

فصل ۷

تجهیزات مورد استفاده در طب هایپرباریک

Equipment used in Hyperbaric Medicine

مقدمه

وسیله اصلی مورد استفاده در طب هایپرباریک ، اتاقک فشار (هایپرباریک) است. این اتاقک ضمن اینکه توانایی تجویز اکسیژن صد در صد را دارد می تواند فشار بیشتر از یک اتمسفر که معادل فشار دریاست را تحمل کند. اندازه، شکل و میزان فشار قابل تحمل توسط این اتاقک های فشار به طور قابل ملاحظه ای قابل تغییر است.

تکنیک های متفاوتی در ساخت و طراحی اتاقک ها وجود دارد که در جدول ۱-۷ نمایش داده شده است.

Table 7.1
Types of Hyperbaric Chambers

1. Monoplace
2. Multiplace or "walk-in" chambers
3. Mobile or portable
Monoplace: transportable by air, sea, or land
Multiplace: chamber can be driven from place to place
4. Chambers for testing and training divers
5. Small hyperbaric chambers
for neonates
for animal experiments

انواع اتاقک های فشار به پنج گروه تقسیم می شوند:

۱. اتاقک یک نفره Monoplace

۲. اتاقک چند نفره Multiplace walk-in Chambers

۳. اتاقک متحرک Mobile or Portable

انواع اتاقک های تک نفره که از طریق هوایی ، دریایی یا زمینی طراحی شده اند و انواع اتاقک های چند نفره که از مکانی به مکان دیگر قابل حرکت و اغلب به شکل اتوبوسی هستند.

۴- اتاقک های آزمایشات بدنی و آموزش غواصان که بنام Bone Chamber معروف هستند.

۵- انواع کوچک اتاقک‌های فشار که برای نوزادان Neonate و یا آزمایش بر روی حیوانات ساخته شده اند.

Mono place chamber

اتاقک یک نفره

شایع ترین اتاقکهای فشار مورد استفاده، اتاقک فشار یک نفره Monoplace است که اغلب دارای فشاری کمتر از سه اتمسفر ATA³ است. مریض از طریق تخت روان کپسول یا اتاقک شده و تمام فضای داخل اتاقک با اکسیژن صد در صد فشار مورد نظر پرمی شود. در این اتاقکها دو نوع تجویز اکسیژن وجود دارد.

Constant Purging

۱. تخلیه مداوم:

در این روش با یک جریان مشخص، اکسیژن وارد اتاقک می‌شود و با همان جریان به محیط راه می‌یابد این موضوع مانع از فشار داخل اتاقک خواهد شد.

Reyling

۲. باز گردشی

در این روش اتاقک با گردش محتویات بصورت پرپودیک، مقدار Co₂ و بخار آب نامناسب را جذب می‌کند و دوباره هوای صد در صد را جایگزین آن می‌گرداند.

مزایا

Advantages

اتاقک‌های یک نفره دارای مزایای ذیل هستند:

۱. مراقبت Handling مریض بصورت انفرادی Individually و حفظ حریم خصوصی مریض و قرنطینه Isolation در موارد عفونت که بسیار مهم است.
۲. کاملاً ایده آل برای مراقبت‌های ویژه و خاص Intensive Care بگونه‌ای که هیچ احتیاجی به جابجایی Transfer یا قطع Interruption مداوم در طول درمان در کپسول هایپرباریک نیست.
۳. عدم احتیاج به ماسک صورت Facemask و هیچ خطری از خطر نشست اکسیژن وجود ندارد و از همه مهمتر مریض احساس راحتی Comfortable در مدت درمانش می‌کند.

۴. شرایط ایده آل برای بیمارانی که در بیماری شان دچار زمین گیری در رختخواب Confined to bed هستند مثل بیماران فلج نیمه بدن یا Paraplegia.
 ۵. راحتی در مشاهده و تحت نظر گرفتن Observation بیمار.
 ۶. در اتاقهای تک نفره هیچ الگوی خاصی برای کم کردن فشار Decompression لازم نیست.
 ۷. اقتصادی بودن اتاقک و هزینه‌های درمانی ، این اتاقکهای تک نفره به راحتی در بیمارستان قابل استفاده هستند.
- نیاز به اوپراتور کمتر – یک نفر بعنوان اوپراتور دستگاه کافی است.

مضرات

Disadvantages

- مشکلات و مضرات اتاقک‌های تک نفره عبارتند از:
۱. احتمال آتش سوزی در یک محفظه برای اکسیژن همیشه وجود دارد.
 ۲. دسترسی به بیمار کار ساده‌ای نیست مگر در انواعی که به صورت لولایی اتاقک به دو نیم تقسیم می‌شود که بنام Reneas Dual Compartment معروفند.
 ۳. درمان‌های فیزیکی Physical Therapy در مدتی که بیمار در اتاقک است امکان پذیر نیست.
 ۴. در بیماران تقلیل فشار حاد (DCS) امکان استفاده از ماسک و آمبوبگ در شرایطی که بیمار هوشیار نیست وجود ندارد. زیرا نمی‌تواند ماسک را در شرایط اضطراری در خودش نگه دارد.
- اتاقک‌های یک نفره برای بیمارانی ایده آل است که احتیاج پرسنل درمانی در درون اتاقک فشار نباشد. اکثر فعالیت‌های حیاتی حتی تنفس در خارج از کپسول قابل کنترل است.
- در آمریکا نوع اتاقک فشار یک نفره Monoplace که در شکل ۱-۷ نشان داده است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

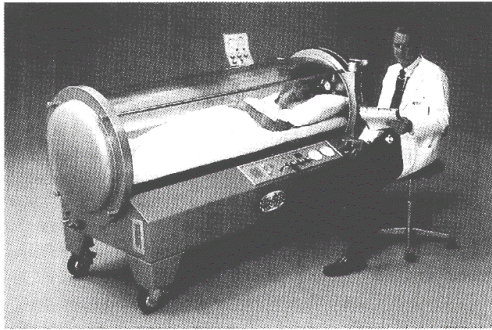


Figure 7.1
The Sechrist monoplace hyperbaric chamber.

طراحی یک اتاقک فشار یک نفره به منظور مراقبت‌های حاد و یا مراقبت‌های ویژه در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.

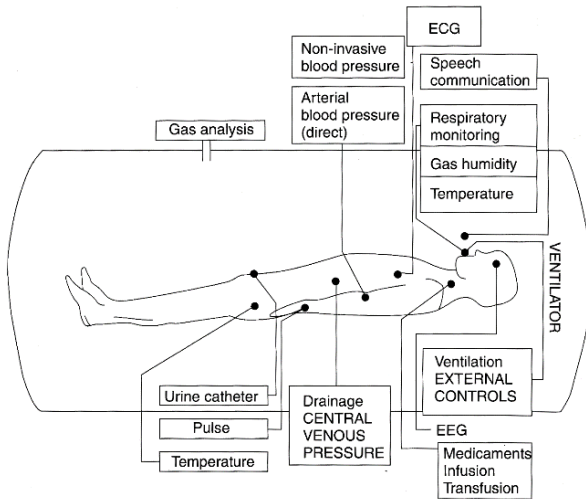


Figure 7.2
Monitoring and routine care functions for acute medical care in a monoplace chamber.

به عنوان مثال یک اتاقک فشار یک نفره متحرک ساخت شرکت SOS انگلستان در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.

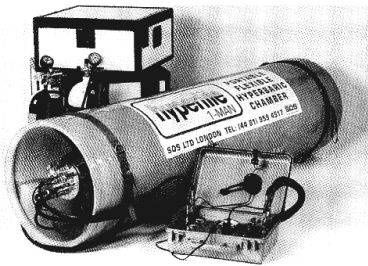


Figure 7.3a
The Hyperlite 1-man portable hyperbaric chamber (photos courtesy of SOS Ltd, London, UK).

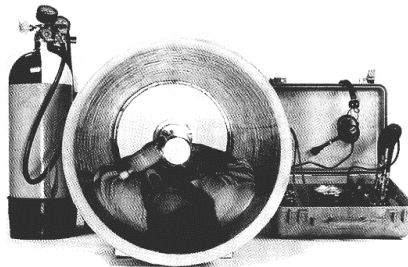


Figure 7.3b

این اتاقک از آلایژ سبک تهیه شده و می‌توان مریض را تحت فشار به هر نقطه‌ای از بیمارستان برای اقدامات درمانی بیشتر حرکت داد. این اتاقک برای حوادث غواصی بدنی Traumas و سایر شرایط اورژانسی که به HBO احتیاج دارند ایده آل است به خصوص در موارد سکته مغزی حاد Acute Stroke در مراحل اولیه درمان یک وسیله بسیار کمک کننده‌ای می‌باشد.

نوع دیگری از اتاقک فشار یک نفره که می‌تواند به صورت یک کوله پشتی Back Pack بسته شود و در موقع لزوم باز شده و مریض داخلش را تحت فشار قوی ساخته شده که بنام Gamow Bag نامیده می‌شود. این وسیله بیشتر برای بیماری ارتفاع Attitude illness طراحی شده است. میزان فشار قابل تحلیل در این نوع به دلیل قابل شکستن بودن Fragility بدنه آن حداکثر PSI۲ است.

اگرچه در اتاقک سبک ۱۵ (Clambarlite 15) برای استفاده از تکنولوژی پیشرفته روزمکان ایجاد فشارهای بالاتری برای درمان با HBO در این نوع اتاقک‌های سبک Chamber ایجاد کرده است.

در یک مطالعه که از داوطلبان سالم استفاده شده بود میزان امنیت و سلامت کیسه‌های هایپرباریک مورد آزمایش قرار گرفت و اثبات شد این کیسه‌ها Bag در شرایط اورژانسی کارایی کافی را دارند مثلاً در مسمومیت با منو اکسید کربن CO و بیماری تقلیل فشار Decompression Sickness جنبه درمانی خود را به اثبات رسانده است.

تاثیر استفاده اورژانسی از اکسیژن هایپرباریک در مسمومیت با منو اکسید کربن در نوعی موش صحرائی Rat به اثبات رسیده است. به خصوص اگر در ۳۰ دقیقه اول احیاء از آن استفاده شود و این موضوع لزوم وجود امکانات HBO در اورژانس‌ها را دو چندان می‌کند. این نوع کیسه‌های HBO می‌تواند در بیماران سکته مغزی Acute stroke تا رسیدن به مراکز درمانی مجهز نقش مهمی داشته باشد. در شکل ۴-۷ یک اتاقک چند نفره دوگانه Pair Multiplace Chamber از نوع Oxheal 200 Class A نشان داده شده است.

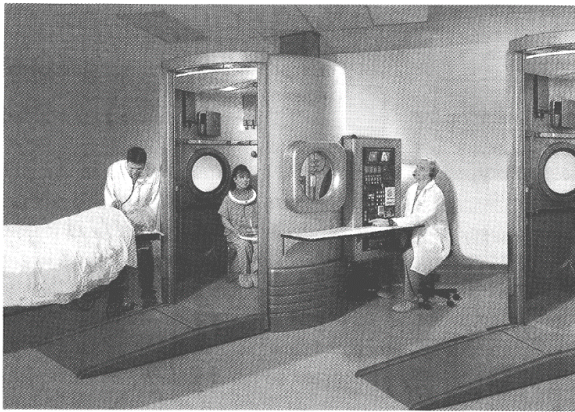


Figure 7.4

این اتاقک با حداکثر فشار ۹ ATA می‌تواند چهار نفر را جای دهد. تمام انواع گازهای BIBS از داخل و خارج کپسول قابل کنترل هستند تا از مسمومیت با اکسیژن در امان باشند. در شکل ۵-۷ اتاقک چند نفره Multiplac دارای سه محفظه ۱-۳ با حداکثر فشار ۶ ATA ساخت شرکت Oxyhead مدل ۴ Class A۴ OSO نشان داده شده است.

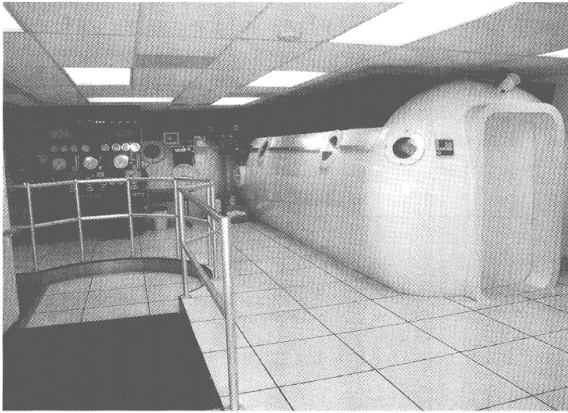


Figure 7.5

در این اتاقک ۱۳ بیمار به صورت افقی Horizontal Cylinders جای می‌گیرند که در مورد بسیاری از مراقبت‌های حیاتی در بخش اوزانس بیمارستان‌های آمریکا ساخته و استفاده می‌شود. در شکل 7-6a یک اتاقک مکعبی ساخت شرکت Oxyheal مدل Rectangular 5000 دیده می‌شود که حداکثر فشار ۳ ATA در مرکز سوختگی دانشگاه پزشکی لاس وگاس مشغول به کار است.



Figure 7.6a

این اتاقک از دو بخش مجزا ۲-Lock برای درمان ۱۲ بیمار به طور همزمان طراحی شده است و در آن امکانات مراقبت‌های حیاتی Critical Care کاملاً مجهز شده است. در قسمت جلو عکس یک اتاقک ساخت Oxyheal مدل ۲۰۰۰ که برای درمان‌های هایپرباریک روزمره مورد استفاده قرار می‌گیرد آن هم در زمانی که اتاقک بزرگتر مورد استفاده و اشتغال است. سیستم کنترل این Campelex در یک جا تعبیه شده است. در شکل 7-6b یک اتاقک فشار مکعبی داخلی Rectangular Chamber Interior ساخت شرکت Oxyheal مدل ۵۰۰۰ نشان داده شده است .

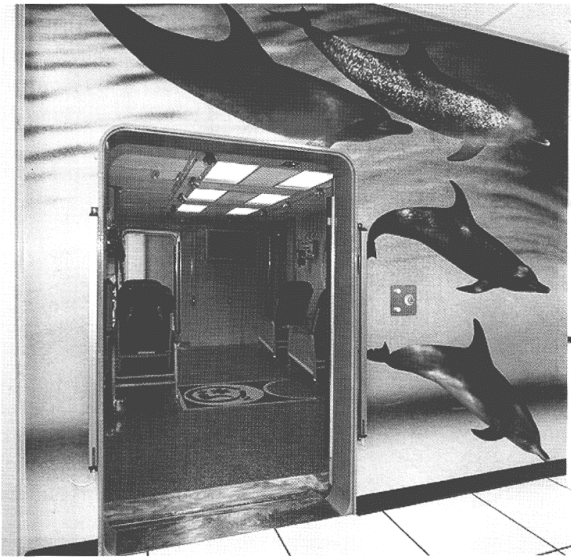


Figure 7.6b

در عکس صندلیهای غیر اختصاصی و یک صفحه نمایش بزرگ و در جایی که هم سطح با زمین وجود دارد این اتاقکها فضای کافی برای بستری بیمار را دارد. تعدادی عکسهای زیبای زیر دریا بصورت دیواری هم جهت کاهش استرس بیماران به دیوار نصب شده است.

Multiplace chambers

اتاقکهای فشار چند نفره

اتاقکهای چند نفره برای درمان همزمان چند بیمار طراحی شده است که گاهی تا ۲۰ بیمار هم می‌رسند. این اتاقکها از هوای معمولی پر شده اند و تنفس اکسیژن صد در صد از طریق ماسک (راه هوایی دهان و بینی) انجام می‌گیرد. در انواع سلول این اتاقکها یک سیستم هوشمند آنالیز هوای داخل کابین وجود دارد که میزان اکسیژن‌رسانی را به دقت بررسی می‌کند بخصوص در زمانهایی که تحت نشت گاز از ماسکها رخ می‌دهد. این اتاقکها تهویه هوا را براساس میزان رطوبت Humidity و دما Temperature بررسی می‌کند.

اتاقک هایپرباریک مدل ۴۰۰۰ ساخت کارخانه Cyheal با ظرفیت ۱۲ نفر و سه قسمت ۳-Lock با فشار حداکثر ATA۶ که برای مراقبت‌های حیاتی و حوادث عمیق طراحی شده است. در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

اتاقک هایپرباریک مکعبی مدل ۵۰۰۰، با ظرفیت ۱۲ نفر و حداکثر فشار ATA۳ اتمسفر که برای درمان‌های دسته جمعی خطرناک طراحی شده و در شکل ۶-۷ نشان داده شده است.

Advantages

مزایا

مزایای اتاقک‌های چند نفره به شرح زیر است:

۱. امکان درمان هم‌زمان چند مصدوم به طور هم‌زمان
 ۲. برای درمان بیمارانی که تجهیزات خاص مورد نیاز است مثلاً به عنوان اتاق عمل تحت فشار
 ۳. کاهش احتمال آتش سوزی
 ۴. امکان درمان‌های فیزیکی و انجام پروسیجرهای طبی
- امکان افزایش فشار تا ATA۶ اتمسفر برای درمان بیماری‌هایی مثل آمبولی هوا و بیماری تقلیل فشار حاد حوادث در غواصی‌های عمیق بیش از ۵۰ متر.
- اتاقک‌های فشار چند نفره توانایی روش‌های ویژه بیماران را در خود جای می‌دهند مثلاً کلیه مراقبت‌های ویژه استاندارد از قبیل، ساکشن Endotracheal Suctioning، بررسی کردن وضعیت قلبی خود Hemodynamic Monitoring اندازه‌گیری گازهای خونی مثل CPR که همگی در اتاقک‌های چند نفره قابل اجرا هستند. این اتاقک‌ها می‌توانند یک ICU یا ICO هم ارتقاء یابند که البته باعث پیچیده شدن کار اپراتور دستگاه گردد.
- تنفس حیاتی در احیاء بیمارانی که دچار بی‌نظمی قلبی Cardiac Dysrhythmias که باعث ایست قلبی Cardia Arrest می‌شوند.
- امروزه بطور فزاینده‌ای بیماران خطرناک Critical و بی‌ثبات Unstable در حال درمان با این نوع اتاقک‌های هایپرباریک هستند.

جراحی‌های کوچک Minor Surgery به طور معمول در اتاقک‌های چند نفره انجام می‌شوند ولی جراحی‌های بزرگ Major surgery مثل جراحی قلب احتیاج به طراحی اتاقک‌های خاص دارند . تعداد زیادی از این اتاقک‌های فوق پیشرفته در آمریکا و تعدادی در ژاپن وجود دارند. در شکل 7-7a یکی از این اتاقک‌های چند نفره در دانشگاه تاگویای ژاپن نمایش داده شده است.

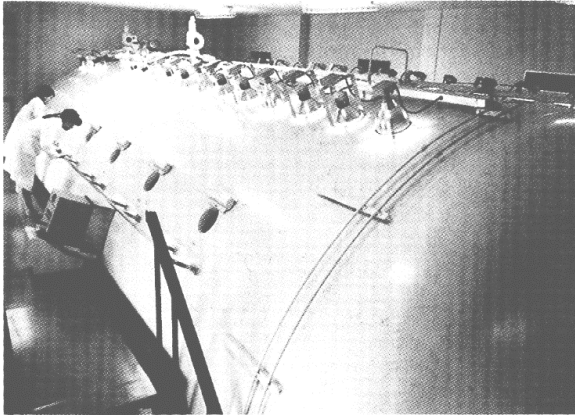


Figure 7.7a

اتاقک‌های فشار چند نفره متحرک Mobile Multi Place Hyperbaric Chambers

اولین اتاقک هایپرباریک چند نفره در این شهر ناگویا Nagoya به صورت یک اتوبوس طراحی شده ولی اکنون دیگر استفاده نمی شود . انواع دیگری از اتاقک‌های چند نفره تا یک متحرک در سراسر جهان مورد استفاده اند-

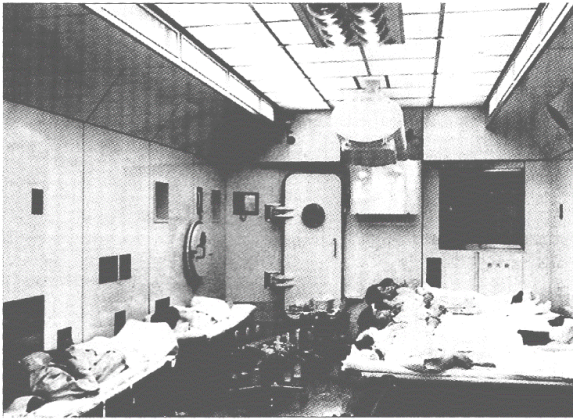


Figure 7.7b

اتاقک‌های هایپرباریک مدل ۴۰۰۰ ساخت کارخانه Oxheal که سه قسمت ۳-Lock دارد و با ظرفیت ۱۸ نفر و فشار ۶ ATA اتمسفر روی یک تریلی قابل حمل است. این اتاقک هم اکنون به طور ثابت به یک بیمارستان هرمن در تگزاس متصل شده است که به صورت دائم در سال ۱۹۷۰ کار می‌کند.

یک کپسول مدل ۴۰۰۰ ساخت شرکت Oxyheal که دو قسمت ۲-Lock است توانایی هم‌زمان



Figure 7.8

۱۲ مریض را دارد و حداکثر فشار آن ۶ ATA اتمسفر است و در شکل ۸-۷ نشان داده شده است. این کپسول در کنار بیمارستان لوزان در **؟؟؟ آمریکا** نصب و در حال کار است. این اولین بیمارستان آمریکایی است که به تجهیزات اتاق عمل در اتاقک‌های هایپرباریک مجهز گردیده و از سال ۱۹۰۰ تحت بهره برداری است.

The Advantages Of Mobile Chamber

مزایای اتاقک‌های متحرک

۱. این اتاقک‌های هایپرباریک متحرک در هر جایی که مورد نیاز باشند حتی در پارکینگ بیمارستان‌ها قابل استفاده هستند.
 ۲. این وسیله راحت و ایمن است.
برای مصارف بالینی و تحقیقاتی است.
- برای طب نظامی مناسب است و در شرایط جنگی می‌تواند به بیمارستان مرکزی متصل گردد و به وسیله هوایی یا دریایی قابل انتقال است.

Special Uses

مصارف خاص

اتاقک‌های فشار متحرک استفاده‌های مخصوصی دارند:

۱. تحقیقات در زمینه طب فیزیکی Physical Therapy و فیزیولوژیکی ورزش Sports Physiology به وسیله استفاده از یک دونه درجا روی تردمیل که در داخل اتاقک قرار داده‌اند و تمام وسایل مورد نیاز بررسی و تحقیقات در هنگام ورزش را در آن تعبیه کرده‌اند.
۲. درمان بیماران با نقص سیستم عروقی مغزی Cerebrovascular، بیماران میوکارد قلبی Myocardial Ischemia و بیماران با نقص عروق محیطی Peripheral Vascular Insufficiency
۳. تمرین مغزی Brain Jogging و ممارست ذهنی Mental Exercise و آزمون‌های روانشناسی Psychological Testing را در شرایط HBO انجام می‌دهند و گروهی از محققین در این زمینه فعالیت می‌کنند.

درمان‌های اورژانس در طول حمل و نقل بیمار تا رسیدن به یک مرکز مجهز از مزایا ویژه اتاقک‌های متحرک است.

استفاده از اتاقک‌های فشار برای طب غواصی **Hyperbaric Chamber For Diving Medicine**

از اتاقکهای فشار برای آزمایش و آموزش غواصی صنعتی در عمق‌های بیش از ۴۰ متر و انواع غواصی‌های اشیاع استفاده می‌شود. البته از آن در درمان بیماران غواص و بیماری‌های تقلیل فشار هم استفاده می‌شود. یک نمونه از این مجموعه‌ها در شکل ۷-۹ نمایش داده شده است.

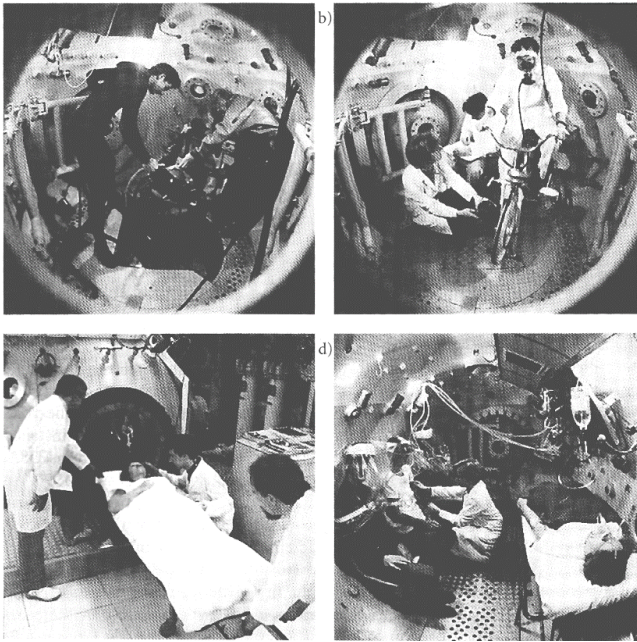


Figure 7.9a-e
Combined treatment and diver hyperbaric chamber at the Uni Hospital, Zurich, Switzerland (a) testing; (b) exercise testing; (c) a being transferred into the chaml special device; (d) patients being inside the chamber – note the tents used by the patients; (e, ne overall view. This chamber can for simulating dives to depths of and high altitude simulation 10,000 m (Photos courtesy of Schenk, Head of Operations, baric Laboratory, University I Zurich).

اتاقک‌های فشار در انواع کوچک برای آزمایشات حیوانی شروع به ساخته شدن شدند. انواع اتاقک‌های هایپرباریک متحرک برای نوزادان پستانداران در شکل ۱۰-۷ نشان داده شده است.

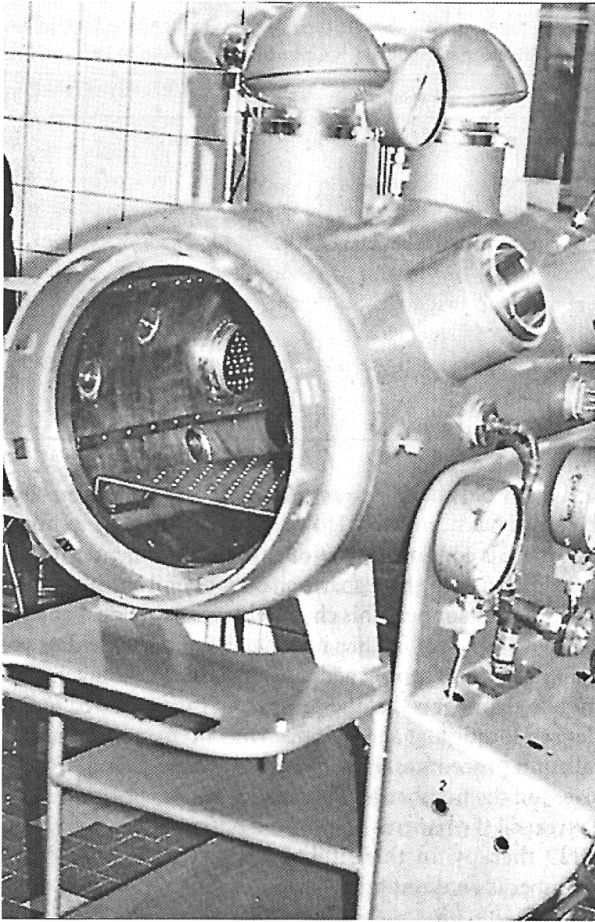


Figure 7.10

در شکل ۷-۱۱ یک کابین فشار ساخت کارخانه Oxycare مدل 300 که از نوع کلاس C اتافک‌های تحت فشار است و می‌تواند فشار گازها و رطوبت Homidity را کنترل کند نشان داده شده است. این دستگاه برای مطالعات سلولی و القاء پیوندهای اتولوگ سلولهای پایه Autologous Stem Cell Replication مورد استفاده قرار می‌گیرد.



Figure 7.11

Selection Of a Hyperbaric Chamber

انتخاب اتاق فشار

در جدول ۲-۷ طبقه بندی اتاقک‌های هایپر باریک براساس فشار با اندازه و موارد مصرفی نشان داده شده است.

Type	Pressure	Type	Typical indications
I	Up to 1.5 ATA	Mobile and multiplace	Ischemic disorders; cerebral, cardiac, peripheral-vascular; adjuvant to physical therapy and sports medicine; adjuvant to survival of skin flaps; acoustic trauma
II	Up to 2.5 ATA Up to 3.0 ATA	Monoplace and portable	Gas gangrene Burns Crush injuries of extremities Emergency treatment of decompression sickness
III	Up to 6.0 ATA	Multiplace	Air embolism Decompression sickness

بیش از ۹۰٪ مورد استفاده و Indications به وسیله اتاقک‌های تایپ I و II انجام می‌شوند. فشار بیش از ۲.۵ ATA اتمسفر حداکثر فشار مورد نیاز در بیشتر موارد نیست و این فشار به عنوان نقطه شروع اجباری در بسیاری از موارد کاربرد دارد. و حداقل فشار مورد تایید TUV در آلمان است. این تقسیم بندی مصرف کنندگان را مجبور به انتخاب اتاقک هایپرباریک در محدود و کلاس خاص می کند. اینکه تمام کپسول‌ها با تحمل 6 ATA ساخته شوند هیچ توجیه اقتصادی ندارد زیرا این فشار فقط در دو مورد بالینی استفاده دارد. اول بیماری تقلیل فشار برای غواصان عمیق و دوم آمبولی هوا Air Emboli که نیاز به این اندازه فشار را دارد ، زیرا برای هر دو این بیماری‌ها احتمالاً فشار بیش از 6 ATA مورد نیاز نیست . از آنجایی که اتاقک‌های هایپرباریک از مصالح مقاومی ساخته شده‌اند گاهی انواع قدیمی آنها به راحتی و با کیفیت بالا کار می‌کنند برخلاف دیگر انواع تکنولوژی و ابزار مورد نیاز که به طور مداوم در حال تغییر و بروز شدن هستند.

آخرین تکنولوژی اتاقک‌های فشار انواع اتاقک‌های هایپرباریک چند قطعه و متحرک هستند
Mobile Multiple Chamber

این اتاقک‌های متحرک این ایده را بوجود آورده‌اند که از آنها در تحقیقات طب ورزشی Sport Medicine و توانبخشی Rehabilitation استفاده کنیم.

یکی از مزایای مهم اتاقک‌های هایپرباریک متحرک، توانایی حضور آنها در مدت زمان کوتاه در هر مکانی که لازم باشد است و هیچ نیازی به نصب و راه اندازی Installation ندارند. قیمت اتاقک‌های فشار در حال حاضر زیاد است و تعداد آنها کم و توانایی درمان کلیه بیمارانی که نیاز به درمان با این اتاقک‌ها را دارند در حال حاضر وجود ندارد و تمام موارد مورد نیاز درمانی HBOT تحت پوشش نیستند و در این شرایط اتاقک‌های متحرک یک وسیله بسیار با ارزش می باشند.

Technique of Hyperbaric Oxygen

تکنیک اکسیژن دهی با فشار بالا

جداول زمان بندی فشار گذاری برای بیماری‌های مختلف متفاوت است و در بخش دوم این کتاب که به مباحث بالینی (HBOT) می‌پردازد گفته شده است. ولی کلیات این جداول به شکل ذیل هستند.

تکنسین‌های هایپرباریک براساس دستور پزشکی هایپرباریک مقدار فشار، مدت، و تواتر Frequency را اجرا می کنند.

اکثر درمان‌هایی که توسط کپسول هایپرباریک انجام میشوند در فشار بین ۱/۵ الی ۲ ATA اتمسفر هستند و معمولا طول مدت هر دوره درمانی در هر جلسه ۴۵ دقیقه است.

اگر از فشار 1.5 ATA اتمسفر استفاده کنیم باید در مدت ۱۰ دقیقه فشار را به این حد برسانیم و در مدت ۱۵ دقیقه این فشار را برداریم که به این کار دوره برداشت فشار Period Decompression می‌گویند که با این روش بیشینه اکسیژن اشباع در هر جلسه ۳۰ دقیقه است.

اصولاً مسمومیت‌های با اکسیژن، در زمانی که فشار جزئی اکسیژن به $1/6$ الی $1/8$ ATA برسد یا بیش از ۳۰ دقیقه در معرض قرارگیری Exposure با اکسیژن 100% طول بکشد می‌تواند تشنج رخ دهد.

در موارد عفونی و زخم‌های مشکل ساز، طول مدت درمان هر جلسه دو برابر شده و به ۹۰ دقیقه می‌رسد. در بیشتر بیماری‌های مزمن تعداد جلسات درمان، ۷ روز هفته (حتی تعطیلات) می‌باشد. به عنوان مثال بیشتر بیماران سکته مغزی به صورت گروهی در جلسات متعدد در اتاقک‌های هایپرباریک چند نفره به همراه یک متخصص طب فیزیکی Physiotherapist درمان می‌شوند و در صورتی که در حال تحقیقات هم باشند به پزشک نورولوژیست یا جراح مغز و اعصاب نیاز است.

تکنسین هایپرباریک تمام اطلاعات مربوط به درمان را در کامپیوتر ضبط و وارد می‌کند ضمن اینکه تمام مراحل فشارگذاری و فشاربرداری با ملایمت Smooth انجام گیرد و اگر در هر مرحله‌ای از درمان بیماران دچار گوش درد غیرقابل اصلاح گردد، جلسه متوقف شده و فشار برداشته نمی‌شود در مواردی که مشکلات شدیدتر و بیشتری به عنوان عوارض هایپرباریک رخ دهد مریض را به اتاقک با فشار طبیعی یا اتاق پیشین Anteroom انتقال می‌دهند. درب بین دو کابین هایپرباریک و اتاق پیشین Anteroom قفل است و ارتباط مستقیم فشار بین این دو محفظه وجود ندارد.

در اتاقک‌های یک نفره، اکسیژن را به درون اتاقک تزریق می‌کنیم و فشار را همزمان افزایش می‌دهیم ولی در اتاقک‌های چند نفره، اکسیژن را از طریق ماسک یا چادرینه Tent به بیمار می‌دهیم ولی بعد از اینکه فشار اتاقک چندنفره به میزان دلخواه برسد افزایش فشار را با ملایمت ادامه می‌دهیم.

فشار جزئی اکسیژن Oxygen Partial Pressure بطور معمول اندازه گیری نمی‌شود مگر در موارد تحقیقاتی و شرایط خاص برای مقاصد خاص تحقیقاتی. زیرا در فشار $1/5$ ATA اتمسفر فشار PaO 2 به حدود 1000 mmHg میلیمتر جیوه می‌رسد.

تجهیزات فرعی

Ancillary Equipment

انواع تجهیزات فرعی در جدول ۳-۷ نوشته شده است. که شامل موارد ذیل می‌باشد:

Table 7.3
Ancillary Equipment for the Hyperbaric Chamber

1. Oxygen masks and hoods
2. Respirators and ventilators
3. Miscellaneous equipment for treatment
 - Cardiopulmonary resuscitation apparatus
 - Endotracheal tubes
 - Suction equipment
 - Intravenous infusions
4. Equipment for diagnosis
 - Basic medical examination tray
 - Transcutaneous oxygen measurement
 - EEG
 - ECG
 - Blood gases and hemorrheology equipment
 - Intracranial pressure and CSF oxygen tension monitors
 - Blood pressure measurement cuff
5. Neurological assessment equipment
 - Ophthalmoscope
 - Dynamometer to measure spasticity
6. Equipment for exercise: treadmill
7. Therapeutic equipment such as cervical traction for cervical spine injuries

Oxygen Mask & Hoods

ماسک و هود اکسیژن

ماسک اکسیژن فقط در اتاقک‌های چندنفره هایپرباریک استفاده دارد ماسک باید به صورت محکم و اندازه صورت بیمار انتخاب شود تا شانس نشت Leakage اکسیژن وجود نداشته باشد. ماسک خلبان‌های جنگی بین ۹۶/۹ - ۹۹٪ اکسیژن خالص را به خلبان می‌رساند و می‌تواند فشار جزئی اکسیژن Pa O₂ را به ۱۶۴۰ mmHg میلیمتر جیوه برساند البته در فشار ۲/۴ ATA اتمسفر که نوع شایع ماسک هوایی در شکل ۱۲-۷ نشان داده شده است.



Figure 7.12

این ماسک از لاستیک یا سیلیکون ساخته میشود و به راحتی قابل شست و شو و تمیز کردن است. قسمت سر بند Head Band ماسک به راحتی قابل تنظیم و بستن است.

کلاهخود اکسیژنی Oxygen Hoods و پرده یا چادر اکسیژنی Oxygen Tents به عنوان جایگزین ماسک اکسیژن در افرادی که دارای ضایعات سر و گردن هستند بکار می‌روند.

Respirators & Ventilators دستگاه تنفس مصنوعی و دستگاه تهویه مصنوعی

انواع دستگاه‌های ونتیلاتور در شرایط HBOT با فشار 6 ATA اتمسفر قابل استفاده هستند. در شکل 7.13 نوعی دستگاه تنفس مصنوعی بنام مدل سچ ریست (Sechrist model 500) (A) دیده می‌شود که به یک اتاقک یک نفره متصل شده است.

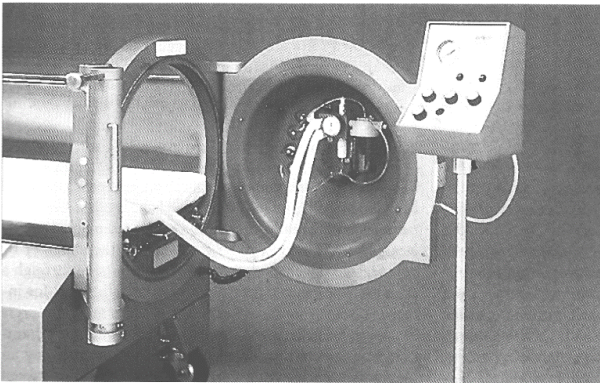


Figure 7.13
Sechrist Model 500A Mechanical Ventilator for the Sechrist monoplace hyperbaric system. (Photo courtesy of Sechrist Industries Inc, Anaheim, California.)

Table 7.4
Specifications of the Hyperbaric Ventilator, Model 500A (Sechrist)

Principals of function	Automatic adjustment of delivery pressure of ventilation to variations of pressure in the hyperbaric chamber
Regulating system	2 components: breathing circuit in the chamber and control module outside the chamber
Respiratory frequency	8–30 breaths/min
Respiratory minute vol.	0–15 l/min at 3 ATA
Tidal volume range	0–1.5 l at 3 ATA
Breathing time relation- ship (inspiration: expiration)	1:5–3.5:1
Respiratory flow range	0–100 l/min at ambient. 0–60 l/min at 3 ATA
Inspiratory pressure limit	20–80 cm water

این مدل مخصوص افرادی است که دچار نقص تنفسی Failure Respiratory شده‌اند. موارد استفاده خاص آن در جدول 7.4 با جزئیات دستگاه آمده است.

دستگاه دیگر Pennon Oxford که یک ونتیلاتور است، با کنترل حجم Volume Set و زمان دوره‌ای Time Cycle مصارف زیادی در تحقیقات دارد.

در اتاقک هایپرباریک که مجهز به تجهیزات ICU (Intensive Care Unit) است از دستگاه ونتیلاتور سیمن سرو Siemen Serve استفاده می شود.

دستگاه موناگان ۲۲۵ (Monaghan 225) نوعی ونتیلاتور است که با هوا (نه اکسیژن) کار می کند. در فشار یک اتمسفر این دستگاه ۴۰-۳۵ لیتر / دقیقه هوا را در ریه بیمار تهویه می کند و در عمل حداقل ۱۸ لیتر در دقیقه توانایی دارد. و برای درمان بسیاری از بیماریهای ریوی مناسب است.

موارد ایمنی مورد نیاز در یک دستگاه ونتیلاتور که در شرایط فشار محیطی بالا Hyper pressure Environment کار می کند عبارتند از:

هیچ نوع وسیله الکتریکی نباید در اتاقک فشار نباید وجود داشته باشد.

حجم تنفسی و تعداد تنفس و سرعت تنفس باید ثابت بماند و این مسئله مستقل از فشار محیطی است.

در این روش مقدار کمی اکسیژن به میزان اندک به کپسول تزریق می گردد که از سرایت هوای داخل به خارج جلوگیری می کند تداوم جریان تنفسی اجباری و منقطع Intermittent Mandatory Ventilation ایجاد میشود.

فشار بالاتر از حد مجاز درجه تقاضا Demand Value باعث به حداقل رساندن انرژی صرف شده برای تنفس می گردد که این موضوع باعث ایجاد یک فشار جریان هوای ثابت Constant Airway Pressure برای بیمار می گردد...

Diagnosis Equipment

تجهیزات وسایل تشخیصی

وسایل و تجهیزات معاینات معمولی که مورد نیاز یک پزشک است را در اتاقک فشار تعبیه کرده اند مثلاً چکش رفلکس Reflex Hammer، افتالموسکوپ و گوش پزشکی و ...

دستگاه اندازه گیری ککش اکسیژن از راه پوست (TCP O2) Transcutaneous Oxygen Tension

دستگاه TCP O2 یک وسیله غیر تهاجمی برای اندازه گیری میزان فشار یا کشش جزئی اکسیژن از طریق پدهای چسبیده به پوست می باشد. استفاده از این وسیله در اتاقک یک نفره Monoplace ممنوع است زیرا الکترودهای دستگاه خطر آتش سوزی را بسیار زیاد میکنند. تمام کپسول های یک نفره دارای اکسیژن ۱۰۰٪ در محفظه هستند و از لحاظ ایمنی استانداردهای خاصی دارند.

در آزمایشاتی که هوای معمولی را در فشار 4 ATA تمسفر روی داوطلبان انجام دادند نشان داده شد که فشار جزئی اکسیژن Pa O2 در بافت های محیطی تغییر چشمگیری می کند این آزمایش با استفاده از دستگاه TCP O2 انجام شده است.

افرادی که دارای بیماریهایی مثل انسداد عروق محیطی Peripheral Vascular Occlusion Disease هستند در بررسی های انجام شده به وسیله دستگاه TCP O2 ، نشان داده شده که فشار جزئی اکسیژن Pa O2 در بافت های محیطی به طور واضحی کم می گردد.

EEG & ECG

نوار مغز و نوار قلب

مصرف این دو دستگاه در اتاقک فشار کاملاً مجاز و ضروری است به ویژه برای افرادی که دچار سکتته های مغزی عروقی Cerebrovascular Insufficiency شده اند.

تغییرات الکتریکی در نوار قلب ECG در فشارهای نسبتاً بالا مشاهده می شود.

ضمناً از دستگاه Somatic Sensory Evoke Potential تحریک پتانسیل بدنی - حسی می توان در کپسول هایپرباریک استفاده کرد.

Blood Gas

گازهای خونی

دستگاه گازهای خونی باید بر اساس استانداردهای اتاقک فشار و شرایط HBOT تنظیم و کالیبره شوند. چندین نوع دستگاه به این منظور ساخته و در شرایط HBOT کالیبره Calibration شده‌اند، مورد استفاده هستند.

نسبت PAO₂ فشار جزئی اکسیژن آلوئولی به فشار جزئی PaO₂ پلاسمایی همیشه یک عدد ثابت است. این نسبت را با a/A Ratio نمایش می‌دهند و مستقل از نوع گازی که مریض تنفس کرده ثابت Constant می‌ماند.

در افراد داوطلب به انجام ABG در شرایط HBOT و گروه کنترل که در فشار ۱ ATA اتمسفر قرار گرفته بودند اختلاف زیادی وجود دارد.

Glucose Monitoring Device

دستگاه نشانگر گلوکز

بیماران دیابتی در شرایط HBO یک تواتر Fluctuation (تغییر مدام) را در میزان قند خون در شرایط HBO از خود نشان می‌دهند. اگر این بیماران به دلیل زخم‌های پایدار در پا مثل پای دیابتی و اختلالات خون‌رسانی اندام تحتانی و یا زخم بستر تحت HBOT قرار می‌گیرند که در اکسیژن‌رسانی به بافت‌های هیپوکسیک بسیار موثر است. بنابراین میزان قندخون افرادی که دیابت دارند و در شرایط HBO هستند به طور مداوم باید چک شود زیرا افت ناگهانی قندخون گزارش شده که می‌تواند بسیار خطرناک باشد.

دستگاه‌های اندازه‌گیری گلوکز Glucometer از روش اندازه‌گیری اکسیداز گلوکز Glucose Oxidase یا گلوکز دهیدروژناز Glucose Dehydrogenase انجام می‌دهند.

در روش گلوکز دهیدروژناز (GDH) هیچ اکسیژنی مصرف نمی‌شود ولی دقت کم آن در آزمایشات مختلف به اثبات رسیده است. این آزمایشات در سال ۱۹۹۵ بوسیله پریس و همکارانش (Price et al) انجام گرفته است. در فشار ۲/۳۶ ATA اتمسفر در روش اندازه‌گیری قند خون با روش گلوکز اکسیداز تحت تاثیر فشار اکسیژن تغییر رفتار میکند و اکسایش آنزیمی را تحت شعاع قرار می‌دهد لذا از گلوکومتر گلوکز اکسیداز نمی‌توان در شرایط HBO استفاده کرد.

Miscellaneous Medical Equipment

وسایل طبی متفرقه

تمام تجهیزات پایه احیاء قلبی تنفسی (CPR) باید در اتاقک فشار موجود باشد. از جمله لوله تراشه Endotracheal Tube و فولی Folly که باید با آب مقطر پر شود Inflation و نه با هوا. چرا که فشار HBO باعث کوچک شدن حباب فولی شده و شانس لیک از دستگاه تناسلی و فولی داخلی زیاد میشود.

کیت مخصوص تزریقات عروقی در اتاقک فشار لازم است. در اتاقک فشار یک نفره باید احتیاط زیادی در تزریق درون رگی انجام داد به دلیل اختلاف فشار داخل و خارج کپسول به هیچ وجه نباید از کلودیون Collodion استفاده شود زیرا اگر خیس Wet باشد احتمال آتش سوزی دارد. از نوار ورزشی Trade mill در داخل کپسول برای آزمایشات HBO در ورزش هم استفاده می شود.

Plural Suction Drainage System

دستگاه مکنده پرده جنب

این دستگاه به شدت تحت تاثیر فشار محیطی است و استفاده از آن در محیط HBO مجاز است به شرطی که به خطرات و نکات ایمنی مذکور زیر توجه شود.

۱. مکش Suction نباید در زمان بارگذاری اتاقک Pressurization انجام شود.
۲. گذاشت فشار Pressurization باید بسیار آهسته و به میزان 10 KPa/min کیلوپاسکال در دقیقه انجام شود.
۳. عمل مکش باید در زمان برداشت فشار Depressurization انجام شود به شرطی که مریض حداقل ۵ سی سی در دقیقه ترشح داشته باشد وگرنه احتیاجی به لوله قفسه سینه Chest Tube نیست.
۴. تناسب با HBO Hyperbaric Compabilit قبل از بکارگیری آن یک امر الزامی است.

پایش مریض در اتاقک فشار Monitoring of patient in the Hyperbaric Chamber

مریض و همراه او Attendant باید از نظر عوامل زیر مدام در حال پایش Monitoring قرار گیرند.
۱. بینایی Visual: در اتاقک یک نفره باید مریض از بیرون دیده شود و در اتاقک‌های چندنفره از طریق دوربین داخل کابین نظارت انجام می شود.

۲. شنوایی Auditory: در اتاقک‌های یک و چندنفره وسایل ارتباطی دوطرفه‌ای باید مهیا باشد.
۳. استفاده از تجهیزات تشخیصی Diagnostic و دیدن مریض Monitoring و کنترل علائم حیاتی وجود داشته باشد. سطح پایش بیمار به نوع بیماری او و شدت ضایعه وابسته است.
- در بیماران حیاتی Critical پایش معمول Routine Monitoring که در ICU وجود دارد باید در اتاقک فشار وجود داشته باشد و شاید قیمت بسیار بالای بعضی از اتاقک‌ها به دلیل تجهیزات جانبی آن است.
- این امکانات در اتاقک تک نفره Drager HTK 1200 وجود دارد. با رسیدگی و نگهداری اتاقک‌ها می‌توانند سال‌ها سرویس‌دهی کنند.
- بعضی از مشکلات بیماران صدمه مغزی Head Injury در اتاقک‌های یک نفره برای کتترهای درون سرخرگی بیمار وجود دارد که عبارتند از:
۱. فشار سرخرگی Arterial Blood Pressure مونیتور میشود که معمولاً با کتترهای درون سرخرگی Indwelling Radial Artery Catheter از سرخرگ رادیال استفاده میشود باید از باز بودن مسیر اطمینان حاصل کرد و از هپارین برای جلوگیری از انعقاد استفاده شود.
 ۲. اندازه‌گیری CVP (Central Venous Pressure) باید به یک دستگاه ترانس‌دوسر (مبدل) Transducer وصل گردد و سپس پایش شود.
 ۳. کاتتر سوان گز Swan-Gas Catheter وسیله‌ای برای اندازه‌گیری فشار شریان ریوی Pulmonary Arterial Pressure می‌تواند در مدت HBO پایش گردد که با دقت بسیار بالایی این فشار را به صورت منحنی نشان می‌دهد.
 ۴. برای پایش کردن EEG الکتروانسفالوگرافی باید الکترودها را قبل از ورود به اتاقک فشار نصب کرد ضمناً باید کاملاً خشک باشند زیرا رطوبت باعث آتش گرفتن اتاقک میگردد. الکترودهایی که خوب نصب شوند تا ۵ روز کار می‌کنند.
 ۵. حباب Caff لوله‌های ETT (Endotracheal Tube) باید به وسیله نرمال سالین N/S استریل پر شوند زیرا فشار HBO می‌تواند سایز کاف را تغییر داده و ETT خارج گردد. بعد از HBO می‌توان کاف ETT را از هوا پر کرد.

۶. آنالیز گازهای خونی ABG می‌تواند در طول HBO آزمایش گردد ولی TOM (Transcutaneous Oxygen Monitoring) در اتاقک‌های یک نفره به دلیل احتمال جرقه و انفجار غیرقابل استفاده است.

روش‌های تشخیصی خاص متفرقه (Miscellaneous Special Diagnostic Procedure)

مانیتور فشار داخل جمجمه یا مغزی Intracranial Pressure برای بیمارانی که صدمه مغزی Head Injury یا ادم مغزی Cerebral Edema دارند از اهمیت خاصی برخوردار است. سیستم زیر لایه عنکبوتیه Subarachnoid brain System متصل و مرتبط با فشارخون شریانی است که به مبدل‌های الکترونیکی Transducer متصل هستند و فشارخون شریانی مغز را می‌سنجند، می‌توانند در اتاقک HBO استفاده شوند که از دیواره مغزی و جمجمه قبل دسترسی و مانیتور کردن می‌باشد این دستگاه به نام Richmond bolt system شناخته می‌شود. جریان الکتریکی که از سلول‌های مغزی می‌گذرند قابل گزارش دهی Recordable در شرایط HBO هستند و بدون خطر آتش سوزی قابل استفاده در تحقیقات خاص می‌باشند. به شرطی که از میکروالکترودهای شیشه‌ای استفاده گردد.

مایع مغزی نخاعی CSF (Cerebral Spinal fluid) بازتاب اکسیژن‌رسانی مغزی است. مشکل اصلی این است که هیچ روش قانع کننده‌ای (Satisfactory) برای اندازه گیری CSF در اتاقک فشار وجود ندارد و تقریباً در شرایط HBO ما از میزان جریان خونی مغزی بی اطلاع هستیم.

Safety in Hyperbaric Chamber

ایمنی در اتاقک فشار

Operational Safety

ایمنی اپراتور (کارپرداز)

ایمنی اتاقک‌های فشار بخصوص اتاقک تک نفره از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از دست رفتن یک پارچگی ساختمانی و ساختاری در کپسول‌ها، می‌تواند باعث برداشت فشار سریع Rapid Decompression و حتی (DCS) سندرم تقلیل فشار گردد.

اتاقک‌های فشار براساس استانداردهایی ساخته می‌شوند که بتوانند سال‌ها بدون هیچ نقصی کار کنند. این استانداردها را از مرکز ANSI در آمریکا استخراج کرده‌اند.

پنجره‌های اتاق فشار را اغلب با پلاستیک اکریلیک Acrylic Plastic می‌سازند و دلیل آن این است که به هر شکل و فرمی در می‌آید و کاملاً منعطف Flexible است و نباید با ترکیبات الکل دار شستشو شود زیرا الکل یک حلال بسیار قوی برایش محسوب می‌گردد.

اگر چه جنس اکریلیک Acrylic Plastic به حرارت و اشعه‌های اتمی و هسته‌ای Nuclear Radiation بسیار حساس و غیرمقاوم است.

کنترل و تمیز نگه داشتن اتاقک‌های فشار باید به کمک نیروهای متخصص اورژانس انجام شود.

Atmospheric Control

کنترل اتمسفر اتاقک فشار

این کار، برمی‌گردد به محتوای هوای اتمسفر کابین Atmospheric Gas که به چه منظور استفاده شود که افزایش فشار کپسول را با یکی از سه روش زیر انجام می‌دهند:

تحت فشار قرار دادن گاز به وسیله یک کمپرسور Compressor

استفاده از دستگاه Cryogenic Supply System با تنظیم بخار آب کنترل شده.

تحت فشار قرار دادن Pressurize اتاقک به وسیله کمپرسورهای خاص تا به فشار مناسب برسد.

اتاقک‌های فشار چندنفره به وسیله هوا، فشارگذاری Pressurized می‌گردند که با توجه به منبع Source آنها که تمیز و خالص باشد (بدون آلاینده‌های هیدروکربوری و شیمیایی و...) این هوا هیچ گونه آلاینده Pollutant ندارد ولی در سر راه تولید کننده فشار ساز هوا فیلترهایی دارد که می‌توانند هوا را کاملاً تصفیه کنند.

Table 7.5
Recommended Maximum Values for Contaminants in Hyperbaric Air (from Hamilton and Sheffield 1977, by permission)

- Oxygen: 20%–22% by volume
- Carbon dioxide: 1000 ppm by volume (0.10%)
- Carbon monoxide: 20 ppm by volume (0.002%)
- Gaseous hydrocarbons (methane, ethane, etc.): 25 ppm by volume (0.0025%)
- Halogenated solvents: 0.2 ppm by volume (0.00002%)
- Oil and particulate matter: 0.005 mg/l, weight/volume
- Total water: 0.3 mg/l, weight/volume
- Odor: None objectionable or unusual

در جدول ۷.۵ تمام اجزاء هوای داخل اتاقک را معین می‌کند و مقدار استاندارد را معین می‌کند.

Mask & Breathing Control System

سیستم کنترل تنفس و ماسک

در اتاقک‌های چند نفره از سیستم کنترل تنفس بنام Bibs (Built in breathing System) استفاده می‌شود. این دستگاه هوای تمیز تولید می‌کند که هیچ آلاینده و میکروبی Contamination در آن نیست.

ماسک‌هایی که برای تغذیه اکسیژن ۱۰۰٪ روی سر مریض قرار می‌گیرد به گونه‌ای است که هوای بازدم را از اتمسفر هوای اتاقک جدا کرده و ترکیب مخلوط هوای اتاقک هیچ تغییری نمی‌کند.

ماسک اکسیژن باید به خوبی اندازه Fixed و مناسب صورت بیمار باشد. چرا که هر نوع نشستی از ماسک‌ها نه تنها باعث کاهش اثر اکسیژن درمانی می‌شود بلکه باعث افزایش غلظت اکسیژن کپسول به مرز خطر ناک ۲۳٪ حجمی که به معنای وجود اکسیژن با غلظت ۲۳ درصد از کل حجم کپسول است می‌رسد که این مقدار بر خلاف مقررات ایمنی کپسول‌های هایپرباریک است.

سیستم چادر تنفسی بر روی سر بیمار مانع از مخلوط شدن هوای ۱۰٪ اکسیژن با اتمسفر کپسول می‌گردد.

هوای بازدمی مستقیماً خارج می‌شود و حداکثر ۲۳٪ تغییر در اتمسفر کپسول فشار قابل قبول است. هوای بازدمی از طریق دستگاه Overboard Dumping system از کپسول خارج می‌شود در سیستم کلاه تنفسی Hoods یک توجه خاص برای بازجذب CO_2 و رطوبت هوا صورت می‌گیرد که از اجزاء مهم سیستم HBO است ضمناً رطوبت Humidity به دقت اندازه گیری می‌شود. هوای (اکسیژن) لازم برای بکارگیری Hood است یا کلاه تنفسی که باید مقدار مشخص رطوبت داشته باشد تا سیستم ریه‌ها از گاز O_2 ۱۰٪ اکسیژن صدمه نبینند و تنظیم رطوبت بسیار مهم است.

Fire Safety in the Chamber

ایمنی آتش در اتاقک‌ها

تا قبل از سال ۱۹۷۰ هیچ نوع استاندارد ایمنی خاصی برای اتاقکهای فشار نوشته نشده بود و مسئله آتش سوزی تا حد زیادی به وسیله عقل سلیم Common Sense اپراتورها تنظیم می‌گردید. از آنجایی که استفاده از کپسول‌های هایپرباریک (HBO) در سراسر جهان رواج یافته و سوانح متعددی رخ داد که مجبور به بازبینی علت و تدوین مقررات خاص برای کار کردن با کپسول‌های اکسیژن درمانی شد.

اولین آتش سوزی در داخل اتاقک در سال ۱۹۹۳ میلادی در اتاقک کانینگهام در امریکا رخ داد. از آن سال تا به حال فقط ۲۵ مورد آتش سوزی در اتاقک‌های هایپرباریک (HBO) گزارش شده است. که نفر تا به حال باعث کشته شدن ۶۰ نفر شده است. تمام آتش سوزیهایی که منجر به مرگ شده‌اند در محیط‌هایی که با اکسیژن O_2 غنی شده بودند و با فشار بالا عمل می‌کردند دیده شده است. اولین آتش سوزی در اتاقک تک نفره Monoplace در سال ۱۹۶۷ در ژاپن رخ داد.

توبین Tobin در سال ۱۹۷۸ گزارش کرد که در یک اتاقک یک نفره انفجاری رخ داد که برای بیماری که تحت اشعه درمانی با کبالت Cobalt بود رخ داد و باعث پارگی ششها Lung Rupture به علت انفجار شد.

علت انفجار به دلیل الکتريسته ساکن Statistic Electricity و جرقه حاصل از آن علت این سوانح گزارش شدند که در کپسول‌های یک نفره تا بحال ۵ نفر راکشته است.

در بعضی مناطق استفاده از چرخ دستی Tray پلاستیکی در کپسول فشار به دلیل تولید الکتريسته ساکن Statistic Electricity را عامل آتش سوزی دانستند و به همین دلیل تمام چرخ دستی‌های مورد استفاده برای اتاقک‌های فشار از جنس استین لس استیل Stainless Steel ساخته شدند.

اصولاً خطر آتش سوزی در اتاقک‌های حاوی هوا وجود ندارد و اتاقک‌های یک نفره که از ۱۰۰٪ اکسیژن پر شده‌اند شانس آتش سوزی یا انفجار را دارند. لذا اندازه‌گیری‌های خاص برای جلوگیری از حادثه باید رعایت شوند که این دستور العمل‌ها مشتملند بر:

۱. هیچ وسیله الکتریکی در اتاقک نباید باشد. تمام لیدهای Leads دستگاه‌های تشخیصی باید به وسایل خارج از اتاقک متصل باشند تمام وسایل اشتعال زا و جرقه زن باید در خارج از کپسول باشد.

۲. هیچ نوع نایلون Nylon یا لباس نایلونی به تن بیمار نباید باشد.

۳. بیمار نباید هیچ گونه ماده‌ای که از نفت یا روغن منشاء می‌گیرد، همراه داشته باشد مانند وسایل آرایشی تصعید شونده مثل کرم پوست، روغن بدن، اسپری مو را قبل از رفتن به اتاقک هایپر باریک نباید استفاده کرد و یا باید کاملاً پاک شوند.

۴. در صورت آتش سوزی باید اتاقک فشار را به سرعت، تقلیل فشار داد Decompression و بلافاصله درب اتاقک را باز کرد. احتیاط‌های لازم باید تا زمانی که لباس یا ملافه بیمار هنوز آغشته به اکسیژن است و بیمار کاملاً از اتاقک دور نشده، ادامه یابد.

در مورد لتافک‌های چند نفره، بلید کلیه استلنداردهای NFPA-56D و NFAM-53M رعایت گردد این استانداردها شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. تمام تجهیزات باید از جنسی انتخاب شوند که تولید جرقه نکنند.

۲. تمام سیم‌ها باید براساس استاندارد NFPA-70 تهیه گردند.

۳. تمام تجهیزات در فضای اتاقک باید ضدآب Waterproof و ضد انفجار Explosion Proof باشند.

برای اتاقک‌های چندنفره موارد احتیاطی زیر را باید رعایت کنیم:

۱. هیچ ماده تصعید شونده Volatile یا مایعات آتش زا نباید در درون کپسول باشد.
۲. روان کننده‌هایی Lubricants که برای تجهیزات اتاقک استفاده می‌شوند باید به وسیله پلی‌مرهای هیدروکربنی‌هالوژنه Halogenated (گاز کلر) محافظت شوند. هیچ نوع روان کننده منفجرشونده‌ای نباید استفاده کرد.
۳. به جای موتورهای الکتریکی باید با موتورهایی که از هوا استفاده می‌کنند یا با موتورهای هیدرولیک کار کرد.
۴. غلظت اکسیژن در هوای کپسول باید کمتر از ۲۳٪ باشد. اگر غلظت اکسیژن اتمسفر اتاقک چندنفره به ۲۵٪ برسد باید HBO را خاتمه دهیم تا منشاء نشت Leak اکسیژن پیدا شود .
۵. سیستم‌های تشخیص آتش Fire Detecting System، به صورت دستی یا اتوماتیک، باید نصب گردند.
۶. یک سیستم کنترل و خاموش سازی حریق باید در درون کپسول مهیا باشد. سیستم اطفای حریق آب با فشار زیاد باید از طریق سیستم اطفای حریق در سقف اتاقک فشار مستقر باشد. NFPA99 استاندارد است که مربوط به سیستم اطفای حریق در اتاقک‌های کلاس A تعریف شده و لازم است این نکات رعایت گردند. که مهم ترین آنها به شرح ذیل هستند:
 ۱. باید سیستم اطفای حریق در داخل یا خارج کپسول موجود باشد.
 ۲. ماده خاموش کننده باید آب باشد.
 ۳. تمام پرسنل مربوط به اتاقک فشار باید بتوانند با تجهیزات اطفای حریق کار کنند و آموزش دیده باشند.
 ۴. این استاندارد فقط مربوط به اتاقک‌های یک نفره نیست

استفاده از اتاقک فشار در اتاق بیمار

Use of Portable Hyperbaric Chambers in Patient's Rooms

استفاده از درمان HBO به صورت متحرک بر بالین بیمار و در اتاقش در بیمارستان امکان پذیر است به شرطی که تمام نکات ایمنی مربوط به محیط‌های با اکسیژن زیاد Oxygen Rich Environment و از نظر نظارت بر کار مهیا شده باشد که عبارتند از:

۱. تمام مواد منفجره و مشتعل شونده باید از اتاق خارج گردند.
۲. در محیط‌هایی که غلظت اکسیژن بیشتر از ۲۳٪ است وسایل الکتریکی باید در فاصله حداقل ۵ متر مستقر باشند.
۳. تمام پرسنلی که ممکن است لباس‌هایشان تولید الکتریسته ساکن Static Discharge تولید کنند باید از HBO متحرک فاصله داشته باشند.

مباحث قانونی در ارتباط با طب هایپرباریک

Regulatory Issues Relevant to Hyperbaric Medicine

در هیچ کشوری هنوز مقررات قاطع و روشنی در رابطه با قوانین طب هایپرباریک وجود ندارد. در امریکا افسر ارشد آتش‌نشانی مسئول برقراری و رعایت قوانین این کار است (Fire Marshal's Officer) که قوانین ایمنی را براساس استانداردهای FDA (Food and Drug Administration) رعایت می‌کند.

موسسه FDA اکسیژن O₂ را یک دارو اعلام کرده است به همین دلیل روش استفاده Administrator و وسایل تجهیزات Devices این کار باید تحت نظارت دائم و براساس استانداردهای FDA باشد. بدیهی است کلیه مراکز فعال در زمینه HBO درمانی در سراسر امریکا از استانداردهای FDA تبعیت می‌کنند.

از سال ۱۹۷۶ کلیه کپسول‌های HBO باید دارای مجوز بهره‌برداری از FDA باشند.

کلیه تجهیزات پزشکی از طرف FDA به سه گروه در سطوح مختلف تقسیم بندی می‌شوند شامل:

۱. کلاس یک (Class I):

یک کنترل عمومی است. این گروه جزو وسایلی هستند بسیار ساده که مورد توجه خاص قرار نمی‌گیرند مثل چوب آبسلانگ Tongue Depressor. این گروه از ابزار پزشکی تحت قوانین 510K از ایمنی تجهیزات پزشکی قرار می‌گیرند. با داشتن مجوز 510K این ابزار قابل عرضه به فروشگاه‌های تجهیزات پزشکی هستند.

۲. کلاس دو (Class II):

این قسمت شامل کنترل تخصصی Special Control می‌شود. اینها وسایل پیچیده‌ای هستند که عملکرد آنها مورد توجه است. تا حدی در طبقه عمومی General Level قرار می‌گیرند. تجهیزات کلاس دو را باید با نظارت عمومی General Control پشتیبانی کرد و استانداردهای خودشان را رعایت نمود ضمناً قبل از ورود به بازار باید استاندارد 510K را از FDA اخذ نمایند.

۳. کلاس سه (Class III):

تائید قبل از فروش Premarket Approval

این گروه دستگاه‌های عمومی هستند که به طور مستقیم با بیمار در تماس هستند و تقریباً مربوط به حمایت از جان بیمار هستند و اختلال عملکرد آنها خط بزرگی برای بیمار تلقی می‌گردد. به عنوان مثال ضربان ساز قلبی Cardiac Pacemaker این دستگاه‌ها باید تاییدیه FDA قبل از فروش و مصرف دریافت نمایند.

اتاقک پر فشار Hyperbaric Chamber به عنوان کلاس دو طبقه بندی می‌شوند و استانداردهای UFPA99 را باید داشته باشند این استاندارد بنام Pressure Vessels for Human (PUHO-1) Occupancy تعریف شده‌اند و باید توسط کمیته مقررات ایمنی ASME برای صدور گواهینامه ایمنی برای فروش باشند.

تمام تجهیزات پزشکی موضوع تحت نظارت FDA و تست کیفیت کارخانه‌ای (GMP) Good Manufacturing Practice باید انجام و تأیید گردد. که این قوانین بسیار شبیه ISO 9001 هستند و نیازهای اصلی آن عبارتند از:

۱. طراحی دستگاه توسط یک فرد متخصص Reasonable Person
 ۲. تولید براساس طراحی
 ۳. تست تایید عملکرد براساس آنچه نیاز بوده و طراحی شده است.
 ۴. کنترل و نظارت بر ماده‌ای Material که از آن وسیله تهیه شده است.
 ۵. ایجاد فرآیندی برای جلب رضایت مشتری در زمانی که تجهیزات صدمه می‌بینند (پشتیبانی دستگاه).
 ۶. عضویت هر ساله کارخانه جاتی که تولید کننده تجهیزات هستند در سازمان FDA
 ۷. برچسب مشخصات Labeling که باید توسط شرکت تولید کننده ارائه شود و کلیه جزئیات محصول را با تایید FDA بر آن موجود باشد.
- در مورد اکسیژن باید مورد مصرف آنرا قید کنند و توسط UHMS(Undersea and Hyperbaric Society) تایید گردیده باشد و اتاقک‌های ساخته شده قبل از ۱۹۷۶ مورد تایید FDA نیستند.
- قوانین اتاق فشار در کشورهای مختلف متفاوت است. مخصوصاً در کشورهای اروپایی (EU) مثلاً در آلمان، TUV مسئول کیفیت و ایمنی اتاق HBO است که به قوانین GTUM معروفند و شناخته می‌شوند.

Staffing of Hyperbaric Facilities

کارمندان تجهیزات هایپرباریک

تمام کارمندان HBO به خوبی باید آموزش دیده و با تجربه باشند و تمام قوانین ایمنی کپسول فشار بالا را بدانند. پرسنل پیراپزشک Paramedic Personnel باید تکنسین اتاق‌های هایپرباریک باشند (پیراپزشک دوره دیده)

تکنسین HBO فردی است که با کپسول فشار بالای اکسیژن کار میکند Operator و اصولاً باید حداقل اطلاعات مربوط به نحوه عملکرد و خطرات HBO را داشته باشد. سلامت و ایمنی شغلی Occupational برای افرادی که در کپسول کار میکنند بسیار مهم است. گزارش حوادث HBO برای کارمندان داخل کپسول برای ابتلا به DCI (بیماری تقلیل فشار) در بین کشورهای مختلف بین ۰.۰۱٪ تا ۱.۰۳٪ است. صدمات گوش Ear Trauma یک شکایت شایع و شاید فراوان ترین گله بیمار Complain است که معمولاً در فشار ۱.۵ ATA اتمسفر هیچ وقت اتفاق نمی افتد.

Conclusion

نتیجه گیری

در دنیا اتاق های HBO با تکنولوژی های متفاوتی ساخته شده اند و این پزشک HBO است که باید نوع کپسول را براساس نیازش (درمانی - تحقیقاتی ..) مشخص کند و اجزاء مرتبط Ancillary Equipment

اصولاً کار با کپسول HBO بی خطر است تا زمانی که قوانین ایمنی را رعایت کنیم. ولی هر روزه به وسایل و تجهیزاتی که برای کنترل بیمار و علائم حیاتی یا تحقیقاتی ساخته می شود پیشرفت کرده به عنوان مثال آژیر بعلاوه پایش، سیستم اطفای حریق Fire Fighting و اتاق قفل فشار Pressure Lock همگی اجزاء اصلی و مهم هر کپسول HBO هستند ولی امکانات جانبی دیگر براساس نیاز تیم مصرف کننده قابل نصب هستند تا آنجایی که بعضی از اتاق های فشار در واقع یک ICU کامل هستند.

Mono Place Chamber

اتاقک تک نفره

شایع ترین اتاقک های فشار مورد استفاده، اتاقک فشار یک نفره MonoPlace است که اغلب دارای فشاری کمتر از سه اتمسفر ATA3 هستند. در این اتاقک ها دو نوع تجویز اکسیژن وجود دارد.

۱. تخلیه مداوم Constant Purging

در این روش با یک جریان مشخص اکسیژن وارد اتاقک می‌شود و با همان جریان به محیط راه می‌یابد این موضوع مانع از فشار داخل اتاقک خواهد شد.

۲. بازگردشی Recycling

در این روش لتاقک با گردش محتویات به صورت پریودیک یا منقطع مقدار CO_2 و بخار آب نامناسب را جذب می‌کند و دوباره اکسیژن صد درصد را جایگزین آن می‌گرداند.

مزایا

Advantages

اتاقک‌های یک نفره دارای مزایای ذیل هستند:

۱. مراقبت Handling مریض به صورت انفرادی Individually ، حفظ حریم خصوصی مریض و امکان قرنطینه Isolation در موارد عفونت که بسیار مهم است.
۲. کاملاً ایده آل برای مراقبت‌های ویژه Intensive Care به گونه‌ای که هیچ احتیاجی به جابه جایی Transfer یا قطع Interruption درمان در طول مدت هایپرباریک نیست.
۳. عدم احتیاج به ماسک صورت Facemask و اینکه خطر نشت اکسیژن وجود ندارد و از همه مهم تر اینکه مریض در طول مدت درمانش احساس راحتی Comfortable می‌کند.
۴. استفاده از درمان هایپرباریک HBO ، شرایط ایده آل برای بیمارانی است که در فاز مزمن بیماری دچار زمین گیری در رختخواب Confined to bed هستند مثل بیمارانی که دچار فلج کامل Paraplegia یا نیمه بدن می‌شوند.