

COMEX 30 för behandling av tryckfallssjuka med neurologiska symtom

Tryckfallssjuka är ett av flera namn på det tillstånd som kan uppstå vid minskning av kroppens omgivningstryck. Andra namn är dykarsjuka, dekompensions-sjuka och kassunsjuka. Att tryckfallssjuka kan drabba dykare är välkänt, men det kan även förekomma vid bl a höghöjdsflygning, rymdfärd och arbete i trycksatt miljö.

Enligt den registrering som görs gemensamt av tryckkammarenheterna i Sverige har det under perioden 2009-2014 förekommit 102 fall av tryckfallssjuka som krävt behandling i tryckkammare. Sannolikt finns det ett mörkertal, eftersom den svenska marinen behandlar tryckfallssjuka inom sin egen organisation. Det kan även förekomma såväl brister i registreringen som fall av tryckfallssjuka som inte kommit till tryckkammarenheternas kännedom.

Eftersom det totala antalet dyk under 2009-2014 inte är känt, går det inte att beräkna någon incidenssiffra. I två nyligen publicerade studier anges incidensen för tryckfallssjuka internationellt till 3-6 per 100 000 dyk [1,2].

Symtom

Tryckfallssjuka är ett mångfasetterat tillstånd med varierande symtombild (Fakta 1). Den lindrigaste for-

Anders Rosén, specialistläkare

Nicklas Oscarsson, specialistläkare, doktorand

Olaf Gräbel, överläkare

Göran Sandström, med dr, överläkare; samtliga anesthesi, operation och intensivvård Östra, Sahlgrenska universitetssjukhuset, Göteborg
 ● goran.l.sandstrom@vgregion.se

FAKTA 1. Symtom vid tryckfallssjuka

- Klåda (tryckfallssjuka [decompression sickness, DCS] typ 1)
- Marmorering (tryckfallssjuka typ 1)
- Mjukdelssvullnad (tryckfallssjuka typ 1)
- Ledvärk, företrädesvis stora leder (tryckfallssjuka typ 1)
- Synpåverkan (tryckfallssjuka typ 2)
- Känselstörning (tryckfallssjuka typ 2)
- Yrsel (tryckfallssjuka typ 2)
- Muskelsvaghet (tryckfallssjuka typ 2)
- Buksmärta (tryckfallssjuka typ 2)
- Andnöd
- Cirkulationskollaps
- Medvetlöshet

men yttrar sig som klåda. Molande ledvärk, yrsel, domning eller muskelsvaghet är uttryck för en svårare form av tryckfallssjuka. Allvarliga fall kännetecknas av livshotande andningsbesvär, cirkulationskollaps och medvetlöshet. Ett sätt att indela tryckfallssjuka är att benämna den typ 1 om den engagerar hud, leder, lymfkärl eller mjukdelar. Vid engagemang av andra organ, framför allt centrala nervsystemet, benämns den typ 2.

De flesta symtom på tryckfallssjuka uppkommer inom en eller ett fåtal timmar efter avslutat dyk.

Patofysiologi

Lufttrycket varierar, men brukar vara omkring 100 kPa vid havsytan. Inandningsluften består av ungefär 21 procent syrgas, 78 procent kvävgas och 1 procent ädelgaser. Partialtrycket för kvävgas i inandningsluften är $0,78 \times 100 = 78$ kPa. (Daltons lag: Det totala lufttrycket är summan av de individuella partialtrycken för varje gas.)

I vatten ökar omgivningstrycket med 100 kPa för varje ökning av djupet med 10 meter. På 30 meters djup utsätts således dykaren för 400 kPa i omgivningstryck. Vid dykning med komprimerad luft som andningssgas blir partialtrycket för kvävgas på 30 meters djup $0,78 \times 400 = 312$ kPa.

Det ökade partialtrycket för kvävgas i inandningsluften innebär att det sker ett upptag av kvävgas först i blodet och därefter i kroppens vävnader till dess att jämvikt har uppnåtts. (Henrys lag: Mängden löst gas i en vätska är proportionell mot det omgivande partialtrycket för gasen.) Ju längre tid dykaren stannar under vattnet och ju djupare denne dyker, desto större mängd kvävgas tas upp av kroppen. Olika vävnader i kroppen tar upp kvävgas med olika hastighet beroende på att kvävgas löser sig olika väl i blod, fett, muskel och bindväv.

När dykaren stiger upp mot ytan minskar omgivningstrycket. Vävnaderna släpper då ifrån sig kvävgas, vilken löser sig i blodet och lämnar kroppen via lungorna. Om omgivningstrycket minskar snabbare än kvävgasen hinner utsöndras ur kroppen, kan övermättnaden av kvävgas bli så stor att det bildas bubblor i venöst blod och vävnader. Det är dessa kvävgasbubblor som anses ge upphov till tryckfallssjuka.

För att minimera bubbelbildning i blodet anpassas

HUVUDBUDSKAP

- Tryckfallssjuka kan drabba även den som dyker på ett säkert sätt.
- Vi beskriver hur tre dykare med neurologiska symtom framgångsrikt behandlats på ett för svenska förhållanden nytt sätt.
- Vanligen behandlas tryckfallssjuka i tryckkammare enligt en tabell benämnd T6, men vid svårare fall kan en tabell benämnd COMEX 30 användas.
- Endast två tryckkammarenheter i Sverige har dykläkare i tjänst dygnet runt.
- Det behövs en översyn och en nationell strategi för att säkerställa tillgången till behandling vid tryckfallssjuka.

hastigheten på uppstigningen till ytan efter dykets djup och varaktighet. Tryckfallssjuka kan dock uppstå vid dykning som genomförts på ett sätt som såväl erfarenhetsmässigt som teoretiskt borde ha varit säkert. Benägenheten att utveckla tryckfallssjuka varierar mellan olika individer. Det finns även ett antal faktorer som anses öka risken för att utveckla tryckfallssjuka (Fakta 2).

Kvävgasbubblor kan förekomma i blodet efter dykning utan att personen ifråga upplever något obehag. Patofysiologin vid tryckfallssjuka kan alltså inte förklaras med enbart förekomst av kvävgasbubblor. Men mängden kvävgasbubblor i blodet efter dykning har samband med risken för att en person ska utveckla tryckfallssjuka. Sannolikt har mängden kvävgasbubblor och var de befinner sig betydelse [3].

Både ökad inflammatorisk aktivitet och förändrad funktion i blodkärlens endotel kan påvisas efter dykning [4]. Även koagulationen påverkas. Betydelsen av detta är fortfarande ofullständigt utredd. Möjligen uppstår tryckfallssjuka i ett samspel mellan kvävgasbubblor och kärlendotel, möjligen är inflammation och endoteldysfunktion en effekt av det förhöjda omgivningstrycket i sig [5,6].

Ansamling av stora mängder kvävgasbubblor i lungcirkulationen kan leda till allvarlig andningsstörning. Kvävgasbubblor bildade i eller omkring nervvävnad kan ge upphov till neurologiska symtom. Vid förekomst av öppetstående foramen ovale, eller andra shuntar mellan lilla och stora blodomloppet, kan kvävgasbubblor komma över på artärsidan och störa cirkulationen till olika organ [3].

Behandling

Behandling av tryckfallssjuka följer sedvanliga ABC-principer. Initial behandling ska om möjligt alltid bestå av syrgas för att påskynda utvädringen av kvävgas ur kroppen. Om det är möjligt ska vätska ges för att åtgärda den uttorkning och åtföljande hemokoncentration som vanligtvis förekommer efter dykning. Indikationerna för att behandla tryckfallssjuka i tryckkammare anges i Fakta 3. Under transport till tryckkammare ges rutinmässigt syrgas och intravenös vätska.

Vid yrkesmässig dykning ska enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2010:16, 29 §) en tryckkammare kunna nås inom 6 timmar vid dykning djupare än 9 meter och inom 30 minuter om det planerade dykdjupet är större än 40 meter [7].

Tryckkammare för akut behandling av tryckfallssjuka finns i Uddevalla, Göteborg, Karlskrona och Stockholm. Den svenska marinen har också tryckkammare avsedda för den egna verksamheten. I nuläget är det endast i Göteborg och Karlskrona som dykläkare alltid är i tjänst, dygnet runt, året runt. Vid misstanke om tryckfallssjuka ska alltid en dykmedicinskt kunnig läkare kontaktas. Detta kan göras via SOS på telefon 112.

Snar behandling i tryckkammare kan i de flesta fall leda till total regress av symtom. I Sverige är praxis att all akut behandling av tryckfallssjuka sker enligt behandlingstabellen US Navy Treatment Table 6 (USN TT6), på svenska benämnd behandlingstabell 6 (T6). Den innebär att patienten trycksätts till 280 kPa samtidigt som patienten andas ren syrgas. Behandlingstiden är 290 minuter (Figur 1).

FAKTA 2. Riskfaktorer

Flera olika riskfaktorer för tryckfallssjuka anges i litteraturen. Några av dem är

- uttorkning
- upprepade dyk (ett andra dyk när det fortfarande finns kvarvarande kvävgasöverskott i kroppen; det första dykets djup och tidslängd avgör hur långt uppehåll som bör göras mellan dyken)
- belastande dyk (täta ändringar av dykdjup, täta uppstigningar till lågt djup under dyket)
- dykning i kallt vatten
- fetma
- hård fysisk aktivitet på djup
- persisterande foramen ovale

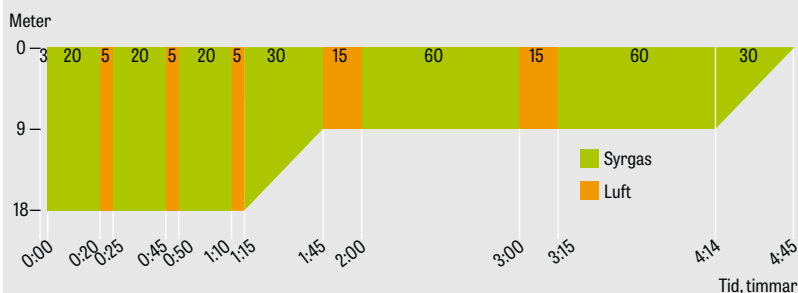
FAKTA 3. Indikationer

Indikation för tryckkammarebehandling

- Utbredda marmore-ringar
- Ledvärk
- Symtom från centrala nervsystemet (balansstörning, synpåverkan,

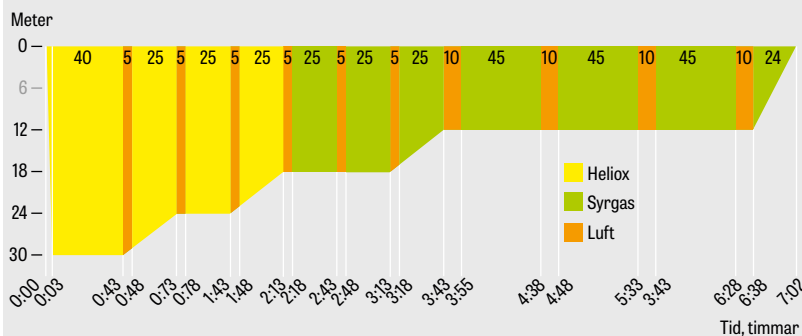
- känslenedsättning, blåspares, muskelsvaghet)
- Andnöd, cirkulationskollaps och medvetlöshet om dekompresionssjuka är orsaken

FIGUR 1. Behandlingstabell 6 (T6)



► Behandlingstabell 6 (T6) används rutinmässigt som första behandlingstabell vid tryckfallssjuka. Första delen av behandlingen sker till 280 kPa. Vid eventuell övergång till tabellen COMEX 30 ska denna ske inom 25 minuter från starten. Detta för att undvika att vårdaren, som vanligen finns med patienten i kammaren, inte ska riskera att drabbas av tryckfallssjuka.

FIGUR 2. COMEX 30



► Vid behandling av svårare fall av tryckfallssjuka kan tabellen COMEX 30 användas primärt, men mer vanligt är att man startar med behandlingstabell 6 och går över till COMEX 30.

»Vid svåra symtom eller utebliven behandlingseffekt har man vid vissa tryckkammarenheter möjlighet att byta till en helt annan behandlingstabell, benämnd COMEX 30.«

Syrgasandning med ett omgivningstryck på 280 kPa medför flera effekter:

- Utvädring av kvävgas ökar kraftigt, eftersom partialtrycket för kvävgas i inandningsluften är noll.
- Mängden löst syrgas i blodet ökar, från omkring 3 ml syrgas/liter plasma (vid 100 kPa) till omkring 50 ml syrgas/liter plasma (vid 280 kPa).
- Den ökade syrgastensionen i blodet gör att syrgas kan diffundera uppemot 2-3 gånger längre från varje kapillär än vid vanlig luftandning.

Om man får otillräcklig effekt av behandlingen kan T6 förlängas. Ibland upprepas tryckkamarbehandling dagen efter för att behandla kvarstående eller återkommande besvär. Vid svåra symtom eller utebliven behandlingseffekt har man vid vissa tryckkammarenheter möjlighet att byta till en helt annan behandlingstabell, benämnd COMEX 30.

Vid den inledande behandlingen med COMEX 30 trycksätts kammaren till 400 kPa. Den gas dykaren andas är en blandning av 50 procent syrgas och 50 procent helium (heliox). Efter lite mer än 2 timmar sänks trycket till 280 kPa och dykaren får andas ren syrgas. Den totala behandlingstiden är 422 minuter (Figur 2).

Teoretiskt medför heliox som andningsgas snabbare utvädring av kvävgas ur kroppen än ren syrgas. Det finns även studier som talar för att andning av heliox leder till att kvävgasbubblor avlägsnas snabbare ur fettväv, ryggmärg och muskler än andning av syrgas [8-10]. Efter avslutad behandling i tryckkammare ges inte mer syrgas.

Fallbeskrivningar

Fall 1. En frisk fritidsdykare i 40-årsåldern genomförde ett första dyk till 30 meter under 50 minuter. Uppstigning till ytan skedde på korrekt sätt. Efter 1 timme dök han på nytt, denna gång till 12 meters djup. Redan efter 5 minuter fick kamraten han dök ihop med problem med sin utrustning. Detta ledde till en snabb uppstigning för dem båda. Några minuter efter avslutad dyk kände han av illamående och yrsel. Någon timme senare hade han domningar och klåda i vänster ben. 3 timmar efter dyket kunde han inte längre stödja på vänster ben.

Han sökte då sjukhus, där behandlande läkare tog kontakt med tryckkamarjouren på Östra sjukhuset i Göteborg. Under transporten behandlades han med syrgas och intravenös vätska. När han anlände till Östra sjukhuset var han fortsatt oförmögen att stödja på vänster ben. Han led även av yrsel, illamående och tryckkänsla över bröstet.

Behandling i tryckkammare påbörjades i enlighet med T6. Symtomen gick delvis i regress under de förs-

ta 20 minuterna av behandlingen, dock kvarstod betydande neurologiska symtom. Beslut fattades därför om att byta behandlingstabell till COMEX 30. Under den fortsatta behandlingen fick han gradvis tillbaka både kraft och känsl i benet, och han var vid avslutad behandling helt återställd.

Dagen efter erhöll han tryckkamarbehandling med syrgasandning vid 240 kPa omgivningstryck på grund av kvarstående diskreta parestesier i benet.

Fall 2. En frisk 26-årig yrkesdykare genomförde ett dyk till 51 meters djup med nitrox (en blandning med högre syrgashalt än luft) som andningsgas. Efter 10 minuter återvände han till ytan. En kort stund senare lade han märke till en grumling i höger synfält. Han började också känna pirringar runt midjan, i ljumskarna och i benen. Muskelkraften avtog allt mer i benen, framför allt på höger sida. Eftersom det fanns tillgång till tryckkammare på dykplatsen inleddes behandling enligt T6. Vissa av symtomen gick i regress, men han hade fortfarande nedsatt kraft i bägge benen, och höger ben var avdomnat. Mot bakgrund av detta kontaktades tryckkamarjouren på Östra sjukhuset i Göteborg, och patienten transporterades dit.

Vid ankomst till Östra sjukhuset var symtomen oförändrade. Dessutom visade han sig ha urinretention. Beslut togs därför om att inleda behandling enligt COMEX 30. Under behandlingen gick i stort sett samtliga symtom i regress. Muskelkraften i benen var återställd, men en diffus domningskänsla kvarstod i höger ben. Efter ytterligare tryckkamarbehandlingar med syrgasandning vid 240 kPa omgivningstryck under de följande dagarna blev han helt återställd.

Undersökning med transesofageal ekokardiografi visade normala fynd och avsaknad av persisterande foramen ovale i både fall 1 och fall 2.

Fall 3. En frisk 41-årig fritidsdykare dök två gånger till 35 respektive 15 meters djup. Han mätte efter detta bra. Dagen efter dök han återigen, denna gång till 65 meters djup. Andningsgasen var heliox. Han stannade 15 minuter på 65 meters djup. Totalt var han under ytan i 50 minuter. 1 timme efter dyket blev han yr och illamående, såg dubbelt och kunde inte gå stadigt.

Vid ankomst till Östra sjukhuset i Göteborg noterade man att han hade nystagmus och en mindre blödning i vänster trumhinna. Hörseln var opåverkad. Behandling i tryckkammare enligt T6 påbörjades, men efter 20 minuter hade fortfarande ingen förbättring av symtomen skett. Behandlingen ändrades därför till COMEX 30. Redan omkring 25 minuter efter bytet av behandlingstabell kände han sig i princip återställd.

Efter avslutad behandling kvarstod dock viss yrsel och balanssvårigheter. Upprepade tryckkamarbehandlingar med syrgasandning vid 240 kPa omgiva-

»Det behövs en översyn och en nationell strategi för att säkerställa tillgången till behandling vid tryckfalls-sjuka.«

ningstryck under de efterföljande dagarna behövdes innan han blev återställd.

Diskussion

I dessa tre fall av tryckfallssjuka med neurologiska symtom visade sig den gängse behandlingen enligt T6 vara otillräcklig. Tre unga och friska individer riskerade bestående funktionsnedsättning. I samtliga fall ledde byte till behandling enligt COMEX 30 till att de neurologiska bortfallen gick i regress. Det finns en möjlighet att dykaren i fall 1 hade blivit återställd även med fullföljd behandling enligt T6. Vår bedömning är dock att detta inte är sannolikt, eftersom endast ringa återgång av symtomen sågs i början av behandlingen. I fall 2 hade behandling enligt T6 redan försökts men inte lett till symtomfrihet. Vid behandlingen av det tredje fallet medförde bytet till COMEX 30 en tydlig symtomförbättring.

Behandling enligt COMEX 30 är resurskrävande, men dessa fall visar att denna behandlingstabell fyller en viktig funktion.

Med endast två tryckkammarenheter med ständig beredskap är det tveksamt om Arbetsmiljöverkets föreskrifter efterlevs. Det finns heller inte någon tillfredsställande beredskap för att ta hand om dykare från alla delar av Sverige på ett skyndsamt sätt. Det behövs en översyn och en nationell strategi för att säkerställa tillgången till behandling vid tryckfallssjuka. ○

● Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.

Citera som: *Läkartidningen*. 2017;114:EA77

REFERENSER

1. Ranapurwala SI, Bird N, Vaithyanathan P, et al. Scuba diving injuries among Divers Alert Network members 2010-2011. *Diving Hyperb Med*. 2014;44:79-85.
2. Dardeau MR, Pollock NW, McDonald CM, et al. The incidence of decompression illness in 10 years of scientific diving. *Diving Hyperb Med*. 2012;42:195-200.
3. Brubakk A, Neuman T, editors. Bennett and Elliott's Physiology and medicine of diving. 5th Ed. London: W.B. Saunders; 2003.
4. Madden LA, Laden G. Gas bubbles may not be the underlying cause of decompression illness - The at-depth endothelial dysfunction hypothesis. *Med Hypotheses*. 2009;72:389-92.
5. Lambrechts K, Pontier JM, Balestra C, et al. Effect of a single, open-sea, air scuba dive on human micro- and macrovascular function. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:2637-45.
6. Brubakk AO, Duplancic D, Valic Z, et al. A single air dive reduces arterial endothelial function in man. *J Physiol*. 2005;566:901-6.
7. AFS 2010:16. Dykeriarbete. Arbetsmiljöverkets föreskrifter om dykeriarbete samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna. Stockholm: Arbetsmiljöverket; 2014.
8. Hyldegaard O, Kerem D, Melamed Y. Effect of isobaric breathing gas shifts from air to heliox mixtures on resolution of air bubbles in lipid and aqueous tissues of recompressed rats. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111:2183-93.
9. Shupak A, Melamed Y, Ramon Y, et al. Helium and oxygen treatment of severe air-diving-induced neurologic decompression sickness. *Arch Neurol*. 1997;54:305-11.
10. Hyldegaard O, Møller M, Madsen J. Effect of He-O₂, O₂, and N₂O-O₂ breathing on injected bubbles in spinal white matter. *Undersea Biomed Res*. 1991;18(5-6):361-71.

SUMMARY

The use of treatment table COMEX 30 for severe neurological decompression sickness

Decompression sickness (DCS) can occur after all dives. It often requires treatment in a pressure chamber. DCS with symptoms from the nervous system is particularly serious. In certain cases, the commonly used recompression table (USN TT6) does not suffice to revert severe neurological symptoms. A more advanced recompression table, COMEX 30, can be utilized in these cases. We report three cases of DCS where treatment according to COMEX 30 successfully resolved neurological symptoms. These cases illustrate the importance of fast and proper management of severe DCS and the need of hyperbaric centers staffed and equipped to give correct treatment. National coordination is paramount in order to be able to provide optimal care for both recreational and commercial divers afflicted by DCS.