

Tekst: Neal W. Pollock  
Foto: Andrey Bizyukin

**At holde varmen under et dyk er ikke bare et spørgsmål om komfort, men også ydeevne og dekompression. Beskyttelse mod afkøling kan ydes af en række passive såsom isolerende klæder og aktive systemer. Aktive systemer skal dog bruges med særlig forsigtighed, da de markant kan påvirke udvekslingen af gasser og føre til højere dekompressionsrisiko.**

Dykkere som er varme under nedstigning og på bunden men afkølede under opstigning eller stop vil være udsat for et øget dekompressionsstress. Omvendt vil dykkere, der er kolige eller kolde under nedstignings- og bundfaser men til gengæld er varme under opstignings og dekompressions-stop, opleve et lavere dekompressionsstress. Disse forhold må man som dykker være meget opmærksom på, for selvom ens dykkercomputer er i stand til at måle vandtemperaturer, så kan instrumentet ikke registrere eller kompensere for om man er varm eller kold.

Dykning finder sted under temperaturforhold, der spænder fra tropiske have til polare områder. Men mens fysisk komfort, koncentrationsevne og evne til at yde

en vis præstation ofte betragtes som de væsentligste prioriteter, kan vævs- eller kropstemperatur også spille en kritisk rolle i forhold til dekompression. For den kan enten øge eller mindske nettodekompressionsspændingen afhængigt af påvirkningens timing, retning og størrelse.

### US Navy test

Den bedste demonstration af hvordan det forholder sig blev leveret af en undersøgelse af 73 mandlige U.S. Navy-dykkere (alder:  $37 \pm 6$  år; body mass index:  $27,6 \pm 3,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ), som gennemførte i alt 484 dyk under kontrollerede forhold i et test anlæg med trykkammer.<sup>1</sup>

Under denne undersøgelse, der fandt

sted i et såkaldt vådt kammer, foretog forsøgspersonerne dyk til en simuleret dybde på 37 m mens de udførte fysiske øvelser med en betydelig intensitet der var cirka syv gange højere end hvile niveau (syv metaboliske ækvivalenter [MET]). Den dybeste fase af dykkene blev efterfulgt af en lang dekompression (87 minutter) for at imødegå, at

man fik en for lav frekvens af dekompressionssyge (DCS) ud af undersøgelsen. Vandtemperaturen blev holdt konstant i to faser - nedstigning/bund og opstigning/stop.

### Dekompressionsrisiko

De fastsatte temperaturer var henholdsvis  $36^\circ\text{C}$ , hvilket var beskrevet

# Termisk Stress

*Termisk fysiologi og beskyttelse til dykning*



som "Varmt", og 27°C, hvilket blev omtalt som "Koldt". Hvad undersøgelsen kom frem til, var at den største dekompressionsrisiko var knyttet til varme under nedstigning og ophold på bund, hvilket letter optagelse af inert gas i vævene, efterfulgt af koldere forhold under opstigning og stop, hvilket resulterede i en nedsat afgang. Den laveste dekompressionsrisiko blev registeret under forhold der var kolde under nedstigning og på bunden hvilket medførte nedsat optagelse af gas men til gengæld varme under opstigning og stop, hvilket fremmer elimine-

ring af optaget gas, også betegnet som afgang.

### Stor effekt

Det mest overraskende resultat af undersøgelsen var imidlertid hvor betydelig effekten var. "Varm-Kold"-kombinationen der havde en bundtid på 30 minutter resulterede i DCS i 22% af tilfældene, mens "Kold-Varm"-kombinationen, der tilmed havde opnåede en forlænget bundtid på 70 minutter, blot resulterede i DCS i 0,1% af tilfældene. Mens dekompressionsfasen af disse studiedyk var lang i sammenligning med typiske

profiler fra rigtige dyk, illustrerer undersøgelsen meget klart, at krops- eller vævstemperatur kan have en dramatisk indvirkning på dekompression. I lyset heraf kan det dårligt understreges nok hvor vigtigt det er for dykkere at have en rimelig forståelse af termisk fysiologi og stress.

Termisk stress er et udtryk der beskriver temperatur ændringer der er store nok til at udgøre ubehag, påvirke fysiologi eller sågar forårsage død i organismer.

### Varmedudveksling

Der er fire primære mekanismer der har betydning for varme-

udveksling når man dykker; Stråling, ledning, fordampning og konvektion.

Stråling repræsenterer den elektromagnetiske energi, der udstråler fra ethvert objekt til et hvilket som helst køligere objekt adskilt af rummet (luft eller vakuum) for eksempel når vi føler varmen fra en radiator. Ledning repræsenterer varmestrømmen mellem objekter i direkte fysisk kontakt. Isolering repræsenterer det omvendte af ledning, det vil sige modstanden mod varmestrøm. Fordampning repræsenterer den varmeenergi, der bruges til at omdanne

flydende vand til damp som for eksempel fordampning af sved på huden, hvilket tjener til at afkøle kroppen når man har det for varmt. Konvektion repræsenterer varmestrømmen gennem cirkulerende strømme i væske eller gas.

De fleste dykkere er primært optaget af at undgå at fryse – altså at minimere varmetabet – men det er ikke et problem der er forbeholdt koldvandsdykkere. Selv i tropiske farvande kan man blive udsat for betydelig kuldestress hvis man er eksponeret længe nok.

### Varmetab i vand

Den primære årsag til varmetab i vand er ledning. Vandets varmekapacitet (densitet x specifik varme) er over 3500 gange større end lufts, hvilket resulterer i et varmetab der er 20-27 gange større i vand end i luft. Selvom "koldt" kan synes at være en misvisende, eller sågar ekstrem, betegnelse for vand der har en

temperatur på 28°C resulterer længere eksponering til sådanne vand temperaturer ikke desto mindre i betragtelig termisk stress for en ubeskyttet dykker, hvis gennemsnitlige hudtemperatur normalt er omkring 32°C.

### Ledningstab

Beskyttelse mod tab af varme via ledning opnås gennem forbedret isolering. Den optimale beskyttelse eller bedste isolering ydes af et vakuum, et princip som man benytter sig af i termoflasker, og dernæst et luftrum. Men at opretholde et ensartet eller lige tykt lag af luft i f.eks. en tørdragt er svært da gassen vil søge til de højest liggende punkter i en dragt hvilket efterlade et tyndere lag med ringere isolation andetsteds.

Tab af varme via stråling er derimod relativt ubetydelig indenfor dykning. Visse våddragter og tørdragter er forsynet med et varme reflekterende lag på indersiden men effekten heraf



er sandsynligvis ret begrænset i den større sammenhæng.

Tab af varme via fordampning fra huden, altså perspiration, er heller ikke et problem i miljøer med høj relativ fugtighed. Hvis man dykker uden dragt eller i våddragt er man allerede så våd som man kan blive og i en tørdragt vil der hurtigt opnås en luftfugtighed på 100%.

Varmetab via konvektion afhænger i høj grad af dragttype. I tørdragter er konvektion et

mindre problem mens våddragter begrænser det i rimelig grad, såfremt designet og pasformen effektivt minimerer vandcirkulationen. Varmetabet i en våddragt med dårlig pasform kan derimod være betydeligt.

**Selv i tropiske farvande kan man blive udsat for betydelig kuldestress hvis man er eksponeret længe nok.**



### Ubeskyttet nedsænkning i koldt vand

Selv den begrænsede beskyttelse der ydes af en våddragt med dårlig pasform eller ringe tørdragt vil dog til en vis grad moderere termisk stress for de fleste dykkere. Men neddykning i vand uden nogen beskyttende dragt eller ekstreme ekspeditionsdyk kan forårsage betydelig stress. Af den grund bør man have kendskab til effekten af ekstreme påvirkninger.

Nedsænkning i koldt vand af en ubeskyttet person kan beskrives som et kontinuum af fire faser.

#### Kuldechok

Den første er karakteriseret ved den indledende neddykningsreaktion eller "kuldechok", der udvikler sig i de første to minutter. I denne fase stiger pulsen, respirationsfrekvensen og blodtrykket hurtigt, mens blodgennemstrømningen i hjernen falder, da hyperventilation reducerer kuldioxidniveauet i blodet. Effekten af kuldechok øges dramatisk, når man nedsænkes i vand med temperatur under 15°C uden nogen beskyttelse.

#### Svømmefejl

Den anden fase af ubeskyttet neddykning er karakteriseret af en hurtig nedkøling af muskler som medfører en lammende svækkelse. Det er denne fase, hvor der er størst risiko for ubeskyttede svømmere, hvis ikke de besidder tilstrækkelig med opdrift til at holde mund og næse oven vande. Også i dette tilfælde



vil våd- og tørdragte yde beskyttelse, med mindre dragterne er helt uegnede til formålet.

#### Indtræden af hypotermi

Den tredje fase beskrives som langvarig neddykning, hvorunder *hypotermi* har mulighed for at udvikle sig. Hypotermi (græsk hypo-, under og thermia, varme) er underafkøling af kroppen hvorunder temperaturen i kropskernen falder til under 35°C.

Der kan være meget store variationer i hvordan hypotermi kan udvikle sig idet det afhænger af hvor varmt dykkeren er klædt på, kropsmasse, overflade i forhold til volumen, mængde af subkutant fedt, som yder passiv

isolering, mængden af muskulatur, der er i stand til at generere varme gennem kulderystelser, samt vandtemperatur.

Kernetemperaturen holdes normalt på  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ . Mild hypotermi er defineret som en kernetemperatur på 35-32°C. Selv beskedne dragter kan forsinke udviklingen af hypotermi i længere perioder med eksponering.

I de fleste tilfælde hvor dykkere, kommer op fra et dyk og føler sig kolde og måske tilmed ligefrem ryster af kulde, er det dog usandsynligt, at de har opnået tilstrækkelig kerneafkøling til at opfylde definitionen af hypotermi. Når det så er sagt, kan alvorligt ubehag og svækkelse skyldes langvarig kulde-

stress selv uden et markant kernetemperaturfald.

#### Kritisk fase

Den fjerde fase beskriver den kritiske periode, hvor et offer bliver reddet efter en neddykning hvorunder vedkommende har været udsat for en betragtelig kuldepåvirkning. En kombination af håndteringsstress, tab af hydrostatisk tryk fra at blive taget op af vandet og den øgede påvirkning af kredsløbet der deraf følger, kan resultere i et såkaldt "*circum-rescue collapse*". Dette er pludseligt kollaps af det arterielle blodtryk umiddelbart før, under eller kort efter redning fra et hypertermisk miljø, hvilket i værste tilfælde kan være dødeligt.

Den nedsatte hjertefunktion forbundet med høj moderat (32-28°C) eller alvorlig (<28°C) hypotermi er mere tilbøjelige til at være forbundet med kollaps. Det er derfor afgørende, at patientens vitale funktioner nøje overvåges under hele redningsproceduren, da fysiologisk kollaps pludseligt kan forekomme. Dette vil dog kun forekomme under de værste forhold. Et fald i kernetemperaturen ("afterdrop") kan også følge afslutningen af koldt dyk.<sup>6</sup>

Selvom afterdrop som regel ikke er et problem, er det dog vigtigt at være opmærksom på, at

en person med nedsat kernetemperatur kan ende i en forværret tilstand som følge af afterdrop. I et typisk dykkerscenarie er det dog ret usandsynligt.

### Termisk beskyttelse til koldt vandsdykning

Passiv isolering kan leveres af våddragter eller tørdragter. Dog komprimeres neopren under tryk hvilket reducerer isolationsevnen og ændrer pasformen. Aktiv isolering udgøres for eksempel af elektrisk opvarmede beklædningsgenstande eller varmtvandsdragter.

Ved dykning i tørdragt er der som regel tre lag, der bidrager til

varme isolation. Det inderste lag sørger for at transportere fugt væk fra kroppen, når du sveder. Ved at skabe en afstand mellem fugt og hud reduceres fordampningen og dermed det tilhørende tab af varme. Det kan man ikke opretholde inde i en lukket tørdragt hvor der hurtigt opstår høj relativ fugtighed. I stedet ledes fugt væk fra huden for undgå at den køler huden af.

Derudover skal inderlaget også give dig noget varme, når du ikke bevæger dig. Det mellemste lag udgør den primære isolering, hvilket minimerer det varmetab ved ledning. Det yderste lag, der er

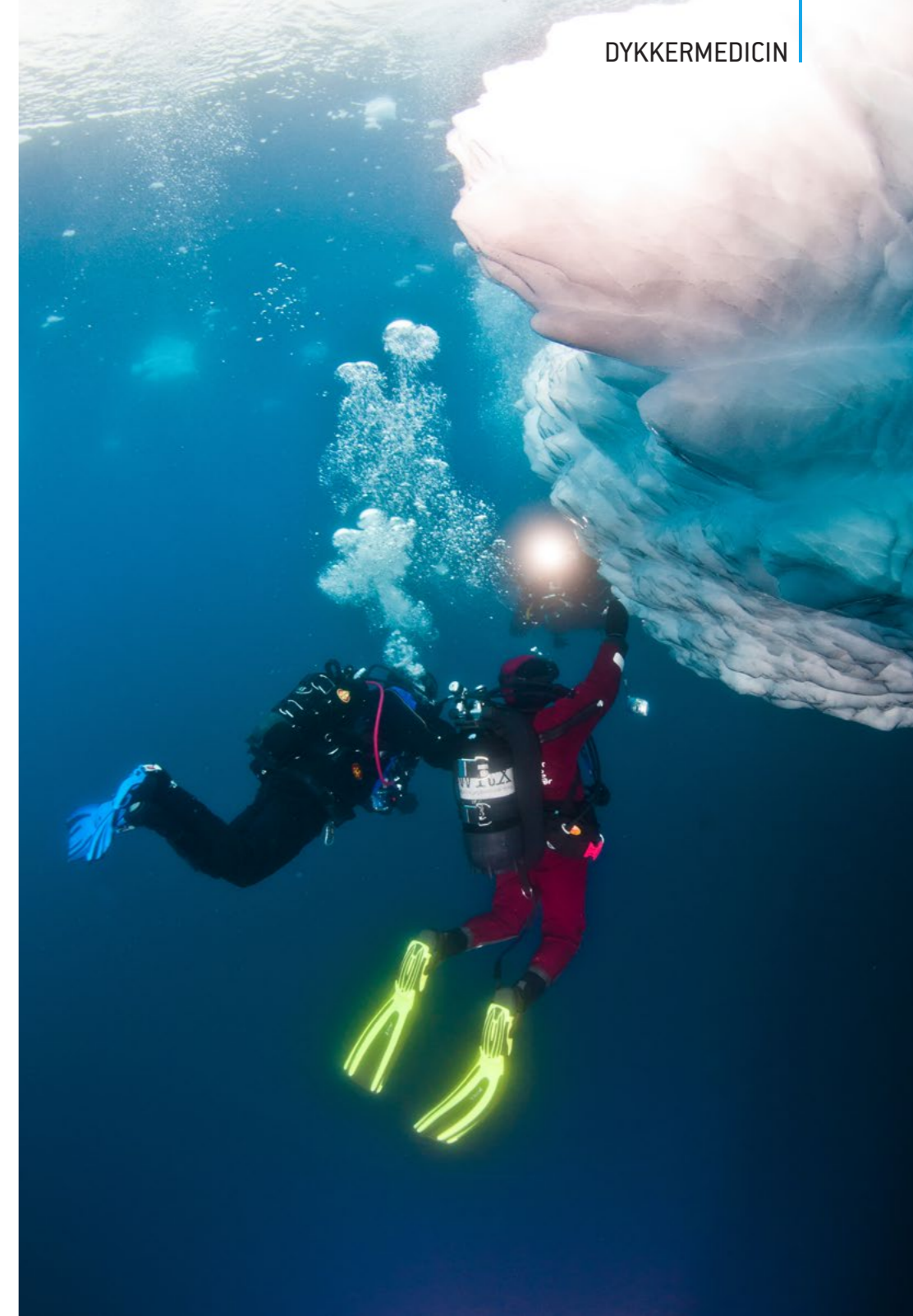
også er et slidlag, reducerer varmetab ved konvektion.

Tørdragter kan være lavet af en række tynde membranmaterialer, standard neopren eller knust neopren som er produceret under større tryk end standard neopren. Isoleringen fra skaldragter yder for det mest en stabil, men dog beskeden termisk beskyttelse. Som det er tilfældet med våddragter, reduceres neopren tørdragters evne til at isolere med et stigende vandtryk. "Knust" neopren yder en generelt større og mere ensartet isolering i hele det typiske dykkerområde.

### Indespærret gas

I en tørdragt er det underdragten og mængden af gas i dragten der yder den største isolation. I den anledning er der udviklet beklædningsmaterialer, såsom syntetiske fibre, der indeholder eller indfanger store mængder af luft samtidig med at de er meget lette.

Det kan dog være problematisk hvis disse materialer let komprimeres under tryk og således mister isolationsevnen hvis man benytter dem til dykning. Thinsulate er det materiale som har vundet størst udbredelse til brug i underdragter indenfor de seneste årtier, men materialet har nogle begrænsninger og formår ikke helt at løse behovet for isolation. Man har derfor forsøgt at udvikle materialer der er stivere for at begrænse kompressionen og dermed isolationsevnen. En sådan indsats har været rettet mod at imprægnere under-



dragter med aerogel som er en meget porøs silicamatrix med lav densitet og ekstremt lav varmeledningsevne. Bestræbelserne går ud på at indlejre aerogelen i strukturen af andre materialer for derigennem at håndtere aerogels relative skrøbelighed og ufleksibelhed.

### Gavn af argon er tvivlsom

Argon var i en årrække populært

som dragtgas men brugen heraf er stort set gået af mode. I teorien skulle argons 30% lavere varmeledningsevne i forhold til luft give en 48% forbedring af dragten isolationsevne (henholdsvis 1,92 vs. 1,30 clo).

Flere studier har dog ikke fundet noget fordele ved brug af argon som dragt gas. I forhold til luft har man ikke kunne konstatere nogen forbedring af



hudtemperatur, kernetemperatur eller opfattet termisk komfort.

Det er sandsynligt, at det omgivende vandtryk får gasboblen til at vandre til det højeste punkt af dragten i stedet for at gassen danner et stabilt grænse-lag rundt om hele kroppen.

Et andet praktisk problem ved brug af argon er, at der kræves betydelige mængder for fuldt ud at skylle luft ud af en dragt. Dette kan være et problem for den budgetbevidste dykker.

### Begrænset anvendelighed

At kombinere argon med en underbeklædning, der bevarer gaskanalerne, kan give en vis forbedring, men fordelene ved brug af argon vil nok være begrænset til lange ekspeditionsdyk, hvor selv små marginer i termisk beskyttelse spiller en rolle. For de fleste dykkere vil der dog være meget større fordele ved brug af materialer med større isolationsevne og bedre design.

### Opvarmede dragte

På markedet findes der nu et større udvalg af elektrisk opvarmede underdragte eller veste til både vådragter og tødragter. Disse systemer er batteridrevne og kommer med et væld af indstillinger og zoner der kan indstilles individuelt. Selvom disse systemer medfører en væsentlig bedre komfort har de også potentialet til at øge dekompressionsstress ved at fremme optagelsen af inert gas, når de bruges under nedstignings-/bundfasen af et dyk.

En reduktion i varmeproduktionen, eller endnu værre, et total nedbrud af systemet senere i dykket vil kunne frembringe den "Varm-Kold"-situation, der viste sig øge dekompressionsstresset på så dramatisk vis i U.S. Navy-undersøgelsen.

Man kan nedsætte denne risiko ved at være disciplineret i brugen af sådanne aktive varmesystemer. For eksempel ved kun at tænde for dem i slutningen af bundfasen.

### Forbehold

Der er legitime bekymringer med denne tilgang. Nedsat koncentration og fysisk ydeevne kan skyldes utilstrækkelig termisk beskyttelse. Spørgsmålet om, hvorvidt systemet vil aktiveres korrekt, når det er nødvendigt, kan være stressende. Endelig kan det være, at sen aktivering ikke vil være tilstrækkelig til at give tilstrækkelig komfort og forbedre dekompressionsresultatet.

Et kompromis kunne være, såfremt man har et system,

der kan indstilles til flere varmeniveauer, at holde det på den laveste indstilling under nedstignings- og bundfasen for derefter skrue op for ydelsen umiddelbart før opstigning. Om dette risikomoment skal tillægges større betydning end den forøgede komfort og hvorvidt disse enheder er forenelige med dekompressionssikkerhed efterstår at blive afklaret.

### Lidt research

Mens der ikke foreligger megen data om dekompressionsfare forbundet med elektrisk opvarmede beklædningsgenstande, er der en hel del litteratur, der omhandler lignende problemer med varmtvandsdragter.

I disse dragter, som primært bruges indenfor erhvervsdykning, pumpes varmt vand ind i

en vådragt, som fordeler vandet rundt om dykkerens krop, før ledes ud i det omgivende hav. En ekstra fordel ved disse systemer ved dybe dyk er at det opvarmede vand kan passere gennem en varmeveksler der opvarmer den gas som dykkeren indånder.

Sammenlignet med passiv isolering har man kunne konstatere at brug af varmtvandsdragter er forbundet med en øget risiko for DCS. En sekundær bekymring er, at den aktive opvarmning af huden effektivt neutraliserer de kuldereceptorer, der primært findes i huden. Dette kan muligvis hæmme den fysiologiske reaktion på respiratorisk afkøling.<sup>3</sup> Det er derfor tænkeligt, at en dykker ikke ville være opmærksom på kernetemperaturfald hvis hudtemperaturen er opretholdt på normalt niveau.

### Overvågning af termisk status og dekompressionsstress


Termisk stress bestemmes af den anvendte termiske beskyttelse, dykkerens kondition og fysiske aktivitet. Det afspejles ikke af vandtemperaturen, som er den eneste termiske måling, der registreres af eksisterende dykkercomputere. Nuværende dekompressionsalgoritmer indregner heller ikke termisk status, selvom denne faktor kan påvirke dekompressionssikkerheden væsentligt.

Mens overvågning i realtid en dag vil muliggøre justering af dynamisk dekompressionsalgoritme, er den bedste beskyttelse for nuværende dykkere en grundig vurdering af farerne og velovervejede beslutningstagning, der favoriserer sikkerheden, selvom det er





på bekostning af komfort.

Bestræbelser på at undgå at være varm i perioder med optagelse af inert gas og kold i perioder med eliminering af inert gas bør være et minimumsmål. At forblive køligt under ned-/bundfasen og noget varmere under op-/stopfasen er optimalt, så længe opvarmningen ikke opnås ved den fysiske indsats, der også kan fremme bobledannelse. Det er god praksis at øge dekompressionssikkerhedsbufferne til termiske forhold, der er mindre end optimale. 

**Neal W. Pollock, Ph.D.**, er tidligere forskningsdirektør ved Divers Alert Network og forskningsmedarbejder ved Center for Hyperbaric Medicine and Environmental Physiology, Duke University Medical Center,

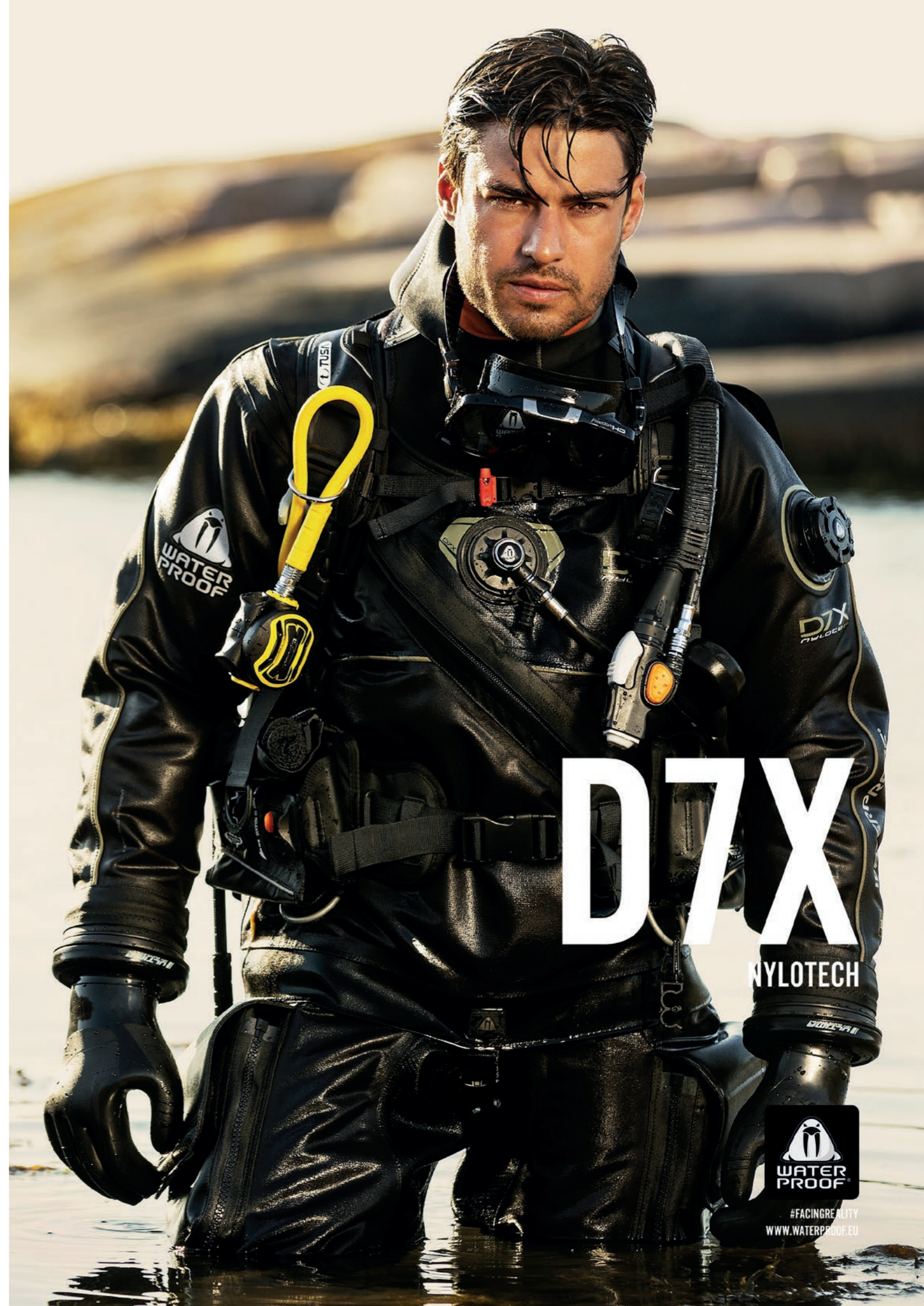
*Durham, North Carolina, USA. For indeværende er Dr Pollock Research Chair in Hyperbaric and Diving Medicine ved Laval University, Quebec.*

#### REFERENCER:

1. GERTH WA, RUTERBUSCH VL, LONG ET. THE INFLUENCE OF THERMAL EXPOSURE ON DIVER SUSCEPTIBILITY TO DECOMPRESSION SICKNESS. *NEDU REPORT TR 06-07*. NOVEMBER, 2007; 70 PP.
2. GOLDEN F ST.C, HERVEY GR, TIPTON MJ. CIRCUM-RESCUE COLLAPSE: COLLAPSE, SOMETIMES FATAL, ASSOCIATED WITH RESCUE OF IMMERSION VICTIMS. *J ROY NAV MED SERV*. 1991; 77: 139-49.
3. HAYWARD JG, KEATINGE WR. PROGRESSIVE SYMPTOMLESS HYPOTHERMIA IN WATER: POSSIBLE CAUSE OF DIVING ACCIDENTS. *BRIT MED J*. 1979; 1(6172): 1182.
4. LEFFLER CT. EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE RISK OF DECOMPRESSION SICKNESS IN SURFACE DECOMPRESSION DIVERS. *AVIAT SPACE ENVIRON MED*. 2001; 72(5): 477-83.
5. LIPPITT MW, NUCKOLS ML. ACTIVE DIVER THER-

MAL PROTECTION REQUIREMENTS FOR COLD WATER DIVING. *AVIAT SPACE ENVIRON MED*. 1983; 54(7): 644-8.

6. POLLOCK NW. SCIENTIFIC DIVING IN ANTARCTICA: HISTORY AND CURRENT PRACTICE. *DIVING HYPERB MED*. 2007; 37(4): 204-11.
7. POLLOCK NW. THERMAL STRESS AND DIVER PROTECTION. IN: VANN RD, DENOBLE PJ, POLLOCK NW, EDS. *REBREATHER FORUM 3 PROCEEDINGS*. ORLANDO: FL: 2014; 66-71.
8. RISBERG J, HOPE A. THERMAL INSULATION PROPERTIES OF ARGON USED AS A DRY SUIT INFLATION GAS. *UNDERSEA HYPERB MED*. 2001; 28(3): 137-43.
9. SHIELDS TG, LEE WB. THE INCIDENCE OF DECOMPRESSION SICKNESS ARISING FROM COMMERCIAL OFFSHORE AIR-DIVING OPERATIONS IN THE UK SECTOR OF THE NORTH SEA DURING 1982/83. DEPT OF ENERGY AND ROBERT GORDON'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY: UK, 1986.
10. VRIJDAG XCE, VAN OOIJ PJAM, VAN HULST RA. ARGON USED AS DRY SUIT INSULATION GAS FOR COLD-WATER DIVING. *EXTREME PHYSIOL MED*. 2013; 2(17): 1-6 [OPEN ACCESS].



# DTX

NYLOTECH

  
WATER  
PROOF

#FACINGREALITY  
WWW.WATERPROOF.EU