



Hyperbar oxygenbehandling

Hyperbar oxygenbehandling (HBO) definieras som oxygenandning vid vistelse i en tryckkammare vid högre tryck än normalt atmosfärstryck (1 bar, 100 kPa, 750 mm Hg). Risken för oxygenbiverkningar (ffa från CNS) begränsar dosen, dvs. den samlade effekten av behandlingstryck, duration och frekvens. HBO ges vanligtvis som 100 procent oxygen (O₂) vid 2,4–2,8 bars tryck under 60–90 minuter, 1–3 gånger per dygn.

I Sverige är HBO-verksamheten knuten till anestesi- och intensivvårdsklinikerna i Luleå (Sunderbyn), Stockholm (Karolinska, Solna), Karlskrona, Helsingborg, Göteborg (Östra sjukhuset/Sahlgrenska) samt Uddevalla. HBO-centra i Sverige och övriga Europa finns listade på www.oxy.net.org.

Metoden bör användas på specialistnivå, med multidisciplinärt engagemang och tydligt formulerad behandlingsstrategi.

HBO ges huvudsakligen till patienter med lokal eller generell hypoxi. Hypoxin kan reverseras i t.ex. hjärna, hjärta eller andra hotade vävnader vid akuta tillstånd såsom dekompressionssjuka hos dykare, luft- eller gasemboli, traumatisk ischemi, kolmonoxidförgiftning och livshotande mjukdelsinfektion.

Upprepade behandlingar stimulerar kärlnybildning och påskyndar sår-läkning i hypoxiska vävnader. HBO ges därför som behandling och/eller profylax (pre- och postoperativt) vid strålskador i skelett- och mjukdelsvävnader. HBO ges också vid andra tillstånd med bristande mikrocirkulation (ischemi) och/eller infektion som motstår konventionell behandling.

Mekanismer

Ökad mängd fysikaliskt löst O_2 i blodet (proportionellt mot partialtrycket) → tillräcklig O_2 -leverans för basalmetabolism (oberoende av hemoglobinnivån) samt 10–20-faldigt ökat O_2 -partialtryck i blod → diffusion 2–4 gånger längre ut i vävnader.

Minskad vävnadshypoxi

- Ischemiska vävnader oxygeneras → metabolism normaliseras
- Antiinflammatoriska egenskaper → nedreglerad neutrofil-/endotelcellsinteraktion → minskad reperfusionsskada och minskad ödemutveckling
- Vasokonstriktion i icke ischemisk vävnad → ökad genomblödning i ischemisk vävnad samt ödemresorption
- Fri gas i kärl och vävnader komprimeras i proportion till det ökade trycket (Boyles lag) samt resorberas (Henrys lag).

Förbättrat infektionsförsvar

- Den bakteriedödande kapaciteten hos leukocyterna potentieras.
- O_2 -beroende antibiotika, t.ex. aminoglykosider, får förbättrad effekt.
- Anaerob bakterieproliferation hämmas/stoppas.
- Clostridietoxinbildning stoppas.

Förbättrad sårhäkning

- Fibroblastproliferation och -funktion förbättras.
- Angiogenes och benturnover stimuleras.

Indikationer

I Europa är European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM, www.echm.org) referensorgan för behandlingsindikationer, utbildning, materiel och säkerhet. Globalt är Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS), med bas i USA, det mest etablerade forumet för medicinskt vetenskapliga frågor inom hyperbar- och dykerimedicin (www.uhms.org).

Vid ECHM:s consensusmöten 1994 och 2004 enades de europeiska delegaterna om en indikationslista som i stort överensstämmer med UHMS-listan.

Akut ischemi/hypoxi

HBO används för att förbättra prognosen vid en rad lokala hypoxiska tillstånd där blodtillförseln är nedsatt (ischemi) men ej upphävd. Oxygenering och metabolism förbättras och dosberoende fysiologiska och farmakologiska effekter uppnås. Förutom vid gasemboli kan HBO dock ej korrigera makrocirkulatorisk ischemi.

För bästa resultat krävs akut insatt HBO-behandling.

Dekompressionsjuka och gasemboli

- Dykerirelaterad bubbelbildning i vävnader och/eller blodcirkulation.
- Andra tillstånd med vaskulära bubblor, t.ex. iatrogen gasemboli.

Traumatisk ischemi

HBO kan ges i selekterade fall och som tillägg till kirurgisk behandling vid

- öppna extremitetsfrakturer med kross-, kläm- eller kärlskada
- kross-, kläm- och/eller avulsionskada
- compartmentsyndrom.

Andra ischemitillstånd

HBO kan ges i selekterade fall och som tillägg till kirurgisk behandling vid

- ischemi, ibland med hotande reperfusionsskada, t.ex. efter reimplantation, transplantation eller lambåoperation
- septisk perifer embolisering.

Kolmonoxidförgiftning

Den akut kolmonoxid(CO)förgiftade patienten lider av en svårreverserad vävnadshypoxi som framför allt drabbar CNS och hjärta. Detta kan ge medvetslöshet, hypotension och i värsta fall andnings- och hjärtstillstånd. CO-förgiftning åtföljs av en inflammatorisk reaktion och ett reperfusionssyndrom, där leukocyter och endotelceller aktiveras. Fetalt hemoglobin har högre affinitet och längre eliminationstid för CO.

Det finns 25–50 procents risk för neurologiska och psykologiska sekvenser, ofta efter ett symptomfritt intervall från några dagar till 2–3 veckor.

Behandling

O₂-behandling med högsta möjliga fraktion ges snarast och skall fortgå så länge patienten har symptom, dock minst 6 timmar.

HBO ges snarast vid ett eller flera av följande tillstånd:

- Medvetslöshet under något skede.
- Neurologisk eller cirkulatorisk påverkan.
- Andra tecken på grav CO-förgiftning, t.ex. uttalad acidosis, myokardischemi.
- Signifikant CO-exposition under graviditet, oavsett frånvaro av ovanstående.

Upprepad HBO-behandling ges utifrån klinisk bedömning och syftar till att blockera reperfusionsskada och lipidperoxidation.

Allvarliga mjukdelsinfektioner

HBO-behandling syftar till att förbättra infektionsförsvaret, stabilisera patientens cirkulation och begränsa infektionsutbredningen. HBO har använts kliniskt sedan 1960-talet i selekterade fall och som tillägg till kirurgisk behandling och antibiotikaterapi.

- Gasgangrän.
- Nekrotiserande fasciit/myosit, t.ex. Fourniers gangrän.

Hypoxiska problemsår

HBO ges till selekterade patienter med ischemiska, ofta kroniskt infekterade problemsår som trotsar konventionell behandling. De drabbar vanligtvis patienter med nedsatt motståndskraft pga. diabetes, njurinsufficiens, hög ålder, rökning, upprepad kirurgi, strålning, cytostatika- och/eller kortisonmedicinering.

Dessa patienter behandlas normalt elektivt, med en serie dagliga behandlingar, för att uppnå infektionskontroll och understödja sårsläkning. För behandling av strålskador finns inga andra metoder.

Strålskadad vävnad

HBO ges som behandling eller profylax (pre- och postoperativt) vid strålskador i skelett- och mjukdelsvävnad.

Osteomyelit

HBO kan användas i selekterade fall vid

- akut kraniell eller sternal osteit
- refraktär osteomyelit.

Diabetesfotsår

HBO kan användas i selekterade fall vid

- akut infekterade sår med amputationshot
- verifierad mikrocirkulär hypoxi som förbättras med O₂-andning eller HBO.

Resurser

Verksamhet med akuta HBO-behandlingar bör centraliseras, eftersom den är jourintensiv och personalkrävande. Tryckkammare bör placeras i omedelbar närhet till intensivvård, akutmottagning och ev. helikopterlandningsplats.

Tryckkammare skall

- vara godkänd och besiktigad (som tryckkärl) av ackrediterat företag
- ha tillsyns- och underhållsplan
- ha plan för åtgärder vid brand samt regelbundna brandövningar
- ha för verksamheten lämpad och anpassad medicinsk och annan utrustning, godkänd av medicinskt lednings- och behandlingsansvarig läkare.

Multiplacekammare (för flera personer) skall dessutom ha

- sluss för personal och läkemedel
- monitorering av O₂- och CO₂-halt i kammaratmosfären
- reservsystem för trycklufts- och el-försörjning
- fast brandsläckningssystem, helst sprinkler
- andningsmasker även för kammarpersonal
- sugutrustning för patientvård.

Personal

Medicinskt ledningsansvarig läkare bör vara

- specialist inom anestesi- och intensivvård.

Behandlingsansvarig läkare skall vara

- legitimerad läkare
- utbildad i hyperbar- och dykerimedicin
- utbildad med lokal introduktionskurs
- vid akutbehandling ha relevant specialisering (t.ex. anestesi och intensivvård).

Kammaroperatör skall vara

- utbildad i manövrering av tryckkammare
- utbildad med lokal introduktionskurs
- delegerad av medicinskt ledningsansvarig.

Kammarpersonal skall ha

- genomgått lokal introduktionskurs
- helst grundläggande HBO-utbildning, annars inplaneras sådan snarast
- vid akutbehandling ha relevant specialisering (t.ex. anestesi/intensivvård).

För arbete i hyperbar miljö krävs

- grundläggande hälsoundersökning enligt AFS 1993:57, som skall dokumenteras och registreras av arbetsgivaren (enligt AFS)
- att undersökningen minst omfattar anamnes, status (inkl. ffa. neurologstatus), otoskopi samt audiometri
- provtryckning till minst 4 bar
- läkarundersökning vart femte år till 40 års ålder, därefter vartannat år (enligt AFS).

Arbetsgivaren (verksamhetsansvarig) får enl. AFS ej låta gravida arbeta under hyperbara förhållanden.

Under HBO-behandling skall

- checklista följas inför varje enskild behandling
- behandlingen dokumenteras

- behandlingsansvarig läkare finnas omedelbart kontaktbar och kunna infinna sig inom 5 minuter
- intensivvårdspatient vårdas enligt Sfa:s riktlinjer för intensivvård
- personal finnas i multiplacekammare vid akutbehandling, vilket även är önskvärt vid elektiva behandlingar i multiplace.

Vid arbete under hyperbara förhållanden bör antalet expositioner begränsas. I undantagsfall kan en exposition per dygn accepteras under kortare tid. Varje exposition skall utformas med väl tilltagen marginal mot dekompressionssjuka, enligt gällande tabellverk.

Referenser

Mekanismer

- Allen D B, Maguire J J, Mahdavian M, Wicke C, Marcocci L, Scheuenstuhl H, Chang M, Le A X, Hopf H W, Hunt T K: *Wound hypoxia and acidosis limit neutrophil bacterial killing mechanisms*. Arch Surg 1997;132:991–996.
- Buras J A, Stahl G L, Svoboda K K, Reenstra W R: Hyperbaric oxygen downregulates ICAM-1 expression induced by hypoxia and hypoglycemia: the role of NOS. Am J Physiol Cell Physiol. 2000; 278:292–302.
- Buras J A, Veves A, Orlow D, Reenstra W R: *The effects of hyperbaric oxygen on cellular proliferation and platelet-derived growth factor receptor expression in non-insulin-dependent diabetic fibroblasts*. Acad Emerg Med 2001;8:518–9.
- Gibson J J, Angeles A, Hunt T K: *Increased oxygen tension potentiates angiogenesis*. Surg Forum 1997;48:696–699.
- Haapaniemi T, Nylander G, Sirsjö A, Larsson J: *Hyperbaric oxygen reduces ischemia-induced skeletal muscle injury*. Plast Reconstr Surg. 1996;97:602–7.
- Hehenberger K, Brismar K, Lind F, Kratz G: *Dose-dependent hyperbaric oxygen stimulation of human fibroblast proliferation*. Wound rep reg 1997;5:147–150.
- Hunt T K, Gimbel M L: *Hyperbaric Oxygen and Wound Healing*. Hyperbaric Surgery. Eds Bakker J B and Cramer F S, Best Publishing. Company 2002:439–459.

- Knighton D R, Halliday B, Hunt T K: *Oxygen as an antibiotic: A comparison of inspired oxygen concentration and antibiotic administration on in vivo bacterial clearance*. Arch Surg 1986: 121:191–195.
- Marx R E, Ehler W J, Tayapongsak P: Relationship of oxygen dose to angiogenesis induction in irradiated tissue. Am J Surg 1990: 160:519–524.
- Park M K, Myers A M, Marzella L: *Oxygen tensions and infections: Modulation of microbial growth, activity of antimicrobial agents, and immunological responses*. Clin Infect Dis 1992:14:720–740.
- Zamboni W A, Roth A C, Russell R C, Graham B, Suchy H, Kucan J O: *Morphologic analysis of the microcirculation during reperfusion of ischemic skeletal muscle and the effect of hyperbaric oxygen*. Plast Reconstr Surg. 1993;91:1110–23.

Indikationer

- European Committee for Hyperbaric Medicine. 1st and 7th European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine*, Lille, Frankrike 1994 & 2004, eds. Wattel F, Mathieu D.
- Hyperbaric oxygen 2003 – Indications and Results: The Hyperbaric Oxygen Therapy Committee Report*. Kensington, M D: *Undersea and Hyperbaric Medical Society 2003*, chairman & ed. Feldmeier J J: pp 1–141.

Akut ischemi/hypoxi

- Bouachour G, Cronier P, Gouello J P, Toulemonde J L, Talha A, Alquier P: *Hyperbaric oxygen therapy in the management of crush injuries: A randomised double-blind placebo-controlled clinical trial*. J Trauma 1996: 41:333–339.
- Bennett and Elliott's Physiology and Medicine of Diving*. 5th Edition, Eds. Brubakk A O, Neuman T S. Saunders, ISBN 0702025712, 2003.
- Haapaniemi T, Nylander G, Sirsjo A, Larsson J: *Hyperbaric oxygen reduces ischemia-induced skeletal muscle injury*. Plast Reconstr Surg 1996;97:602–9.
- Lindström T, Gullichsen E, Lertola K, Niinikoski J: Effects of hyperbaric oxygen therapy on perfusion parameters and transcutaneous oxygen measurements in patients with intramedullary nailed tibial shaft fractures. Undersea Hyper Med 1998;25:87–91.

- Moon R E, Sheffield P J: *Guidelines for Treatment of Decompression Illness*. Aviat Space Environ Med 1997; 68:234–43.
- Muth C M, Shank E S: Gas *Embolism*. Review. N Engl J Med 2000;342:476–482.
- Perrins D J. *Influence of hyperbaric oxygen on the survival of split skin grafts*. Lancet 1967;1:868–71.

Kolmonoxidförgiftning

- Brown S D, Piantadosi C A. *Recovery of energy metabolism in rat brain after carbon monoxide hypoxia*. J Clin Invest 1992;89:666–72.
- Jiang J, Tyssebotn I: *Cerebrospinal fluid pressure changes following acute carbon monoxide poisoning and therapeutic effects of normobaric and hyperbaric oxygen in conscious rats*. Undersea Hyperbaric Medicine 1997;24:245–54.
- Piantadosi C A: *Perspective: Carbon monoxide poisoning*. N Engl J Med 2002;347:1054–55.
- Thom S R. Editorial: *Hyperbaric-oxygen therapy for acute carbon monoxide poisoning*. N Engl J Med 2002;347:1105–06.
- Weaver L K, Hopkins R O, Chan K J, Churchill S, Elliott C G, Clemmer T P, Orme J F, Thomas F O, Morris A H: *Hyperbaric oxygen for acute carbon monoxide poisoning*. N Engl J Med 2002;347:1057–67.

Allvarliga mjukdelsinfektioner

- Bakker J B: *Selected aerobic and anaerobic soft tissue infections: Classification, bacteriology, diagnosis, and the use and role of surgery and adjunctive hyperbaric oxygen in the treatment*. Hyperbaric Surgery. Eds Bakker J B and Cramer F S, Best Publishing Company 2002:249–281.
- Bakker J B: *Clostridial Myonecrosis*. Hyperbaric Surgery. Eds Bakker J B and Cramer F S, Best Publishing Company 2002:283–315.
- Clark, Moon R: *Hyperbaric oxygen in the treatment of life-threatening soft-tissue infections*. Review. Respir Care Clin N Am. 1999;5:203–19.
- Elmqvist Stenberg A, Larsson A, Gustavsson M, Gårdlund B, Kumlien J, Lind F, Nordlander B: *Cervikala nekrotiserande fasciiter – behandlingsstrategi*. Läkartidningen, 2004;28:2336–2341.
- Hirn M: *Hyperbaric oxygen in the treatment of gas gangrene and perineal necrotizing fasciitis*. J Surg Suppl. 1993;570:1–36.

- Korhonen K: *Hyperbaric oxygen therapy in acute necrotizing infections. With a special reference to the effects on tissue gas tensions.* Ann Chir Gynaecol Suppl 214. 2000:89:7–36.
- Zamboni W A, Mazolewski PJ, Erdmann D, Bergman B A, Hussman J, Cooper M D, Smoot E C, Russell R C: *Evaluation of penicillin and hyperbaric oxygen in the treatment of streptococcal myositis.* Ann Plast Surg 1997;39:131–136.

Hypoxiska problemsår

- Abbot N C, Swanson Beck J, Carnochan F M T, Gibbs J H, Harrison D K, James P B, Lowe J G: *Effect of hyperoxia at 1 and 2 ATA on hypoxia and hypercapnia in human skin during experimental inflammation.* J. Appl. Physiol. 1994;77(2):767–773.
- Abidia A, Laden G, Kuhan G, Johnson B F, Wilkinson A R, Renwick P M, Masson E A, McCollum P T: *The role of hyperbaric oxygen therapy in ischaemic diabetic lower extremity ulcers: a double-blind randomised-controlled trial.* European Journal of Vascular Surgery 2003; 25:513–518.
- Bevers R F M, Bakker D J, Kurth K H: *Hyperbaric oxygen treatment for haemorrhagic radiation cystitis.* Lancet 1995;346:803–805.
- Faglia E, Favales F, Aldeghi A, Calia P, Quarantiello A, Oriani G, Michael M, Campagnoli P, Morabito A: *Adjunctive systemic hyperbaric oxygen therapy in treatment of severe prevalently ischemic diabetic foot ulcer – a randomised study.* Diabetes Care 1996; 19:1338–1343.
- Feldmeier J J and Hampson N B: *A systematic review of the literature reporting the application of hyperbaric oxygen to the prevention of delayed radiation injuries: An evidence based approach.* Review. Undersea Hyperb Med. 2002;29:4–30.
- Granström G, Tjellstrom A, Branemark P I: *Osseointegrated implants in irradiated bone: a case-controlled study using adjunctive hyperbaric oxygen therapy.* Journal of Oral & Maxillofacial Surgery 1999;57:493–9.
- Kalani M, Jörneskog G, Naderi N, Lind F, Brismar K: *Hyperbaric oxygen (HBO) therapy in treatment of diabetic foot ulcers. Long-term follow-up.* J Diabetes Complications 2002;16:153–8.
- Larsson A, Engström M, Uusijärvi J, Kihlström L, Lind F, Mathiesen T: *Hyperbaric oxygen treatment of postoperative neurosurgical infections.* Neurosurgery 2002;50:287–296.

- Marx R E, Johnson R P, Kline S N: *Prevention of osteoradionecrosis: a randomized prospective clinical trial of hyperbaric oxygen versus penicillin*. Journal of the American Dental Association 1985;111:49-54.
- Mathieu D: *Hyperbaric Oxygen Therapy in the Management of Non-Healing Wounds*. Hyperbaric Surgery. Eds Bakker J B and Cramer F S, Best Publishing Company 2002:317-339.
- Neovius E B, Lind M G, Lind F G: *Hyperbaric oxygen therapy for wound complications after surgery in the irradiated head and neck: a review of the literature and a report of 15 consecutive patients*. Head & Neck 1997; 19:315-322.
- Zamboni W A, Browder L K, Martinez J: *Hyperbaric oxygen and wound healing*. Clin Plast Surg 2003;30:67-75.