

**BADANIA WPLYWU MIKROKLIMATU
PODZIEMNEGO UZDROWISKA W KOPALNI SOLI
W WIELICZCE NA MASE CIALA, ZAWARTOSC
TKANKI TLUSZCZOWEJ I GOSPODARKE
LIPIDOWA – DONIESIENIE WSTEPNE**

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE
UNDERGROUND SALT CHAMBERS
MICROCLIMATE OF KING SPA IN WIELICZKA SALT
MINE ON THE BODY WEIGHT, FATTY TISSUE
CONTENT AND LIPID BALANCE – PRELIMINARY
STUDY**

**Sławomir Pośpiech^{1*}, Paweł Barucha², Zbigniew Damijan³, Jan Błaszczyk⁴,
Renata Czapkowicz-Pośpiech^{5*}**

¹ Akademia Klinika Chirurgii Ogólnej, 5 Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką
w Krakowie, 30-901 Kraków, ul. Wrocławska 1-3

² NZOZ Batory, Poradnia Chirurgiczno-Ortopedyczna Sp. z o.o.,
31-135 Kraków, ul. Batorego 3

³ Akademia Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30

⁴ Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Katedra Nauk Podstawowych, Zakład Fizjologii
Człowieka i Biofizyki, 90-647 Łódź, pl. Hallera 1

⁵ Centrum Medycyny Profilaktycznej – Poradnia Laryngologiczna,
30-106 Kraków, ul. Olszańska 5

* e-mail: pospiechak@interia.pl

STRESZCZENIE

Celem badania była ocena wpływu podziemnego mikroklimatu kopalni soli na masę ciała, zawartość tkanki tłuszczowej i gospodarkę lipidową człowieka. Badanie przeprowadzono w Komorze Solnej „Jeziro Wessel”, znajdującej się 135 metrów pod ziemią, na poziomie trzecim Kopalni Soli w Wieliczce. Badaniem objęto 43 zdrowe dorosłe osoby. Każdego dnia pobytu dwukrotnie wykonywano pomiar masy ciała oraz zawartości tkanki tłuszczowej. Pomiary prowadzono 15 minut po dotarciu badanych do Komory Solnej i drugi raz 15 minut przed wyjazdem z kopalni. Przed rozpoczęciem badań i po ich zakończeniu uczestnikom pobrano krew obwodową z żyły łokciowej do analiz biochemicznych, obejmujących oznaczenie: cholesterolu całkowitego, cholesterolu HDL i trójglicerydów. Wykonane analizy wskazują, że 14-dniowe, 6,5-godzinne przebywanie

w podziemnej atmosferze kopalni soli powoduje istotny statystycznie wzrost masy ciała, wzrost zawartości tkanki tłuszczowej, wzrost cholesterolu HDL i trójglicerydów oraz nieistotny statystycznie spadek poziomu cholesterolu całkowitego.

Słowa kluczowe: subterraneoterapia, masa ciała, tkanka tłuszczowa, gospodarka lipidowa

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the influence of the underground microclimate salt mine on the body mass, fatty tissue content and lipid balance. The research was performed in the Lake Wessel Chamber, situated 135 meters under the ground, on the 3rd level of Wieliczka salt mine. The studied group comprised of 43 healthy adult people. Each day of the stay in the salt chamber the body weight and fatty tissue content were measured. Before the examination and after it, the peripheral blood samples from elbow veins of the subjects were taken for further study. The blood tests included: the total cholesterol, high density lipoproteins (HDL) and triglycerides. Statistical analysis revealed that 14-day, 6,5-hour long exposure to the underground atmosphere caused a statistically significant increase: of the body weight, fatty tissue content and of the HDL. Statistically insignificant decrease of the total cholesterol and triglycerides was also observed.

Keywords: subterraneotherapy, lipid balance, fatty tissue, body weight

1. Wprowadzenie

Tradycje przyrodolecznictwa sięgają starożytności. Grecy i Rzymianie przywiązywali dużą wagę do podziemnych wód, a Hipokrates w swoim dziele „O powietrzu, wodach i okolicach” omawia wskazania i przeciwwskazania oraz techniki poszczególnych zabiegów wodoleczniczych oraz wpływ klimatu na organizm. Platon, Arystoteles, Galen i Celsus byli zwolennikami stosowania wód podziemnych do leczenia dolegliwości reumatycznych, nerwowych, żołądkowo-jelitowych i skórnych w połączeniu z innymi zabiegami fizjoterapeutycznymi [1].

Współczesne przyrodolecznictwo, czyli balneoterapia, polega na mobilizowaniu sił obronnych organizmu do walki z chorobą. Wpływa na mechanizmy biologiczne, pozwalające przystosować się lub zwalczyć niekorzystne wpływy środowiska człowieka. Metody, jakie wykorzystuje leczenie uzdrowiskowe mają charakter bodźców leczniczych. W odpowiedzi na nie powstają w organizmie zmiany, które określane są jako reakcje adaptacyjne i kompensacyjne. Jeżeli bodźce stosowane są systematycznie pod postacią serii zabiegów, w organizmie chorego następuje stopniowe przestrojenie w kierunku przywrócenia zdrowia i sprawności funkcjonalnej. Metody balneologiczne mają działanie trenujące i usprawniające funkcje wielu układów fizjologicznych. Wyniki lecznicze powstają wolno i stopniowo, a ich cechą specyficzną jest wymóg seryjnego stosowania zabiegów w odpowiednio długim czasie. Efekty lecznicze nie występują natychmiast, są za to trwalsze.

Działania lecznicze bodźców balneologicznych wywołują efekty ogólnoustrojowe systemowe i miejscowe objawowe.

Ogólnoustrojowe działania lecznicze tych bodźców to m.in.:

- usprawnienie funkcjonowania mechanizmów regulacyjnych narządów i układów;
- zrównoważenie sprawności działania autonomicznego układu nerwowego;
- zwiększenie wydolności fizycznej;
- zwiększenie odporności nieswoistej;
- zrównoważenie i usprawnienie procesów psychosomatycznych.

Efekty działania miejscowego:

- działanie przeciwbólowe;
- działanie przeciwzapalne;
- działanie przeciwobrzękowe;
- działanie hemodynamiczne;
- działanie na napięcie mięśniowe [2].

Balneologia wykorzystuje do leczenia czynniki naturalne, czerpane z otaczającej przyrody: energię naturalną wód mineralnych, peloidów, gazów leczniczych, bodźców klimatycznych, w tym tych panujących w głębi ziemi. Kuracja, która wykorzystuje leczniczy mikroklimat jaskiń podziemnych nosi nazwę speleoterapii. Sam termin oznacza tylko leczenie pod ziemią (*speleon* po grecku: jaskinia) i odnosi się do leczenia w podziemnych speleolecznicach różnego pochodzenia: krasowych, solnych, posiadających podziemne jeziora lub źródła mineralne.

Wśród czynników o charakterze leczniczym występujących w jaskiniach i wyrobiskach kopalnianych możemy wyróżnić: właściwości powietrza, podziemny mikroklimat i promieniowanie. Rozpatrując właściwości powietrza, wyróżniamy: sodowe i potasowe wyrobiska kopalń i jaskiń oraz jaskinie krasowe i podziemia kopalni rudy [3].

Wyodrębnia się również:

- trzy rodzaje klimatu podziemnego:
 - ze względu na temperaturę: zimny (6–10 °C), umiarkowany (13–20 °C) i ciepły (30–41 °C);
 - ze względu na względną wilgotność: niska, normalna i wysoka;
 - ze względu na ciśnienie: niskie, normalne i wysokie;
- oraz cztery poziomy promieniowania:
 - wysoki – wywołany przez radon;
 - umiarkowany;
 - normalny – skały krasowe;
 - niski – skały solne.

W praktyce wyróżniamy:

- jaskinie krasowe zimne i umiarkowane o wysokiej wilgotności, normalnym ciśnieniu i poziomie promieniowania;
- jaskinie krasowe i granitowe ciepłe o wysokiej wilgotności, z normalnym ciśnieniem i wysokim poziomem promieniowania radonu;
- kopalnie potasu z umiarkowaną temperaturą, normalną wilgotnością, wysokim ciśnieniem i umiarkowanym poziomem promieniowania;
- ciepłe kopalnie soli z niską wilgotnością, wysokim ciśnieniem i niskim poziomem promieniowania;
- kopalnie i jaskinie solne z umiarkowaną temperaturą, niską wilgotnością, niskim ciśnieniem i niskim poziomem promieniowania [4].

Subterraneoterapia polega na poddaniu chorych wielokrotnemu, długotrwałemu działaniu intensywnych bodźców fizycznych, biologicznych i chemicznych występujących w głębi ziemi w pustych komorach wyrobisk solnych. Obecnie jest realizowana w niewielu ośrodkach na świecie. Obok Kopalni Soli w Wieliczce są to m.in.: Solotwino na Ukrainie, Złote Hory w Czechach i Berchtesgaden w Niemczech.

Wieliczka jest kolebką ruchu naukowego w dziedzinie subterraneoterapii. W 1963 r. powołano tu pierwsze na świecie Towarzystwo Naukowe Klimatoterapii Podziemnej, a jego założycielem był profesor Mieczysław Skulimowski. W roku 1964 powstało w Kopalni Soli w Wieliczce pierwsze w kraju i na świecie podziemne Sanatorium Alergologiczne „Kinga”, a następnie w specjalnie adoptowanych podziemnych komorach solnych – szpital „Kinga”. Jedyną stosowaną metodą leczenia była subterraneoterapia wzbogacona później o rehabilitację leczniczą układu oddechowego, poprzez naukę prawidłowego oddychania oraz niwelowanie dysfunkcji układu kostno-mięśniowego w obrębie klatki piersiowej. Dzięki Profesorowi Skulimowskiemu Wieliczka w 1970 r. uznana została za miejscowość o charakterze uzdrowiskowym, a w 1971 r. nowa metoda leczenia uzyskała podstawy prawne, co ułatwiło jej dalszy rozwój.

Tradycje lecznictwa podziemnego kontynuował Podziemny Ośrodek Rehabilitacyjno-Leczniczy w Kopalni Soli w Wieliczce. W lipcu 2011 roku decyzją Ministra Zdrowia Kopalnia Soli „Wieliczka” uzyskała status podziemnego sanatorium uzdrowiskowego z możliwością leczenia uzdrowiskowego w urządzonych podziemnych wyrobiskach górniczych tzw. komorach: „Jezioro Wessel”, „Stajnia Gór Wschodnich” oraz „Smok”.

Wskazania do leczenia obejmują obecnie schorzenia górnych i dolnych dróg oddechowych m.in.: naczynioruchowe i uczuleniowe zapalenie błony śluzowej nosa i gardła, przewlekłe zapalenie zatok

przynosowych, przewlekłe zapalenie krtani i tchawicy, zapalenie oskrzeli ostre i przewlekłe, przewlekłą obturacyjną chorobę płuc, astmę oskrzelową, rozstrzenie oskrzeli, pozabiegowe zaburzenia układu oddechowego [5].

1.1. Biodynamika atmosfery przestrzeni podziemnej

Unikalna biodynamika atmosfery podziemnej wynika ze złożonego wzajemnego oddziaływania temperatury, wilgotności, ciśnienia atmosferycznego, odczynu pH, ruchu i jonizacji powietrza, a także właściwości izolacyjnych i ochronnych. Powietrze po wejściu do przestrzeni podziemnej ulega daleko idącym przemianom fizykochemicznym i biologicznym, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Niektóre składniki zostają objętościowo zmniejszone (np. tlen), inne zaś ulegają zwiększeniu (np. dwutlenek węgla) lub też pojawiają się nowe (np. radon, metan, siarkowodor, aerozole: chlorkowo-sodowy, wapniowy czy magnezowy).

O leczniczej wartości mikroklimatu komór solnych w Wieliczce decydują:

- zwiększone ciśnienie atmosferyczne (ciśnienie parcjalne tlenu);
- naturalna ujemna jonizacja atmosfery podziemnej;
- wysokie wysycenie atmosfery podziemnej naturalnymi aerozolami bogatymi w kryształki chlorku sodu, a także wapnia, magnezu i manganu;
- czystość mikrobiologiczna;
- stała niska temperatura;
- wysoka wilgotność;
- brak zanieczyszczeń środowiskowych;
- całkowite wyłączenie promieniowania słonecznego bezpośredniego i rozproszonego;
- bodźcowe działanie zmian mikroklimatu (2 razy w ciągu doby), wynikające z przemieszczania osób do komór i wyjazdu na powierzchnię.

Z czynników terapeutycznych największe znaczenie przypisuje się zwiększonemu ciśnieniu atmosferycznemu, które jest ważnym bodźcem biodynamicznym w subterraneoterapii. W przestrzeni podziemnej jest ono zwiększone o stałe wartości w stosunku do panujących aktualnie na powierzchni ziemi, co jest zależne od wysokości położenia wyrobiska nad poziomem morza oraz jego głębokości. Przyjmuje się, że w subterraneoterapii biodynamiczne działanie wywiera wzrost ciśnienia atmosferycznego o 20 mmHg w stosunku do panującego na powierzchni ziemi, co odpowiada głębokości 200 m. Powoduje to przede wszystkim wzrost ciśnienia parcjalego tlenu, nawet przy niewielkim spadku jego zawartości objętościowej, jaki stwierdza się w wyrobiskach górniczych. Zjawisko to ma szczególne znaczenie w stanach patologicznych, w których niezbędna jest stała podaż odpowiedniej ilości tlenu. Im wyższe jest ciśnienie parcjale składników powietrza podziemnego, tym więcej ich przenika i rozpuszcza się we krwi. Kopalnia Soli w Wieliczce jest jedną z niewielu czynnych stacji podziemnych zapewniających ten istotny składnik terapeutyczny. Głębokość, na jakiej położony jest ośrodek zapewnia ponadto izolację od niekorzystnych wpływów meteorologicznych, wśród których zmiany ciśnienia atmosferycznego odgrywają dużą rolę. Szczególnie dotyczy to chorobowo zmienionych tkanek, które na znaczne zmiany ciśnienia reagują objawami patologicznymi, jak ból czy duszność w przypadku chorób układu krążenia i oddechowego.

Kolejnym ważnym czynnikiem jest naturalna ujemna jonizacja cząsteczek, zwłaszcza gazów: tlenu cząsteczkowego (O_2), tlenu atomowego (O), dwutlenku azotu (NO_2), trójtlenku azotu (NO_3) i wodoru (H_2). Powietrze na powierzchni ziemi zawiera średnio 200 do 2000 jonów w 1 cm^3 , w tym ujemnych 100–500 w 1 cm^3 w zależności od warunków meteorologicznych, pory roku czy dnia. Stosunek jonów dodatnich do jonów ujemnych wynosi 5:4. Wyższe stężenie jonów ujemnych w formie aerozoli – dotyczy to również przestrzeni podziemnych – spotykamy w pobliżu wodospadów, wód naciekowych, rzek czy w powietrzu morskim. Zaś duża koncentracja jonów dodatnich towarzyszy takim zjawiskom pogodowym, jak wiatry kontynentalne i burze szumowe, np. sirocco czy halny, przy czym zjawiska te nie docierają do przestrzeni podziemnej.

Występuje tu również wiele źródeł promieniowania jonizującego, przy czym wzmocnieniu ulegają źródła naturalne. Pod wpływem działania promieniowania alfa w powietrzu podziemnym dochodzi do aerojonizacji, tj. jonizacji cząsteczek gazów naładowanych elektrycznie, stąd znajdować się tu będą stabilne jony ujemne tlenu i jony dodatnie azotu, z przewagą tych pierwszych. Przyjmuje się, że

wpływ biodynamiczny pojawia się przy wartościach $1000/\text{cm}^3/\text{s}$ dla jonów ujemnych i $10\,000/\text{cm}^3/\text{s}$ dla jonów dodatnich, przy czym w ośrodkach subterraneoterapii stężenie jonów ujemnych sięga $50\,000/\text{cm}^3$. Z piśmiennictwa wiadomo, że jony ujemne działają dodatnio na organizm człowieka głównie przez układ oddechowy, przede wszystkim poprzez inhalację. Mają wpływ na wegetatywny układ nerwowy i zmniejszają aktywność jego części przywspółczulnej, obniżają ciśnienie tętnicze krwi, łagodzą objawy dychawicy oskrzelowej i nieżyty górnych dróg oddechowych poprzez działanie spazmolityczne, zwiększenie ruchu rzęsek nabłonka oddechowego i wydzielanie śluzu w drogach oddechowych. Redukcja zużycia tlenu, wzrost jego aktywności biologicznej i pogłębienie oddychania mają wpływ na przemianę cukrów i glikokortykosteroidów, tym samym prowadzą do poprawy sprawności fizycznej. Mają też działanie przeciwbólowe i uspakajające. Badania wykazały dobry efekt terapeutyczny stosowania ujemnej jonizacji powietrza w leczeniu stanów depresyjnych i chorobie afektywnej. Regulują także czynność wydzielniczą kory nadnerczy. Wraz z innymi czynnikami fizykochemicznymi ujemne jony powodują przyspieszenie utleniania serotoniny i znoszą patogenne działanie jonów dodatnich, które zaburzają wiele czynności ustroju m.in. w obrębie układu sercowo-naczyniowego, oddechowego, powodując także pogorszenie ogólnej kondycji i szybsze męczenie [6].

W biodynamice atmosfery podziemnej znaczenie mają naturalne aerozole, układy dwu- lub trójskładnikowe, w których ośrodkiem (fazą dyspersyjną) jest zmienione powietrze, a składnikami (fazą rozproszoną) cząsteczki stałe, zwane ziarnami, lub płynne, którymi są cząsteczki cieczy obdarzone dodatkowo ładunkiem elektrycznym, najczęściej ujemnym. Wynika to ze zwiększonego zjawiska jonizacji powietrza w głębi ziemi. W rzeczywistości są to więc elektroaerozole, które zawierają składniki uznane za terapeutycznie silnie oddziałujące na człowieka miejscowo i ogólnie, szczególnie przez układ oddechowy. Wysokie wysycenie aerozolu kryształami NaCl występujące w powietrzu komór solnych pochodzi ze stale zachodzącego procesu rozpuszczania (ługowania) skał solnych przez wilgotne powietrze. Cząsteczki NaCl mogą również pochodzić z zasolonych wód stojących, źródeł i cieków solankowych. W komorach Wieliczki 99,9% pyłu zawieszonego w atmosferze to cząsteczki NaCl, z czego połowa daje rozpylenie w postaci niezwykle delikatnej mgły solankowej, średnio ok. $40\text{ mg NaCl}/\text{m}^3$ [7].

Aerozol solny wpływa przede wszystkim na czynność układu oddechowego przez usprawnienie pracy rzęsek nabłonka migawkowego górnych dróg oddechowych i oskrzeli. Ma działanie przeciwzapalne ogólne i miejscowe, przeciwalergiczne, reguluje układ nerwowy i gospodarkę mineralną ustroju. W postaci naturalnych aerozoli w przestrzeniach podziemnych występują również wapń, magnez czy jod. Pomimo, że ich zawartość w powietrzu stacji leczniczych jest bardzo niska, to czas ekspozycji chorych pod ziemią i ilość inhalowanego aerozolu może wywierać działanie biodynamiczne m.in. wpływać na regulację przekąźnictwa nerwowo-mięśniowego (Ca), procesów enzymatycznych niezbędnych do życia, syntezę białka i przemiany kwasów rybonukleinowych (Mg). Warunkuje też prawidłową funkcję tarczycy, a tym samym wpływa na przemiany metaboliczne w ustroju [8].

Kolejną zaletą atmosfery podziemnych ośrodków terapeutycznych jest bardzo niskie stężenie cząsteczek pochodzenia organicznego i biologicznego. Badania mikrobiologiczne powietrza w komorach Kopalni Soli w Wieliczce prowadzone w 2001 r. wykazały, że aerozol wyrobisk jest wyjątkowo czysty. Stwierdzona liczba komórek bakteryjnych nie przekracza $500/\text{m}^3$, nie ma praktycznie ziaren pyłku roślin ani spor grzybów, pomimo że badania wykonywane były w okresie od czerwca do sierpnia w czasie, gdy w powietrzu na powierzchni ziemi występowały one w wysokich stężeniach. W samooczyszczaniu przestrzeni podziemnych z aerozolu patogenego dużą rolę przypisuje się odczynowi pH powietrza. Badania wykazały, że ma ono wyraźnie kwaśny odczyn średnio 4,5 pH, podczas gdy w rejonach przemysłowych kształtuje się w granicach 5–6, a w wysokich górach ok. 5.

Źródłem zakwaszania powietrza podziemnego jest woda naciekowa o dużej zawartości CO_2 . Badania wykazują, że przy pH powietrza występującego w ośrodkach subterraneoterapii większość patogennych zarodków ginie lub też następuje zmniejszenie ich wirulencji. Stąd pobyt w przestrzeniach podziemnych umożliwia proces leczniczy i regenerację uszkodzeń oraz normalizację zaburzonych czynności fizjologicznych [9].

Biodynamika atmosfery podziemnej kształtowana jest również przez współdziałające ze sobą

czynniki fizyczne, jak temperatura powietrza, która w Wieliczce na głębokości 120 m wynosi ok. 12–16 °C oraz wilgotność rzędu 65–70%. Oba parametry są stabilne i niezależne od panujących na powierzchni ziemi. Wilgotność w przestrzeniach podziemnych może być intensyfikowana przez inne czynniki; szczególnie aerozol biologiczny, ruch powietrza poniżej 0,1 m/s, jonizację cząstek, odczyn pH powietrza, co determinuje właściwości fizykochemiczne, wpływające na działanie oczyszczające i niszczące patologiczne składniki aerozoli

Podziemne ośrodki można uważać ponadto za miejsce izolacji przed niekorzystnymi wpływami meteorologicznymi, wśród których ciśnienie atmosferyczne odgrywa dużą rolę. Związek między nasileniem dolegliwości a zmianami warunków meteorologicznych zauważono już od dawna. Wpływają one na sferę psychiczną oraz samopoczucie zdrowego i chorego człowieka. U osób zdrowych wpływ ten jest krótkotrwały, inaczej przedstawia się to u osób chorych. Uszkodzone i zmienione chorobowo tkanki, szczególnie w przebiegu chorób układu oddechowego i układu krążenia, na nagłe zmiany ciśnienia atmosferycznego odpowiadają skurczem naczyń, oskrzeli, a w konsekwencji bólem i dusznością. Podobnie narząd słuchu na zmiany ciśnienia reaguje uczuciem pełności, trasków, a nawet bólem, jeżeli towarzyszy to zmianom nieżytowym nosogardzieli.

Przestrzeń podziemna całkowicie eliminuje promieniowanie słoneczne, przpuszcza się, że izolacja przed tym bodźcem powoduje silne działanie na sferę psychiczną i układ wegetatywny człowieka. Według dotychczasowych obserwacji czynnik ten ma także duże znaczenie praktyczne w subterraneoterapii chorych ze zmianami skórnymi o typie fotodermatoz. Ponadto ośrodki podziemne zapewniają całkowite lub znaczne ograniczenie bodźców akustycznych do 20–30 dB, co stanowi wspomagający składnik w procesie leczniczym. Fale akustyczne w zależności od natężenia i częstotliwości wpływają na czynność układu wegetatywnego. Hałas o średnim natężeniu, szczególnie gdy występuje w okresie przeznaczonym na wypoczynek, zmienia pracę układu krążenia poprzez nagłe zwwyżki i spadki ciśnienia tętniczego, zmiany w rytmie tętna, zaburza czynność układu oddechowego, wpływa na aktywność enzymów, a tym samym zaburza procesy metaboliczne węglowodanów, tłuszczów i białek. Może powodować zaburzenia hormonalne, a także zmiany energetyczne w mięśniach i skórze. W obrębie przewodu pokarmowego zaś hipersekrecję soku żołądkowego, co z jednoczesnymi zaburzeniami perystaltyki daje skłonność do nieżytu i owrzodzeń żołądka. W leczeniu prowadzonym w ośrodkach podziemnych bierze się pod uwagę patofizjologiczne zjawiska rytmów dobowych, mieszczących się w zakresie 20–28 godzin. Rytm ten ukształtowany cyklem dnia i nocy może również wywierać działanie biodynamiczne na czynność narządów wydzielania wewnętrznego np. nadnerczy [10].

Jak przedstawiono powyżej wzajemny wpływ czynników natury fizycznej, chemicznej i biologicznej w ośrodkach podziemnych wytwarza naturalne, unikalne, bo niedające się sztucznie odtworzyć, środowisko.

2. Materiał i metoda badań

Celem pracy była ocena wpływu subterraneoterapii jako leczenia uzdrowiskowego na masę ciała, zawartość tkanki tłuszczowej oraz profil lipidowy u zdrowych osób w trakcie czternastodniowego pobytu w Podziemnym Ośrodku Rehabilitacyjno-Lecznym w Kopalni Soli w Wieliczce.

Grupa badana liczyła 43 zdrowe osoby w wieku od 20 do 43 lat. W tym 24 kobiety w wieku 20–43 lat oraz 19 mężczyzn w wieku 26–41 lat. Średni wiek w badanej grupie wynosił 35,23 lata, z odchyleniem standardowym 5,31. Badani to rodzice młodocianych kuracjuszy, przebywający jako opiekunowie na czternastodniowym turnusie wypoczynkowym w Ośrodku Rehabilitacyjno-Kondycyjnym w Kopalni Soli w Wieliczce. Głównym kryterium doboru uczestników był ich stan zdrowia. Do badań kwalifikowano osoby zdrowe. Kwalifikację do badań przeprowadzano w dniu poprzedzającym rozpoczęcie turnusu. Przed rozpoczęciem zabiegów w komorach solnych przeprowadzono badania internistyczne każdego z uczestników, ze szczegółowym wywiadem dotyczącym historii medycznej pacjenta, mającej na celu wykluczenie osób z chorobami przewlekłymi. Każda zakwalifikowana osoba została zapoznana z warunkami przebiegu eksperymentu i wyraziła świadomą zgodę na swoje uczestnictwo.

Badanie przeprowadzono w Komorze Solnej Jeziora Wessel, będącej jedną z trzech komór solnych wchodzących w skład Podziemnego Ośrodka Rehabilitacyjno-Lecznego znajdującego się na terenie

Kopalni Soli w Wieliczce. Badanie obejmowało łącznie czternaście 6,5-godzinnych pobytów kuracjuszy pod ziemią. Badania były prowadzone w kolejnych dniach roboczych, w dwóch zmianach, rannej trwającej od 8:45 do 14:45 i popołudniowej trwającej od 14:45 do 20:45. Uczestnicy badania poddani byli dwukrotnie w ciągu doby zmianie klimatu, wynikającej z przemieszczenia się do komór solnych 135 metrów pod ziemię i wyjazdu na powierzchnię.

Przed rozpoczęciem zabiegów w Komorze Solnej (pomiar początkowy – P) i po ich zakończeniu (pomiar końcowy – K) przeprowadzono badania biochemiczne z żyłnej krwi obwodowej, obejmujące ocenę poziomu:

- cholesterolu całkowitego (Chol) [mmol/l];
- cholesterolu HDL (HDL) [mmol/l];
- triglicerydów (TG) [mmol/l].

W trakcie każdego pobytu kuracjuszy w komorze solnej wykonywano dwukrotnie pomiar parametrów fizjologicznych:

- masy ciała (MC) [kg];
- zawartości tkanki tłuszczowej (TT) [%].

Pomiary były przeprowadzane dwukrotnie w ciągu pobytu w komorze solnej:

- 15 minut po dojściu do komory (pomiar początkowy P);
- 15 minut przed opuszczeniem komory (pomiar końcowy K).

Do badania masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej wykorzystano urządzenie TANITA, w którym pomiar zawartości tkanki tłuszczowej opiera się na metodzie BIA (ang. *Bioelectrical Impedance Analysis*). Polega ona na wysyłaniu przez urządzenie słabego i bezpiecznego prądu, który przepływa przez organizm badanego. Tłuszcz, który zawiera mało wody w stosunku do mięśni i innych tkanek, powoduje wzrost impedancji, co jest podstawą do wyznaczenia jego procentowej zawartości w organizmie. Przed przystąpieniem do pomiaru należy do systemu pomiarowego wprowadzić: wzrost, płeć i wiek badanego.

Otrzymane wyniki poddano statystycznym analizom numerycznym z wykorzystaniem pakietu komputerowego STATISTIKA 8.1. Po usunięciu błędów w macierzy pierwotnej wyników dla wszystkich zmiennych wyznaczono statystyki opisowe (m.in. średnia, mediana, minimum, maksimum, odchylenie standardowe). Do badania rodzaju rozkładu zmiennych zależnych zastosowano test Kołmogorowa-Lillieforsa oraz Shapiro-Wilka. Na podstawie analizy stwierdzono, że zmienne wartości masy ciała i tkanki tłuszczowej posiadają rozkład normalny, a zmienne wartości parametrów lipidowych nie posiadają rozkładu normalnego. Zgodnie z algorytmem wyboru testu istotności różnic dla zmiennych zależnych posiadających rozkład normalny stosowano test t-Studenta. Dla zmiennych bez rozkładu normalnego zastosowano nieparametryczny test Wilcoxa. W analizach statystycznych wyników badań przyjęto poziom istotności $p = 0,05$.

Na przeprowadzenie badań otrzymano 29.05.2007 zgodę Komisji Bioetyki Uniwersytetu Medycznego w Łodzi w dniu nr RNN/306/07/KB.

3. Wyniki

3.1. Wpływ subterraneoterapii na masę ciała i zawartość tkanki tłuszczowej

Po przeprowadzeniu pomiarów masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej otrzymano macierz wyników pierwotnych. Badano rozrzut danych pierwotnych w celu usunięcia błędów pomiarowych oraz błędów przypadkowych powstałych w trakcie tworzenia macierzy. Po usunięciu błędów w macierzy wyników wyznaczono statystyki opisowe przedstawione w tabeli 1.

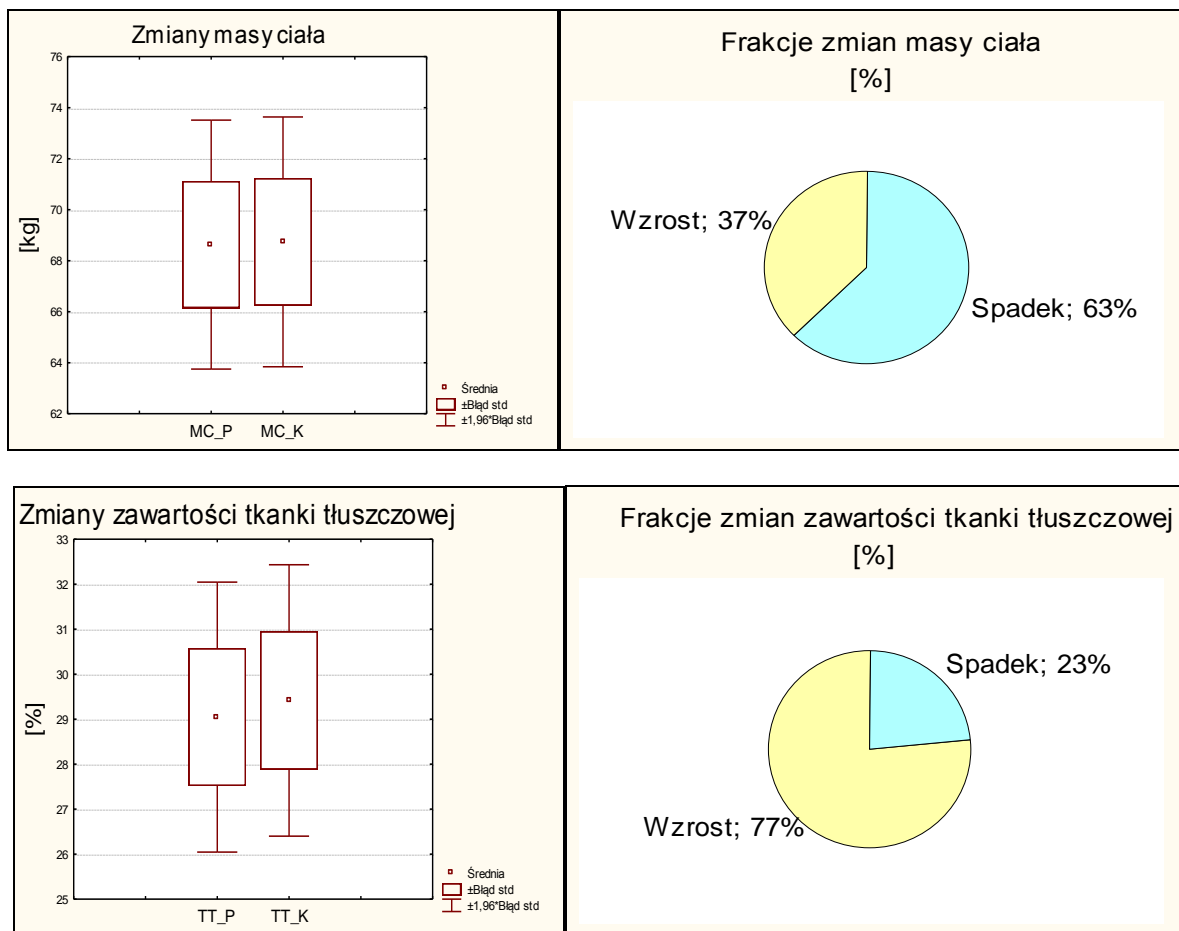
Następnie badano rodzaj rozkładu zmiennych i stwierdzono, że posiadają rozkład normalny. Zgodnie z algorytmem wyboru testu istotności różnic dla zmiennych tych zastosowano test t-Studenta (wyniki przedstawiono w tabeli 2). Analizy graficzne zmian wartości masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej zaprezentowano na rysunku 1.

Tabela 1. Statystyki opisowe: masa ciała i tkanka tłuszczowa

Zmienna	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Wariancja	Odch. std.	Skośność	Kurtoza
MC – P Kg	68,63	65,62	45,782	114,600	266,586	16,33	1,027	0,798
MC – K Kg	68,73	65,67	45,764	114,944	268,432	16,38	1,027	0,795
TT – P %	29,04	28,546	9,846	51,222	100,721	10,03	0,001	-0,249
TT – K %	29,41	28,583	10,0769	51,889	101,808	10,09	-0,031	-0,214

Tabela 2. Test t-Studenta: analiza danych masy ciała (MC) i zawartości tkanki tłuszczowej (TT)

Zmienna	Test t dla prób zależnych.		
	Średnia	Odch. std	p
MC – P kg	68,63	16,33	0,01147
MC – K kg	68,73	16,38	
TT – P %	29,04	10,03	0,00010
TT – K %	29,41	10,09	



Rys. 1. Zmiany wartości masy ciała (MC) i zawartości tkanki tłuszczowej (TT)

3.2. Wpływ subterraneoterapii na gospodarkę lipidową

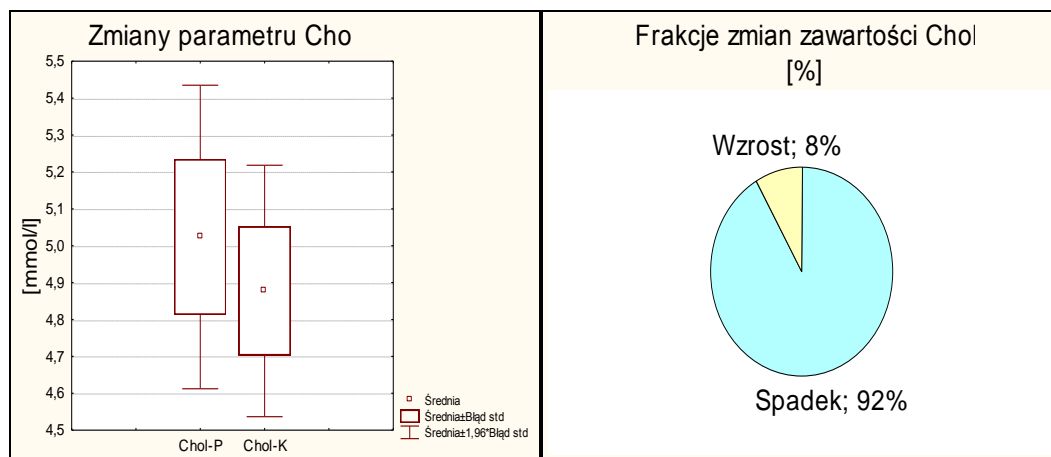
Zmierzono poziom cholesterolu całkowitego (Chol), frakcji HDL (HDL) i trójglicerydów (TG). Badano rozrzut danych pierwotnych w celu usunięcia błędów pomiarowych oraz błędów przypadkowych powstałych w trakcie tworzenia macierzy. Wyznaczono statystyki opisowe przedstawione w tabeli 3. Następnie badano rozkład zmiennych i stwierdzono, że nie jest to rozkład normalny. Dla zmiennych tych zgodnie z algorytmem wyboru testu istotności różnic zastosowano nieparametryczny test Wilcoxon (wyniki w tabeli 4). Analizy graficzne zmian stężenia cholesterolu całkowitego zaprezentowano na rysunku 2, a zmian stężenia cholesterolu frakcji HDL i trójglicerydów na rysunku 3.

Tabela 3. Statystyki opisowe – profil lipidowy

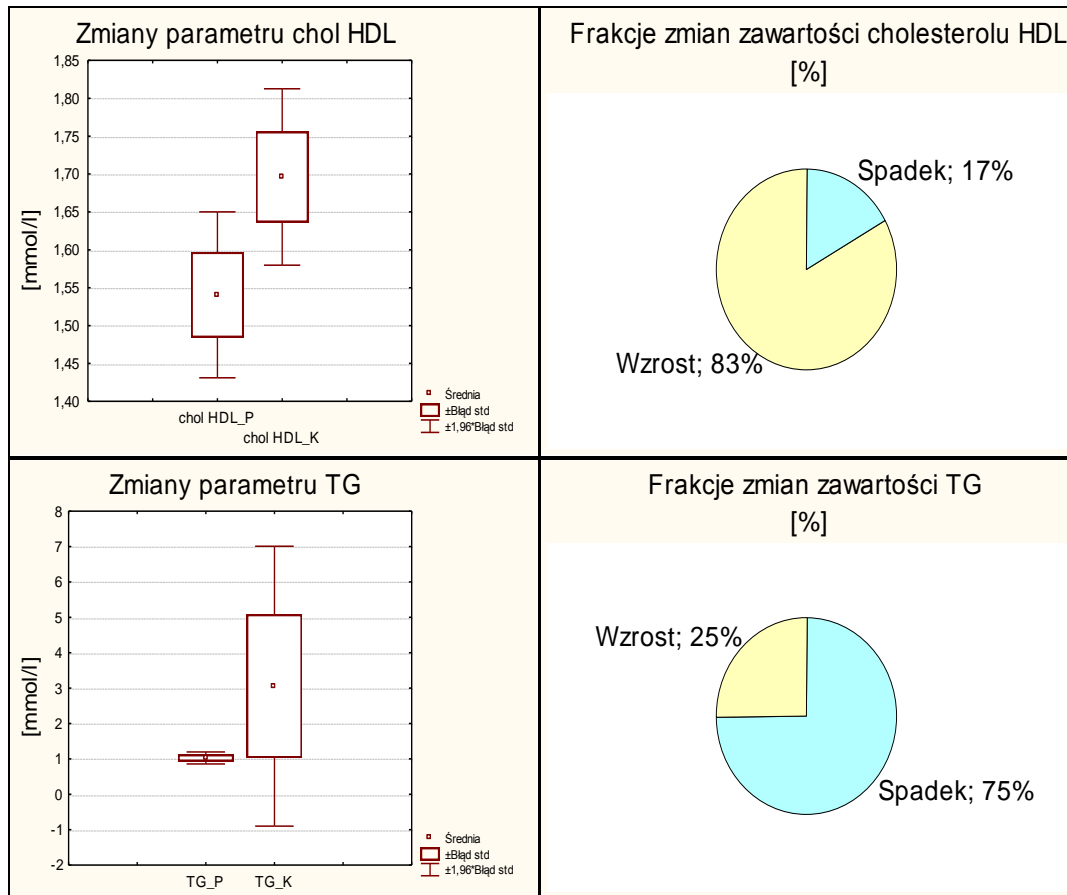
Zmienna	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum	Wariancja	Odch. std.	Skośność	Kurtoza
Chol – P	5,024	5,040	0,00	7,31	1,67	1,294	-1,387	5,060
Chol – K	4,877	5,050	1,65	6,50	1,06	1,029	-0,843	1,350
HDL – P	1,541	1,505	0,88	2,31	0,12	0,344	0,386	-0,126
HDL – K	1,696	1,760	0,98	2,43	0,13	0,357	-0,217	-0,329
TG – P	1,027	0,850	0,41	2,63	0,30	0,544	1,236	0,953
TG – K	3,056	1,040	0,47	71,6	142,38	11,932	5,907	34,930

Tabela 4. Test Wilcoxon dla parametrów lipidowych

Para zmiennych	Test kolejności par Wilcoxon		
	T	Z	p
Chol – P & Chol – K	164,50	1, 861	0,06280
HDL – P & HDL – K	73,50	3, 699	0,00021
TG – P & TG – K	236,00	0, 524	0,60057



Rys. 2. Zmiany stężenia cholesterolu (Chol)



Rys. 3. Zmiany stężenia cholesterolu frakcji HDL (u góry) i trójglicerydów TG (na dole)

4. Wnioski

Przeprowadzone badania i analiza statystyczna wyników wskazują, że subterraneoterapia Uzdrowiska Kopalni Soli w Wieliczce powoduje:

- istotny statystycznie wzrost:
 - masy ciała MC [kg] z wartości $68,63 \pm 16,33$ do wartości $68,73 \pm 16,38$ z $p < 0,01147$ u 37% próby;
 - zawartości tkanki tłuszczowej TT [%], z wartości $29,04 \pm 10,03$ do wartości $29,41 \pm 10,09$ z $p < 0,00010$ u 77 % próby;
 - poziomu cholesterolu HDL [mmol/l], z wartości $1,541 \pm 0,344$ do wartości $1,696 \pm 0,357$ z $p < 0,00021$ z frakcją wzrostu u 83% próby;
- nieistotny statystycznie spadek poziomu cholesterolu całkowitego [mmol/l] z wartości $5,024 \pm 1,294$ do wartości $4,877 \pm 1,029$, z $p < 0,06280$ u 92% próby;
- nieistotny statystycznie wzrost poziomu trójglicerydów [mmol/l] z wartości $1,027 \pm 0,544$ do wartości $3,056 \pm 11,932$ z frakcją wzrostu u 75% próby.

Przebywanie w mikroklimacie podziemnego uzdrowiska Kopalni Soli w Wieliczce wpływa korzystnie na profil lipidowy w postaci obniżenia stężenia cholesterolu całkowitego w surowicy i wzrostu stężenia cholesterolu HDL, przez co może stanowić wspomagającą metodę leczenia chorych z zaburzeniami lipidowymi. Jednocześnie obserwowany nieznaczny wzrost masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej może być wyrazem adaptacji termogenicznej w związku z obniżoną temperaturą otoczenia i krótkim czasem obserwacji, wynikającym z czasu trwania turnusu rehabilitacyjno-leczniczego.

5. Dyskusja

Układ endokryny, podobnie jak układ nerwowy dostraja i koreluje aktywność różnych systemów organizmu, dostosowując je do stale zmieniającego się środowiska zewnętrznego i wewnętrznego. Hormony regulują procesy metaboliczne, czyli wszystkie przemiany chemiczne i energetyczne przebiegające w ustroju, związane z wytwarzaniem i wykorzystaniem energii. Na przemianę materii wpływa wiele czynników, poza wysiłkiem fizycznym, który jest najważniejszy, istotne znaczenie mają również: temperatura otoczenia, wzrost, masa ciała, wiek, płeć, stężenie niektórych hormonów we krwi [11].

Prawidłowy metabolizm, którego obrazem jest zgodne z normą stężenie składników lipidowych, to jeden z kluczowych elementów zapewniających odpowiednie funkcjonowanie organizmu. Zarówno niedobór, jak i nadmiar lipidów spowodowany zaburzeniem syntezy lub katabolizmu lipoprotein wiąże się z rozwojem procesów patologicznych.

Podstawowe znaczenie w przemianach energetycznych odgrywają dwa przeciwstawnie działające hormony, a mianowicie insulina i glukagon, produkowane w trzustce, a także hormony tarczycy, hormon wzrostu, glikokortykosteroidy (kortyzol) i adrenalina. Działanie ich jest zbliżone do działania glukagonu i antagonistyczne w stosunku do działania insuliny. Hormony tarczycy tyroksyna i trijodotyronina wytwarzane są przez komórki pęcherzyków tarczycy, magazynowane w postaci tyreoglobuliny i wydzielane do krwiobiegu.

Trójiodotyronina T₃ jest hormonem tarczycy, który powstaje głównie przez odjodowanie tyroksyny (T₄) na poziomie tkankowym. Hormony tarczycy zwiększają zużycie tlenu przez prawie wszystkie metabolicznie aktywne tkanki. Wyjątek stanowią mózgowie u dorosłych, jądra, macica, węzły chłonne, śledziona, przedni płat przysadki. Tyroksyna natomiast zmniejsza zużycie tlenu przez przedni płat przysadki, prawdopodobnie poprzez hamowanie wydzielania TSH. U dorosłych wpływają na przemianę materii i wydalanie związków azotowych i mobilizują lipidy tkanki tłuszczowej do produkcji ciepła. U dzieci stymulują dodatni bilans azotowy, ponieważ stymulują wzrost organizmu. Hormony tarczycy zwiększają tempo wchłaniania węglowodanów z przewodu pokarmowego, a działanie to jest prawdopodobnie niezależne od ich wpływu na wytwarzanie ciepła, obniżają stężenie cholesterolu we krwi. T₃ ma również bezpośredni wpływ na aktywność lipazy wątrobowej, która reguluje przemianę HDL w LDL. Niedobór tych hormonów zwiększa apetyt i zmniejsza odczuwanie sytości. Działanie hormonów tarczycy jest ściśle powiązane z działaniem katecholamin, noradrenliny i adrenaliny. Adrenalina, podobnie jak hormony tarczycy zwiększa przemianę materii, pobudza układ nerwowy i wywiera wpływ na układ krążenia [12].

Kortyzol – naturalny hormon steroidowy wytwarzany przez warstwę pasmowatą kory nadnerczy, to główny przedstawiciel glikokortykosteroidów. Należy do hormonów niezbędnych do życia. Wydzielanie kortyzolu oraz jego stężenie w surowicy wykazują rytm dobowy, a prawie połowa jego wyrzutu zachodzi w godzinach rannych. Niewątpliwie glikokortykosteroidy mają działanie kataboliczne. Zwiększają przemiany białek mięśni szkieletowych, pobudzają wytwarzanie glukozy oraz kwasów tłuszczowych z trójglicerydów.

Wydzielanie kortyzolu zwiększa się znacznie po pobudzeniu układu współczulnego, w stresie (hormon stresowy), ponadto w zakażeniach, stanach zapalnych i gorączkowych. Hormon ten ma istotne znaczenie w przeciwdziałaniu hipoglikemii. Powoduje wzrost apetytu, prawdopodobnie przez pojawiający się na drodze ujemnego sprzężenia zwrotnego spadek wydzielania kortykoliberyny (silnie zmniejszającej apetyt).

Hormon wzrostu GH (ang. *growth hormone*) – to polipeptydowy hormon produkowany przez komórki kwasochłonne przedniego płata przysadki mózgowej. Wydzielanie hormonu wzrostu odbywa się pulsacyjnie, a częstość i intensywność pulsów zależna jest od wieku i płci. Jest on jedynym hormonem przedniego płata przysadki, którego wydzielanie podlega regulacji przez stężenie substratów energetycznych w surowicy krwi, a szczególnie silnym bodźcem pobudzającym jest nagła hipoglikemia. Hormon wzrostu zwiększa wychwyty glukozy przez mózg, a zmniejsza jej wychwyty przez mięśnie szkieletowe i tkankę tłuszczową, w tej ostatniej zaś działa lipolitycznie. Najbardziej charakterystycznym i swoistym działaniem hormonu wzrostu jest pobudzenie wzrostu kości długich u dzieci. Ponadto pobudza wzrost narządów trzewnych, gruczołów jak trzustka, przytarczycy, nadnercza, a także mięśni szkieletowych, serca, skóry i tkanki łącznej. Dobowy rytm wydzielania

hormonu wzrostu jest regulowany przez różne ośrodki nerwowe, stężenie hormonu jest wyższe nocą. Stres emocjonalny może także zwiększyć jego wydzielanie, natomiast najsilniejszym fizjologicznym inhibitorem jego sekrecji jest somatostatyna, hormon podwzgórza [13].

Wiadomo, że w sprawnie funkcjonującym organizmie zapotrzebowanie energetyczne niezbędne do utrzymania podstawowej przemiany materii, wytwarzania ciepła, pracy oraz metabolizmu dostarczonego pokarmu jest regulowane przez ośrodkowy układ nerwowy pod wpływem endogennych bodźców metabolicznych i środowiskowych. Możemy się spodziewać, że przedstawione warunki klimatyczne podziemnych komór mogą powodować wyzwolenie wielu mechanizmów dostosowawczych w celu utrzymania homeostazy organizmu. Klimat środowiskowy kopalni zasadniczo różni się od klimatu na powierzchni ziemi, co może mieć wpływ na temperaturę ciała, ciśnienie tętnicze, tętno, masę ciała, zawartość tkanki tłuszczowej oraz na parametry biochemiczne. Wszelkie zmiany w środowisku zewnętrznym człowieka jak np. niska temperatura, różnice w stężeniach mikroelementów będą wpływały na zmiany metabolizmu celem utrzymania homeostazy organizmu. Koordynacja działania homeostatycznego odbywa się przy współdziałaniu układów nerwowego i hormonalnego. W stanach zwiększonego zapotrzebowania energetycznego np. w celu utrzymania stałej temperatury ciała, zostają uruchomione rezerwy energetyczne. Węglowodany i lipidy stanowią podstawowy materiał energetyczny. Materiał lipidowy to przede wszystkim triglicerydy zmagazynowane w tkance tłuszczowej podskórnej, w mniejszym stopniu w wątrobie i mięśniach szkieletowych. Zaś zapasy węglowodanowe to głównie glikogen wątroby i mięśni szkieletowych i są one prawie sto razy mniejsze od rezerwy lipidowej. Energetyczne przemiany węglowodanów i lipidów łączą się w wielu punktach i wzajemnie uzupełniają. Mechanizmy te są regulowane precyzyjnie na poziomie narządów.

Obecnie jednym z największych problemów zdrowotnych wielu krajów całego świata jest otyłość i nadwaga, dotyczące ludzi wszystkich ras, niezależnie od ich wieku. W większości krajów Europy chorobowość z powodu otyłości wynosi od 10% do 20% u mężczyzn oraz od 10% do 25% u kobiet. Alarmujący charakter mają obserwacje wskazujące na szybkie zwiększenie się występowania otyłości u dzieci, młodzieży i młodych dorosłych, co w przyszłości będzie negatywnie kształtować chorobowość z powodu chorób krążenia, nadciśnienia tętniczego, cukrzycy czy dyslipidemii.

Wśród czynników etiopatogenetycznych otyłości można wymienić: czynniki genetyczne, środowiskowe, psychiczne, neurogenne, hormonalne oraz zaburzenia termogenezy. Spożywanie zbyt dużej ilości pokarmów może wynikać m.in. z zaburzenia czynności ośrodków regulujących powstawanie uczucia głodu i sytości, które są podporządkowane układom neurohormonalnym, a których działanie jest nie do końca wyjaśnione. Stan czynnościowy tych ośrodków w OUN uwarunkowany jest głównie składem chemicznym krwi, a właściwie różnicą stężeń w układzie żyłno-tętniczym: glukozy (teoria glukostatyczna), wolnych kwasów tłuszczowych (teoria lipostatyczna), aminokwasów (teoria aminostatyczna) [14]. Czynnikiem tym mogą być również zmiany w wytwarzaniu energii cieplnej, uwarunkowane swoiście dynamicznym działaniem pokarmów (teoria termostatyczna).

Badania kliniczne wskazują, że leczenie balneologiczne w uzdrowiskach na powierzchni ziemi daje wiele korzystnych efektów w stanach patologicznych związanych z zaburzeniami gospodarki lipidowej i czynności gruczołów dokrewnych poprzez wpływ na układ neurohormonalny. Jest to związane z bodźcowym działaniem naturalnych surowców leczniczych i czynników fizykalnych. Wpływ mikroklimatu komór solnych na poziom wielu hormonów mógłby w sposób naturalny regulować mechanizmy homeostazy [15]. Wyniki badań mogą mieć znaczenie w poszukiwaniu nowych wspomagających, nefarmakologicznych metod leczenia zaburzeń gospodarki lipidowej.

LITERATURA

- [1] T. Brzeziński, (red.): *Historia medycyny*, PZWL, Warszawa 2014.
- [2] I. Ponikowska, (red.): *Kompendium balneologii, rekomendacje krajowego konsultanta*, Adam Marszałek, Toruń 2007.
- [3] S. Beamon, A. Falkenbach, G. Fainburg, K. Linde: *Speleotherapy for asthma*, [w:] *The Cochrane Library*, Issue 1, 2004, s. 1–9.

- [4] J. Szczegielniak, M. Migala: *Speleoterapia (subterrneoterapia) w leczeniu uzdrowiskowym*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin–Polonia, vol. LVIII, Suppl. XIII, 2003, s. 219–223.
- [5] M. Pączalska, A. Pączalski, M. Schmidt-Pospula: *Profesor Mieczysław Skulimowski w poszukiwaniu korzeni krakowskiej rehabilitacji*, Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja, vol. 1, 2002, s. 101–114.
- [6] N. Goel, G.R. Etwaroo: *Bright light, negative air ions and auditory stimuli produce rapid mood changes in a student population: a placebo – controlled study*, Psychological Medicine, vol. 36(9), 2006, s. 253–263.
- [7] R. Flory, J. Ametepe, B. Bowers: *A randomized, placebo–controlled trial of bright light and high–density negative air ions for treatment of Seasonal Affective Disorder*, Psychiatry Research, vol. 177(1–2), 2010, s. 101–108.
- [8] T. Cieniawa, M. Skulimowski, J. Żebrak: *Inhalacje (aerzoloterapia)*, PZWL, Warszawa 1981.
- [9] A. Lewiński, J. Smyczyńska: *Leczenie uzdrowiskowe w chorobach układu dokrewnego*, Balneologia Polska, vol. 47, 2005, s. 5–13.
- [10] Z. Damijan, J. Wiciak: *Testing of the physical climate in the Lake Wessel. Chamber of the rehabilitation and Treatment Centre in the Salt Mine Wieliczka*, Molecular and Quantum Acoustics Annual Journal, vol. 28, 2008, s. 65–70.
- [11] J. Tatoń, A. Czech, M. Bernas: *Otyłość – zespół metaboliczny*, PZWL, Warszawa 2007.
- [12] W.Z. Traczyk, A. Trzebski: *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, PZWL, 1991, s. 291–394.
- [13] R. Szafkowski, J. Chojnowski, I. Ponikowska, S. Poczachowska-Szafkowska: *Zmiany gospodarki lipidowej u otyłych chorych na cukrzycę pod wpływem redukcji masy ciała w warunkach uzdrowiskowych*, Balneologia Polska, vol. 1, 2006, s. 25–29.
- [14] B. Cybulska, L. Kłosiewicz–Latoszek: *Zaburzenia lipidowe*, Wydawnictwo Medyczne Termedia, Poznań 2010.
- [15] Z. Damijan: *Pilotażowe badania wpływu atmosfery podziemnej Uzdrowiska Kopalni Soli Wieliczka na wytypowane parametry fizjologiczne*, Balneologia Polska, vol. I, 1(115), 2009, s. 61–67.

otrzymano / submitted: 02.11.2013r.
wersja poprawiona / revised version: 25.11.2013r.
zaakceptowano / accepted: 12.12.2013r.