

תאונות צלילה

מאת פליקס לוטן

פאראמדיק מד"א ירושלים

מדריך צלילה בכיר, מאמן ובוחן מדרכי צלילה

תודות, לדרי' משה שריסט, מומחה לרפואה
דחופה ורופא צלילה, על הסיוע בכתבת
המסמך.



© כל הזכויות לשימוש בתוכן קובץ זה, לרבות
השרטוטים הכלולים בו, שמורות.

תוכן עניינים

3	הסביבה התת-ימית.....
3	לחץ הסביבה.....
4	השפעות הלחץ.....
5	פגיעות לחץ (ברוטראומה)
6	פגיעות אוזניים וסינוסים
8	פגיעות ריאה.....
11	הרעלות גזים.....
16	תא לחץ – רפואה היפרברית.....
16	טביעה.....
17	פגיעות בעלי חיים ימיים.....
18	ביבליוגרפיה:.....

הסביבה התת-ימית

צלילת מכלים הנה פעילות פנאי אשר עשתה זינוק עצום מבחינת הפופולריות שלה בקרב צעירים ומבוגרים כאחד. מזה למעלה מ-20 שנה הצלילה מהווה אטרקציה חשובה בתיירות הפנים והחוץ בחופי ארץ ישראל בכלל וחוץ אילת בפרט. בישראל פועלים כמה עשרות מועדוני צלילה המקיימים פעילויות שונות הכוללות קורסי צלילה למתחילים, קורסים למתקדמים ופעילות צלילה לצוללים מוסמכים המשתנה בהתאם לדרגת ההסמכה של הצולל. לאור הפופולריות הרבה לה זוכה פעילות פנאי זו לא מן הנמנע שיותר ויותר אנשים נחשפים לאפשרות של פגיעה בתאונות צלילה.

לאור העובדה שפעילות הצלילה מתקיימת בתווך מימי, מן המתבקש הוא שמרבית תאונות הצלילה הקטלניות מסתיימות בטביעה. עם זאת ישנן מספר תאונות קטלניות בהן הטביעה תהיה משנית לתאונה עצמה, אם בכלל תתרחש. במקרים אלו הטיפול לו יזדקק הצולל הפגוע יהיה שונה מטביעה ויצריך התייחסות ספציפית למנגנון הפגיעה. על מנת להבין את הבעיות השונות העולות להתרחש במהלך צלילה יש להבין תחילה מספר עקרונות בסיסיים בפיזיקה אשר משפיעים על הצולל.

הסביבה בה שוהה הצולל שונה באופן קיצוני מזו בה אנו חיים. המים צפופים וכבדים בהרבה מהאוויר. למעשה, מטר מעוקב אחד של מי ים שוקל 1030 ק"ג ומטר מעוקב של מים מתוקים שוקל 1000 ק"ג, בעוד שמטר מעוקב של אוויר שוקל רק 1.4 ק"ג. בשל כך מופעל על הצולל לחץ גדול בהרבה מזה שפועל עלינו על פני היבשה.

ההגדרה הפיסיקלית ללחץ היא:

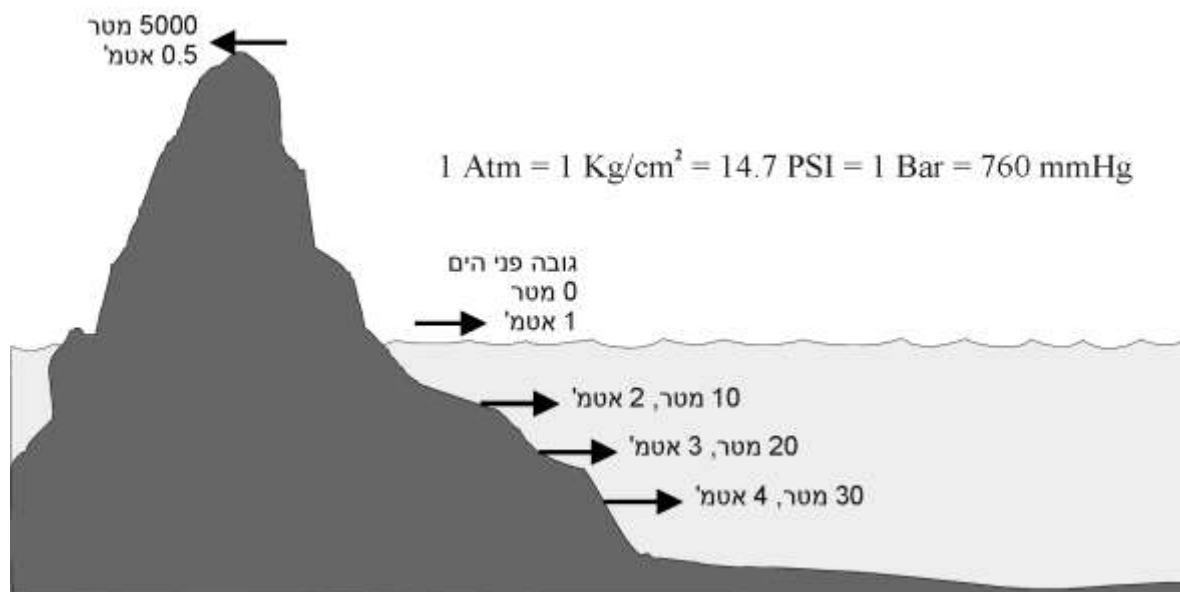
$$\text{לחץ} = \frac{\text{יחידת כח}}{\text{יחידת שטח}}$$

שכבת הגזים המקיפה את כדור הארץ קרויה אטמוספירה והיא מפעילה לחץ על כל הנמצא על פני האדמה. לחץ זה מכונה לחץ אטמוספרי והוא שווה ל- 1 kg/cm^2 . כיוון שקיימות יחידות לחץ שונות, ניתן להמיר בין היחידות:

$$1 \text{ ATM} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 14.7 \text{ PSI} = 1 \text{ BAR} = 760 \text{ mmHg}$$

לחץ הסביבה

לחץ הסביבה שווה ללחץ המים הפועל על הצולל, בתוספת לחץ האוויר שמעל המים. כל עשרה מטר של מי ים יוצר לחץ של אטמוספירה אחת, לכן הלחץ בעומק 10 מטר מי ים יהיה שווה לשתי אטמוספירות, בעומק 20 מטר שווה ל-3 אטמוספירות וכן הלאה.



תרשים 1

השפעות הלחץ

תאונות צלילה רבות נגרמות עקב שינויי לחץ. בחלקן גורם השינוי בלחץ לפגיעה ישירה ברקמות הגוף. תאונות אלו מכונות "ברוטראומות". אחרות נגרמות כתוצאה מהשפעת הלחץ על ריכוזי גזים בגוף הצולל. בין אלו נכללות הרעלות גזים ומחלת הדקמפרסיה. בשתי קטגוריות אלו ניתן למצוא תאונות צלילה קלות מחד ותאונות צלילה קשות וקטלניות מאידך.

ראשית נבחן את תאונות הצלילה המושפעות משינוי הלחץ על חללי האוויר בגוף הצולל. לשם כך יש לבין את העיקרון הפיזיקלי המוסבר על ידי **חוק בויל**: "**בטמפרטורה קבועה, בעת השינוי בלחץ ישתנה הנפח ביחס הפוך לשינוי בלחץ בעוד שהצפיפות תשתנה ביחס ישר לשינוי בלחץ**".

כלומר חללי הגז בגופנו ישאפו להתכווץ אל מול העלייה בלחץ או להתפשט אל מול ירידה בלחץ. על הצולל לבצע השוואת לחצים. השוואת לחצים זו, בין אם יזומה כמו בפעולת הפמפום לשם השוואת הלחצים באוזניים ובסינוסים ובין אם אוטומטית (כגון נשימה של גז בלחץ הסביבה), מאפשרת לחללי הגז להישאר בנפח קבוע. השרטוט הבא מדגים השוואת לחצים זו בבלון (תרשים 2).

בלון בנפח של שישה ליטר אשר יושקע לעומק של 10 מטר יידחס לנפח של 3 ליטר (לחץ עלה פי שתיים נפח ירד פי שתיים). עם נעלה בלון זה חזרה אל פני המים הלחץ של הסביבה יקטן ונפח הבלון יחזור לקדמותו.

מכיוון שעל ראות הצולל להישאר בנפח קבוע, הצולל נושם גז דחוס בלחץ הסביבה אשר מעלה את הלחץ בתוך הריאות בנפח נתון ולא מאפשר להן להתכווץ. צולל אשר נושם גז דחוס חייב לנשום לאורך כל הצלילה כיוון שעצירת נשימה בשעת העמקה תגרום לדחיסת הריאות (דבר שהסכנה בו מועטה) בעוד שעצירת נשימה בעלייה תגרום להתרחבות יתר של הריאות שתסתיים בברוטרומה ריאתית. כמובן שגם ביתר חללי האוויר בגוף יש לבצע פעולה זו, אך בחללים אלו יציאת האוויר העודף תהיה אוטומטית אם הצולל לא יחסום את המעבר.

השפעת הלחץ בהעמקה	השפעת הלחץ בעלייה
נפח צפיפות נפח צפיפות 0 מטר 1 אטמ' 6 ליטר 6 ליטר 6 ליטר 10 מטר 2 אטמ' 3 ליטר 6 ליטר 6 ליטר 20 מטר 3 אטמ' 2 ליטר 6 ליטר 6 ליטר 30 מטר 4 אטמ' 1.5 ליטר 6 ליטר 6 ליטר	חלל אוויר פתוח חלל אוויר סגור 0 מטר 1 אטמ' 6 ליטר 6 ליטר 10 מטר 2 אטמ' 6 ליטר 12 ליטר 20 מטר 3 אטמ' 6 ליטר 8 ליטר 30 מטר 4 אטמ' 6 ליטר 6 ליטר

תרשים 2

פגיעות לחץ (ברוטראומה)

פגיעות הלחץ נחלקות לשני סוגים :

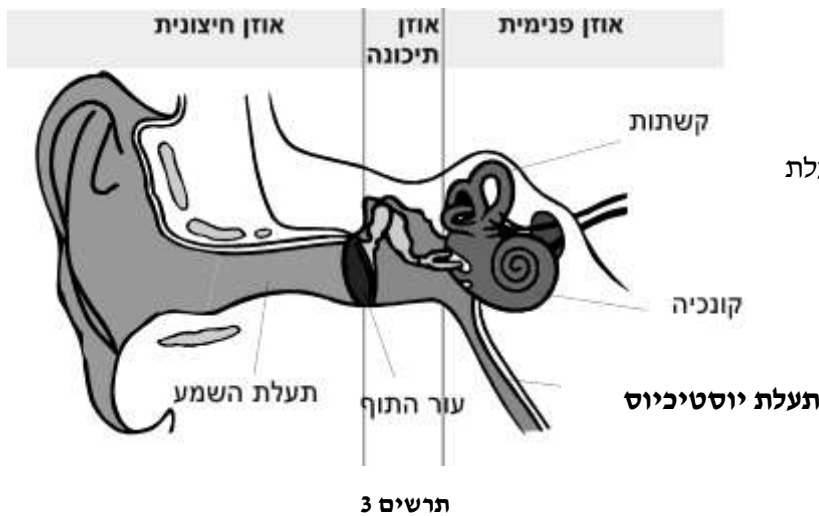
- **ברוטראומה בהעמקה** (מערכות) – פגיעות הנוצרות כתוצאה מאי-השוואת לחצים בתוך חללים בגוף, כנגד עלייה בלחץ הסביבה.
- **ברוטראומה בעלייה** – נוצרות כתוצאה מאי-השוואת לחצים בתוך חללים בגוף כנגד ירידה בלחץ הסביבה.

על פי רוב פגיעות הלחץ בהעמקה אינן קטלניות והן מערבות את האוזניים, הסינוסים וחללים נוספים כגון חלל בשן מתחת לסתימה או החלל הנוצר על ידי ציוד הצלילה כגון מסכת הצלילה או חליפת צלילה יבשה.

לעומתן, פגיעות הלחץ בעלייה עלולות לערב את הריאות והן נחשבות לסוג הפגיעות הקטלניות ביותר לצלול. בפרקים הבאים יפורטו פגיעות הלחץ בהעמקה ובעלייה תוך התייחסות לגורמים, סימנים או סימפטומים, והטיפול הדרוש.

פגיעות אוזניים וסינוסים

מבנה האוזן



אוזן חיצונית: אפרכסת, תעלת השמע.

אוזן תיכונה: עור התוף, עצמות השמע, תעלת יוּסְטִיכִיוֹס.

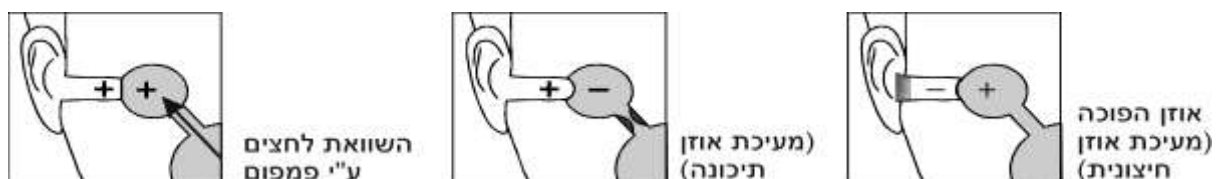
אוזן פנימית: המערכת הוּסְטִיבִּולרִית (קשתות), קונכיה.

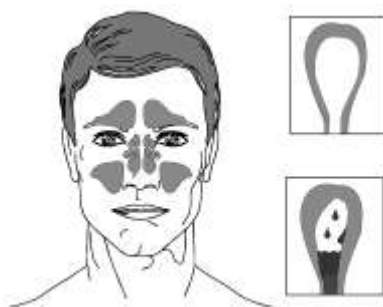
במצב נורמלי מושווה הלחץ באוזן על ידי אוויר המועבר דרך תעלת יוּסְטִיכִיוֹס, מחלל הפה אל תוך האוזן התיכונה. הדבר מתבצע באופן טבעי בזכות המבנה האנטומי של מערכת אף, אוזן גרון. אולם במהלך הצלילה הפרשי הלחצים משתנים במהירות רבה, דבר המקשה ואף מונע השוואת לחצים ספונטאנית.

מסיבה זו על הצולל להשוות לחצים באוזן התיכונה באמצעות פעולה יזומה המכונה "תמרון וֶלְסְלֶבֶה" או בפשטות: "פמפום", שהוא ניסיון להוציא אוויר דרך האף תוך כדי אטימתו. כיוון שהאף סגור האוויר עולה דרך תעלת יוּסְטִיכִיוֹס ומעלה את הלחץ בחלל האוזן התיכונה ובכך נוצר שיוון לחצים משני צדי עור התוף. (תרשים 4 הראשון משמאל)

בתוך הגולגולת קיימים שבעה חללי אוויר המכונים סינוסים. הם מתחלקים לשלושה זוגות וסינוס בודד אחד, המסווגים על פי מיקומם בגולגולת: Frontal Sinuses, Maxillary Sinuses, Ethmoidal Sinuses ו-Sphenoidal Sinuses. הסינוסים מרופדים ברקמה פנימית עדינה ומצופים ברירית נשימה. כל מערכת הסינוסים מחוברת בתעלות ומעברים אל חלל הפה והאף. השוואת הלחצים בסינוסים מתבצעת באופן טבעי בתהליכי הנשימה, הלעיסה והבליעה. בסינוס שעובר תהליך דלקתי עלולה להיווצר חסימה שתיצור חלל אוור בו לא ניתן יהיה להשוואת לחצים באופן יעיל. היווצרות תת-לחץ תגרום לשאיבת הרקמה הפנימית ודימום בתוך חלל הסינוס. (תרשים 5)

סוגי פגיעות באוזן בסינוס





תרשים 5

בטבלה הבא יפורטו פגיעות הלחץ השונות הקשורות לאוזניים ולסינוסים

הפגיעה	גורמים	סימנים/סימפטומים	טיפול
מערכת אוזן תיכונה מתרחשת בהעמקה (תרשים 4 אמצע)	- אי-השוואת לחצים במהלך העמקה. - חוסר יכולת להשוות לחצים עקב סתימה (צינון בעיה פיזיולוגית וכו')	- לחץ הולך וגובר באוזן במהלך העמקה. - קרע בעור התוף, כאב חד. - ורטיגו.	- אחיזה בעצם מוצק, אטימת האוזן הפגועה, עלייה אל פני המים. - המשך טיפול אצל רופא אא"ג.
מערכת אוזן חיצונית (אוזן הפוכה) יכולה להתרחש בהעמקה או בעליה בתאם לסוג הפגיעה (תרשים 4 מימין)	- פימפוס במהלך עלייה - שימוש בפקקי אוזניים - כובע אטום - שימוש בתרופות לטיפול בגודש בעלי טווח השפעה קצר וללא אישור רופא	- לחץ הולך וגובר באוזן במהלך העמקה. - קרע בעור התוף, כאב חד. - ורטיגו.	
מערכת סינוסים מתחילה בהעמקה ובאה לידי ביטוי בעלייה. (תרשים 5)	חסימה של הסינוס הגורמת לאי-יכולת להשוות לחצים	- כאבים מעל ומתחת לעיניים במהלך ההעמקה. - דימום מהאף לתוך חלל המסכה במהלך העלייה.	- הימנעות מצלילה - טיפול אצל רופא אא"ג

פגיעות ריאה

השוואת הלחצים בריאות מתבצעת על ידי תהליך הנשימה. כאשר לחץ הסביבה יורד במהלך העלייה, גז עודף ננשף מהריאות בתהליך הנשימה. ריאת אדם תקינה מסוגלת לעמוד בלחץ פנימי העולה ב 0.1 אטמ' (80 מ"מ כספית) מעל לחץ הסביבה.

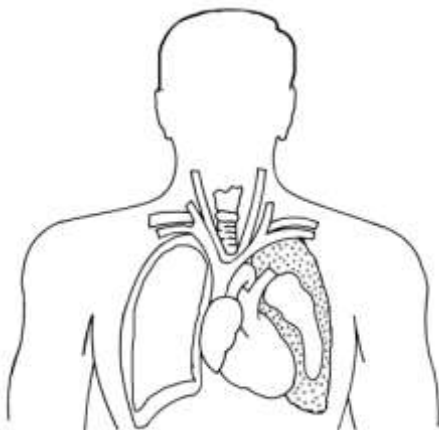
אולם במידה וכמות האוויר הנפלטת מהריאות תהיה לא מספקת או שלא יפלט כלל, לדוגמא במקרה של צולל מכשירים המבצע עלייה תוך כדי עצירת נשימה, קיימת סכנה מיידידת להתרחבות יתר של הריאות והיווצרות קרעים בנאדיות. ברוטאומה ריאתית יכולה לבוא לידי ביטוי במספר הסתמנויות קליניות:

- Pneumothorax (חזה אוויר)
- Mediastinal Emphysema (נפחת בחלל הביניים)
- Subcutaneous Emphysema (נפחת תת עורית)
- Air Embolism (תסחיף אוויר עורקי)

מצבים אלו יכולים להופיע במשולב או להתפתח האחד מהשני ולעיתים יופיע רק מצב אחד מבין הארבעה.

חזה אוויר (Pneumothorax)

כתוצאה מהקרע בריאה, אוויר נע וחודר אל בין קרומי הפלאורה. בחלק גדול מהמקרים, עוד במהלך התאונה, יתפתח לחזה אוויר בלחץ וזאת בשל הפחתת הלחץ והתרחבות חלל האוויר בין הקרומים.



תרשים 6

סימנים

- קשיי נשימה
- שיעול עם כיח ודם
- קצף דמי מהפה
- דופק מהיר
- Cyanosis
- עור חיוור, קר ולח
- ירידה מהירה ברמת ההכרה
- ירידת ל"ד
- סימני הלם (tension)

טיפול

- ABCD
- ניקוז חזה עם מחט במידה ומפתח חזה אוויר בלחץ
- חמצן

אמפזימה/נפחת (Emphysema)

Mediastinal Emphysema (נפחת בחלל הביניים)

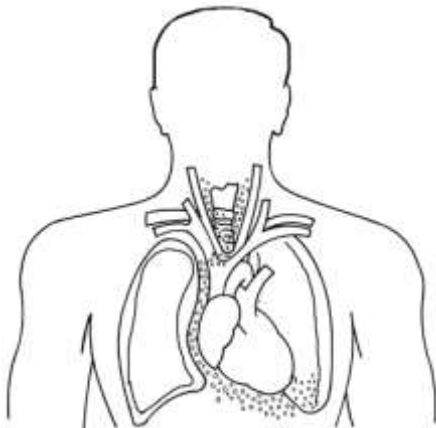
כתוצאה מהקרע בריאה, האוויר יוצא ומתרכז ב-Mediastinum, יוצר לחץ על הלב ועל כלי דם ראשיים ובמקרים חריפים בועיות האוויר העשויות אף לחדור מאחורי קרום הלב (Pneumopericardium), דבר העלול להביא להלם קרדיוגני.

סימנים

דומים לחזה אוויר, כמו כן לחץ בחזה מאחורי עצם הסטרנום

טיפול

- ABCD
- חמצן



תרשים 7

Subcutaneous Emphysema (נפחת תת-עורית)

האוויר שהשתחרר כתוצאה מהקרע, נע כלפי מעלה בין הרקמות מתחת לעור ומתרכז באזור הצוואר והפנים.

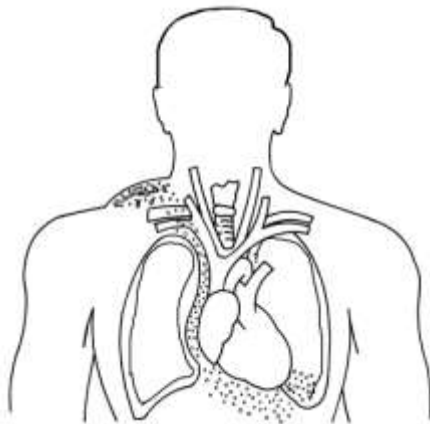
סימנים

סימנים של קרעים בראות ובנוסף:

- התנפחות באזור הצוואר והפנים, עד כדי טשטוש הגבול בין הכתף לראש.
- תחושת "פצפוף" במגע באזור הנפוח.

טיפול

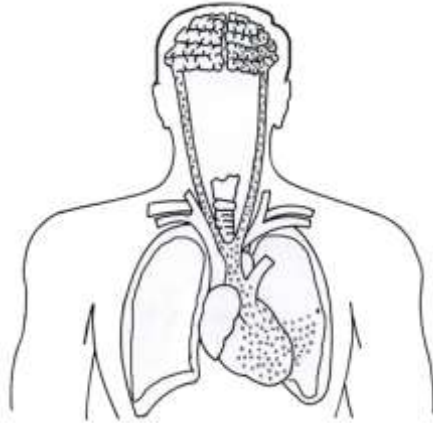
- ABCD
- חמצן



תרשים 8

תסחיף אוויר (Air Embolism)

כתוצאה מקרע בנאדיות הריאה, אוויר חודר אל כלי הדם המקיפים את הנאדית. אוויר זה נע במחזור הדם, מתלכד לבועיות אוויר גדולות, מפעיל את מנגנון הקרישה וחוסם כלי דם בעיקר במוח.



תרשים 9

סימנים

סימנים של קרעים בראות וסימנים נוירולוגים העלולים להזכיר סימני של CVA:

- קשיי דיבור, שמיעה וראייה
- אבדן תחושה בגפיים בהתאם לאזור הפגוע במוח או בעמוד השדרה
- אישונים לא שווים
- פגיעה ביכולת הדיבור, השמיעה או הראייה

טיפול

- ABCD
- חמצן
- תא לחץ – יש חשיבות גבוהה למהירות הפינוי.

חשוב מאד לזכור

- קרעים בריאות נגרמים כתוצאה מעלייה מצלילה עם גז דחוס, תוך עצירת נשימה. הדבר נפוץ בעיקר במצבים בהם הצולל ניכנס לפאניקה מתחת למים וביצע עלייה מהירה ולא מבוקרת תוך כדי שמיטת ווסת הנשימה מהפה ועצירת נשימה.
- סימנים של תסחיף אוויר עלולים להיות זהים לסימנים של מחלת הדקומפרסיה (יורחב בהמשך) או של CVA. הדרך לאבחן נכון את האירוע היא על ידי תשאול בן הזוג לצלילה.
- במקרה של תסחיף אוויר המקום היחיד בו ניתן לטפל באופן יעיל בפצוע הוא בתא לחץ ויש לשאוף להגיע לשם במהירות האפשרית.
- אם המטפל החליט כי קיים צורך בביצוע אינטובציה עליו להיות ערני מאד להתפתחות של Tension Pneumothorax והתדרדרות המודינמית של הפצוע.

הרעלות גזים

האוויר שאנו נושמים מורכב מ- 78.08% חנקן ו-20.95% חמצן. אוויר בלחץ הסביבה בגובה פני הים הנוצר מתערובת זו שווה לאטמוספירה אחת, מכאן שכל אחד מהגזים הנ"ל יוצר לחץ חלקי בהתאם לאחוזו בתערובת. החמצן שהוא קרוב ל-20 אחוז מהתערובת ייצור לחץ חלקי הקרוב ל-0.2 אטמ' ואילו החנקן שתופס כ-80 אחוז מנפח הגז בתערובת ייצור לחץ של כ-0.8 אטמ' בקירוב. יחדיו ייצרו הם לחץ של 1 אטמ' שהוא לחץ הסביבה. עקרון זה מוגדר בחוק דלתון: **"הלחץ הכללי של תערובת גזים שווה לסכום הלחצים החלקיים של הגזים בתערובת."**

צולל המעמיק נושם גז בלחץ הסביבה מכאן שלחצי הגזים בריאות הצולל יעלו בהתאמה. מכאן שהלחצים החלקיים של הגזים יעלו גם הם. עליה בלחץ החלקי של הגז עלולה להביא גזים ספציפיים לנקודה בה הם נעשים בעייתיים לנשימה לצולל. נהוג לומר שהחנקן יהיה הגז הראשון שיגביל את הצולל והדבר מתרחש כאשר החנקן מגיע ללחץ חלקי של 3.2 אטמ', קרי בעומק של כ-30 מטר, בעוד שהחמצן יגביל את הצולל החל מלחץ חלקי של קרוב ל-1.6 אטמ' בעומק של כ-76 מטר.

	100% אוויר	= 80% N ²	+ 20% O ²
0m	1 Atm	= 0.8 Atm	+ 0.2 Atm
10m	2 Atm	= 1.6 Atm	+ 0.4 Atm
20m	3 Atm	= 2.4 Atm	+ 0.6 Atm
30m	4 Atm	= 3.2 Atm	+ 0.8 Atm
40m	5 Atm	= 4.0 Atm	+ 1.0 Atm
50m	6 Atm	= 4.8 Atm	+ 1.2 Atm
60m	7 Atm	= 5.6 Atm	+ 1.4 Atm
70m	8 Atm	= 6.4 Atm	+ 1.6 Atm

תרשים 10

עד לא מזמן היה האוויר גז הנשימה היחיד איתו צללו צוללים חובבים. בעשור האחרון גבר השימוש בתערובות גזים נוספות בעולם הצלילה. חלקן מורכבות מתערובות חנקן וחמצן בריכוז שונה מזה של האוויר (Nitrox). בתערובות אלו מעלים לרב את ריכוז החמצן על חשבון ריכוז החנקן. שינוי זה מאפשר להאריך את משך השהיה של הצולל מתחת לפני המים מצד אחד, אך מקרב את מגבלות העומק של רעילות החמצן מצד שני. כך למשל צולל שישתמש בתערובות ניטרוקס של 32% חמצן יהיה חשוף להרעלת חמצן כבר בעומק 40 מטר.

בצלילה צבאית משתמשים לא פעם במערכות סגורות, במערכות אלו הצולל עושה שימוש ב-100%. הדבר מתאפשר על ידי ספיחת הפחמן הדו חמצני שניפלט בנשימה בחומר מיוחד הנמצא במערכת הסגורה. והחמצן ממוחזר להמשך נשימה ולא ניפלט החוצה כמו במערכת נשימה פתוחה השכיחה בהרבה. הדבר

מאפשר הערכה של זמן השהיה מתחת למים אך מקרב את הצולל למגבלות החשיפה ללחץ חלקי גבוהה של חמצן כבר בעומקים רדודים מאד (בעומק 6 מטר לחץ החמצן Atm 1.6 בעומק 10 מטר לחץ החמצן הוא Atm 2 .

סוג נוסף של תערובת ההופך נפוץ בשנים האחרונות הוא ה-Tri-Mix, תערובת העושה שימוש בהליום ומאפשרת הגדלה משמעותית של עומקי הצלילה.

הסיבה לשינוי הריכוזים של הגזים והחיפוש המתמיד אחר "התערובת האידיאלית" נובע מהרצון של הצוללים להתגבר על מגבלות העומק אשר יוצרים הלחצים החלקיים של הגזים באוויר ולהקטין את הסיכוי להיפגע בתאונת צלילה. בטבלה הבא יפורטו הסוגים השונים של הרעלות הגזים הנפוצות בצלילה.

הפגיעה	גורמים	סימנים/סימפטומים	טיפול																
הרעלת חנקן/שיכרון מעמקים	כתוצאה מעלייה בלחץ החלקי של החנקן ישנה פגיעה במערכת העצבים הגורמת להאטה בהעברת השדר החשמלי בין הסינפסות. הסימפטומים המאפיינים משתנים בין צולל לצולל ומופיעים בעומקים שונים בצלילות שונות.	- הקצנה בתחושות הנפשיות - אופוריה - חרדה - טשטוש ראייה - פגיעה ביכולות מוטוריות - פגיעה בזיכרון - אבדן שיקול דעת - סבירות גבוהה לטביעה	חשוב לציין כי השיכרון עצמו אינו דורש טיפול מיוחד. צולל החווה שיכרון מעמקים צריך לעלות עד לעומק בו נעלמים הסימנים.																
הרעלת חמצן	כתוצאה מעלייה בלחץ החלקי של החמצן ישנה השפעה על מערכת העצבים המרכזית (CNS) ובחשיפה למשך זמן ארוך, תיתכן גם פגיעה בריאות. זמני חשיפה מותרים ללחץ חלקי נתון (בסביבה רטובה): <table><thead><tr><th>O2 Limit (minutes)</th><th>PO2 ATA</th></tr></thead><tbody><tr><td>300</td><td>1.0</td></tr><tr><td>240</td><td>1.1</td></tr><tr><td>210</td><td>1.2</td></tr><tr><td>180</td><td>1.3</td></tr><tr><td>150</td><td>1.4</td></tr><tr><td>120</td><td>1.5</td></tr><tr><td>45</td><td>1.6</td></tr></tbody></table>	O2 Limit (minutes)	PO2 ATA	300	1.0	240	1.1	210	1.2	180	1.3	150	1.4	120	1.5	45	1.6	- א"ש חס"ר הבע"ה - אופוריה - שמיעה – צלולים באוזניים - חרדה - סחרחורת - ראיית מנהרה - התנהגות בלתי הגיונית - בחילות - עוויתות - ופרכוסים - הכרה - סבירות גבוהה לטביעה	- ABC - פינוי נט"ן
O2 Limit (minutes)	PO2 ATA																		
300	1.0																		
240	1.1																		
210	1.2																		
180	1.3																		
150	1.4																		
120	1.5																		
45	1.6																		

▪ ABC ▪ פינוי להמשך טיפול בתא לחץ	▪ סימני היפוקסיה ▪ שפתיים בצבע אדום דובדבן ▪ אבדן הכרה ▪ סבירות גבוהה לטביעה	דחיסת מיכלים בגז נשימה באזור המזוהם ב-CO עלולה לגרום לעלייה בכמות ה-CO במיכל. עלייה בלחץ החלקי של הגז במהלך העמקה, והזיקה הגבוהה של CO להמוגלובין בדם, ייגרמו להיפוקסיה, דבר אשר יגרור אובדן הכרה וטביעה.	הרעלת CO
--	---	--	------------------------

דקומפרסיה

פגיעות הדקומפרסיה הן מן הפגיעות הידועות ביותר ומעוררת פחד בעולם הצלילה. תיאורים של פגיעות דקומפרסיה בעבודה בסביבה עם לחץ מוגבר מתחילים באמצע המאה ה-19 אצל כורי פחם צרפתים אשר עבדו בתאים מדוחסים באוויר הקרויים תאי Caisson.

פגיעת דקומפרסיה מתאפיינת במעבר של גזים אינרטיים (לרוב מדובר על חנקן או הליום) ממצב בו הם מומסים ברקמת הגוף למצב של בועיות גז שהמצטברות בתוך הרקמה או נעות חופשי במחזור הדם.

הסיבה להתמוססות גזים בגוף מוסברת על ידי חוק הנרי המציין כי: **"התמוססות של גז בנוזל תלויה באופן ישיר בלחץ החלקי של הגז ומקדם המסיסות של הגז עבור אותו נוזל."**

מכאן שבמהלך העמקה עולה הלחץ בו נמצאות רקמות הצולל. עובדה זו מאפשרת לעליה בכמות הגז האינרטי שרקמות מסגלות לספוג. סוג הרקמה, זמן השהייה ועומק הצלילה ישפיעו ישירות על כמות הגז שייקלט בתוך הרקמות השונות.

עם תחילת העלייה יורדת סבילות הרקמה ללחצי הגז והרקמות יהיו במצב של רווית יתר בגז האינרטי. מכאן שגז עודף שואף להשתחרר מתוך הרקמה בה הוא נספג כמומס ולהתפנות מהגוף דרך מחזור הדם ומערכת הנשימה.

אולם, אם העלייה מהירה מדי ביחס לכמות הגז האינרטי המומס כמויות מסוימות של הגז יהפכו לבועיות. בועיות אלו עלולות להצטבר באזורים שונים בגוף הצולל או להשתחרר אל תוך מחזור הדם. הבועיות יגדלו תוך כדי העלייה והפחתת הלחץ. נוכחות בועיות אלו במחזור הדם עלולה להפעיל את מערכת הקרישה וכו'. בועיות אלו עלולות להביא לפגיעות רבות ושונות בצולל בהתאם למיקום החסימה וגודלה בצולל.

הופעת הסימנים של מחלת הדקומפרסיה תלויה גם היא במקום הפגיעה ואופייה. כמעט ב-50% מהפגיעות מופיעים הסימנים תוך שעה מהיציאה מהמים, אולם קיימים מקרים לא מעטים בהם סימני הפגיעה יופיעו 6 , 12 ואפילו 24 שעות אחרי הצלילה עצמה.

נהוג לסווג את מחלת הדקומפרסיה למספר סוגים וזה בהתאם למיקום הפגיעה וחומרתה:

- דקומפרסיה TYPE 1 או בשמה הלוועזי DCS-decompression sickness - מתאפיינת לרוב בסימנים מקומיים של פגיעה כגון כאבים בפרקים, גירוד ונימול בעור ולעיתים בפגיעה במערכת הליפמה שתתבטא (בנפוחות) בבצקות מתחת לעור.

- דקומפרסיה TYPE 2 או בשמה הלועזי DCI –decompression Illness - מתאפיינת לרוב בפגיעה מערכתית במערכת העצבים ותביא אובדן תחושה, שתוקים, פרכוסים, קושי במתן שתן אובדן הכרה וכו'.

בטבלה הבא יפורטו סימני הפגיעה ואופן הטיפול.

הפגיעה	גורמים	סימנים / סימפטומים	טיפול
דקומפרסיה Type I DCS/ (bends)	הצטברות של בועיות באזור המפרקים ומתחת לעור	▪ כאב ממוקם בפרקים, תחושת נימול, גירודים בעור, שטפי דם תת-עוריים ונפיחות מתחת לעור. ▪ הסימנים יכולים להופיע 6-24 שעות לאחר סיום הצלילה, לכן יש לשים דגש על תחקור טוב של המתלונן, כמו כן יש לבדוק מה מצבו של בן הזוג לצלילה. ▪ במידה ויש ברשות הצולל ציוד המנטר את הצלילה ושומר את הנתונים, כגון מחשב צלילה, מד עומק דיגיטלי, שעון צלילה עם זיכרון וכו', יש להביאו עם הנפגע לבית החולים.	▪ ABCD ▪ בירור פרטים אודות הצלילה, יש חשיבות גדולה לעומק וזמן הצלילה ▪ מתן 100% חמצן בהעשרה, במהירות האפשרית ▪ פתיחת וריד ומתן נוזלים ▪ פינוי לתא לחץ – יש חשיבות גבוהה למהירות הפינוי.
דקומפרסיה DCI Type II	הצטברות של בעיות במחזור הדם או מערכת העצבים המרכזית	▪ חולשה, אובדן תחושה, שיתוק, פרכוסים, אבדן יכולת שמיעה וראייה, קשיים בדיבור, קשיי נשימה, קושי בהטלת שתן אבדן הכרה. ▪ הסימנים יכולים להופיע 15 דקות ועד 6 שעות לאחר היציאה מהמים. ▪ במקרים נדירים הסימנים יופיעו בתוך המים. ▪ דקומפרסיה עם מעורבות ריאתית - Chokes ▪ אי נוחות במרכז בית החזה ▪ שיעול ונשימות עמוקות המחמירות את האי נוחות בחזה. ▪ נשימות מהירות ורדודות ▪ ציאנוזיס ▪ גודש ורידי צוואר ואי ספיקה ימנית (סימנים מאוחרים ונדירים מאד)	

חשוב מאד לזכור

- הסימנים הסימפטומים של פגיעות דקומפרסיה הם רבים ומגוונים מאד. זמן ההופעה של משתנה ויכול לנוע בטווח של מיד עם היציאה מהמים ועד לשעות רבות אחרי הצלילה.
- לעיתים יהססו צוללים לספר את הנתונים האמתיים שלעומק וזמן הצלילה וזאת בשל החשש מחוקים מקומיים, הסדרי ביטוח וכו'.
- מכאן שעל המטפל לתחקר בחוכמה את הצולל או בן זוגו. ולשים לב לסדרה של מקדמי סיכון לפגיעת דקומפרסיה:
 - היפרקרביה כתוצאה מפעילות מאומצת מתחת למים
 - התייבשות
 - היפותרמיה
 - שימוש בגלולות למניעת הריון
 - גיל ככל הגיל עולה כך עולה הסיכון
 - מין – נשים חשופות יותר בשל כמות גדול יותר רקמה שומנית
- לא להקל ראש בסימנים שלפניו ולספק 100% חמצן בכל חשש ולא הקל ביותר לפגיעת דקומפרסיה.
- במידה וקיימים סימנים נוירולוגיים מיד עם היציאה מהמים יש לשאוף להגיע לאבחנה מבדלת בין תסחיף אוויר לפגיעת דקומפרסיה, אולם על המטפל לזכור כי בשני המקרים הטיפול החשוב ביותר יתבצע בתא לחץ. ולכן אין לבזבז זמן יקר בשטח.
- קיימת חשיבות גדולה מאד לטיפול מידי ב 100% חמצן. מתן חמצן בריכוז גבוהה מסייע מידית לפינוי הגז האינרטי העודף מהגוף בשל השינוי במפלי הריכוזים של הגזים בדם.
- אצל צוללים רבים נוצרות בועיות של גז אינרטי אשר לא יוצרות סימנים של מחלת הדקומפרסיה. בעיות אלו מוכנות בועיות שקטות והן נספגות בריאות לאחר הצלילה. אצל צוללים הסובלים מפגמים במחיצות הלב (VSD/ASD) בועיות אלו עלולות לגרום תסמנים של מחלת דקומפרסיה בשל מעבר הבועיות מצד ימין של הלב לצדו השמאלי וכך במקום להיספג בנאדיות להגיע אל מחזור הדם שהולך לכיוון המוח ושאר הגוף.
- גם טיסה לאחר צלילה הנה מסוכנת לצולל. זאת כיון שמרבית המטוסים לא מדחוסים ל-1 Atm אלא רק ל-0.8 Atm מכאן שכאשר המטוס ממריא מתרחשת הפחתת לחץ מהירה הדומה לעלייה מצלילה. מרבית הצוללים יודעים כי אליהם להימנע לפחות 12 שעות לאחר צלילה ו 24 שעות לאחר סדרה של צלילות או צלילות חריגות.

תא לחץ – רפואה היפרברית

המושג היפרברית כולל בתוכו שני מושגים בר +היפר כפי שכבר צוין בר הינה יחידת לחץ שוות ערך לאטמוספירה אחת כלומר - רפואה בעל-לחץ. על מנת לטפל בעל לחץ נעשה שימוש במכשיר המכונה תא הלחץ. תא הלחץ הנו חדר גלילי גדול הבנוי במיוחד לעמוד בלחצים גבוהים. לתוך התא מוזרם אוויר דחוס המעלה את הלחץ הסביבתי בתוך התא. בארץ קיימים שני תאי לחץ גדולים תא הלחץ בבית החולים רמב"ם/אלישע בחיפה ותא הלחץ באספ הרופא, כמו כן קיים תא לחץ קטן המיועד בעיקר לתאונות צלילה בבית החולים יוסף-טל אילת. בתוך התא החולה נושם דרך מסכה מיוחדת 100% חמצן. על פי חוק הנרי כאשר אנו מעלים את לחץ הסביבה, גזים מתחילים להתמוסס באופן מוגבר בהתאם לעלייה בלחץ. על אדם המטופל בתא לחץ, מופעל לחץ אוויר גבוה מהרגיל, והחמצן הנוסף שמסופק לו באותה עת מומס בנוזלי הגוף. כמות החמצן המומסת בגוף תהיה ביחס ישר ללחץ האוויר המופעל, כך שככל שלחץ האוויר יהיה גבוה יותר, תגדל כמות החמצן המומסת ברקמות ובנוזלי הגוף השונים.

תאונות צלילה כגון ברוטראומה של הראות ופגיעות דקמפריסה מחייבות טיפול בתא לחץ אך כיום משמש הטיפול בתא לחץ כפתרון למגוון רחב של בעיות רפואיות. החל מתסחיפי אוויר וחסומות חריפות של כלי דם, הרעלות CO, אנמיה חריפה וכלה בנזקי קרינה, שתלי עור וזיהומים קשים.

במדינת ישראל יש מספר תאי לחץ פעילים.

בצפון (עד קו חדרה) - תא לחץ במכון לרפואה ימית בחיפה ובבית החולים אלישע בחיפה.

במרכז – תא לחץ בבית החולים אסף הרופא

בדרום - תא לחץ בבית החולים יוספטל

חשוב לזכור כי בכל מקרה של חשד לפגיעת דקומפרסיה קיימת חשיבות עליונה לפינוי החולה לבית חולים שיש בו תא לחץ פעיל.

טביעה

אירועי טביעה אינם נדירים במקווי הים במדינת ישראל ובמקרים רבים הטביעה מסתיימת בפעולות החיאה של הצוותים המטפלים. אולם באירוע טביעה על רקע תאונות צלילה על המטפלים לתת את הדעת למספר מנגנונים אשר יתכן וקדמו לטביעה עצמה. מנגנונים אלו יקשו על מאמצי החיאה אם לא יטופלו במקביל.

כפי שצוין בראשית החוברת, טביעה היא מתאונות הצלילה הנפוצות והקטלניות ביותר. אולם לעיתים הטביעה מגיעה במקביל או בעקבות אחת התאונות שפורטו לעיל. מניתוח אירועים שונים של תאונות צלילה בישראל שהסתיימו בטביעה, אנו יודעים כי פעמים רבות מדובר על צולל שניכנס לפאניקה ועלה במהירות אל פני המים. עלייה זו עלולה להיות מלווה בפגיעות חזה ועל המטפל לזכור כי הנשמה בלחץ חיובי עלולה להחמיר את מצב הפגיעה עם מדובר על חזה אוויר.

ידועים גם מקרים שונים בהם החשוד העיקרי לתאונות צלילה היה אירוע קרדיאלי אשר החל במים וגרם לעלייה מהירה או לאובדן הכרה כבר בתוך המים, במקרים אלו המטפל עשוי למצוא עצמו מתמודד עם החיאת VF ופגיעת ריאה במקביל.

פגיעות בעלי חיים ימיים

גם אם נדירות באופן יחסי, פגיעות בלי חיים הן מתאונות הצלילה הקטלניות ביותר. בעלי חיים כגון כרישים עלולים לגרום לנזק נרחב, לדימומים קשים, פגיעות פנימיות וכו'. בעלי חיים ימיים ארסיים עלולים לגרום לכאב עז, פרכוסים, חסכים נוירולוגיים שונים ואף אובדן הכרה וטביעה. הטיפול במרבית הפגיעות האלו יהיה דומה לפגיעות זהות על היבשה למעט הצורך בחימום האיבר הנפגע מבעל חיים ימי ארסי. הארס של בעלי החיים הימיים הנו רגיש לחום מכן שחימום האיבר הפגוע יביא לדנטורציה של החלבון בארס ויעכב את התפשטותו.

בעל חיים	טיפול
נושכים	- ABCDE - טיפול בדימום - טיפול בזיהום - פינוי
דגים ארסיים (כגון זהרון, אבנון, עקרבנון וכו')	- ABCD - חימום האיבר הפגוע ל-45° וקיבוע - טיפול בכאב - פינוי דחוף
מדוזות	- הסרה עדינה של הארס - טיפול בכאב - שטיפה בחומץ- לא לשטוף במים
קיפודי ים	- ABC - חיטוי - טיפול בכאב - לא לשלוף קוצים שחדרו עמוק הם יתמוססו לבד

ביבליוגרפיה:

1. NOAA Diving Manual: Diving for Science and Technology, Fourth Edition Revised
2. PADI Encyclopedia of Recreational Diving
3. Diving Medicine for Scuba Divers 2010 edition, Dr Carl Edmonds ,Dr Bob Thomas, Dr Bart, McKenzie and John Pennefather, in <http://www.divingmedicine.info/divingmedicine/Welcome.html>
4. US Navy Diving Manual Rev. 6