

המדריך לצלילה עם NITROX-קס

Edward A. Betts

מהדורה-II

American
Nitrox
Divers
International



The Israeli Diving Federation

94 Hagarkon Street

POB 3404

Tel Aviv 61033

972 3 523 6436

972 3 523 2877 FAX עם

המדריך לצלילה

NITROX - ניטרוקס

המדריך לצולל דרגה I

Limited SafeAir® User

מאת

Edward A. Betts

מהדורה עברית שניה

תרגום: ניר אבני, אלבין נויפרט

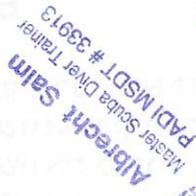
עריכה מקצועית: ניר אבני, עומר אפל

American
Nitrox
Divers
International

©1994 All rights reserved.
Copyright protection claimed
includes all forms and matters of
copyrightable material and
information now allowed by
statutory or judicial law or
hereinafter granted, including
without limitation, all charts,
displays, graphics, etc.

ANDI ISRAEL ת.ד. 104 אילת. טל: 07-6375935 פקס: 07-6373824

© תרגום עיברי - כל הזכויות שמורות לנציגות ANDI בישראל



אלבני
031 1554

תוכן עיניינים

1	.....הקדמה
2	.....על המתבר
3	.....הכרת תודה
5	.....יחידה 1 - ההיסטוריה ופיתוחו של SafeAir®
16	.....יחידה 2 - החמצן והצולל, הפעילות הפיסיולוגית של החמצן
25	.....יחידה 3 - השימושים של SafeAir®
30	.....יחידה 4 - הטיפול ב-SafeAir® ונוהלי אבחון גז הנשימה

טבלאות ותרשימים

10	.....זמן מרבי ללא דקומפרסיה	תרשים 1-1
11	.....השוואה בין תערובות נשימה	תרשים 1-2
14	.....השוואת מידות	תרשים 1-4
17,18	.....עליית לחצם החלקי של הגזים בעת העמקה	תרשים 2-1
19	.....הרעלת חמצן - סימני הרעלת מערכת העצבים המרכזית (CNS)	תרשים 2-2
21	.....גבולות החשיפה לחמצן - NOAA	תרשים 2-4
27	.....שווה עומק אוויר (EAD) המבוסס על תערובת SafeAir® 32	תרשים 4-2
28	.....שווה עומק אוויר (EAD) המבוסס על תערובת SafeAir® 36	תרשים 4-6
38	.....מיכלי SafeAir® ומיכלי פוני	תרשים 5-1
39	.....מדבקה היקפית למיכל	תרשים 5-2
40	.....תג תכולת מיכל	תרשים 5-3
41	.....מדבקת ביקורת ויזואלית למיכל	תרשים 5-4
42	.....גליל סימון לוסת	תרשים 5-4 A
43	.....מיני מאבחן חמצן "אנאלייזר"	תרשים 5-5
44	.....התקן דגימת תערובת	תרשים 5-6
45	.....טופס מעקב מילוי	תרשים 5-7
46	.....נספחים	

על המחבר:

Ed Betts

Ed Betts יסד את ארגון American Nitrox Divers Int.(ANDI) בשנת 1988. מכהן כנשיא הארגון, מנהל פעילויות צלילה והסמכת מדריכים לצלילה באוויר מועשר ויישומיו.

Ed משמש גם כמנהל הכללי של Island Scuba Centers, מרכז הצלילה הוטיק ביותר בלונג איילנד, הוקם בשנת 1968. כמו כן הנו סגן-המנהל של ISC Management Corp, חברת יעוץ לניהול מערכות.

הוא מעורב בכל תחומי התקנת מערכות מחשבים (Hardware & Software), ניהול עסקים, יעוץ והדרכה. כמו-כן, החברה עוסקת בתכנון והתקנת מערכות הספקת גזים מיוחדים.

ל-Ed ניסיון רב כמהנדס ישומי. בשנות 1987 - 1984 הוא תכנן, יצר והתקין מערכת הספקת גז יבש וטהור במיוחד עבור סין העממית ("PRC"), ששימש לתוכנית החלל האופטית ה-"היי-טק" שלה. בשנת 1986 הפרויקט כלל הדרכה של צוותים טכנים מסין העממית בארה"ב.

ניסיונו בצלילה החל בשנת 1963 והוא מוסמך כיום כמדריך צלילה על ידי:

NAUI (The National Association of Underwater Instructors)

PADI (Professional Association of Diving Instructor)

NASDS (National Association of Scuba Diving Schools)

CURE (Center for Underwater Research)

כמו-כן הוא מדריך צלילה מס. 009 ב-NASDS,

מדריך מס. 002 ב-International Association of Nitrox Divers (IAND),

ומסמך מדריכים מס. 001 ב-American Nitrox Divers International (ANDI).

הוא הפעיל אניית חילוץ וספינת צ'רטר לצלילה במשך 10 שנים.

ל-Ed יומן של יותר מ-3700 צלילות ומעל 3200 שעות זמן תחתית. הוא הסמך אישית מעל 2500 חניכים לדרגות צלילה ספורטיבית שונות והוא מדריך מוסמך לכמעט כל תחום התמחות מתקדם. ל-Ed ניסיון רב בשימוש בגזי נשימה חלופיים ומלמד תוכנית צלילת עומק בתערובת משולשת עבור "חוקרי מעמקים".

הכרת תודה

Chris J. Lambertsen, MD, Director
Institute for Environmental Medicine
University of Pennsylvania
Philadelphia PA 19104

אשר הציע כבר ב - 1943 להשתמש בתערובות חמצן-חנקן להפחתת דקומפרסיה. היה חלוץ במחקר צלילה זו משך יותר מ - 50 שנה.

J. Morgan Wells, PhD, Director
NOAA Diving Program - Room 304
6001 Executive Boulevard
Rockville MD 20852

הוא החל להחזיר את הרעיון לקהילה המדעית בתחילת שנות ה-70. הוא המיר את מושג ה-EAD לסדרה סטנדרטית של טבלאות דקומפרסיה, הידועות כטבלאות NOAA NITROX I, ופיתח את טבלאות NOAA NITROX II.

Richard Rutkowski
Hyperbarics International
490 Caribbean Drive
Key Largo FL 33037

על שהביא את טכנולוגיית האוויר המועשר לעולם הצלילה הספורטיבית.

The National Undersea Research Program, NOAA/NURP
Rockville MD 20852
David B. Duane, Director
Elliott Finkle, Past President
Bill Bush PhD

על תמיכתם והתעניינותם ברעיון, על ידי סדנאות ומחקרי Doppler לאימות תוקף הרעיון.

מחלקת חיל הים של ארה"ב
Washington DC

על פרסום שיטה זו כבר בשנת 1959 ב-USN Diving Manual לשימוש עם מכשירי ה-M6 שלהם ועבור צוללי החיל שברשותם הטכנולוגיה לשימוש באוויר מועשר.

American Nitrox Divers International
Freeport, NY 11520

על החדרת הנושא לצלילה הספורטיבית, תוך קביעת תקנים לשימוש באוויר מועשר.

American Nitrox Divers International

Bill Hamilton Ph. D
Hamilton Research Ltd
80 Grove Street
Tarrytown NY 10591-4138

על תמיכתו ויעוצו.

Stephen Maestro
NOAA Undersea Research Program
University of North Carolina at Wilmington
Wilmington NC 28403

על תמיכתו ברעיון זה מתחילתו, על תרומותיו ובקורתו. NURP/UNCW שיתף פעולה באופן הדוק עם NOAA
בישום טכנולוגיה זו.

אזהרה ! אזהרה ! אזהרה !

**המידע וחומר לימודי זה, אינו מכשיר את הצולל לצלילה לעומק העולה
על העומק המרבי המותר לו עפ"י דרגת הצלילה הבסיסית שלו, בסביבה
מקורה או צלילה לתחומים המחייבים חניות דקומפרסיה (צלילת
דקומפרסיה). נדרשת הדרכה נוספת לפני חשיפה לפעולות צלילה אלו.**

יחידה 1

ההיסטוריה ופיתוחו של SafeAir®

מטרה

בפרק זה נחזור על ההשפעה של רמה גבוהה של חנקן על גוף האדם ונעשה הכרה עם היתרונות וההתפתחות של השימוש בתערובות אוויר מועשר.

רקע

כצוללים למדנו על המגבלות החלות עלינו עם הירידה לעומק ושהן כתוצאה מהמבנה הפיזיולוגי של האדם וחוקי הפיזיקה הקשורים לכך. חוקי הפיזיקה אינם משתנים אך הפיזיולוגיה משתנה עם השינוי בתערובת הנשימה. בגלל היותו גז משכר מאוד המתמוסס בקלות ברקמות הגוף, היה מובן תמיד שחנקן הנו בחירה לא מוצלחת כגז דחוס לנשימה, אנו יודעים שהוא הגורם המגביל ביותר את הצלילה. ובכל זאת רוב הצוללים בצלילה ספורטיבית היום, משתמשים באוויר רגיל מכוון שאינם מודעים ליתרונות שבתערובות אחרות. מדריך זה מקנה לך הזדמנות להגביר את הבטיחות ואת ההנאה שבצלילה הספורטיבית על ידי טכניקת השימוש באוויר מועשר.

מחלת הדקומפרסיה (מדקי) נגרמת על ידי כמויות גדולות מדי של חנקן המשתחררות ממצב של מסיסות ברקמות ובדם. הדבר גורם להוצרותן של בועות המתאספות, מתרחבות וגורמות לנזק לרקמה, במיוחד במוח. הדבר אובחן בגוף האדם לראשונה ב-1841, אך יוחס לחנקן רק ב-1878 על ידי Paul Bert. כדי לחקור את גורמי מחלת הדקומפרסיה ולמצוא פתרונות מתאימים, הקים הצי הבריטי המלכותי צוות מחקר אשר בראשו עמד J.S. Haldane בעת ניסויים בעזים, מצא Haldane שרקמות ספוגות בחנקן יכולות לסבול עומס חנקן עד למחצית הלחץ שלהם ללא הופעת תסמונת המחלה.

Haldane פיתח דגם לרקומפרסיה ולדקומפרסיה שהווה את היסוד להבנת המחלה משך רוב המאה הנוכחית.

גופנו במצבו הטבעי רווי בחנקן, כלומר הרקמות אינן מסוגלות לספוג יותר או פחות גזים ברקמה, אלא אם משתנה הלחץ המופעל עליהן.

רוויה, פרושה שהלחץ הפנימי של החנקן ברקמה, שווה ללחצו הסביבתי. בכל לחץ שהוא, מגיעה הרקמה לידי איזון (רוויה) בזמן קבועהביטוי "מפל לחצים" מתייחס להבדל בין הלחץ הפנימי והלחץ החיצוני של כל גז. מפל הלחצים הנו אפס, כאשר הרקמות במצב של רוויה. כאשר הלחץ הפנימי של הגז גדול יותר מלחצו הסביבתי,

נוצר מצב של רווית יתר. J.S. Haldane גילה, שגוף האדם מסוגל לסבול רמה מסוימת של רווית יתר, אחרת היו בני האדם לוקים במחלת הדקומפרסיה כתוצאה מכל שינויי לחץ אטמוספירי קל, כמו נסיעה דרך הרים, או מעבר במנהרה מתחת לנהר בלבד. ההשפעה הפיזיולוגית של עלייה מעומק עלולה

להביא למפל לחצים גדול מדי, שכידוע יגרום לשחרור חנקן מהרקמה בצורת בועות שיביא בכך לנזק רציני לרקמות הגוף. Haldane שיער שרמת הסיבולת של גוף האדם לרוויות-יתר, שווה למפל לחצים קבוע של 2:1 בין הסביבה לרקמה.

מפל לחצים זה של 2:1 היווה את הבסיס המחקרי של טבלאות הדקומפרסיה לאוויר של צי ארה"ב. בהן הזמן המרבי שצולל יכול לשהות בעומק מסוים ולעלות לפני המים ישירות ללא צורך בעצירות דקומפרסיה, מתבסס על הזמן הדרוש לרקמות הגוף השונות להגיע למפל לחצים של 2:1. זה היה הבסיס לתיאורית הדקומפרסיה עד לשנות ה-30. אז Handson Hawkins & Shilling הגיעו במחקרם למסקנה, שרמת הרוויה המותרת אינה יחס קבוע של 2:1, אלא יחס המשתנה בהתאם לעומק וזמן התחתית של הצלילה.

רוב הטבלאות שבשימוש היום מתבססות על יחס של 1.8:1 או פחות. היום אנו יודעים שהגבולות האמיתיים הן קרובות יותר ל- 1.58:1.

בשנת 1976 פרסם ד"ר Merrill Spenser מהמכון לרפואה ופיזיולוגיה של Seattle בארה"ב דו"ח, הממליץ על הפחתת זמני תחתית ללא דקומפרסיה. הדו"ח התבסס על גילוי בועות בעזרת מכשיר אולטרא סאונד (Spenser 1976).

מחקרים נוספים שנעשו על ידי ד"ר Andrew Pilmanis במכון Catalina, מרכז לביולוגיה ימית, תומכים בהמלצה זו. הוא מצא תסחיפי גז בורידיים (VGE) או בועות שקטות ב-100% של החשיפות לעומק 30 מטר למשך 25 דקות!

עלינו אם-כן לתכנן את צלילתנו באופן שמרני, ולהפחית מקדם בטחון (לפחות 5 דקות) ולא "לדחוף" את הזמן המרבי ללא דקומפרסיה עד קצהו. יש לדעת, שבעצם כל צלילה היא "צלילת דקומפרסיה", ועל תכנון צלילה בטוח לכלול זמן עצירה בטחון של 3-5 דקות בעומק רדוד מ-10 מ' כדי להבטיח הפחתת לחץ הדרגתית יותר, זה גם בצלילות שאינן עוברות את הזמן המרבי ללא צורך בדקומפרסיה.

לפי סטטיסטיקות שפורסמו על ידי DAN, בשנת 1988, 58% מאלה שהזדקקו לטיפול דקומפרסיה צללו לפי טבלאות שונות - כולן תקניות.

גורמי חריגה

אם ברצוננו לתמוך בגישה של "מקדם ביטחון", הבה נדון בכמה גורמים שעלינו לקחת בחשבון. על כל צולל לקחת בחשבון גורמים אלו כדי לקבוע לעצמו מידה סבירה של שמרנות בתכנון הצלילה. הגורמים הבאים עלולים לחשוף את הצולל למדק, הן בביצוע צלילות ללא צורך בדקומפרסיה והן בצלילה המחייבות עצירות דקומפרסיה:

(1) מחזור דם חלש או לא תקין, או כל גורם התורם למצב זה, כגון רמת שומנים גבוהה בדם, משקל יתר, קור, הזדקנות פיזיולוגית הגורמת ליעילות פחותה של פעילות הלב ועורקיו, הלם או פציעה בעבר, או מקרה מדק' בעבר.

(2) הצטברות דו-תחמוצת הפחמן (היפרקאפניה), אף היא גורם שיש לקחת בחשבון. הדבר יכול לנבוע מכושר גופני ירוד, מאמץ יתר, או ציוד נשימה בלתי יעיל או לא מכוון כהלכה.

(3) עבודה פיזית כמו תנועות שרירים ופרקים מאומצות תחת לחץ סביבתי מוגבר.

4) צריכת משקאות אלכוהוליים לפני או אחרי צלילה. המידע העומד לרשותנו היום מוביל למסקנה שאלכוהול מגביר את תופעת היווצרות של תסחיפים ורידיים (VGE), מכוון שהוא מפחית את מתח פני הדם ואפילו נוכחותו לבדה עלולה לגרום להיווצרות בועות. בהתאם לכך ממליצה ANDI להימנע מצריכת אלכוהול לפחות משך 12 שעות לפני ואחרי כל צלילה.

5) התייבשות או התייבשות יחסית הנה גורם עיקרי בחשיפת צוללים למדקו'. איבוד נוזלים מהסיבות הבאות הנו מצב חמור ואין להתעלם ממנו:

- * שהות ארוכה במי ים גורמת להתייבשות על ידי אוסמוזה, גם עם חליפת צלילה. שתן נוצר בכמות מוגברת כתוצאה מלחץ הידרוסטאטי (מים תחת לחץ).
- * קור גורם לבריחת דם מהפריפריה (הסביבה ההיקפית) אל המרכז ומפחית את זרימת הדם במערכת הפריפריית (ההיקפית), כמו כן תורם להגברת היווצרות השתן.
- * גם הזעה היא חלק מהגורמים התורמים להתייבשות, כמו התאיידות ונשימת גזים נטולי לחות.
- * קפאין ואלכוהול, שניהם גם יחד דרך מנגנונים שונים, תורמים להיווצרות שתן מוגברת.
- * סמים ותרופות עלולים לתרום להתייבשות. על הצולל להתייעץ עם רופא או רוקח בנוגע להשפעת התרופות שהוא נוטל.
- * מחלת ים גורמת לאיבוד נוזלים, במיוחד כשהיא מלווה בשלשולים. מחלת הים היא חריגה משמעותית ביותר המובילה למדקו'. אין זה מומלץ כלל לצלול אחרי הקאה, אלא אם כן קובעים פרופיל צלילה שמרני מאוד.
- שתיית נוזלים לפני הצלילה היא חיונית ביותר כדי להגיע לפרופיל צלילה בטוח יותר. כדאי לשתות כמויות גדולות של נוזלים כמה שעות לפני הצלילה. הדבר מאפשר לגוף לספוג את הנוזלים במקומות הנחוצים ביותר.
- 6) אי ידיעת אחד או יותר מכל הגורמים האלה, עלולה להביא לחריגה מתחום הכיסוי של הטבלאות, ולסכנת מדקו'. הסיסמה "בטיחות באמצעות העשרת הידע" בהחלט מתאימה כאן.
- לסיכום, אם נקח בחשבון את כל מה שאמרנו עד עכשיו, יהיה זה מובן מאליו, מדוע אנו מעוניינים להפחית מרמת החנקן המתמוסס בגופנו. וכיצד זה יתרום לפרופיל צלילה בטוח יותר.

ההיסטוריה של אוויר מועשר

זה כבר זמן רב ידוע, שניתן להאריך את הזמן המרבי ללא דקומפרסיה או לקצר עצירות דקומפרסיה, על ידי הפחתת אחוזי החנקן. השימוש בחמצן להפחתת הזמן הנדרש לדקומפרסיה, הוזכר לראשונה בשנת 1878 על ידי Paul Bert. ב-1943 הוסיף Chris Lambertson (USN) חמצן לאוויר, כדי להשיג יתרונות ביצוע ושיפורים פיזיולוגיים. אך כנראה שיש לזקוף את היישום המסחרי הראשון של טכנולוגיה זו לזכותו של Andre Galerne, שהשתמש בתערובת N₂/O₂ 50/50 למבצעי צלילה בצרפת בשנת 1957. עומק הביצוע היה בין 18-20 מטר. חיל הים של ארה"ב משתמש באוויר מועשר מאז 1959.

שימוש קבוע בחיל החל עם מערכת הצלילה MK VI ב-1962. באשר לצלילה הספורטיבית, למעשה, אחד מספרי ההדרכה הראשונים מזכיר במהדורה של 1957 ש"הדרך ההגיונית ביותר לטפל בבעיית חובת הדקומפרסיה, היא להגדיל את אחוזי החמצן", זה ב-1957! אלו הם עם-כן רעיונות ישנים שרק עתה נכנסים ליישום גם בעולם הצלילה הספורטיבית.

ב-1970 החל ד"ר Morgan Wells, Ph.D, קצין צלילה ב-NOAA¹ לערוך ניסויים עם אוויר מועשר בעת מבצעי צלילה. הוא התבסס על תערובת חנקן-חמצן וקרא לה NOAA NITROX I ופיתח בהתאם את טבלאות הצלילה התקניות NITROX I. מאז יצא לאור לראשונה מדריך הצלילה של NOAA ב-1978, שימש NOAA NITROX I לאלפי צלילות. כבר מתחילה הייתה מתוכננת תערובת תקנית שניה, היא קיבלה את השם NOAA NITROX II, והטבלאות עבורה פורסמו על ידי ד"ר Wells ו-NOAA במרס 1990.

Richard Rutkowski שימש כסגן מתאם פעולות לצלילה ועבד תחת ד"ר Morgan Wells. הוא יסד וניהל את המכון של NOAA להדרכת צלילה וטיפול בצוללים בתא לחץ. פרש ב-1985 והיה לראשון שלימד "צלילת ניטרוקס" במסגרת הצלילה הספורטיבית - מאז 1987.

כדי למסד ולהוציא תקנות להדרכת מדריכים והדרכת צוללים ספורטיביים, וכדי לקבוע תקן לשיטות המילוי, הצטרפו Ed Betts ו-Doug Pettit ל-Dick Rutkowski וב-1988 יסדו ביחד את ANDI. הם עשו עבודה קפדנית והרחיבו את התוכנית לכל מדינות ארה"ב. תוכנית ההדרכה הזו וטקסט זה הם התוצאה לעבודתם המשותפת.

¹ National Oceanographic and Atmospheric Administration
(המנהלה הלאומית לאוקיינוגרפיה ואטמוספירה של ארה"ב)

מה זה ניטרוקס? (Nitrox)

כל תערובת של חנקן וחמצן היא ניטרוקס. בתחום הצלילה יוחסה לניטרוקס משמעות של **אוויר מועשר בחמצן**. אוויר מועשר, Nitrox, EAN, EANx או ניטרוקס היפר-חמצני, לכל הכינויים האלה כוונה אחת. ב-1989 יצרה ANDI את מטבע הלשון SafeAir® ("אוויר בטוח") שזכות היוצרים שלו שמורה לה.

מה זה "SafeAir®" ("אוויר בטוח") ?

"SafeAir®" כהגדרת ANDI היא תערובת אוויר עם ריכוז חמצן בין 22% לבין 50%. "SafeAir®" הוא למעשה תקן ANDI ליצור, טיפול ושימוש ההופכים את תערובת ה- ניטרוקס לגז נשימה בטוח יותר. תוכנית הדרכה זו מלמדת את היישומים המעשיים של תערובות "אוויר בטוח" בתחומי הצלילה הספורטיבית. זיכרו "זה אולי ניטרוקס אך אם זה לא תקן ANDI של יצור, טיפול ושימוש זה לא SafeAir® (אוויר בטוח)". כדי להדגיש את חשיבות ההקפדה על התקן הבטוח נמשיך להשתמש בסמל התקן "SafeAir®".

אוויר הוא ניטרוקס!

אוויר הוא תערובת ניטרוקס שהרכבה:
78.05% חנקן (N₂)
20.95% חמצן (O₂)
1.00% עקבות גזים אדישים אחרים.

(הגזים האדישים באטמוספירה המרכיבים את 1% השארית הם: ארגון-ppm 9340 (ppm = חלקים למיליון), דו-תחמוצת הפחמן - 314 ppm, ניאון - 18 ppm, הליום - 5 ppm, קריפטון - 1 ppm, קסנון - 0.9 ppm).

NOAA Nitrox I הנו אוויר שריכוז החמצן בו הועלה ל-32%. התוצאה היא תערובת תקנית המורכבת מ-68% חנקן וגזים (אדישים) אחרים ו-32% חמצן. הסטייה המותרת ברמת החמצן היא $\pm 1\%$. את קבוצת הגזים האחרים בסך 1% אנו כוללים כחלק מאחוזי החנקן, עיגול זה מוסיף מקדם ביטחון נוסף לחישובי הצלילה על אלו שנלמד בהמשך.

NOAA Nitrox II הוא אוויר בו ריכוז החמצן הועלה ל-36%. התוצאה היא תערובת תקנית של 64% חנקן כולל גזים אדישים אחרים ו-36% חמצן. הסטייה המותרת ברמת החמצן תמיד $\pm 1\%$.

בהגדרת תערובות לנשימה מוזכרים הגזים האדישים (אינרטים) תמיד ראשונים ברשימה. החמצן הוא תמיד המרכיב האחרון. תערובת של 36-64 פרושה שהגזים

האדישים הם 64%. המינוח התקני ליישומינו המיוחד יהיה תערובת חנקן/חמצן (N₂/O₂ Nitrox).

למרות שמינוח תקני זה נמצא בשימוש מזה 60 שנה או יותר. ישנם הטועים וסוטים מנוהל חשוב זה - אנא שימו לב !

היתרונות של SafeAir®

כדי להבין טוב יותר את ההשפעות והיתרונות של צלילה ב-SafeAir®, הבט בתרשים הבא על היתרונות המותרים בטבלאות הצלילה כתוצאה מהורדת אחוזי החנקן.

תרשים 1-1

זמן מרבי ללא דקומפרסיה אוויר, SafeAir®32, SafeAir®36

זמן מרבי ללא דקומפרסיה

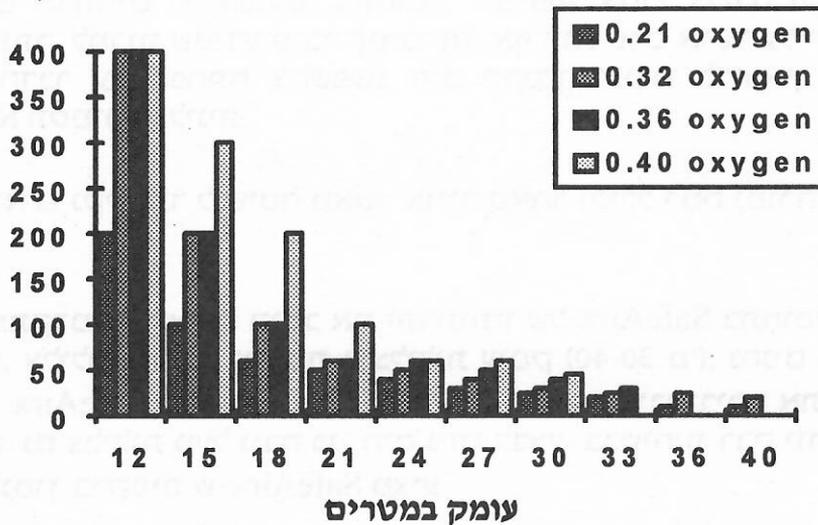
עומק במטרים	אוויר**	SafeAir® 32	SafeAir®36
12	170	400+	400+
15	90	200	200
18	55	100	100
21	45	60	60
24	35	50	60
27	25	40	50
30	22	30	40
33	15	25	30
36	12	25	*
39	8	20	*
40	7	15	*

* מעבר לעומק שימוש מומלץ לתערובת זאת
** לפי טבלה ישראלית

תרשים 1-2

השוואה בין תערובות נשימה מגבלת זמן חמצן וחנקן - טבלאות צי-ארה"ב וטבלאות NOAA

זמן תחתית



אחרי עיון בתרשימים, היתרונות שבהפחתת החנקן ברורים. הבה נלמד כיצד לנצל יתרונות אלה להארכת זמני תחתית מרביים ללא דקומפרסיה ולהגדלת מקדמי הביטחון בשימוש במחשבים וטבלאות לצלילה באוויר.

SafeAir® מציע יתרונות נוספים. אך תכונת רעילות החמצן בלחץ מוגבר, מהווה מגבלה לעומק ולזמן שמותר לנשום אותו כגז טהור או כמרכיב בתערובת חנקן-חמצן SafeAir®.

היתרונות של תערובת SafeAir® בהשוואה לאוויר הם:

(1) מקדם בטיחות למניעת מדק.

(2) הארכת זמן תחתית מרבי ללא דקו.

(3) הפחתת חוב חנקן בעקבות צלילה, יאריך את הזמן המותר בצלילה חוזרת ו/או יקצר את זמני הפסקה הצלילה הנדרשים עד לצלילה חוזרת.

4) הפחתת ההשפעה המשכרת של החנקן, הבאה לידי ביטוי מיוחד בתחום הצלילה לעומק 30 מטר ויותר.

5) אצל רוב הצוללים צריכת האוויר יורדת. אחדים מדווחים על ירידה ניכרת בצריכת נפח הגז הננשם ואילו צוללים מנוסים מדווחים בדרך כלל על חיסכון של כ-10%.

6) השפעת פגיעות לחץ (כמו מדקי), עשויות להיות פחותות בגלל שיפור מחזור הדם הנימי, העשרת הפלסמה בחמצן והקטנת תכולת הגזים האדישים בבועות שנוצרו (מידע זה נתמך בידע תאורתי וההגיון, אך טרם אושר על ידי מחקר רפואי).

7) רוב הצוללים מדווחים על הפחתה בתחושת העייפות אחרי צלילה ועל צלילה שקטה ורגועה יותר. למרות שמידע סובייקטיבי זה אף הוא טרם אושר על ידי מחקר רפואי, מרמז הדבר על הפחתה בהשפעת חוב החנקן הגורם לדיכאון ולמחלת דקומפרסיה ללא תסמונת קלינית.

8) SafeAir® הוא גז נקי יותר לנשימה מאשר אוויר מאחר וכולל רמה נמוכה יותר של אדי שמן.

כיום, צוללים מתקדמים מנצלים היטב את יתרונותיו של SafeAir® בתחומים רבים. בצלילת מערות, צלילה באניות טבועות ובצלילות עומק (40-30 מ'), נהנים הצוללים מיתרונותיו של SafeAir® בהרחיבם את זמן התחתית המרבי ובהגבירם את בטיחות פרופיל הצלילה. גם צלילות מעל גובה פני הים ניתן לבצע בבטיחות רבה יותר בזכות מפל הלחצים הנמוך ברקמות ש-SafeAir® מציע.

בקרום יהיה SafeAir® גז הנשימה המועדף בתחומים שבין 12 עד 50 מ', יכולתם של מחשבי הצלילה תורחב לצלילה עם תערובות גזים שונות, מחשבים וטבלאות נוספות יפותחו למגוון רחב יותר של תערובות גזים, מרכזי צלילה ומילוי יספקו תערובות SafeAir® שונות. אבחון של תערובות שונות לצלילה יהפוך לשגרה ויוסיף בטיחות ויעילות. יותר ויותר עמדות מילוי ישתמשו במדחסים נטולי שמן או כמעט נטולי שמן לייצור התערובות. ועם הידע והניסיון של שימוש בתערובות גזים לנשימה יפתח חלון לצולל המתקדם: "תערובות משולשות" (Tri-mix - He/N₂/O₂) יחליפו אוויר רגיל לעומקים שמעבר 50 מ'. ההתקדמות הזו תבוא במהירה, אך אם רמת ההוראה, הידע וההקפדה של הצולל על הכללים לא תתקדם אף היא, לא תהינה התוצאות רק חיוביות. טכנולוגיה עלולה להיות מסוכנת אם לא תלווה בידע וביכולת להשתמש בה כהלכה. באמצעות טכנולוגיה זו ויישומיה אנו נכנסים לעידן חדש בצלילה.

מחשבי צלילה ו"SafeAir®"

הצלילה הספורטיבית זכתה להתקדמות ניכרת עם המצאת סוגים שונים של מחשבי צלילה. רובם אמנם זעירים, אך הם מחשבים במלוא מובן המלה, אשר מבצעים אלפי חישובים מדי צלילה. הם מחשבים את מפל הלחצים של הגז המומס ברקמה בכל עומק, ולא רק בעומק המרבי. הדבר מביא לידי שני יתרונות משמעותיים:

1) עבור פרופיל צלילה זהה, הזמן המרבי המותר ללא דקומפרסיה, בדרך כלל גדול מזה המופיע בטבלאות.

2) קביעת מפל הלחצים ברקמה מדויק יותר.

פרופיל צלילה ממוחשב אינו נחשב אמנם ל**בטוח** יותר מפרופיל צלילה המבוסס על טבלאות הדקומפרסיה, אך המחשבים הפכו לחלק מהמציאות היום. מדריכים רבים מודאגים מכך שהמחשבים בעצם דוחפים את הצולל קרוב יותר למפל הלחצים המרבי המותר ולמרות שכל המחשבים עובדים עם מקדמי ביטחון משלהם, אינם פועלים לפי כללי העיגול הנהוגים בעת השימוש בטבלאות. הדבר מצמצם את מקדמי הביטחון למינימום בהשוואה לכללי השימוש בטבלאות. כפי שעוד נלמד מאוחר יותר בספר זה, הצולל ב-SafeAir® שנעזר במחשב, מוסיף בחזרה מקדמי ביטחון, יותר מאלו שהשימוש במחשב גורע. ברור אם-כן, שהשימוש במחשב צלילה וב-SafeAir® הנה **דרך בטוחה** להגדיל את זמן הצלילה המרבי ללא דקומפרסיה, מעבר לגבולות הרגילים. ואפילו ללא מקדמי הביטחון וכללי העיגול הנהוגים בטבלאות. אם המטרה היחידה לשימוש ב-SafeAir® היא בטיחות גבוה יותר, אז אין דרך טובה יותר להגשים תכנון צלילה נוח ופרופיל צלילה בטוח יותר, מאשר על ידי שימוש במחשב צלילה וב-SafeAir® **גם יחד**.

החל מ-1992 עומדת לרשות הצולל הספורטיבי טכנולוגיה חדישה של מחשבים המתוכנתים גם לתערובות גזים תקניות אחרות ולא רק לאוויר או כאלו הניתנים לכיול למגוון תערובות רב.

מספר	שם	מספר	שם	מספר	שם
1	אוויר	2	ניטרוקס	3	הליום
4	הליום	5	ניטרוקס	6	אוויר
7	ניטרוקס	8	הליום	9	אוויר

חזרה

1. הזכר 6 גורמי חריגה העלולים לחשוף צולל למחלת הדקומפרסיה.
2. מתי השתמשו באוויר מועשר בפעם הראשונה?
3. מה הוא הרכבו של אוויר רגיל?
4. מהו SafeAir® ?
5. הגדר את תערובות הגזים הנמצאות בשימוש היום.
6. מהם יתרונות השימוש ב-SafeAir® (8 יתרונות) ?

תרשים 1-4 השוואת מידות

אטמוספירה	PSI	kPa	עומק ברגל	עומק במטר	PO ₂	בר
1	14.696	101.33	0	0	0.209	0.98692
2	29.392	202.66	33	10.132	0.419	1.97384
3	44.088	303.98	66	20.265	0.628	2.96076

$$1 \text{ מטר} = 3.2568 \div 1 \text{ רגל}$$

$$1 \text{ בר} = 1/10 \text{ מטר}$$

$$1 \text{ מטר} = 3.2568 \times 1 \text{ רגל}$$

$$1 \text{ בר} = 1.01325 \text{ אט'}$$

$$1 \text{ kPa} \approx 1/100 \text{ אטמוספירה}$$

$$1 \text{ בר} = \text{PSIA } 14.5037$$

$$33 \text{ רגל} = 10.1326 \text{ מטר עומק}$$

$$1 \text{ מטר} = 0.101 \text{ אט'}$$

$$1 \text{ רגל} = 0.3048 \text{ מטר של מרחק}$$

$$1 \text{ מטר} = 3.2568 \text{ רגל של לחץ}$$

$$1 \text{ מטר} = 3.28 \text{ רגל של מרחק}$$

$$1.0 \text{ Cubic ft} = 28.3 \text{ ליטר}$$

$$1 \text{ אטמוספירה} = 760 \text{ מ"מ כספית (Hg)}$$

בחן יחידה 1

1. רשום 6 מצבים או גורמי חריגה העלולים לחשוף צולל למחלת הדקומפרסיה:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

2. מתי השתמשו בתערובות אוויר מועשר בפעם הראשונה?

3. מהו SafeAir® ?

4. מהו NITROX I ?

5. מהו NITROX II ?

6. מהם יתרונות השימוש ב-SafeAir® ?

א) _____

ב) _____

ג) _____

ד) _____

ה) _____

ו) _____

ז) _____

יחידה 2

החמצן והצולל

הפעילות הפיסיולוגית של החמצן

מטרה

להעמיק את הבנת ההשפעה הפיזיולוגית של החמצן על גוף האדם בעת פעילות בסביבת לחץ. כמו-כן רכישת ידע על הדרכים להפחתת הסיכון בצלילה באמצעות השימוש באחוזי חמצן גבוהים.

רקע

כל צולל יודע את השפעת החנקן על פעילות הצלילה שלנו. בפרק הקודם דנו בקשר שבין החנקן וחוב הדקומפרסיה. כולנו מבינים שישנו קשר של לחץ/זמן המשפיעה על מגבלת החשיפה המותרת לחנקן. הובכן ישנה גם מגבלת לחץ/זמן בהקשר לחשיפה המותרת לחמצן.

בקורס הצלילה הבסיסי למדנו, שיש להתייחס לעומק של 30 מ' כגבול לצלילה בטוחה. אחדים למדו בודאי שלצוללים מנוסים הגבול הוא בעומק של 40 מ'. אמנם אפשר להתווכח בנוגע להגדרה מי הוא צולל מנוסה, אך למספרים אלה לא הגענו במקרה או באופן שרירותי. הם מבוססים על תגובותיהם הפיזיולוגיות האמיתיות של הצוללים לעומקים אלו. ליתר דיוק, הם נובעים מהשפעת לחצו החלקי של החנקן: כאשר נושמים אוויר, הופך החנקן למשכר בעומק העולה על 30 מ' ובעומק 40 מ', כל צולל יהיה תחת השפעתו.

צוללי עומק רבים טוענים שהם מרגישים מצוין ואינם מרגישים בקשיים מיוחדים בעומק העולה על 40 מטר, 46 מטר או אפילו 60 מטר. יתכן שצוללים אלה דוברים אמת. חוש ההבחנה הוא הראשון שנפגע כתוצאה מהשפעת החנקן ולכן יתכן שאינם מבחינים בהשפעות שליליות כלשהן ומדווחים על כך בדיוקנות. אך בניסויים רפואיים הוכח שכל בני האדם מושפעים במידה נכרת מהשיכרון. חומרת ההשפעה השלילית תלויה במשתנים רבים. משתנים אלה עלולים אף להשתנות מיום ליום אצל אותו אדם. המנגנונים והגורמים המדויקים האחראים לכך, אינם מובנים באופן מלא עד כה. אך אנו כן יודעים שיכולת השיפוט של הצולל, זמן תגובה, ההבחנה החושית (ראייה, קור, כאב וכד') והקאורדינציה, נפגעים באופן משמעותי. אין ספק, ששיכרון עומקים הוא גורם מכריע ברוב התאונות בצלילת עומק. צוללים רבים אשר בדרך כלל אינם מתקשים לבצע בדיוקנות תוכנית צלילה, נוכחים לדעת שהשליטה בעומק ובזמן זה עניין "חמקני" בצלילות עומק. בעת נשימת אוויר רגיל, יש לדבוק בגבולות המוזכרים לעיל.

ידוע לנו היטב שעומקים אלה "לוחצים" את פיזיולוגית האדם עד מאוד. באשר לחסרונות הפיזיולוגיים של האוויר, ידוע לנו זה זמן רב, שאוויר הינו תערובת הגזים הנחותה ביותר לצולל. עתה לומדים הצוללים דרכי התמודדות עם עומקים גדולים יותר או זמני חשיפה ארוכים יותר, על ידי החלפת גזי הנשימה.

לחץ חלקי - בתערובת גזים, המולקולות של כל גז מפעילות לחץ ("לחץ חלקי") והלחץ הכולל של התערובת הוא סכום כל הלחצים החלקיים. לאוויר כדוגמה, יש 78 מולקולות של חנקן על 21 מולקולות של חמצן. לשם הפשטה, הבה נתעלם מהגזים האדישים ונוסיף את אחוזם לחנקן. אז נוכל לומר שהלחץ הכללי המופעל על ידי אוויר הינו סכום הלחצים המופעלים על ידי מולקולות החנקן ומולקולות החמצן.

האחוז מהלחץ הכללי המופעל על ידי מולקולות החנקן (כולל הגזים האדישים) הינו 79% (0.79) והאחוז מהלחץ הכללי המופעל על ידי מולקולות החמצן הינו 21% (0.21). זהו חלקו של כל גז בתערובת (fg).

חלקו של כל גז מהלחץ הכללי נקרא **הלחץ החלקי** של הגז. היחס בין הלחץ הכולל והחלקי בתערובת גזים מוגדר על ידי **חוק זלתון** אותו ניתן לבטא באופן מתמטי בדרך הבאה:

$$P = P_1 + P_2 + \text{גזים אחרים}$$

$$P = \text{הלחץ הכללי}$$

$$P_1 = \text{לחץ חלקי של גז 1}$$

$$P_2 = \text{לחץ חלקי של גז 2}$$

תרשים 1-2 עלית לחצם החלקי של הגזים בעת העמקה

לחצם החלקי של הגזים באוויר בעומקים שונים

לחץ חלקי של חנקן PN ₂	לחץ חלקי של חמצן PO ₂	עומק במטר	לחץ אטמוספרי מוחלט
0.79	0.21	0	1
1.58	0.42	10	2
2.37	0.63	20	3
3.16	0.84	30	4
*3.95	1.05	40	5
*4.74	1.26	50	6
*5.53	1.47	60	7
*6.00	1.6	66	7.6
*6.32	*1.68	70	8

* מעבר לתנאי חשיפה מומלצים

לחצם החלקי של הגזים בתערובת SafeAir®32 בעומקים שונים

לחץ חלקי של חנקן PN2	לחץ חלקי של חמצן PO2	עומק במטר	לחץ אטמוספרי מוחלט
0.68	0.32	0	1
1.32	0.64	10	2
2.04	0.96	20	3
2.72	1.28	30	4
*3.4	1.6	40	5
*4.08	*1.92	50	6

לחצם החלקי של הגזים בתערובת SafeAir®36 בעומקים שונים

לחץ חלקי של חנקן PN2	לחץ חלקי של חמצן PO2	עומק במטר	לחץ אטמוספרי מוחלט
0.64	0.36	0	1
1.28	0.72	10	2
1.92	1.08	20	3
2.56	1.44	30	4
2.81	1.58	34	4.4
3.2	*1.8	40	5

* מעבר לתנאי חשיפה מומלצים

תחומי חמצן ומגבלותיו

בתרשים 1-2 ראינו שעם העמקה בצלילה, יעלה בהתאם גם לחצו החלקי של החמצן. מכיוון שבעת יצור תערובת SafeAir® ניתן לגוון את % החמצן בתערובת בין 0% ל-100%, הלחץ החלקי של החמצן בפני הים יכול להיות בין 0 ל-1.0 אט". מה תהיה ההשפעה אם בתהליך יצור גז הנשימה נחליט להוריד את הלחץ החלקי של החמצן? בלחץ חלקי של 0.21 אט" (21% בפני המים) הכל כשורה מאחר וזהו מצב של "חמצן בנורמה" המינון הרגיל אליו הגוף "מתואם". אך אם נדלל את רמת החמצן נהיה מסוגלים לתפקד כל עוד לחצו החלקי לא ירד מתחת ל-0.16 אט". מתחת ל-0.16 הגוף נכנס למצב היפוקסי (חוסר חמצן) בו החיים נשמרים רק במצב של שינה או במנוחה. בסביבות 0.1 אט" זה כבר לא מספיק - המוות הוא בלתי נמנע. המסקנה המתבקשת היא, שבכל תערובת נשימה בגובה פני הים הלחץ החלקי של החמצן חייב להיות לפחות 0.16 אט".

אז אנו יודעים כבר שהלחץ החלקי המזערי של החמצן הוא 0.16 אט" - לא 16% אלא 0.16 אט". למרות שאין הבדל בין ערכים אלה בלחץ אטמוספרי, אם נעניין שוב בתרשים 1-2, נראה שעם העמקה לחצו החלקי של החמצן עולה למרות שאחוזו בתערובת נשאר קבוע וזה זמן רב ידוע שמגבלת החשיפה המרבית לחמצן היא ללחץ חלקי של 1.6 אט", שווה ערך לנשימת אוויר בעומק 66 מטר, נשימת תערובת SafeAir®32 בעומק 40 מטר, נשימת

תערובת SafeAir®36 בעומק 34 מטר (ראה תרשים 1-2) ונשימת חמצן נקי בעומק 6 מטר. שים לב לעובדה שככל שהתערובת עשירה יותר בחמצן, עומק צלילה מרבי מותר (Maximum Operating Depth - MOD) רדוד יותר.

סימני רעילות החמצן

תרשים 2 - 2

הרעלת חמצן - סימני הרעלת מערכת העצבים המרכזית (CNS)

עיין במפתח "אש חסר הבעה":

א - אופוריה, התרוממות רוח.

ש - שמיעה, "צלולים באוזניים".

ח - חרדה, עליה בסף החרדה.

ס - סחרחורת, וורטיגו.

ך - ראית מנהרה, הפרעות בראיה.

ה - התנהגות לא הגיונית ולא אחראית.

ב - בחילה, לפעמים נפסקת חליפות.

ע - עוויתות ואיבוד הכרה.

ה - התכווצויות שרירים קטנות ועוויתות קלות (בעיקר בפנים ובשפתיים).

שים לב לחפיפה שבין סימני הרעלת חמצן לבין שיכרון עומקים, ואלה לא תמיד ניתנים להבדלה כהלכה, האם איבוד שדה הראייה ההיקפי נגרם על ידי חנקן או חמצן? האם תחושת "האופוריה" היא "רק" תוצאה של שיכרון עומקים או שמע מדובר בהתנסות ראשונית של הרעלת חמצן? כיצד בכלל ניתן לאתר את הגורם האמיתי של הבעיה אותה נחוש בעת צלילה?

החנקן הוא הגורם לשיכרון ופועל גם כזרז להרעלת חמצן. ומאחר ולסימנים העיקריים של הרעלת חמצן ושיכרון עומקים דמיון רב. על הצולל הנושם גזים עם לחצים חלקיים גבוהים דיים כדי לגרום לשתי הבעיות, להיות זהיר ביותר ולחשוך בחמצן כאשר העיקרי. מן התבונה לנקוט בגישה זהירה זאת, מכיוון שהחמצן פחות "סלחן" מהחנקן והסימנים עלולים להחמיר ללא כל התראה.

אין להתייחס לגבולות רעילותו של החמצן באותה קלות כמו שצוללים רבים מתייחסים להרעלת חנקן (שיכרון).

הגורמים להרעלת החמצן

ישנם שלושה משפיעים עיקריים על הסבירות להופעת הרעלת החמצן:

1. זמן החשיפה לחמצן - "זמן חמצן" (tO_2).

2. הלחץ החלקי של החמצן (PO_2).

3. הפחמן הדו-חמצני בגוף הצולל (CO_2).

מגבלת הזמן - "זמן חמצן"

זה זמן רב קיימת מודעות לצורך לתכנן את הצלילה מההיבט של זמן החשיפה לחנקן (tN_2). יחס זמן/לחץ חלקי דומה קיים גם עם חמצן. וכאשר נושמים חמצן בלחץ חלקי מעל 0.5 אט', יש צורך לתכנן גם את זמני החשיפה המרביים לחמצן (tO_2).

קיומו של "זמן חמצן" הוסתר עד כה משורת הצוללים הספורטיביים. אולי תוך הנחה שהם אף פעם לא יכנסו לתחום בו מידע זה יהיה שימושי. צלילת אוויר לעומק 60 מטר נמצאת כבר בהחלט ב"תחום הזהירות" של חשיפה לחמצן. העלמת מידע חיוני זה שירת לרעה את אלה שהתפתו לרדת לעומק רב יותר (למרות שניתן להניח שמי שבחר להתעלם מסיכון היתר מהחשיפה לחנקן בעומקים אלה לא היה נרתע מהעמקת יתר לנוכח מידע זה).

המנהלה הלאומית לאוקינוגרפיה ואטמוספירה בארה"ב NOAA פרסמה את הטבלה הקובעת את זמני החשיפה המרביים המומלצים לחשיפה לחמצן. יש להתייחס אליהם באותה חשיבות כמו אל טבלאות הדקומפרסיה ולהשתמש בהן כחלק מתכנון הצלילה.

ראה תרשים 2-4.

תרשים 4-2 גבולות החשיפה לחמצן - NOAA

לחצים חלקיים וגבולות זמני חשיפה לתערובות חנקן - חמצן

מגבלות לחץ חלקי לחשיפה רגילה						
לחץ חלקי של חמצן (PO ₂) באט'		זמן חשיפה מרבי לחשיפה בודדת			זמן חשיפה מרבי לכל 24 שעות	
		דקות	שעות		דקות	שעות
1.6		45	0.75		150	2.5
1.5		120	2.0		180	3.0
1.4		150	2.5		180	3.0
1.3		180	3.0		210	3.5
1.2		210	3.5		240	4.0
1.1		240	4.0		270	4.5
1.0		300	5.0		300	5.0
0.9		360	6.0		360	6.0
0.8		450	7.5		450	7.5
0.7		570	9.5		570	9.5
0.6		720	12.0		720	12.0

הסבירות להופעת הרעלת חמצן מעבר לגבולות אלו היא גבוהה ביותר, אין במספרים הנתונים שום מקדמי ביטחון נוספים. אלו הם המספרים האמיתיים. השוני בתכיפות הופעת ההרעלה אינו נובע ממקדם בטיחות אלא מטבעו המורכב עד מאוד של מנגנון החמצן הגורם לסכנת ההרעלה. צלילות עם עומס עבודה רב, מחייבות הורדת העומק או ריכוז החמצן בתערובת (ה- PO₂ המרבי). לפרופיל צלילה עם מאמץ או בתנאי צלילה חריגים, ANDI ממליץ שלחצו החלקי של החמצן (PO₂) לא יעובר על 1.45 אט'.

מגבלת הלחץ החלקי

תחום התועלת המרבית - כאשר לחצו החלקי של החמצן בטווח שבין 0.5 ל-1.45 אט' PO₂ מפיק הצולל הספורטיבי את התועלת הפיזיולוגית הרבה ביותר מהשימוש בתערובות מועשרות. זמני החשיפה המרביים (tO₂) שנקבעו לחשיפה יחידה (ראה טבלה 2-4) מותירים פרופיל צלילה נרחב למדי (2.5 עד 6 שעות ויותר) ואינם טומנים בחובם שום סכנה נוספת מצד החמצן.

תחום הזהירות - התחום שבין 1.45 ו-1.6 אט' PO₂ נחשב ל"תחום הזהירות". היה מודע לכך, שמאמץ רב והצטברות CO₂ עלולים להגדיל את סבירות הופעתן של בעיות הרעלת החמצן (CNS) ולכן לפני החלטה להיחשף לתחום זה ודא שמצבך הפיזי תקין, שעומס המאמץ המתוכנן אינו גבוה והתנאים הסביבתיים המשפיעים על מידת המאמץ (זרם, סוג המשימה המתוכננת וכד..) אינם חריגים.

זמני החשיפה הרשומים בתרשים 2-4 נחשבים למספרי אמת שהוכיחו עצמם בצלילות רבות ללא בעיות מאז פורסמו ע"י NOAA ב-1990. אלה הם הזמנים והגבולות שגם ANDI משתמש ומלמד. אך אל תתייחס לכך כאל רשיון לפעול בזלזול בשוליים של גבולות אלה או אף מעבר אליהם. סיבולת חמצן הנה סוגיה מורכבת מאוד. יש להימנע מלהחליף בעיה אחת (מדק') באחרת (הרעלת חמצן). ראה שוב תרשים 2-2 בנוגע לסימני הרעלת חמצן.

לעתים רחוקות מאוד יופיעו סימני הרעלת חמצן משך צלילות עם עומס עבודה רגיל בחשיפה ל-1.6 אט' PO₂, לעומת זאת בצלילות עם עומס עבודה רב, יש לקצר את משך הצלילה לזמן קצר מ-45 דקות לחשיפה יחידה. ובמידה ותוכנית הצלילה שלך תוכננה ל-45 דקות ב-PO₂ של בין 1.5 ל-1.6 אט', יהיה זה חכם מצידך לקצר את זמן הצלילה אם תחוש במאמץ נשימתי רב או אם קצב נשימתך עלה באופן משמעותי. ואו להפחית את העומק (לחץ חלקי של חמצן עד 1.45).

אין תחומי חשיפה לחמצן מושלמים, כפי שלא קיימת טבלת דקומפ' מושלמת.

מעל PO₂ של 1.6 אט', סבירות הופעתה של הרעלת חמצן גבוה ביותר. חשיפה כזאת אומנם נסבלת לזמן קצר ללא הופעת תסמונת ההרעלה, אך רק במידה ואיזון המשוואה הפיזיולוגית מרשה זאת. בדרך כלל זה נכון אך ורק לתנאי "מנוחה".

צלילה חוזרת - ניתן לבצע בבטחה לאחר מתן אפשרות מספקת לגוף "לאפס" את שעון החמצן. זמן ההפסקה המינימלי המומלץ לשם כך הוא 45 דקות של נשימת אוויר על פני המים, וייצוב החמצון המוגבר שנוצר בגוף עקב הלחצים החלקיים הגבוהים של החמצן. בהתחשב גם בזמן חנקן, מן התבונה לעשות הפסקה של שעה אחת בין הצלילות. כמו-כן יש לנצל את ההפסקה לשתיית נוזלים. הדבר עוזר להתמודד עם השינויים שחלו ונותן לגוף אפשרות לכוון ולהתאים את עצמו לשינויים אלה.

השפעת הפחמן הדו-חמצני (CO_2)

פחמן דו-חמצני הוא הזרז (קטליזטור) העיקרי להרעלת חמצן. CO_2 הוא תוצר לוואי של פעולת הנשימה ובעת מאמץ תחת המים, עולה ריכוזו בדם ומגביר את הסכנה להרעלת חמצן גם בתחומי החמצן הבטוחים. לכן חיוני לתכנן רמות חמצן שמרניות יותר ולהשאיר בתחום "התועלת המרבית" (עד PO_2 1.45), בכל צלילה עם עומס עבודה רב. ולהקפיד על שימוש במערכת נשימה איכותית שמתוחזקת היטב ומפחיתה הצטברות פחמן דו-חמצני. לא ניתן להגזים בהדגשת חשיבות העניין.

חזרה

1. מה הם הגזים העיקריים המרכיבים את האוויר, ומה אחוזיהם בתערובת?
2. מה הם הסימנים לשיכרון עומקים (הרעלת חנקן)?
3. מה הם הסימנים להרעלת חמצן?
4. באיזה אופן בדרך כלל נלקח בחשבון "זמן החנקן" (tN_2)?
5. היכן ניתן למצוא את מגבלת "זמן חמצן" (tO_2)?
6. אילו הם 3 המשפיעים העיקריים על סבירות הופעת הרעלת החמצן?
7. מה היא החשיפה המרבית המקובלת לחמצן באט', בפעילות תת-מימית רגילה ובמאמץ?
7. הצטברותו של איזה גז מזרז את הופעת הרעלת החמצן?

אזהרה ! אזהרה ! אזהרה !

מידע וחומר לימודי זה אינו מכשיר את הצולל לצלול לעומק העולה על העומק המירבי המותר לו עפ"י דרגת הצלילה הבסיסית שלו, בסביבה מקורה או צלילה לתחומים המחייבים חניות דקומפרסיה (צלילות דקומפרסיה). נדרשת הדרכה נוספת לפני חשיפה לפעולות צלילה אלו.

בחן יחידה 2

1. מה הם אחוזי החנקן והחמצן בתערובת ניטרוקס הנקראת אוויר?

_____ (א) _____ (ב)

2. מלא את סימני ה- "אש חסר הבעה" :

_____ א
_____ ש

_____ ח
_____ ס
_____ ר

_____ ה
_____ ב
_____ ע
_____ ה

3. אילו מהסימנים הבאים משותפים להרעלת חמצן ושיכרון עומקים ?

(הקף בעיגול את אותיות "אש חסר הבעה" בשאלה 2)

4. מה היא החשיפה המרבית הרגילה לחמצן באט' ?

אט' _____

5. איזה גז, כאשר נוכחותו בגופנו עולה, מזרז את סימני ה-"אש חסר הבעה" ?

6. בהתחשב בחמצן, באיזה עומק מגיעים לקצה "תחום הזהירות" בעת נשימת :

אוויר _____ מ', SafeAir®32 _____ מ', SafeAir®36 _____ מ'.

יחידה 3

היישומים העיקריים של SafeAir®

מטרה

עם השלמת פרק זה תבין את השימושים המעשיים של SafeAir®. וכיצד אפשר להפיק את היתרון שבנשימת תערובת SafeAir®.

יישום 1 - שיטת 4 הכללים:

הדרך הקלה ביותר להשתמש בתערובות אוויר מועשר, היא לפעול בהתאם לשיטת 4 הכללים.

פשוט:

* השתמש בתערובת התקנית SafeAir® 32.

* אל תצלול לעמק גדול מ-40 מטר.

* אל תעבור 45 דקות זמן תחתית.

* כל השאר כמו בצלילת אוויר.

בכך ש"כל השאר" אותו הדבר (אותן טבלאות ואותם כללי שימוש), אין צורך בהעלאת רמת הכישורים או תכנון הצלילה. כל טבלה מתאימה, מאחר ו-SafeAir® רק מגדיל את מקדם הבטיחות באשר לרמת החנקן.

כל צולל ספורטיבי מוסמך יפיק תועלת מרמת החנקן הפחותה בתערובות SafeAir®.

באותו הנוהל ניתן להשתמש גם עם תערובת SafeAir®36 כל ההבדל הוא מגבלת העומק מאחר ומדובר בתערובת עשירה יותר בחמצן:

*השתמש בתערובת תקנית SafeAir®36

* אל תצלול לעומק גדול מ-34 מטר.

* אל תעבור 45 דקות זמן תחתית.

* כל השאר כמו בצלילת אוויר.

בכל מקרה זכור שהצלילה מוגבלת לתחום הצלילה שאינו מחייב חניות דקוי ומגבלת הזמן של 45 דק' רלוונטית רק כאשר זמן התחתית המותר ארוך יותר מ-45 דק'.

יישום 2 - SafeAir® ומחשב אוויר

אפשר גם להשתמש במחשב צלילה המתוכנת לשימוש ב"אוויר". ניתן לנצל באופן עקרוני כמו בתכנון צלילת אוויר רגילה. הדבר מגביר את בטיחות הצולל ויחד עם זאת גם מאפשר זמן תחתית ארוך בהרבה לעומת הטבלאות התקניות לאוויר. דרך זו לשימוש במחשב היא, לצלול לפי גבולות האוויר ולהשיג מרווחי בטיחות גדולים ביותר. אין צורך בשום שינוי בתכנון הצלילה מלבד בקרת "זמן חמצן" (tO_2), ראה תרשים 2-4. אם משתמשים במחשב בצורה נכונה, אין סיבה לדאגה מבחינת זמן החנקן. ניתן לנקוט באותן דרכי גיבוי כמו בצלילה רגילה עם אוויר.

מחשב המתוכנת לאוויר אינו מזהה את תערובת הנשימה, הוא מתוכנת לתערובת של 78% חנקן ומחשב בהתאם. מכון שספיגת הגזים האדישים עם SafeAir® קטנה יותר, למעשה "מתכנת" בכך הצולל מרווח בטיחות משלו. אם המטרה הבלעדית היא להגדיל את הבטיחות ולצמצם את הסיכון של אי-דיוק חישוב החנקן (tN_2). ניתן להשתמש בכל אחת משתי התערובות בתוך גבולות זמני החשיפה לחמצן (טבלה 2-4) וללא שינוי כלשהו בשאר ההליכים. על יישום זה חלות אותן מגבלות כמו על יישום מס. 1 אך נהנים מכל היתרונות שבשימוש במחשב צלילה.

יישום 3 - מחשב SafeAir® או מחשב הניתן לתכנות ל-SafeAir®

יישום זה בא במטרה להפיק את זמן התחתית המרבי מתערובת ה-SafeAir®. השתמש במחשב "SafeAir®", התאם את התערובת לאחוז החמצן (fO_2) הנקוב במחשב או לחילופין כייל את המחשב לתערובת הנשימה (עפ"י סוג המחשב). תוכל להאריך את זמן תחתית מרבי ולקצר למינימום את זמן ההפסקה על פני המים, ותוכל גם לבחור לך את זמן התחתית הארוך ביותר גם בצלילה החוזרת. בצע את הליכי הבטיחות הרגילים בעליה, לפי הוראות היצרן והוסיף מידת בטיחות נוספת ע"י עצירת בטיחות של לפחות 3 דק' בעומק 3-5 מ'.
זכור - תוכנית זאת דנה באפשרויות השימוש בשתי התערובות התקניות בלבד SafeAir®32 ו-SafeAir® 36 שימוש בסוגי תערובות נוספות כרוך במידע נוסף בו נדון בהרחבה בקורס דרגה 2 (Complite SafeAir User).

יישום 4 - השתמש בטבלה ייחודית לתערובת.

השתמש בטבלה מתאימה לתערובת הנשימה. זכור שיש להחליף טבלאות במידה ומחליפים תערובת. בגמר כל הפסקה בין צלילות יש למצוא את "אות קבוצת צלילה חוזרת". המייצגת את כמות החנקן השיורי. קיימת חפיפה בין שלושת הטבלאות התקניות בהן אנו משתמשים: טבלה ישראלית (צי ארה"ב), NOAA NITROX I, NOAA NITROX II, כולן משתמשות באותן אותיות כדי לסמל את אותן כמויות חנקן ברקמות ולכן מותר במידת הצורך לעבור מאחת לשניה (לדוגמה: צלילה ראשונה באוויר, שניה ב-SafeAir®32 ושלישית ב-SafeAir®36) אך יש לוודא שאתה אכן משתמש בתערובת המתאימה לטבלה בה בחרת להשתמש. פעל עפ"י הכלל המקובל ובצע "צלילה עמוקה תחילה".

בחר להשתמש בתערובת עם ריכוז החמצן (fO_2) הגבוה ביותר המתאים לעומק הצלילה (MOD). טבלאות NOAA מניחות שהעליות והירידות מבוצעות תוך נשימת אוויר רגיל. השימוש ב-SafeAir® במקום אוויר מוסיף בעצם אמינות

לטבלאות, ניתן לומר שטבלאות NOAA שמרניות יותר מטבלאות האוויר עליהן הן מתבססות.

ראה נספח - טבלאות דקומפרסיה NOAA NITROX I, NOAA NITROX II

יישום 5 - שיטת "שווה עומק אוויר" - EAD (Equivalent Air Depth)

כאשר כמות החנקן בגז הנשימה משתנה תשתנה גם כמות החנקן המתמוססת ברקמות. שיטת שווה עומק אוויר (EAD) משווה את כמות החנקן היחסית בתערובת SafeAir® הננשמת, לעומק בו תתמוסס כמות זהה של חנקן בעת נשימת אוויר.

בעזרת הנוסחה, הנלמדת בקורס דרגה 2 של ANDI לומד המשתמש לתכנן צלילת SafeAir® בעזרת כל טבלת דקו' סטנדרטית. תרשימים 4-2 ו- 4-6 מאפשרים יישום השיטה לתערובות SafeAir®36 ו-SafeAir®32.

תרשים 4-2

שווה עומק אוויר (EAD) המבוסס על תערובות SafeAir® 32 בעומקים שונים:

עומק במטר	EAD במטר	עומק טבלאות אוויר	לחץ חלקי של חמצן באט"ב/בר	זמן מרבי לחשיפה רגילה לחמצן (תרשים 2-4)
6	3.75	-	0.51	-
9	6.33	-	0.61	720
12	8.92	-	0.71	570
15	11.50	12	0.80	450
18	14.08	15	0.90	360
21	16.66	18	1.00	300
24	19.25	21	1.10	240
27	21.82	24	1.19	210
30	24.41	27	1.29	180
33	26.99	30	1.39	150
36	30.44	30	1.48	120
39	33.02	33	1.58	45
40	33.03	33	1.6	45
42	35.02	36	1.66*	-

* מעבר לחשיפה מרבית מומלצת.

תרשים 4-6

שווה עומק אוויר (EAD) המבוסס על תערובת SafeAir® 36 בעומקים שונים:

עומק במטר	EAD במטר	עומק טבלאות אוויר	לחץ חלקי של חמצן באט"ב	זמן מרבי לחשיפה רגילה לחמצן (טבלה 2-4)
9	5.37	-	0.69	570
12	7.80	-	0.79	450
15	10.23	12	0.90	360
18	12.66	15	1.01	300
21	15.09	18	1.12	210
24	17.52	18	1.23	180
27	19.95	21	1.34	150
30	22.38	24	1.45	120
33	24.81	27	1.56	45
34	25.6	27	1.6	45
36	27.24	30	1.67*	-

*מעבר לתחום חשיפה מרבי מותר

ס י כ ו ם

1. הסבר באופן כללי את שיטת "שווה עומק אוויר".
2. מנה את 5 היישומים לצולל דרגה 1 של ANDI.
3. אילו גזי נשימה מותרים לצולל דרגה 1 של ANDI.

אזהרה ! אזהרה ! אזהרה !

מידע וחומר לימודי זה, אינו מכשיר את הצולל לצלילה לעומק העולה על העומק המרבי המותר לו עפ"י דרגת הצלילה הבסיסית שלו, בסביבה מקורה או צלילה לתחומים המחייבים חניות דקומפרסיה (צלילות דקומפרסיה). נדרשת הדרכה נוספת לפני חשיפה לפעולות צלילה אלו.

בחן יחידה 3

1. מה הוא עומק צלילה מרבי (MOD) ליישומים 1, 2, 3: _____

2. השימוש במחשב "אוויר" מניח שכמות החנקן בגז הנשימה שווה ל _____ ולכן _____ מקדם ביטחון לנושם תערובת SafeAir®.

3. זמן צלילה מרבי ללא צורך בדקומפרסיה לעומק 24 מטר הוא: _____ באוויר _____ SafeAir®32 _____ SafeAir®36 _____.

4. בחר את התערובות המתאימות ביותר כדי לבצע 2 צלילות עם הפסקת צלילה של שעתיים. צלילה ראשונה לעומק 40 מטר ושניה לעומק 25 מטר:

צלילה 1 _____ צלילה 2 _____.

5. המשך לשאלה 4 - מהו זמן מרבי ללא צורך בדקומפרסיה בשתי הצלילות עפ"י הנתונים בשאלה 4:

צלילה 1 _____ צלילה 2 _____.

6. איזה תערובת תבחר לכל אחת מהצלילות הבאות אם ברצונך לבצע שתי צלילות ביום אחד עם הפסקת צלילה של שעה אחת. צלילה ראשונה לעומק 30 מטר וצלילה שניה לעומק 15 מטר.

צלילה 1 _____ צלילה 2 _____.

7. המשך לשאלה 6 - מהו זמן צלילה מרבי ללא צורך בדקומפרסיה בשתי הצלילות:

צלילה 1 _____ צלילה 2 _____.

8. שיטת "שווה עומק אוויר" משווה בין כמות החנקן בתערובת הנשימה לכמות החנקן ב _____.

9. האם תוכנית ההדרכה של ANDI דרגה 1 מסמיכה את הצולל לצלול מעבר לעומק המרבי המותר לו עפ"י דרגת הצלילה הבסיסית שלו, צלילת דקומפרסיה או צלילה בסביבה מקורה? תשובה: _____.

10. לפי תוכנית הדרכה זאת (דרגה 1), אילו תערובות SafeAir® מותרות לשימוש ומהו העומק המרבי (MOD) של כל אחת מהן: _____

יחידה 4

הטיפול ב-SafeAir®

ונוהל אבחון גז הנשימה

מטרה

עם השלמת פרק זה תדע את ההליכים ואת השיטות לסימון, טיפול ואבחון מכלים עם SafeAir®.

פעילות החמצן

כפי שלמדנו בפרק 2, חמצן הוא גז בעל מולקולות פעילות ביותר הנקשרות עם רוב הגופים האחרים. אפשר לומר, שבתנאים הנכונים כל דבר נקשר עם חמצן. אופיו הפעיל של החמצן מכתוב נהלי זהירות מיוחדים בעת הטיפול בו, מאחר והחמצן גורם לכל דבר לבעור מהר יותר, בקלות רבה יותר ותחת תנאים מיוחדים גורם לפיצוץ. הנהלים המיוחדים לטיפול בציוד הצלילה באים למנוע תאונות לרכוש ולאדם, יש להשאיר את הטיפול בחמצן למקצוענים שהוכשרו לכך.

מאחר ו-SafeAir® מכיל יותר חמצן מאשר אוויר, איננו יכולים לטפל בו כאילו היה אוויר.

זכור SafeAir® הינו תקן ANDI ליצור, טיפול ושימוש בניטרוקס. אי הקפדה על אחד משלושת מרכיבי התקן מבטלת את כל יתרון השימוש בניטרוקס ורק מחליפה בעיה אחת בבעיה אחרת.

כשירות לחמצן

"כשיר לחמצן" משמעותו עומד בתקן למגע עם חמצן נקי ללא סיכון. כדי שמוצר או רכיב כלשהו יהיה כשיר לשימוש בחמצן הוא חייב לעמוד בשלושה תקנים מחייבים עליהם נרחיב בהמשך: "נקי לחמצן", "מתואם לחמצן" ובעל "תכנון הנדסי" לחמצן. לרוב הרכיבים המיועדים לבוא במגע עם חמצן יש גם מגבלת טמפרטורה/לחץ כחלק מכשירותם לחמצן.

אין כמובן ויכוח אם על מוצר הבא במגע עם 100% O₂ להיות מוגדר "כשיר לחמצן". המדיניות נקבעה מזמן והיא ברורה למדי, כל ציוד הבא במגע עם חמצן נקי צריך להיות מתאים, נקי ומיוצר לשימוש עם חמצן, כלומר כשיר לחמצן.

באיזה אחוז חמצן, מתחיל אוויר מועשר להתנהג כמו חמצן נקי?

עם ההכרה בעובדה שאחוז ריכוז החמצן הוא רק מרכיב אחד ממספר משתנים, נקבע

ע"י (Compressed Gas Association and American Industry) שיש להתייחס לכל תערובת המכילה יותר מ-23.5% חמצן, כאילו הייתה 100% חמצן. רוב ספקי הגז התעשייתי מטפלים בכל תערובת מועשרת בחמצן כאילו היא 100% חמצן. זה כלל הזהירות שיש לנקוט כאשר המשפיעים כמו: לחץ, טמפרטורה, ריכוז חמצן, כמות וסוג המזהמים, רמת ההתאמה לחמצן וכד... יכולים להיות כל כך מגוונים ובעלי השפעה רבה.

האם ציוד צלילה תקני "כשיר לחמצן" ?

ציוד הצלילה יכול לעבור את תהליכי הניקוי ותאום לחמצן אך אינו מעוצב הנדסית לפי התקן המחייב לחמצן ולכן אינו כשיר לשימוש עם חמצן נקי. אי לכך תקן ANDI קובע שלאחר ניקוי ותאום מוגבל ציוד הצלילה (מכלים, וסתים וכל הרכיבים הבאים במגע עם לחץ גבוה) לשימוש עם תערובת SafeAir® מוכנה מראש, עם ריכוז חמצן מרבי של עד 50%.

לכל תערובת עם ריכוז חמצן גבוה מ- 50% יש להתייחס כאל חמצן טהור ולטפל בה בהתאם.

נקי לשימוש בחמצן וציוד ל-SafeAir®

מכלי צלילה, ברזים וציוד נשימה המשמשים לתערובות SafeAir®, חייבים להיות נקיים מכל "זיהום" הפעיל בעת מגע עם חמצן. הציוד חייב להיות "נקי לחמצן" (עפ"י תקן ANDI), כלומר עבר תהליך מיוחד של ניקוי להסרת כל הזיהומים האסורים למגע עם חמצן. מאחר וחמצן עלול להגיב באופן "אלים" בבואו במגע עם חומרים מסוימים, חובה להרחיק חומרים אלו מכל מגע עמו. הדבר חיוני במיוחד במערכות לחץ גבוה.

מזהמים שכיחים בציוד צלילה הם:

שמן מנוע ושמני הברגה

גריז וחומרי ניקוי

עפרונות צבע וסימון

נסורת למיניה

אבקת חלודה ותחמוצות מתכת אחרות

אבק שבאוויר ופיח

טביעות אצבע שומניות

חומרים לאיטום הברגות צנרת

מים עם סבון לזיהוי מקור דליפה

מוך של בד המשמש להסרת אותם הדברים המוזכרים לעיל

ציוד הצלילה התקני המשווק על ידי היצרן אינו נקי לשימוש בחמצן. אסור להניח שציוד מסוים נקי לחמצן, אלא אם כן הוא ואריזתו מסומנים ומורים על כך. ניתן לנקות ציוד לשימוש בחמצן בשיטות שונות המבוצעות על ידי אנשי שירות מקצועיים. יצרנים רבים כבר מייצרים ציוד מתואם לחמצן.

בגלל אי-הוודאות באשר למידת ניקיונם של המכל או הברז, תקן ANDI קובע שלפני כניסתם לשירות עם SafeAir®, על כל מיכל וברז לעבור תהליך של "ניקויי לחמצן". עליהם לעבור ניקוי חוזר, אם קיים חשש של זיהום ואחרי כל בדיקה הידרוסטטטית. ורק אז ימולאו בתערובת SafeAir®. זה כבר שנים שציוד נקי לחמצן ממולא בתערובת SafeAir® ללא כל אירוע.

מספר יצרני ציוד צלילה מגבילים או אוסרים שימוש במוצרים שלהם עם אוויר מועשר, יש הקובעים ששלהם מתואמים לשימוש בתערובת עד 50% ואחרים למספרים אחרים. מספר יצרנים כבר מייצרים וסתים מתואמי SafeAir®. המלצת ANDI היא להשתמש רק בציוד נשימה שעונה לתקן ההתאמה והניקוי. עד לשעה זו, אין תקן תעשייתי מוצהר לעניין. אך כל יצרני ציוד הצלילה מסכימים לכך שכל ציוד צלילה, או חלק ממנו אשר יכנס לשימוש עם SafeAir®, חייב לעמוד בתקן המיוחד לחמצן.

מתאים לשימוש בחמצן

חומרים הבורעים באוויר, יעשו זאת ביתר שאת במגע עם חמצן נקי ויתפוצצו במערכות בסביבת לחץ גבוה. בשלב מסוים בו ריכוז החמצן יעלה (בכפוף לטמפרטורה ולחץ), התערובת תתחיל להתנהג כמו חמצן. הטמפרטורה, הלחץ החלקי והלחץ הכללי, כולם לוקחים חלק במשוואת החמצן. דיון בפעילות החמצן לא יהיה שלם אם לא יילקחו בחשבון שלושת המרכיבים הללו. בחירת החומרים הנכונים היא בגדר חשיבות עליונה בכל הקשור לחמצן נקי.

חומרים השכיחים בציוד צלילה סטנדרטי שאינם מתאימים לשימוש עם חמצן נקי הם:

טפלון רך

אטמים (Buna-N O-rings)

תושבות או דיאפראגמות העשויות מניאופרן

שמנים על בסיס סיליקון

בבואם במגע עם חמצן, בטמפרטורה ולחץ נכונים, חומרים אלו נוטים להתלקח כמו רוב החומרים האחרים בסביבה של חמצן. חומרים מסוימים אמנם לא יוצתו עד לטמפרטורה גבוהה יחסית, אך הם יתחמצנו ויתדרדרו במהרה, אפילו בסביבה של חמצן בטמפרטורה נמוכה. לחץ יזרז מצב זה עוד יותר. בקיצור, מתאים לחמצן פירושו, שכל החומרים הבאים במגע עם הגז (חמצן) אינם פעילים בטמפרטורה ולחץ הסביבה בהם נועדו לפעול. כמה סוגי פלסטיק למשל, המתאימים בטמפרטורות רגילות (כ-20 C, או 70 F) ובלחץ אטמוספרי, אך במידה והטמפרטורה ואו הלחץ יעלו באופן משמעותי, תרד רמת התאמתם. אפשרי גם שרכיב מסוים הנקי לשימוש בחמצן, אינו מתאים, או שהוא מתאים אך אינו נקי. ניתן למשל לנקות מוצר גומי מסוים לשימוש

בחמצן (כלומר לנקותו ממזהמים) אך הוא כשלעצמו לעולם אינו יכול להיות מתאים לשימוש בחמצן.

כמו-כן יכולים רכיבי נחשת להיות מתאימים לשימוש בחמצן אך פניהם עלולים להיות מזוהמים.

"יעוד" וסימון מכלים

מרגע שניכנס מיכל לשימוש עם SafeAir®, יחשב המיכל כמיכל "מיועד". כלומר, מיכל מיועד אך ורק למילוי אוויר מועשר בעל איכות מוכחת. יש מעט מאוד תחנות מילוי המספקות אוויר באיכות מספקת למניעת זיהום מכלים. לכן יהיה זה סיכון גדול מדי אם נאפשר מילוי באוויר שאינו נקי או אפילו אוויר מועשר מזוהם. וחשוב מזה, עלול להיגרם בלבול בלתי נמנע בין מכלים המכילים אוויר ואילו המכילים SafeAir®. כל זה ימנע רק אם נוהל ה"יעוד" יונהג ויאכף באופן חד משמעי. צולל שיתכנן פרופיל צלילה ארוך (העובר את גבולות טבלאות האוויר), בהנחה המוטעית שהמכל המיועד מלא ב-SafeAir®, עלול להוביל לנזק חמור ואף למוות.

כפי שניתן להבין מהמידע הנ"ל, מניעת טעויות בזיהוי תערובת הגז הננשם, מחייבת תקן סימון אחיד ומוכר.

בארה"ב ה-Compressed Gas Association קבעה תקן סימון מכלים כבר בשנת 1930. כדי למנוע זיהוי מוטעה, מספר ארצות אחרות אימצו חלק מצבעי הסימון המומלצים. מכל מקום, צבע הוא רק צורת זיהוי אחת. סימון בצבעים יכול להיות זיהוי מדויק של הגז במיכל, אך אינו מספק. סימון בצבעים שונים עדיין מומלץ, אך אינו נוהל נדרש בכל מקום. דוגמאות לסימון בצבעים הן: חמצן - ירוק, ארגון - חום, אוויר לנשימה - צהוב וקיימת רשימה של גזים וצבעים נוספים. הגופים המפקחים אינם אוכפים את השימוש בסימוני צבע, מאחר וישנם אמצעי ביטחון אחרים בתעשיית הגז הדחוס. כדי למנוע בלבול אפשרי, משתמשים למשל בברזים ייחודיים לכל סוג גז: ארגון-הליום (גזים אדישים), חמצן, אוויר, פרו פאן, דו-תחמוצת הפחמן ואחרים. ישנם אפילו ברזים שונים לאותו הגז שכל המבדיל בינם הוא לחץ הדחיסה. בנוסף לכך התקן (כמו בצי ארה"ב) מחייב לוחית סימון המוצמדת לכל מיכל ומזהה את תכולת הגז שבו.

סימון בצבע - תרשים 5-1

למרות שיצור ברזים וחיבורים ייחודיים לאוויר מועשר היו פותרים הרבה מבעיות נהלי הטיפול, הדבר אינו מעשי עדיין בתעשיית הצלילה. אך זה פשוט והגיוני להשתמש בסימוני הצבע, כדי להבדיל בין תערובות אוויר מועשר מגזים אחרים. תגי תכולה המוצמדים לצוואר המכל וניתנים לרישום חוזר, נותנים נטבח נוסף לזיהוי הגז. סימון הצבע שנבחר ע"י NOAA לסימון תערובות אוויר מועשר, הוא: חלק עליון ירוק וחלק תחתון צהוב, או טבעת ירוקה ברוחב 4 אינץ' על מיכל צהוב. כיום שתי הצורות מקובלות.

ANDI ממליצה להשתמש בסימוני צבע אלו וכאופציה להוסיף כיפה ירוקה בכל גודל, בחלקו העליון של המכל. נוהל זה מקובל כבר כתקן במקומות רבים בעולם (ראה תרשים 5-1).

מהרגע שהמכל סומן, ברור לחלוטין שתהיה זו טעות למלאו בגז אחר מאשר עפ"י סימון הצבע. אך צריכה להיות דרך סימון נוספת לזיהוי התכולה, לאזהרת אלו שלא

רכשו ידע זה ואינם מזהים את סימני הצבע - סימון באותיות (כיתוב). מדבקה היקפית למיכל - תרשים 2-5, הניתנת להשגה בתחנות המילוי של ANDI מסמנת בצורת אלפא בת וקובעת שתכולת הגז במיכל אינו אוויר. הדבר מוסיף מקדם ביטחון נוסף.

תג תכולת מיכל - תרשים 3-5

לראשונה נכנס לשימוש ב-ANDI בשנת 1988. תג התכולה מאפשר למשתמש לציין את רמת החמצן (fO_2) בתערובות SafeAir® שונות. ציון מספרו הסידורי של המכל על גב התג, משייך את התג אל המכל הנכון במקרים בהם התג נתלש מהמכל בזמן הטיפול וההובלה.

אין למלא מיכל שאינו נושא תג תכולה, המוצמד אליו !

תקן זה בא להגן על המשתמש, מרכז המילוי וכל תוכניות ההדרכה. ניתן להשיג את התג במרכזי המילוי וההדרכה של ANDI.

תג התכולה מאפשר למשתמש לזהות את המכל אותו בדק והכין לשימוש גם אם נמצא בין מכלים אחרים. אם תכנתת כמה צלילות וקיבלת מכלים עם ערכי fO_2 שונים, יאפשר לך התג לבחור במיכל עם ה- fO_2 המתאים לפרופיל הצלילה.

מדבקת ביקורת למיכל - תרשים 4-5

מדבקת הביקורת של ANDI, המודבקת על גוף המכל, באה לסמן שהמכל והברז עברו ביקורת, ניקוי לאוויר מועשר בחמצן ושרות לחמצן. אלו נהלי ANDI המחייבים את טכנאי השרות המוסמכים.

גליל סימון וסת - תרשים 4A-5

כל רכיבי הציוד הבאים במגע עם תערובת אוויר מועשר בלחץ גבוה חייבים לעבור את תהליכי הניקוי, התאמה וסימון, בניהם גם הדרגה הראשונה של הוסת. למרות ההיתר לשימוש צולב אוויר/ניטרוקס, יש לסמן את הוסת ולהבטיח שימוש עם SafeAir® בוסתים מתואמים בלבד. את גליל הסימון מומלץ להשחיל על צינור לחץ הביניים ולהצמיד לקצה הקרוב לדרגה השניה. ניתן להשתמש בגליל הסימון גם לסימון רכיבים אחרים שעברו ניקוי והתאמה.

אבחון גז ורישום

לאחר שהמכל עבר ניקוי, סימון, ביקורת וניקוי ברז כהלכה, ניתן להכניסו לשימוש SafeAir®. תהליך המילוי נעשה כמו מילוי אוויר סטנדרטי, למעט המלצה להעלאת לחץ מבוקרת (כ- 20 אט"ב לדקה). עם ההגעה ללחץ הרצוי, יעשה המשתמש אבחון גז כדי למדוד ולוודא את ריכוז החמצן (fO_2) בתערובת. מכלים שמולאו בתערובת שהוכנה מראש (בבנק מיוחד לגז), אינם מחייבים "זמן עמידה" לפני אבחון ושימוש,

מאחר ומרכיבי התערובת הגיעו כבר לעירוב הומוגני. מילוי הגז יעשה ע"י מערבול גז מוסמך בלבד (Gas Blender).

חמצן הינו הגז הקל ביותר לאבחון בגלל תכונותיו הייחודיות. מאבחני חמצן ("אנלייזר") הנם זולים יחסית וכיולם קל ביותר. את המאבחנים הידניים הקטנים יש לכייל לפני כל שימוש. לאנלייזרים הניידים יש בדרך כלל מתג כיוול חיכוני. הדלק את המד וחשוף את החישן לאוויר האטמוספרי. מד מכייל יראה בין 20.9% ל-21%, אם לא, עליך לכייל אותו. רק מדים בעלי דיוק של $\pm 1\%$ הנם מדויקים מספיק לאבחון

ראה תרשים 5-5 מיני מאבחן חמצן "אנלייזר" - MINI-OX.

ההתקן לדגימת תערובת (תרשים 5-6), משמש למדידת לחץ ואבחון הגז שבמיכל הצלילה. ההתקן המורכב על ברז המכל, הינו בעל פתיחה מוגבלת או וסת זרימה המווסת את עוצמת זרימת הגז. לאחר מדידת הלחץ ואבחון אחוז החמצן בתערובת, יש למלא את כל הפרטים ע"ג תג התכולה: אחוז חמצן ($O_2\%$), אחוז חנקן ($N_2\%$), לחץ גז (PSI/BAR), תאריך (DATE), עומק פעולה מרבי (MOD), שימד בראשי תיבות (TESTER).

ראה תרשים 5-6 התקן דגימת תערובת.

מילוי ספר מעקב (תרשים 5-7), משמש בתחנות ANDI למעקב אחרי כל המילויים שאינם אוויר. זהו נהל פשוט ביותר, כל שעליך לעשות הוא: רשום שם, תאריך, מספר סידורי של מיכל (רשום על גב תג התכולה), לחץ, אחוז חמצן, MOD וחתימה. אין צורך לאבחן את הגז פעם נוספת אלא להעתיק את הפרטים מתג התכולה. מילוי ספר מעקב הינו נהל ANDI מחייב בכל תחנות המילוי. התהליך דורש מעט מאוד מזמנך ואחרי מספר פעמים יעשה כמעט באופן אוטומטי.

ראה תרשים 5-7 טופס מעקב מילוי.

שיטות מילוי וייצור SafeAir®

לנו כצוללים, אסור לעולם לשקול מילוי חמצן נקי במכלי הצלילה. יצרני המכלים מציינים באופן חד משמעי שפעולה זאת עלולה להביא לפגיעה בנפש. להלן תרגום של מנשר אזהרה שהופץ בספטמבר 1990 ע"י יצרנית מכלי האלומיניום הגדולה בעולם חברת Luxfer:

"נודע ללוקספר שישנם צוללים הנוהגים למלא חלקית את מכלי הצלילה בחמצן נקי ואז ממלאים את שארית המכל באוויר. כדי למנוע אסון, יש להפסיק נוהג זה באופן מידי, מאחר ועלול לגרום לאובדן חיים או פגיעה רצינית. מכלי הצלילה, הברזים והרכיבים האחרים, אינם נקיים לחמצן.

כמו כן, חומרי השימון בהם משתמשים בתעשייה, אינם מתאימים לחמצן נקי, מה שיכול להביא לניצוץ, בערה ו/או פיצוץ".

חוזר זה שהופץ במרס 1989 ושוב בספטמבר 1990 מבהיר באופן חד משמעי את האיסור על כל מגע בין חמצן נקי וציוד צלילה שאינו "כשיר לחמצן". לצערנו יש "חכמולוגים" החושבים שכללים אלו אינם חלים על מילוי 20 עד 30 אט' חמצן נקי

למיכל ריק או כמעט ריק, ואז השלמת המילוי עם אוויר. גם עובדי מרכזי מילוי שכוונתם טובה, אך אינם מעודכנים מספיק, פועלים לפי שיטה זאת. אין בעיה להשתמש בתערובת שנוצרה בתהליך זה אם אבחון הגז נכון. אך ציוד "מזוהם" או חשיפה לחום כתוצאה מהדחיסה, מעמידים את המערבל וכל אחד הנמצא בקרבתו בסכנה גדולה. **אסור להתפשר על בטיחות בשום אופן. לכן, מילוי מכלי צלילה וברזים**

שאינם מתואמים לעבודה עם חמצן נקי, מותר רק עם תערובת אוויר מועשר שהוכנה מראש ולא בתוך המכל!!! מילוי כזה ניתן לבצע על ידי העברה מבנק לחץ גבוה, ישירות ממדחס מיוחד או משאבת "בוסטר".

קיימות כמה שיטות עירבוב/עירבול חמצן ואוויר לתערובת אוויר מועשר הנעשות תוך הקפדה על תקני טוהר הגז ותנאי הבטיחות ולכן, יש להשאיר את תהליך הערבול רק למי שהוסמך לכך - מערבלי גז של ANDI.

במרכז ANDI הראשי ניתן להשיג מידע נוסף על שיטות לייצור גז ועל מערכות ערבול. במידה ויתפתחו שיטות ומערכות חדשות לייצור תערובות אוויר מועשר, יחלוק ANDI את המידע על כך עם כל אלה המעוניינים.

צ ל י ל ה ב ט ו ח ה

ע ם

אוויר בטוח - SafeAir®

אזהרה ! אזהרה ! אזהרה !

המידע וחומר לימודי זה, אינו מכשיר את הצולל לצלילה לעומק העולה על העומק המרבי המותר לו עפ"י דרגת הצלילה הבסיסית שלו, בסביבה מקורה או צלילה לתחומים המחייבים חניות דקומפרסיה (צלילת דקומפרסיה). נדרשת הדרכה נוספת לפני חשיפה לפעולות צלילה אלו.

בחן יחידה 4

1. מה פרוש "נקי לחמצן"?

2. מה פרוש "כשיר לחמצן"?

3. מהו אחוז החמצן המרבי המותר לשימוש עם ציוד כשיר ל-SafeAir®?

4. מה הם הסימנים החיצוניים הנדרשים ע"ג מכלים מיועדים ל-SafeAir®?

5. איזה מידע רשום על תג תכולת מיכל?

6. באיזו דחיפות יש לכייל מד-חמצן?

7. מהו הדיוק הדרוש למד-חמצן, המשמש לאבחון העיקרי?

8. האם תוכנית ANDI דרגה I (Limited SafeAir® User) שזה עתה סיימת מסמיכה אותך לצלול לעומק העולה על 40 מטר, לצלול בסביבה מקורה, או לבצע צלילות דקומפרסיה? _____

9. SafeAir® הינו תקן ANDI ל _____ ו- _____ באוויר מועשר בחמצן.

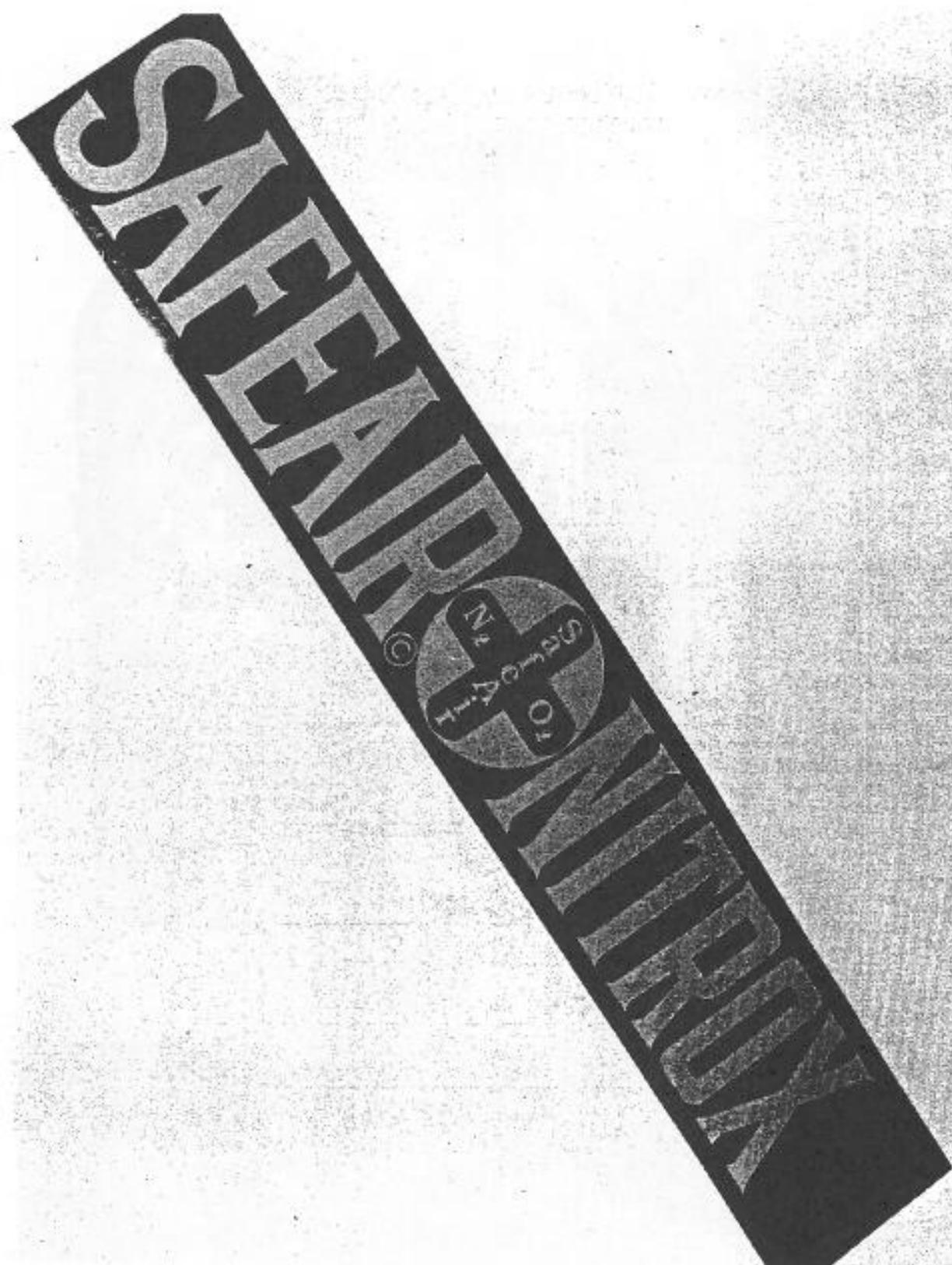
10. אי הקפדה על אחד משלושת מרכיבי התקן הנ"ל (משאלה 9) מבטל את יתרון הבטיחות שמציע השימוש ב-SafeAir® (הקף בעיגול):

א. נכון. ב. לא נכון.

תרשים 5-1 מכלי SafeAir® ומכלי פוני



תרשים 5-2 מדבקה היקפית למיכל



תרשים 5-3 תג תכולת מיכל

**American
Nitrox
Divers
Inc**

%O₂

%N₂

PSI

DATE

**MAXIMUM
Operating Depth**

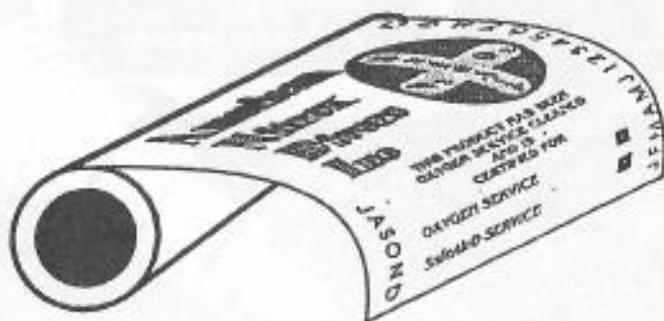
TESTER

תרשים 5-4 מדבקת ביקורת ויזואלית למיכל

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	MONTH OF INSPECTION	American Nitrox Divers Inc	
		THIS CYLINDER AND VALVE HAVE BEEN INSPECTED AND CLEANED FOR OXYGEN-ENRICHED AIR AND OXYGEN SERVICE	
		REFILL ONLY WITH HYDROCARBON-FREE GAS	
		YOUR DIVE STORE BEST CITY ANYWHERE 999-999-9999	
		© ANDI Freeport NY 1991	
		YEAR OF INSPECTION	
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	



2 X Actual Size

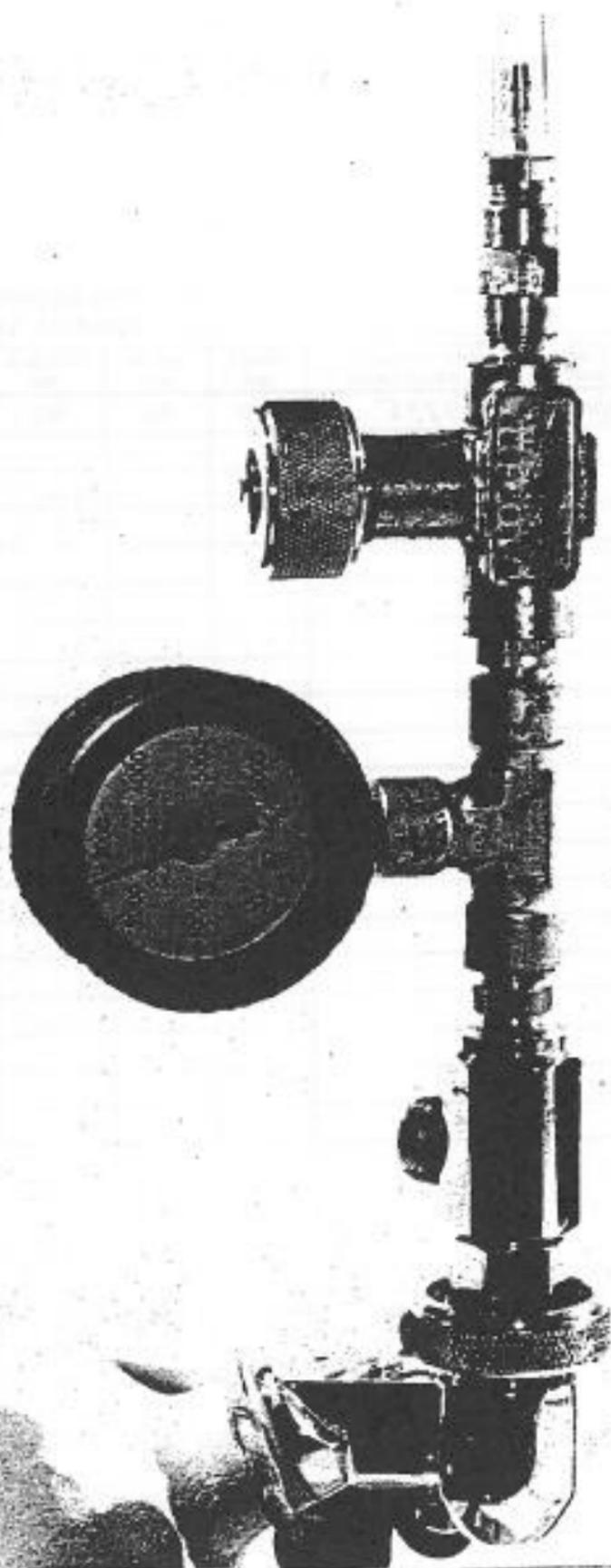


Actual size 2½ Inch Plastic Hose Sleeve

תרשים 5-5 מיני מאבחן חמצן "אנלייזר" - MINI-OX



תרשים 5-6 התקן דגימת תערובת



טבלת דקומפרסיה לצלילת 36 NITROX

NOAA NITROX II (64% N₂, 36% O₂)

טבלה 2. זמן הפסקה על פני המים

עומק (מטרים)	זמן בדקות											
	6	7.5	9	12	15	18	21	24	27	30	33	34
60	35	25	15	5								
120	70	50	30	15	10	10	5	5	5	5		
210	110	75	45	25	15	15	10	10	10	7		
300	160	100	60	30	25	20	20	15	15	12	10	
225	135	75	40	30	25	20	20	15	15	15	15	
350	180	95	50	40	30	30	30	25	20	20	20	
240	120	70	50	40	40	35	30	25	22			
325	145	80	60	50	50	40	35	30	25	22		
	170	100	70	55	55	45	40					
	205	110	80	60	60	50						
	250	130	90									
	310	150	100									
			170									
			200									

טבלה 1. זמן מידוי ללא דקומפרסיה (NDL) וקבוצת צלילה חוזרת



- אזהרה!
- טבלה זו אסורה לשימוש באויר דחוס.
- שימוש בטבלה זו מחייב הכשרה ואימון.
- מוקדמים ע"י מודרך NITROX מוסמך.

קבוצת צלילה חוזרת לאחר הפסקה, לצלילה עם - NITROX 36

עומק (מטרים)	זמן תחנית מידוי											
	15	18	21	24	27	30	33	34	37	40	43	46
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34

טבלה 3. זמן תחנית מידוי לצלילה חוזרת חובב ונומ

28	12	43
28	12	43

זמן תחנית מידוי לצלילה חוזרת חובב ונומ

