

# Dykning – en ekstremsport?

Lektor emeritus Joop Madsen

Københavns Universitet, Medicinsk-fysiologisk Institut

Det må indledningsvis slås fast, at rekreativ dykning/sportsdykning udøvet af raske personer, der er i god kondition og har den nødvendige viden og træning, ikke har nogen ekstrem karakter. Dette gælder såvel for *self-contained underwater breathing apparatus* (scuba-) som for fridykning (dykning uden apparat). At der under uheldige forhold pludselig kan stilles ekstreme krav gælder også for andre sportsgrene såsom sejlsport, bjergvandring, skiløb o.a. og skal ikke behandles her. Dykning figurerer da normalt heller ikke på listerne over ekstremsport. I nogle sammenhænge dykkes der til grænserne for de fysiologiske og/eller tekniske muligheder. Det kan være i forbindelse med videnskabelige projekter eller under mere amatør-mæssige omstændigheder, hvor betegnelsen ekstremsport eller dum(dristig)hed er nærliggende, og hvor livstruende komplikationer let kan opstå. Det drejer sig først og fremmest om:

## Kompetitiv fridykning

Man dyrker følgende discipliner: Statisk apnø, hvor der konkurreres på, hvor lang tid man kan holde vejret under vandet uden at bevæge sig. Dynamisk apnø (længdesvømning under vandet med eller uden finner) og dybdekurrencer med eller uden diverse hjælpemidler (vægte, opdrift, finner og/eller line) [1].

## Statisk apnø

Verdensrekorderne pr. 14. september 2006 var: mænd 9 minutter 0 sekunder, kvinder 7 minutter 30 sekunder [1]. Statisk apnø indebærer principielt samme risiko som dynamisk apnø: *shallow water blackout* (se nedenfor). Specielt under træning, hvor dykkerne ikke nødvendigvis overvåges som ved konkurrencerne.

## Dynamisk apnø

= undervandssvømning. Den nærliggende risiko er her shallow water blackout med efterfølgende drukning. Når man holder vejret, vil det stigende partialtryk af kuldioxid ( $p\text{CO}_2$ ) normalt tvinge respirationen i gang, før hypoksien bliver kritisk. Ved hyperventilation kan  $p\text{CO}_2$  imidlertid sænkes så meget inden apnøen, at den ikke når at stige og udløse respirationstrang, før  $p\text{O}_2$  er faldet så meget, at bevidstheden tabs, hvilket foregår uden varsel. Reddes den bevidstløse svømmer/dykker ikke, drukner han. Med øget dybde øges

risikoen (jf. dybdekurrencer nedenfor). Rekorderne for undervandssvømning uden finner er p.t. for mænd 183 m, for kvinder 131 m; med finner, mænd 223 m, kvinder 200 m [1]. *Shallow water blackout* er hyppigt forekommende ved undervandssvømning og årsag til dødsfald, hvis svømmerne ikke overvåges nøje.

## Dybdekurrencer

Ved øget dybde og tryk øges risikoen for hypoksisk bevidsthedstab. Dette indtræder ved et  $p\text{aO}_2$  på 30-40 mmHg, hvilket ved overfladen nås, når to tredjedele af alveoleluftens ilt er brugt. Ved fire atmosfæres tryk (30 meters dybde) nås hypoksigrænsen imidlertid først, når ni tiendedele af ilten er brugt, og under opdykningen vil  $p\text{aO}_2$  da falde langt under hypoksigrænsen. Jo større dybde, des mere af den »medbragte« ilt vil kunne bruges, før bevidstløshed indtræder. I disse forsøg gælder det derfor om at udføre dykningen så hurtigt som muligt, med så lille iltforbrug som muligt og uden forudgående hyperventilation. De største dybder er derfor nået ved brug af vægte til at trække dykkeren ned og opdrift til at bringe ham/hende hurtigt tilbage til overfladen (*no limits*).

Et specielt problem i forbindelse med dyb fridykning er barotraume af lungerne (= lunge-squeeze). Antages en total lungekapacitet på 6 l og et residualvolumen på 1,5 l kan trykket jf. Boyle-Mariottes lov uden problemer firedobles (svarende til 30 meters dybde), idet lungevolumenet reduceres fra 6 l til 1,5 l. Øges trykket yderligere, kunne man formode, at lungevolumenet ikke længere kunne reduceres til omgivelsernes tryk, der forplanter sig frit gennem de faste væv. Resultatet af et sådant relativt undertryk i lungehulrummet er lunge-squeeze med ind sugning af væske og blod fra det omgivende væv. Den officielle dybderekord for fridykning ligger imidlertid på 183 m svarende til 19,3 atmosfæres tryk, og i et træningsdyk uden officielle dommere skal 209 m være nået! [1]. Når dette er muligt, skyldes det primært, at blod fra ekstremiteterne og abdominalindhold under dykket kan displaceres til thorax og reducere residualvolumenet, og desuden, at mange af disse dykkere har meget stor lungekapacitet. Endelig »lettes« rekorderne af, at en vis trykstigning på stor dybde kun modsvares af en lille volumenformindskelse. F.eks. skal et lungerumfang på 6 l mindskes med 3 l, når trykket stiger fra en atm til to atm, men kun med 16 ml, når trykket øges fra 19 atm til 20 atm.

Trods kendskab til disse forhold er flere rekorddykkere omkommet i forbindelse med sådanne forsøg, nogle af lunge-squeeze, flest ved drukning på grund af bevidsthedstab under opstigningen.



**Figur 1.** Forfatterne til [6] Chr. Sløth og Th. de Richelieu, No Limits Diving ApS gør klar til blandingsgasdyk.

Ved mange gentagne, dybe undervandsdyk med korte overfladeintervaller er der mulighed for kvælstofophobning i vævene med efterfølgende dekompressionssyge. Dette er set hos perledykkere (Tarawana) og hos instruktører i fri opstigning fra ubåde og hos undervandsfiskere. Forekomsten er tilsyneladende øget i de senere år. *Schipke et al* har samlet omkring 90 tilfælde [2]. *Paulev & Næraa* har behandlet det herhjemme [3].

### Dyb scubadykning med ånding af luft

Ved øget partialtryk får luftens kvælstof alkohollignende narkotiske egenskaber, der ved lettere påvirkning kan vise sig som pjankethed, ved stærkere som sløvhed, der gør dykkeren uegnet til at udføre sit arbejde og tage vare på sig selv (kvælstofnarkose = *Cousteaus ivresse des grandes profondeurs*). Effekten har været kvantificeret i den såkaldte martinis lov: Kvælstoffet påvirker bevidstheden som en martini på tom mave for hver 10 m, man dykker ned. Af denne grund er der international enighed om, at erhvervsdykning dybere end 50 m ikke må foregå med luft som åndingsmedium, men at helium-ilt (heliox) eller helium-ilt-kvælstofblandinger (trimix) skal bruges. Af samme grund frarådes sportsdykning med

scubaudstyr dybere end 40 meter. Alligevel dykker nogle væsentligt dybere, og selv om følsomheden for kvælstofnarkose varierer meget fra person til person, må sådanne dykninger vel betegnes som ekstreme. Den nærliggende risiko er naturligvis drukning, der lettere sker for sportsdykkeren med løst mundstykke og maske end for den professionelle dykker med hjelm eller helmaske.

### Rekreativ blandingsgasdykning

Ved blandingsgasser forstås alle andre åndingsgasblandinger end luft. Formålet med at bruge sådanne blandinger ved dybe dyk er dels at undgå kvælstofnarkose (se ovenfor), dels at undgå toksiske partialtryk af ilt, idet  $pO_2$  på ca. 1,7 atm kan udløse cerebral iltforgiftning [4], der i de sværeste tilfælde viser sig som epileptiforme kramper, der naturligvis let kan resultere i drukning. Disse formål tilgodeses ved tilsætning af helium til åndingsgassen, da helium ingen kendt narkotisk effekt har [5]. Da helium yderligere har en lav viskositet og massefylde, er respirationsmodstanden (der stiger med trykket) mindre under ånding af heliox (helium + ilt) eller trimix (helium + ilt + kvælstof [5]) end ved ånding af luft. På mere end 60-80 meters dybde vil  $pO_2$  afhængigt af neddykningsgassens sammensætning medføre risiko for iltforgiftning, hvorfor det er nødvendigt at medbringe en særlig »bundgas« med lavt iltindhold [6]. På store dybder kan flere bundgasser blive nødvendige. Ved ånding i åbne systemer øges gasforbruget med dybden, og dekompressionstid og hertil hørende gasmængde øges også. Desuden bør dykkeren medbringe såkaldt bail-out-gas til brug ved opstigning, hvis den primære gasbeholdning svigter. Da helium er meget varmeledende, kan det for at undgå excessiv afkøling yderligere være ønskeligt at medbringe en tung gas til oppustning af dragten! Blandingsgasdykkere kan da også se groteske ud med deres mange flasker og øvrige udstyr (Figur 1). Det er klart, at sådan dykning kræver en meget nøje og kompliceret planlægning vedrørende gassernes sammensætning og mængde for at undgå iltforgiftning, hypoksi og kvælstofnarkose under hensyntagen til dybde, varighed, dekompressionskrav og sikkerhedsmargin. Blanding af gasserne og nøje kontrol af deres sammensætning, herunder kalibrering af måleapparatur, hører også til forberedelserne. For kvalificerede dykkere er brug af denne teknik accepteret i British Subaqua Clubs regi

## VIDENSKAB OG PRAKSIS | STATUSARTIKEL

ned til 80 m. På større dybder er det nok rimeligt at tale om ekstrem sport. Dybderekorden ved sådanne amatør dyk blev nået i 2005 med 330 m. Til dette dyk var det nødvendigt med en dekompression i vandet på over ni timer, og det blev kompliceret på bunden af voldsomme øresmerter (barotraume?) og *high pressure nervous syndrome* (HPNS) hos dykkeren (se nedenfor). Under dykket åndedes ti forskellige gasblandinger, de fleste trimix [7]. Undervejs mod denne rekord er adskillige tidligere rekordholdere omkommet. Blandingsgasdykning er en aktivitet for velbegavede, ansvarsbevidste, omhyggelige personer med gode matematiske færdigheder og gerne en baggrund som narkoselæge, respirationsfysiolog og eller ingeniør!

I lukkede systemer cirkulerer åndingsluften gennem en kuldioxidabsorber, og ilt tilsættes, efterhånden som den bruges. Herved genbruges den inaktive gas. I princippet er det derfor kun nødvendigt at medbringe kuldioxidabsorber, ilt svarende til forbruget og en ringe mængde inaktiv gas til opfyldning af systemet ved tab. Lukkede systemer er specielt praktiske ved dykning i forbindelse med huleforskning, hvor opholdet i hulerne kan være af flere dages varighed, og hvor det kan være vanskeligt at føre større mængder gasflasker frem gennem snævre passager. Ved dykning til større dybder har det lukkede system også en fordel ved reduceret gasforbrug. I et lukket system skal ilttilførslen reguleres efter forbruget, og sådan at  $pO_2$  i den cirkulerende åndingsgas fastholdes på et optimalt niveau trods ændringer i totaltrykket. Dette opnås oftest ad elektronisk vej, idet en  $pO_2$ -sensor i gaskredsløbet styrer ilttilførslen. Sådanne systemer er imidlertid sårbare i et fugtigt miljø, og adskillige brugere af lukkede systemer er blevet ofre for hypoksi eller iltforgiftning.

Den hastighed, hvormed et væv mættes med eller tømmes for en gas, afhænger i høj grad af forholdet mellem gassens opløseligheder i vævet og i blodet. For lipide væv, der oftest er bestemmende for dekompressionshastigheden, er dette forhold ca. 2,5 gange større for kvælstof end for helium. Hvis man derfor under opstigning fra et helioxdyk på passende tidspunkt skifter til luftånding, vil et helioxmættet lipid væv – alt andet lige – afgive helium 2,5 gange så hurtigt, som det vil optage kvælstof, og summen af inaktive gaspartialtryk i vævet vil en overgang være stærkt nedsat, hvilket muliggør en fremskyndet opstigning. Hvis man herefter skifter til iltberiget luft og ren ilt, når dette er tilladeligt, kan den samlede dekompressionstid reduceres meget. Beretning om sådanne dekompressionsprocedurer er publiceret af *Bühlmann* [8], og i 1962 demonstrerede *Hannes Keller* ved et klokke dyk til 1.000 fod, at metoden fungerer. På grund af mekaniske problemer omkom to andre dykkere ved forsøget [5].

HPNS viser sig ved rysten og rykvisse muskeltræknin-ger, kvalme, irritabilitet og nedsat koncentrationsevne fra omkring 150 m og dybere. Symptomerne forstærkes med kompressionshastigheden og med dybden. De modvirkes af kvælstofs narkotiske effekt, hvorfor trimix med et passende

lavt kvælstofindhold er velegnet til meget dybe dyk [9]. Der er rapporteret om HPNS-symptomer ved mange af de dybe rekorddyk på blandingsgas.

Dekompressionssyge = dykkersyge er selv under overholdelse af alle regler og tabeller en risiko ved ånding af luft under overtryk. Risikoen øges ved særlig langvarige og/eller dybe dyk, ved hvilke dekompressionstabellerne er mindre sikre. Risikoen for dekompressionssyge ved helioxdykning er – alt andet lige – mindre end ved luftdykning på grund af heliums ringere opløselighed især i fedtholdige væv end kvælstofs.

### Behandling

Behandling af skader opstået i forbindelse med ekstrem dykning adskiller sig ikke fra behandlingen af dykkerskader i øvrigt. Dog kan rekompresion i luft være risikabel ved tilstedeværelse af heliumbobler, der kan bringes til at vokse [10]. Vigtigst er det ved neurologiske symptomer eller smerter af uvis oprindelse efter ånding af gas under overtryk at have dekompressionssygdom i tankerne. Dykkerlæge bør da snarest kontaktes (via Søværnets operative kommando) for hurtigt at få patienten bragt til behandling i et trykkammer.

### Konklusion

Ekstrem sport defineres gerne som »vilde« aktiviteter, der får adrenalinet til at suse, og som ofte rummer et ikke ubetydeligt element af livsfare. *No limit*-fridykning og dybdekonkurrencer på blandingsgas må utvivlsomt betegnes som ekstreme udfoldelser. Kvalificeret sportsdykning kan ikke regnes hertil. Hvis lukkede genåndingssystemer bliver pålideligere og især billigere, kan man nok frygte, at flere amatører vil kaste sig ud i livsfarlige rekordforsøg.

Korrespondance: *Joop Madsen*, Enighedsvej 10, DK-3500 Værløse.  
E-mail: [joop@dadlnet.dk](mailto:joop@dadlnet.dk)

Interessekonflikter: Ingen angivet

Taksigelse: Tak til cand.med. *Ole Hyldegaard* for gode råd og ajourføring.

### Litteratur

1. [http://en.wikipedia.org/wiki/Free-diving/sept\\_2006](http://en.wikipedia.org/wiki/Free-diving/sept_2006)
2. Schipke JD, Gams E, Kallweit O. Decompression sickness following breath-hold diving. *Res Sports Med* 2006;14:163-78.
3. Paulev P-E, Næraa N. Hypoxia and carbon dioxide retention following breath-hold diving. *J Appl Physiol* 1967;22:436-40.
4. Clark JM. Oxygen toxicity. I: Bennett PB, Elliott DH, red. *The physiology and medicine of diving*. 4th ed. London: Saunders, 1993:121-69.
5. Taylor LH. Diving with gas mixes other than air. [www.mindspring.com/~divegeek/mixhistory.htm/2004](http://www.mindspring.com/~divegeek/mixhistory.htm/2004).
6. Sloth C, Richelieu T de. Håndbog i rekreativ og teknisk dykning. København: Aschehoug, 2004.
7. Bernabé P. Record du monde de profondeur en scaphandre autonome à -330! [www.pascalbernabe.com/pprofonde/record330.html/](http://www.pascalbernabe.com/pprofonde/record330.html/) 2005
8. Bühlmann AA. *Dekompressionskrankheit*. Berlin: Springer-Verlag, 1983.
9. Bennett PB, Coggin R, McLeod M. Effect of compression rate on use of trimix to ameliorate HPNS in man to 686 m (2250 ft). *Undersea Biomed Res* 1982;9:335-51.
10. Hyldegaard O, Jensen T. Effect of heliox, oxygen and air breathing after heliox diving. *Undersea Hyperbaric Med* 2006-7 (i trykken).