

Peter Lindholm, med dr, sektionen för omgivningsfysiologi, institutionen för fysiologi och farmakologi

Mikael Gennser, med dr, institutionen för försvarsmedicin, FOI; båda vid Karolinska institutet, Stockholm

Andhållningsdykning – en växande äventyrssport med medicinska risker

II Andhållningsdykning eller fridykning är det äldsta sättet för människan att ta sig fram under vattenytan. Det är troligt att människor använde sig av andhållningsdykning för att samla föda redan under forntiden. Hos en del folkgrupper bl a i Japan, Korea och Polynesien bedrivs andhållningsdykning fortfarande som en näring. Under antiken användes fridykare både för militära ändamål och för bärgning av sjunkna föremål. I vår tid är andhållningsdykning framför allt en fritidsaktivitet. En relativt ny företeelse i Sverige är att fridykning har blivit en tävlingsport. Träning och selektion av fysiskt lämpade individer har lett till att prestationer i många fridykningsaktiviteter har flyttats bortom gränser som tidigare ansågs omöjliga att passera. Samtidigt innebär tävlingshetsen att risken för svåra komplikationer i samband med andhållningsdykning ökar. Dessa komplikationer kommer att diskuteras nedan. Det ska dock redan här påpekas att alla som ägnar sig åt fridykning löper liknande risker.

II Apnea – en riskfylld sport

Den nya andhållningssporten apnea bildades ur fridykning och harpunfiske. Sporten blev bekant för den breda allmänheten tack vare Luc Bessons film »Det stora blå«. Då och då visas inslag på TV, oftast i samband med svenska framgångar i internationella tävlingar. Den uppmärksamhet som apnea-sporten på detta sätt rönt är på gott och ont eftersom riskerna med att »testa sig själv« under vattnet oftast inte belyses.

Man tävlar i tre kategorier inom apnea-sporten:

Statisk apnea: Den tävlande ska hålla andan så länge som möjligt. Tävlingsarna genomförs i bassäng med de tävlande flytande i vattnet med ansiktet under vattenytan. Mask och våtdräkt får användas. Rekorderna för herrar är 8 minuter och 6 sekunder och för damer 6 minuter och 16 sekunder.

Dynamisk apnea: De tävlande ska simma så lång sträcka som möjligt på ett andetag. Rekorderna är 200 meter för herrar och 150 meter för damer.

Konstant vikt: Den tävlande tar sig simmande ner till så stort djup som möjligt och simmar upp till ytan igen. Enda hjälpmedel som är tillåtna är simfenor, mask och våtdräkt. Rekorderna är i skrivande stund 95 meter för herrar och 70 meter för damer. Ungefärliga andhållningstider för dessa rekorddykningar var drygt 3 minuter.

Dessutom förekommer olika typer av tävlingar i djuprekord, t ex »no limits«, där dykaren använder en tung vikt för

Sammanfattat



Fridykning är en växande sport, där man även börjat tävla på senare år.

De mer extrema prestationerna innebär att fridykaren utsätter sig för medicinska risker som man tidigare ansåg endast gällde apparatdykare.

Fridykning innebär extrema fysiologiska påfrestningar på kroppen.

Tema Dykmedicin

Se även artiklar på sidorna 774 och 780.

att snabbt komma ner på djupet och en gasfylld lyftsäck för att lyftas mot ytan. Världsrekorden är för närvarande 162 meter för män och 160 meter för kvinnor.

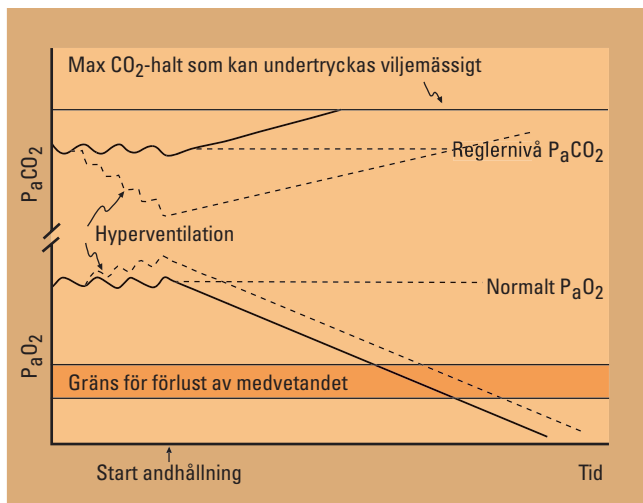
I alla grenar måste dykaren själv ta sig upp ur vattnet och vara i god form när han/hon når ytan, dvs olika tecken till oxygenbrist leder till diskvalificering.

Drunkning på grund av hypoxisk medvetslöshet

Att det kan vara farligt att simma under vattnet är allmänt känt [1]. Trots det sker det varje år olyckor bland individer (oftast unga män) som saknar kunskap om att det är möjligt att hålla andan tills man svimmar. Det inträffade åtminstone två drunkningsincidenter och ett dödsfall i Sverige under år 2002 i samband med undervattenssimning.

Eftersom andningen främst regleras av koldioxidnivån i blodet leder hyperventilering före andhållning till att vissa personer orkar hålla andan tills medvetslöshet inträffar. Detta beror på att man med hjälp av hyperventilering kan sänka kroppens förråd av koldioxid till så låga nivåer att dessa inte återfylls under en andhållning innan blodets oxygennivå har sänkts under den gräns som behövs för att upprätthålla medvetandet [2, 3], s k hyperventilationssvimning (Figur 1).

Man bör observera att hyperventilering inte nödvändigtvis innebär en snabb och ytlig andning. Även långsam men djup



Figur 1. Alveolära koldioxid- och oxygenpartialtryck under andhällning. Heldragna linjer visar partialtryck under andhällning efter normalandning. Streckade linjer visar partialtryck under andhällning föregången av hyperventilation [3].

andning kan orsaka hypokapni. Det som är avgörande är hurvida man andas ut mer koldioxid än vad kroppen producerar.

I samband med djupdykning är risken med hyperventilering ännu större. Då dykaren kommer ner på djup är partialtrycken för alla gaser i lungorna förhöjda. När dykaren slutligen lämnar botten och simmar mot ytan sjunker gaspartialtrycken i takt med att omgivningstrycket minskar (Figur 2). Om tiden på botten varit för lång, t ex på grund av att en initialt låg koldioxidhalt inte givit tillräckligt med signaler om att avbryta dykningen, kan oxygenpartialtrycket, som varit adekvat för att upprätthålla medvetandet på djup, hamna under gränsen för medvetande vid uppstigning mot ytan, s k ascent black-out (även kallad shallow water black-out).

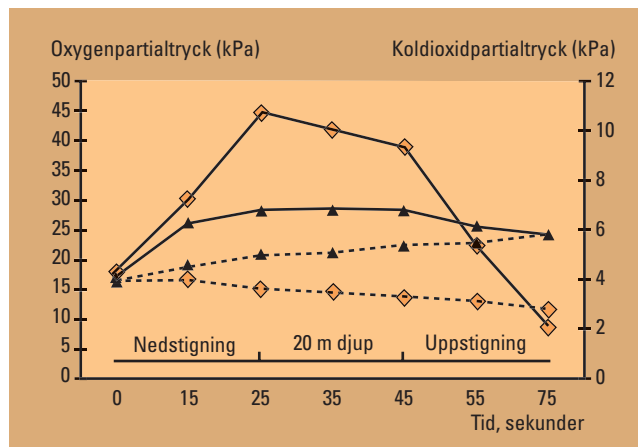
Medvetlöshet vid apné inträffar vid ett ungefärligt PO_2 på 3,3–4,0 kPa, vilket motsvarar en arteriell oxygensaturation av ca 40–60 procent. Variationen i PO_2 beror bl a på den arteriella koldioxidnivån [4]. Oxygennivåer på gränsen till medvetlöshet kan ibland utlösa olika symtom, som minnesstörning, påverkat tal, tremor, försämrad motorik, s k loss of motor control. Medvetlöshet efter för långa andhällningar är ibland associerad med kortare krampstillstånd. Medvetandet återkommer normalt inom 10–15 sekunder efter att andning påbörjats.

Rådet till simmare och andhällningsdykare är att aldrig hyperventilera före en dykning och att stiga upp mot ytan snabbt för att minska tiden med låg pulmonell oxygentension. Kunskapen om riskerna med hyperventilering är relativt utbredd inom sportdykarkretsar och i simklubbar. Svenska sportdykarförbundet har inom sin fridykningsorganisation (ca 240 klubbar) ett totalt förbud mot hyperventilering i samband med fridykning.

Det är dock så att man kan dyka djupare och hålla andan längre efter hyperventilering [4]. Inom apnea-sporten råder det inget förbud mot hyperventilation, och alla som tävlar i apnea gör detta innan de dyker. Internet och medier sprider information med varierande kvalitet om olika sätt att utöka sin andhållningsförmåga. Eftersom möjligheten att prova på att fridyrka i stort sett är öppen för vem som helst är det viktigt att sprida relevant information om riskerna för att undvika olyckor.

Tryckutjämningsproblem – »squeeze«

All dykning kräver tryckutjämning av kroppens luftfyllda hålrum. Underlåtenhet eller oförmåga att tryckutjämna under



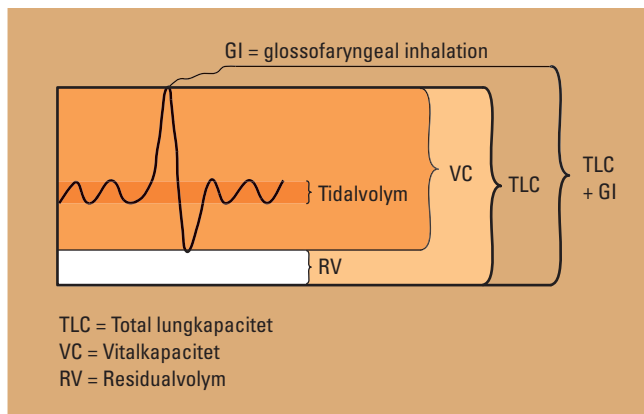
Figur 2. Alveolära oxygen- och koldioxidpartialtryck under simulerad andhällningsdykning till 20 meter respektive andhällning vid ytan. Helderagna linjer = dykning till 20 meter, streckade linjer = andhällning på ytan, romber = oxygenpartialtryck, triangler = koldioxidpartialtryck [19].

fridykning kan ge samma komplikationer som vid apparatdykning – trumhinnebristningar, alternobar vertigo etc.

Mellanöron och bihålor är speciellt känsliga. Om dessa hålrum utsätts för stora undertryck uppstår oftast skarp smärta i samband med slemhinnesvullnad med vätskeutträde, blödningar och rupturer (s k squeeze). För att undvika squeeze måste dykaren pressa in luft i hålrummen under nedstigningen. Problem med tryckutjämning, på grund av antingen för snabb nedstigning eller oförmåga att tryckutjämna, vilket oftast orsakas av förkylning, allergier eller annat tillstånd med slemhinnesvullnad, utgör de vanligaste medicinska problemen vid fridykning liksom vid apparatdykning.

Hur bär sig då de fridykare åt som i vissa extrema fall dyker så djupt att de inte har någon luft kvar i lungorna för att tryckutjämna? En teknik som används är att dykaren låter vatten rinna genom näsan in i bihålor och mellanöron för att kompensera för tryckökningen. Dykaren håller struplocket stängt för att undvika att aspirera vatten. Vattentryckutjämnings-tekniken påbörjas först på djup runt 70–80 meter, då det krävs komprimerad luft inuti öron och bihålor för att driva ut vattnet under uppstigningen till ytan. Den här tekniken kan tänkas ge upphov till infektioner om vattnet är förorenat.

Tidigare trodde man att det största fridykningsdjupet begränsades av kvoten TLC/RV (total lungkapacitet/residualvolym). När det yttre trycket medför att den fria gasvolymen i lungorna blir mindre än residualvolymen vid ytan skulle lungorna riskera att »squeeze«. Om ovanstående antagande var riktigt skulle det maximala dykdjupet för de flesta människor begränsas till mellan 30 och 40 meter beroende på lungstorlek. Vid immersion sker det emellertid en omfördelning av blod från dekliva kroppsdelar till torax, och när lungan komprimeras sker ytterligare blodpoolning. Det innebär att den effektiva residualvolymen blir betydligt mindre under djupdykning än vid normal andning [5]. Omfördelningen av blod till torax medför en tryckökning i lungkretsloppet, vilket innebär en belastning på både hjärtat och lungkapillärerna med risk för såväl interstitiellt ödem som blödningar ut i alveolarrummet. De individuella variationerna i toleransgränser för ökat lungkapillärtryck är förmodligen mycket stora. Hos vissa individer kan t ex immersion i kallt vatten och simning leda till fulminant lungödem [6]. Emellertid är riskerna för att utveckla lungödem vid djup fridykning nog betydligt mindre än vid t ex snorkling med för lång snorkel eller andra



Figur 3. Förklaring av statisk spirometri och glossofaryngeal inhalation.

situationer med förhöjt lungblodflöde. Det finns två orsaker till detta. Dels är fridykningarna relativt korta och små skador på blod-gasbarriären (med intakt basalmembran) läker inom några minuter, dels uppstår skador på blod-gasbarriären betydligt lättare vid stora lungvolymerna [7].

Hemoptys

Trots vad som sagts ovan är det inte helt ovanligt att fridykare kommer upp efter en extra djup dykning och hostar upp blodblandat slem. Detta leder ibland till kontakt med sjukvården. Den vanligaste orsaken till blödningar efter dykning beror på blödning från bihålorna på grund av tryckutjämningsproblem. Blödningar kan också komma från slemhinnor i larynx och trakea [8]. I litteraturen finns dock beskrivet två allvarliga fall av lungblödningar efter fridykning, där dykarna behövde sjukhusvård [9]. I bägge fallen hade de tagit NSAID och hade därmed förmodligen en ökad blödningsbenägenhet, men lungblödningar bör uteslutas hos fridykare som klagat över blödning från andningsvägarna.

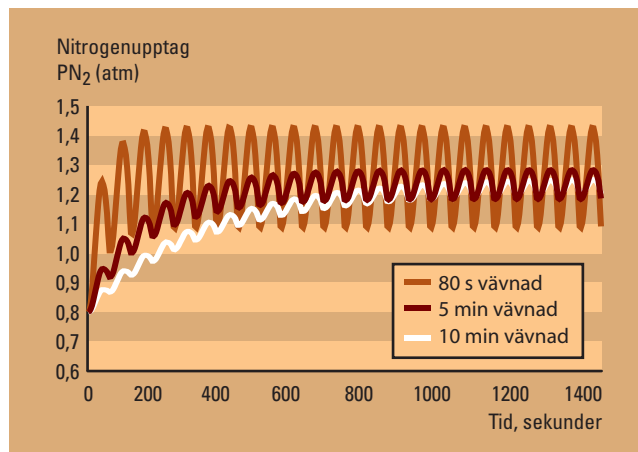
Barotrauma vid uppstigning

I motsats till apparatdykning är det mindre risk för tryckrelaterade problem för fridykaren när han simmar mot ytan. Visserligen expanderar luften i lungorna när det yttre trycket minskar, men i princip kan aldrig gasvolymen överstiga den volym som dykaren startade med vid ytan. Är då fridykaren helt skyddad mot lungbristning och arteriell gasembolisering (AGE) orsakad av övertjoning av lungan? Det finns faktiskt några rapporterade fall av vad som tolkats som AGE efter fridykning [10]. Den bakomliggande patofysiologiska mekanismen är helt okänd. Möjligtvis rör det sig om omfördelning av luft till ett lungsegment där trånga luftrör gör det omöjligt för den komprimerade gasen att snabbt lämna segmentet vid uppstigning.

Barotrauma vid lungpackning

När man ska dyka djupt är stora lungor en fördel; ju mer luft man kan ta med sig, desto djupare kan man dyka innan lungorna når sin residualvolym och det inte går att tryckutjämna öron och bihålor längre. Dessutom innebär en stor lungvolym större syrgasförråd och därmed längre andhållningstid.

Det finns en metod för att öka mängden luft i lungorna. Efter en full inandning pumpar dykaren ner extra luft med en sväljrörelse. Det är samma teknik som lärs ut till postpolio-patienter och ryggmärgsskadade för att hjälpa dem att fylla sina lungor, s k glossofaryngeal breathing. (Tekniken har också kallats lungpackning och grodandning.) Metoden möjliggör en överfyllnad på 1–2 liter över TLC (total lungkapa-



Figur 4. Beräknade nitrogenpartialtryck i tre hypotetiska vävnader med olika halveringstid. Simulering av upprepade 60 sekunders fridykningar till 20 meter med 90 sekunders paus mellan varje dykning.

citet) (Figur 3) [11]. Lungpackning medför dock risker om den överdrivs. Lungpackningen ger ett högt intratorakalt tryck, och fall av pneumotorax och subkutant emfysem har rapporterats vid alltför kraftigt pumpande. Rimligtvis bör det även finnas risk för arteriell gasembolisering. Det höga intratorakala trycket vid lungpackning leder också till att det venösa återflödet minskar, vilket kan leda till synkope [12]. Vanligtvis pumpar dykaren snabbt in luft och startar sin dykning. Då komprimeras luften, och det venösa återflödet återställs innan det hinner leda till cerebral hypotension.

Dekompressionssjuka

Under förutsättning att lungorna är fyllda med luft kommer en ökad mängd nitrogen att lösas in i kroppen under vistelse med förhöjda tryck. Detta sker under både apparatdykning och fridykning. I motsats till apparatdykning förknippas fridykning i vanliga fall inte med dekompressionssjuka. Den korta tid som dykaren är under vattnet och de relativt måttliga djupen gör att väldigt lite extra nitrogen upplagras i kroppen under dykningen. Ett stort antal djupa fridykningar med kort ytintervall kan emellertid leda till en så kraftig gasövermättning att symtom på dekompressionssjuka kan uppträda. År 1965 beskrev E Cross [13] ett neurologiskt syndrom (taravana) som han observerat hos andhållningsdykare från Tuamoto-arkipelagen. Symtomen: vertigo, partiell eller total paralyt och medvetslöshet, påminner om centralnervös dekompressionssjuka. Dykarna genomförde upprepade dykningar till djup större än 30 meter under 6 timmar per dag. Varje dykning tog ungefär 1,5 minut och ytintervallen var 4–10 minuter. På en angränsande ö drabbades dykarna aldrig av taravana. Den enda skillnaden i dykprofil var att deras ytintervall var cirka dubbelt så långa, vilket gav längre tid att vädra ut nitrogenet. I Figur 4 visas hur nitrogenpartialtrycket kan byggas upp i vävnaderna undan för undan vid upprepade fridykningar.

Eftersom det krävs en sådan extremt kraftig »exponering» med många och djupa dykningar för att hamna i riskzonen för dekompressionssjuka har det varit väldigt ovanligt med kliniska fall av dekompressionssjuka i samband med fridykning. Riskerna ökar emellertid när andhållningsdykare, framför allt harpunfiskare, tar till tekniska hjälpmedel som undervattensmopeder för att snabbt komma ner på stora djup [14].

När det gäller de riktigt djupa fridykningarna (»no limits») är det osäkert huruvida dykarna löper risk för dekompressionssjuka. Osäkerhet avseende gasutbytet under betingelser

där lungorna utsätts för squeeze gör det svårt att förutsäga vilka risker dessa djupdykare löper. Åtminstone ett fall av trolig dekompressionssjuka har dock rapporterats i samband med fridykning till 120 meter [15].

Hypoxi och hjärnskador

Ger upprepade andhållningar med hypoxi hjärnskador? Nej, detta är osannolikt, baserat på följande resonemang:

Klinisk erfarenhet tyder på att hjärnan skadas efter 3–4 minuters ischemi, t ex vid hjärtstillestånd. Studier på råttor har visat att 20 minuter total syrebrist inte leder till cellskador i hjärnan så länge cirkulationen består [16]. Ischemi däremot leder till celldöd inom några minuter. Under andhållning kan dykaren utsättas för hypoxi, men cirkulationen består.

Ibland håller apnea-utövarna andan för länge och drabbas av en kortare medvetslöshet. Kortare medvetslöshet hos människor har vetenskapligt utforskats väl på stridsflygare som utsätts för höga G-krafter och drabbas av G-LOC (G-force induced loss of consciousness) när kroppen inte förmår pressa upp blod till hjärnan under skarpa svängar med flygplanet. Inom detta område finns både korttids- och långtidsstudier genomförda, och inget tyder på att detta är skadligt för hjärnan [17, 18].

II Friskintyg, kunskap och omdöme krävs

För att få delta i kurser och tävlingar i fridykning krävs i regel läkarintyg på att man är frisk, oftast skrivet på engelska. Detta görs enklast genom att använda samma standard som utvecklats för apparatdykning. Samma formulär kan med fördel användas.

Fridykning är en populär fritidsaktivitet som kan bedrivas riskfritt. Om emellertid fridykaren försöker pressa sin prestation utöver vad som är bekvämt, t ex vid tävling, ökar riskerna för komplikationer väsentligt, något som både dykaren och de som är ansvariga för verksamheten bör vara medvetna om. De komplikationer som kan uppstå är framför allt drunkning och barotrauma. Man bör dock påpeka att även fridykningsaktiviteter i sällsynta fall kan leda till arteriell gasembolisering och dekompressionssjuka.

Det faktum att det finns människor som frivilligt och regelbundet utsätter sig för dessa speciella påfrestningar som djup fridykning utgör gör det möjligt att studera extrema adaptationsmekanismer gällande hypoxi och hjärt-lungfysiologi på friska människor. Detta är ett värdefullt vetenskapligt komplement till studier på patienter och försöksdjur.

*

Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.

Referenser

1. Craig AB Jr. Summary of 58 cases of loss of consciousness during underwater swimming and diving. *Med Sci Sports* 1976;8:171-5.
2. Craig AB Jr. Causes of loss of consciousness during underwater swimming. *J Appl Physiol* 1961;16:583-6.
3. Örnhammar H. Hyperbar fysiologi och dykerimedicin. Stockholm: Gotab; 1992.
4. Lindholm P. Severe hypoxemia during apnea in humans: influence of cardiovascular responses. Stockholm: Karolinska institutet; 2002.
5. Schaefer KE, Allison RD, Dougherty JH Jr, Carey CR, Walker R, Yost F, et al. Pulmonary and circulatory adjustments determining the limits of depths in breathhold diving. *Science* 1968;162:1020-3.
6. Lund KL, Mahon RT, Tanen DA, Bakhda S. Swimming-induced pulmonary edema. *Ann Emerg Med* 2003;41:251-6.
7. West JB, Mathieu-Costello O. Structure, strength, failure, and remodeling of the pulmonary blood-gas barrier. *Annu Rev Physiol* 1999;61:543-72.
8. Lindholm P, Ekborn A, Gennser M. Pulmonary squeeze and haemoptysis after breath-hold diving; an experimental study in humans.

In: Proceedings of 29th Annual Scientific Meeting of The European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine. Copenhagen: European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine; 2003.

9. Boussuges A, Pinet C, Thomas P, Bergmann E, Sainty JM, Vervloet D. Haemoptysis after breath-hold diving. *Eur Respir J* 1999;13:697-9.
10. Bayne CG, Wurzbacher T. Can pulmonary barotrauma cause cerebral air embolism in a non-diver? *Chest* 1982;81:648-50.
11. Lindholm P, Nyrén S. MRI studies of the glossopharyngeal breathing used by breath-hold divers. In: Proceedings of 29th Annual Scientific Meeting of The European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine. Copenhagen: The European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine; 2003.
12. Andersson J, Shagatay E, Gustafsson P, Örnhammar H. Cardiovascular effects of »buccal pumping« in breath-hold divers. In: Proceedings of 24th Annual Scientific Meeting of The European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine. FOA rapport: FOA-B-98-00342-721-SE. Stockholm: The European Underwater and Baromedical Society on Diving and Hyperbaric Medicine; 1998.
13. Cross E. Taravana: diving syndrome in the Tuamotu diver. In: Rahn H, Yokoyama T, editors. Physiology of breath-hold diving and the Ama of Japan. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council; 1965. p. 207-19.
14. Wong R. Breath-hold diving can cause decompression illness. *SPUMS Journal* 2000;30:2-6.
15. Ferrigno M, Lundgren CEG. Human breath-hold diving. In: Lundgren CEG, Miller JN, editors. The lung at depth. New York: Marcel Dekker, Inc; 1999. p. 529-85.
16. Simon RP. CNS response to hypoxia. In: Sutton JR, Houston CS, Coates G, editors. Hypoxia and the brain. Proceedings of the 9th International Hypoxia Symposium. Burlington: Queen City Printers; 1995. p. 1-7.
17. Wood EH, Lambert EH, Code EH. Do permanent effects result from repeated blackouts caused by permanent acceleration? *J Aviat Med* 1947;18:471-82.
18. Wood EH, Lambert EH, Code CF. Morbidity reduction of inflight acceleration induced loss of consciousness. *Physiologist* 1988; 31(Suppl S):106-9.
19. Liner MH, Ferrigno M, Lundgren CE. Alveolar gas exchange during simulated breath-hold diving to 20 m. *Undersea Hyperb Med* 1993;20:27-38.



= artikeln är referentgranskad

SUMMARY

Breath-hold diving as a recreational and competitive sports activity is on the increase. In this review physiological limitations and medical risks associated with breath-hold diving are discussed. Specific topics include hypoxia, ascent blackout, hyperventilation, squeeze or barotrauma of descent including effects on the pulmonary system, glossopharyngeal breathing, and decompression illness. It is also concluded that the health requirements for competitive breath-hold diving should follow essentially the same standards as used for SCUBA-diving.

Peter Lindholm, Mikael Gennser

Läkartidningen 2004;101:787-90

Correspondence: Mikael Gennser, Swedish Defence Research Agency, Dept of Defence Medicine, FOI, Karolinska institutet, SE-171 77 Stockholm, Sweden