

ZYGMENT ZDROJEWICZ<sup>1</sup>, SYLWIA WASIUŁ<sup>2</sup>, MONIKA WRÓBEL<sup>2</sup>

## Rola soli w organizmie człowieka oraz fenomen sodowrażliwości i sodooporności

The role of salt in the man organism and phenomenon of sodium sensitivity and sodium resistance

<sup>1</sup>Katedra i Klinika Endokrynologii, Diabetologii i Leczenia Izotopami, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

<sup>2</sup>Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

### KEYWORDS

salt, sodium sensitivity, sodium resistance, medicines, products

### SUMMARY

Table salt is one of the most used spice in the household and is widely used for therapeutic purposes. Vitamins and trace elements added to the salt during production, such as iodine, iron, fluorine and folic acid constitute a prophylaxis of its deficiency in the population. Salt obtained from the Dead Sea is used externally in the treatment of skin diseases, rheumatic diseases, respiratory diseases and allergies. Recommended by the WHO daily dose of salt consumption is 5 g/day. In many countries, as well as in Poland, consumption is exceeding even 2-3 times the recommended standard. Salt is the main source of sodium in the diet, which performs many important functions and is essential for the proper functioning of the human body. However, too high salt intake increases the risk of cardiovascular diseases, autoimmune diseases and diseases of the urinary tract. The influence of salt intake on the development of high blood pressure is not the same in all people, which is evidence for the phenomenon of salt sensitivity. The article widely discusses the role of salt and its oversupply on the man organism, and summarizes the current knowledge on the pathogenesis of salt sensitivity.

### WSTĘP

Sól ma bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach życia, a w gospodarstwie domowym jest jedną z najczęściej stosowanych przypraw. W dawnych czasach należała do trudno dostępnych, a więc drogich towarów. Nazywana była „białym złotem” i służyła jako towar wymienny, a na jej stosowanie mogli pozwolić sobie tylko najbogatsi. W obecnych czasach powszechnie dostępna jest sól różnego pochodzenia. Jest ona głównym źródłem sodu i chloru w diecie, dlatego jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Jednak należy pamiętać, że jej nadmierne spożycie ma niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka.

#### Sól kamienna

Sól kuchenna dostępna jest w handlu w postaci soli kamiennej lub soli warzonej. Sól kamienna jest produktem krystalizacji wód morskich lub słonych jezior. Na świecie głównym źródłem wydobycia soli kamiennej są kopalne złoża solne powstałe w wyniku odparowania dawnych zbiorników

słonej wody, których wiek określany jest na wiele milionów lat. W tych miejscach sól może być pozyskiwana bezpośrednio ze złóż lub poprzez odparowywanie solanek. W Polsce w 2014 roku łącznie wydobyto 4190 tys. ton soli, a największe złoża tego surowca znajdują się na Kujawach, w Wielkopolsce, na Pomorzu oraz na Dolnym Śląsku (1). Niewątpliwie najbardziej znanym źródłem soli w Polsce jest kopalnia w Wieliczce, która funkcjonowała nieprzerwanie od czasów średniowiecza do końca XX wieku. Wokół tego miejsca owiana jest piękna legenda o pierścieniu św. Kingi, a sama kopalnia w 1994 roku została uznana za pomnik historii Polski.

#### Sól warzona

Sól warzona jest produktem wysokoprzetworzonym. Otrzymuje się ją przez oczyszczanie soli kamiennej i w rezultacie pozbawiona jest występujących w niej mikroelementów. Często wzbogaca się ją w substancje przeciwbzdylające oraz inne związki mające ważne znaczenie dla organizmu. Celem wzbogacania soli jest zapobieganie powszechnie

występującym problemom zdrowotnym, głównie w krajach rozwijających się.

Najczęściej stosowanym dodatkiem do soli kuchennej jest jod w postaci jodku potasu lub jodanu potasu. Jodowanie soli kuchennej i jej spożywanie przyczyniło się w znacznym stopniu do zniwelowania chorób wynikających z niedoboru jodu. Zagadnienie to będzie szczegółowo omówione w dalszej części artykułu. W niektórych krajach, głównie w Indiach, stosuje się sól kuchenną wzbogaconą zarówno jodem, jak i żelazem, co ma na celu zapobieganie niedoborom obu pierwiastków. Należy zauważyć, że niedobór żelaza jest jednym z najczęściej występujących problemów zdrowotnych na świecie i przyczyną niedokrwistości z niedoboru żelaza (2). Dodatkiem do soli może być również kwas foliowy, szczególnie ważny dla kobiet w ciąży, gdyż niewystarczające ilości tej witaminy mogą doprowadzić do wystąpienia wad cewy nerwowej u płodu oraz anemii (3). Fluor w odpowiednich ilościach jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania kości i zębów. W ramach profilaktyki próchnicy zębów, w niektórych państwach podjęto decyzję o wzbogacaniu soli kuchennej fluorem, głównie w postaci fluorku potasu. Fluorowana sól jest uważana za ogólnodostępną i najtańszą metodę zapobiegania próchnicy (4). Wielu ludzi po raz pierwszy zetknęło się z fluorem w latach 50., kiedy zaczęto dodawać go do pasty do zębów. W Polsce w latach 60. zaczęto fluoryzować również wodę, a wśród miast, które przystąpiły do tego programu, był m.in. Wrocław.

### Sól morską

Sól morską uważana jest za bardziej wartościową pod względem odżywczym i zdrowszą od popularnej soli kuchennej. Pozyskuje się ją poprzez odparowanie wody z mórz i oceanów, jest solą nierafinowaną, dlatego zawiera wszystkie składniki mineralne znajdujące się w wodzie, mikroskopijne żyłtka morskie i cząstki osadu. Odmienny skład minerałów wynika z różnych źródeł wody i wpływa na smak oraz kolor soli morskiej. Niestety sól pochodząca z mórz i oceanów może zawierać również niewielkie ilości metali ciężkich oraz zanieczyszczeń znajdujących się powszechnie w zbiornikach wodnych.

### Sól himalajska

Krystaliczna sól himalajska wydobywana jest ze złóż w Pakistanie, u podnóża Himalajów, w miejscu, gdzie miliony lat temu znajdował się prehistoryczny ocean. Uważana jest za najzdrowszą i najczystsza sól na świecie. Posiada barwę od białej do jasnoróżowej i ciemnoczerwonej, w zależności od zawartości żelaza. Zawiera wiele cennych minerałów i pierwiastków śladowych, które nie występują w oczyszczonej soli kuchennej oraz pozbawiona jest wzbogaceń chemicznych i zanieczyszczeń często występujących w soli morskiej.

### Spożycie soli w Polsce

Zalecana przez WHO dzienna dawka spożycia soli to 5 g/dobę, co odpowiada płaskiej łyżeczce do herbaty. Normy dotyczące spożycia soli dla dzieci i młodzieży są niższe niż

dla dorosłych i wynoszą 1,9-3,75 g/dobę w zależności od wieku i zapotrzebowania energetycznego dziecka. Spożycie soli w wielu krajach przewyższa zalecaną normę, a w Polsce jest nawet 2-3 razy większe. Spowodowane jest to głównie faktem, że większość przyjmowanej soli znajduje się w produktach przetworzonych oraz konserwach, których spożycie w populacji sukcesywnie rośnie. Poza tym istotnym źródłem soli są chleb, szynka oraz ser (5). Instytut Żywności i Żywienia (IŻŻ) na bieżąco prowadzi monitoring spożycia soli w naszym kraju w oparciu o badania przeprowadzane każdego roku. Z badań wynika, że spożycie soli w Polsce spada. Dla porównania w 1998 r. utrzymywało się na poziomie nawet 15 g/dobę, w 2007 r. 13 g/dobę, a w 2015 r. już 11 g/dobę. Na opakowaniach produktów spożywczych rzadko podana jest zawartość soli, natomiast często podana jest zawartość sodu, dlatego warto wiedzieć, że 1 g sodu (Na) odpowiada 2,5 g soli (NaCl). Zgodnie z nowymi przepisami, od 13 grudnia 2016 roku producenci będą mieli obowiązek podawania zawartości soli na opakowaniach produktów spożywczych (6).

### Zawartość sodu w wybranych wodach mineralnych

Dodatkowym źródłem sodu w diecie są wody mineralne. Jest to wartość znikoma w porównaniu do tej obecnej w produktach spożywczych, ale wiele wód mineralnych, uznawanych powszechnie za lecznicze, ma w swoim składzie znaczną ilość sodu. W badaniach przeprowadzonych w mieście Dhaka w Bangladeszu wykazano dodatnią korelację między zawartością sodu w wodzie spożywanej przez kobiety ciężarne a ryzykiem wystąpienia nadciśnienia ciążowego oraz stanu przedzucawkowego (7). Zawartość sodu w wybranych wodach mineralnych została przedstawiona w tabeli 1.

### Wpływ sodu na organizm człowieka

Zapotrzebowanie na sód zależy od wielu czynników. Ilość spożywanego sodu powinna uzupełnić jego straty z potem, moczem i kałem, a w przypadku dzieci i młodzieży umożliwić prawidłowy rozwój organizmu. Zalecana przez IŻŻ dzienna dawka sodu wynosi 115 mg i odpowiednio zwiększa się wraz ze wzrostem aktywności fizycznej i temperatury otoczenia. Sód obok chloru i potasu jest podstawowym elektrolitem organizmu, odpowiada za utrzymanie równowagi wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej oraz bierze udział w prawidłowym funkcjonowaniu mięśni i układu nerwowego. Niedobór sodu na tle żywieniowym obserwuje się niezwykle rzadko, ponieważ jest on wszechobecny w pożywieniu. Zbyt wysoka zawartość soli w diecie, zwłaszcza utrzymująca się długotrwale, prowadzi do poważnych konsekwencji zdrowotnych z powodu zwiększonego stężenia sodu w surowicy. Nadmiar sodu jest przyczyną nadciśnienia tętniczego, miażdżycy i zaburzeń rytmu serca. Poza tym powoduje większe wydalanie wapnia z moczem, a w konsekwencji powstawanie kamieni nerkowych. Duże spożycie soli związane jest także z występowaniem udarów mózgu oraz zwiększa ryzyko raka żołądka (6, 8).

**Tab. 1.** Porównanie zawartości sodu w wybranych wodach mineralnych

Nazwa wody	Zawartość sodu (mg/l)
Żywiec Zdrój	9,65
Kinga Pienińska	9,2
Acqua Panna Toscana	6,4
Oaza	5,71
Woda źródłana lubię	5,0
Primavera	2,1
Dobrowianka	2,0
Staropolanka sport desire	180,0
Borjomi	1200-1700
Staropolanka	111,0
Cisowianka	11,0
Nałęczowianka	10,0
Muszynianka	98,0
Cechini Muszyna	27,5
Polaris	6,76
Muszyna Skarb Życia	53,4
Kropla Beskidu	14,0
Jurajska z magnezem	0
Jurajska z wapniem	0
Wielka Pieniawa	59,0
Woda lecznicza Franciszek	4040,0
Woda lecznicza Henryk	1231,0
Słotwinka	330,0
Zuber	6495,0

## SÓL Z MORZA MARTWEGO

Sól pochodząca z Morza Martwego ma szerokie zastosowanie w leczeniu różnych schorzeń występujących u znacznej części populacji. Przeprowadzono wiele badań, które potwierdziły pozytywny wpływ bogactwa Morza Martwego (klimatu, soli, wody i błota mineralnego) w łagodzeniu objawów i leczeniu wielu chorób, w tym chorób skóry (łuszczycy, atopowego zapalenia skóry, trądziku), chorób układu oddechowego, alergii oraz chorób reumatycznych.

### Morze Martwe

Morze Martwe jest w istocie słonym jeziorem położonym w dolinie ryftowej na pograniczu Izraela i Jordanii. Jest uni-

kalnym i bardzo cennym zbiornikiem wodnym z uwagi na bardzo duże zasolenie sięgające 28%, uwarunkowane szybkim odparowaniem wody i brakiem naturalnego odpływu z jeziora. Z tego też powodu lustro jeziora to obecnie najniższy położony punkt na Ziemi i ciągle się obniża. Morze Martwe jest najbogatszym źródłem minerałów i mikroelementów, które znajdują się w wodzie oraz w mineralnym czarnym błocie. Skład wody Morza Martwego znacząco różni się od wody pochodzącej z innych zbiorników wodnych. Należy podkreślić wysoką zawartość chlorku magnezu, chlorku potasu i bromków. Woda Morza Martwego zawiera również chlorek wapnia, chlorek sodu oraz inne jony: jodki, siarczany i węglany (9). Niewątpliwie ważnym aspektem są również wyjątkowe warunki klimatyczne panujące nad Morzem Martwym, dlatego wzdłuż wybrzeża położone są centra medyczne i hotele odwiedzane przez ludzi z całego świata w celach turystycznych i terapeutycznych. Niska wilgotność, pozbawione pyłków suche powietrze bogate w tlen i mikroelementy (bromki i magnez), wysokie nasłonecznienie oraz wysokie ciśnienie atmosferyczne to główne czynniki warunkujące lecznicze właściwości tego miejsca (10). Terapia nad Morzem Martwym polega na zażywaniu kąpeli wodnych i ekspozycji skóry na działanie promieni słonecznych, a także okładaniu ciała leczniczym błotem mineralnym. Obecnie wytwarzanych jest wiele kosmetyków, które zawierają błoto i sól pochodzącą z tego regionu, jednak wciąż najskuteczniejsze jest odbycie terapii klimatycznej.

### Wybrane lecznicze właściwości soli z Morza Martwego

#### *Łuszczycza, atopowe zapalenie skóry*

Kąpiel z dodatkiem soli z Morza Martwego (Izrael) poprawia stan skóry i wzmacnia jej funkcję ochronną. Pozytywne efekty są związane z wysoką zawartością magnezu, który ma działanie nawilżające skórę. Sól magnezowo-potasowa zwiększa zdolność wiązania wody przez warstwę rogową naskórka, poprawiając elastyczność i sprężystość skóry, zmniejsza jej szorstkość, łagodzi objawy atopowego zapalenia skóry, a także zwiększa proliferację i różnicowanie się komórek naskórka (11). Przeprowadzono badania, w których wykazano, że jony magnezu hamują zdolność prezentacji antygeny przez komórki Langerhansa *in vivo* oraz *in vitro*, zmniejszając w ten sposób reakcje zapalne, dlatego wysoka zawartość magnezu przyczynia się do skuteczności soli z Morza Martwego w leczeniu chorób zapalnych skóry, tj. łuszczycy oraz atopowego zapalenia skóry (12). Poza tym w przypadku łuszczycy kąpiele w solankach stosowane przed fototerapią powodują mechaniczne usunięcie łusek, zwiększając wrażliwość skóry na promieniowanie UV, a tym samym skuteczność fototerapii (13).

#### *Choroby reumatyczne*

Przeprowadzono wiele badań sugerujących pozytywny wpływ stosowania błota i soli z Morza Martwego oraz klimatoterapii nad Morzem Martwym w leczeniu chorób

reumatycznych zarówno o podłożu immunologicznym (reumatoidalne i łuszczycowe zapalenie stawów, zeszytniające zapalenie stawów kręgosłupa), jak i na tle nieimmunologicznym (fibromyalgia, zapalenie kości i stawów). Celem tej terapii jest zmniejszenie bólu, łagodzenie objawów zapalenia i rozluźnienie mięśni. Moses i David w 2006 roku zestawili dotychczasowe badania i wnioski z nich wynikające (14). Zauważono poprawę u pacjentów chorujących na choroby reumatyczne, ale poprawa ta nie trwała dłużej niż kilka miesięcy od zakończenia leczenia. W przypadku pacjentów z zaburzeniami na tle nieimmunologicznym poprawa była mniej imponująca i trwała krócej. Dlatego też terapia ta nie powinna być alternatywą dla leczenia farmakologicznego, ale jedynie jego uzupełnieniem (14).

#### Przewlekłe zapalenie zatok

Przeprowadzono również badania, które wykazały, że roztwór soli z Morza Martwego stosowany do płukania zatok i śluzówki nosa, w porównaniu ze standardowym roztworem hipertonicznym, wykazuje lepsze działanie w łagodzeniu objawów u pacjentów cierpiących na przewlekłe zapalenie zatok i błony śluzowej nosa (15).

#### Wybrane lecznicze właściwości błota z Morza Martwego

Czarne błoto jest bogatym źródłem minerałów znajdujących się w Morzu Martwym i składników organicznych występujących wzdłuż linii brzegowej. Wykorzystywane jest powszechnie w formie maseczek i okładów na całe ciało. Naukowcy przeprowadzili szczegółową mikrobiologiczną i chemiczną analizę błota pochodzącego z Morza Martwego. Analiza wykazała, że stężenie soli w wodzie interstycjalnej błota jest zbliżone do stężenia soli w jeziorze, ale posiada nieznacznie odmienny skład jonowy. W błocie znajduje się wysoka zawartość materii organicznej (2-3%) oraz rozpuszczalne i nierozpuszczalne związki siarki. Udowodniono także, że błoto hamuje rozwój mikroorganizmów, tj. *Candida albicans*, *Propionibacterium acnes*. Badacze wywnioskowali, że skład chemiczny błota (wysokie stężenie soli i związków siarki) oraz niskie pH zapewniają ochronę przed mikroorganizmami i wyjaśniają jego właściwości przeciwrzędkowe (16).

#### SÓL A CHOROBY AUTOIMMUNOLOGICZNE

Najnowsze badania wykazały wpływ wysokiego spożycia soli na rozwój oraz progresję niektórych chorób autoimmunologicznych. Patogeneza powyższego mechanizmu polega na indukcji przez chlorek sodu komórek Th17, które biorą udział w rozwoju zapalenia, a w konsekwencji urazów tkankowych. Wykazano, że komórki Th17, zależne od interleukiny 23, powodują rozwój autoimmunologicznego zapalenia mózgu i rdzenia u zwierząt, czyli choroby, której odpowiednikiem u ludzi jest stwardnienie rozsiane. Zauważono również, że podaż soli nie powoduje zaostrzenia autoimmunologicznego zapalenia tarczycy u myszy, co dowodzi, że spożycie chlorku sodu nie jest czynnikiem ryzyka wszystkich chorób autoimmunologicznych (17).

#### JODOWANIE SOLI W PROFILAKTYCE CHORÓB TARCZYCY

W przybliżeniu ok. 2 mld ludzi na świecie żyje na terenach o małej zawartości jodu (18). Pierwiastek ten jest niezbędny do prawidłowego rozwoju i funkcjonowania organizmu człowieka, a niedostateczne spożycie, stanowiące istotny problem w wielu krajach, odpowiada za liczne kłopoty zdrowotne i wymaga istotnych działań profilaktycznych. Niedobór jodu powoduje rozwój niedoczynności tarczycy i wola, zwiększa ryzyko raka tarczycy (19) oraz raka żołądka (20).

Zapotrzebowanie na jod zależy od wieku, płci i trybu życia. W stanach fizjologicznych, takich jak: okres wzrostu u dzieci, ciąża i laktacja zapotrzebowanie to odpowiednio rośnie. Normy spożycia na jod ustalone zostały dla niemowląt na poziomie wystarczającego spożycia i wynoszą: 110-130 µg/dobę, natomiast dla pozostałych grup na poziomie zalecanego spożycia i zestawione zostały w tabeli 2 (8).

Zawartość jodu w większości produktów spożywczych jest niska. W większości krajów zapewnienie prawidłowej podaży jodu wiąże się z koniecznością jodowania żywności. Od 1998 roku system profilaktyki jodowej w Polsce polega na obowiązkowym jodowaniu soli kuchennej i okazał się bardzo skuteczny, gdyż przyczynił się do zmniejszenia częstości występowania zaburzeń wynikających z niedoboru tego pierwiastka. Model ten uzupełniony został także o jodowanie odżywek dla noworodków niekarmionych piersią oraz stosowanie dodatkowej dawki jodu u kobiet w ciąży lub w okresie laktacji (21). Sól kuchenna jest wzbogacana jodem w postaci jodku potasu (KI) lub jodanu potasu (KIO<sub>3</sub>) w proporcji 20-40 mg jodu na kg soli (21). Obróbka termiczna pokarmu jedynie w niewielkim stopniu zmniejsza ilość dostarczanego jodu. Na stabilność jodowanej soli ma wpływ zarówno data produkcji, sposób jej przechowywania w warunkach domowych, jak i rodzaj opakowania. Przechowywanie soli na pełnym słońcu lub w otwartych pojemnikach zmniejsza zawartość cennego jodu (22). Warto wspomnieć, że w Skandynawii dodaje się jodowaną sól do pieczywa, aby zapobiec wystąpieniu wola u młodych osób.

Tab. 2. Zalecana przez Instytut Żywności i Żywienia dzienna dawka jodu (wg 8, modyfikacja własna)

Zalecana dzienna dawka jodu (w µg/osobę)	
Dzieci przedszkolne (1-6 lat)	90
Dzieci szkolne (7-9 lat)	100
Dzieci szkolne (10-12 lat)	120
Dorośli i dzieci (> 13 lat)	150
Kobiety w ciąży	220
Kobiety karmiące	290

Należy mieć na uwadze fakt, że zalecane obecnie ograniczenie spożycia soli zmniejsza również dzienną dawkę jodu, dlatego propaguje się zwiększenie spożycia innych nośników jodu, tj. produktów pochodzenia morskiego, mleka i wód mineralnych (21).

## FENOMEN SODOWRAŻLIWOŚCI I SODOOPORNOŚCI

Analizując problem wpływu podaży soli na wartość ciśnienia tętniczego, warto wspomnieć o fenomenie sodowrażliwości oraz sodoniewrażliwości. Sodozależność jest efektem działania zarówno czynników genetycznych, jak i środowiskowych. Według licznych, niezależnie przeprowadzonych badań wpływ spożycia soli na wzrost ciśnienia tętniczego nie jest jednakowy u wszystkich pacjentów, lecz różni się w zależności od rasy, wieku oraz ewentualnej obecności wrodzonych chorób nerek. Sodowrażliwość definiujemy więc jako zmienność ciśnienia tętniczego pod wpływem zawartości sodu w diecie, w przeciwieństwie do sodooporności, gdzie tego wpływu brak. W populacji wśród pacjentów chorych na nadciśnienie 51% stanowią osoby sodowrażliwe, a 33% sodooporne. Natomiast wśród pacjentów normotensyjnych 26% to osoby sodowrażliwe, a 58% sodooporne (5). Sodozależność wiąże się z szeregiem zmian czynnościowych oraz molekularnych zarówno w całym organizmie, a przede wszystkim w nerce. Wykryto szereg czynników, które mogą być zarówno przyczyną, jak i skutkiem tego fenomenu.

### Rola nefronu

Zwrócono uwagę na zaburzenie mechanizmów, które mogą wpływać na zwiększoną absorpcję sodu w nefronie, a tym samym na zawartość sodu zewnątrz- oraz wewnątrzkomórkowego. Proces pierwotny, czyli zwiększona absorpcja sodu w kanalikule nerkowym, może mieć miejsce w kanalikule proksymalnym, dystalnym oraz w pętli Henlego. W kanalikule dystalnym zaburzenie to opiera się na mutacji w genach kodujących nabłonkowy kanał sodowy (tzw. zespół Liddle'a) (23, 24). Zaburzenia we współtransporcie sodu, potasu i chloru występują u 40% chorych na pierwotne nadciśnienie tętnicze (25). Jako że 60-80% sodu jest absorbowane w proksymalnej części nefronu, wykonano badania eksperymentalne na trzech rodzajach szczurów, aby ustalić, czy również ten fragment kanalikule nerkowego bierze udział w rozwoju sodowrażliwości. Pierwszą grupę stanowiły szczury SHR (ang. *spontaneously hypertensive rats*), u których przemieszczanie się sodu przez błony komórkowe badane było na podstawie klirensu litu. Wykazano, że wzrost reabsorpcji sodu w kanalikule proksymalnym jest u nich związany ze wzrostem aktywności układu współczulnego (odnerwienie powodowało zniesienie efektu). Drugą i trzecią grupę stanowiły szczury z nadciśnieniem sodozależnym. I tak, odpowiednio w grupie drugiej (szczury DAHL) wzrost reabsorpcji sodu w kanalikule proksymalnym związany był z polimorfizmem podjednostki  $\alpha 1$  ATP-azy  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , a w grupie trzeciej z polimorfizmem w genach kodujących podjednostkę adducyny, czyli białka cytosz-

kieletu. Wykazuje o bezpośrednią interakcję z pompą sodową, ponadto wzrost stężenia adducyny powoduje jednoczesny wzrost aktywności pompy sodowo-potasowej. Doświadczenie to wykazało wpływ zmian przepuszczalności sodu w kanalikule bliższym na obecność fenomenu sodowrażliwości. Dalsze badania przeprowadzone na wyżej wymienionych szczurach dowiodły kluczowego wpływu podwyższonej aktywności wymiennika  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  obecnego w komórkach kanalikule bliższego (w jego szczytowej części – forma NHE3, w podstawno-bocznej – forma NHE1) na wzrost reabsorpcji sodu w kanalikule bliższym, a więc sodowrażliwość (24).

### Rola sodu wewnątrzkomórkowego

Wymiennik  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  oraz pompa sodowo-potasowa obecne są nie tylko w komórkach kanalikule nerkowego, ale między innymi również w komórkach mięśni gładkich naczyń krwionośnych. W związku z tym, wpływ ich zwiększonej aktywności przejawia się nie tylko poprzez zwiększoną reabsorpcję sodu w kanalikule nerkowym, ale również poprzez wzrost stężenia sodu wewnątrzkomórkowego, przez co wtórnie rosną opór obwodowy i ciśnienie tętnicze. Dzieje się to przez obecność dwóch niezależnych mechanizmów. Pierwszy polega na wtórnym do zwiększonego stężenia wewnątrzkomórkowego sodu wzroście jego wymiany na jony wapniowe (hipoteza Blausteina), przez co następuje skurcz mięśni gładkich naczyń krwionośnych. Drugi mechanizm wiąże zwiększoną ilość sodu w komórce ze wzrostem wrażliwości naczyń na działanie amin katecholowych i angiotensyny II (25).

### Rola sodu pozakomórkowego

Sód znajduje się w przestrzeni wodnej pozakomórkowej w stężeniu 140 mmol/l i ta frakcja również ma wpływ na obecność lub brak fenomenu sodowrażliwości. Eksperymenty przeprowadzone na szczurach wykazały, że przestrzeń wodna śródmiąższowa oraz skóra powodują osmotyczną inaktywację spożytego sodu. W związku z tym, jest ona zmniejszona w nadciśnieniu sodozależnym, a zwiększona w sodoniezależnym (26).

### Rola śródbłonna

Śródbłonek odgrywa rolę w regulacji napięcia naczyniowego. Jego dysfunkcja obserwowana jest zarówno u osób z obecnym nadciśnieniem tętniczym, jak również u tych z genetycznymi predyspozycjami do jego rozwoju. Na podstawie eksperymentów wykonanych na szczurach dowiedziono patogenetycznej roli ADMA (asymetrycznej dimetyloargininy – endogennego inhibitora śródbłonkowej syntazy tlenku azotu) w nadciśnieniu sodozależnym. Tlenek azotu to silny śródbłonkowy czynnik wazodylacyjny. W przypadku nadciśnienia sodoniezależnego zwiększone spożycie sodu powoduje kompensacyjny wzrost syntezy NO, natomiast w nadciśnieniu sodozależnym wzrost ten niwelowany jest nasileniem syntezy ADMA (27).

### Mediatory działania aldosteronu

Wykazano również rolę trzech białek – lizyno-swoistej desmetylazy I, kaweoliny oraz striatyny – jako pośredników pojawienia się epigenetycznych efektów aldosteronu, a tym samym zjawiska sodowrażliwości naczyń. Odkryto, że receptory aldosteronu w komórce znajdują się nie tylko w jądrze, ale również w kaweolach błony komórkowej, gdzie efekty wywołują wyżej wymienione białka. Zawartość lizyno-swoistej desmetylazy-1 w sercu i w nerkach zależna jest od ilości spożytego sodu, a jej polimorfizm zwiększa częstość występowania sodozależnego nadciśnienia oraz modyfikuje wpływ starzenia się organizmu na sodowrażliwość. Podaż sodu zwiększa również stężenie kompleksów kaweoliny z receptorem mineralokortykoidowym w naczyniach krwionośnych i w sercu, przez co moduluje zjawisko sodowrażliwości. Striatyna natomiast poprzez pośrednictwo w stymulacji receptora estrogenowego  $\alpha$  wpływa na syntezę NO śródbłonka naczyniowego. Jej podwyższony poziom wykazano w naczyniach i sercu uszkodzonych przez przewlekłe podawanie aldosteronu (28).

### Rola nerek

Odkryto również, że wrodzona zmniejszona liczba nefronów powoduje wcześniejsze pojawienie się nadciśnienia tętniczego oraz może być przyczyną rozwoju sodowrażliwości. Wykazano, że między masą urodzeniową a wysokością ciśnienia tętniczego w życiu dorosłym istnieje odwrotna zależność (23). Dodatkowo, na podstawie badań doświadczalnych powiązано obecność subtelných, nabytych uszkodzeń nerek z zatrzymaniem sodu w organizmie (poprzez zmiany w ekspresji czynników naczynio-skurczowych i naczynio-rozkurczowych), a tym samym z rozwojem sodowrażliwego nadciśnienia tętniczego (23). Poza tym przy obecności dodatkowej tętnicy nerkowej (występującej u około 20-30% populacji) może rozwinąć się sodowrażliwość, ponieważ naczynie to predysponuje do niedokrwienia unaczynionego przez nie obszaru nerki, a tym samym do zwiększonego wydzielania reniny (29).

### Sodowrażliwość a wiek i BMI

Zjawisko sodowrażliwości nasila się wraz z wiekiem, a zwłaszcza u osób z otyłością. Proces starzenia upośledza zdolność zagęszczania moczu, obniża aktywność reninową osocza (a.r.o.) oraz wydłuża czas wyrównania równowagi sodowej przy ograniczeniu podaży tego pierwiastka (30). W badaniach Intersalt przeprowadzonych u 10 tysięcy osób w wieku 20-59 lat wykazano związek między spożyciem soli i wzrostem ciśnienia a wiekiem (24). Dodatkowo, zależność wartości ciśnienia tętniczego od zawartości sodu w diecie wykazano wśród otyłych nastolatków, a redukcja masy ciała powodowała zanik sodowrażliwości (23).

### Różnice w kwestii spożycia soli

W związku z faktem, że sól jest produktem konserwującym oraz znacznie poprawiającym walory smakowe spożywanego jedzenia, ograniczenie jej spożycia spotyka się ze

sprzeciwem firm produkujących oraz serwujących żywność. Zarzucają one brak wiarygodności przeprowadzanych badań oraz nieadekwatność sposobu pomiaru do rzeczywistej wartości spożycia soli. Mimo że powyższe rozbieżności mogą być poparte w dużej mierze powodami ekonomicznymi, warto zwrócić uwagę na problem braku standaryzowania metod mierzących spożycie sodu. Obecnie spożycie to ocenia się głównie na podstawie pomiaru wydalania sodu z moczem, a metoda ta obarczona jest dużym ryzykiem błędów pomiarowych. Dodatkowo przy ilościowej ocenie niekorzystnego wpływu soli na organizm człowieka, należałoby wziąć pod uwagę również inne czynniki mogące zmieniać tę zależność, jak na przykład ilość ogólnego dziennego przyjmowania kalorii (31).

Mimo że relatywnie trudno znaleźć dowody na to, że spożycie soli może nie mieć negatywnego wpływu na organizm człowieka, pojawiają się pojedyncze informacje negujące stuprocentową skuteczność odstawienia soli w poprawie zdrowia. U chorych na nadciśnienie tętnicze przy drastycznej redukcji przyjmowanego sodu następuje wzrost aktywności reninowej osocza, stężenia aldosteronu, noradrenalin  $\gamma$ , cholesterolu całkowitego oraz frakcji LDL. Dodatkowo spada wrażliwość na insulinę (25). Badania wykazały również, że w grupie pacjentów z umiarkowaną lub ciężką zastoinową niewydolnością serca, którzy otrzymywali pewne agresywne leczenie terapeutyczne, niska podaż sodu (poniżej 1,5 mg/dzień) powodowała niekorzystne efekty zdrowotne (31). Zbadano również efekt całkowitego wyeliminowania soli z potraw na wartość ciśnienia tętniczego. Zauważono znaczącą i postępującą redukcję ciśnienia skurczowego, natomiast jedynie nieznaczny spadek ciśnienia rozkurczowego (32).

### PODSUMOWANIE

Rola soli w organizmie człowieka to zagadnienie niezmiernie szerokie zarówno z fizjologicznego, jak i patologicznego punktu widzenia. Pomimo faktu, że jest to substancja niezbędna do funkcjonowania ustroju, nazywanie jej „białą śmiercią” jest, z punktu widzenia człowieka współczesnego, jak najbardziej uzasadnione. Pacjenci ewolucyjnie nieprzystosowani do tak dużej podaży soli, prowadzący siedzący tryb życia, a zarazem nieświadomi mnogości źródeł, z których dostarczają chlorek sodu do swojego organizmu, sami inicjują destrukcyjny wpływ soli na zdrowie. Informacja ta jest niezmiernie ważna w praktyce lekarza rodzinnego, ponieważ w obecnych czasach coraz większy odsetek chorych zgłaszających się do placówek Podstawowej Opieki Zdrowotnej odpowiada powyższemu opisowi. Z uwagi na fakt, że sól to substancja wszechobecna w przyrodzie oraz niezbędna do funkcjonowania organizmu, a jednocześnie patogenetyczna w rozwoju szeregu chorób cywilizacyjnych, istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań mających na celu określenie jej rzeczywistego wpływu na organizm ludzki przy jednoczesnej ocenie znaczenia fenomenu sodowrażliwości oraz szeregu innych czynników zarówno osobniczych, jak i środowiskowych. Z punktu widzenia

praktycznego nie ma żadnej dodatkowej korzyści zdrowotnej z używania soli innej niż kuchenna i jodowana – tkwi ona wyłącznie w cenie. Kolorowane sole kamienne i egzotyczne sole morskie poza tym, że są znacząco droższe, są również niezdrowe jak sól kuchenna. Kto zatem dla egzotycznego

wyglądu czy posmaku woli sięgać po sól celtycką, himalajską, podwędzaną, czarną, hawajską, fleur de sel itd., powinien zwracać szczególną uwagę na to, czy jego pożywienie jest wystarczająco bogate w jod (czyli często sięgać po owoce morza, ryby i jajka) (33).

## KONFLIKT INTERESÓW CONFLICT OF INTEREST

Brak konfliktu interesów  
None

## ADRES DO KORESPONDENCJI

Zygmunt Zdrojewicz  
Katedra i Klinika Endokrynologii,  
Diabetologii i Leczenia Izotopami  
Uniwersytet Medyczny  
im. Piastów Śląskich we Wrocławiu  
ul. Pasteura 4, 50-367 Wrocław  
tel. +48 (71) 784-25-54  
zygmunt.zdrojewicz@umed.wroc.pl

## PIŚMIENNICTWO

1. Państwowy Instytut Geologiczny, [http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/chemiczne/sol\\_kamienna](http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/chemiczne/sol_kamienna).
2. Haas JD, Rahn M: Double-fortified salt is efficacious in improving indicators of iron deficiency in female Indian tea pickers. *Journal of Nutrition* 2014; 14(6): 957-964.
3. Yo L, Dosady LL, Wesley AS: Folic acid fortification through existing fortified foods: iodized salt and vitamin A – fortified sugar. *Food and Nutrition Bulletin* 2011; 32(1): 35-41.
4. Marthaler TM: Salt fluoridation and oral health. *Acta Medica Academica* 2013; 42(2): 140-155.
5. Delahaye F: Should we eat less salt? *Archives of Cardiovascular Disease* 2013; 106(5): 324-332.
6. Pozyskano ze strony Instytutu Żywności i Żywienia: <http://www.izz.waw.pl/pl>.
7. Khan AE, Schelbeek PF: Salinity in drinking water and the risk of (pre)eclampsia and gestational hypertension in coastal Bangladesh: a case-control study. *PLoS One* 2014; 9(9): e108715.
8. Jarosz M (red.): Normy żywienia dla populacji polskiej – nowelizacja. Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa 2012.
9. Nissenbaum A: The microbiology and biogeochemistry of the Dead Sea. *Microbial Ecology* 1975; 2(2): 139-161.
10. Abels DJ: Bioclimatology at the Dead Sea in Israel. *Clinics in Dermatology* 1996; 14(6): 653-658.
11. Proksh E, Nissen HP: Bathing in a magnesium-rich Dead Sea salt solution improves skin barrier function, enhances skin hydration, and reduces inflammation in atopic dry skin. *International Journal of Dermatology* 2005; 44(2): 151-157.
12. Schempp CM, Dittmar HC: Magnesium ions inhibit the antigen-presenting function of human epidermal Langerhans cells *in vivo* and *in vitro*. Involvement of ATPase, HLA-DR, B7 molecules and cytokines. *Journal of Investigative Dermatology* 2000; 115(4): 680-686.
13. Grzybowski G: Zastosowanie balneoterapii i balneofototerapii w leczeniu łuszczyicy pospolitej. *Postępy Dermatologii i Alergologii* 2003; 20(5): 307-310.
14. Moses SW, David M: The Dead Sea, a unique natural health resort. *The Israel Medical Association Journal* 2006; 8(7): 483-488.
15. Friedman M, Vidyasagar R, Joseph N: A randomized, prospective, double-blind study on the efficacy of dead sea salt nasal irrigations. *Laryngoscope* 2006; 116(6): 878-882.
16. Ma'or Z, Henis Y: Antimicrobial properties of Dead Sea black mineral mud. *International Journal of Dermatology* 2006; 45(5): 504-511.
17. Steven P: Salt and autoimmune disease; review of studies. *The Original Internist* 2015; 22(3): 321-325.
18. WHO. Iodine Deficiency in Europe: a continuing public health problem. WHO, Geneva 2007.
19. Zimmermann MB, Galetti V: Iodine intake as a risk factor for thyroid cancer: a comprehensive review of animal and human studies. *Thyroid Research* 2015; 8(8), <http://www.thyroidresearchjournal.com/content/8/1/8>.
20. Gołkowski F, Szybiński Z, Rachtan J et al.: Iodine prophylaxis – the protective factor against stomach cancer in iodine deficient areas. *European Journal of Nutrition* 2007; 46(5): 251-256.
21. Szybiński Z: Sytuacja profilaktyki jodowej w Polsce w świetle ostatnich rekomendacji WHO dotyczących ograniczenia spożycia soli. *Pediatric Endocrinology, Diabetology and Metabolism* 2009; 15(2): 103-107.
22. Diosady LL: Stability of iodine in iodized salt used for correction of iodine-deficiency disorders. *Food and Nutrition Bulletin* 1997; 18(4): 388-396.
23. Czekalski S, Ciechanowicz A: Mechanizmy i znaczenie sódowrażliwości ciśnienia tętniczego. *Postępy Nauk Medycznych* 2004; 4: 4-11.
24. Burnier M: Proximal tubular function and salt sensitivity. *Current Hypertension Reports* 2006; 8(1): 8-15.
25. Negrusz-Kawecka M: Udział sodu w etiopatogenezie pierwotnego nadciśnienia tętniczego. *Advances in Clinical and Experimental Medicine* 2004; 13(1): 101-107.
26. Kokot F, Hyla-Klekot L: Czujniki sodowe macierzy płynu śródmiąższowego i śród błonków naczyńowych – rola w regulacji pozanerkowej gospodarki sodowej i ciśnienia tętniczego. *Nadciśnienie Tętnicze* 2011; 15(1): 1-4.
27. Doroszko A: Dysfunkcja śród błonka i ADMA w patogenezie nadciśnienia tętniczego. *Nadciśnienie Tętnicze* 2008; 12(3): 224-237.
28. Baudrand R: Aldosterone's mechanism of action: roles of lysin-specific

demethylase 1, caveolin and striatin. *Current Opinion in Nephrology and Hypertension* 2014; 23(1): 32-37. **29.** Januszewicz A, Sieradzki J, Więcek A: Nadciśnienie tętnicze i diabetologia w pytaniach i odpowiedziach. *Medycyna Praktyczna*, Kraków 2009. **30.** Grodzicki T, Kocemba J, Gryglewska B: Nadciśnienie tętnicze u osób w wieku podeszłym. *Via Medica*, Gdańsk 2009. **31.** Institute of medicine. *Sodium Intake in Populations: Assessment of Evidence*. The National Academies Press, Washington 2013. **32.** Chacon-Lozsan FJ, Peinado-Acevedo JS: Effects of total table salt restriction on blood pressure. *Cardiometry* 2015; 6: 96-103, <http://www.cardiometry.net/issues/no6-may-2015/total-table-salt-restriction>. **33.** Zdrojewicz Z, Adamek M, Machelski A, Wójcik E: Wpływ kwasów tłuszczowych (omega) zawartych w rybach na organizm człowieka. *Med Rodz* 2015; 3: 37-43.

nadesłano: 18.05.2016

zaakceptowano do druku: 06.06.2016