

Technologie kriogeniczne

Kriogenika w medycynie

Leczenie zimnem jest najstarszą formą leczenia. Już 2500 lat p.n.e. Egipcjanie stwierdzili, że zimno działa uśmierzająco na miejsca urazu i ma działanie przeciwzapalne. Współczesne technologie pozwalają na uzyskiwanie dużo niższych temperatur niż ta, jaką zapewniał okład ze śniegu lub lodu.

Rozwój kriogeniki umożliwił skroplenie gazów uznawanych wcześniej za gazy trudno- bądź nieskrapalające się. Należą do nich między innymi: azot, tlen, hel, ksenon, argon, metan czy wodór. Aktualnie technika pozwala nie tylko na „produkcję” czynników (cieczy) kriogenicznych, ale także na ich przechowywanie i transport w fazie ciekłej.

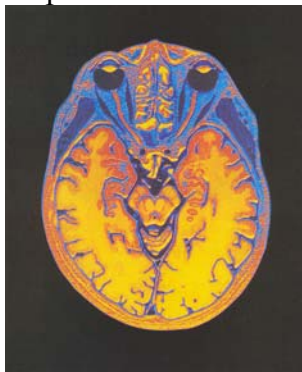
Czynniki kriogeniczne pełnią różnorodne role w medycynie. Ich własności wykorzystuje się w diagnostyce (rezonans magnetyczny), leczeniu (kriochirurgia), rehabilitacji (krioterapia) a także umożliwiają przechowywanie oraz transport materiałów biologicznych.

DIAGNOSTYKA

Przebieg leczenia zależy od prawidłowego rozpoznania choroby. Diagnostyka, czyli nauka o rozpoznawaniu chorób na podstawie wywiadu lekarskiego, analizy objawów i wyniku badań dodatkowych stanowi pierwszy i podstawowy etap procesu leczenia. Jedną z najnowszych metod wspomagających badania nad mózgiem i innymi narządami jest metoda wykorzystująca rezonans magnetyczny.

Zjawisko rezonansu magnetycznego polega na wykrywaniu protonów (jąder wodoru) w badanym narządzie. Silne pole elektromagnetyczne, wytwarzane przez magnes nadprzewodzący pobudza protony do wysyłania promieniowania elektromagnetycznego. Wyżej wymienione zjawisko pozwala na uzyskanie kolorowych, trójwymiarowych obrazów wybranych przekrojów (warstw) narządu. Opisane badanie wykonuje się tomografem NMR. Magnes nadprzewodzący chłodzony jest ciekłym helem.

Na zdjęciu rentgenowskim miękkie tkanki nie są wyraźnie widoczne, ponieważ pochłaniają zbliżone ilości energii. Rezonans, w przeciwieństwie do badania rentgenowskiego czy tomografii komputerowej, nie naraża pacjenta na szkodliwe promieniowanie i lepiej ukazuje różnice pomiędzy tkankami miękkimi dzięki wrażliwości na zmiany zawartości wody. Zaletą ta przesądza o wyjątkowej przydatności tomografii jądrowej przy rozpoznawaniu zmian nowotworowych i ocenie ich zaawansowania.



A



B

A: Sztucznie barwione zdjęcie przekroju zdrowego mózgu ludzkiego.

B: Tomograf NMR chłodzony ciekłym helem. (foto: Messer Polska)

PRZECHOWYWANIE MATERIAŁU BIOLOGICZNEGO

Ciekły azot oraz suchy lód są idealnymi środkami chłodzącymi podczas transportu i czasowego przechowywania preparatów biologicznych takich, jak: krew, tkanka lub narząd.



Przechowywanie materiału biologicznego w zbiorniku z ciekłym azotem.

Zestawiony dwutlenek węgla zapewnia nieprzerwane przez określony czas utrzymywanie temperatury w przedziale od $+10^{\circ}\text{C}$ do -25°C . Poza zdolnościami chłodniczymi CO_2 posiada właściwości bakteriostatyczne. Granulat suchego lodu jest dostarczany w specjalnych kontenerach. Dzięki swoistej izolacji pojemników suchy lód można w nich przechowywać przez wiele dni bez strat i zmian jego właściwości. Przechowywanie w czasie transportu umożliwia pobranie organu od dawcy, który przebywa w miejscu położonym o setki kilometrów od szpitala, w którym wykonuje się przeszczep.



Pojemniki z suchym lodem do przechowywania materiałów biologicznych.

KRIOTERAPIA

Sposoby uzyskiwania niskich temperatur umożliwiły rozwój jednej z metod rehabilitacji– krioterapii. Termin „krioterapia” odnosi się do działania leczniczego mającego na celu obniżenie temperatury powierzchni ciała, przy czym działanie zimna nie powoduje destrukcji tkanek. „Zimno” łagodzi ból, zmniejsza obrzęk czy też krwawienie. Otrzymywanie temperatur bliskich 0°C nie przysparza (zwłaszcza w dzisiejszych czasach) problemów, a poza tym zastosowanie chłodu w doraźnym leczeniu człowieka nie wywołuje żadnych skutków ubocznych oraz nie obciążają układu krążenia.

Krioterapię stosuje się dla wywołania i wykorzystania fizjologicznych i ustrojowych reakcji na zimno w celu wspomagania leczenia podstawowego i ułatwienia leczenia ruchem. Gwałtowne oziębienie jest wystarczająco silnym bodźcem, który uruchamia miejscowe i ośrodkowe odczyny i ośrodki termoregulacyjne dla konserwacji, redystrybucji ciepła i gdy to konieczne jego produkcji.

Zabiegi krioterapeutyczne dzieli się na dwie grupy:

1. Zabieg miejscowy – obejmuje niewielką powierzchnię ciała, np. staw.
2. Zabieg ogólnoustrojowy – obejmuje całe ciało.

Zabieg miejscowy można wykonać różnymi metodami. Zalicza się do nich:

1. Okłady woreczkami z lodem, zamrożonym żelem silikonowym bądź roztworem soli.



Lód syntetyczny jednorazowy

Po zgnieceniu lub uderzeniu torebki znajdująca się wewnątrz woda miesza się z odpowiednim środkiem, co powoduje uzyskanie niskiej temperatury. Tak przygotowaną torebkę przykładamy w miejscu, które ma być znieczulone lub gdzie chcemy zmniejszyć występowanie obrzęków, wylewów, krwiaków itp.



Kompresy

Seria nowoczesnych kompresów ciepło-zimnych o szerokim zastosowaniu. Gwarantują bezpieczne i efektywne zastosowanie przy odnowie biologicznej, relaksacji, odświeżaniu itp. Są kompresami wielokrotnego użytku. Z uwagi na dużą gamę rodzajów można łatwo dopasować odpowiedni dla danej części ciała model.

2. Częściowa kąpiel w wodzie z lodem.
3. Masaż lodem.
4. Zraszanie sprayami oziębiającymi.



Lód syntetyczny w aerozolu

Jest to mieszanka gazów, które skierowane na miejsce kontuzjowane lub znieczulane obniża szybko jego temperaturę, dzięki czemu zmniejsza ryzyko powstawania krwiaków, obrzęków i wylewów. Jest wygodny w użyciu ponieważ posiada postać aerozolu w blaszanych pojemnikach, w związku z tym nie tłucze się i nie paruje. Nie jest określany termin ważności, co oznacza że środek ten może być wykorzystywany przez bardzo długi okres.

5. Ochładzanie metodą kontaktową – urządzenie termoelektryczne.
6. Nadmuchiwanie parami azotu (temperatura gazu u wylotu z dyszy może wynosić od - 160°C do - 196°C).



A



B

Miejscowy zabieg krioterapeutyczny (A: wykonywany w Creator, Wrocław).

7. Nadmuchi mieszaniną par azotu i schłodzonego powietrza atmosferycznego (temperatura mieszaniny gazów u wylotu z dyszy może wynosić od - 100°C do - 178°C).
8. Nadmuchi zimnym powietrzem (temperatura gazu u wylotu z dyszy może wynosić od - 30°C do - 34°C).

Poddany krioterapii pacjent, paradoksalnie, odczuwa przez kilkanaście sekund ciepło, co jest skutkiem skurczu naczyń. Potem następuje szybkie rozszerzenie naczyń krwionośnych i przyspieszenie przepływu krwi, utrzymujące się przez 3 - 4 godziny. Przekrwienie jest tym większe, im znaczniejsze było oziębienie. A efektem zabiegu jest długotrwałe ogrzanie wybranego fragmentu ciała, bardziej korzystne niż ogrzanie energią cieplną z zewnątrz. Po kilku godzinach m.in. zmniejszają się obrzęki chłodzonych tkanek, poprawia się też przepływ i oczyszczanie chłonki w układzie limfatycznym. Zastosowanie bardzo niskich temperatur pozwala skrócić czas zabiegu i osiągnąć trwalszy oraz pełniejszy efekt terapeutyczny miejscowego chłodzenia.

URZĄDZENIA KRIOTERAPEUTYCZNE

Urządzenia krioterapeutyczne zasilane są azotem, podtlenkiem azotu, dwutlenkiem węgla a także powietrzem atmosferycznym. Seryjnie produkowany sprzęt składa się z dwóch zasadniczych części: butli ze skroplonym czynnikiem oraz aparatury pomocniczej w skład, której wchodzi elementy instalacji doprowadzającej czynnik, zawory itp. Wyżej wymienione rozwiązanie wiąże się z koniecznością okresowego uzupełniania kriocieczy, co wpływa na wzrost kosztów eksploatacyjnych aparatu.



KRIOPOL R

Czynnik roboczy: ciekły azot

Pojemność zbiornika: 26 litrów

Temperatura strumienia gazu: -160° C (przy wylocie dyszy)

Liczba stopni regulacji intensywności nadmuchu: 4

Zużycie ciekłego azotu: od 3 do 10 kg/h (praca ciągła) w zależności od intensywności nadmuchu

Liczba zabiegów przy zużyciu jednego zbiornika ciekłego azotu: ok. 40 (dla śr. czasu zabiegu = 3 min)



NR-2 w systemie dwutlenku węgla (CO₂ w fazie ciekłej)

Pozwala na łatwe i bezpieczne dozowanie czynnika chłodzącego.

Nie wymaga stosowania ciekłego azotu (LN₂). Uzyskuje temperaturę - 75 C.

Jedna butla wystarcza na 75-90 minut ciągłej pracy urządzenia. Wymiana butli trwa kilkanaście sekund. Aparat wyposażony jest w wymienne dysze o różnych średnicach pozwalając na precyzyjne (meridiany – kriopunktura) lub rozległe (duże powierzchnie, np. biodra, pośladki, grzbiet, kończyny) dozowanie zimna przy jednoczesnym oszczędnym zużyciu gazu, bez wpływu na skuteczność zabiegów.



Urządzenie termoelektryczne **Kryotur 600**

Kryotur 600 jest to zasilany sieciowo aparat stołowy.

Zimno jest wytwarzane przy pomocy elementów Peltiera i doprowadzane do pacjenta przez wymienne aplikatory. Ciało pacjenta może być schładzane bądź przy pomocy różnego kształtu mankietów (np. na stawy lub powierzchnie płaskie) do $+12^{\circ}\text{C}$, bądź przy pomocy głowicy mrożącej (różne kształty wkładek kontaktowych) do -10°C . Indywidualnie wg potrzeb można

ustawiać za pomocą przycisków; sposób (tryb) pracy, temperaturę terapii, czas terapii, cykle, co jest uwidaczniane na ciekłokrystalicznym wyświetlaczu.



Cryo 5 – urządzenie sprężarkowe

Urządzenie Cryo 5 ma możliwość wykonania około 5-6 zabiegów na godzinę.

Temperaturę zabiegową (około -30°C) aparat wytwarza schładzając powietrze w układzie sprężarkowym.

Układ zasila czynnik R 507.

KRIOTERAPIA MIEJSCOWA

Zabieg krioterapii ogólnej wykonuje się w kriokomorze. Rozróżnia się kriokomory wolnostojące oraz wejściowo – zejściowe.



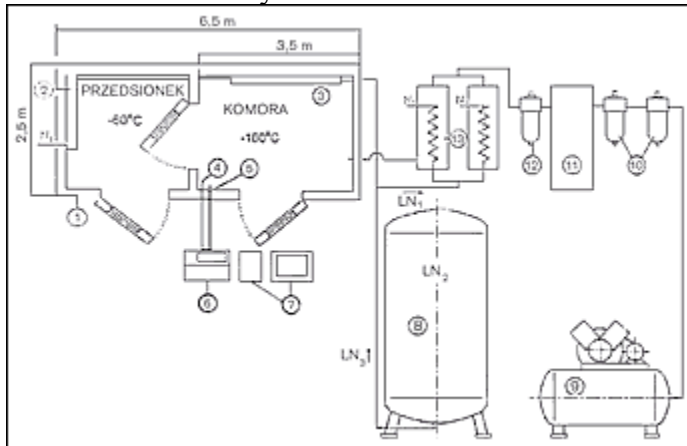
Kriokomora wolnostojąca, Creator Wrocław.

Kriokomora wolnostojąca składa się z dwóch części: przedsionka o temperaturze -60°C oraz części właściwej, gdzie temperatura jest niższa niż -100°C . Może z niej korzystać równocześnie

5 - 6 osób. W 1978 r. w Japonii powstała pierwsza w świecie komora niskotemperaturowa, którą zastosowano do leczenia chorych z reumatoidalnym zapaleniem stawów. Koncepcja krioterapii ogólnoustrojowej przewędrowała następnie do Niemiec.

Pierwszy polski prototyp komory kriogennej powstał w roku 1989 w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Była ona drugą w Europie i trzecią w świecie. Skonstruował ją mgr inż. Zbigniew Raczkowski z AWF we Wrocławiu.

Schemat kriokomory:



1. Komora
2. Wymiennik przedSIONKA
3. Wymiennik komory
4. Czujnik temperatury
5. Czujnik koncentracji tlenu
6. Sterownik
7. Komputer
8. Zbiornik LN₂ 5000 L
9. Kompresor
10. Filtry wstępne
11. Osuszacz absorpcyjny
12. Filtr końcowy
13. Kriocyszczalniki

Kriokomora wejściowo – zejściowa określana jest również jako kriokomora z zaleganiem chłodu.



Kriokomory firmy CryoFlex Poland

Komora do realizacji zabiegów krioterapeutycznych wykonana jest w formie dwu lub czteroosobowej kabiny zabiegowej o ścianach izolowanych nowoczesnym materiałem termoizolacyjnym FOAMGLAS® montowanym na konstrukcji nośnej. Jest on odporny na działanie wody (nie absorbuje wilgoci), pary (nie ulega zawilgoceniu i zastępuje izolację paroszczelną), kwasów oraz działanie siły (duża odporność na ściskanie). Jest także materiałem niepalnym i nie zmienia z czasem swojego kształtu. Od wewnętrznej strony, kabina wyłożona jest specjalnie selekcyjonowanym i impregnowanym drewnem. System dysz rozpylających chłodzącą ciecz kriogeniczną jest odgradzony od wnętrza kabiny drewnianymi żaluzjami. Kabina zamykana jest dwuskrzydłowymi wahadłowymi drzwiami. Do zasilania kriokomory stosowane jest syntetyczne ciekłe powietrze – jednorodna mieszanina azotu i tlenu (o zawartości tlenu $22 \pm 2\%$). Poziom tlenu kontrolowany jest dwupunktowo, a monitorujący go mikrokontroler odcina zasilanie LAir przy zbyt niskim lub zbyt wysokim jego poziomie w kabine zabiegowej. Jednocześnie wszystkie parametry pracy kriokomory są w przejrzysty dla obsługi sposób wyświetlane na monitorze współpracującego ze sterownikiem komputera klasy PC.

W celu wykorzystania efektu zalegania chłodu do kabiny zabiegowej kriokomory, schodzi się po schodach w dół. Schody wykonane są z odpowiednich gatunków drewna, ich nachylenie jest łagodne, a stopnie szerokie, co umożliwia swobodne zejście nawet pacjentom o ograniczonej sprawności ruchowej.

Przezroczysty sufit, oraz oświetlenie wnętrza kabiny zabiegowej lampą fototerapeutyczną podnosi komfort przebywającego w niej pacjenta. W czasie trwania zabiegów w kriokomorze utrzymywany jest automatycznie zadany poziom temperatury. Temperatura robocza zależna jest od regulowanej automatycznie ilości wtryskiwanego i odparowywanego w komorze ciekłego powietrza.

We wszystkich rozwiązaniach kriokomór występuje problem zawilgocenia urządzeń. Stosowanie np. przedsionków, osłon czy innych zabezpieczeń nie zabezpiecza całkowicie przed dyfuzją pary wodnej z otoczenia i zawilgoceniem komory. Wykorzystanie zalegania chłodu z jednoczesnym przedmuchiwaniem suchym powietrzem oraz stosowanie w pomieszczeniu komory osuszaczy powietrza ma na celu zmniejszenie tego zjawiska.

Kabina po cyklu zabiegów wymaga ok. sześciogodzinnego procesu suszenia. W tym samym czasie następuje również, wykonywana automatycznie, dezynfekcja jej wnętrza.

Do dezynfekcji kabiny zastosowano generator ozonu uruchamiany po zakończeniu wszystkich zabiegów, w czasie cyklu automatycznego rozmrażania i suszenia kriokomory.

Zabieg w kriokomorze:

Krioterapia ogólna obejmuje cykl 10 zabiegów. Zabiegi początkowo aplikowane są pacjentom przez 1/2 minuty, po czym czas jest stopniowo wydłużany (maksymalnie 3 minuty).

Zabieg:



1. Każdy chory przed wejściem do kriokomory informowany jest o konieczności wytarcia się ręcznikiem dla usunięcia potu, co jest o tyle ważne, iż obecność kropelek potu na skórze w warunkach czynnej kriokomory powoduje powstanie z nich bezzwłocznie kryształków lodu, co daje u niektórych dodatkowo, aczkolwiek przejściowe uczucie zimna. Należy także zdjąć biżuterię, zegarki itp.
2. Każdy chory informowany jest o konieczności powolnego, możliwie niezbyt głębokiego oddychania przez maskę chirurgiczną wyłożoną dodatkowo warstwą gazików, według formuły, że wdech ma być dwa razy krótszy niż wydech. Jeżeli do płuc przedostanie się szybko większa ilość krańcowo schłodzonego powietrza, jego objętość podwaja się, co może wywołać opresję oddechową.
3. Dodatkowymi zabezpieczeniami chorych są: wełniane skarpety i rękawice, przepaska osłaniająca małżowiny uszne, drewniane saboty, u kobiet -kostium kąpielowy, u mężczyzn spodenki.
4. Tak przygotowani chorzy są wprowadzani przez osoby obsługujące - odpowiednio przeszkolone do przedsionka komory o temp. -60°C do -70°C , gdzie następuje adaptacja chorych do niskich temperatur. Następnie wchodzi do komory właściwej po 5 osób, poruszając się w niej "w kółko" przez okres 2-3 min. Chorzy przez cały okres przebywania w kriokomorze pozostają w kontakcie wzrokowym i słuchowym z obsługą na zewnątrz urządzenia, gdzie zawsze, znajduje się lekarz kwalifikujący chorych do zabiegu, jak również interweniujący w przypadkach niepożądanego reakcji.
5. Po opuszczeniu kriokomory chorzy przechodzą do pomieszczeń o temperaturze pokojowej i poddawani są intensywnej kinezyterapii.

6. Ponadto wszyscy chorzy zostają zaznajomieni z ćwiczeniami do samodzielnego wykonania, metodami autoregresji, przeciwprzykurczowymi pozycjami ułożeniowymi z ćwiczeniami samo wspomagającymi.
7. Na ogół chorzy nie odczuwają zimna w potocznym tego słowa znaczeniu, a raczej pieczenie odsłoniętych części skóry, jakby z uczuciem delikatnego klucia tępą igłą. Można to inaczej określić jako "chłodne pieczenie".

Krioterapia ogólnoustrojowa powoduje wiele cennych efektów:

- radykalnie poprawia samopoczucie i nastrój
- zwiększa odporność organizmu
- odnawia biologicznie organizm
- poprawia koloryt skóry
- spowalnia procesy starzenia
- wzmacnia strukturę naczyń krwionośnych
- powoduje wzrost korzystnych hormonów w surowicy krwi
- działa antydepresyjnie.

KRIOCHIRURGIA



Kriochirurgia polega na miejscowym, kontrolowanym niszczeniu zainfekowanych komórek poprzez działanie na nie temperaturami kriogenicznymi.

Zabieg kriochirurgiczny można wykonać trzema metodami:

1. **Za pomocą wacików** nawiniętych na drewniane pałeczki i zanurzonych w cieczy kriogenicznej. Odparowująca ciecz obniża temperaturę wacika. Zetknięcie go ze skórą powoduje odbieranie ciepła od tkanki, co w konsekwencji doprowadzi do uszkodzenia jej komórek. Najczęściej w wyżej wymienianych zabiegach stosowany jest ciekły azot, który oprócz niskiej temperatury odparowania jest najbardziej dostępnym i najtańszym czynnikiem kriogenicznym. Metodę tę stosuje się w przypadku zmian łagodnych i płytkich.
2. **Metoda natryskowa.** Do jej zastosowania niezbędne jest wytworzenie ciśnienia w urządzeniu terapeutycznym. Rozpylona ciecz kriogeniczna odparowuje, obniżając temperaturę powierzchni skóry. Ograniczeniu pola zamrażanej tkanki służą osłony w kształcie walców. Natrysk czynnika wymaga okresowych, bardzo krótkich przerw, aby zapewnić równomierną przemianę cieczy w gaz. Zapobiega to powstawaniu na skórze kropeł czynnika, które spływając mogą uszkodzić otaczającą zdrową tkankę. Najczęściej, korzystając z tej metody, jako czynnik zamrażający stosuje się azot albo podtlenek azotu.
3. **Metoda kontaktowa.** Wymaga zastosowania aplikatora. W jego zamkniętej przestrzeni przepływa ciekły krioczynnik, który odbierając ciepło odparowuje. Do skóry przylega powierzchnia mroząca przekazująca ciepło od tkanki do kriogenu. Metoda ta, nie powoduje bezpośredniego kontaktu czynnika kriogenicznego z powierzchnią skóry. Wykorzystuje się ją do leczenia zmian o powierzchniach od wymiarów punktowych, aż do średnicy kilku centymetrów. Jako czynniki chłodnicze stosuje się azot, podtlenek azotu, dwutlenek węgla.

Niskie temperatury stosowane w kriochirurgii osiąga się różnymi metodami. Lód powoduje obniżenie temperatury powierzchni skóry do 0°C. Mieszanka lodu eutektycznego z chlorkiem sodu zapewnia spadek temperatury do około -21°C. Uzyskanie temperatury -79°C umożliwia zastosowanie tzw. pasty śniegowej. Jest to mieszanka suchego lodu (zestalonego dwutlenku węgla) z alkoholem, eterem lub acetonem. Ponieważ uzyskanie temperatury powierzchni skóry na poziomie -20°C nie spowoduje destrukcji tkanki (w żądanym stopniu), w urządzeniach kriochirurgicznych stosuje się ciecze kriogeniczne, które umożliwiają uzyskanie znacznie niższych temperatur. Urządzenia kriochirurgiczne zasilane są ciekłym azotem (N₂), podtlenkiem azotu (N₂O) bądź dwutlenkiem węgla (CO₂).

Ciekły azot, podtlenek azotu oraz dwutlenek węgla są czynnikami, których własności fizyczne umożliwiły obniżanie temperatur powierzchni ciała oraz tkanek położnych głębiej. Rozwój techniki zapewnia przeprowadzanie zabiegów w sposób kontrolowany. Ze względu na szereg pozytywnych cech, kriociecze z powodzeniem wykorzystywane są w leczeniu ludzi. Cechami tymi są:

- działanie znieczulające zimna
- brak reakcji chemicznej z tkanką
- niepalność
- nietoksyczność

Zabiegi kriochirurgiczne stosuje się w wielu dziedzinach medycyny, przede wszystkim w dermatologii, onkologii, otolaryngologii, ginekologii i okulistyce.

Zabiegi odznaczają się:

- skutecznością
- krótkim czasem gojenia
- brakiem skutków ubocznych
- brakiem powikłań
- brakiem lub niewielkimi bliznami pozostającymi po zabiegu
- oddziaływaniem tylko na tkankę chorobowo zmienioną (w przypadku nowotworu: środki farmakologiczne- chemioterapia, inne formy leczenia- radioterapia oddziałują na cały organizm)
- prostą techniką zabiegu
- stosunkowo krótkim czasem zabiegu
- stosunkowo niskim kosztem zabiegu
- możliwość stosowania w warunkach ambulatoryjnych bez obecności anestezjologa (bez konieczności znieczulenia ogólnego, a znieczulenie miejscowe w wybranych przypadkach).

Dostępne urządzenia stwarzają możliwość wyboru w zależności od planowanego zakresu leczenia, częstotliwości wykorzystania urządzeń, jak i doświadczenia w przeprowadzaniu zabiegów.

Urządzenia zasilane ciekłym azotem:

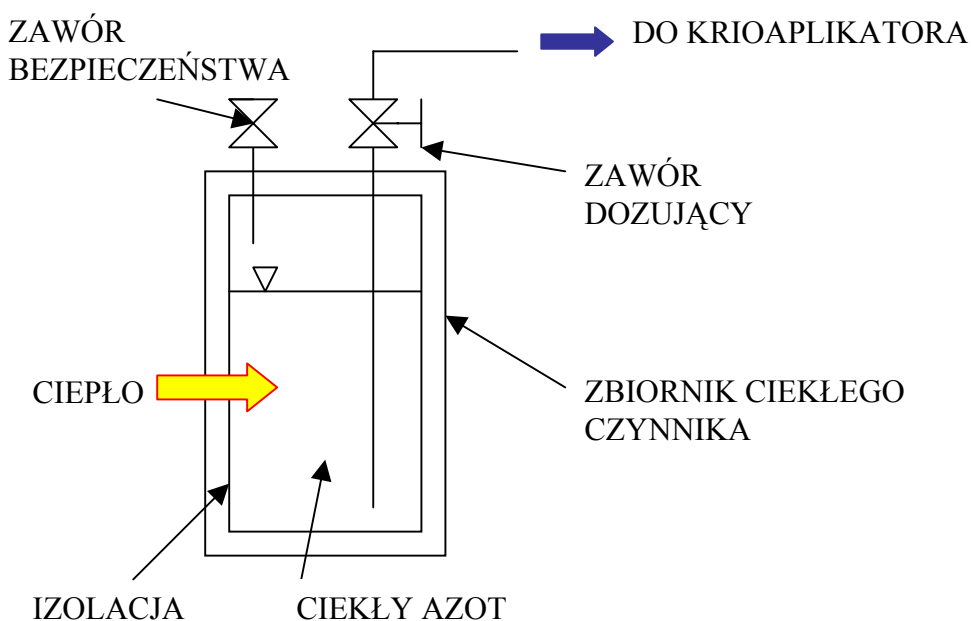
Najbardziej popularne w tej grupie są małe przenośne aparaty o pojemności do 1 dm³, w których ręczny nacisk na dźwignię zaworu umożliwia wypływ azotu. Zaletą tych urządzeń jest możliwość wykonania zabiegu również u chorego w domu, a także mniejsze zużycie ciekłego azotu.



KS- 2 firmy Kriosystem- Wrocław

- urządzenie do zabiegu metodą kontaktową i natryskową
- uzyskiwana temperatura końcówki mrożącej: około -190°C
- pojemność urządzenia 0.35 dm^3
- zestaw aplikatorów zamkniętych (do metody kontaktowej) o powierzchni mrożącej od punktowych do średnicy 18 mm
- przystawka KSO-1 umożliwia pomiar temperatury aplikatora w czasie zabiegu i jego ogrzanie po zamrożeniu
- zbiornik ciekłego azotu o pojemności 10 litrów.

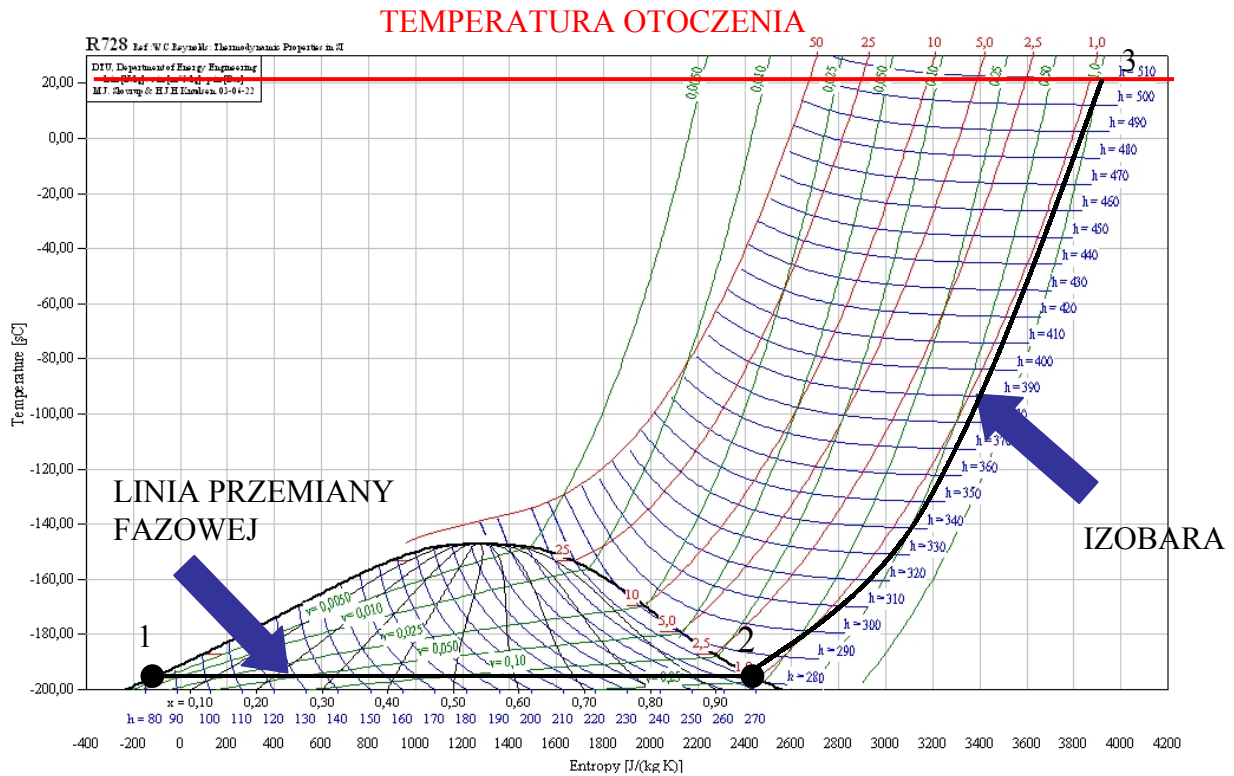
Schemat aparatu zasilanego ciekłym azotem:



Mimo, że zbiornik urządzenia jest izolowany, z otoczenia dopływa strumień ciepła. Powoduje on odparowywanie ciekłego azotu a w konsekwencji podnoszenie się ciśnienia. W celu zabezpieczenia przed nadmiernym wzrostem ciśnienia montuje się zawór bezpieczeństwa – spustowy (2). W przypadku, gdy ciśnienie przekroczy wartość graniczną zawór otwiera się umożliwiając wydostanie się nadmiaru par ze zbiornika.

Zamknięcie zaworu spustowego oraz rozpoczęcie pracy zaworu dozującego powoduje obniżenie ciśnienia w zbiorniku. Pod wpływem różnicy ciśnień między wnętrzem aparatu i otoczeniem następuje wypływ ciekłego czynnika.

Proces wymiany ciepła odbywa się przez odparowywanie na powierzchni tkanki ciekłego czynnika kriogenicznego. Ciekły azot przechodzi przemianę fazową ciecz – para. Jest to przemiana izotermiczna oraz izobaryczna. Linia przemiany fazowej jest zawarta między lewą i prawą linią nasycenia (między punktami 1 i 2). Różnica entalpii między punktami skrajnymi linii ($h_2 - h_1$) określa terminem: ciepło parowania. Ciepło odparowania określa ilość ciepła, jaką trzeba doprowadzić do 1 kg ciekłej substancji, aby uległa ona całkowitemu odparowaniu.



Wykres T – s dla azotu.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że ciekły azot jest pobierany z punktu 1. Między temperaturą otoczenia a temperaturą przechowywania czynnika roboczego istnieje różnica na poziomie 198 K. Tak ogromna różnica powoduje duży strumień wnikania ciepła przez powierzchnie boczne zbiornika. Oznacza to, że ze względu na niebezpieczeństwo nadmiernego wzrostu ciśnienia oraz na fakt, że ciekły azot gwałtownie odparowuje w temperaturze otoczenia, w zbiorniku urządzenia nie można przechowywać ciekłego azotu. Konieczne jest napełnianie zbiornika przed każdym zabiegiem.

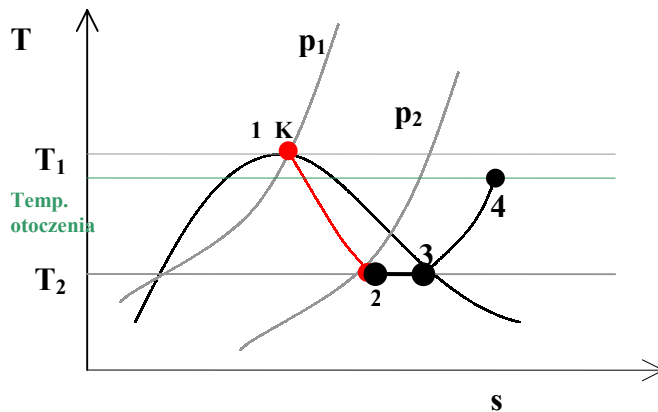
Urządzenie zasilane ciekłym podtlenkiem azotu:



AK-1 v.3 firmy Eko Medica- Kraków

- urządzenie do zabiegu metodą kontaktową lub natryskową
- możliwość wykorzystania jako medium zamrażającego CO₂
- uzyskiwana temperatura końcówki mrożącej: -89°C
- zestaw aplikatorów o różnej wielkości powierzchni mrożącej
- powierzchnia mrożąca pokryta jest 24- karatowym, twardym złotem
- możliwość sterylizacji termicznej końcówek
- N₂O z butli stalowych
- nie wymaga podłączenia do źródła prądu
- sterowanie pracą odbywa się w układzie pneumatycznym.

Aparat pobiera z butli pary podtlenku azotu i poddaje je procesowi dławienia izentalpowego. Proces ten powoduje powstanie mieszaniny parowo – cieczowej, którą natrykuje się na powierzchnię tkanki.



Proces dławienia izentalpowego na wykresie T-s.

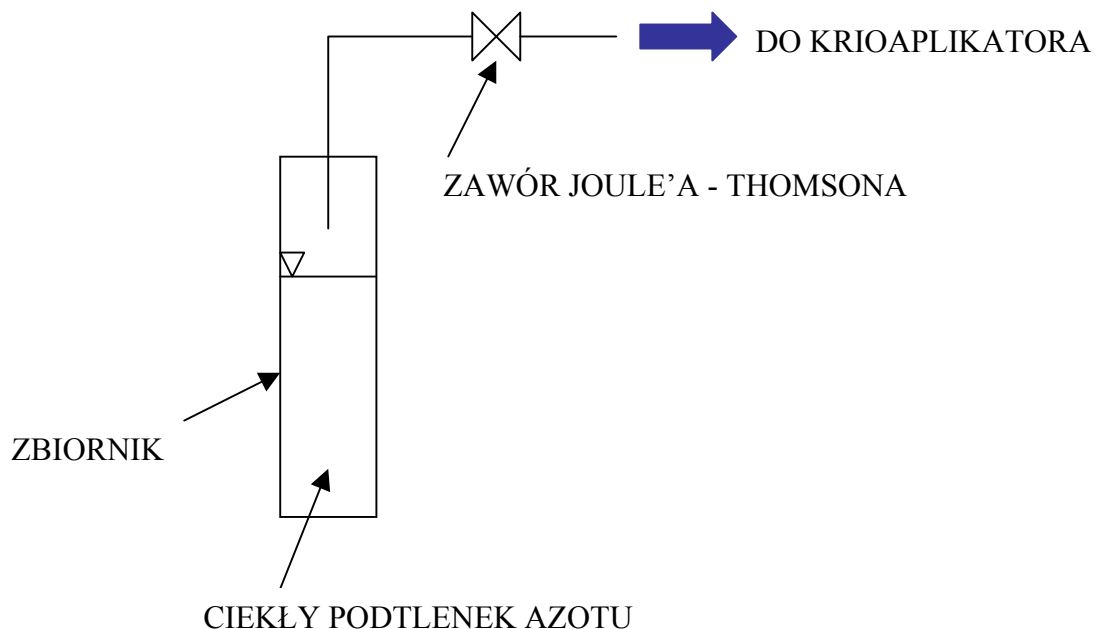
K- punkt krytyczny

Proces dławienia 1 – 2.

Proces przemiany fazowej 2 – 3.

Należy zwrócić uwagę na to, że w przeciwieństwie do azotu temperatura czynnika pobieranego z butli jest zbliżona do temperatury otoczenia (temperatura krytyczna N_2O wynosi $+36.5\text{ }^{\circ}C$). Urządzenie pobiera z butli czynnik o temperaturze około $+30^{\circ}C$ (punkt 1), następnie jest on dławiony do temperatury około $-90^{\circ}C$ (proces 1 – 2) i natrykiwany na powierzchnię tkanki (punkt 2), gdzie odparowuje (proces 2 – 3). Pod wpływem temperatury otoczenia ogrzewa się izobarycznie (proces 3 – 4) do temperatury otoczenia (punkt 4).

Schemat aparatu zasilanego podtlenkiem azotu.



Urządzenie zasilane dwutlenkiem węgla:

Kryorapid firmy Steinfatt & Steifatt- Niemcy.

- urządzenie do zabiegu metodą kontaktową
- uzyskiwana temperatura końcówki mrożącej: $-37^{\circ}\text{C} \div -43^{\circ}\text{C}$
- zestaw aplikatorów o różnych średnicach powierzchni mrożącej
- CO₂ w jednorazowych kapsułkach (objętość gazu wystarcza na wykonanie kilkunastu zabiegów)
- nie wymaga podłączenia do źródła prądu.