

PAŃSTWO I SPOŁECZEŃSTWO

STATE AND SOCIETY

E-ISSN 2451-0858 ISSN 1643-8299

ROK XXIII: 2023, NR 1

DOI: 10.48269/2451-0858-pis-2023-1-010

Data wpłynięcia: 28.10.2022

Data akceptacji: 28.04.2023

WYKORZYSTANIE TERAPEUTYCZNYCH WŁAŚCIWOŚCI SOLI W PROFILAKTYCE I LECZENIU CHOROÓB UKŁADU ODDECHOWEGO

Magdalena Kamińska^{A-D,F}

ORCID: 0000-0003-4951-7310

Beata Krusiec-Świdergoł^{B-C,E}

ORCID: 0000-0002-8766-0671

Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu,
Katedra i Zakład Podstawowych Nauk Biomedycznych

A – Koncepcja i projekt badania, B – Gromadzenie i/lub zestawianie danych, C – Analiza i interpretacja danych,
D – Napisanie artykułu, E – Krytyczne zrecenzowanie artykułu, F – Zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu

Autor do korespondencji

Magdalena Agnieszka Kamińska, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Nauk Farmaceutycznych
w Sosnowcu, Katedra i Zakład Podstawowych Nauk Biomedycznych, Kasztanowa 3, 41-200 Sosnowiec
email: mkaminska@sum.edu.pl

Streszczenie

Naturalne metody terapii stosowane są obecnie jako uzupełnienie medycyny konwencjonalnej. Haloterapia jest kierunkiem balneoterapii, w którym sól stanowi naturalny surowiec leczniczy. Jako chlorek sodu sól występuje w przyrodzie głównie w postaci soli kamiennej i solanki. Suchy aerozol solny jest trzecim tworzywem leczniczym, występującym naturalnie w wyrobiskach kopalnianych przekształconych na ośrodki sanatoryjne, jak również, dzięki postępowi technicznemu, możliwe jest jego stosowanie w warunkach naziemnych. Droga inhalacyjna umożliwia wprowadzenie leczniczego aerozolu solnego bezpośrednio do narządu docelowego, co ogranicza ryzyko efektów ubocznych terapii. Skuteczność

haloterapii w leczeniu chorób układu oddechowego została potwierdzona licznymi badaniami przeprowadzonymi zarówno w naturalnych komorach solnych, jak i w grotach naziemnych. Dzięki haloterapii możliwe jest zminimalizowanie dawki i częstotliwości stosowania standardowej farmakoterapii w chorobach układu oddechowego.

Słowa kluczowe: haloterapia, aerozol solny, subterraneoterapia, groty solne

Wprowadzenie

„Dwie są rzeczy najważniejsze na świecie: słońce i sól.”
(Pliniusz Starszy, *Historia naturalna*)

Balneoterapia, bazująca zarówno na wykorzystywaniu leczniczych właściwości surowców naturalnych, jak i walorów klimatycznych, była podstawową formą terapii w wieku XIX i na początku wieku XX. Obecnie naturalne metody lecznicze, stosowane jako uzupełnienie medycyny konwencjonalnej, przeżywają prawdziwy renesans [1].

Biorąc pod uwagę liczne niepożądane działania farmaceutyków, jak również występującą coraz częściej antybiotykooporność, przyrodolecznictwo może stać się alternatywą leczenia farmakologicznego, ponieważ jak mawiał Hipokrates: „*medicus curat, natura sanat*” (lekarz leczy, natura uzdrowia). Jedną z form balneoterapii stanowi haloterapia (grec. *halós* – sól), w której naturalnym tworzywem leczniczym jest sól. Jako chlorek sodu (NaCl) występuje ona w przyrodzie w formie soli kamiennej, solanki, wody morskiej i naturalnego aerozolu solnego [1,2].

Skład soli kamiennej uzależniony jest głównie od czynników geologicznych. Sole z Bochni i Wieliczki charakteryzują się dużą zawartością związków wapnia (1,4–4,6%) oraz nierozpuszczalnych w wodzie części ilastych (25–39%), natomiast sól z Kłodawy zawiera w swoim składzie powyżej 90% NaCl i zaledwie 2% części ilastych [3]. Sól kamienna uznawana jest za zdrowszą, gdyż jest nieprzetworzona i nieoczyszczona. Warzona sól spożywcza (sól kuchenna) składa się z 99,9% z NaCl, w wyniku procesu produkcyjnego pozbawiona jest cennych makro- i mikroelementów [3,4].

Pierwszym surowcem leczniczym stosowanym w haloterapii były solanki. Ich terapeutyczne działanie zaobserwowano początkowo w leczeniu zwierząt gospodarskich. Przez wieki wykorzystywano je także w warunkach domowych. Kąpiele solankowe stosowali w swojej praktyce lekarze salinarni, m.in. dr Feliks Boczkowski w uzdrowiskowym zakładzie kąpielowym otwartym przy wielickiej kopalni w 1839 r., jak również dr Roman Ignatowski w Ciechocinku, gdzie warzelnicza produkcja soli zapoczątkowała powstanie uzdrowiska. Solanka wykorzystywana była także do inhalacji pod tężniami oraz do kąpieli parowych połączonych z inhalacją pary solankowej [1].

Solanki zaliczane są do leczniczych wód mineralnych, charakteryzujących się czystością pod względem chemicznym i mikrobiologicznym oraz naturalną zmiennością cech fizyko-chemicznych. Są to wody podziemne o ogólnej mineralizacji wynoszącej minimum 35 g/dm³, których głównymi składnikami są jony chlorkowe i sodowe. Przyjęto, że woda posiadająca stężenie NaCl > 1,5% nazywana jest solanką, natomiast poniżej tej wartości wodą słoną [1,5].

W balneoterapii wody chlorkowe mogą być wykorzystywane do kąpieli, gdy stężenie NaCl wynosi 1,5–6% oraz do inhalacji w zakresie stężeń 0,3–3%. Krenoterapia wód słonych stosowana jest rzadziej (stężenie 1–1,5% zwiększa perystaltykę jelit i stymuluje wydzielanie soków trawiennych). Działanie terapeutyczne solanek warunkowane jest ich dodatkowym wzbogaceniem w biopierwiastki, zwłaszcza wapń, jod, brom, magnez, bor, potas i lit. Duże znaczenie przemysłowe ma solanka ze złoża w miejscowości Łapczyca (gmina Bochnia), zawierająca znaczne ilości jodu i bromu, wykorzystywana do produkcji soli leczniczej (Bocheńska Lecznicza Sól Jodowo-Bromowa) [5].

Wysoko zmineralizowane wody typu Cl-Na lub Cl-Na-Ca występują głównie w miejscowościach nadmorskich oraz w południowej części Polski, m.in. w Ciecchocinku, Inowrocławiu, Konstancinie-Jeziornie, Kołobrzegu i Zabłociu. Dodatkowo w Rabce-Zdroju, Busku-Zdroju i Ustroniu mają one charakter termalny, co wzmacnia ich działanie terapeutyczne [1,2,5].

Stosowanie naturalnych surowców w lecznictwie uzdrowiskowym wymaga świadectwa potwierdzającego ich właściwości lecznicze, wydanego przez uprawnioną jednostkę naukowo-badawczą (art. 36 ustawy uzdrowiskowej) ze wskazaniem drogi kontaktu z organizmem (do kąpieli, inhalacji lub kuracji pitnej) [6].

Celem pracy było przedstawienie aktualnej wiedzy na temat haloterapii, z uwzględnieniem mechanizmu terapeutycznego działania soli na układ oddechowy, oraz przegląd prac naukowych potwierdzających skuteczność tej metody w profilaktyce, leczeniu i rehabilitacji osób z chorobami układu oddechowego.

Inhalacje z wykorzystaniem naturalnych surowców leczniczych

Aerozole NaCl mogą powstawać naturalnie w strefie nadmorskiej i w podziemnych wyrobiskach solnych, jak również przy użyciu technologii: w strefie okołoteżniowej, naziemnych grotach solnych czy też podczas nebulizacji [1]. Metody terapii aerozolowej są szczególnie wskazane w chorobach układu oddechowego. Pozwalają one na wprowadzenie środka leczniczego bezpośrednio w miejsce zmienione chorobowo, co daje efekt terapeutyczny porównywalny z terapią doustną przy mniejszych dawkach leku i ograniczeniu działań niepożądanych [7].

Skuteczność leczenia chorób układu oddechowego zależy głównie od miejsca depozycji cząstek środka leczniczego. Duży wpływ na depozycję, oprócz

prawidłowej techniki inhalowania i uwarunkowań anatomicznych pacjenta, ma m.in. rozmiar cząstek fazy dyspersyjnej aerozolu (im mniejsza średnica cząstek, tym głębiej wnikają one do drzewa oskrzelowego). Cząsteczki o średnicy:

- $>10\ \mu\text{m}$ osadzają się w jamie ustnej oraz górnych drogach oddechowych;
- $<10\ \mu\text{m}$ deponują się w dolnych drogach oddechowych (m.in. tchawicy, oskrzelach i oskrzelikach; w tym cząsteczki o średnicy $1\text{--}5\ \mu\text{m}$, które docierają do pęcherzyków płucnych i stanowią frakcję oddechową, tj. respirabilną).

Dla efektywnej terapii inhalacyjnej w chorobach obturacyjnych aerozol solny powinien składać się w większości z cząsteczek o średnicy mieszczącej się w przedziale $1\text{--}3\ \mu\text{m}$, natomiast najbardziej niekorzystna w tym przypadku jest frakcja cząstek drobnych, deponujących się głównie w pęcherzykach płucnych ($0,5\text{--}1\ \mu\text{m}$) [8].

W zależności od stanu skupienia zawieszony w fazie dyspersyjnej substancji wyróżniamy wzięwania suche i wilgotne. Spośród wszystkich aerozoli NaCl najbardziej korzystny jest wysoko dyspersyjny aerozol suchy. Aerozol solankowy nie posiada właściwości antyseptycznych, dlatego przeznaczony jest jedynie do inhalacji indywidualnych przy użyciu nebulizatora lub na otwartej przestrzeni (strefa nadmorska i okołotężniowa) [1].

W inhalacjach wilgotnych aerozol ma postać mgły składającej się z drobnych kropelek rozpylonej solanki. Ze względu na większe rozmiary cząstek (w porównaniu z aerozolem suchym) mniejsza jego ilość ulega depozycji w układzie oddechowym w trakcie cyklu oddechowego [1,2]. Aerozole grubokropelkowe działają na błonę śluzową górnych dróg oddechowych w sposób mechaniczny, wywołując jej przekrwienie i zwiększenie wydzielania rzadkiej wydzieliny przez gruczoły. Efekt ten można wykorzystać w celu przygotowania błony śluzowej dróg oddechowych na działanie aerozoli drobnocząsteczkowych [9].

Aerozole grubokropelkowe hipertonicznych roztworów NaCl wykorzystywane są także w spirometrycznych próbach prowokacyjnych, mających na celu ujawnienie nadreaktywności oskrzeli w diagnostyce astmy. Wystąpienie odruchowego skurczu mięśniówki oskrzeli (bronchospazmu) objawia się atakiem duszności i silnym kaszlem. Reakcja ta nie występuje u osób zdrowych [10].

Lecznicze działanie aerozolu solnego w drogach oddechowych polega zarówno na mechanicznym oczyszczaniu błony śluzowej z zalegającej wydzieliny i patogenów, jak również na bezpośrednim wpływie jonów zawartych w aerozolu na funkcje komórek błony śluzowej. W wyniku miejscowego efektu osmotycznego wywołanego przez sól, woda z przestrzeni śródmiąższowej przechodzi do światła dróg oddechowych przez nabłonek. Prowadzi to do zmniejszenia obrzęku tkanki podśluzowej, który towarzyszy zapaleniu, a także do wzrostu nawilżenia i uwodnienia śluzówki. Dochodzi do zmiany właściwości fizyko-chemicznych śluzu pokrywającego nabłonek migawkowy.

Zewnętrzna warstwa śluzu o dużej gęstości – faza żelowa, ulega przekształceniu w surowiczy żół, cechujący się niską lepkością. Wzrasta efektywność transportu warstwy żelu przez rzęski nabłonka i związany z tym klirens śluzowo-rzęskowy (*mucociliary clearance*, MCC). Zwiększona prędkość transportu śluzowo-rzęskowego usprawnia proces oczyszczania dróg oddechowych. Dodatkowo zawarte w aerozolu solnym jony wykazują działanie przeciwzapalne (Mg^{2+} i K^{+}) oraz regulują częstotliwość ruchu rzęsek nabłonka oddechowego (wpływ Ca^{2+}) [11].

Hipertoniczne aerozole solne, oprócz nawodnienia wydzieliny dróg oddechowych, usprawniają MCC przez zmniejszanie lepkości śluzu (rozrywanie wiązań disiarczkowych w oligomerach mucynowych oraz oddzielanie kwasów dezoksyrybonukleinowych od mukoprotein, co ułatwia działanie enzymom proteolitycznym) [10].

Korzystny wpływ hipertonicznych roztworów soli na MCC został potwierdzony u pacjentów z umiarkowanym i ciężkim przebiegiem astmy [12] oraz u osób z przewlekłym zapaleniem oskrzeli występującym w przebiegu POChP (przewlekłej obturacyjnej choroby płuc) [13].

Działanie antybakteryjne suchego aerozolu solnego (szczególnie w stosunku do rodzaju *Staphylococcus*) nie wywiera negatywnego wpływu na miejscowe procesy odpornościowe [7]. Stwierdza się zarówno aktywację limfocytów T, odpowiedzialnych za odporność komórkową, jak i limfocytów B, co skutkuje wzrostem poziomu immunoglobulin IgA [1,7].

Jako naturalny bodziec osmotyczny NaCl zwiększa aktywność fagocytarną neutrocytów i makrofagów. Wytworzone w neutrocytach reaktywne formy tlenu (nadtlenek wodoru, kwas podchlorawy) działają silnie bakterio-bójczo w wyniku reakcji wybuchu tlenowego. Dodatkowo obecność jonów sodowych w płynie zewnątrzkomórkowym aktywuje Na^{+}/H^{+} ATP-azę, skutkując obniżeniem pH wewnątrz fagosomu i zahamowaniem wzrostu komórek bakteryjnych [10].

W badaniu na modelach zwierzęcych z indukowaną dymem tytoniowym POChP stwierdzono hamujący wpływ haloterapii na aktywację inflamasomu NLRP3/ASC/prokaspaza-1. Haloterapia skutkowała zmniejszeniem wydzielania czynników prozapalnych i pyroptozy u badanych szczurów [14].

Doniesienia z lat 2020–2022 potwierdzają zasadność stosowania hipertonicznych roztworów soli podczas infekcji wirusowej SARS-CoV-2. Irygacje jamy nosowej i zatok przynosowych oraz płukanie gardła roztworem soli przyniosły korzystne efekty w zapobieganiu [15] i leczeniu COVID-19 [16,17]. Obserwowano redukcję objawów i czasu trwania choroby, jak również skrócenie czasu wydalania wirusa z dróg oddechowych. Prawdopodobny mechanizm przeciwwirusowego działania NaCl związany jest z aktywacją mieloperoksydazy (MPO) w ziarnistościach granulocytów [18], a także z pośrednią inhibicją replikacji wirusa w komórkach [19].

Charakterystyka podziemnych komór solnych

Początki dzisiejszej haloterapii sięgają XIX w., chociaż prozdrowotny wpływ soli na organizm człowieka znany był już w starożytności. Istotny udział w zapoczątkowaniu i rozwoju tego kierunku miał wspomniany już dr Boczkowski, który zauważył bardzo dobrą kondycję zdrowotną górników solnych pomimo wykonywanej przez nich ciężkiej pracy, zwłaszcza rzadkie występowanie chorób górnych dróg oddechowych [1]. Te same wnioski przedstawił dr Ignatowski, prowadząc obserwacje wśród pracowników ośrodków solowarskich w Ciechocinku, gdzie do zagęszczania solanki wykorzystywane były m.in. tężnie.

Prace dr. Boczkowskiego nad leczniczym działaniem powietrza nasyconego suchym aerozolem solnym w wyrobiskach kopalnianych przyczyniły się do otwarcia pierwszego na świecie podziemnego sanatorium przeznaczonego do leczenia chorób układu oddechowego. Miało to miejsce po przeszło 100 latach od śmierci dr. Boczkowskiego, z inicjatywy kontynuatora jego prac dr. Mieczysława Skulimowskiego. Opracowana przez Skulimowskiego metoda terapii polegająca na regularnej i długotrwałej ekspozycji na intensywne bodźce natury fizycznej, chemicznej i biologicznej występujące w podziemnych obszarach komór solnych, nazywana jest subterraneoterapią (*sub* – pod, *terra* – ziemia). Metoda Skulimowskiego jest formą speleoterapii (grec. *speleon* – jaskinia), opierającej się na wykorzystaniu terapeutycznych właściwości środowiska podziemnego, zarówno struktur stworzonych w wyniku działalności człowieka, jak i powstałych naturalnie (jaskinie krasowe) [1,20]. Obecnie subterraneoterapia stosowana jest przez uzdrowiska utworzone w nieczynnych kopalniach m.in. w Czechach (Zlaté Hory), Rumunii (Turda), Niemczech (Berchtesgaden i Ennepetal), Austrii (Bad Gastein), Słowacji (Banská Bystrica) czy też Ukrainie (Solotwino). Na terenie Polski działalność uzdrowiskowa tego typu prowadzona jest w komorach solnych w Wieliczce oraz Bochni [1].

Naturalny mikroklimat komór solnych, dzięki właściwościom izolacyjnym przestrzeni podziemnej, charakteryzuje się wysoką czystością powietrza pozbawionego alergenów (pyłków roślinnych), patogenów (wirusów, bakterii, grzybów) oraz zanieczyszczeń antropogenicznych (w tym sadzy) [21]. Zwiększona zawartość CO₂ (ok. 3–5 razy w stosunku do warunków na powierzchni ziemi) przyczynia się do obniżenia odczynu pH powietrza. Kwaśny odczyn środowiska odgrywa dużą rolę w procesie samooczyszczania przestrzeni podziemnej z aerozolu patogennego [22].

Podstawowym czynnikiem terapeutycznym aerozolu kopalnianego jest wysoka zawartość NaCl pochodzącego z nieustannie zachodzącego procesu rozpuszczania halitu przez wilgotne powietrze, przy czym woda wychwytywana jest przez higroskopijne skały solne. Cząsteczki NaCl pochodzą również ze stagnujących wód kopalnianych i źródeł solankowych, stanowiąc ponad 80% fazy rozproszonej aerozolu znajdującego się w kopalni. NaCl może występować

w postaci krystalicznej oraz, ze względu na wysoką wilgotność powietrza, jako mgła solankowa [23].

W badaniach Bralewskiej i wsp. wykonanych w Bochni, 68–80% NaCl krystalizowało się w drobnych formach o średnicy $<2,5\mu\text{m}$, co świadczy o obecności suchego aerozolu solnego wysokiej jakości [21].

Kolejnym parametrem decydującym o właściwościach leczniczych aerozolu w komorach solnych jest wysokie stężenie NaCl, wynoszące nawet do kilkadziesiątu mg/m^3 powietrza. Istotnym czynnikiem decydującym o skuteczności terapii inhalacyjnej jest dawka zaabsorbowanego przez pacjenta NaCl. Zależy ona, oprócz parametrów leczniczych charakteryzujących aerozol solny, od osobniczej objętości oddechowej oraz czasu ekspozycji na aerozol [21].

Podczas pobytu w podziemnych komorach solnych współczynnik depozycji cząstek stałych (DF), wyliczony m.in. na podstawie ich średnicy, w pracy Bralewskiej i wsp. wyniósł 0,58–0,7. Oznacza to, że 58–70% inhalowanych cząstek dostaje się do płuc w trakcie jednego cyklu oddechowego. Dla porównania DF w warunkach naziemnych wyniósł w stanie spoczynku 0,32–0,35 [21]. Istotne znaczenie ma w tym przypadku zwiększona zawartość CO_2 w środowisku podziemnym, działająca pobudzająco na ośrodek oddechowy w mózgu. Ponieważ DF zależy od stopnia aktywności ruchowej, podczas pobytu terapeutycznego zalecana jest gimnastyka zdrowotna połączona z ćwiczeniami oddechowymi [24].

Korzystna dla leczenia schorzeń układu oddechowego jest również wysoka stabilność czynników fizycznych kształtujących mikroklimat: stała temperatura i duża wilgotność (60–75%) oraz stałe ciśnienie atmosferyczne, które w stosunku do warunków naziemnych jest zwiększone o stałą wartość, zależną od głębokości położenia komory. Występujące pod ziemią zjawisko zwiększonej jonizacji powietrza prowadzi do powstania tzw. elektroaerozolu z przewagą korzystnych, szczególnie dla układu oddechowego, jonów ujemnych. Niskie pH mikroklimatu kopalni wspólnie z działaniem bakteriobójczym NaCl przyczynia się do zachowania dużej czystości mikrobiologicznej środowiska [25].

Speleoterapia w leczeniu chorób układu oddechowego

W 1978 r. kopalnia soli w Wieliczce została wpisana na Listę Światowego Dziedzictwa Kulturalnego i Przyrodniczego UNESCO, natomiast od 4 sierpnia 2011 r. zgodnie z Decyzją Nr 61 Ministra Zdrowia uzyskała status uzdrowiska. Uzdrowisko Kopalnia Soli „Wieliczka” prowadzi działalność leczniczą w kierunku przewlekłych, nawracających i nieinfekcyjnych chorób dolnych i górnych dróg oddechowych oraz chorób skóry.

Pobyty sanatoryjne w warunkach subterraneoterapii wskazane są szczególnie w chorobach takich jak: astma oskrzelowa, POChP, przewlekłe stany zapalne zatok, oskrzeli oraz płuc, czy też alergiczne choroby skóry [25].

Skuteczność subterraneoterapii w leczniczych komorach Uzdrowiska Kopalnia Soli „Wieliczka” została potwierdzona przez wielu badaczy, m.in. przez Kostrzon i wsp., którzy przeprowadzili badania w wśród pacjentów z ustabilizowaną postacią POChP. Badacze porównywali długoterminowe efekty standardowej rehabilitacji pulmonologicznej prowadzonej metodą subterraneoterapii z efektami rehabilitacji odbywającej się w warunkach naziemnych. Obserwacje prowadzono przez okres 3 tygodni, podczas których pacjenci odbywali (pod nadzorem wykwalifikowanego personelu) pięć 120-minutowych sesji treningowych tygodniowo. W obu grupach zaobserwowano pozytywne efekty prowadzenia zabiegów rehabilitacyjnych, jednakże w grupie poddawanej rehabilitacji w kopalni soli odnotowano istotnie znamiennej redukcję nasilenia objawów POChP (ocenioną standaryzowanym kwestionariuszem CAT – *COPD Assessment Test*, od angielskiej nazwy schorzenia *Chronic Obstructive Pulmonary Disease*), zwłaszcza w odniesieniu do odczucia duszności. Potwierdzono również istotnie wyższą tolerancję wysiłku ocenianą testem 6-minutowego marszu – 6MWD (*6-min walking distance*). W przeciwieństwie do grupy naziemnej w grupie poddanej subterraneoterapii korzystne efekty obserwowane były również w badaniu kontrolnym, przeprowadzonym po 6 miesiącach od zakończenia rehabilitacji [25,26].

Program subterraneoterapii prowadzony był również w Wieliczce wśród pacjentów z astmą oskrzelową. W trakcie 3-tygodniowego pobytu sanatoryjnego pacjenci odbywali codzienne, 6-godzinne sesje w komorze Jezioro Wessel. Porównywano wartości parametrów oddechowych oraz standaryzowanego, 5-elementowego kwestionariusza ACT (*Asthma Control Test*, test kontroli astmy) przed i po 2 tygodniach od zakończenia subterraneoterapii. Metoda ta wpłynęła w sposób znamiennej na wzrost parametru MEF_{75} (szybkość przepływu powietrza podczas natężonego wydechu w momencie gdy pozostało 75% FVC, tj. natężonej pojemności życiowej płuc) oraz zwiększenie wyniku ACT. W grupie pacjentów z astmą słabo lub umiarkowanie kontrolowaną ($ACT < 20$ pkt) różnica pomiędzy zmierzonymi parametrami oddechowymi (FEV_1 , VC, MEF_{75}) oraz wartością punktową kwestionariusza ACT, przed i po subterraneoterapii, była wyższa niż w grupie z astmą dobrze kontrolowaną ($ACT > 20$ pkt). Potwierdzono, że metoda subterraneoterapii jest pomocna w uzyskaniu lepszej kontroli astmy szczególnie u osób z większym nasileniem objawów chorobowych [27].

W Uzdrowisku Kopalnia Soli „Wieliczka” przeprowadzono również ocenę efektywności leczenia objawowego przewlekłego, niealergicznego nieżytu nosa i/lub zatok przynosowych. Badane schorzenie znacząco upośledza jakość życia dotkniętych nim osób, a dostępne metody jego leczenia są ograniczone i o niskiej skuteczności. Terapia prowadzona przez Woźniak i wsp. trwała 15 dni i składała się z 6-godzinnych sesji subterraneoterapii połączonych z rehabilitacją oddechową i fizyczną. Posługując się skalą VAS (*Visual Analogue Scale*, subiektywna ocena nasilenia objawów) przed i po zakończeniu terapii, stwierdzono istotne statystycznie zmniejszenie nasilenia wszystkich analizowanych objawów choroby,

m.in. blokady nosa, uczucia bólu i rozpierania twarzy, bólu głowy czy też ograniczenia węchu [28].

W badaniach Kendrovej i wsp. porównano efekty speleoterapii i leczenia uzdrowiskowego uzyskane przez chorych na POChP w kompleksie uzdrowiskowym Tatranská Kotlina na Słowacji. Czas trwania terapii wynosił 20 dni. Wydzielona grupa eksperymentalna oprócz leczenia sanatoryjnego została poddana dodatkowo speleoterapii w Jaskini Bielańskiej, w odbywających się 4 razy w tygodniu 50-minutowych sesjach. W grupie z dodatkową speleoterapią zaobserwowano istotną statystycznie poprawę jakości życia zależną od zdrowia, mierzoną kwestionariuszem SGRQ (*St. George's Respiratory Questionnaire*) w jego części związanej z objawami choroby, spadek nasilenia odczuć depresyjnych i lękowych (Test Becka) oraz znamienne wzrost tolerancji wysiłku (test 6MWD) w porównaniu z grupą ze standardową terapią [29].

Mechanizm korzystnego działania subterraneoterapii nie został jeszcze dostatecznie poznany. Niektórzy autorzy wskazują na bodźcowe działanie licznych elementów mikroklimatu komór solnych, co uruchamia mechanizmy utrzymujące homeostazę organizmu [24].

W badaniach wykonanych w uzdrowisku Kopalnia Soli „Wieliczka” stwierdzono korzystny wpływ 14-dniowej terapii w 6,5-godzinnych dziennych sesjach na profil lipidowy, w postaci obniżenia stężenia cholesterolu całkowitego i wzrostu jego frakcji HDL. Zaobserwowano również zwiększenie masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej, co można tłumaczyć adaptacją termogeniczną organizmu do przebywania w niższej temperaturze otoczenia [24].

Z kolei Nurov [30], prowadząc badania w grupie chorych na POChP w Jaskini Khodjaykhon w Uzbekistanie, wskazał na udział mechanizmów immunologicznych. W grupie pacjentów poddanych standardowemu leczeniu z dodatkową speleoterapią zanotował on wzrost liczby limfocytów T, subpopulacji limfocytów CD4 i CD8, jak również wzrost aktywności fagocytarnej neutrocytów w porównaniu z grupą leczoną standardowo.

Naziemne groty solne

W połowie lat 80. XX w. rozpoczęto próby odtworzenia mikroklimatu naturalnych komór solnych w warunkach naziemnych. Początkowo praktykowano metodę pasywną polegającą na wykładaniu ścian pomieszczenia blokami soli (sylwinu lub halitu). Sposób ten okazał się jednak nieefektywny dla otrzymania aerozolu o odpowiednich parametrach leczniczych [7]. Uzyskanie pożądanego stężenia NaCl umożliwiło dopiero wprowadzenie generatorów suchego aerozolu (halogeneratorów), dostarczających do pomieszczenia zabiegowego osuszone i oczyszczone powietrze nasycone wysokodispersyjnymi cząsteczkami soli kamiennej [31,32]. Suchy aerozol wytwarzany jest w halogeneratorze

w wyniku silnego, mechanicznego oddziaływania na kryształy soli. Powstające cząsteczki charakteryzuje wysokie napięcie powierzchniowe i ujemny ładunek elektryczny [32].

W badaniu Ponikowskiej i wsp. podjęto próbę wyboru soli o odpowiednim składzie chemicznym i korzystnych parametrach dla wytwarzania aerozolu solnego w generatorze. Pod względem składu chemicznego najkorzystniejsza okazała się sól bocheńska, jednak urządzenie nie było przystosowane do przetworzenia wilgotnego surowca. Ostatecznie dokonano wyboru soli kłodawskiej ze względu na dużą procentową zawartość NaCl (w przeciwieństwie do soli kamiennej z Wieliczki) oraz znaczne ilości wapnia i magnezu. W procesie warzenia soli oraz przy dostępie powietrza jodki utleniają się z roztworu do wolnego jodu cząsteczkowego, wzbogacając powietrze (np. w strefie przybrzeżnej nad morzem). Ze względu na małą zawartość jodu w soli kłodawskiej, podobnie jak w soli z Morza Martwego, dodany został jodek potasu. Za optymalne w leczeniu chorób układu oddechowego uznano następujące parametry środowiska grotu solnej: stężenie NaCl w aerozolu wynoszące 10–15 mg/m³ (przy udziale cząsteczek o średnicy 1–5 μm wynoszącym 98%), wilgotność na poziomie 60%, temperatura powietrza w zakresie 20–24°C [33].

Wyliczono również dawkę NaCl przyswajaną jednorazowo przez pacjenta. W trakcie 45-minutowego seansu w grocie solnej z halogeneratorem pacjent pobierał 13 mg NaCl, co jest porównywalne do 6-godzinnego przebywania nad morzem i 2-godzinnego pobytu w strefie okołotężniowej przy wietrznej pogodzie. W trakcie 7-godzinnej ekspozycji w Wieliczce wyliczona wartość pobranego NaCl wynosi 76 mg [33]. Warto podkreślić, że ze względu na większą ilość pobranego NaCl seans z halogeneratorem jest skuteczniejszy w porównaniu do ekspozycji pod ziemią.

Skuteczność haloterapii w leczeniu chorób układu oddechowego w warunkach naziemnych komór solnych została potwierdzona w badaniach klinicznych.

Oprita i wsp. oceniali wpływ suchego aerozolu solnego na częstotliwość oddychania oraz parametry badania gazometrycznego krwi tętniczej wśród pacjentów cierpiących na choroby obturacyjne oskrzeli (astmę i POChP) w trakcie zaostrzenia objawów. Wszyscy chorzy przechodzili standardowe leczenie w postaci tlenoterapii oraz otrzymywali wziewnie kortykosteroidy i β-mimetyki. W grupie pacjentów poddanych dodatkowo haloterapii (wkłady filtrujące powietrze do tlenoterapii zawierające mikrocząsteczki soli) zaobserwowano istotne zmniejszenie liczby oddechów oraz ciśnienia cząstkowego CO₂ z równoczesnym zwiększeniem prężności O₂ i saturacji krwi tętniczej, w porównaniu z grupą leczoną wyłącznie standardowo. Poprawa parametrów została zaobserwowana już pod koniec pierwszej godziny trwania haloterapii [34].

Pozytywne efekty haloterapii zaobserwowali również Lăzărescu i wsp. wśród osób z patologiami układu oddechowego występującymi na tle alergicznym i infekcyjno-zapalnym. W porównaniu z grupą kontrolną przyjmującą farmakoterapię

w warunkach domowych, w grupie pacjentów poddanych seansom w grocie naziemnej zaobserwowano aktywację mechanizmów charakterystycznych dla odporności nieswoistej: zwiększenie liczby neutrofilów we krwi oraz zwiększenie wewnątrzkomórkowej, zależnej od tlenu, aktywności bakteriobójczej tych komórek, na podstawie testu redukcji NBT (*nitroblue tetrazolium*) [35].

W pracy Chervinskiej i Zilber odnotowano poprawę stanu klinicznego w grupie pacjentów z przewlekłymi niespecyficznymi chorobami płuc: astmą oskrzelową, przewlekłym obturacyjnym i nieobturacyjnym zapaleniem oskrzeli, chorobą rozstrzeniową i mukowiscydozą. Terapia prowadzona była w godzinnych sesjach przez 10–20 dni, w zależności od stanu chorego. Uzyskano poprawę parametrów spirometrycznych oraz zmniejszenie nasilenia objawów typowych dla uszkodzenia drenażu dróg oddechowych po 7 dniach terapii (zmniejszenie: liczby napadów astmy, oznak dziennej i nocnej duszności, częstotliwości i intensywności kaszlu, lepkości wydzieliny z łatwiejszym jej odkrztuszaniem). Co istotne, u przeszło połowy pacjentów możliwe było odstawienie kortykosteroidów i β -mimetyków, natomiast u części z nich znacząco zredukowano ich dawkę. Dynamika poprawy funkcji drenażowej oskrzeli, zmierzona na podstawie parametru MEF_{50} , zależała od wyjściowego nasilenia objawów obturacji. Istotne zmiany zaobserwowano w grupie z ciężkim i umiarkowanym zwężeniem oskrzeli, podczas gdy w grupie z postacią łagodną i u osób zdrowych nie stwierdzono zmian tego parametru [7].

Terapia z wykorzystaniem suchego aerozolu solnego stosowana była również jako metoda prewencyjna u osób narażonych na wystąpienie POChP. Kryteria kwalifikacji ochotników do badania obejmowały: brak przewlekłych zmian patologicznych układu oddechowego oraz występowanie produktywnego kaszlu związanego z paleniem papierosów lub/i ekspozycją na zanieczyszczenia przemysłowe. Po kilkunastu 10-minutowych sesjach haloterapii w grupie badanej zaobserwowano pozytywne zmiany w badaniu osłuchowym oraz w parametrach czynnościowych (istotnie statystycznie zwiększenie MEF_{25} , MEF_{50} , MEF_{75}). W porównaniu z grupą kontrolną poddawaną inhalacjom zwykłym powietrzem, zmniejszyło się również nasilenie kaszlu a jakość płwociny (wygląd, objętość, konsystencja itp.) uległa poprawie [36].

Należy dodać, że niektóre ośrodki badawcze, głównie w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie, ograniczają pojęcie haloterapii jedynie do terapeutycznego wykorzystania suchego aerozolu solnego. Haloterapia jest więc traktowana jako metoda alternatywna do naturalnej speleoterapii lub subterraneanoterapii [1].

Podsumowanie

Haloterapia jest metodą o potwierdzonej skuteczności w leczeniu większości chorób układu oddechowego. Postęp techniczny umożliwił odtworzenie mikroklimatu podziemnych komór solnych w warunkach naziemnych, co pozwoliło na

zastosowanie haloterapii poza naturalnymi ośrodkami sanatoryjnymi. Metoda ta stwarza szansę ograniczenia dawki i częstotliwości stosowania standardowej farmakoterapii w chorobach układu oddechowego. Zwiększa komfort życia pacjentów i przyczynia się do ograniczenia ryzyka występowania efektów ubocznych farmaceutyków.

Bibliografia

1. Faracik R. *Dziedzictwo salinarne a współczesna haloterapia w Europie Środkowej* [w:] Płonka-Syroka B, Brzegowy P, Syroka A, Dorocki S (red.). *Tradycje i perspektywy rozwoju kultury uzdrowiskowej w Muszynie w kontekście europejskim*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza Arboretum 2020: 383–398.
2. Ziemska J, Szynal T, Mazańska M, Solecka J. *Natural medicinal resources and their therapeutic applications*. *Rocz Panstw Zakł Hig.* 2019; 70(4): 407–413. <https://doi.org/10.32394/rpzh/2019.0093>.
3. Czajka K, Sziwa D, Drobnik M, Latour T. *Porównanie właściwości mikroklimatu i aerozoli w wyrobiskach kopalnianych i naziemnych grotach solnych*. *Balneol Pol.* 2006; 3: 176–181.
4. Jaworska J, Siepiak M. *Polskie sole kamienne vs sole himalajskie – analiza porównawcza wybranych składników soli spożywczych*. *Przegląd Solny.* 2018; 14: 95–104.
5. Fronczyk W, Stanisławska I, Damińska M, Joźwik A. *Lecznicze zastosowanie wód wodorowęglanowych, chlorkowych oraz siarczanowych w Polsce*. *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa.* 2016; 4: 9–15.
6. Ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych, Dz.U. z 2005 r. nr 167 poz. 1399.
7. Chervinskaya AV, Zilber NA. *Halotherapy for treatment of respiratory diseases*. *J Aerosol Med.* 1995; 8(3): 221–232. <https://doi.org/10.1089/jam.1995.8.221>.
8. Śliwiński P, Chazan R, Dąbrowiecki P, Jahnz-Różyk K, Mróz R, Pirożyński M. *Wpływ doboru inhalatora i cząstki na skuteczność terapii wziewnej w POChP*. *Pneumonol Alergol Pol.* 2014; 82: 300–310.
9. Achkar MA, Geller DE, Slaney AP, Layish DT. *Halotherapy in patients with Cystic Fibrosis: a pilot study*. *Int J Respir Pulm Med.* 2015; 2, 009.
10. Crisan-Dabija R, Sandu IG, Popa IV, Scripcariu DV, Covic A, Burlacu A. *Halotherapy-an ancient natural ally in the management of asthma: a comprehensive review*. *Healthcare (Basel).* 2021; 9(11), 1604. <https://doi.org/10.3390/healthcare9111604>.
11. Štanfel D, Kalogjera L, Ryazantsev SV, Hlača K, Radtsig EY, Teimuraz R, Hrabac P. *The role of seawater and saline solutions in treatment of upper respiratory conditions*. *Mar Drugs.* 2022; 20, 330. <https://doi.org/10.3390/md20050330>.
12. Bennett WD, Burbank A, Almond M, Wu J, Ceppe A, Hernandez M, Boucher RC, Peden DB. *Acute and durable effect of inhaled hypertonic saline on mucociliary clearance in adult asthma*. *ERJ Open Res.* 2021; 7(2), 00062-2021. <https://doi.org/10.1183/23120541.00062-2021>.
13. Bennett WD, Henderson AG, Ceppe A, Zeman KL, Wu J, Gladman C, Fuller F, Gazda S, Button B, Boucher RC, Donaldson SH. *Effect of hypertonic saline on*

- mucociliary clearance and clinical outcomes in chronic bronchitis*. ERJ Open Res. 2020; 6(3), 00269–2020. <https://doi.org/10.1183/23120541.00269-2020>.
14. Zhang C, Zhu W, Meng Q, Lian N, Wu J, Liu B, Wang H, Wang X, Gu S, Wen J, Shen X, Li Y, Qi X. *Halotherapy relieves chronic obstructive pulmonary disease by alleviating NLRP3 inflammasome-mediated pyroptosis*. Ann Transl Med. 2022; 10(23), 1279. <https://dx.doi.org/10.21037/atm-22-5632>.
 15. Panta P, Chatti K, Andhavarapu A. *Do saline water gargling and nasal irrigation confer protection against COVID-19?* Explore (NY). 2021; 17(2): 127–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.explore.2020.09.010>.
 16. Ramalingam S, Graham C, Dove J, Morrice L, Sheikh A. *Hypertonic saline nasal irrigation and gargling should be considered as a treatment option for COVID-19*. J Glob Health. 2020; 10(1), 010332. <https://doi.org/10.7189/jogh.10.010332>.
 17. Rosati P, Giordano U, Concato C. *Hypertonic saline nasal irrigation and gargling as an inexpensive practical adjunctive weapon to combat asymptomatic SARS-CoV-2 infections. A case report*. Trends Med. 2020; 20. <https://doi.org/10.15761/TiM.1000249>.
 18. Cegolon L, Mastrangelo G, Emanuelli E, Camerotto R, Spinato G, Frezza D. *Early negativization of SARS-CoV-2 infection by nasal spray of seawater plus additives: The RENAISSANCE open-label controlled clinical trial*. Pharmaceutics. 2022; 14(11), 2502. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14112502>.
 19. Machado RRG, Glaser T, Araujo DB, Petiz LL, Oliveira DBL, Durigon GS, Leal AL, Pinho JRR, Ferreira LCS, Ulrich H, Durigon EL, Guzzo CR. *Inhibition of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 replication by hypertonic saline solution in lung and kidney epithelial cells*. ACS Pharmacol Trans Sci. 2021; 4(5): 1514–1527. <https://doi.org/10.1021/acscptsci.1c00080>.
 20. Freidl J, Huber D, Braunschmid H, Romodow C, Pichler C, Weisböck-Erdheim R, Mayr M, Hartl A. *Winter exercise and speleotherapy for allergy and asthma: a randomized controlled clinical trial*. J Clin Med. 2020; 9(10), 3311. <https://doi.org/10.3390/jcm9103311>.
 21. Bralewska K, Rogula-Kozłowska W, Mucha D, Badyda AJ, Kostrzon M, Bralewski A, Biedugnis S. *Properties of particulate matter in the air of the Wieliczka Salt Mine and related health benefits for tourists*. Int J Environ Res Public Health. 2022; 19(2), 826. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020826>.
 22. Frączek K, Górny RL, Ropek D. *Bioaerosols of subterranean therapy chambers at salt mine health resort*. Aerobiologia (Bologna). 2013; 29(4): 481–493. <https://doi.org/10.1007/s10453-013-9298-y>.
 23. Puławska A, Manecki M, Flaszka M, Styszko K. *Origin, distribution, and perspective health benefits of particulate matter in the air of underground salt mine: a case study from Bochnia, Poland*. Environ Geochem Health. 2021; 43(9): 3533–3556. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00832-2>.
 24. Pośpiech S, Barucha P, Damijan Z, Błaszczuk J, Czapkowicz-Pośpiech R. *Badania wpływu mikroklimatu podziemnego uzdrowiska w Kopalni Soli w Wieliczce na masę ciała, zawartość tkanki tłuszczowej i gospodarkę lipidową – doniesienie wstępne*. Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna. 2014; 20(4): 204–216.
 25. Kostrzon M. *Ocena skuteczności rehabilitacji pulmonologicznej prowadzonej w warunkach subterraneanoterapii u chorych na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc*.

- Rozprawa doktorska. Promotor: prof. dr hab. R Nowobilski. Uniwersytet Jagielloński, Kraków 2019.
26. Kostrzon M, Śliwka A, Wloch T, Szpunar M, Ankowska D, Nowobilski R. *Subterranean pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease* [w:] Pokorski M (eds.). *Advances in Biomedicine. Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer, Cham 2019; 1176: 35–46. https://doi.org/10.1007/5584_2019_354.
 27. Kostrzon M, Czarnobilski K, Czarnobilska E. *The influence of pulmonary rehabilitation in the Wieliczka Salt Mine on asthma control – preliminary results*. *Przegl Lek*. 2015; 72(12): 716–720.
 28. Woźniak A, Nowak K, Pełkowska A, Ryś K, Gawlik J, Składzień J. *The impact of treatment under subterranean therapy condition at the “Wieliczka” Salt Mine Health Resort on the symptoms of disease of the nose and paranasal sinuses*. *Pol Otorhino Rev*. 2021; 10(1): 22–27. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.6978>.
 29. Kendrová L, Takáč P, Kubincová A, Mikuláková W, Nechvátal P. *Effect of spa treatment and speleotherapy in the treatment of chronic obstructive pulmonary disease – a pilot study*. *CSWHI* 2016; 7(2): 7–15.
 30. Nurov I. *Immunologic features of speleotherapy in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. *Medical and Health Science Journal*. 2010; 2: 44–47.
 31. Stirbu C, Stirbu C, Sandu I. *Impact assessment of saline aerosols on exercise capacity of athletes*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012; 46: 4141–4145. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.214>.
 32. Chervinskaya A. *Haloterapia w mikroklimacie komory solnej jako metoda medycyny rekonwalescencyjnej. Opracowanie polskie pracy: “Halotherapy in controlled salt chamber microclimate for recovering medicine”*. *Współczesna Alergologia Info*. 2011; 6(1): 34–36.
 33. Ponikowska I, Latour T, Chervinskaja A, Chojnowski J, Błaszkiwicz B, Szmurło W. *Badanie właściwości fizyczno-chemicznych suchego aerozolu solnego w komorze naziemnej*. *Balneol Pol*. 2009; 52(2): 92–100.
 34. Oprita B, Pandrea C, Dinu B, Aignătoaie B. *Saltmed – the therapy with sodium chloride dry aerosols*. *Therapeutics, Pharmacology and Clinical Toxicology*. 2010; 14(3): 201–204.
 35. Lazarescu H, Simionca I, Hoteteu M, Munteanu A, Rizea I, Iliuta A, Dumitrascu D, Dumitrascu E. *Surveys on therapeutic effects of “halotherapy chamber with artificial salt-mine environment” on patients with certain chronic allergenic respiratory pathologies and infectious-inflammatory pathologies*. *J Med Life*. 2014; 7(Spec Iss 2): 83–87.
 36. Chervinskaya AV. *Respiratory hygiene with dry sodium chloride aerosol*. 14th Annual Congress of the European Respiratory Society, Glasgow 2004. Session “Clinical and physiological observations from health to chronic illness”, Poster P2514.

The therapeutic properties of salt in the prevention and treatment of respiratory diseases

Abstract

Natural methods of therapy are now used as a supplement to conventional medicine. Halotherapy is a variety of balneotherapy in which salt is treated as a natural medicinal raw material. As sodium chloride, salt occurs in nature mainly as rock salt and brine. Dry salt aerosol is the third medicinal material that occurs naturally in mine workings transformed into sanatorium centers, and, thanks to technological progress, it is possible to use it in underground conditions. The inhalation route enables the introduction of the therapeutic salt spray directly into the target organ, which reduces the risk of the side effects of the therapy. The effectiveness of halotherapy in the treatment of respiratory diseases has been confirmed by numerous studies conducted both in natural salt chambers and in ground caves. Thanks to halotherapy, it is possible to minimize the dose and frequency of standard pharmacotherapy in respiratory diseases.

Key words: halotherapy, salt aerosol, subterranean therapy, salt caves