

Endringer – 4. utgave Rev C av NDBT

Jan Risberg (post@dykketabeller.no)

Utkast til ny 4. Utgave av Norske Dykke- og Behandlingstabeller (NDBT) ble sendt til høring april 2016. Høringskommentarene til det første utkastet (Rev A) er mottatt og behandlet og endringer innskrevet i en ny versjon (Rev C¹) av tabellene. Dette dokumentet oppsummerer de viktigste endringene i 4. utgave, Rev C av Norske Dykke- og Behandlingstabeller (NDBT) sammenlignet med Rev A. Dokumentet er delt i tre deler. Den første delen beskriver og begrunner de prinsipielle valgene som er tatt i dette revisjonsforslaget. Den andre delen gir summarisk oppstilling av vesentlige endringer i tabelltekst og innhold. Det er gjort en rekke språklige endringer i teksten – disse er ikke listet hvis ikke de har hatt betydning for bruk/fortolkning. I den tredje delen er det to vedlegg. Vedlegg A gir bakgrunnsinformasjon om OD-O2 tabellene. Vedlegg B inneholder endringsloggen til første revisjonsutkast slik det ble sendt ut april 2016.

Endringer i 4. utgave som følge av mottatte høringskommentarer

4. utgave Rev A av NDBT ble sendt til høring 6.4.16. Vi har mottatt en rekke høringskommentarer. Forslag som er innarbeidet er tydeliggjort i egne avsnitt på de etterfølgende sidene. Prinsipielt viktig endringer er presentert i egne kapitler i første del av dette dokumentet.

Multilevel-dykking

Vårt opprinnelige forslag til prosedyrer for multilevel-dykking er trukket tilbake. I vårt første forslag beskrev vi en prosedyre hvor multilevel-dykking kunne gjennomføres som en serie av gjentatte dykk med hensyntagen til Nitrogengruppe fra foregående dykk. Denne prosedyren hadde grunnleggende svakheter ved lange og dype dykk og er av den grunn trukket tilbake. Vi har erstattet den med en vesentlig mer konservativ prosedyre som likevel er basert på samme prinsipp med bunntidstillegg på de grunnere etappene basert på N2 gruppe fra foregående trinn. Den mest vesentlige delen av prosedyrejusteringen er at bunntiden på alle etapper må være innenfor grensen for direkteoppstigningsdykk. Det tillates altså ikke multilevel-dykk med dekompresjon i sjø. Prosedyren i NDBT 4. Utg Rev C er i samsvar med kanadiske prosedyrer utarbeidet av DCIEM (11). Fordi det er minimalt tilgjengelig dokumentasjon om sikkerheten ved slik (multilevel) bruk av tabellene har vi likevel valgt å gi en rekke restriksjoner i bruk. Når det er tilgjengelig erfaringsdata fra multilevel-dykkingså bør prosedyrene revurderes.

Overflatedekompresjon med oksygen

OD-O2 prosedyrene i NDBT har alltid vært basert på de amerikanske (USN). I forrige (tredje) utgave av NDBT var dekompresjonsanvisningene i NDBT vesentlig mer konservativ enn de originale amerikanske (USN 1951). Norske tabeller anviste både lengre dekompresjonstid i sjø, lengre oksygenpustetid i kammer samt en saktere dekompresjon i kammer tilbake til overflatetrykk hvor dykkeren skulle puste oksygen. Samlet har trolig disse tiltakene bidratt til at NDBT har fungert godt også for dykk med overflatedekompresjon. I Rev A av utkastet til nye NDBT anbefalte vi videreført den "særnorske" prosedyren med 1 m/min dekompresjonshastighet i kammer fra 12m til overflaten. Tanken var at denne særnorske tilpasningen av de amerikanske tabellene hadde bidratt til en gunstig reduksjon av trykkfallssyke. I etterkant konkludert med at det er inkonsistent å videreføre deler av de gamle prosedyrene uten å kunne begrunne det godt. I Rev C av NDBT er derfor OD-O2

¹ Rev B fikk status som internt arbeidsdokument i forfatterkollegiet og er ikke distribuert eksternt.

prosedyrene til USN akseptert slik de er publisert i US Navy Diving Manual Rev 6. De eneste tilpasningene vi har valgt å gjøre er å gjøre tabellene metriske og benytte parametersettet VVAL79 slik USN sitt forskningscenter (NEDU) har anbefalt i sin seneste rapport (8).

OD-O2 tabellene: Hvordan kan nye prosedyrer med kortere vannstopp i sjø gi bedre sikkerhet for TFS enn gamle prosedyrer?

Vi har fått mange kommentarer, spørsmål og innvendinger mot de nye OD-O2 prosedyrene som har kortere vannstopp enn de som var angitt i NDBT Rev 3. Skepsisen er forståelig –intuitivt vil man forvente at kortere vannstopp vil øke risikoen for trykkfallssyke.

OD-O2 tar utgangspunkt i at det ikke dannes så mye bobler i overflateintervallet på 5 min at det rekker å utvikle seg sykdom. Praksis har vist at teorien stemmer –i alle fall hvis man likestiller ”behandlet trykkfallssyke” med sykdom. Det er mulig at OD-O2 kan forårsake helseskade på sikt (og mange er skeptiske til dykkemetoden ut fra en prinsipiell oppfatning om at det må være uheldig å dykke på en måte som potensielt utløser bobler i overflateintervallet som deretter må behandles med oksygenpusting på trykk). Det finnes imidlertid ikke data som sannsynliggjør en slik konklusjon, og ved vurdering av dekompresjonsanvisninger for OD-O2 dykkene har vi tatt utgangspunkt i at metoden er forsvarlig forutsatt at dekompresjon gjennomføres korrekt. Den øvrige diskusjonen i dette kapitlet vil drøfte hvordan dekompresjonstiden best bør utnyttes for å redusere risikoen for TFS.

NDBT 3. utgave sine OD-O2 tabeller skulle i prinsippet være like med US Navy Diving Manual Rev 5 sine med unntak av at tabelltiden skulle beregnes konservativt (1% tillegg i tabelltid for hver meter dybde dypere enn 20m, et dykk til 40m skulle derfor beregnes ut fra en tabelltid 20% lenger enn det USN anbefaler).

For det første: Forskjellen i omfang av vannstopp ved sammenligning av NDBT Rev 3 og Rev 4 er mindre enn man kan få inntrykk av ved en første sammenligning av tabellene. NDBT Rev 3 inkluderte oppstigningstiden fra bunn til første dekompresjonsstopp i dekompresjonstiden på dette stoppet. I Rev 4 er tid på dekompresjonsstopp ”dead stop” og oppstigningstiden kommer i tillegg. I praksis gjør dette at man må trekke 2-4 min fra vannstopp-tidene angitt i NDBT Rev 3 for å kunne sammenligne med NDBT 4. utgave.

For det andre: Forskjellen i omfang av vannstopp ved sammenligning av Rev 3 og Rev 4 av NDBT er mest uttalt for undergrupper av dykk. Den ene gruppen er stjernemerke dykk i dybder ned til 30m. Fra 33 m blir forskjellene gjeldende også for de lengste ikke-stjernemerke dykkene, men det er hovedsakelig i 42-51m tabellene at forskjellene blir store (>5 min forskjell i vannstopp). En viktig årsak er at NDBT Rev 4 har grunneste vannstopp for OD-O2 på 12m, mens Rev 3 hadde 9m som grunneste stopp. Dette forkorter i vesentlig grad dekompresjonstiden i sjø i de nye tabellene.

For det tredje: Vi har valgt å akseptere de risikoestimatene som er utarbeidet av US Navy. En tilpasning av tabellene (f.eks med lengre dekompresjonstid i sjø ved OD-O2) kan tenkes å bedre sikkerheten ytterligere, men vi har ingen mulighet for å fastslå størrelsesorden av sikkerhetsgevinst. Like viktig: Man kan ikke utelukke at lengre (og dype) dekompresjonsstopp i sjø kan tenkes å bidra til en ytterligere gassmetning og på den måten øke risikoen for trykkfallssyke. Det faktum at vi ikke har beregningsmetoder for dekompresjon som er kvalifisert bedre enn det US Navy har brukt er den viktigste årsaken til at vi velger å akseptere tidene for vannstopp som anbefalt i deres prosedyrer.

Tydeliggjøring av britiske bunntidsbegrensninger

Petroleumsrelatert dykking er bundet av britiske bunntidsbegrensninger. Disse ble også i forrige (tredje) utgave av NDBT publisert i form av en tabell. For å forenkle bruken av tabellene ved petroleumsrelatert dykking har vi markert britiske bunntidsgrenser med en uthevet grenselinje i alle tabeller. Ved annen dykking som ikke er underlagt petroleumsregelverket så er det "stjernemarkering" som indikerer dykk med uakseptabel høy risiko for TFS, urimelig lang dekompresjonstid i sjø eller for lang oksygenpustetid i kammer ved OD-O2. Tydeliggjøring av bunntidsbegrensningene i tabellene markerer altså ikke noen prinsipielt endret oppfatning av sikkerheten ved tabellene.

Hva er en riktig grense for pO₂ i pustegass i sjø?

Hyperoksi (høyt partialtrykk av oksygen) kan forårsake helseeffekter. NDBT har angitt eksponeringsgrenser (i daglig og ukentlig dose – OTU) som først og fremst skal begrense sannsynligheten for lungefunksjonsreduksjon. Disse grenseverdiene videreføres og vil ikke bli drøftet videre her.

Når det gjelder eksponeringsgrenser for å unngå akutt oksygenforgiftning så har NDBT Rev 4 anbefalt at pO₂ i pustegassen ikke tillates å overskride 1,5 Bar. Dette er en vesentlig reduksjon i forhold til Rev 3 hvor øvre grense var 1,7 Bar.

Det er vanskelig å fastsette en "riktig" øvre grense for oksygen i dykkers pusteluft for å unngå akutt oksygenforgiftning. Usikkerheten avspeiles i de ulike valgene som er tatt:

- 1,4 Bar: US Navy (USA), HSE (UK),
- 1,5 Bar: NORSOK U-100 (Norge)
- 1,6 Bar: Arbetarskyddstyrelsen (Sverige), NOAA (USA)

pO₂, eksponeringstid, omgivelsestemperatur, omgivelsesmiljø (vann/tørrt miljø), arbeid, CO₂ retensjon, inertgass og omgivende totalt trykk er faktorer som er kjent å påvirke risikoen for akutt oksygenforgiftning. Ideelt burde terskelverdi for pO₂ være avhengig av eksponeringstiden samt forekomst av de andre risikofaktorene. For det første er dette praktisk vanskelig å gjøre (når er et dykk «tungt» eller «kaldt?»), for det andre er det alt for lite data tilgjengelig til å kunne utarbeide etterprøvbare grenseverdier avhengig av tilstedeværelse av risikofaktorer. Derimot er det data tilgjengelig som gjør det mulig å fastsette eksponeringsgrenser for pO₂ justert for dykkets lengde. Dette var gjort i NDBT Rev 3 og var prinsipielt en faglig fornuftig løsning (grenseverdi for pO₂ varierte mellom 1,5 og 1,7 avhengig av eksponeringstid). Med unntak av grenser for pO₂ ved grunn svømmedykking med 100% oksygen i Forsvaret så er det med unntak av NOAA ikke tradisjon for å bruke tidsdifferensierte eksponeringsgrenser ved dypere Nitrox-dykking. Et ønske om å ha en enkel grenseverdi å forholde seg til har vært utslagsgivende når vi i NDBT Rev 4 har satt en fast grenseverdi på 1,5 Bar.

I forfatterkollegiet har vi vært usikre på hvilken øvre pO₂ grense vi burde anbefale. En DAN-proceeding fra 2009 (9) gir en utmerket gjennomgang av kunnskapsgrunnlaget for å fastsette eksponeringsgrenser for oksygen. Den inneholder referanser til de viktigste publikasjonene for den som vil undersøke detaljene. Rapporten gir gode holdepunkter for å fastslå at grenseverdien for en eksponeringstids-uavhengig grenseverdi for pO₂ bør ligge et sted mellom 1,3 og 1,6 Bar. Rapporten refererer to ulike modeller (Harabin/US Navy (19) og Vann/Duke (20)) som har en asymptotisk 0% risiko for akutt oksygenforgiftning med pO₂ grenseverdi på hhv 1,3 og 1,5 Bar for å utvikle akutt oksygenforgiftning. I de tilgrunnleggende studiene er laveste pO₂ som har utløst kramper 1,8 Bar, men fordi andre symptomer har oppstått ved lavere pO₂ angir modellene terskelgrenser på 1,3 og

1,5 Bar. Disse terskelverdiene tar hensyn til at dykkeren er i vann og arbeider, men har ikke vært gjort med et stort kuldestress. De tar heller ikke hensyn til den økede risikoen knyttet til CO₂ retensjon/øket pustegasstetthet og øket pN₂. Dette er faktorer som tilsier at man bør ha et konservativt anslag for pO₂ (velge en lav verdi). På den annen side vil restriksjon i pO₂ begrense effektiviteten av dykkeoperasjonen ved at den ekvivalente dykkedybden blir dypere. For hver 0,1 Bar reduksjon i pO₂ vil man «miste» 1,3 meter i ekvivalent luftdybde. Vi er ikke kjent med problemer relatert til akutt oksygenforgiftning med de anbefalingene som har vært gitt i tidligere utgaver av NDBT. pO₂ grensen på 1,5 Bar slik den er satt i NDBT Rev 4 er satt ut fra en samlet vurdering av den teoretiske sannsynligheten for å utvikle akutt oksygenforgiftning, norsk og internasjonal erfaring med rapporterte tilfeller av akutt oksygenforgiftning i sjø og behovet for å redusere pN₂ mest mulig for å gjennomføre effektiv dykking med minst mulig risiko for TFS. Dette er en skjønnsanvendelse og individuell risikoaksept gjør at andre kan komme til andre konklusjoner.

1. Oljedirektoratet. Rapport om standard dekompresjonstabeller for overflateorientert dykking. YA-776. Oljedirektoratet 1994
2. Nasjonal behandlingstjeneste for yrkesmedisinsk utredning av dykkere. Dykkerstudien 2011. Rapport. Norsk senter for dykkemedisin. Yrkesmedisinsk avdeling, Haukeland Universitetsykehus, Bergen 2013.
3. Segadal K. Sammenligning av dekompresjonstabeller for overflateorientert dykking. NUI-rapport 01-2014. NUI, Bergen 2014
4. van Liew HD, Flynn ET. Decompression tables and dive-outcome data: graphical analysis. Undersea Hyperb Med 2005;32:187-98
5. Gerth WA, Doolette DJ. VVal-18 and VVal-18M Thalmann algorithm air decompression tables and procedures. TR 07-09. US Navy Experimental Diving Unit, Panama City, FL 2007.
6. Shields TG, Duff PM, Wilcock SE, Giles R. Decompression Sickness From Commercial Offshore Air-Diving Operations on the UK Continental Shelf During 1982 to 1988. Proceedings Subtech '89. SUT, 1989:259-77.
7. DCIEM Diving Manual. DCIEM Report No. 86-R-35. Defence and Civil Institute of Environmental Medicine. Ontario, Canada, 1992.
8. Gerth WA, Doolette DJ. VVal-79 Maximum Permissible Tissue Tension Table for Thalmann Algorithm Support of Air Diving. TR 10-12. US Navy Experimental Diving Unit, Panama City, FL 2012.
9. Vann RD, Hamilton RW. Central nervous system oxygen toxicity. I: Vann RD, Mitchell SJ, Denoble PJ, Anthony TG eds. Technical Diving conference proceedings. Durham, NC: Divers Alert Network; 2009: 38-66. Lastet ned 15.7.16 fra http://www.diversalertnetwork.org/files/Tech_Proceedings_Feb2010.pdf
10. Decompression theory. Wikipedia. Tilgjengelig 18.7.16 fra https://en.wikipedia.org/wiki/Decompression_theory
11. Hawkins JA, Shilling CW, Hansen RA. A suggested change in calculation decompression tables for diving. Nav Med Bull Wah 1935;33:327-333 (Sitert i Hempleman HV. Decompression theory. I: Bennett P, Elliott D (eds). The physiology and medicine of diving. 4th edition. Saunders, London 1993.)
12. Yarbrough OD, Behnke AR. The treatment of compressed-air illness utilizing oxygen. J Indust Hyg Toxicol 1938;21:213-218. (Sitert i Hempleman HV. Decompression theory. I: Bennett P, Elliott D (eds). The physiology and medicine of diving. 4th edition. Saunders, London 1993.)

13. Van der Aue OE, Kellar RJ, Brinton ES, et al. Calculation and testing of decompression tables for air dives employing the procedure of surface decompression and the use of oxygen. Report No 1. Washington, DC: US Navy Experimental Diving Unit;1951
14. Dwyer JV. Calculation of air decompression tables. Research report 4-56. Washington, DC: US Navy Experimental Diving Unit; 1956
15. Des Granges M. Standard Air Decompression Table. Research Report 5-57. Washington, DC: US Navy Experimental Diving Unit;1956
16. Workman RD. Calculation of decompression schedules for nitrogen-oxygen and helium-oxygen dives. Research Report 6-65. Washington, DC: US Navy experimental Diving Unit; 1965
17. Tikuisis P, Gerth WA. Decompression theory. I: Brubakk AO, Neuman TS. Bennett and Elliott's: Physiology and medicine of diving. 5th edition. Saunders: 2003.
18. Arntzen AJ, Eidsvik S. Modified air and nitrox diving- and treatment tables. NUI Report 30-80. Bergen: NUI; 1980
19. Harabin AL, Survanshi SS. Homer LD. A model for predicting central nervous system toxicity form hyperbaric oxygen exposure in man: Effects of immersion, exercise, and old and new data. NMRI Report 94-03. Bethesda, Maryland: Naval Medical Research Institute: 1994
20. Van RD. Oxygen Toxicity Risk Assessment. Final Report on ONR Contract N00014-87-C-0283. Durham, NC; F.g. Hall Environmental Research Laboratory: 1988.

Endringer gjennomført i NDBT 4.utgave etter at hørings svar på ver A var mottatt

Generelt

Kapitler som ikke er listet under har ingen vesentlige endringer i innhold. Språklige justeringer og rene skrivefeil omtales bare unntaksvis.

Innledning

Referert til riskoberegning utført av Ed Flynn for TFS ved bruk av NDBT 3. utgave sine OD-O2 tabeller.

Standardtabell

Språklige presiseringer om at tiden fra bunn til første dekompresjonsstopp ikke skal inkluderes i tid på stoppet og at oppstigningstiden mellom stoppene er 10 m/min (kun språklige endringer).

Språklig presisering av at selv om enkeltdykk rent definisjonsmessig er dykk som gjennomføres mer enn 16t etter foregående dykk så er det ikke automatisk slik at et gjentatt dykk skal få bunntidstillegg.

Rettelse i eksempelet for beregning dekompresjonsprosedyre for gjentatt dykk som følge av justering av tabell for reduksjon av N2 gruppe (se under).

Flyging etter dykking

Feil i tabellen med angivelse av ventetid for N2-gruppe J er rettet

Et punkt om dekompresjon ved redningsdykking i fjellvann etter foregående treningsdykk i sjø, relevant for redningsdykkere, er skrevet inn. Et eksempel er tatt inn for å illustrere fortolkning.

Multilevel-dykking

Kapitlet er omskrevet og begrenser muligheten for multilevel-dykk til de dykkene hvor dykkeren til enhver tid kan gå til overflaten uten å gjennomføre dekompresjonsstopp.

Dykking i petroleumsvirksomheten

Kapitlet har fått et tillegg med et eksempel som illustrerer anvendelse av tabellene ifm petroleumsrelatert dykking.

Oksygenforgiftning

Formel for korrekt beregning av trykkavhengig konstand (k_p) er satt inn (var ved en feil utelatt i ver A)

Feil i regneksempelet (for total OTU-belastning) korrigeret.

Dykking med Nitrox

En feil i formelen for beregning av ELD korrigeret.

Overflatedekompresjon med oksygen

Presisering av at overflateintervallet skal regnes fra det tidspunktet dykkeren forlater 12m – enten dette er når dykkeren passerer denne dybden på vei opp fra et dykk som ikke krever dekompresjonsstopp i sjø eller når dykkeren har avsluttet dekompresjonstiden på 12m-stoppet.

Beskrivelse av hvordan dekompresjon i kammer skal justeres hvis dykkeren har behov for ekstra luftepauser.

Presisering av at overflateintervallet etter et OD-O2 dykk skal være minimum 18 timer.

Oppstigningshastighet i kammer (fra 12m til overflate) skjer 10 m/min og dykkeren puster kammergass under dekompresjon.

Bruk av tabellene er illustrert med to eksempler.

Standardtabellene (12-60m)

En rekke feil i 15m og en feil i 18m tabellen korrigert.

Grafisk så er det trukket en uthevet horisontal linje for å tydeliggjøre britiske bunntidsbegrensninger.

Justering av N2-gruppe ved opphold på overflaten

Tabellen er justert slik at ethvert overflateintervall entydig vil tilhøre en bestemt N2 gruppe. Dette er gjort ved å øke øke start-tidspunktet på hvert overflateintervall med 1 min. Justeringen er begrunnet med at dette vil forenkle innlæring av tabellen – det var ikke noe faglig behov for endringen.

Korreksjon for dykkestedets høyde over havet

Feil i tillegg av N2 gruppe avhengig av høyde er korrigert. Presisering av at man ved foregående O2-O2 dykk må vente minimum 16t før dykking i høyden.

ELD tabellene

Reformattert/justert for å dekke ELD-området fra 9m i alle tabeller. Grense for pO2 (1,5 Bar) markert med uthevet horisontal strek kursivert profiler med høyere pO2.

OD-O2 tabellene (15-51m)

Total dekompresjonstid fullstendig omregnet/rettet slik at de omfatter tid fra bunn forlates til kammeret er ferdig dekomprimert tilbake til overflatetrykk (inkludert luftepauser).

Oksygenpustetiden angitt i minutter (ikke i 30 min perioder som i Rev A)

Små endringer i dekompresjonsanvisningene for tabellene på 27m og 36-51m grunnet valg av VVAL79 parametersett (i stedet for VVAL18M).

Britiske bunntidsbegrensninger er markert med en uthevet horisontal linje i tabellene.

Forebyggelse av trykkfallssyke

Sikkerhetsstopp anbefalt på *alle* dykk, men tydeliggjort at unnlatelse av sikkerhetsstopp ikke er å anse som et brudd på tabellene.

Dype kammerdykk

Moderate justeringer i dekompresjonsanbefalingene. Det er tatt utgangspunkt i US Navy Diving Manual Rev 6 sin prosedyre for dekompresjon med oksygen i sjø. Innskjerpning/begrensning i mulighet for flyging og dykking etter dypt kammerdykk.

Tiltak ved ukontrollert oppstigning

Ved ukontrollert oppstigning eller utelatt dekompresjon med OD-O2 skal dykkeren behandles med Tabell 5 uavhengig av omfang av utelatt dekompresjonstid.

Flowchart justert som følge av ovenstående og presentert i en mer logisk sekvens.

Tiltaksplan ved dykkerulykker

Gjeldende plakat for HLR (2016-utgaven) erstatter plakaten brukt i Ver A. Samtykke er innhentet fra Norsk Resuscitasjonsråd.

Behandlingstabellene

Endring i grafisk formgivning/fontvalg på enkelte behandlingstabeller slik at de skal være lettere å lese. Tabell 6He hadde korrekt grafisk framstilling, men flere feil i den tabellariske framstillingen av behandlingstabellen – disse er rettet.

Vedlegg A

Historisk gjennomgang av prosedyrer for overflatedekompresjon med oksygen

Formål

Formålet med dette vedlegget er å gi interesserte lesere en kort historisk bakgrunn for utvikling av prosedyrer for overflatedekompresjon med oksygen. En slik forståelse vil gjøre det enklere å ta stilling til hvordan disse dykkeprosedyrene kan gjøres sikrest mulig.

Krav til bakgrunnskunnskap

Det vil være vanskelig å forstå innholdet i dette vedlegget uten grunnleggende kunnskap om dekompresjonsteori. Av kapasitetshensyn har jeg ikke hatt mulighet til å gi en slik introduksjon, men en gjennomgang av emnet "Decompression theory" på engelskspråklig Wikipedia (10) vil gi en god bakgrunn for å kunne forstå detaljene. Referanselisten finnes tidligere i dette dokumentet.

Utvikling av prosedyrer for overflatedekompresjon fram til 1951

Overflatedekompresjon har sin historiske opprinnelse i Storbritania i 1914 og 1917 ved bergingsdykking på vrakene Empress of Ireland og Laurentic. I 1925 gjennomførte den amerikanske marinen berging av en ubåt. Prosedyrene som ble brukt da var overflatedekompresjon *med luft som pustegass*. De britiske dykkene ble gjennomført ved at dykkerne ble tatt direkte opp fra bunn og inn i et trykkammer på overflatefartøyet (bunntid begrenset til 20 min). De amerikanske prosedyrene innebar at første del av dekompresjon ble gjennomført i sjø. I 1935 utviklet Hawkins og Shilling (11) overflatedekompresjonsprosedyrer uten bruk av dekompresjonsstopp i sjø. Det ble utarbeidet tabeller for en rekke profiler hvor hele dekompresjon ble gjennomført i trykkammer i stedet for i sjø (det var altså ikke noen tidsmessig gevinst i denne prosedyren, men dykkeren unngikk lange dekompresjonsstopp i sjø). I 1937 tok USN i bruk nye standardtabeller basert på arbeidet til Hawkins og Yarbrough (11,12). Et utvalg av disse ble godkjent for bruk med overflatedekompresjon. Dykkerne gjennomførte det første dekompresjonsstoppet i sjø på vanlig måte og ble deretter rekomprimert i trykkammer til samme dybde som dypeste dekompresjonsstopp og dekompresjon på denne og etterfølgende dybder gjennomført som anvist av standardtabellen.

Van der Aue i USN publiserte (13) 1951 de prosedyrene for overflatedekompresjon med oksygen som er grunnlaget for NDBT. Det ble gjennomført imponerende 1576 dykk totalt. Resultatet var spesifikke tabeller for overflatedekompresjon med oksygen som ikke lenger var basert på standardtabell. Uttesting av tabellene ble gjort slik:

- 1167 dykk i dybdeområdet 12-63 meter (benyttet for å beregne tillatt overmetning – se under)
- 212 verifikasjonsdykk i varmt vann (Florida), ni tilfeller av TFS (4,25%)
- 151 verifikasjonsdykk i kaldt vann, en dykker med TFS (0,7%).

Dekompresjonsteori – OD-O2

Van Der Aue (13) gjennomførte forsøkene (se over) for å finne følgende resultater:

- Hva er største tillatte overmetning vevene² kan tillates å ha ved direkteoppstigningsdykk uten dekompresjon i sjø (eller kammer) med oppstigningshastighet 7,5 m/min?
- Ved OD-O2 dykk: Hva er største tillatte overmetning vevene kan ha på de ulike vannstopp som må gjøres før dykkeren kan svømme til overflaten?
- Ved OD-O2 dykk: Hva er største tillatte overmetning vevene kan ha i overflateintervallet før rekompresjon i kammer?
- Ved OD-O2 dykk: Hva er største tillatte overmetning vevene kan ha ved avsluttet dekompresjon (etter avsluttet oksygenpusteperiode)?

Van der Aue (13) tok utgangspunkt i datidens måte å beskrive tillatt overmetning med "dekompresjonsratio". Tillatt overmetning i vevene ble karakterisert som forholdet mellom overmetning delt på omgivelsestrykk. Karakteristiske overmetningsratioer var 2.0-3.8 (van der Aue inkluderte oksygen i gassovertmetningen – ikke bare nitrogen). Van der Aue (13) brukte et sett av predefinerte overmetningsratioer for å beregne de første profilene.

Beregning av overmetningsgrad ble gjennomført ved prøving og feiling. Typisk ble hver profil testet med fire dykkere. Hvis det ble symptomer i overflateintervallet ble dekompresjonstid i sjø endret. Hvis profilen ble gjennomført uten trykkfallssyke så ble mange profiler retestet med kortere oksygenpustetid inntil noen av dykkerne utviklet symptomer. Han kunne etter dette sammenligne overmetningsratioer på dykk som ble gjennomført uten problemer med slike som utløste TFS.

Samlet sett må dette arbeidet sies å være en suksess. Prosedyrene for OD-O2 som ble utarbeidet i 1951 har vært i bruk fram til i dag med minimal justering. Rent dekompresjonsteoretisk er det imidlertid flere mangler ved prosedyren. Van der Aue (13) klarte ikke å definere ett globalt parametersett (grenseverdier) som kunne brukes på *alle* dybder og *alle* bunntider. Overmetningsgradienter måtte justeres (gjøres mer konservative) for lange og dype dykk.

Utvikling av USN standardtabell etter 1937

Som beskrevet over tok USN i bruk nye dekompresjonstabeller i 1937. Disse var sikrere enn sine forløpere, men hadde fortsatt vesentlige mangler (var usikre) for dype og lange dykk. I 1956 rekalkulerte Dwyer (14) og des Granges (15) data fra Hawkins (11) og Yarbrough (12) i tillegg til å gjennomføre 609 dykk. Dette ble utgangspunktet for USN sine standardtabeller som med mindre modifikasjoner var brukt fram til 2008 da USN Diving Manual Rev 6 ble utgitt. Workman publiserte i 1965 (16) sitt arbeide med "M-verdier" som forenklet beregning av tillatt overmetning. I løpet av 1980 og 1990 årene publiserte Thalman og Survanshi en rekke arbeider (se 17 for en oppstilling) hvor gassmetning skjedde eksponensielt, men utvasking lineært (EL modell). Fortsatt var modellen en perfusjonsbegrenset modell, men det nye var at parametersettet ble bestemt ved statistisk/probabilistisk modellering.

USN Diving Manual Revisjon 6

En rekke parametersett til Thalman sin EL-modell ble forslått, men de fleste ble forkastet fordi tabellene ble oppfattet som alt for konservative. I siste versjon (Rev 6) av USN Diving Manual brukes parametersettet VVal18M. Det nye i denne versjonen av tabellen er at både standardtabell, tabell for dekompresjon med oksygen i sjø og overflatedekompresjon med oksygen er presentert i en integrert tabell. Parametersettet (VVal18M) er validert mot et stort antall dykk.

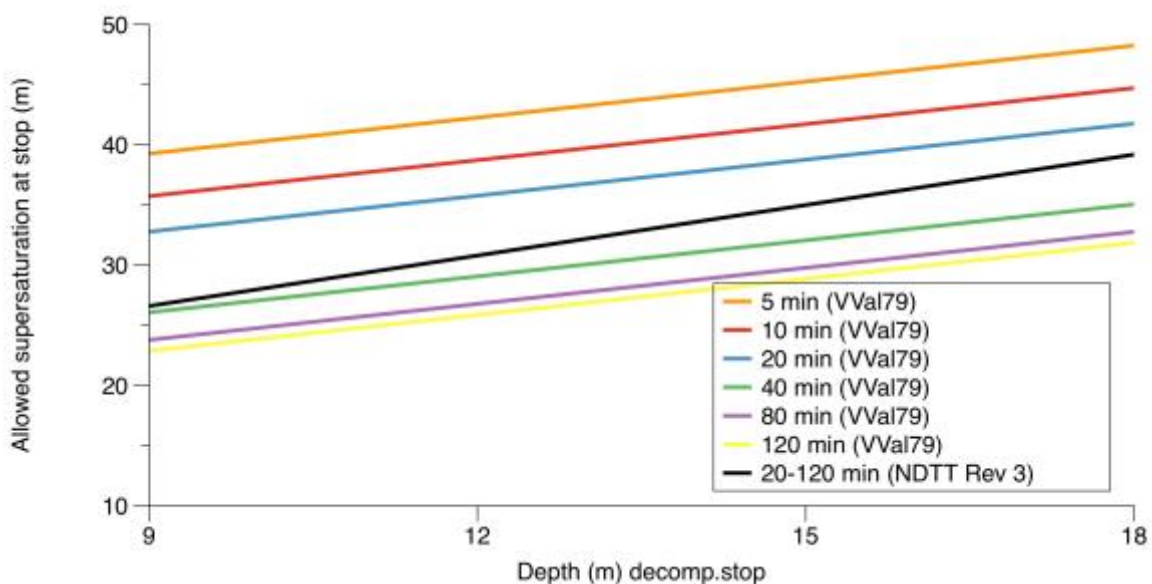
² "Vev" vil her bli bruk synonymt med det engelske begrepet "compartment". "Vev" henviser til et matematisk element i en ligning brukt for å modellere gasstransport - ikke et anatomisk vev.

NDBT sine OD-O2 tabeller

Disse tabellene ble publisert i NUI-rapport 30-80 av Arntzen og Eidsvik (18). Tabellen er basert på overmetningsgradientene publisert av van der Aue i 1951 (13) men beregnet manuelt av forfatterne. Dekompresjon er beregnet med et økende tillegg i bunntid for alle dykk dypere enn 20 meter (i praksis 1% tillegg i tabelltid for hver meter dypere enn 20 meter) og har dessuten 12 min ekstra oksygenpustetid ift USN sine 1951 OD-O2 tabeller (NDBT Rev 3 pålegger oksygenpusting under dekompresjon fra 12m i kammer).

OD-O2: Hva skyldes forskjellen i vannstopp ved sammenligning av NDBT Rev 3 og NDBT Rev 4

NDBT rev 3 er altså basert på overmetningsgradientene publisert i arbeidene til van der Aue (13) i 1951. NDBT Rev 4 er basert på Thalmann sin EL modell (se 17) og parametersettet VVal 79 publisert 2012 (8). Selv om begge algoritmene (van der Aue og Thalmann) er basert på en perfusjonsbegrenset modell så vil forskjellen i parametersett gi store utslag i den praktiske dekompresjonsgjennomføringen. Figur 1 sammenligner tillatt overmetning i vev med 5-120 min halveringstid i parametersettet til VVAL 79(8) og van der Aue (13). Van der Aue tillot vesentlig lavere overmetning i hurtige vev – dette nødvendiggjorde dypere dekompresjonsstopp. På den annen side tillot van der Aue større overmetning i langsomme vev – dette gjorde at dekompresjonsstopp på grunnere dybder ble kortere, Som det framgår (Tabell 1) har tillatt overmetning blitt redusert konsistent for alle vev siden 1951, men forskjellen er spesielt uttalt for langsomme vev ($T_{1/2} > 40$ min).



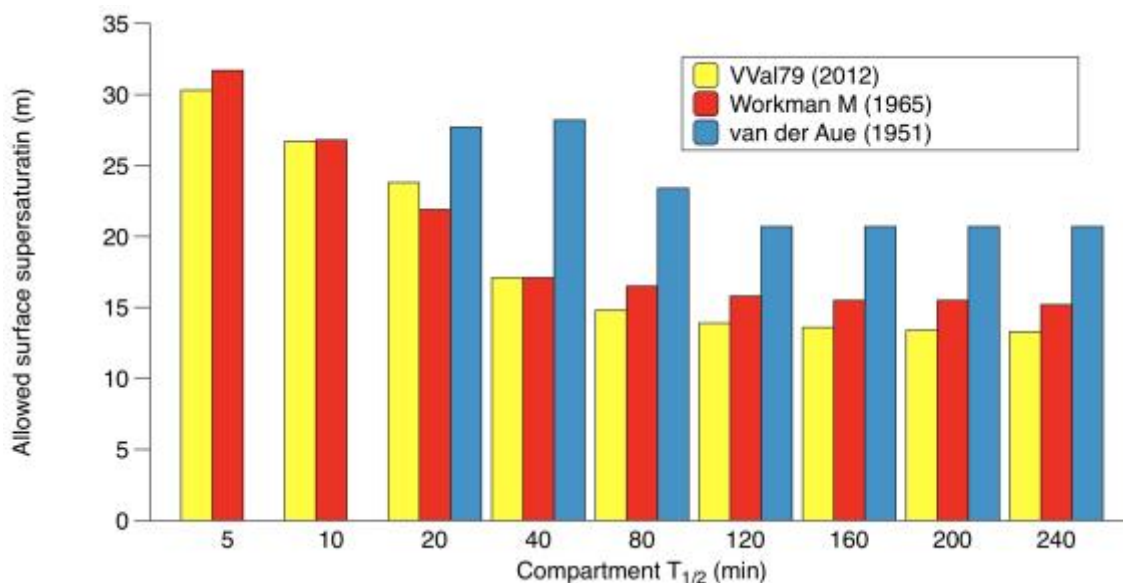
Figur 1 Sammenligning av tillatt overmetning (pN2 Abs, m) på dekompresjonsstopp 9, 12, 15, og 18 m. Fargede linjer: Tillatt overmetning iht VVAL79 (2012) parametersett. Heltrukken svart linje: Tillatt overmetning for vev med 20, 40, 75 og 120 min halveringstid iht van der Aue (13) som ble brukt i beregning av NDBT fram til 4. utgave. Som det framgår tillot van der Aue mindre overmetning i "hurtige" vev ($T_{1/2} < 40$ min) men større overmetning for langsomme vev.

Den største forskjellen mellom VVal79 parametersettet (8) (som bare avviker fra VVal18M (7) ift tillatt overmetning i 5 og 10 min vevene) og van der Aue (13) er likevel tillatt overmetning ved avsluttet dykk. Tabell 1 viser parametersettet til OD-O2 tabellene slik de er publisert av van der Aue (og som ble innarbeidet i NDBT fram til 4. utgave), Workmans M-verdier fra 1965 (som lå til grunn for

forrige revisjon av USN Diving Manual) og VVAL 79 (som er de som blir brukt i NDBT Rev 4 og som er svært lik de som ligger til grunn for USN Diving Manual Rev 6). Den største forskjellen ligger i tillatt overmetning i langsomme vev – denne tillatte overmetningen har over tid blitt redusert og dette gjør at dagens amerikanske tabeller anviser vesentlig lenger dekompresjonstid på grunne stopp enn det som var anbefalt i 1951 da van der Aue utga sine OD-O2 tabeller. Dette gjør i praksis at OD-O2 tabellene i NDBT Rev 4 anviser vesentlig lengre oksygenpustetid i kammer enn forrige tabellversjon. På den annen side forkortes vannstoppene noe grunnet høyere tillatt overmetning i hurtige vev med dagens (VVAL79) parametersett.

	VVAL 79	Workman	van der Aue
5 min	30,3	31,7	
10 min	26,7	26,8	
20 min	23,8	21,9	27,7
40 min	17,1	17,1	28,2
80 min	14,8	16,5	23,4
120 min	13,9	15,8	20,7
160 min	13,6	15,5	
200 min	13,4	15,5	
240 min	13,3	15,2	

Tabell 1 Sammenligning av tillatt overmetning (pN2 abs, msv) på overflaten iht parametersettet VVAL79 ((8) publisert 2012), Workman ((16) publisert 1965) og van der Aue ((13) publisert 1951)



Figur 2 Sammenligning av tillatt overmetning (pN2 Abs, m) etter avsluttet dykk iht van der Aue (13), Workman (16) og VVAL79 (8) gruppert etter vevenes halveringstid. Med unntak av vev med T_{1/2}=20 min så har tillatt overmetning konsekvent blitt redusert ved hver etterfølgende tabellrevisjon. Forskjellen er likevel mest uttalt for vev med T_{1/2} lengre enn 40 min.

Hva er sikkerheten ved OD-O2 iht gammel og ny revisjon av NDBT?

Dette spørsmålet mener vi at er besvart i følgeskrivet til ver A av høringsutkastet og blir sitert ordrett under:

”OD-O2 prosedyrene i NDBT Rev 3 er basert på USN sine gamle OD-O2 prosedyrer, men har blitt særskilt tilpasset med lengre dekompresjonstider i vann og lengre oksygenpusteperioder i kammer. Det er for disse prosedyrene vi har gjort de mest vesentlige forandringene. Det er en utfordring at OD-O2 prosedyrene i NDBT Rev 3 ikke kan risikoestimeres på samme måte som standardtabellene. Norske OD-O2 prosedyrer avviker for mye fra USN sine til at det er mulig. Det er imidlertid sterke holdepunkter for å hevde at OD-O2 dykking er beheftet med øket risiko for TFS sammenlignet med bruk av standardtabell. Shields og medarbeidere (6) dokumenterte tydelig at forekomsten av trykkfallssyke øket med PrT (Trykk ganger kvadratroten av bunntiden). Ved å begrense PrT kunne man oppnå en stor reduksjon i TFS. Rapporten viste at TFS var ca 3 ggr hyppigere i OD-O2 dykk (som hadde høy PrT) sammenlignet med dykk med dekompresjonsstopp i sjø (0,09% vs 0,35%). Rapporten til Oljedirektoratet angir en ca 4 ganger høyere forekomst av TFS ved dykking på Kalstø (svært mye OD-O2) sammenlignet med øvrig overflateorientert dykking (0,18% vs 0,04%). USN Diving Manual Rev 5 angir dekompresjonsprosedyrer ved OD-O2 dykking som har risiko mellom 7,2 og 8,6% for de lengste anbefalte bunntidene anbefalt i NDBT Rev 3 (5). OD-O2 prosedyrene i NDBT Rev 3 er altså ikke direkte sammenlignbar med USN Diving Manual Rev 5, men ved å sammenligne oksygenpustetiden i kammer så kan man observere at denne er vesentlig kortere i NDBT Rev3 enn i USN Diving Manual Rev 6. Det er vår oppfatning at det ikke er forsvarlig å fortsette å bruke OD-O2 prosedyrene som angitt i NDBT Rev 3 i om at det ikke er sannsynliggjort at de er like trygge som alternative anerkjente prosedyrer (Les: USN Diving Manual Rev 6). Vi har derfor valgt å erstatte tidligere ”norske” OD-O2 prosedyrer med anbefalingene fra USN Diving Manual Rev 6. Dette vil medføre flere praktiske endringer for dykkerne. Grunneste dekompresjonsstopp i sjø gjøres på 12 m (før 9m), første del av rekompresjon i kammer skjer til 15 meter hvor dykkeren puster oksygen i 15 min før resten av oksygenpustetiden gjennomføres på 12m. Vi har likevel valgt, under noe tvil, å beholde gjeldende ”norske” dekompresjonsprosedyre i kammer: Kammeret skal dekomprimeres 1 m/min mens dykkeren puster oksygen. Prosedyren beholdes fordi den antas å ha bidratt gunstig til at norske OD-O2 prosedyrer har fungert forholdsvis tilfredsstillende.”

Som beskrevet tidligere: I Rev C av 4. utgave av NDBT har vi valgt å fjerne den særnorske dekompresjonshastigheten i trykkammer.

Vedlegg B

NDBT 4. utgave ver A (opprinnelig høringsutkast) Oppsummering av de viktigste endringene i.f.t. 3.utgave

Innledning

Beskriver bakgrunnen for endringene som er gjort.

Standardtabell

Oppstigningstid fra bunn til første dekompresjonsstopp inngår ikke i dekompresjonstiden på det første stoppet. Oppstigning skal skje 10 m/min. Forlengelse inntil 1 min tillates uten endring i dekompresjon.

Enkeltdykk. Dykk gjennomført minst 16 timer etter forrige

Gjentatt dykk. Dykk gjennomført kortere tid enn 16t etter forrige

Kriterium for stjernemerking: P_{TFS} 5-6%, dekompresjonstid i sjø >35 min eller dykkedybder med luft som pustegass >50m.

Standardtabellen dekompresjonsanvisninger (Tabellene fra 6 til 60m)

Minimal endring for «ikke stjernemerkede» dykk.

Stjernemerkede dykk har fått total dekompresjonstid som anbefalt fra USN Rev 6, men med fordeling på dybder som angitt i forrige rev. Eksempel 33m tabell:

Rev 3: Maks tillatt bunntid for direkteoppstigningsdykk 15 min. Uendret i Rev 4. Maksimalt tillatt BT for ikke stjernemerket dykk 45 min – uendret. Lengste stjernemerkede dykk: 80 min – redusert til 55 min og dekomp.tid for BT 55 min øket fra 50 til 70 min.

Endringer i tillatt BT for direkteoppstigningsdykk:

12m: Øket med 15 min til 150 min

15m: Redusert med 20 min til 65 min

21m: Øket med 5 min til 45 min

24m: Øket med 5 min til 35 min

Nitrogen grupper er justert iht anbefaling fra USN Rev 6

Reduksjon av Nitrogen gruppe er justert iht anbefaling fra USN Rev 6

Det er beskrevet en metode for bruk av tabellene til flernivå-dykking (multilevel-dykk) og hvilke begrensninger som må følges.

Dykking i større høyder enn 250 moh

Nitrogengruppe ervervet ved forflytning til høyden vil bli redusert som ved prosedyre for gjentatt dykk»

Nitrogengruppe øket for dykking >1500 moh

Flyging etter dykking

Flyging etter OD-O2 satt til 21 timer og er ikke justert for tid med OD-O2. Fant ikke belegg for å kunne fortsette anbefalingene fra Rev 3

Ventetid for de ulike Nitrogengruppene redusert noe

Kapittel om forflytning til moderate høyder er skrevet inn.

Dykkecomputere

Kapitlet er omskrevet (tekstjusteringer), men ingen substansielle endringer ift bruk ved yrkesdykking – dette frarådes fortsatt.

Oksygenforgiftning

Eksempelet endret i samsvar med nye tabeller

Dykking i petroleumsvirksomheten

Dette kapitlet er helt nytt.

Nitrox

Maksimalt tillatt pO₂ er redusert til 1,5 Bar av hensyn til internasjonal og petrolumsrelatert standardisering.

Overflatedekompresjon med oksygen

OD-O2 tabellene er basert på USN6 prosedyrer.

Fjernet henvisning til utstyrsbruk for kombinasjon av Nitrox og OD O2. Hører ikke hjemme i Nitrox-avsnitt og bør etter vår mening helt utgå.

Påpekning at tid for oppsvømming fra bunn til første dekostopp ikke skal inngå i stopptiden på det te første stoppet.

Grunneste vannstopp lagt til 12m.

Kriterium for stjernemerking: P_{TFS} 5-6% eller OTU>300

Kammerdekompresjon skjer første 15min på 15m, deretter på 12 m.

Oksygenperioder økes fra 20 til 30 min.

Presisering at regelen om luftepauser også følges i forkant av dekompresjon hvis dykkeren har pustet O2 sammenhengende i 30 min.

Prosedyrene henviser til bruk av Tabell 1 for å dekomprimere en dykker som har hatt oksygenkramper. Tiden for dekompresjon var feilaktig anført i forrige utgave og er rettet i denne.

ELD-tabellene

pO₂ angitt med to desimaler (en av disse hadde tre desimaler i Rev 3).

Tydelig markering med kursiv og tverrlinje for dybdebegrensning hvor pO₂ overstiger 1,5 Bar

OD-O2 tabellene (de enkelte dekompresjonsprofilene)

Fullstendig omarbeidet iht gjeldende anbefalinger fra USN Rev 6

Forebyggelse av trykkfallssyke

Det er lagt inn to matriser for å forenkle vurdering av risikofaktorer og hvilke tabelltilpasninger som bør gjøres hvis flere risikofaktorer for TFS er til stede. Endringen omfatter både standardtabell og OD-O2 tabell

Dype kammerdykk

Ingen endring

Nødprosedyrer

OD-O2 dykk med utelatt dekompresjon i sjø <15 min: Kompenser med en ekstra oksygenperiode (30 min) på 12m. USN prosedyre for kompleks å bruke.

Trykkfallssyke

Fjerning av henvisning til at tid fra symptomdebut til rekompresjonsbehandling har stor betydning for behandlingsutfallet. Det er ikke belegg for den påstanden. Det er symptomstyrken som er viktigste prediktor for behandlingsutfallet.

Barotraume

Ingen endring

Behandling av trykkfallssyke og luftemboli

Endret telefonnr til AMK. Midazolam anbefalt i tillegg til Diazepam for behandling av oksygeninduserte kramper. Anbefalt bruk av nesenspray, evt stikkpille/klyster, for administrasjon av krampestillende medisin.

Oksygenbehandling av ikke-dykkerrelaterte tilstander

Detaljer ifm ansvarsdeling for HBO-behandling spesifisert. Konsentrasjonsangivelse ved bruk av Klorin som desinfeksjonsmiddel rettet og spesifisert. Liten endring i teksten knyttet til gassgangren og kullosforgiftning.

Tiltaksplan ved dykkerulykker

Nytt kapittel med enkle flowcharts.

Diagnostikk ved dykkerulykker

Kapitlet er forenklet (fjernet henvisning til de alvorlige skadene). Undersøkelseslisten er fjernet og presentert i et nytt avsnitt som en sjekkliste

Undersøkelsesliste

Deler av innholdet fra kapittel "Diagnostikk ved dykkerulykker" er flyttet til dette kapitlet og presentert i sjekkliste-format.

Behandlingstabellene

Tabell 6He justert i samsvar med opprinnelig (Cx30) versjon og NOR/SVE militær standardisering av tabellen.

Tabell 14/60 og 14/90 justeres med fjerning av stopp på 3m.