

# KRIOKOMORY W MEDYCYNIE

**inż. Anna WOJCIECHOWICZ**  
**dr inż. Waldemar TARGAŃSKI**

Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny

## 1. KRIOTERAPIA MIEJSCOWA I OGÓLNA

**Krioterapia** uznawana jest za jedną z najstarszych metod leczenia [3]. Polega ona na stosowaniu „zimna” przede wszystkim w celu pobudzenia różnych procesów fizjologicznych, a także by zniszczyć tkanki patologicznie zmienione. Zabieg krioterapii jest powszechnie stosowaną metodą leczenia schorzeń. Polega on na nieinwazyjnym oddziaływaniu krańcowo niskich temperatur schłodzonego powietrza lub par skroplonych gazów na daną część ciała objętą dolegliwościami, bądź ogólnoustrojowo. Temperatura zabiegu regulowana jest przez osobę obsługującą sprzęt, a za dolną granicę uważa się ok.  $-160^{\circ}\text{C}$ . Czas prowadzenia krioterapii nie przekracza **3 minut**. Cieczą kriogeniczną wykorzystywaną w medycynie jest najczęściej **azot**.

Krioterapia ma cechy zabiegu rehabilitacyjnego, gdyż pozwala pacjentowi wrócić do zdrowia. Jej początki, sięgają starożytnego Egiptu. Już Hipokrates (460-377 p.n.e.) propagował hipotermię jako sposób zmniejszenia bólu, krwawienia czy obrzęku, a także jako miejscowy środek znieczulający. Celsus (I wiek n.e.) pisał, że nawet niewielka dawka „zimna” może spowodować brak czucia w danej kończynie, zaś dłuższy okres utrzymywania ciała pacjenta w niskiej temperaturze może skutkować martwicą skóry. Pewnym przełomem w dziedzinie krioterapii stały się dokonania J. Arnotta (Londyn, 1845 r.). Opierały się one początkowo na miejscowym leczeniu „zimnem” wielu schorzeń, między innymi

przy przewlekłym bólu głowy, czy nerwobólach. J. Arnott zaprojektował też pierwszy aparat leczniczy, który wykorzystywał niskie temperatury. Skupił się następnie na leczeniu za jego pomocą chorób onkologicznych.

Dopiero w latach siedemdziesiątych XX wieku narodziła się koncepcja krioterapii rozumianej jako stosowanie powierzchniowo temperatur kriogenicznych poniżej  $-100^{\circ}\text{C}$  przez czas nie dłuższy jak 2 do 3 minut, w celu m.in. wspomagania leczenia podstawowego, pozbycia się bólu, wzrostu odporności, czy chociażby poprawy drenażu żylnego i limfatycznego. Istotny wkład w tej dziedzinie przypisuje się Japończykom z Reiken Rheumatism Village w Oita. Grupa badaczy pod kierunkiem Toshiro Yamauchi opracowała pierwsze przenośne krioplikatory, a w 1978 roku pierwszą komorę kriogeniczną. Udoskonalenie tego wynalazku (poza Japonią głównie w Niemczech) zaowocowało skróceniem czasu leczenia do 6-8 tygodni [2].

W Polsce pierwsza kriokomora powstała w 1989 roku. Należy w tym miejscu nadmienić, że była to dopiero druga w Europie, a trzecia na świecie komora krioterapeutyczna [1]. Od samego początku polscy uczeni byli w światowej czołówce i do dzisiejszego dnia mają znaczący wpływ na prowadzone w tej dziedzinie badania naukowe.

### 1.1. Krioterapia miejscowa

Krioterapią miejscową określa się oddziaływanie gazem o niskiej temperaturze na miejsca zmienione chorobowo. Ta czynność może wywoływać

pożądane reakcje ciała pacjenta na zimno, albo prowadzić do zamrażania zawartości patologicznych komórek, pęknięcia błon biologicznych i w rezultacie do destrukcji tkanki. Cykl zamrażania i rozmrażania powtarza się w jednym zabiegu kilkakrotnie.

Podczas zabiegu wykonywane są ruchy posuwisto-zwrotne aplikatorem w odległości od 5 do 10 cm nad chorym miejscem w czasie do 3 minut. Zabieg krioterapii miejscowej stosowany jest przede wszystkim we wczesnym stadium wykrytych urazów, gdyż pomaga w usunięciu obrzęku, bólu i stanu zapalnego. Dzięki niemu skraca się czas rekonwalescencji, poprawia się samopoczucie, a także następuje zwiększenie wydolności organizmu.

**Urządzenie do krioterapii miejscowej** (rys. 1), to najczęściej butla z cieczą kriogeniczną (np. azot, chlorek etylu), do której podłączony jest zawór nastawczy regulujący wypływ gazu ze zbiornika pod odpowiednim ciśnieniem. Zawór łączy się z dyszą elastycznym przewodem, przez który



Rys. 1. Przykładowa konfiguracja urządzenia do krioterapii miejscowej [6]

przemieszcza się dany kriogen. Temperatura par skroplonego gazu wynosi średnio od  $-180^{\circ}\text{C}$  do  $-100^{\circ}\text{C}$ , np. dla azotu jest to przedział od  $-170^{\circ}\text{C}$  do  $-150^{\circ}\text{C}$ , a dla dwutlenku węgla ok.  $-70^{\circ}\text{C}$ .

## 1.2. Krioterapia ogólna

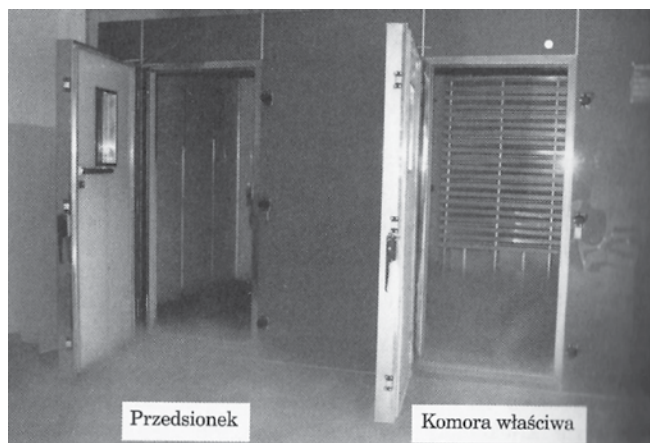
Ten typ zabiegu polega na schłodzeniu całego ciała parami kriogenu przez czas od 2 do 3 minut. W odróżnieniu od krioterapii miejscowej, krioterapia ogólna nie powoduje zniszczenia tkanek, lecz przede wszystkim zmniejszenie bólu, poprawę krążenia i przepływu krwi w organizmie, wzrost siły mięśniowej, ma także korzystny wpływ na strefę psychiczną pacjenta. Pacjent przechodzi terapię w komorze kriogenicznej. Jest to obiekt składający się zwykle z dwóch osobnych pomieszczeń – komory wstępnej i komory zasadniczej (rys. 2). W pierwszym pomieszczeniu temperatura wynosi ok.  $-60^{\circ}\text{C}$ , zaś w drugim już ok.  $-160^{\circ}\text{C}$ . Istotne jest, by ochładzana była powierzchnia całego ciała wraz z głową, gdyż znajduje się na niej największa liczba termoreceptorów odpowiedzialnych za efekt terapeutyczny.

Pierwsza w Polsce komora do krioterapii powstała w roku 1989 w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Stała się ona prototypem dla kolejnych serii urządzeń instalowanych w ośrodkach medycznych i sportowych. Komora ta posiada dwa pomieszczenia (rys. 3): przedsionek z temperaturą wewnętrzną ok.  $-60^{\circ}\text{C}$  i komorę właściwą o temperaturze  $-160^{\circ}\text{C}$  do  $-110^{\circ}\text{C}$ . Cieczą kriogeniczną, której zapas w zbiorniku musi być systematycznie uzupełniany, jest skroplony azot. Konstrukcja komory pozwala na szybkie otrzymanie pożądanej temperatury oraz stabilną pracę urządzenia przez długi czas: co 3 do 5 minut z komory mogą korzystać kolejne grupy pacjentów w liczbie od 4 do 5 osób, co daje przepustowość rzędu 50 do 80 osób na godzinę [3]. Praca kriokomory na bieżąco kontrolowana jest przez osobę z obsługi.

Schemat instalacji chłodniczej i powietrznej wrocławskiej komory kriogenicznej przedstawiono na ry-



Rys. 2. Zewnętrzny wygląd zabiegowej komory kriogenicznej [10]



Rys. 3. Wrocławska kriokomora [3]

sunku 4. Powietrze sprężane jest do 1 MPa w sprężarce (8), następnie filtrowane i osuszane w osuszaczu absorpcyjnym (10), po czym kierowane do jednego z kriooczyszczalników (12) chłodzonych cieczą kriogeniczną. Gdy temperatura wypływającego powietrza z jednego kriooczyszczalnika do komory kriogenicznej podwyższy się do ok.  $-100^{\circ}\text{C}$ , nastąpi automatyczne zamknięcie tego urządzenia i przesłanie powietrza do drugiego kriooczyszczalnika, a stąd po schłodzeniu i oczyszczeniu do komory zabiegowej, podczas gdy w pierwszym kriooczyszczalniku następuje jego regeneracja i wychładzanie. Z wychładzaniem pierwszego kriooczyszczalnika chłodzony jest także ten drugi. W kolejnym etapie następuje zamknięcie zaworów kierujących powietrze i otwarcie zaworów przy zbiorniku z kriogenem (7).

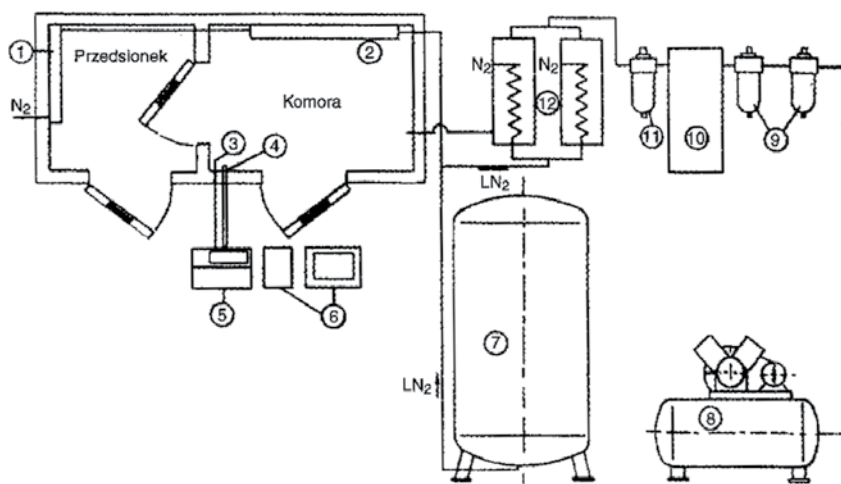
Doprowadzenie i odprowadzenie cieczy kriogenicznej odbywa się siecią przewodów połączonych z wy-

miennikami ciepła zainstalowanymi w przedsionku (1) i komorze (2). Instalacja jest izolowana termicznie i przeciwwilgociowo. Bezpośredni nadmuch zimnego powietrza do strefy przebywania ludzi znajduje się w ścianach pomieszczenia.

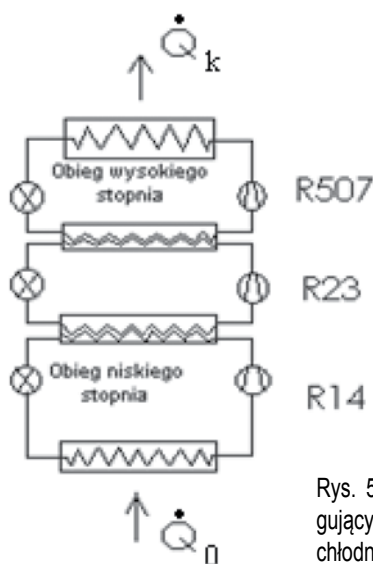
Czujnik (3) zamontowany w komorze umożliwi kontrolowanie temperatury panującej wewnątrz. Sterowanie podczas zabiegu możliwe jest dzięki komputerowi (6) zamieszczoneму przed komorą zabiegową.

W jednej z poradni rehabilitacyjnych w Sopocie, znajduje się komora krioterapeutyczna „CRYO  $-110^{\circ}\text{C}$ ” produkowana przez firmę „Zimmer Elektromedizin” [9]. „Zimno” wytwarzane jest tu na miejscu, dzięki pracy klasycznego kaskadowego urządzenia chłodniczego (rys. 5). Nie stosuje się zatem ciekłego azotu, ani innych cieczy kriogenicznych, które trzeba by dowozić do obiektu.

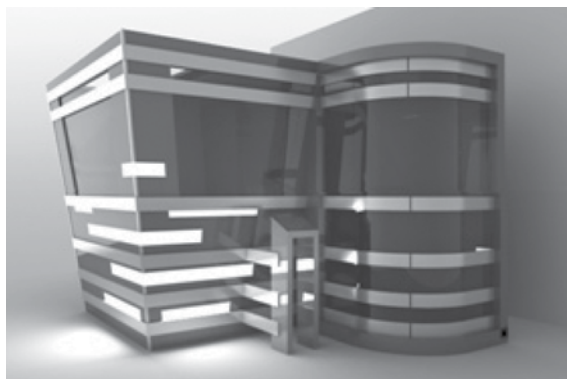
Kabina składa się z połączonego systemu trzech komór, z których



Rys. 4. Schemat ideowy układu zasilania komory „typu wrocławskiego” [3]: 1 – wymiennik ciepła w przedśionku, 2 – wymiennik komory, 3 – czujnik temperatury, 4 – rurka doprowadzająca powietrze do tlenomierza, 5 – sterownik, 6 – komputer, 7 – zbiornik na ciekły azot, 8 – sprężarka, 9 – filtry wstępne, 10 – osuszacz absorpcyjny, 11 – filtr końcowy, 12 – krioczyszczalniki



Rys. 5. Trzystopniowy kaskadowy układ chłodniczy obsługujący kriokomorę, z przykładowymi rodzajami czynników chłodniczych



Rys. 6. Czterooosobowa kriokomora AMAZING [8]



Rys. 7. Szkielet komory MX-4 [8]

dwie są pomieszczeniami wstępnymi o temperaturze odpowiednio  $-10^{\circ}\text{C}$  i  $-60^{\circ}\text{C}$ , zaś trzecia stanowi komorę główną, z temperaturą utrzymywaną w przedziale od  $-120^{\circ}\text{C}$  do  $-110^{\circ}\text{C}$ . Taki system pozwala na odpowiednie kontrolowanie i dawkowanie czynnika leczniczego, jakim jest „zimne” powietrze. W czasie jednego zabiegu z komory mogą korzystać maksymalnie cztery osoby.

Obecnie na rynku oferowane są komercyjne kriokomory wolnostojące, gotowe do zainstalowania w niemal dowolnym obiekcie. Wybrane przykłady takich urządzeń przedstawiono poniżej.

**Kriokomora AMAZING MX-4** (rys. 6) przystosowana jest dla 4 osób. Posiada zadaszony przedśionek, w którym temperatura nie jest wyższa niż  $-60^{\circ}\text{C}$ . Temperatura panująca w komorze zabiegowej kształtuje się w granicach od  $-160^{\circ}\text{C}$  do  $-120^{\circ}\text{C}$ .

Konstrukcja komory (rys. 7) wykonana jest z drewna, które wcześniej zostało dostatecznie wysuszone i pokryte odpowiednimi lakierami i impregnatami. Okna i drzwi wykonane zostały z hartowanego szkła, drewna i lekkich tworzyw sztucznych. Wszystkie elementy, ze względu na działanie niskich temperatur i wysokiej wilgoci, muszą być odporne na korozję. Na izolację ścian został zastosowany specjalny materiał termoizolacyjny odporny na działanie wody. W konstrukcji nie zostały użyte żadne metalowe elementy, ze względu na możliwość kontaktu z ciałem pacjenta. Skutkiem mogłoby być miejscowe przechłodzenie bądź odmrożenie. Całość dopełniają podświetlane panele wykonane z polimetakrylu metylu, świetlówki oraz panele z tworzywa, które mają na celu imitować lustra.

Odpowiednio niska temperatura podczas zabiegu jest osiągnięta przez rozpylanie **syntetycznego ciekłego powietrza** (mieszanka azotu i tlenu). Odpowiednią ilość tlenu utrzymuje układ wyposażony w miernik poziomu stężenia tlenu. Całość pracy kontroluje sterownik, który poprzez ciągły pomiar temperatury w komorze zabiegowej, steruje pracą zaworów kriogenicznych. Dzięki temu możliwa jest regulacja ilości dostarczanej cie-



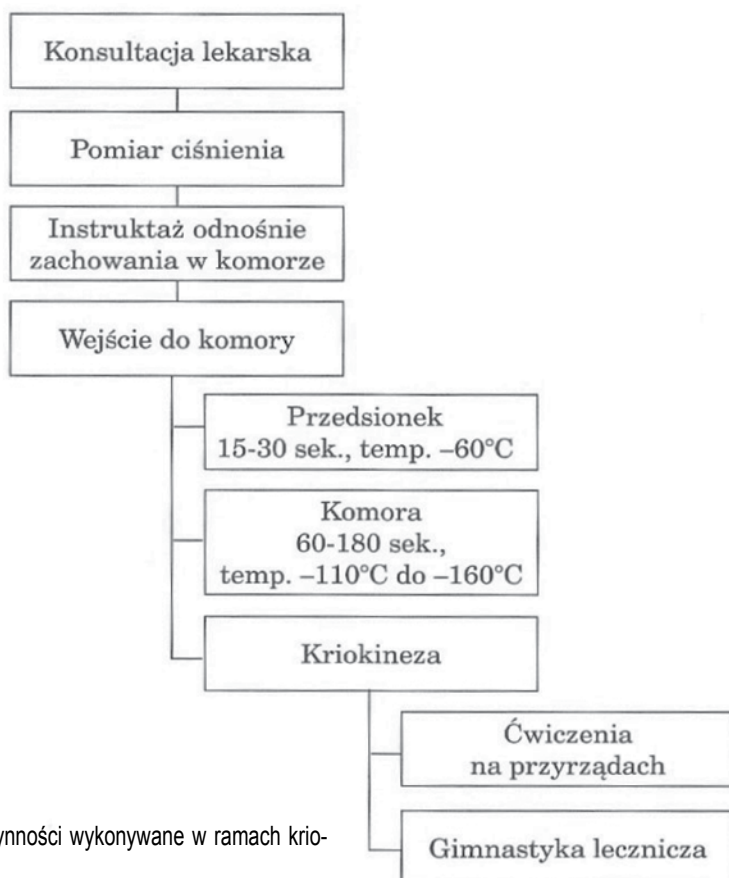
Rys. 8. Dwuosobowa kriokomora AMAZING MX-2 [8]



Rys. 9. Kabina SNCC-02 „Cryobarrel” [7]



Rys. 10. Przykładowy damski i męski ubiór do zabiegu krioterapii ogólnej [6]



Rys. 11. Czynności wykonywane w ramach krioterapii [3]

czy kriogenicznej do komory. Zawartość wilgoci w świeżym powietrzu zewnętrznym dostającym się do komory redukuje osuszacz kondensacyjny.

Sposób wykonania **kriokomory dwuosobowej** (rys. 8) niczym nie odbiega od modelu dla czterech osób. Szkielet, izolacja oraz zainstalowane układy są takie same. Różni się ona jedynie wymiarami oraz zewnętrznym wyglądem.

Z kolei komorę **SNCC-02 „Cryobarrel”** (rys. 9) określić należy raczej mianem kabiny. Stosuje się ją do ogólnej gazowej „kąpieli” kriostymulacyjnej. W tym wypadku kriogen oddziałuje na prawie całą powłokę skórną pacjenta (nie obejmuje głowy).

Konstrukcja ma kształt walca. Przeznaczona jest do użytku jednoosobowego. Jej obudowa wykonana jest z tworzyw sztucznych drewnopodobnych. Dostępna jest także obudowa z płyt stalowych (model SNCC-01 „Cryobarrel”). Posiada wbudowany podnośnik wewnętrzny, który ma na celu umożliwić korzystanie z komory pacjentom o różnym wzroście. Górna część kabiny łączy się z oknem recykulacyjnym zapewniającym ciągłą wymianę gazów w trakcie zabiegu oraz linią odprowadzania zużytego azotu. Posiada zewnętrzny wyświetlacz ukazujący temperaturę i czas zabiegu.

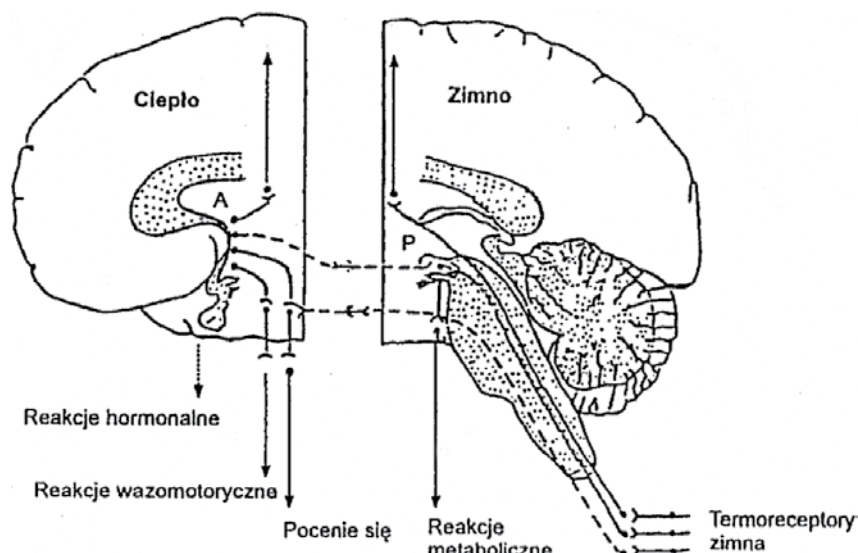
Parametry techniczne opisanych kriokomór porównano w tabeli 1.

## 2. KRIOTERAPIA W MEDYCYNIE

### 2.1. Przebieg krioterapii ogólnej

Przed zabiegiem pacjent musi zostać przebadany i dokładnie poinstruowany o właściwym zachowaniu się. Ważny jest przede wszystkim ubiór (rys. 10), na który składają się wykonane z bawełny kolanówki, getry o długości około 15 cm, rękawiczki i opaska na uszy. Dodatkowo zakłada się maseczkę ochronną na usta i nos, a na stopy chodaki. Przed zabiegiem należy pozbyć się wszelkich metalowych ozdób. Należy także wyjąć soczewki kontaktowe. Skóra powinna być sucha.

Zabieg krioterapii odbywa się według ściśle określonej procedury (rys.



Rys. 12. Lokalizacja dwuczęściowego ośrodka termoregulacji w mózgu [2]: A- przednia część podwzgórza; P- tylna część podwzgórza

11). Lekarz dokonuje klasyfikacji osób, które gotowe są do zabiegu poprzez wcześniejsze badania podmiotowe i przedmiotowe. Przed krioterapią dokonuje się pomiaru ciśnienia i tętna pacjenta. W samej komorze o temperaturze wewnętrznej ok.  $-160^{\circ}\text{C}$  przez ok. 3 minuty pacjenci wykonują energiczne ruchy kończynami, chodząc nieustannie w kółko. Po wyjściu z komory i zmianie ubioru, pacjenci udają się na kinezyterapię, która trwa od 30 do 60 minut. Kinezyterapia jest gimnastyką leczniczą wykonywaną po zabiegu krioterapii. Składa się na nią gimnastyka:

- ✓ indywidualna - ćwiczenia czynne i bierne,
- ✓ zbiorowa - ze szczególnym uwzględnieniem stawów i miejsc zmienionych chorobowo,
- ✓ z wykorzystaniem przyrządów - rodzaj ćwiczeń określany według wieku pacjenta, rozpoznania i stopnia chorobowego oraz sprawności układu ruchu i wydolności organizmu.

Po zakończonym zabiegu następują powtórne badania w celu zanalizowania efektów klinicznych i rozważenia ewentualnej kontynuacji krioterapii.

W oddziaływaniu „zimna” na organizm człowieka wyróżnia się dwie fazy, których skutki opisane są w tabeli 2. Skutki występujące w pierwszej fazie są naturalną reakcją organizmu na „zimno”. Nie określa

się ich jako szkodliwe (patologiczne) dla organizmu ludzkiego, gdyż są one zgodne z fizjologią człowieka. Efekty w fazie drugiej są tym, co zamierza się uzyskać stosując zabieg krioterapii.

„Zimne” powietrze, które działa na organizm człowieka, odbiera ciepło i wzbudza reakcje termoregulacyjne. Podstawowymi elementami **układu termoregulacji** organizmu ludzkiego są:

- termoreceptory: termoecksteroreceptory i termoenteroreceptory;
- termodetektory;
- ośrodek termoregulacji;
- efektorzy układu termoregulacji.

Zadaniem **termoreceptorów** jest wykrywanie zmian temperatury otoczenia w czasie. W zależności od ich umiejscowienia, dzielone są na termoecksteroreceptory i termoenteroreceptory. Te pierwsze są receptorami zewnętrznymi, zlokalizowanymi na powierzchni ciała. Ich zadaniem jest odbieranie bodźców cieplnych ze środowiska i przekazywanie impulsów nerwowych drogami dośrodkowymi wprost do podwzgórza. Podwzgórze jest głównym ośrodkiem, który zarządza wszystkimi wegetatywnymi funkcjami ustroju człowieka oraz niektórymi funkcjami hormonalnymi. Część tych receptorów reaguje na „zimno”, inne na ciepło, a pozostałe na gorąco. Natomiast druga grupa termoreceptorów kontroluje temperaturę wewnątrz organizmu ludzkiego.

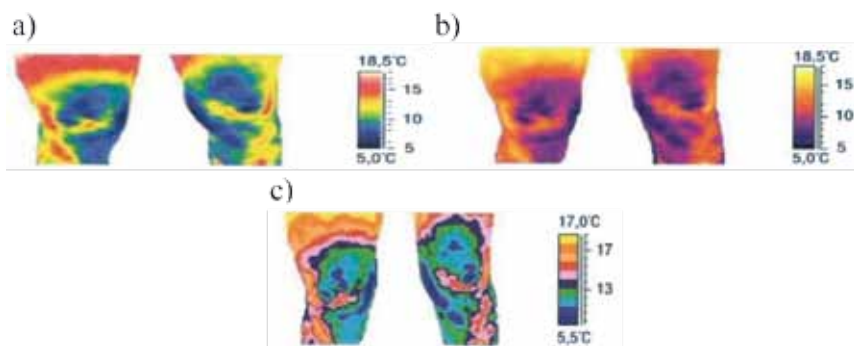
Receptorów ciepła jest około 30 tysięcy, a receptorów „zimna” około 250 tysięcy. To właśnie z powodu tak dużej liczby receptorów „zimna”, kriostymulacja posiada istotne znaczenie terapeutyczne.

Temperatura wewnętrzna ciała wykrywana jest również przez **termodetektory**. Znajdują się one w mózgu (w przedniej części podwzgórza), a także w rdzeniu kręgowym. Są one neuronami, które wzrostem częstotliwości wyładowań elektrycznych reagują na lokalne podwyższenie temperatury. Prowadzi to do zwiększenia częstości oddechów w czasie, tzw. dyszenia termicznego.

**Ośrodek termoregulacji** zlokalizowany jest w podwzgórzu (rys. 12). Jego zadaniem jest odbieranie i scalanie informacji o temperaturze wszystkich okolic ciała. Przednia część podwzgórza, w której umiejscowiony jest ośrodek eliminacji ciepła, odpowiedzialna jest za regulację utraty ciepła. Tylna część podwzgórza posiada ośrodek zachowania ciepła. Ogranicza ona usuwanie ciepła z ustroju i stymuluje jego wytwarzanie. Przednia i tylna część ośrodka termoregulacji jest połączona drogami, które biegną po obu stronach bocznej części podwzgórza. Ośrodek ten realizuje procesy termoregulacji za pośrednictwem odpowiednich efektorów.

Rozróżnia się dwa procesy termoregulacji: fizyczne i chemiczne. Głównymi **efektorami** termoregulacji fizycznej są układ krążenia i gruczoły potowe, natomiast termoregulacji chemicznej: mięśnie szkieletowe, tkanka tłuszczowa i wątroba.

W procesie termoregulacji ciało człowieka wykazuje zmienne ukrwienie, gdzie wyróżnia się ciepłozmienną „powłokę” oraz ciepłostałe „jądro”. Skurcz naczyń występujących w powłoce oraz jej ochłodzenie mają za zadanie ochronę jądra termicznego przed utratą ciepła. Przy zjawisku zwężenia naczyń krwionośnych skóry następuje przemieszczenie krwi do głębiej zlokalizowanych naczyń krwionośnych. Ciepło wewnątrz organizmu zostanie zachowane, gdyż przemieszczenie krwi z żył powierzchniowych do żył głębokich następuje „w sąsiedztwie”



Rys. 13. Skale w metodzie termowizyjnej [5]: a) skala „rain 900” o dużej rozpiętości barw, b) skala „iron” o łagodnych przejściach barw, c) kontrastowa skala „medical” z wyraźnym rozdziałem stref różnych temperatur

Tab. 1. Ważniejsze parametry techniczne i eksploatacyjne wybranych kriokomór [3,7,8,9]

|   | Kriokomora „AMAZING” model MX-4 | Kriokomora „AMAZING” model MX-2 | Kriokomora „Cryobarrel” model SNCC-02 | Kriokomora typ wrocławski „CREATOR”               | Kriokomora „CRYO -110°C”                     |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| Zasilanie                               | 230 V, 50 Hz                    | 230 V, 50 Hz                    | 230 V, 50 Hz                          | 230 V, 50 Hz                                      | 400V, 50Hz                                   |
| Pobór mocy                              | 2,4 kW                          | 2,4 kW                          | 1,1 kW                                | Brak danych                                       | 22 kW  |
| Czynnik chłodzący                       | ciepłe powietrze                | ciepłe powietrze                | ciekły azot                           | ciepłe powietrze lub ciekły azot                  | Powietrze chłodzone kaskadą: R507, R 23, R14 |
| Liczba pacjentów w komorze              | Max. 4                          | Max. 2                          | Max. 1                                | 3-4 lub 5-6                                       | Max. 4                                       |
| Zakres temp. roboczej komory zabiegowej | -160°C do -110°C                | -150°C do -110°C                | -160°C do -120°C                      | -160°C do -80°C                                   | -120°C do -110°C                             |
| Czas zabiegu                            | Do 3 minut                      | Do 3 minut                      | Do 3 minut                            | Do 3 minut  | Do 3 minut                                   |
| Czas schłodzenia komory                 | 5 do 10 min                     | 5 do 10 min                     | 8 do 10 min                           | 25 min do temp. -120°C,<br>40 min do temp. -160°C | Brak danych                                  |
| Zużycie czynnika chłodzącego            | Ok. 4 kg/3min                   | Ok. 4 kg/3min                   | Ok. 4,5 kg/3min                       | Ok. 3,9 kg/min                                    | Brak danych                                  |

Tab. 2. Zestawienie fizjologicznych reakcji organizmu na zimno [4]

| W pierwszej fazie  | W drugiej fazie   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- zwężenie naczyń skóry;</li> <li>- zmniejszenie ukrwienia skóry (bładość, ochłodzenie skóry);</li> <li>- powolne obniżanie temperatury skóry, mięśni, stawów;</li> <li>- zmniejszenie tempa przemiany materii miejscowej i zwiększenie w części rdzennej;</li> <li>- zmniejszenie przewodnictwa nerwowego;</li> <li>- podwyższenie progu bólowego;</li> <li>- spowolnienie uwalniania mediatorów bólu i zapalenia;</li> <li>- zwiększenie napięcia mięśni szkieletowych;</li> <li>- zwiększenie napięcia ścian naczyń;</li> <li>- zwiększenie czynności nadnerczy;</li> <li>- wzrost ciśnienia tętniczego i żylnego krwi.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- rozszerzenie naczyń skóry;</li> <li>- zwiększenie ukrwienia skóry (ocieplenie skóry);</li> <li>- powolny wzrost temperatury uprzednio ochłodzonych tkanek;</li> <li>- zwiększenie tempa przemiany materii w części rdzennej;</li> <li>- zmniejszenie napięcia mięśni szkieletowych;</li> <li>- zmniejszenie napięcia ścian naczyń;</li> <li>- spadek ciśnienia tętniczego i żylnego krwi.</li> </ul> |

tętnic. Tętnice przekazują swoje ciepło chłodnej krwi żyłnej.

W momencie, gdy organizm poddawany jest niskim temperaturom, drżenie mięśni szkieletowych i wzrost napięcia mięśniowego stają się źródłem ciepła. Drżenie mięśniowe bezpośrednio związane jest z rozpadem ATP (trifosforanu adenozyne) do ADP (difosforanu adenozyne) i fosforanu nieorganicznego. ADP przyspiesza utlenianie substratów w mitochondriach. Towarzyszy temu utrata energii w postaci ciepła. Podstawowymi źródłami energii dla kurczących się mięśni są węglowodany oraz lipidy.

## 2.2. Termowizja jako metoda weryfikacji skutków krioterapii

Dynamicznie rozwijającą się metodą diagnostyczną, która pozwala określić skuteczność rehabilitacji przy zastosowaniu krioterapii jest termowizja. Badanie to umożliwia przeprowadzenie pomiarów temperatury powierzchni części ciała pacjenta. Nadmiernie podwyższona temperatura części ciała świadczy o dolegliwościach lub zaistniałych tam zmianach chorobowych, np. o stanie zapalnym. Badanie termowizyjne przed, w trakcie oraz po zakończeniu krioterapii pozwala oszacować jej efekty. W termograficznej technice pomiaru temperatury ciała ludzkiego wykorzystuje się podobieństwo jego własności do ciała doskonale czarnego. Współczynnik emisji ciała ludzkiego wynosi 0,98.

Przedstawione na rysunku 13 obrazy zostały wykonane właśnie metodą termowizyjną. Wszystkie termogramy zostały zamienione na obrazy barwne o różnych skalach kolorystycznych. Barwa danego punktu zakodowana jest w postaci składowych widmowych: czerwonej R, zielonej G, niebieskiej B. Wprowadzenie kolorów ułatwia dostrzeżenie oraz różnicowanie szczegółów w obrazie. Należy zaznaczyć, że w klasycznej termografii ciała ludzkiego kolor skóry nie odgrywa znaczącej roli, o ile został określony zakres emitowanego promieniowania. Pigmentacja jest wprawdzie istotna, jeśli chodzi o pochłanianie i odbijanie światła widzialnego, lecz traci swoje znaczenie dla długości fal powyżej 2,5 mm. Dlatego można stwierdzić, że pigmentacja

nie wpływa na emisję promieniowania podczerwonego.

Obecnie termografia znajduje zastosowanie w praktycznie każdej dziedzinie medycyny, np. w okulistyce, laryngologii, dermatologii, czy chirurgii i ortopedii.

## 2.3. Wskazania i przeciwwskazania do zabiegu krioterapii

Każdy potencjalny użytkownik kriokomory przechodzi najpierw odpowiednie badanie lekarskie. Z każdym chorym przeprowadzony zostaje wywiad, który ma na celu sprawdzić, czy nie ma przeciwwskazań do uczestnictwa w zabiegu. Pytania dotyczą przede wszystkim tolerancji „zimna” przez organizm, przebytych lub obecnych schorzeń współistniejących oraz przyjmowanych leków. Ponadto wykonywane są badania internistyczne (osłuchanie płuc i serca, badanie elektrokardiograficzne i neurologiczne).

Tak dokładne badania lekarskie pozwoliły na stworzenie uniwersalnej listy wskazań i przeciwwskazań do leczenia pacjentów metodą krioterapii. Wskazania do krioterapii ogólnoustrojowej są bardzo rozległe. Należą do nich:

- choroby reumatyczne, zwyrodnieniowe, fibromialgia;
- dyskopatie;
- zapalenie okołostawowe ścięgien, mięśni;
- urazy stawów i tkanek miękkich;
- dna moczanowa;
- zespół Sudecka;
- przewlekłe bóle patologiczne;
- oparzenia u dzieci i dorosłych;
- schorzenia dermatologiczne: łuszczyca, włókniaki, brodawki, zakażenia wirusowe;
- dolegliwości wymagające odnowy biologicznej;
- kontuzje;
- nadwaga.

Przeciwwskazania bezwzględne do krioterapii ogólnoustrojowej są następujące:

- niedoczynność tarczycy;
- niedokrwistość;
- zaawansowana miażdżycza;
- choroby nowotworowe;
- krieglobulinemia;
- krio-fibrynogemia;
- uszkodzenia skóry;

- obecność miejscowych odmrożeń;
- klaustrofobia.

Istnieją także przeciwwskazania względne, takie jak:

- wiek powyżej 65 lat;
- wady aparatu zastawkowego serca;
- Przebyte zakrzepy żyłne i zatory tętnic obwodowych;
- chwiejność emocjonalna.

W ostatnich kilkudziesięciu latach wykorzystanie „zimna” do celów leczniczych stało się uznanym sposobem zmniejszenia bólu i poprawy stanu zdrowia. Z zabiegów w kriokomorze korzystają również sportowcy, w celu leczenia zarówno ostrych, jak i przewlekłych urazów tkanek miękkich, podczas rehabilitacji pourazowej przewlekłych uszkodzeń narządów ruchu oraz w ramach przygotowania do wysiłku fizycznego.

Zabiegi krioterapii ogólnoustrojowej stają się obecnie łatwiej dostępne, między innymi z powodu coraz niższych kosztów ich przeprowadzenia.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Chorowski M.: „Kriogenika. Podstawy i Zastosowania”. Wyd. MASTA. Gdańsk, 2007.
- [2] Górski J.: „Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego”. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa, 2008.
- [3] Sieroń A., Cieślak G.: „Krioterapia – leczenie zimnem”. Wydawnictwo α-medica Press. Bielsko – Biała, 2007.
- [4] Starburzyński G., Starburzyńska – Lupa A.: „Fizjoterapia”. Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa, 2007.
- [5] Zagrobelny Z.: „Krioterapia – miejscowa i ogólnoustrojowa”; Wydawnictwo Medyczne Urban i Partner. Wrocław, 2007.
- [6] Katalog firmy ACTIMED.
- [7] Materiały Europejskiego Centrum Krioterapii i Rehabilitacji.
- [8] Katalog firmy MAXImus.
- [9] Katalog firmy Zimmer Elektromedizin.
- [10] [www.medicasonline.pl](http://www.medicasonline.pl)

