40	0,83	50
	170	63,6	0,66	42	0,83	53
≥ 75	155,1	52,9	0,66	35	0,83	44
	162	57,7	0,66	38	0,83	48
	169	62,8	0,66	41	0,83	52
Kobiety w ciąży*	I trymestr		+ 0,52 g/dobę		+ 1 g/dobę	
	II trymestr		+ 7,2 g/dobę		+ 9 g/dobę	
	III trymestr		+ 23 g/dobę		+ 28 g/dobę	
Kobiety karmiące*	0–6 miesięcy po porodzie**		+ 15 g/dobę		+ 19 g/dobę	
	> 6 miesięcy po porodzie***		+ 10 g/dobę		+ 13 g/dobę	

* Liczone jako dodatek do norm na energię dla kobiet niebędących w ciąży i niekarmiących o prawidłowej masie ciała.

** Wyłączne karmienie piersią.

*** Częściowe karmienie piersią.

Piśmiennictwo

1. Jackson A., *Protein*, [w:] *Essentials of human nutrition*, [red.] J. Man, S. Truswell, Oxford University Press, 2002, 55–78.
2. Pencharz P.B., Young V.R., *Protein and amino acids*, [w:] *Present knowledge in nutrition*, [red.] B. A. Bowman, R. M. Russel, ILSI Press, Washington DC, 2006.
3. Shimizu M., *Food-derived peptides and intestinal functions*, Biofactors. 2004, 21, 43–47.
4. Montout L., Pouillet N., Bambou J.C., *Systematic review of the interaction between nutrition and immunity in livestock: effect of dietary supplementation with synthetic amino acids*, Animals (Basel), 2021, 11, 10, 2813.
5. Sato H., Tsukamoto-Yasui M., Takado Y. i wsp., *Protein deficiency-induced behavioral abnormalities and neurotransmitter loss in aged mice are ameliorated by essential amino acids*, Front. Nutr., 2020, 11, 7–23.
6. Closa-Monasterolo R., Ferré N., Luque V. i wsp., *Childhood Obesity Project Study Group. Sex differences in the endocrine system in response to protein intake early in life*, Am. J. Clin. Nutr., 2011, 94, 6 Suppl., 1920S–1927S.
7. Charlton M., Nair K.S., *Protein metabolism in insulin-dependent diabetes mellitus*, J. Nutr., 1998, 128, 2 Suppl., 323S–327S.
8. Basturk B., Koc Ozerson Z., Yuksel A., *Evaluation of the effect of macronutrients combination on blood sugar levels in healthy individuals*, Iran J. Public. Health, 2021, 50, 2, 280–287.
9. Kuo T., Harris C.A., Wang J.C., *Metabolic functions of glucocorticoid receptor in skeletal muscle*, Mol. Cell. Endocrinol., 2013, 5, 380, 1–2, 79–88.
10. Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. *Protein and amino acid requirements in human nutrition*, World Health Organ Tech. Rep. Ser., 2007, 935, 1–265, back cover. PMID: 18330140.
11. FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization), 1991. *Protein quality evaluation*. Report of the joint FAO/WHO expert consultation, Bethesda, USA, 1989. Rome, 1991, FAO Food and Nutrition Paper, No. 51, 66.
12. Bailey H.M., Stein H.H., *Can the digestible indispensable amino acid score methodology decrease protein malnutrition*, Anim. Front., 2019, 28, 9, 4, 18–23.
13. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) *Dietary protein quality evaluation in human nutrition*. Report of an FAO Expert Consultation, 2011 Auckland, New Zealand, Rome 2013, FAO Food and Nutrition Paper 92.
14. Schaafsma G., *The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)-a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review*, J. AOAC Int., 2005, 88, 3, 988–94.
15. Chandel N.S., *Amino Acid Metabolism*, Cold Spring Harb Perspect. Biol., 2021, 1, 13, 4, a040584.
16. Tian Y, Liu J, Zhang Y. i wsp., *Examination of Chinese habitual dietary protein requirements of Chinese young female adults by indicator amino acid method*. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 2011, 20, 3, 390–6.
17. Forester S.M., Jennings-Dobbs E.M., Sathar S.A., Layman D.K., *Perspective: developing a nutrient-based framework for protein quality*, J. Nutr., 2023, 153, 8, 2137–2146.

18. Young V.R., Pellett P.L., *Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition.*, Am. J. Clin. Nutr., 1994, 59, 5, Suppl, 1203S–1212S.
19. Gilbert J.A., Bendsen N.T., Tremblay A., Astrup A. *Effect of proteins from different sources on body composition.* Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis., 2011, 21, Suppl 2, B16–31.
20. Kunachowicz H., Przygoda B., Nadolna I., Iwanow K., *Tabele składu i wartości odżywczej żywności*, Wyd. 2, PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa, 2017.
21. Gonçalves B., Pinto T., Aires A. i wsp., *Composition of nuts and their potential health benefits-an overview*, Foods, 2023, 23, 12, 5, 942.
22. Jonker R., Engelen M.P., Deutz N.E., *Role of specific dietary amino acids in clinical conditions.* Br. J. Nutr., 2012, 108, Suppl 2, 0, 2, S139–48.
23. USDA, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory USDA *National Nutrient Database for Standard Reference, Legacy*. Version Current, (dostęp 2023) <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>.
24. Lee J.T., Rochell S.J., Kriseldi R. i wsp. *Functional properties of amino acids: improve health status and sustainability*, Poult. Sci., 2023, 102, 1, 102288.
25. Dai Z., Zheng W., Locasale J.W., *Amino acid variability, tradeoffs and optimality in human diet*, Nat. Commun., 2022, 5, 13, 1, 6683.
26. Dimina L., Rémond D., Huneau J.F., Mariotti F., *Combining plant proteins to achieve amino acid profiles adapted to various nutritional objectives-an exploratory analysis using linear programming*, Front. Nutr., 2022, 3, 8, 809685.
27. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), *Scientific opinion on Dietary Reference Values for protein*, EFSA Journal, 2012, 10, 2557.
28. Blomhoff R., Andersen R., Arnesen E.K. i wsp., *Nordic nutrition recommendations 2023*, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2023.
29. Traczyk I. [red.], *Projekt: Przeprowadzenie kompleksowych badań epidemiologicznych dotyczących sposobu żywienia i stanu odżywienia społeczeństwa polskiego ze szczególnym uwzględnieniem osób dorosłych, wraz z identyfikacją czynników ryzyka zaburzeń odżywiania, oceną poziomu aktywności fizycznej, poziomu wiedzy żywieniowej oraz występowania nierówności w zdrowiu, Raport końcowy 2020*.
30. Różańska D., Waśkiewicz A., Regulska-Iłow B. i wsp., *Relationship between the dietary glycemic load of the adult Polish population and socio-demographic and lifestyle factors – results of the WOBASZ II study*, Adv. Clin. Exp. Med., 2019, 28, 7, 891–897.
31. Szostak-Węgierek D. [red.], *Projekt: Przeprowadzenie kompleksowych badań epidemiologicznych dotyczących sposobu żywienia i stanu odżywienia społeczeństwa polskiego ze szczególnym uwzględnieniem osób w wieku podeszłym, wraz z identyfikacją czynników ryzyka zaburzeń odżywiania, oceną poziomu aktywności fizycznej, poziomu wiedzy żywieniowej oraz występowania nierówności w zdrowiu, Raport końcowy 2020*.
32. GUS. *Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*, Główny Urząd Statystyczny. Warszawa 2022. s. 318.
33. Górka-Warsewicz H., Laskowski W., Kulykovets O. i wsp., *Food products as sources of protein and amino acids-the case of Poland*, Nutrients, 2018, 13, 10, 12, 1977.
34. Elango R., Ball R.O., Pencharz P.B., *Indicator amino acid oxidation: concept and application*, J. Nutr., 2008, 138, 2, 243–246.
35. Hruby A., Jacques P.F., *Protein intake and human health: implications of units of protein intake*, Adv. Nutr., 2021, 1, 12, 1, 71–88.

36. Waterlow J.C., *Protein turnover with special reference to man*, Quart. J. Exp. Physiol., 1984, 69, 3, 409–438.
37. Bułhak-Jachymczyk B., *Białko*, [w:] *Normy żywienia człowieka*, [red.] M. Jarosz, B. Bułhak-Jachymczyk, PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa, 2008, 61–90.
38. Jarosz M., Charzewska J., Chwojnowska Z., Wajszczyk B., *Białka*, [w:] *Normy żywienia dla populacji Polski*, [red.] M. Jarosz, Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa, 2017, 40–55.
39. Charzewska J., Jarosz M., Wajszczyk B., Chwojnowska Z., *Białka*, [w:] *Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie*, [red.] M. Jarosz, E. Rychlik., K. Stoś, J. Charzewska, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny, Warszawa, 2020, 48–67.
40. Aggarwal R., Bains K., *Protein, lysine and vitamin D: critical role in muscle and bone health*, Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2022, 62, 9, 2548–2559.
41. Ramírez Prada D., Delgado G., Hidalgo Patiño C.A. i wsp., *Using of WHO guidelines for the management of severe malnutrition to cases of marasmus and kwashiorkor in a Colombia children's hospital*, Nutricion Hospitalaria, 2011, 26, 5, 977–983.
42. Barttrop D., Sandhu B.K., *Marasmus*–1985, P. M. J., 1985, 61, 720, 915–923.
43. Grover, Z., *Protein energy malnutrition*, Pediatric Clinics of North America, 2009, 56, 5, 1055–1068.
44. Ibrahim M.K., Zambruni M., Melby C.L., Melby P.C., *Impact of childhood malnutrition on host defense and infection*, Clin. Microbiol. Rev., 2017, 30, 4, 919–971.
45. Batool R., Butt M.S., Sultan M.T. i wsp., *Protein-energy malnutrition: a risk factor for various ailments*, Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2015, 55, 242–253.
46. Morley J.E., *Anorexia, weight loss, and frailty*, J. A. M. D. A., 2010, 11, 4, 225–228.
47. Kłęk S., Jankowski M., Kruszewski W.J. i wsp., *Standardy leczenia żywieniowego w onkologii*, J. Oncol., 2015, 65, 4, 320–337.
48. Marks R.R., Burgoyne J.R., Davis L.S., *Acute kwashiorkor in the setting of cerebral palsy and pancreatic insufficiency*, Cutis, 2019, 103, 1, E10–E12.
49. WHO (World Health Organization), *International Classification of Diseases ICD-10*, Geneva, 2008.
50. Pham T.P.T., Alou M.T., Golden M.H., Million M., Raoult D., *Difference between kwashiorkor and marasmus: Comparative meta-analysis of pathogenic characteristics and implications for treatment*, Microbial Pathogenesis, 2021, 150, 104702.
51. Phillips S.M., Chevalier S., Leidy H.J., *Protein “requirements” beyond the RDA: implications for optimizing health*, Appl. Physiol. Nutr. Metab., 2016, 41, 5, 565–72.
52. Domic J., Grootswagers P., van Loon L.J.C., de Groot L.C.P.G.M., *Perspective: Vegan Diets for Older Adults? A Perspective on the Potential Impact on Muscle Mass and Strength*, Adv. Nutr., 2022, 1, 13, 712–725.
53. Coelho-Júnior H.J., Calvani R., Tosato M. i wsp., *Protein intake and physical function in older adults: A systematic review and meta-analysis*, Ageing Res. Rev., 2022, 81, 101731.
54. Jun S., Cowan A.E., Dwyer J.T., *Dietary protein intake is positively associated with appendicular lean mass and handgrip strength among middle-aged US adults*, J. Nutr., 2021, 3, 151, 12, 3755–3763.
55. Hudson J.L., Wang Yu, Bergia R.E., Campbell W.W., *Protein intake greater than the RDA differentially influences whole-body lean mass responses to purposeful catabolic*

- and anabolic stressors: a systematic review and meta-analysis*, Adv. Nutr., 2020, 11, 3, 548–558.
56. Arnesen E.K., Thorisdottir B., Lamberg-Allardt C. i wsp., *Protein intake in children and growth and risk of overweight or obesity: a systematic review and meta-analysis*, Food Nutr. Res., 2022, 21, 66.
 57. Ohlund I., Hernell O., Hörnell A., *BMI at 4 years of age is associated with previous and current protein intake and with paternal BMI*, Eur. J. Clin. Nutr., 2010, 64, 2, 138–45.
 58. Zheng M., Yu H-J. He Q-Q. i wsp., *Protein intake during infancy and subsequent body mass index in early childhood: results from the Melbourne InFANT Program*, J. Acad. Nutr. Diet., 2021, 121, 9, 1775–1784.
 59. Qi X-X., Shen P., *Associations of dietary protein intake with all-cause, cardiovascular disease, and cancer mortality: A systematic review and meta-analysis of cohort studies*, Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis., 2020, 30, 7, 1094–1005.
 60. Naghshi S., Sadeghi S., Willett W.C., Esmailzadeh A., *Dietary intake of total, animal, and plant proteins and risk of all cause, cardiovascular, and cancer mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies*, BMJ, 2020, 370, m2412.
 61. Chen Z., Glisic M., Song M. i wsp., *Dietary protein intake and all-cause and cause-specific mortality: results from the Rotterdam study and a meta-analysis of prospective cohort studies*, Eur. J. Epidemiol., 2020, 35, 411–429.
 62. Lamberg-Allardt C., Bärebring, L., Arnesen E. K. i wsp., *Animal versus plant-based protein and risk of cardiovascular disease and type 2 diabetes: A systematic review of randomized controlled trials and prospective cohort studies*, Food Nutr. Res., 2023, 67, 9003.
 63. Mousavi S.M., Jayedi A., Jalilpiran Y., *Dietary intake of total, animal and plant proteins and the risk of coronary heart disease and hypertension: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies*, Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 2022, 62, 5, 1336–1349.
 64. Sekgala M.D., Opperman M., Mpahleni B., Mchiza Z.J.-R., *Association between macronutrient and fatty acid consumption and metabolic syndrome: a South African Taxi Driver Survey*, Int. J. Environ. Res. Public Health, 2022, 19, 15452.
 65. Zhao L.-G., Zhang Q.-L., Liu X.-L. i wsp., *Dietary protein intake and risk of type 2 diabetes: a dose-response meta-analysis of prospective studies*, Eur. J. Nutr., 2019, 58, 4, 1351–1367.
 66. Yuan S., Ming-Wei L., Qi-Qiang H., Larsson S.C., *Egg, cholesterol and protein intake and incident type 2 diabetes mellitus: Results of repeated measurements from a prospective cohort study*, Clin. Nutr., 2021, 40, 6, 4180–4186.
 67. Alzahrani M.A., Ahmad M.S., Alkhamees M. i wsp., *Dietary protein intake and prostate cancer risk in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies*, Complement Ther Med., 2022, 70, 102851.
 68. Lee J.-H., Lee H.S., Ahn S.B., Kwon Y.-J., *Dairy protein intake is inversely related to development of non-alcoholic fatty liver disease*, Clin. Nutr., 2021, 40, 10, 5252–5260.
 69. Haring B., Selvin E., Liang M. i wsp., *Dietary protein sources and risk for incident chronic kidney disease: Results from the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC) study*, J. Ren. Nutr., 2017, 27, 4, 233–242.

70. Bergamo R.R., Pascoa M.A., Hespanhol J.E. i wsp., *Positive association of lean mass and negative association of protein intake on bone mass and bone geometry of adolescent soccer players*, Nutrition, 2023, 105, 111857.
71. Whittaker J., *High-protein diets and testosterone*, Nutr. Health., 2022, 20, 2601060221132922.
72. EFSA, *Dietary Reference Values for nutrients. Summary report*, EFSA supporting publication, 2017, e15121 (update 2019).
73. Rand W.M., Pellett P.L., Young V.R., *Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults*, Am. J. Clin. Nutr., 2003, 77, 1, 109–127.
74. Institute of Medicine (US), *Dietary Reference Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients)*, The National Academies Press, Washington (DC), 2005.
75. Richter M., Baerlocher K., Bauerc J.M. i wsp., *Revised Reference Values for the intake of protein*, Ann. Nutr. Metab., 2019, 74, 242–250.
76. ANSES, *Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the “updating of the PNNS guidelines: revision of the food-based dietary guidelines”*, Maisons-Alfort, 2016.
77. Geirsdóttir O.G., Pajari A.-M., *Protein*, [w:] *Nordic Nutrition Recommendations 2023*, [red.] R. Blomhoff, R. Andersen, E.K. Arnesen i wsp., Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2023, 121–123.
78. ANSES, *Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the updating of the PNNS dietary guidelines for women from menopause and men over 65 years of age*, Maisons-Alfort, 2019.
79. Burke L., *Sport nutrition*, [w:] *Essentials of Human nutrition*, [red.] J. Man, S. Trussell, Oxford University Press, 2002, 541–550.
80. Benardot D., *Żywnienie w sporcie*, [red. wyd. pol.] M. Schlegel-Zawadzka, Z. Szyguła, Edra Urban and Partner, Wrocław, 2019.
81. Włodarek D., *Makroskładniki pokarmowe – białko*, [w:] *Dietetyka sportowa*, [red.] B. Frączek, J. Krzywański, H. Krysztofiak, PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa, 2019, 177–193.
82. ANSES, *Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the updating of the PNNS dietary guidelines for children from four to 17 years of age*, Maisons-Alfort, 2019.
83. ANSES, *Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on the updating of the PNNS dietary guidelines for pregnant or breastfeeding women*, Maisons-Alfort, 2019.
84. World Health Organization (WHO), *WHO Child Growth Standards. Length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age. Methods and development*, Geneva, 2006.
85. Kułaga Z., Grajda A., Gurszkowska B. i wsp., *Polish 2012 growth references for pre-school children*, Eur. J. Pediatr., 2013, 172, 6, 753–761.
86. Kułaga Z., Litwin M., Tkaczyk M. i wsp., *Polish 2010 growth references for school-aged children and adolescents*, Eur. J. Pediatr., 2011, 170, 5, 599–609.

